



**Magyar Bányászati  
és Földtani Szolgálat**

# **A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei**

**Püspöki Zoltán  
főszerkesztő**

# **A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei**

Főszerkesztő:

**PÜSPÖKI ZOLTÁN**

BUDAPEST, 2018

*Szerkesztette:*

DEBRECZENI ÁKOS, FANCSIK TAMÁS, HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA, ZELEI GÁBOR

*Írták:*

BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA, BERTALAN ÉVA, BOKÁNYI LJUDMILLA, BOMBICZ JÁNOS, BÖHM JÓZSEF,  
CSERKÉSZ-NAGY ÁGNES, DEBRECZENI ÁKOS, FALUS GYÖRGY, FARICS ÉVA, FOGARASSY-PUMMER TÍMEA,  
FÖLDESSY JÁNOS, FUCHS PÉTER, HAVELDA TAMÁS, HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA, HORVÁTH ZSOLT,  
KALMÁR ISTVÁN, KAUFMANN TIBOR, KÁLLAY ANDRÁS ARNOLD, KOVÁCS JÁNOS, MAIGUT VERA, MAKÁDI MARIANNA,  
MARKOS GÁBOR, MÁDAI FERENC, MÁDAI VIKTOR, MCINTOSH RICHARD WILLIAM, MENICH ERIKA, NAGY GÁBOR,  
PALOTÁS ÁRPÁD BENEC, PÜSPÖKI ZOLTÁN, SÁRI KATALIN, SEBE KRISZTINA, SIMÓ BENEDEK, SZEMMELVEISZ TAMÁSNÉ,  
TÖRÖK KÁLMÁN, VARGA BÁLINT, VERBŐCI JÓZSEF

*Lektorálták (zárójelben a fejezettszámok):*

BUDAI TAMÁS (3), CSÖKE BARNABÁS (6), FODOR BÉLA (1, 3, 4, 5, 9, 10), GÁL ISTVÁN (4),  
GYURICZA GYÖRGY (1, 3, 4, 5, 9), LESS GYÖRGY (3), LIVO LÁSZLÓ (4), MIKITA VIKTÓRIA (4),  
MOLNÁR JÓZSEF (4), SELMECZI ILDIKÓ (3), SZEBÉNYI GÉZA (8), SZTERMEN GUSZTÁV (4),  
SZÜCS PÉTER (4), WOPERÁNÉ SERÉDI ÁGNES (7), ZILAHY-SEBESS LÁSZLÓ (2)

*A kötet hivatkozása:*

PÜSPÖKI Z. (főszerk.) DEBRECZENI Á., FANCSIK T., HÁMORNÉ VIDÓ M., ZELEI G. (szerk.) 2018:  
A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei. –  
Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest, 280 p.

*A fejezetek hivatkozása (példa):*

TÖRÖK K., BERTALAN É., MENICH E., HORVÁTH Zs., FALUS Gy. 2018: Szénhamuminták geokémiai vizsgálata.  
In: PÜSPÖKI Z. (főszerk.): A hazai szénvagyon és hasznosítási lehetőségei. – Magyar Bányászati és  
Földtani Szolgálat, Budapest, pp. 238–246.

*Műszaki szerkesztő, DTP:*

PIROS OLGA

*Borítóterv:*

MAROS GYULA

*Felelős kiadó:*

ZELEI GÁBOR  
elnök

ISBN 978-963-671-314-0

## Tartalom

Bevezetés.....	9
1. A hazai szénvagyon dokumentációs és adatrendszerei (PÜSPÖKI ZOLTÁN, SÁRI KATALIN, FOGARASSY-PUMMER TÍMEA, MAIGUT VERA, BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA, SIMÓ BENEDEK, VARGA BÁLINT) .....	11
A hazai szénkutató szakaszai és a kiemelt projektek.....	11
A mélyfúrási dokumentációk műszaki tartalma és feldolgozottsága .....	13
A hazai szénkutatók szeizmikus adatai .....	15
Az archív kutatási zárójelentések követelményrendszere .....	16
Az Állami Ásvány- és Geotermikus Energiavagyon Nyilvántartás és térképi megjelenése .....	16
A nyilvántartás és a nemzetközi minősítő rendszerek viszonya .....	17
Magyarország interaktív szénkatasztere .....	18
A készlet – ipari vagyon meghatározásának feltételei.....	19
2. Módszertani fejlesztési lehetőségek a hazai szénkutató gyakorlatban (PÜSPÖKI ZOLTÁN, FOGARASSY-PUMMER TÍMEA, CSERKÉSZ-NAGY ÁGNES, MARKOS GÁBOR) .....	21
Az innovatív módszerek hiánya a hazai szénkutatóban .....	21
Széntelegek korrelációja és térképezése .....	21
Telepkorreláció mélyfúrási-geofizikai szelvényeken .....	21
A telepfoltonosság kimutatása szeizmikus szelvényeken.....	22
Szerkezetkutatás .....	23
A szerkezeti jelleg meghatározása szeizmikus adatok alapján.....	23
A szeizmikus vetőkutatás jelentősége a műveléstervezésben .....	23
A nagy felbontású karotázskorreláció szerepe a vetőkutatásban .....	24
A művelő telepek lehatárolásának módszertani kérdései .....	24
A szénminőség meghatározása fúrásoként .....	24
A szénminőség meghatározása mélyfúrási geofizikai adatok alapján.....	25
A művelési vastagság, a szelektív fejtés és biztonsági felhagyások meghatározása.....	25
A földtani modellépítés alapkövetelményei és perspektívái .....	26
A készletszámítás és műveléstervezés elmaradhatatlan alaptérképei a szénkutatóban.....	26
A 3D modellezés előnyei és fejlesztési irányai .....	26
3. Magyarországi szénelőfordulások földtani, teleptani, szerkezeti és vízföldtani adottságai (HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA, KOVÁCS JÁNOS, FARICS ÉVA, SEBE KRISZTINA, MCINTOSH RICHARD WILLIAM, BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA, PÜSPÖKI ZOLTÁN) .....	29
Mecseki Kőszén Formáció – jura, hettangi–sinemuri .....	29
Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet .....	29
Rétegtani felépítés.....	30
Teleptan .....	32
Szerkezeti viszonyok .....	34
Nyilvántartás szerinti földtani vagyon és művelési perspektívák.....	35
Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások .....	36
Ajkai Kőszén Formáció – felső–kréta.....	38
Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet .....	38
Rétegtani felépítés.....	39
Teleptan .....	40
Szerkezeti viszonyok .....	41
Nyilvántartás szerinti vagyon és művelési perspektívák.....	41
Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások .....	43
Dorogi Kőszén Formáció – középső–eocén .....	43

Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet .....	43
Rétegtani felépítés.....	45
Teleptan .....	46
Szerkezeti viszonyok .....	47
Nyilvántartás szerinti vagyon és művelési perspektívák .....	50
Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások .....	55
Törökbálinti Formáció – oligocén .....	58
Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet .....	58
Rétegtani felépítés.....	58
Teleptan .....	59
Szerkezeti viszonyok .....	60
Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások .....	60
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció – miocén, ottnangi–kárpáti.....	60
Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet .....	60
Rétegtani felépítés.....	62
Teleptan .....	66
Szerkezeti viszonyok .....	67
Nyilvántartás szerinti vagyon és művelési perspektívák .....	68
Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások .....	72
Hidasi Barnakőszén Formáció – miocén, badeni, (Keleti-Mecsek) .....	74
Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet, művelési perspektívák.....	74
Rétegtani felépítés.....	75
Teleptan, .....	75
Szerkezeti viszonyok .....	76
A Hidasi Barnakőszén Formáció – miocén, badeni, (Várpalotai-, Herend–Márkói-medence).....	76
Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet .....	76
Rétegtani felépítés.....	77
Teleptan .....	78
Szerkezeti viszonyok .....	78
Nyilvántartás szerinti vagyon .....	79
Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások .....	80
Újfalui Formáció Bükkaljai Lignit Tagozat .....	80
Elterjedés, bányászat- és kutatástörténet .....	80
Rétegtani felépítés.....	81
Teleptan .....	82
Szerkezeti viszonyok .....	82
Nyilvántartás szerinti földtani vagyon .....	83
Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások .....	84
4. Kiemelt mélyművelésű szénbányászati projektek földtani bányászati adottságai (DEBRECZENI ÁKOS, HAVELDA TAMÁS, BOMBICZ JÁNOS, KAUFMANN TIBOR, VERBÓCI JÓZSEF, BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA, PÜSPÖKI ZOLTÁN).....	85
Dubicsány .....	85
Kutatástörténet.....	85
Rétegtani adottságok.....	86
Szerkezeti viszonyok .....	87
Feltérési terv .....	88
Aknatelepítés, vágathajtás.....	91
Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon .....	92
Vízmentesítés .....	94
Szellőztetés .....	94
Külszíni létesítmények és a felszín érintettsége .....	95
Foglalkoztatás.....	96
Sajómercse II. – Putnok bővítés .....	96
Kutatástörténet.....	96
Rétegtani adottságok, telepelterjedés .....	97
Szerkezeti viszonyok .....	99
Feltérési terv .....	101
Aknatelepítés, vágathajtás.....	102
Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon .....	103
Vízmentesítés .....	105
Szellőztetés .....	105
Foglalkoztatás.....	106
Tardona .....	106

Kutatástörténet.....	106
Rétegtani adottságok.....	106
Szerkezeti viszonyok .....	108
Feltérési terv .....	110
Aknatelepítés, vágathajtás.....	112
Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon .....	112
Föld alatti és külszíni szállítás.....	113
Vízmentesítés .....	114
Szellőztetés .....	114
Külszíni létesítmények és a felszín érintettsége .....	114
Foglalkoztatás.....	114
Mizserfa II. ....	115
Kutatástörténet.....	115
Rétegtani viszonyok.....	115
Szerkezeti viszonyok .....	116
Feltérési terv .....	116
Aknatelepítés, vágathajtás.....	118
Termelés, tényleges kitermelhető vagyon .....	119
Szellőztetés .....	122
Foglalkoztatás.....	123
Máza-Dél-Váralja-Dél .....	123
Kutatástörténet.....	123
Rétegtani viszonyok.....	125
Szerkezeti viszonyok .....	127
A továbbkutatás alapkérdései .....	131
A bányatervezés előzetes megfontolásai.....	131
Várható bányaveszélyek .....	132
Az 1. ütem főfeltérési terve .....	134
Aknatelepítés, vágathajtás.....	135
Az „Északi terület” előzetes lefejtési terve.....	135
Bányabeli szállítás, és csőhálózatok .....	136
Vízmentesítés .....	137
Szellőztetés .....	137
Külszíni létesítmények és a felszín érintettsége .....	138
Csolnok, Új-Borókás .....	138
Teleptani adottságok, szerkezeti viszonyok .....	139
Feltérési terv .....	140
Aknatelepítés, vágathajtás.....	141
Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon .....	142
Vízmentesítés .....	145
Szellőztetés .....	145
Külszíni létesítmények .....	146
Foglalkoztatás.....	146
5. A hazai szénelőfordulások minőségi jellemzői (HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA, PÜSPÖKI ZOLTÁN) .....	147
A hazai kereskedelmi széntermékek minőségi katasztere.....	147
A hazai szénelőfordulások kereskedelmi besorolása .....	148
A hazai szénelőfordulások általános jellemzői.....	152
A hazai szénelőfordulások szerves közettani jellemzői .....	154
A hazai szénelőfordulások hamutartalom és moshatósági viszonyai .....	156
A hazai szénelőfordulások kéntartalma.....	158
A hazai szénelőfordulások lepárlási tulajdonságai.....	159
A hazai szénelőfordulások oldhatósági viszonyai .....	161
A hazai szénelőfordulások elgázosítási kísérleteinek következtetései.....	161
6. A szénelőkészítés technológiája és magyarországi alkalmazásai (BÓHM JÓZSEF, BOKÁNYI LJUDMILLA) .....	165
A szénelőkészítés helye a szénfelhasználás, szénhasznosítás folyamatában .....	165
Szénelőkészítés–széndúsítás .....	165
A szénelőkészítés–széndúsítás alapelvei.....	166
A szénelőkészítés–széndúsítás főbb eljárásai és berendezései .....	167
A szénelőkészítési–széndúsítási eljárások alkalmazhatósága és szétválasztási élessége .....	168
A széndúsítás során alkalmazott eljárások és fő berendezések .....	169
A statikus nehézsuszpenziós technológia főbb (gyakorlatban alkalmazott) berendezései.....	170
Dinamikus nehézközeges szétválasztó eljárások és berendezések.....	171

Ülepítés, ülepítő berendezések.....	172
Száraz eljárások és berendezések.....	173
Vékony vízárammal dolgozó dúsító berendezések.....	174
Szénflotálás.....	175
Szénelőkészítési technológiák.....	176
„State of the art” technológiák.....	176
Száraz szénelőkészítési technológiák.....	177
A szénelőkészítés kutatás–fejlesztési irányai.....	178
Magyarország szénelőkészítési gyakorlata.....	178
A hazai szénelőkészítés célkitűzései.....	178
A hazai szénelőkészítés fejlődése.....	180
A borsodi (miocén korú) szén előkészítése.....	181
A mecseki (liász) szén előkészítése.....	182
A eocén szenek előkészítése.....	185
A mátra-, bükkaljai lignitek dúsítási vizsgálatai.....	185
7. A szénelgázosítás és a direkt hidrogénezési eljárások technológiai áttekintése (KÁLLAY ANDRÁS ARNOLD, KALMÁR ISTVÁN, NAGY GÁBOR, SZEMMELVEISZ TAMÁS, PALOTÁS ÁRPÁD BENCE).....	189
A szénfeldolgozás lehetőségeinek alapvető irányai.....	189
A szintézisgáz fogalma és ipari jelentősége.....	189
Az elgázosítás kémiai folyamatai.....	191
Termokémiai eljárások.....	191
Az elgázosítás kémiai reakciói.....	191
Az elgázosítási reakciók termodinamikai egyensúlya.....	193
Fontosabb elgázosítási reakciók reakciókinetikai viszonyai.....	195
A nyomás és hőmérséklet hatása a szintézisgáz összetételére.....	198
Elgázosítási technológiák alaptípusai.....	200
Állóágyas elgázosítók.....	200
Fluidágyas elgázosítók.....	202
Szállóporos elgázosítók.....	202
Az elgázosító alaptípusok összehasonlítása.....	203
Állóágyas elgázosítási eljárások.....	203
Hagyományos gázgenerátor.....	203
Lurgi technológia.....	204
BG Lurgi technológia.....	204
Fluidágyas elgázosító eljárások.....	205
Winkler generátor (HTW).....	205
HRL technológia (IDGCC).....	205
U-gáz technológia (GTI).....	206
KRW technológia (GTI).....	206
KBR Transport gázosító.....	206
Synthane gázosító.....	207
Institute of Coal Chemistry salak agglomerációs fluidágyas elgázosító (ICC–AFB).....	207
Szállóporos gázosítási eljárások.....	207
Koppers Totzek (KT) gázosítás.....	207
GE (General Electric) gázosító (Texaco).....	207
Shell gázosítási technológia.....	207
Siemens technológia.....	208
Conoco Phillips (E-gas) technológia.....	208
Mitsubishi Heavy Industries (MHI) technológia.....	209
Prenflo gázosítás (Uhde).....	210
ECUST gázosító.....	210
EAGLE gázosító.....	210
China Aerospace Science and Technology nyomás alatti szállóporos elgázosító (HT-L).....	211
Northwest Research Institute szénzagy-elgázosító (MCSG).....	211
Olvadékágyas gázosítók.....	211
Rockwell International.....	211
Saarberg/Otto gázosító.....	212
Kellogg–Pullman.....	212
Atgas technológia olvadt fémfürdőben.....	212
Plazmagázosítás.....	212
Gázosítási eljárások összehasonlítása.....	213
Direkt szénfeldolgozási eljárások.....	216

Headwaters katalitikus kétlépcsős cseppfolyósító eljárás .....	216
Mikrokatalizátoros (MCL) technológia .....	216
Kapcsolódó eljárások .....	216
CO konverzió – külső hidrogénforrás .....	216
Gáztisztítás .....	217
8. Kritikus elemek kinyerési és hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata .....	219
Korábbi adatok és mintavételezések áttekintése (FÖLDESSY JÁNOS, MÁDAI FERENC, MÁDAI VIKTOR, FUCHS PÉTER) .....	219
A szenes összetekhez kötődő kritikus elemek kutatásának időszzerűsége .....	219
Globális áttekintés .....	219
A szenek ritkalelem-tartalmának korábbi hazai kutatásai .....	222
A korábbi hazai elemzési adatok területi eloszlása .....	223
A mecseki szénmedence összegyűjtött geokémiai alapadatai .....	223
A Borsodi-medence összegyűjtött geokémiai alapadatai .....	228
Korábbi adatok leíró statisztikai jellemzése (FÖLDESSY JÁNOS, MÁDAI FERENC, MÁDAI VIKTOR, FUCHS PÉTER) .....	230
Adatelőkészítés, statisztikai vizsgálatok .....	230
A mecseki minták kémiai elem-tartalmának statisztikai analízise .....	230
A szénhez kötődő ritkalelemek geokémiai, ásványtani kapcsolata .....	234
A dúsulások potenciális gazdasági értéke .....	235
A Karolina-külfejtés minősítése .....	236
CriticEI minták összesítése .....	237
Borsodi-medence .....	237
Szénhamuminták geokémiai vizsgálata (TÖRÖK KÁLMÁN, BERTALAN ÉVA, MENICH ERIKA, HORVÁTH ZSOLT, FALUS GYÖRGY) .....	238
Alkalmazott analitikai technikák .....	238
A pécs-vasasi minták geokémiai vizsgálata .....	238
A kazár-székvölgyi minták geokémiai vizsgálata .....	242
A felsőnyárádi minták geokémiai vizsgálata .....	243
A szénhamu-vizsgálatok eredményei nemzetközi összehasonlításban .....	244
A szenek kritikuselem-tartalmának kutatási perspektívái .....	245
9. Bányászati meddők mezőgazdasági hasznosításának lehetőségei (MAKÁDI MARIANNA) .....	247
A szénbányászati meddő hasznosításának gazdasági indokai .....	247
A lignit talajjavító anyagként történő hasznosítása .....	247
A lignit hasznosítása őrleményként .....	247
A lignit felhasználása feldolgozott anyagként .....	248
A kihelyezésre javasolt talajok mechanikai összetétele, javítandó tulajdonságai .....	249
Hulladékok és melléktermékek talajra történő kijuttatásának jogszabályi háttere .....	249
A meddők mezőgazdasági hasznosíthatósága a vizsgálati eredmények alapján .....	251
10. A szén gazdasági perspektívái (KALMÁR ISTVÁN, HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA) .....	253
A szénhasznosítás stratégiai szempontjai .....	253
A szén, mint fosszilis nyersanyag és energiahordozó jelenlegi és jövőbeni szerepe .....	254
A szénfelhasználás komplex terve a körkörös gazdaság és értéklánc szerint .....	255
A szénelgázosítási (indirekt átalakítási) technológiák fejlődése .....	256
A szén-cseppfolyósítás (direkt átalakítás) fejlődése .....	257
A szintézisgáz feldolgozásának vegyipari lehetőségei .....	258
A szén-dioxid-feldolgozás követelménye és lehetőségei .....	259
11. Irodalom .....	261



## Bevezetés

Több mint két évszázadon át a hazai iparfejlesztés egyik fő nyersanyaga volt a szén. Ez a kereslet indította el a bányászat és feldolgozó ipar fejlődését, megteremtve a szükséges infrastruktúra és szakmakultúra kialakulásának feltételeit, elősegítve a polgárosodást és a gazdasági-kereskedelmi központok kialakulását. Az egyéb energiahordozók felhasználásának fokozatos növekedése a szénbányászat visszaszorulásához vezetett. Közel két emberöltőt ölel fel immár a hazai mélyműveléses szénbányászat válsága. Az ezzel járó szociális és vállalkozói nehézségek feldolgozásával és a mintegy 10 Mrd tonna megkutatott szénvagyon (fűtőérték alapon mintegy 14 Mrd hordó kőolaj) fenntartható hasznosításával a társadalom és az érintett szakterületek képviselői mindmáig foglalkoznak.

A hazai szénvagyon gazdaságos és környezetkímélő hasznosításának alapfeltétele a korszerű műszaki eljárások adaptációja a bányászatban és a korszerű tiszta széntekológiai eljárások megjelenése a hazai energetikai és vegyipari szektorban. A tiszta széntekológiák az utóbbi évtizedben jelentős fejlődést mutatnak; a beépített és megtervezett kapacitások látványos növekedése ezt jól tükrözi. Az energiatermelés és vegyipar mellett továbbra is fontos szerepe lehet a kokszolható feketeszennek, mely az Európai Unió meghatározása szerint napjainkban is stratégiai, kritikus nyersanyag.

A szénbányászatban és a tiszta széntekológiai eljárásokban rejlő lehetőségek megalapozott megítélésének egyik fő akadály a szakmai kompetencia fokozatos lemaradása, ami érinti a földtan, bányászat, szénelőkészítés és szénfeldolgozás területét egyaránt. A hazai bányabezárások óta eltelt negyedszázad nemzetközi téren gyökeres változásokat hozott az említett területek tudományos és műszaki gyakorlatában, s hiába állnak rendelkezésre a korábbi évtizedek hazai kutatási eredményei, s vannak közöttünk az egyes szakterületek autentikus képviselői, kiterjedt ipari háttér és szakértői csoportok hiányában egyre nehezebb a hazai adottságok és nemzetközi eredmények kritikai minősítése.

A társadalmi emlékezet megtartó erejét mutatja, hogy az egykori bányavidékeken máig élnek a bányász hagyományok, s szép számmal születnek a szénbányászattal kapcsolatos visszaemlékezések, tudomány- és ipartörténeti munkák is. Ez lényeges a társadalmi igény, akarat megfogalmazása szempontjából, a szektor válságból való kiemelkedése azonban naprakész szakismereteket követel. A földtani vagyon, a kitermelési lehetőségek és szénminőségi paraméterek *pontos* ismerete nélkül a legígéretesebb befektetői érdeklődés is készületlenül érheti a hazai intézményrendszert. A szakismeretek bővítésének elengedhetetlen feltétele új kutatási, fejlesztési, és innovációs készségek megteremtése, az akadémiai, oktatási, ipari valamint államigazgatási szereplők szoros együttműködése és a nemzetközi kapcsolatrendszer kiszélesítése.

2012–2016 között a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal, ill. a Magyar Földtani és Geofizikai Intézet együttműködésben megkezdte a döntéshozatalhoz nélkülözhetetlen korszerű digitális adatvagyon létrehozását a szénmedencékre, ill. vállalkozói kutatás által nem érintett perspektivikus előfordulásokra vonatkozóan. A projekt célja értékelési dokumentumok (pl. készletszámítási térképek) és alapadatok (mélyfúrási és laboratóriumi alapadatok) digitális feldolgozása (vektORIZÁLÁSA) és értelmezése volt, amit módszertani fejlesztések is kiegészítettek.

2017-ben, a szénbányászati régiók országgyűlési képviselőinek és Bányászati Klasztereinek javaslatára nyomán a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium megbízta a Magyar Bányászati és Földtani Szolgálatot (MBFSZ) a hazai szénelőfordulásokról elérhető szakmai adatok integrált bemutatásával, a hasznosítási lehetőségek, ill. a másodlagos hasznosítási irányok áttekintésével. Az MBFSZ a projekt sikeres végrehajtása érdekében együttműködésre kérte fel a Miskolci Egyetemet és a Pécsi Tudományegyetemet.

A projekt egyik fő feladata a hazai szénvagyon földtani, bányászati, szénminőségi információit tartalmazó, stratégiai döntéseket támogató nyilvántartási rendszer létrehozása a már meglévő digitális adatvagyon alkalmazásával. Ennek megvalósításaként készült el Magyarország digitális szénkatasztere, mely betekintést ad a megkutatott hazai szénvagyonnal kapcsolatos legfontosabb nyilvántartásokba, földtani–geofizikai és szénminőségi adatokba, ill. az azzal kapcsolatos kutatási adatrendszerekbe. Ezen felül a kataszter alkalmas a különböző természet- és vízvédelmi objektumok, valamint a területhasználati fedvények megjelenítésére is. A nyilvános felület mögött a bemutatott adatok rendezett, jelentős részben már digitális állománya áll.

A projekt további feladata volt a földtani és szénminőségi adatok országos áttekintése, a perspektivikus szénelőfordulások azonosítása és részletes bemutatása, ezen felül áttekintésre kerültek a világban ismert feldolgozási és hasznosítási technológiák is. E témakörökről ad ismertetést jelen kötet. Az itt közölt tanulmányok szakmai alapot adhatnak a szénbányászati szektorral kapcsolatos álláspontok megfogalmazásához, stratégiai tervezéshez, illetve a szakterületi programokkal (földtani kutatás, bányászat, szénelőkészítés, feldolgozás) szemben támasztott követelmények meghatározásához egyaránt.

A projekt célkitűzései között szerepelt még a mecseki feketeköszén, a borsodi barnaköszén és az észak-magyarországi lignit értékelése a korszerű energetikai és vegyipari technológiák szempontjából, a vizsgálati módszertan fejlesztése, valamint a teljes nyersanyag-értéklánc és a komplex hasznosítás szempontjainak áttekintése a meddő kőzetek hasznosítási lehetőségeivel együtt.

Napjaink fontos célkitűzése az újraiparosítás és a gazdaságélénkítés. Ezen belül kiemelt szempont a helyi természeti erőforrások magasabb technológiai szinten történő hasznosítása, a regionális fejlesztések és a körkörös gazdaság megvalósítása, a nyersanyag-értéklánc lehető legteljesebb kiaknázása, a kritikus nyersanyagok importjától való függőség csökkentése, az infrastruktúra fejlesztése, a munkahelyteremtés és nem utolsósorban a klíma- és környezetvédelmi szempontok érvényesítése.

E fejlesztési irányok a szénbányászati szektor számára lehetőséget teremthetnek, de hogy valójában milyen perspektívát is jelentenek, azt csak a földtan, bányászat, feldolgozási technológia, gazdaság- és társadalomtudomány, valamint a környezetvédelem szakembereinek érvei és ellenérvei határozhatják meg. E vitákra ritkán kerül sor, mivel néhány megdönthetetlennek hitt alapvetés rendszerint előre eldönti a kérdést. Hadd idézzünk itt néhányat. „A szénbányászatnak az egész világon leáldozóban van” – amit azonban sem a termelési mutatók, sem az energiaszektorban betöltött szerep nem támasztanak alá. „Széntelegeink vékonyak, tektonikailag töredezetek, hamutartalmuk magas” – kétségtelenül fontos megállapítás, a gazdaságossági számítások alapját azonban csak konkrét bányaművelési tervek, szénminőségi mutatók és a szénelőkészítés követelményeinek, módjának pontos meghatározása teszi lehetővé. „Magyarországon nincs már rendelkezésre álló, a szükséges szakmai gyakorlattal rendelkező munkaerő, amire szénbányászatot alapozni lehetne” – talán az egyik legnyomósabb érv, s jóllehet ebben a kötetben a társadalomtudományi kérdéseket nem érintettük, tudomásul kell venni, hogy a hazai szénbányászat a múltban több alkalommal szorult külföldi szakértelemre, ipartörténetileg tehát semmiképp nem ismeretlen a helyzet. Ez a probléma akkor is fennáll, ha a modern bányászat fajlagosan kisebb létszámú, de magasabb képzettségű munkaerőt igényel. „A szénbányászat és feldolgozás környezetszennyező és a klímapolitikai elvárásoknak sem felel meg” – ez a sommás kijelentés igaz lehet a legtöbb jelenleg működő, több évtizedes, sokszor elavult és alacsony teljesítményű rendszerre, de a kérdést csak a rendelkezésre álló bányászati és szénfeldolgozási technológiák fajlagos kibocsátásai, a másodlagos feldolgozások eredményessége, valamint konkrét hulladékkezelési és területrendezési tervek alapján közelíthetjük meg szakmailag hitelesen.

Az indokolatlan lemondás és az okatlan optimizmus helyett idézzük tehát inkább Széchenyi örök érvényű gondolatát: „Halljuk a' más részt is. 'A' rend mindennek a lelke, mert úgy fogjuk találni hidegvérű fontolgatás után, hogy többnyire a' legszebb 's legjózanabbnak látszó planum 's pojectumnak, 's a' legnagyobb fáradozások 's munkálkodásoknak azért nincs 's nem is lehet várt és ohajtott sikere, 'mert önkényesen minden felvilágosító Ellenzés nélkül, 's így természetesen csak féloldalulag 's hiányosan koholtattak, s készítették, 's végre nem azon rendben kezdődtek 's folytatódtak, melyet a' dolog természete kívánt volna.”

Budapest – Miskolc – Pécs, 2018. április

a szerkesztők

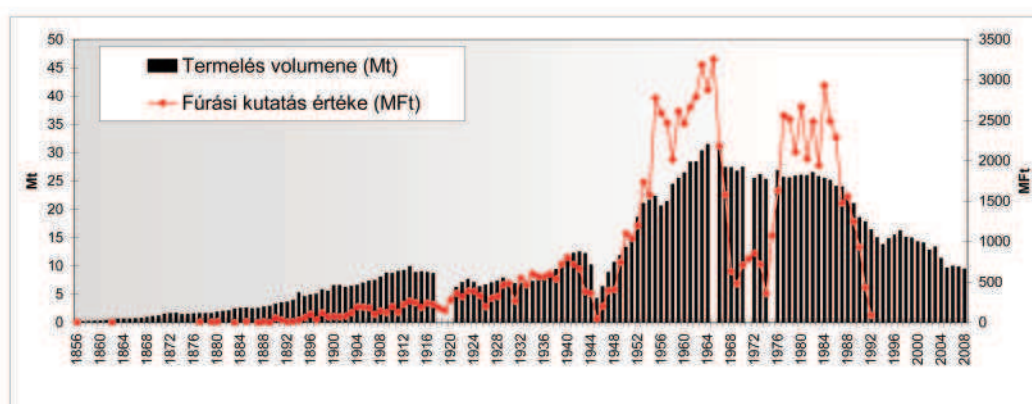
### Köszönetnyilvánítás

E tanulmánykötet alapjait széleskörű társadalmi-szakmai összefogás teremtette meg. A projekt kezdeményezéséért a Kormány és a Nemzeti Fejlesztési Minisztérium döntéshozóit, Dr. ARADSZKI András energiaügyért felelős államtitkár és KASÓ Attila miniszteri biztos urakat illeti köszönet. Köszönettel tartozunk RIZ Gábor országgyűlési képviselő és POLICS József polgármester uraknak a hazai szénbányászat ügyében kifejtett személyes erőfeszítéseikért, a Baranyai, Borsodi, Észak-Dunántúli és Nógrádi Szénbányászati Klaszterek tagjainak szakmai tanácsaikért. A közös munkában részt vevő Miskolci és a Pécsi Tudományegyetem vezetőinek Dr. TORMA András (Miskolc) és Dr. BÓDIS József (Pécs) rektor uraknak, Dr. GÁBRIEL Róbert a Pécsi Tudományegyetem Természettudományi Kara dékánjának, valamint Dr. DEÁK Csaba (Miskolc) és JENEI Zoltán (Pécs) kancellár uraknak a gördülékeny együttműködés biztosítását köszönjük.

PÜSPÖKI ZOLTÁN, SÁRI KATALIN, FOGARASSY-PUMMER TÍMEA, MAIGUT VERA,  
BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA, SIMÓ BENEDEK, VARGA BÁLINT

## A hazai szénkutatás szakaszai és a kiemelt projektek

Az 1.1. ábra a hazai széntermelés és a szénkutató fúrások becsült költségeinek alakulása alapján mutatja be a hazai szénkutatás és szénbányászat viszonyát az elmúlt másfél évszázadban. A 19. század második felében dominál a felszínről, kutatóvágatokkal történő feltárás, ebben az időben korlátozott a kutatófúrások száma és jelentősége. A 20. század első



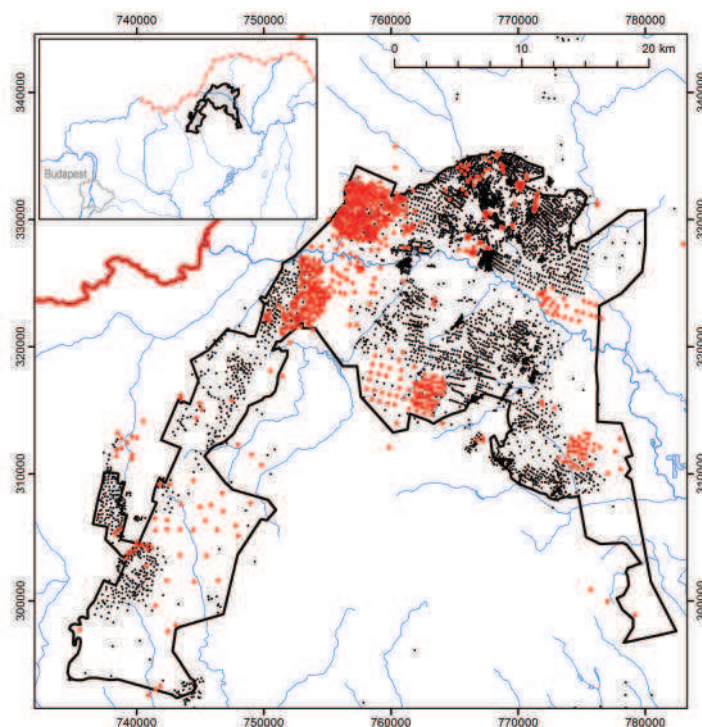
1.1. ábra. Magyarország széntermelési adatai és a szénkutató fúrások becsült költségeinek alakulása (Püspöki 2016)

évtizedeiben megindultak a szisztematikus fúrások kutatások. Az 1950-es '60-as években az állami tervgazdálkodás csúcstermelését (max. ~35 Mt/év) láthatóan a mélyfúrásos kutatás alapozta meg (1. intenzív szénkutatói időszak).

Az 1960-as évektől a szénhidrogének irányába történő hangsúlyeltolódás a termelés hanyatlását és a kutatási intenzitás visszaesését eredményezte. Az 1970-es években bekövetkező olajárrobbanás újabb lendületet adott a szénkutatásnak (2. intenzív szénkutatói időszak), amit azonban csak a termelés átmeneti szinten tartása, majd kezdődő visszaesése kísért. (Ebben az időben indultak el a Központi Bányászati Fejlesztési Intézetben (KBFI) a szénelgázosításra vonatkozó első átfogó vizsgálatok, melyek időtartama közel másfél évtized 1977–1989). A rendszerváltás utáni csökkenő, ill. stagnáló termelés (a csúcstermelés mintegy 1/3-a) gyakorlatilag a meglévő kutatási eredményekre alapul.

Az 1970-es években kezdődő és az 1980-as években záruló 2. intenzív szénkutatói időszak a szénbányászati trösztök, ill. a szénkutatói tapasztalattal bíró kutató–fúró vállalatok részvételével vagy vezetésével zajlott. A kutatásokat kellő helyismeret alapozta meg, nagy fúrássűrűség és a fúrások, ill. kapcsolódó mélyfúrás-geofizikai vizsgálatok megfelelő technikai színvonala jellemezte. Az anyagvizsgálatok rendszerint 20–40 cm-es mintavételi sűrűség mellett, a szénbányászati trösztök több évtizedes gyakorlattal rendelkező anyagvizsgáló laboratóriumaiban készültek az érvényes szabványok előírásai szerint.

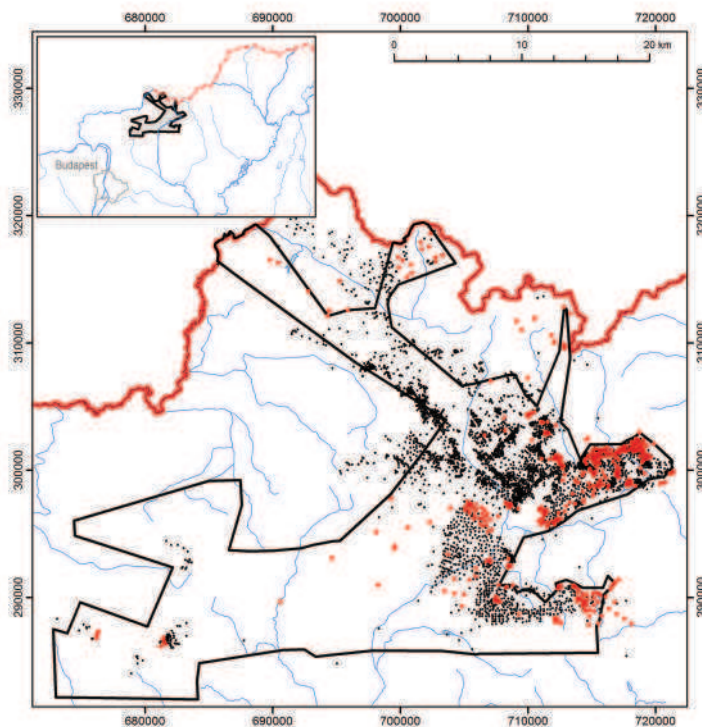
E kutatások közül a Borsodi-medencében (1.2. ábra) ki kell emelnünk időrendben Tardona-Kelet (GAÁL NÉ, VÁRHEGYI 1984), Putnok Bővítés (JUHÁSZ et al. 1984), Dubicsány ((GAÁL NÉ et al. 1987) területeket, ahol a részletes kutatás megtörtént és a kutatási zárójelentés is elkészült, valamint Sajómercsse II. területet, ahol a kutatás megtörtént, de a részletes kutatási zárójelentés már nem készült el. Sajómercsse II. terület kutatási anyagait – a következőkben bemutatásra kerülő módszertani alapon – az MFGI–MBFH együttműködés keretei között a 2010-es években feldolgozta, a földtani modell és a kapcsolódó



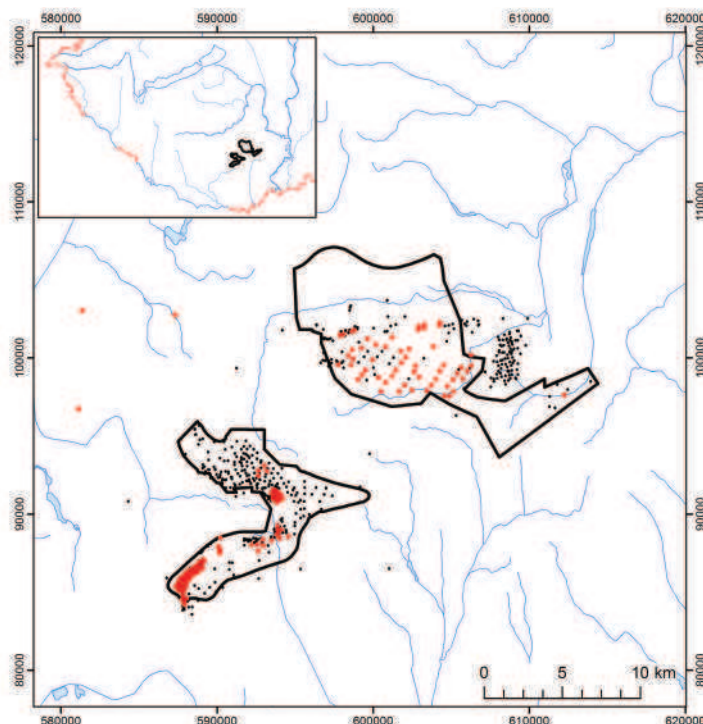
**1.2. ábra.** Szénkutató fúrások a Borsodi-medencében, pirossal az 1974 után mélyült fúrások

készletszámítás elkészült, az eredmények első bemutatása jelen tanulmánykötetben található. A Nógrádi-medencében (1.3. ábra) kiemelt jelentőségű terület Mizserfa II. (PALLA, SZEMEREY 1982).

A Mecsek területén (1.4. ábra) ebben az időszakban Máza-Dél–Váralja-Dél területen zárult szisztematikus felderítő fázisú kutatás (SZILÁGYI szerk. 1985). Máza–Váralja-Dél terület archív anyagainak újrafeldolgozását részben az itt kifej-

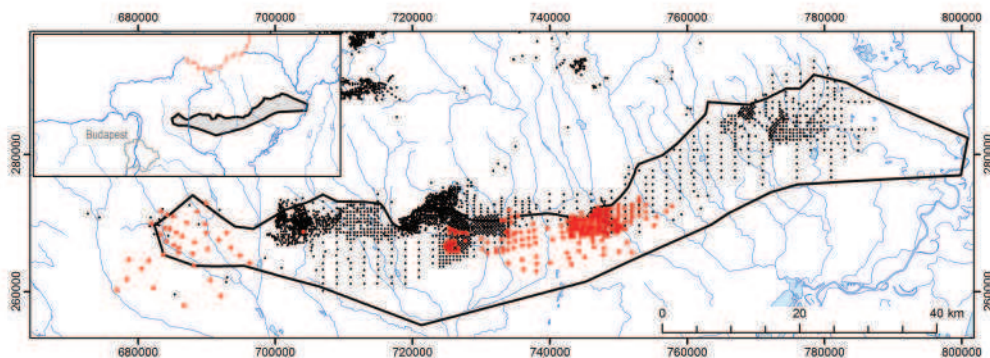


**1.3. ábra.** Szénkutató fúrások a Nógrádi-medencében, pirossal az 1974 után mélyült fúrások



1.4. ábra. Szénkutató fúrások a Mecsekben, pirossal az 1974 után mélyült fúrások

tésre kerülő kutatási módszertannak megfelelően a Calamites Kft. és a Debreceni Egyetem együttműködésben végezte el 2009-ben (PÜSPÖKI szerk. 2009). Váralja-Dél továbbkutatását UCG kutatás keretei között a Wildhorse Energy Ltd. végezte (MAJOROS et al. 2014). Az 1.5. ábra jól mutatja a lignitkutatás legutóbbi intenzív szakaszának területi elterjedését is.

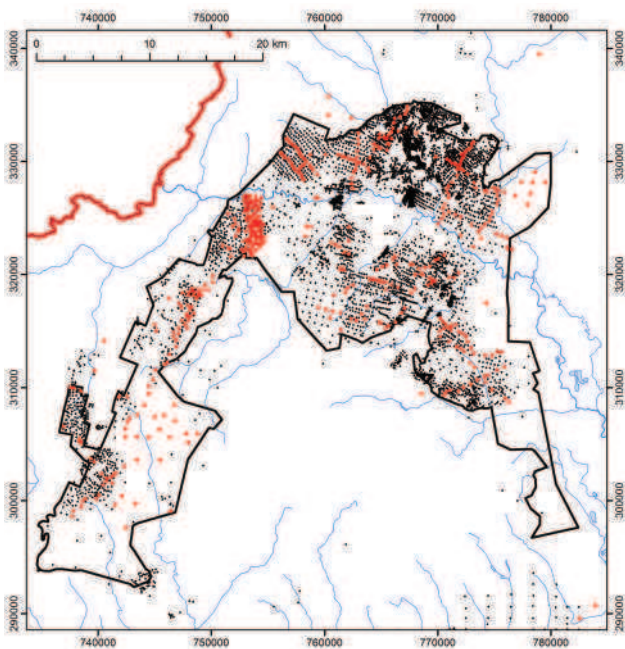


1.5. ábra. Szénkutató fúrások az észak-alföldi lignitterületeken, pirossal az 1974 után mélyült fúrások

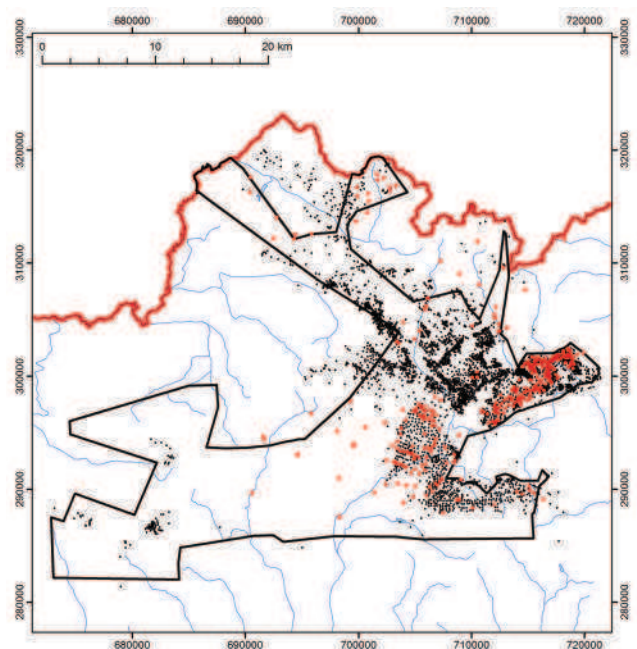
### A mélyfúrási dokumentációk műszaki tartalma és feldolgozottsága

A fentiekben megemlített kiemelt projektek archív kutatási anyagainak megítélése szempontjából fontos a második intenzív szénkutató időszakban megvalósult részletes kutatások objektumainak, az ezekből készült dokumentációknak, ill. a kutatási eredményeket tartalmazó zárójelentéseknek a műszaki tartalma. Különös jelentősége van ennek, ha valaki a hazai rendelkezésre álló szénvagyon megítélését ténylegesen, a rendelkezésre álló dokumentációk minőségének megítélése szempontjából kívánja elbírálni.

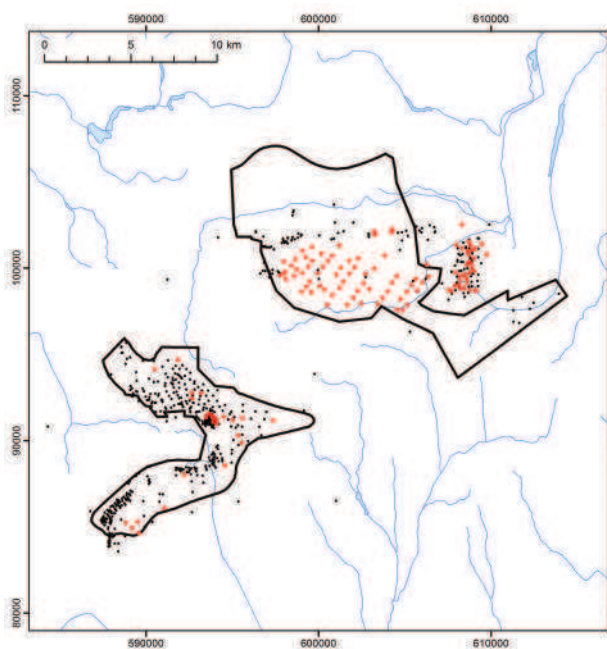
Az említett időszak hazai szénkutató fúrásai esetenként magfúrások, rendszerint (jobb) öblítéssel mélyült ún. rotary fúrások voltak, a telepharántolásokra azonban az előírások szerint minden esetben duplafalú magcső segítségével, folyamatos magvétellel került sor. Ennek elmaradása többnyire váratlan helyzetekből adódott (a várható rétegsortól való jelentős eltérés miatti telepelfúrás vagy technikai nehézségek), ilyenkor a fúrást csökkent értékűnek minősítették.



1.6. ábra. Digitálisan feldolgozott szénkutató fúrások a Borsodi-medencében



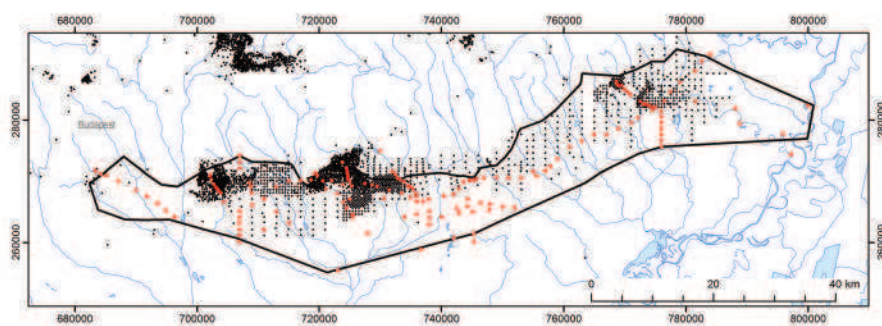
1.7. ábra. Digitálisan feldolgozott szénkutató fúrások a Nógrádi-medencében



1.8. ábra. Digitálisan feldolgozott szénkutató fúrások a Mecsekben és a Hidasi barnaköszén medencében

Egyedi kivétel ez alól a Máza-Dél–Váralja-Dél kutatás, ahol a rétegsor nagy része, de legalábbis a széntelepesség összletet tartalmazó jura rétegsor teljes egésze folyamatos magvétel mellett került harántolásra, s a fúrásokat dokumentáló geológusok a magokat nemritkán 10–20 cm-es felbontásban, összesen több mint 50 000 réteget írtak le.

A fúrásokról készült földtani naplók minimális tartalma: (1) a fúrás koordináta adatai; (2) a fúrás technológiai adatai; (3) a fúrás részletes földtani leírása rétegenként például a kőzet megnevezése, a rétegzés jellege, a szín, a látható fossziliák, a magon megfigyelhető szerkezeti elemek. A földtani leírás terjedelme jellemzően 10 (pl. Borsod) 250 oldal (pl. Mecsek) között alakul. Ezt követik (4) a földtani értékelés és a (5) telepharántolási jegyzőkönyvek. Kiemelt jelentősége van a rendszerint analóg módon, papír alapon rögzített (6) mélyfúrás geofizikai szelvényeknek (porozitás jellemzésére: SP, ellenállás, esetenként mikrolaterolog, ill. neutron porozitás, agyagtartalom meghatározására: természetes gamma, sűrűség meghatározására: gamma-gamma vagy kétszondahosszas kompenzált gamma-gamma szelvények, ezen kívül pl.



1.9. ábra. Digitálisan feldolgozott szénkutató fúrások az észak-alföldi lignitterületeken

mágneses szuszceptibilitás, a Mecsekben rendszerint lyukferdeség-, esetenként rétegdőlés-mérés). A készletszámítás szempontjából meghatározó melléklet (7) a szénminták MEO vizsgálati eredményei.

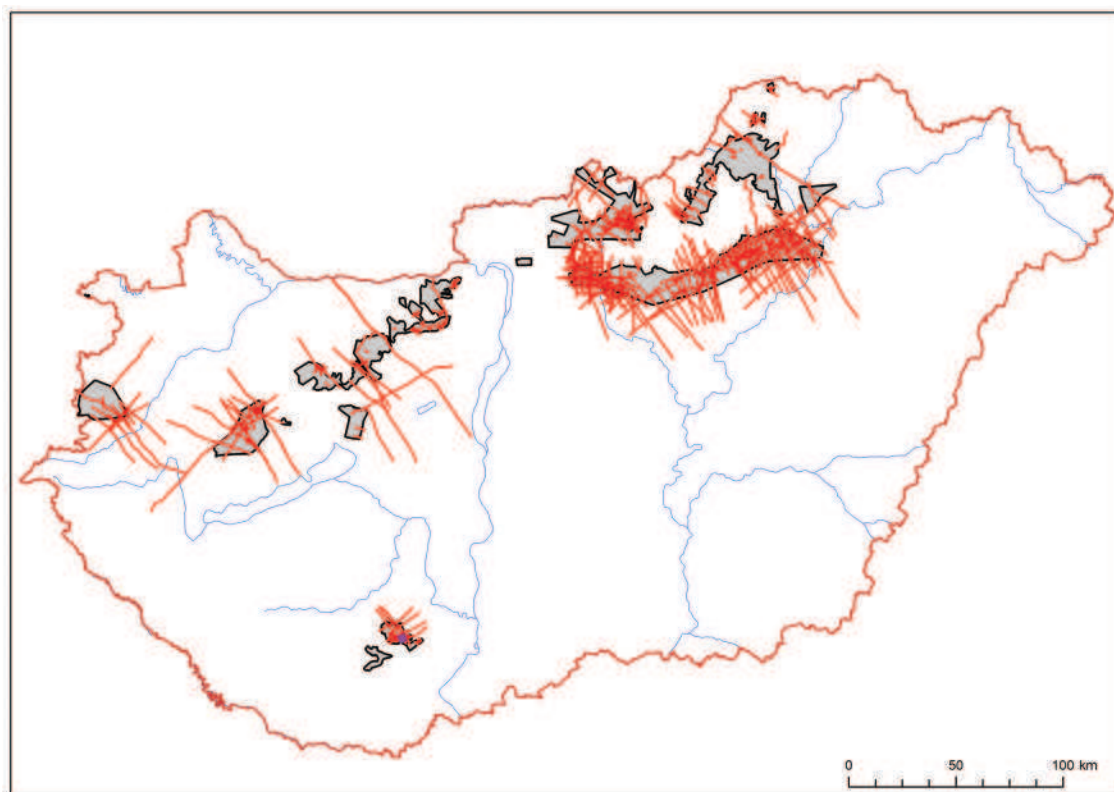
A fúrásnaplók esetenkénti többlettartalma: (1) meddő kőzetek szemcseösszetételi vizsgálati adatai, (2) karbonát-tartalom vizsgálatok, (3) makrofossziliák részletes leírása, (4) mikropaleontológiai vizsgálati eredmények, (5) kőzetfizikai vizsgálatok eredményei, (6) petrográfiai (pl. magmás vagy karbonátos kőzetek) vizsgálatok eredményei, (7) hidrogeológiai vizsgálatok eredményei (ha a fúrás megfigyelő kútnak lett kiképezve).

Tekintve, hogy jelenleg egyetlen zárolt hazai szénkutatás sincs, a szénkutató fúrások mélyfúrási dokumentációi papír alapon teljes körűen hozzáférhetők a Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattárban. Az elmúlt másfél évtizedben rendszerint regionális kutatási projektekhez, ill. egy-egy konkrét kutatási területhez kapcsolódva a mélyfúrási dokumentációk egy része digitalizálásra került. Ez jelentette (1) a szöveges fúrásnaplók rétegleírásainak táblázatos rögzítését, (2) a mélyfúrási geofizikai görbék vektorizálását, (3) a táblázatos pl. MEO adatok digitális rögzítését. A digitalizált szénkutató fúrások állománya jelenleg meghaladja az 1000-et. A Borsodi-medence területén 482 (1.6. ábra), a Nógrádi-medencében 352 (1.7. ábra), a Mecsek és előterein 134 (1.8. ábra), az észak-magyarországi lignitterületeken 150 (1.9. ábra).

### A hazai szénkutatások szeizmikus adatai

Az 1970-es 1980-as évek hazai szénkutatási gyakorlatában a szeizmikus kutatások alárendelt szerepet kaptak, mivel a kutatás célját jelentő készletszámítás alapvetően a sikeres telepharántolásokra és kapcsolódó MEO vizsgálatokra épül. A szeizmikus szerkezetkutatásokat nehezítette a nem ideális (túláságosan sekély) települési mélység, az erőteljes felszíni tagoltság és az erőteljes szerkezeti tagoltság. Az 1980-as években a MÁELGI hegyvidéki csoportjában elvégzett módszertani fejlesztések (kis terepi geofontávolság, slalom-line, magasabb frekvenciatartományok alkalmazása, feldolgozási eljárások fejlesztése) ellenére a készülő földtani kutatási zárójelentések a szeizmikus mérések eredményeit inkább kiegészítő adatként vették figyelembe.

A szeizmikus mérések kutatási zárójelentésekbe történő szerves integrálására a mecseki területen került sor. A 2009-es Calamites jelentésben az auditálást végző vállalat (G.E.O.S. Freiberg) szakmai irányításának megfelelően valamennyi a területre készült 2D reflexiós szelvény képezte a szerkezeti vonalak térképezésének alapját. A Wildhorse Energy Ltd. vialjai kutatásait pedig hazánkban először, a mélység-transzformációkat megalapozó VSP, a zavart település mérésére alkalmas 3D, ill. kapcsolódó, nagy felbontású 2D szelvényezések alapozták meg. A terepi felvételek és a feldolgozott szelvények többsége elérhető további feldolgozások és értelmezések lehetőségét biztosító formátumban (segy) (1.10. ábra).



1.10. ábra. Szénmedencéket érintő szeizmikus mérések nyomvonalai

## Az archív kutatási zárójelentések követelményrendszere

A második intenzív szénkutatás idején a kutatások a Központi Földtani Hivatal Elnökének (dr. Kertai György) „a földtani kutatási (összefoglaló) jelentés és készletszámítás elkészítésére” vonatkozó 1/1967 sz. utasításának hatálya alatt indultak, ill. kerültek lezárásra. A 18 oldalas utasítás részletesen tartalmazza a szükséges fejezetek és alfejezetek tagolását, tartalmi vonatkozásait, valamint a mellékletek (szelvények, térképek, táblázatok) tartalmi és formai előírásait, továbbá meghatározza a jelentés szöveges részének fejezeteit, valamint a mellékelendő alapadatok, térképes és rajzmellékletek listáját. A szöveges rész a terület ismert adataival indul, majd a kutatási eredmények bemutatása után rátér a tervezett bányászati tevékenység részleteire. A kötelező fejezetek a következők: (1) tartalom és összefoglaló; (2) az előfordulás általános adatai; (3) az előfordulás és közvetlen környezetének földtani leírása; (4) az elvégzett földtani kutató munkák; (5) a nyersanyag minősége és technológiai jellemzése; (6) bányaföldtani viszonyok; (7) készletszámítás (a kutatómunkák gazdasági eredményei); (8) gazdasági értékelés.

Az adattárakban megtalálható kutatási zárójelentések túlnyomó része az idézett elnöki utasításnak megfelelően készült. A mintegy 152 tartalmi tételt tartalmazó egykori elnöki utasítás és a ma érvényben lévő CRIRSCO nemzetközi szabványcsaládba tartozó JORC, ill. az európai PERC jelentési szabványok összevetésének legfontosabb tanulságai a következők. A CRIRSCO szabványcsalád a kutatási jelentések tartalmával kapcsolatban nem kötelezően betartandó előírásokat, sokkal inkább ajánlásokat fogalmaz meg. A jelentéseknek azonban minden olyan információt tartalmaznia kell, amely lényeges lehet a potenciális befektetők számára. A JORC és PERC szerint összeállított kutatási jelentések szemlélete eltér a KFH követelményekétől, az alábbi részekre tagolódik (1) általános rész (csak PERC esetén); (2) mintázási módszerek és adatok; (3) kutatási eredmények jelentése; (4) az ásványi nyersanyagvagyon jelentése; (5) az ásványi nyersanyagkészlet jelentése.

Ebben a rendszerben az aktuális kutatás részletein és a gazdaságos kitermelés sikerét befolyásoló tényezőkön van a hangsúly. Az előfordulás általános ismertetését csak a PERC írja elő, a földtani leírással kapcsolatban sincsenek megfogalmazva részletes elvárások. Annál lényegesebbek más tényezők, mint a mintázás, mintakezelés és -előkészítés körülményei, a reprezentativitás, a minőségellenőrzés, az adatkezelés, a modellezés bizonytalansága. A tisztán földtani jellegű KFH előírással ellentétben a PERC és JORC már kitér a hazánkban további vizsgálatok (pl. környezetvédelmi hatástanulmány) tárgyát képező környezetvédelmi kérdésekre, a hazai szénkutatás egyik legnagyobb kihívását jelentő piacfelmérésre és a döntéshozók számára gyakran meghatározó társadalmi tényezők ismertetésére is. A nemzetközi szabványoknak számos olyan eleme is van, amely kifejezetten a CRIRSCO rendszerhez kötődik (pl. a hites személlyel vagy a készlettel minősítéssel kapcsolatos kérdések), melyek az archív jelentésekben természetesen nincsenek meg.

Mivel a PERC és JORC szabványok tartalmi követelményei nem kötelező érvényűek, a szabványok alapelveinek betartásával, ill. a hiányzó fejezetek/tanulmányok pótlásával és a nem pótolható részek hiányának pontos meghatározásával az archív jelentések alapján is készíthető a nemzetközi szabványoknak megfelelő jelentés.

## Az Állami Ásvány- és Geotermikus Energiavagyon Nyilvántartás és térképi megjelenése

A Magyar Állami Földtani Intézet Gazdaságföldtani Osztályán 1974. január 1-én bevezetett, évenként frissített országos ásványvagyon-nyilvántartás (készletszámítási) tömbönként tartalmazza (egyebek mellett) hazánk szénvagyonát (SOMOS 1982). A nyilvántartásba kerülés feltétele évtizedeken át a fentiekben bemutatott KFH Elnöki Utasításnak megfelelően készült részletes kutatási zárójelentés volt, melynek elfogadása időszakonként változó (Központi Földtani Hivatal, Magyar Geológiai Szolgálat, Bányakapitányságok, Magyar Bányászati és Földtani Hivatal), de szakmai szempontrendszerében állandó hatósági kontroll mellett történt.

A jelenleg 8006 rekordon/soron (tömbönként) nyilvántartott hazai szénvagyon összesen 248 mérlegterülethez tartozik. Egy-egy rekordról (tömbről) akár 103 attribútum-adat állhat rendelkezésre. Oszloponként átlagosan 6156 adat (rekord) került rögzítésre. Ebből 10 oszlop a tömb azonosítására, 8 a települési viszonyokra, további 8 a művelési technológiára és a bányaveszélyekre vonatkozik. 19 oszlopban minőségi adatok, 12 mezőben a készletszámítási adatok és eredmények szerepelnek. A további oszlopok a termelvény várható minőségi és gazdaságossági mutatóit tartalmazzák.

Az Állami Ásvány- és Geotermikus Energiavagyon Nyilvántartáshoz 2012-ben a 248 mérlegterület térképi helyzetét bemutató térinformatikai állomány készült (PÜSPÖKI et al. 2016). A térképi adatbázis alapját 92 esetben bányatérképekről (M=1:2000, 1:5000) származó koordináták képezik, az országos áttekintéshez azonban 22 esetben regionális nyilvántartások térképei (M=1:10 000, 1:25 000), 95 esetben pedig a régi vagyonmérlegek térképmellékletei (M=1:100 000) szolgáltak alapul. 39 terület azonosítására csak országos áttekintésű térképeken (M=1:500 000) volt elérhető adat, ezek szerepe azonban a vagyon tekintetében alatta marad az 1%-nak.

A térinformatikai környezet lehetővé tette a mérlegterületeknek az állandó pillérrel *csökkentett* és tervezett hígulással *növelt* ún. „kitermelhető vagyonnal” súlyozott átlagértékek szerinti tematikus bemutatását és a mérlegterületek adatainak statisztikus értékelését egyaránt. Utóbbi alapja a tömb szintű nyilvántartás rekordjain szereplő kitermelhető vagyon össze-

sítése a skaláris változók (pl. súlyponti mélység, dőlés, telepvastagság, fűtőérték, hamutartalom, kéntartalom) értékeiből képzett intervallumok szerint.

A térinformatikai állomány és a statisztikai műveletek eredményeként szénmedencénként 19 paraméter térkép készült. Ezek rendre: az elsajátítás foka, a vagyon (földtani/kitermelhető) mennyisége, települési (súlyponti) mélység, vastagság, dőlés, közet hőmérséklet, fűtőérték, hamutartalom, kéntartalom, munkahelyi vízhozam, a regionális vízszint helyzetéhez viszonyított település, víztartó réteg vastagsága, víztartó réteg jellege, a (közvetlen) fedőközet típusa, a (közvetlen) fekvőközet típusa, a magasfedő típusa, mélyfekű típusa, kutatófúrások területi sűrűsége, természetvédelmi területekkel való fedettség mértéke. A mérlegterületek tematikus színezését biztosító numerikus értékek a mérlegterületet képviselő földtani tömbök értékeinek a vagyon méretével súlyozott átlagaként álltak elő. A fentiekben hivatkozott statisztikus értékelések pedig a súlyozott átlagok alapján színezett térképekhez kapcsolódóan jeleníthetők meg.

A térképi áttekintés befoglaló kereteit adó köszénmedencék lehatárolása a következő állományok segítségével készült: (1) medencebelső irányban a telepátírási adatok országos adatbázisa (az 1,2 m-nél vastagabb köszéntelepet harántoló fúrások számbavétele, (2) medenceperemek irányában Magyarország M=1:500 000-es léptékű digitális földtani térképei (prekainozoos aljzat, preneogén fekvő).

## A nyilvántartás és a nemzetközi minősítő rendszerek viszonya

Több évtizedes törekvés a hazai ásványvagyon-nyilvántartás adatainak illesztése a nemzetközi osztályozási rendszerekhez. A nyilvántartás létrehozásának célja azonban elsősorban a megkutatott hazai vagyon és az éves hazai termelés készletszámítási tömböként történő rendezett nyilvántartása és az éves ásványvagyon-változás mérlegszerű bemutatása, nem célja ugyanakkor a beruházói döntéseket támogató nemzetközi minősítő rendszerek (UNFC, PERC, JORC) elvárásainak megfelelő adatközlés. A nemzetközi nyilvántartási rendszerekkel való összevetés alapjául az ENSZ által 2009-ben frissített UNFC rendszert tekintettük (1.1. táblázat). Az így elvégzett osztályozás megteremtheti a közös nevezőt a hazai nyilvántartás és az egyéb (pl. CRIRSCO, orosz) osztályozási rendszerek között.

1.1. táblázat. Nemzetközi osztályozási rendszerek párhuzamosítása (HORVÁTH et al. 2016)

	UNFC	CRIRSCO	Magyar (orosz)
111	Kereskedelmi projekt	Bizonyított készlet	Ipari vagyon feltárt telepei
112		Valószínűsített készlet	Ipari vagyon becsült telepei
221	Potenciálisan kereskedelmi projekt	Részletesen megkutatott vagyon	A, B, C1 – 1–3. komplexitási csoport
222		Felderített vagyon	C1 – 4. komplexitási csoport, C2
223		Következtetett vagyon	D1
334	Kutatási projekt	Kutatási eredmények	-

A UNFC rendszer háromtengelyű értékelés, ún. E (Economy), F (Feasibility) és G (Geology). Az értékelés sorrendjében a G tengely megfeleltethető a hazai nyilvántartás A, B, C1, C2 kategóriáival (1.2. táblázat). Ez a mutató kutatási zárójelentésen alapul, ugyanakkor nem alkalmas országosan egységes megítélés kialakítására. A jellemzően bányabeli kutatásokkal feltárt mecseki szénvagyon esetében például kisebb fúrásűrűség mellett, rétegtanilag azonosíthatatlan telepek vagyona is kategorizált vagyonként kerülhetett nyilvántartásba, míg a Borsodi-medencében ez minden esetben csak azonosított telepekben történt meg. A probléma több módon is kezelhető. (1) Az ismeretességi érték kombinálása földtani vagyon/fúrásszám db mutatóval. Ez a megközelítés a rendelkezésre álló adatbázisok alapján elvégezhető. (2) Az ismeretességi érték kombinálása a készletszámítás módszertanából levezethető mutatóval. Ez nem oldható meg automatikusan, a zárójelentések egyenkénti értékelését igényli. (3) Az ismeretességi érték tételes felülvizsgálata földtani kutatási tevékenység keretében.

Az F tengely kifejezhető az elsajátítás nyilvántartásban rögzített mértékével (1–9) (1.3. táblázat), az E tengely ugyanakkor csak a fajlagos költségek és kereskedelmi árak viszonylatából vezethető le, ezzel kapcsolatos adatok viszont a hazai nyilvántartásban 2007 óta szakmailag indokolt módon nem szerepelnek.

Az említett nemzetközi minősítő rendszerek adatigénye meghaladja a Nyilvántartás lehetőségeit (pl. mintavételi és elemzési eljárások bemutatása, készletszámítási módszerek dokumentálása). A nemzetközi besoroláshoz a

1.2. táblázat. A hazai nyilvántartásban szereplő ismeretességi kategóriák és a UNFC G tengely értékeinek megfeleltetése (PÜSPÖKI et al. 2016)

Mérleg (Kategória)	UNFC_G
A	1
B	1
C1 (a: inhomogenitás<150)	1
C1 (b: inhomogenitás > 150)	2
C2	2
D1 (mérlegben ilyen nem szerepel)	3
D2 (mérlegben ilyen nem szerepel)	3
D3 (mérlegben ilyen nem szerepel)	4

**1.3. táblázat.** A hazai nyilvántartásban szereplő elsajátítási kategóriák és a UNFC F tengely értékeinek megfeleltetése (PÜSPÖKI et al. 2016)

Mérleg (Elsajátítás)	UNFC_F
1. Le nem zárt felderítő kutatás	4
2. Le nem zárt előzetes kutatás	4
3. Lezárt előzetes, le nem zárt részletes kutatás	4
4. Lezárt részletes kutatás (határozat)	3
5. Dokumentált bányalétesítési terv	3
6. Épülő bánya (részben feltárt)	2
7. Működő bánya	1
8. Leállított (szünetelő) bánya	1
9. Felhagyott bánya	2 (újrainvitáshoz modellezés szükséges)

Nyilvántartás adatainak konverziója így nem elég, az ebből levezethető eredmények egyrészt kritika tárgyát képezik, másrészt nem helyettesíthetik a végleges besoroláshoz szükséges eseti vizsgálatokat. A Nyilvántartás adatainak a nemzetközi minősítő rendszerek szerinti átértékelése ezért nem szolgálhatja a befektetői réteg célirányos tájékoztatását, de lehetővé teszi reális ásványvagyon-gazdálkodási célok megfogalmazását, ill. a célok eléréséhez szükséges tevékenység azonosítását.

### Magyarország interaktív szénkatasztere

A digitális szénkataszter célkitűzései (1) az államigazgatás különböző szintjein dolgozó döntés-előkészítők és döntéshozók tájékoztatása a gazdaság- és régiófejlesztés szempontjainak megfelelően; (2) beruházói döntések támogatása a terület/projektazonosítás elősegítésével; (3) a földtani és műszaki földtani kutatásban érintett szakértők tájékoztatása; (4) a szén energetikai és vegyipari felhasználási lehetőségeivel foglalkozó szakemberek tájékoztatása.

A célszerű megoldás egy olyan központi adatrendszer létrehozása volt, amely lehetővé teszi a már lezajlott vagy a későbbiekben induló/lezáruló regionális vagy tematikus terepi vagy laboratóriumi kutatások új eredményeinek közzétételét a korábbi eredmények kontextusában. Az adatrendszer ennek megfelelően numerikus alapú relációs adatbázisok és vektoros/raszteres grafikai állományok GIS környezetben összerendezett együttes állománya. A relációs adatkapcsolatokat az objektumok jellegéből adódó természetes kapcsolómezők, a fájlrendszerek kapcsolatát hiperhivatkozások biztosítják.

A létrehozáskor felhasznált legfontosabb állományok: (1) Az Állami Ásvány- és Geotermikus Energiavagyon Nyilvántartás, (2) A GeoBank mélyfúrási adatállománya kapcsolódó projekt szintű adatbázisokkal, (3) Az országos geofizikai adatrendszer, (4) Magyarország kereskedelmi szénfajtáinak katasztere (KOVATSITS, WOLF 1980), (5) kiegészítő külső adatrendszerek, (6) kiemelt projektek térképi állománya, és 3D modellezési eredményei. Ezek közül az Állami Ásvány- és Geotermikus Energiavagyon Nyilvántartás főbb elemeit már bemutattuk.

A GeoBank jelenleg mintegy 30 000 szénkutató fúrás metaadatait (X, Y, Z koordináták, mélység, befejezés éve, elvégzett mérések, anyagvizsgálatok típusa) tartalmazza. Valamennyi fúrás megjelenik a kataszterben, a feldolgozottság szerint eltérő megjelöléssel. Ehhez kapcsolódóan több célprojekt metaadatai is megjelennek.

Telepharántolási jegyzőkönyvek országos adatbázisa (SZÜV adatbázis). Ebben az állományban a szénkutató fúrások telepharántolási adatainak digitális rögzítése történt meg. Az adattábla tartalmazza a szénrétegek pontos mélységét/vastagságát, alapvető kőzettani megnevezését. Nem összesít telepeket és nem tartalmaz telepszámozást. Ennek alapján készültek a kataszterben a széntelepek formációk talpmélység és vastagságviszonyait bemutató térképek. Vastagság-adatként fúrásoként a legalsó és legfelső szénréteg távolsága, talpmélységadatként a legalsó szénréteg alja szolgált. A vastagság- és talpmélységadatokon normálérték-transzformáció készült, az adatok közötti térbeli kapcsolat vizsgálata variogram segítségével történt, majd a variogram modell paramétereinek felhasználásával krigelés készült a szénmedence 100×100 m-es cellákra osztott területére. Végül megtörtént a kapott értékek visszatranszformálása. Az így kapott térképek a széntelepek összlet vastagságának és talpmélységének várható értékét mutatják be a szénmedence 100×100 m-es terület egységeire vonatkozóan. A térképek készítése medencénként történt, figyelembe véve a medence 3 km-es környezetében elhelyezkedő fúrások adatait is. A kataszterben a gridek 10, illetve 25 m-es szintközökkel, poligonokként jelennek meg.

A rétegtani (litosztratigráfiai) szempontból értékelt fúrások adatbázisa az 1999-ben MÁFI–MOL szerződés keretében indult, majd számos intézeti projekt keretében mindmáig folytatott formáció szintű értékelés során átértékelt fúrások adatait tartalmazza. Az adattábla tartalmazza a litosztratigráfiai egységek mélységét és megnevezését, de nem tartalmaz a széntelepekre vonatkozó információkat.

A 2012 óta szisztematikusan digitalizált szénkutató fúrások adatbázisa az utóbbi 6 évben intézményi keretek között zajló digitalizálások és értékelések kapcsán feldolgozott fúrások adatállománya. Az ezek keretében készült relációs adat-

bázisok tartalmazzák a digitalizált mélyfúrások geofizikai adatait, szöveges anyagait, esetenként MEO vizsgálati eredményeit és a rétegtani (szekvencia sztratiográfiai) vonatkozásban is értékelt fúrások nagy felbontású rétegtani vizsgálati eredményeit.

Az országos geofizikai adatrendszerhez kapcsolódóan a felszíni méréseken alapuló geofizikai módszerek mérési pontjai, ill. az ezekből készült országos vagy regionális feldolgozások eredményei tekinthetők meg. Ezek között szerepel (1) gravitációs mérések, (2) mágneses mérések, a szénmedencék területét érintő 2D szeizmikus mérések nyomvonalai és 3D szeizmikus adattömbök határoló poligonjai.

Az utóbbi évek részletesen fúrásfeldolgozásai nyomán új elemként jelenik meg a nagy felbontású karotázs-korrelációk szelvényhálózata. Ennek oka, hogy a rendszerint felszínközeli helyzetben (100–400 m) található, szerkezetileg összetört széntelepes rétegsorok szeizmikus kutatás szempontjából nem ideális képződmények, ugyanakkor a fúrássűrűség lehetővé teszi a szeizmikus szelvényezés vertikális felbontásával (20–25 m) megegyező szisztematikus mélyfúrás-geofizikai korrelációk elvégzését. E szelvények részletes információt nyújtanak a rétegsor vetrikális és horizontális változásairól, a telepek számáról és fekvő-fedő viszonyokról. Az elbírált rétegtani beosztással készült szelvények megtekinthetők a kataszterben.

Magyarország kereskedelmi szénfajtáinak katasztere a KBFI által 1980-ban közzétett kereskedelmi széntermékek (KOVATSITS, WOLF 1980) teljes adatállományát tartalmazzák digitális formában. A kataszter célja a hazai szénvagyon komplex bemutatása volt, mely az energetikai szénhasznosításhoz szükséges ismereteken túl alapot nyújt a vegyipari alkalmazások kutatásához/tervezéséhez. A kataszteri vizsgálatok kiterjedtek a laboratóriumi körülmények között véghezvihető összes szén-, és hamuelemzési jellemző meghatározására, ill. az azokból számítható minőségi paraméterek megadására. A mintanyagot a kereskedelmi széntermékek 3–3 hónapos időszakot felölelő átlagmintái szolgáltatták. Az eredmények a kataszterben a szénelőkészítő helyekhez, ill. esetenként a szénelőfordulásokhoz kapcsolva jelennek meg, több témakörben: (1) kereskedelmi besorolás alapadatai, (2) általános jellemzők, (3) kéntartalom-viszonyok, (4) lepárlási jellemzők, (5) hamutartalom-jellemzők, (6) lepárlási gázok összetétele.

A bányászattal kapcsolatos államigazgatási és beruházói döntések számára nem csak a szénvagyon földtani és minőségi viszonyai lehetnek érdekesek, hanem a (1) közigazgatási felosztás, (2) településszerkezet, (3) vonalas infrastruktúra, (4) felszín alatti létesítmények, (5) hidrológiai és hidrogeológiai viszonyok, (6) természetvédelmi kötöttségek. Az ezek bemutatását szolgáló adatok külső eredetű állományokból származnak.

A kiemelt projektek részletesebb bemutatása a projektazonosítás és stratégiai döntés-előkészítés szempontjából a kataszter legfontosabb része. Célja elsősorban nem adatközlés, hanem a terület földtani viszonyainak, a ráépülő előzetes bányatervek alapjellemezőinek, ill. a rendelkezésre álló adatok feldolgozási szintjének és értékelési módszereinek bemutatása. Áttekintően mutatja be a projekt szempontjából meghatározó eredményeket (földtani viszonyok, művelési tervek, vagyon, kapacitás, várható élettartam, foglalkoztatottak létszáma), nem közli az üzleti modellek szempontjából érzékeny pénzügyi-gazdasági mutatókat (beruházás, működési költségek, megtérülés, önköltség).

A kataszter egyszerre tesz lehetővé tetszőlegesen változtatható térképi áttekintést, területi, ill. tematikus keresési alkalmazásokat. A felület hatékonyabb alkalmazása érdekében a kataszterben az állományoknak két csoportja létezik: (1) lekérdezés (területi és/vagy tulajdonság szerinti gyűjtés) lehetőségeivel rendelkező aktív adatok, (2) fedvényként bekérhető (passzív) adatok. Aktív adatok (1) a nyilvántartási területek adatai, ill. (2) a kutatólétesítmények (fúrás, szeizmikus nyomvonal) metaadatai. Passzív adatok (1) geofizikai alaptérképek, (2) áttekintő földtani térképek, (3) széntelepes formációk fekvő- és vastagság térképei, valamint a (4) kiegészítő külső adatrendszerek (topográfia, vízföldtan, természetvédelem). A passzív adatok egy része (pl. Bouguer-anomália,  $\Delta Z$ , talp- és vastagságtérképek) csak képi információt tartalmaz, más része (pl. vízföldtani objektumok) adatai megtekinthetők, de jogosultsági szempontok miatt nem gyűjthetők.

A térképi megjelenés adattartalmát ArcGIS környezetben megszokott interaktív kezelőfelület teszi lehetővé, a lekérdezéseket interaktív térképi eszközök és táblázatos megjelenítéshez rendelt, felhasználói szempontok szerint variálható lekérdező panel teszi lehetővé, az eszközök tetszés szerinti kombinációjával.

### A készlet – ipari vagyon meghatározásának feltételei

A perspektivikus mélyművelésekhez rendelkező mérleg szemléletű *készletek* ismeretének hiányában nincs lehetőség ideálisan méretezett feldolgozó infrastruktúra tervezésére és erre alapuló tőkebevonásra. Egy ismert, megkutatott földtani vagyon mérleg szemléletű *készletbe* sorolása azonban három ismereti szintet feltételez: 1. földtani megismerés, 2. művelési elgondolások – fajlagos költségek, 3. piaci elképzelések megléte – kereskedelmi lehetőségek azonosítása. Egy kereskedelmi projekt perspektíváinak meghatározása során mindhárom témakört vizsgálni kell.

Mint a fentiekben bemutattuk, az 1970-es 80-as évek hazai szénkutatásai idején több százmillió tonna részletesen (Borsodi-medence) ill. felderítő fázisban (Mecsek) megkutatott szénvagyonról készült a mai nemzetközi elvárásokat is elérő vagy azt megközelítő színvonalú kutatás és földtani zárójelentés.

A termelési költségek és éves kapacitások meghatározása műveléstervezést feltételez. Egy naprakész bányamodellnek a feltárási és művelési terv ismeretében tartalmaznia kell a *beruházási költségeket*, a fajlagos *termelési önköltséget*, ill. a

várható létszám és üzemelési költség adatait. Azokkal a gazdasági adatokkal, amelyek a bezárt bányákra vonatkozóan rendelkezésünkre állnak, nem mérhetünk egy mai művelésbe kerülő bányát. A leépítés időszakának magyar bányászata nem vethető össze a világ élenjáró műszaki színvonalával. Ez a költségek indokolatlan nagyságát és a hatékonyság alacsony szintjét eredményezné. Új bányát csak élenjáró technológiai felszereltséggel, nagy hatékonyságú technológiával lehet tervezni, ami változást eredményez az önköltségben. Az önköltségek mai árak és technológiai lehetőségek mellett történő meghatározása csak a bánya előzetes megtervezésével lehetséges.

A bányatervezés eredményeként megszülető a *potenciális készlet*-adatok képezik a feldolgozó üzemek létesítőivel történő tárgyalások alapját. Megfelelő technológia kiválasztásán alapuló, sikeres megállapodások esetén válhat a potenciális készletekből projektek alapját jelentő *készlet* (korábban *ipari vagyon*). Ezen a téren a 2013–2016 között a tiszta széntekológiák terén bekövetkezett világméretű fejlődés (pl. Kína, Japán), ill. az energiaárak és a környezet-, klímavédelmi előírások szigorodásával mindinkább a szén vegyipari hasznosításának számbavétele válik indokolttá.

A vegyipari tiszta széntekológiák sok évtizedes múltja és intenzív fejlődése következtében mára a technológiai lánc minden egyes elemét (szénelőkészítés, gázosítás, gázösszetétel optimalizálása, gáztisztítás, vegyipari feldolgozás) több alternatív működő, vagy a fejlesztés különböző szintjén (laboratórium, kisüzem, félüzem) álló külföldi, ill. hazai fejlesztés reprezentálja. Ezek azonosításának feltételei: (1) a hazai nyersanyagbázisra való adaptálhatóság, (2) a költséghatékonyság előzetes becslése, (3) a kompetitív technológiák kockázatelemzése. Mindez elengedhetetlen a nemzetközi tárgyalópartnerek azonosítása, a tárgyalási stratégia kialakítása és a hazai fejlesztések támogatási formájának tervezése szempontjából.

A kitermelés és előkészítés várhatóan magas költségei (mélyművelés, víztelenítés, sújtólégvesztély, szerkezeti tagoltság, magas hamutartalom, magas kéntartalom) mellett a hazai szénvagyon biztonságos és gazdaságos (~fenntartható) művelésbe vonása feltehetően megköveteli a megmozgatott anyagtömeg teljes körű, minden irányú felhasználásának számbavételét.

PÜSPÖKI ZOLTÁN, FOGARASSY-PUMMER TÍMEA, CSERKÉSZ-NAGY ÁGNES, MARKOS GÁBOR

## Az innovatív módszerek hiánya a hazai szénkutatásban

Az intenzív hazai szénkutatás terepi korszaka az 1980-as évek közepére lecsengett, a zárójelentések 1986-ig rendre elkészültek, így az 1980-as és különösen az 1990-es években elterjedő tudományos eredmények értelemszerűen nem épülhettek be az elkészült anyagokba. Az 1980-as évek a szénképződési környezetek *fáciestani* megismerése terén jelentős előrelépést hoztak, az 1990-es évek pedig a széntelegeket is beágyazó törmelékes üledéksorok szempontjából a földtani megismerés új korszakát jelentették. A leginkább a szénhidrogénipar keretei között fejlődő szedimentológia és szekvenciasztratigráfia az utóbbi három évtizedben a földtani és geofizikai adatok együttes értékelésének új dimenzióit nyitotta meg, ami a korábbi lényegesen meghaladó horizontális és vertikális felbontási lehetőséget eredményezett.

Az 1970-es és 1980-as évek hazai mélyfúrási és kapcsolódó mélyfúrás-geofizikai gyakorlata (geofizikai görbék jellege, felbontása) ugyanakkor megfelelt a későbbi szekvenciasztratigráfiai kutatások elvárásainak, így a nagy tömegben rendelkezésre álló archív dokumentáció új szemléletű utólagos értékelésének nincs akadálya.

A szeizmikus szekvenciasztratigráfia elsősorban a fluidumkutatásban vált elterjedtté. A szilárd üledékes képződményt célzó szénkutatás esetében a szemléletmód elterjedésének több akadálya van. (1) A szénkutatás célobjektumai – különösen hazai szénmedencék esetében – rendszerint 2–3, legfeljebb 5 m vastag széntelegek. E kifejlődési vastagság kimutatása nagyfrekvenciás szeizmikus méréseket igényel, melyek esetében a hazai szénkutatásban irreleváns kedvező esetektől eltekintve (pl. vízi szeizmika) a képalkotás rendszerint gyengébb (korlátozott behatolási mélység, kedvezőtlen jel/zaj viszony). (2) A művelésre alkalmas széntelegek rendszerint a felszín közelében, de még mélyművelések esetén is viszonylag kis, néhány száz méteres mélységben települnek, ez a kutatási mélység a mérések költséghatékonysága szempontjából nem kedvező. (3) A szeizmikus vizsgálatok széntelegek esetében – szemben a szénhidrogénekkel – nem szolgáltatnak bemenő adatot a készletszámításokhoz, szerepük elsősorban a szerkezeti viszonyok tisztázásában van.

A következőkben tematikus bontásban mutatunk be néhány olyan szempontot és példát, melyek indokolják az itt említett megközelítésmódok körültekintő adaptációját esetleges jövőbeni szénkutatások, ill. kapcsolódó archív adatfeldolgozások tervezésekor.

## Széntelegek korrelációja és térképezése

### *Telepkorreláció mélyfúrás-geofizikai szelvényeken*

A szénbányászat célja alapvetően művelő (megfelelő vastagság és fűtőérték) telepek lefejtése, így egy eredményes szénkutatás kiinduló feltétele a sikeres telepazonosítás és teleptérképezés. Mivel a széntelegek rendszerint tengerparti környezetben lerakódott ciklikus, azaz vertikálisan ismétlődő üledéksorokban jelentkeznek, az üledékciklusok ismétlődésével maguk a széntelegek is ismétlődnek. A nógrádi szénteleges összlet például közismerten három- (valójában négy-) telepes, a Borsodi-medence szénteleges összlete 3–5 számozott telepet hordoz, de ez a „kísérő” telepekkel együtt eléri a 9-et. A Mecsek esetében a telepek száma 20-at is meghaladja, de a szerkezeti zavarok miatt egyes esetekben (pl. Máza M–15 fúrás) a telepharántolások száma megközelíti a 100-at.

A hazai szénkutatási gyakorlatban korábban a telepazonosítás rendszerint közvetlen telepkorrelációval történt, amely elsősorban a széntelegek relatív sorrendjén, egyedi sajátosságainak (vastagság, szénközettani karakter, indikátor rétegek ún. fekü–fedő kövületepadok, tufabetelepülések) felismerésén, a fekü–fedő viszonyok litológiai leírásán, ill. előremutató esetekben (pl. SZILÁGYI szerk. 1985) a széntelegek egyedi karotázsképén alapult. Ez sok esetben

megbízható eredményt hoz, markáns telepindikátorok hiánya, vagy túl nagy telepszám esetén azonban nagy bizonytalansággal terhelt.

Magukat a széntelepes összeteteket a hazai szénkutatói gyakorlat hagyományosan egyben kezeli (pl. Mecseki Kőszén Formáció, Salgótarjáni Barnakőszén Formáció) és bár mindkét említett esetben történtek előremutató kezdeményezések elsősorban litológiai/fáciestani alapon történő tovább tagolására (Mecseki Kőszén Formáció ún. „apróciklusai” in: SZILÁGYI szerk. 1985, Salgótarján Barnakőszén Formáció tagozatai és rétegtagjai), ezek nem épültek be az ipari kutatás szelvény- és térképszerkesztési gyakorlatába, még kevésbé telepkorrelációs és ezzel készletszámítási protokolljába.

A szekvenciasztratigráfia áthidalja a közvetlen telepkorreláció és a formáció szintű rétegtani felbontás közötti hézagot úgy fogalmi rendszerében, mint gyakorlatában, mivel elsősorban „a rétegsorokban (itt értsd: formációkban) megjelenő, az üledékbehordódás (*sediment supply*) és az üledékképződés számára rendelkezésre álló kitölthető tér változásai által létrehozott ciklusos üledékmintázatot elemzi”. A kapcsolódó fogalomrendszer részletes leírása megtalálható SZTANÓ (1998) magyar nyelvű áttekintésében.

A szekvenciasztratigráfiai elemzések egyik legfontosabb adatrendszerét a rendszerint 20–30 m felbontású szeizmikus szelvények és az 5–10 cm (!) felbontású mélyfúrás-geofizikai szelvények jelentik. A szerkezetileg tagolt, rendszerint nem túl nagy mélységű hazai széntelepes rétegsorok esetében a szeizmikus szelvények alapján történő szisztematikus rekonstrukcióra csak kivételes esetekben adódik lehetőség.

Ezzel szemben a nagy fúrássűrűség és a kiváló mélyfúrás-geofizikai szelvények alapján a széntelepes rétegsorok rendszerint gond nélkül oszthatók 20–30 m vastagságú, „*transzgressziós felületekkel lehatárolható progradációs üledékciklusok*”-ra (POSAMENTIER, ALLEN 1999 szerint ~ paraszekvencia). Ezek az üledékciklusok többnyire már csak néhány széntelep tartalmaznak, így a ciklusazonosítás eredményeként a telepkorreláció is nagy biztonsággal elvégezhető.

A 2000-es évektől hazai szénmedencékre vonatkozóan több tudományos értékelés született elsősorban mélyfúrás-geofizikai adatokra alapozva (pl. ÁDÁM 2006a, b, PÜSPÖKI et al. 2009, 2012, 2017). Nagy felbontású karotázskorreláció igazolta pl. a Nógrádi-medencében Mizserfa II. területén a legfelső, helyenként tévesen I. telepként lefejtett „0” telep létét, ill. eróziós lepusztulását (4.31. ábra). Ugyancsak karotázskorrelációval vált kimutathatóvá a Kelet-Borsodi-medencében a IV. telep fölötti regionális erózió és a II. telep fölötti parti hatások Edelény térségében (3.40. ábra). Karotázskorreláció tette lehetővé a soktelepes Máza–Váralja–Déli kifejlődés belső tagolását is (4.41. ábra), ami a szinttérképek szerkesztésének alapfeltétele volt.

A megfelelő dátumvonal szerint szerkesztett regionális karotázskorrelációk a szénmedencékre vonatkozó regionális rekonstrukciók ideális referenciaszelvényei. Éppen olyan jó, 20–30 m-es rétegtani felbontású képet adnak az egyébként szerkezetileg tagolt sekély szénmedencékre vonatkozóan, mint a regionális szeizmikus mérések az *in situ* helyzetű üledékes nagymedencék esetében. A Nógrádi- és Borsodi-medencében végzett karotázskorrelációk alapozták meg az észak-magyarországi neogén szénmedencék rétegtani felülvizsgálatát (3.37. ábra) is.

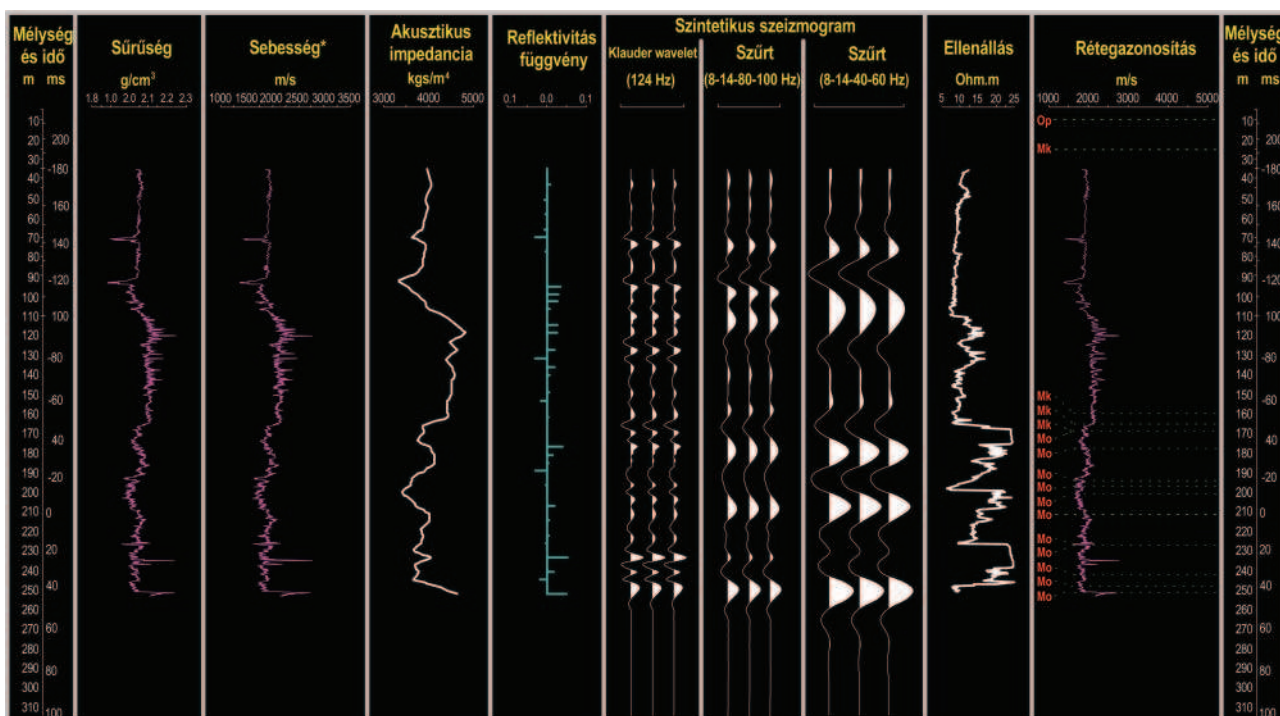
### *A telepfolytonosság kimutatása szeizmikus szelvényeken*

Szemben a telepkorrelációval, a telepfolytonosság kimutatásának geofizikai lehetőségei között már fontosak a nagy horizontális felbontású szeizmikus módszerek. A potenciális reflektorok azonosításakor azonban szem előtt kell tartani azt a tényt, hogy a szeizmikus szelvények korlátozott vertikális felbontóképessége (általában néhány 10 m) és a homok(kő) – aleurolit – szenes aleurolit – szén sűrűségkontrasztok következtében elsődlegesen a széntelep beágyazó, egymásra települő progradációs üledékciklusok homok–agyag határai jöhetnek számításba. Ez különös jelentőséget ad a szeizmikus szelvények és mélyfúrás geofizikai korrelációk együttes értelmezésének.

Az üledékes ciklushatárok, különösen a progradációs ciklusok elöntési felszínei, egyszerre biztosítják a szeizmikus reflexiók kialakítása szempontjából meghatározó sűrűségkontrasztot és a kimutatás szempontjából ugyancsak meghatározó folytonos megjelenést. A Homokterenyé Ht–218 fúrás (Nógrádi-medence – Mizserfa II. terület) mélyfúrás-geofizikai adatai alapján készült szintetikus szeizmogrammon (2.1. ábra) jól látható, hogy a fúrás alsó részén az ellenállás szondán kirajzolódó, három, egyenként fölfelé durvuló, progradációs üledékciklus valamennyi frekvencián jól követhető reflexiók lehetőségét hordozza.

A mélyfúrás-geofizikai szelvényeken azonosítható, így karotázs korreláción térképezett, genetikailag értelmezett elöntési felszínek és a potenciális reflektorok ennek megfelelően nagy valószínűséggel egyeznek meg. Ennek a szénkutatásban különös jelentősége van, mivel a széntelepek rendszerint éppen e jól azonosítható transzgressziós eseményekhez (elöntési felszínekhez) kapcsolódnak.

A fenti egyezések eredményeként (1) a reflektorok jól látható szakadása megbízhatóan jelzi a telepfolytonosság hiányát is, ugyanakkor (2) egy jól követhető folytonos reflexió nem igazolja a telepfolytonosságot. Ha a telep ősföldrajzi (fáciestani) okok miatt elvékonyodik, vagy fokozatosan elmeddül (fűtőértéke leromlik) az a szeizmikus szelvényeken nem észlelhető, s bár feltehetően meglátszik a (megfelelően hitelesített és összehitelesített) mélyfúrás geofizikán (ellenálláscsökkenés, a sűrűség növekedése), bizonyosan csak a telepharántolások anyagán végzett makroszkópos leírás és a mintákból készült laboratóriumi elemzések alapján határozható meg.



2.1. ábra. Szintetikus szeizmogram a Homoktereny Ht-218 fúrás rétegsorán (Mizsefa II.) (LandMark)

\* a sebesség a sűrűség adatokból számítva

## Szerkezetkutatás

### *A szerkezeti jelleg meghatározása szeizmikus adatok alapján*

A korszerű szénkutatás fontos követelménye a telepes összetételben jelentkező szerkezeti zavarok jellegének minél pontosabb tisztázása, s ennek alapvető eszköze a szeizmiika. Példaként mutatunk be olyan szelvényértelmezéseket, melyek világossá teszik a Máza–Várlaja–Dél területére jellemző több fázisú feltolódási rendszert (4.40. ábra), ill. a Nógrádi-medencében létrejött félárokszerkezeteket (3.42. ábra). A szerkezeti jelleg ismerete meghatározó lehet a bányaterület szintű modellezések során a helyi szerkezeti zavarok értelmezésében.

Máza–Várlaja–Dél esetében ilyen, a szerkezeti jelleg azonosítása révén tisztázott, lokális zavarok a számos esetben telepkorrelációs problémákat előidéző back thrustok. A Nógrádi-medencében gyakran fordult elő a bányászat során, hogy egy feltételezett szimmetrikus szerkezeti ároknak csak egyik vetője igazolódott, az ellenoldali vető hiányzott. A szeizmikus szelvények ugyanakkor világosan jelzik az általánosan jellemző félárokszerkezeteket és ebből eredő dőlésviszonyokat.

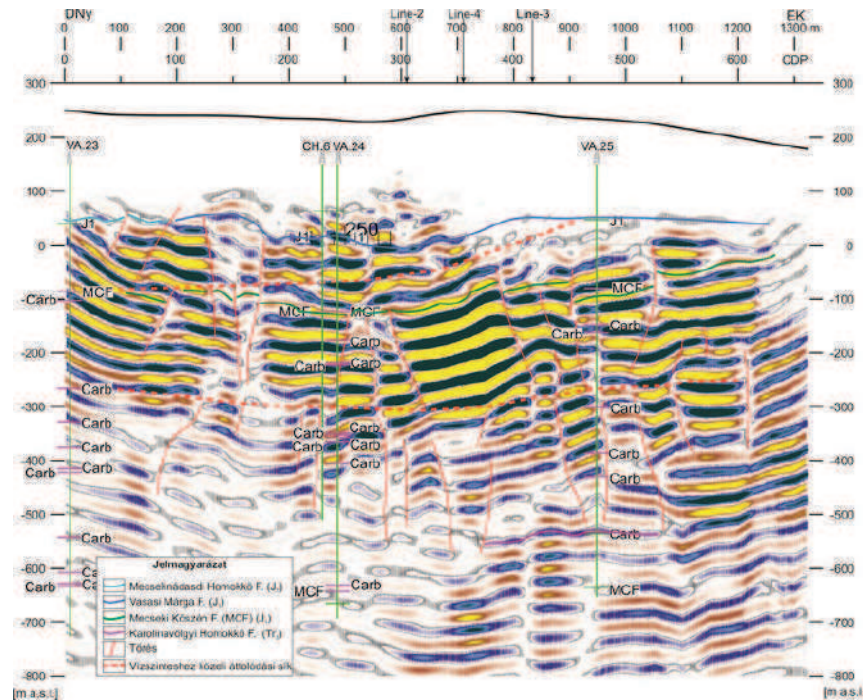
### *A szeizmikus vetőkutatás jelentősége a műveléstervezésben*

A szeizmikus vizsgálatok szénkutatásban betöltött, alárendelt szerepére és ennek okaira már utaltunk. Hangsúlyozni kell azonban, hogy az 1970-es 1980-as évek óta a szeizmikus kutatásban bekövetkezett jelentős fejlődés mára indokolttá tette a módszer célirányos alkalmazását a szénbányászathoz kapcsolódó szerkezetkutatásban a megismerés korai és késői fázisában egyaránt.

2012-ben a mecseki Várlaja területen a szénkutatás támogatására készült 3D szeizmikus mérés, melynek elsődleges célja a kutatási blokkok belső szerkezeti tagolódásának azonosítása volt. Az értelmezés tehát a felületek azonosításán túl a kutatási területet átszelő nagyobb, korrelálható vetősíkok térbeli térképezésére fókuszált a 400–700 m-es mélység-tartományban. Mint arra utaltunk, a kb. 30 m felbontású 3D-s szeizmikus adattömbön a széntelepek nem azonosíthatók, azonban, az azokat befoglaló, genetikailag összetartozó üledéksomagok leképezésére lehetőség van. Ennek egyik feltétele a precíz idő-mélység konverzió, mely lehetővé teszi az időtartományban mért szeizmikus adatok korrelációját a fúrásokban észlelt litológiai és ciklushatárok valós mélységben azonosított pontjaival. Ezt az új fúrásokban mért nagy felbontású VSP (vertikális szeizmikus szelvényezés) mérésekkel biztosították. Az adattömbből számított különböző szeizmikus attribútumok megjelenítése elősegíti a vetőértelmezést pl. a folytonos, nagy energiájú jelek kiemelésével.

A 3D szeizmikus kutatás fontos eredménye volt, hogy lehatárolta a további kutatás legkedvezőbb potenciális célterületeit, azaz a Mecseki Kőszén Formáció legkevésbé zavart tektonikájú blokkjait. Mindemellett a vizsgálatok arra is

rámutattak, hogy 300–1000 m mélységű céltartományban az alacsony fedésszám nem teszi lehetővé a részletesebb értelmezést. Így 2013-ban egy szűkített célterületen a fő szerkezeti irányt figyelembe vevő, kis geofonközű 2D szelvényhálózat került lemerésre, a nagyobb törésektől mentes, valószínűsíthetően egységes blokkok azonosítására. A szeizmikus adatok feldolgozása során elkészültek az ún. összszelvény (stacking) változatok, majd ezek alapján a szelvények prestack időmigrált és mélységmigrált változatai is. Az eltérő metodikával feldolgozott szelvények független értelmezései nyomán azonosított szerkezeti elemek jelentős hasonlósága növeli a kialakított földtani- tektonikai modell megbízhatóságát is. A bemutatott prestack mélységmigrált szelvényen (2.2. ábra) egyértelműen kijelölhetők a 150–200 m széles, egybefüggő, kevésbé tektonizált közöttömbök, amelyekben nagy valószínűséggel nincs 10 m elvetési magasságúnál nagyobb szerkezeti törés.



2.2. ábra. Szerkezeti vonalak megjelenése Váralja 2D szeizmikus szelvényen

Az egységes minőségű és megbízhatóságú 2D szeizmikus adatrendszer fontos alkotóeleme a részletes geológiai modellnek. A módszer felbontóképessége megfelel a szénkutatáshoz kapcsolódó szerkezetkutatások kapcsán elvárt pontosságnak, ezért jól használható a sokkal drágább fúrásos kutatás kiegészítéseként és a geológia modellalkotási folyamat részeként.

### *A nagy felbontású karotázskorreláció szerepe a vetőkutatásban*

A nagy felbontású karotázskorreláció nem csak a széntelepes összetlen belüli telepkorreláció megbízható elvégzése miatt fontos. A fekvő de méginkább a fedő képződmények nagy felbontású vizsgálata lehetővé teszi a széntelepes összetlet érintő vetők helyének és elvetési magasságának pontos meghatározását a (1) kétoldali asszimmetriák és (2) a vetőt harántoló fúrás rétegsorában bekövetkezett rétegsorhiány korábbinál pontosabb meghatározása révén. Erre ismét jó példával szolgál Sajómercse II. terület (4.13 ábra), ahol a területet kettéosztó fő vetőt 16 fúrás harántolja, így annak térképezése nagy pontossággal elvégezhető. A karotázskorreláció által biztosított nagy vertikális felbontás lehetővé teszi (1) a vető helyének pontos rögzítését a fúrásban és (2) a vető által érintett rétegek pontos azonosítását. Ezzel például Sajómercse II. terület esetében bizonyosan eldönthető, hogy a korábbi elképzelésekkel szemben (JENEINÉ JAMBRIK 1985) a telepes csoportot tagoló vetőrendszer gyakorlatilag hasonló mértékben érintette a badeni rétegeket, sőt jelentős mértékben a szarmata–pannóniai üledékeket is.

### **A műrevaló telepek lehatárolásának módszertani kérdései**

#### *A szénminőség meghatározása fúrásonként, laboratóriumi adatok alapján*

Szénközetek esetén, szilárd rétegzett nyersanyagról lévén szó, a kutatás célját képező műrevaló (fűtőérték/telepvastagság) telep meghatározásának módszertani alapkövetelménye a laboratóriumi elemzések szisztematikus elvégzése. Ez a telepváltozékonyságtól függően 20–40 cm-enként folytonosan, rendszerint a magok elfelezésével gyűjtött mintákat és

ezek laboratóriumi vizsgálatát (fűtőérték, hamu-, kén-, illó- és nedvességtartalom) jelenti. A mintavételt ellehetetlenítő „telepelfúrás” esetén a szisztematikus mintavételeket a karotázsszelvény alapján meghatározott oldalfal-mintavételezésekkel pótolták, az oldalfal minták a laboratóriumi jegyzőkönyvekben megjegyzésként feltüntetésre kerültek.

A vizsgálati eredmények értékelése a rétegtanilag rendezett folytonos minták pl. mintavételi vastagság szerint súlyozott átlagértékeinek meghatározásával történik, ahol a keresési követelmény a kutatási cél által meghatározott határértékek (cut off) teljesülése. A számítások célfüggvényeként megadott cut off így értelemszerűen meghatározó szerepet játszik a készlet alakulásában. Alapvetően két szempont érvényesülhet: (1) a telepadoottságok és a tervezett feldolgozási technológia a figyelembe vételével meghatározott fűtőértékhatár (pl. 10 500, 12 000, 16 500, 19 500, 21 000 kJ/kg), ill. a tervezett művelési technológia által biztosított minimális fejtésszelet-vastagság (pl. 1,6, 1,8, 2,0, 2,5 m vastagság) közelítése.

Az eredmények bemutatása korábban ún. „telepértékelő lapok”-on grafikusán történt, az elmúlt években Dubicsány, Sajómercse II. és Mizserfa II. MEO adatainak értékelése MSExcel környezetben automatizáltan folyt. Az eljárás algoritmizálása lehetőséget biztosít, egy fúrás adatainak gyors újraértékelésére a fejtési vastagságra és szénminőségi követelményekre vonatkozó elgondolások változásának függvényében.

### *Szénminőség meghatározása mélyfúrás-geofizikai adatok alapján*

Hitelesített, ill. összehitelesített kétszondahosszas ún. kompenzált gamma-gamma sűrűség mérések alkalmasak a telepen belüli sűrűségváltozások meghatározására, ami lehetővé teszi, hogy egy-egy bányaterület egy-egy telepén belül rendszerint  $>0,95 R^2$  érték mellett korreláló sűrűség/hamutartalom, ill. hamutartalom/fűtőérték összefüggések segítségével az adott geofizikai sűrűség-szelvényhez számított hamutartalom, ill. fűtőérték görbék készüljenek. Ezek a számítások kiegészítik a laboratóriumi méréseket.

Hitelesített gamma-gamma mérések alapján számítógép-vezérelt felszíni egység birtokában már az 1980-as évek első felétől lehetőség volt a sűrűség közvetlen terepi meghatározására. Ez alapján lehetőség nyílt a telepen belüli sűrűség változások online meghatározására is, ami lehetővé tette, hogy egy-egy bányaterület egy-egy telepén belül az adott geofizikai sűrűség-szelvényhez számított hamutartalom-, ill. fűtőérték-görbék készüljenek. Erre már a terepmérés során is volt lehetőség, de a mérési idő optimalizása érdekében a számításokra többnyire utólag került sor. Az 1990-es években állami megrendelések híján a kapcsolódó mélyfúrás-geofizikai műszerfejlesztések megtorpantak. A fejlesztések folytatása, a kapcsolódó szakmai kompetencia megőrzése az ásványvagyonbecslés pontosabbá tétele érdekében azonban továbbra is fontos szakmai szempont.

### *A művelési vastagság, a szelektív fejtés és biztonsági felhagyások meghatározása*

A művelési vastagság meghatározása feltételezi legalább előzetes feltérképezési és művelési elképzelések meglétét. Egy adott telepben a telepvastagság jellemző értéke és területi változásai határozzák meg a művelési mód (komplex front vs. pásztafejtés), ill. a választott pajzsok lehetséges magasságértékeit. Frontfejtésekben a hidraulikus pajzsok által megadott intervallum minimuma a front előrehaladásának határát, maximuma a lefejthető szeletvastagság maximumát határozza meg.

A korábbi hazai szénkutatási gyakorlat alapvető szempontja volt a kitermelhető készlet maximalizálása, így rendszerint 0,8 m-es telepvastagság jelentette a műveleti határt (pl. PALLA-SZEMEREY 1982, JUHÁSZ et al. 1984, GAÁLNÉ et al. 1987). A jelenlegi piaci körülmények között viszont a potenciális készletek meghatározásakor nem indokolt a választott pajzsvastagság minimumánál lényegesen kisebb telepvastagságú területek számbavétele.

Amennyiben a rétegsor adottságai azt lehetővé teszik, a művelési vastagság megítélése szempontjából ugyancsak fontos művelői és feldolgozási szempont lehet a legjobb minőségű teleprészek azonosítása. Ugyancsak a korábbi szénkutatási gyakorlattól eltérően, a jelentős vastagságú (3,5 m-t meghaladó) telepeknél már indokolt annak vizsgálata, hogy a legjobb minőségű szeletek lefejtése és a gyengébb minőségű felső vagy alsó rétegek felhagyása mennyiben befolyásolja a termelvény várható minőségét. A tapasztalatok szerint e minőségi megfontolások alapján történő felhagyások korlátozott készletcsökkenés mellett számottevő minőségjavulást eredményezhetnek, ami nem elhanyagolható a fűtőértékre számított önköltség meghatározásánál. A dubicsányi V. telep esetében ez a megfontolás mintegy 3 Mt (~5%) készletcsökkenés mellett átlagosan 2 MJ/t (~20%) fűtőérték-növekedést jelentett.

A digitális MEO adatfeldolgozás azt is lehetővé teszi, hogy a művelési szempontból meghatározó teleprész felhagyásokat is érvényesíteni lehessen a készletszámításban. A Nyugat-Borsodi-medencében gyakori eset, hogy a telepek fedőjében települő laza homok víztelenítés után is problémákat okoz, elsősorban a főteállékonyság kapcsán. A probléma megoldása a bányászati gyakorlatban 40–50 cm ún. „szénbőrke” meghagyása a főtén, ami biztosítja a főteállékonyságot. E műveleti szempontból fontos teleprészek az említett Excel alkalmazásban könnyen elkülöníthetők, s ezzel a potenciális készletszámításakor kivethetők.

## A földtani modellépítés alapkövetelményei és perspektívái

### *A készletszámítás és műveléstervezés elmaradhatatlan alaptérképei a szénkutatásban*

A földtani térmodellek létrehozása a földtani adatok feldolgozásának és értékelésének egyik legmagasabb szintjét jelenti. Magában foglalja a rétegtani korrelációk, szerkezeti és fejlődéstörténeti rekonstrukciók teljességét, törekedve a rendelkezésre álló adatok minél nagyobb hányadának ellentmondásmentes illesztésére. A modellezés eredménye gyakran földtani szelvények formájában, ill. a kitüntetett földtani képződmények térképi ábrázolásában nyilvánul meg.

Legyen szó akár bányatervezéséről, akár mélyfúrásos (pl. felszín alatti szénelgázosítás **Underground Coal Gasification** – UCG) kitermeléstől, a mélyművelési célú szénkutatások kimeneti alapkövetelményei között szerepelnek a művelő telepek (1) feküfelületére szerkesztett tektonikai és talpszintvonalas térképek (pl. 4.12, 4.14, 4.15 ábrák) és (2) készlet-számítási térképek (pl. 4.21, 4.22, 4.23 ábrák). Meredek dőlésű telepcsoportok esetén e „teleptérképek” szerkesztését megelőzi az adott osztásközzel készült szinttérképek elkészítése (pl. 4.44. ábra).

A műveléstervezés során a termelvény minőségének a művelés előrehaladtával várható időbeni változásainak meghatározásához ugyancsak hasznosak lehetnek a művelésre alkalmas telepek laboratóriumi adataiból levezethető paraméter térképek, mint a (1) fűtőérték/hamutartalom, a (2) kén-tartalom, az (3) illótartalom, ill. feketekőszének esetén például a (4) térfogat változékonyság (zsugorodás-duzzadás) és a (5) kokszolhatóságra utaló Roga-szám.

A vizsgált változók (pl. települési mélység, telepvastagság, fűtőérték stb.) fúrások közötti térben történő várható értékének meghatározása geostatistikai megoldásokkal lehetséges. A hazai szénkutatási gyakorlatban alkalmazott leggyakoribb eljárások a lineáris krigelés, ill. a legközelebbi pontok módszere (thyssen poligonok). A geostatistikai eszköztár a szénhidrogénipari gyakorlat eredményeként rohamos bővült, ami lehetővé teszi nagy számolásigényű eljárások alkalmazását is, érdemes azonban szem előtt tartani a szénkutatási területek néhány egyedi jellemzőjét.

(1) A széntelepés rétegsorokra a szénhidrogénipari gyakorlatnál nagyobb átlagos vetősűrűség jellemző. A vetők és lepusztulási felületek által közrezárt teleprészeket feltáró fúrások korlátozott száma miatt az egyes részterületek geometriai viszonyainak kialakulásához rendelkezésre álló, azaz geostatistikailag számba vehető adatmennyiség korlátozott. (2) Kis területen a telepvastagságnál (1–10 m) nagyságrendekkel nagyobb (10–100 m) elvetési magasságok várhatók, melyek tisztán geostatistikai módszerekkel rendszerint nem kezelhetők, tehát a felületek nem tekinthetők folytonosnak. (3) A telepvastagság és a területi bizonytalanság mértéke ugyancsak problémát okozhat. A fekü és fedőfelületek egyenkénti interpolációjakor a felületek akár egymásba vághatnak, értelmetlen negatív telepvastagságot eredményezve. Ennek elkerülése érdekében célszerű például a fedőfelületet a feküfelület létrehozása után annak telepvastagság-adatokkal történő „megemelésével” létrehozni, vagy az interpoláció során egy elméleti minimális telepvastagságot reprezentáló szélsőértéket rögzíteni.

### *A 3D modellezés előnyei és fejlesztési irányai*

Az egyre szélesebb körben elterjedő 3D modellezési módszerek a szénkutatásban szükséges modellépítés számára is fejlesztési perspektívát jelentenek. Egyrészt megkönnyítik, sőt meg is követelik a komplex földtani–geofizikai adatrendszerek együttes kezelését. Ez jelenti a mélyfúrásokból származó intervallumadatokat (litológia, paleontológia, laboratóriumi adatok), a mélyfúrás–geofizikai mérések eredményeként születő pontadatokat (Log Ascii Standard – LAS vagy egyéb txt. ill. táblázatos formátumok) és a szeizmikus mérések feldolgozásának eredmény fájljait (seg).

A mélyfúrási és szeizmikus adatok együttes kezelése feltételezi eltérő dimenziójú adatok együttes ábrázolását. A szeizmikus szelvények vertikális skálája „két utas idő” (TWT), ennek méterbe számításához elengedhetetlen a közzefizikai adottságokat leképező sebességtér modellezése. Az autentikus 3D környezetek biztosítják a sebességtér folyamatos figyelembe vételét, s ezzel a sebesség- és mélységadatok illesztését. Az együttes adatkezelés, gyors áttekintést tesz lehetővé, ugyanakkor biztosítja az adatok szelektív, kitüntetett szelvényirányok, ill. síkok menti elemzésének lehetőségét is, ami az elemi jelenségek szétválasztásának alapfeltétele.

A fejlesztési környezetek ötvözik a szelvény menti értelmezéséhez szükséges grafikus eljárásokat és a fúrások közötti tér leképezéséhez szükséges geostatistikai eszköztárat. A programkörnyezetek által felkínált kiterjedt háromdimenziós koordináta-geometriai környezetek a modell gridpontjainak felbontásától függően nagyszámú lekérdezést (szelvény, szint, értelmezett felület) tesznek lehetővé, ami a hagyományos 2D technikákhoz képest nagyságrendekkel több ellenőrzési pontot kínál az illesztések (pl. vetők és vetők által elmesztett felületek) kialakítására, ill. ellenőrzésére.

A hazai szénkutatási gyakorlatban a 3D alkalmazások kapcsán a fejlesztési irány meghatározásakor érdemes figyelembe venni, hogy rendszerint vetőkkel sűrűn tagolt, többtelepes összetekről lévén szó, a 3D modellezéssel szemben támasztott egyik legfontosabb követelmény a modellezési egységek (felület/szerkezeti blokk) rugalmas kezelése. Ez olyan szoftverkörnyezetet igényel, ahol a létrehozott felületek közötti topológiai kapcsolatok definiálásához hatékony eszköztár áll rendelkezésre. Azaz a szoftver megválasztásakor a 3D vektorgeometriai eszköztár előnyt élvez a geostatistikai eszköztár bőségével szemben.

A végeredmény pontosítása, természetesen lehetséges több programkörnyezet együttes alkalmazásával is. A különböző programok segítségével létrehozott felületek rendszerint importálhatók másik szoftverkörnyezetbe is. Ilyenkor nehézséget elsősorban az elkészült felületek hibátlan topológiai kapcsolatának létrehozása okozhat, amely a további műveletek pl. S-gridek, 3D-gridek létrehozása és a készletszámítás szempontjából rendszerint alapkövetelmény.

A modellépítésnek alapvetően három módja lehetséges. Egyik lehetőség a 2D-s alapon szerkesztett modell és azok objektumainak 3D környezetbe történő áttöltése. Ilyenkor első lépésben rendszerint az egyedileg szerkesztett földtani szelvények, ill. térképek georeferálása és 3D környezetben történő együttes digitalizálása történik. Ez az megközelítés elsősorban már meglévő, változtatni nem tervezett (pl. archív) kutatási zárójelentések anyagának 3D feldolgozására, ill. hagyományosan 2D környezetben dolgozó szakemberek munkájának kiegészítésére szolgál. Ez esetben csupán az egyedileg szerkesztett földtani szelvények és térképek a modell bemenő adatai. Ennek eredményeképpen szembe tűnnek a 2D állomány szerkesztési és georeferálási hibái.

Lehetőség van a 2D-ben értelmezett adatok 3D környezetbe ültetésére. Ekkor első lépésben az alapadatok (szeizmika, mélyfúrás) 2D környezetben történő értelmezése történik meg és ezt követően kerül sor a keletkezett pont- vagy vonalsereg (kutatólétesítményeken azonosított kontrollpont) 3D környezetben történő megjelenítésére és együttes interpolációjára és topológiai kezelésére. Ebben az esetben a 2D értelmezéseket követően a geometria már eredendően 3D környezetben jön létre. Ez az eset már adekvát 3D alkalmazás, amennyiben az interpoláció alapjául szolgáló pontseregek (kutatólétesítményeken azonosított kontroll pontok) interpolációja nem egyedileg, hanem egységes környezetben, a pontok és a már elkészült felületek együttes figyelembevételével történik. Végül lehetőség van az alapadatok 3D környezetben történő értelmezésére.

A fenti munkafolyamatok eredményeként különböző programokban születő térmodellek egyszerű adatszerkezettel rendelkező exportált állományai alkalmasak arra, hogy földtani bemeneti adatrendszerét képezzék az ugyancsak 3D környezetben történő bányamodellizéseknek. A bányamodellizés ilyen háttérrel történő megvalósítása a nemzetközi térben ma már alapvető elvárás.

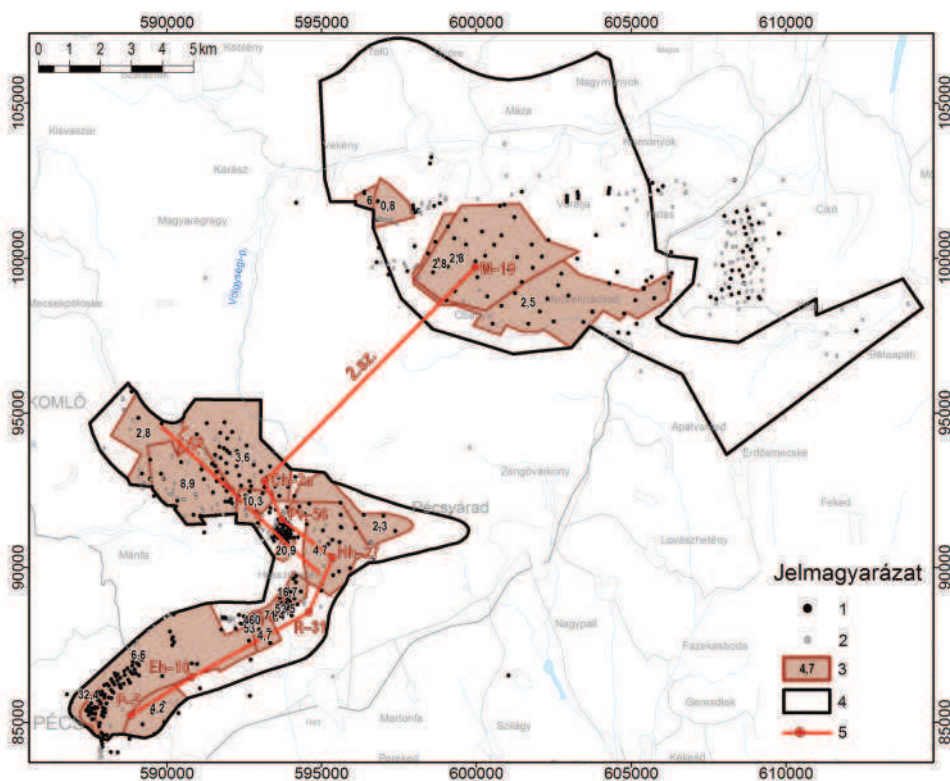


HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA, KOVÁCS JÁNOS, FARICS ÉVA, SEBE KRISZTINA,  
MCINTOSH RICHARD WILLIAM, BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA, PÜSPÖKI ZOLTÁN

## Mecseki Kőszén Formáció – jura, hettangi–sinemuri

### *Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet*

A kora-liász korú mecseki kőszén a Dunántúl DK-i részén, a Tiszai-főegység Mecseki-egysége (HAAS, BUDAI szerk. 2014) területén elhelyezkedő Mecsek hegység K-i részén található (3.1. ábra). Ez Magyarország egyetlen feketekőszén



3.1. ábra. A Mecseki Kőszén Formáció elterjedése és megkutatottsága a 3.2. ábra (1. sz.) és 3.4. ábra (2. sz.) szelvényeinek nyomvonalával

Jelmagyarázat: 1. szénkutató fúrás mélyfúrás geofizikával, 2. szénkutató fúrás geofizika nélkül, 3. nyilvántartási terület (a beírt szám fúrás/km<sup>2</sup>), 4. a szénmedence határa (1,2 m-nél vastagabb telepet harántoló fúrásokat bezáró poligon), 5. tanulmányban szereplő szelvény nyomvonala

előfordulása. Elterjedése ÉK–DNy-i irányban 20–30 km, ÉNy–DK-i irányban 10–15 km-re tehető. Az előfordulás többnyire felszín alatt található, a kőszénterület Ny-i és É-i részén a medence mintegy 20–30%-nyi területén felszíni kibúvásokban „S” alakban követhető.

A mintegy 400 km<sup>2</sup> területű előfordulás földtani határait kelet felé a Mórággyi Gránit, D-en és DK-en a Mecsekalja-vonal paleozoos kőzetei, Ny-i és ÉNy-i irányban a triász fekvő felszíni előfordulásai, É-on a kainozoos üledékek határolják, ahol a

neogén alatti aljzat kis ismeretességi foka miatt a határ nem húzható meg pontosan. Szeizmikus szelvények alapján jelenléte 2000 m alatti mélységben a medencekitöltő üledékekkel fedett területeken is feltételezhető. A formációt szénhidrogén-kutató fúrások a Mecseki-egység közép-alföldi régiójában is feltárták, de a szórványos adatok miatt az ősföldrajzi kapcsolat nem tisztázott.

A bányászat kezdete a Mecsekben Pécs környékén, Vasason kezdődött 1772-ben, amelyet néhány évvel később 1793-ban a váraljai, majd 1812-től a komlói szénkitermelés követett (BABICS 1958). A bányászat kezdetben felszíni kibúvásokban zajlott, az előfordulásokat tárókutatásokkal tárták fel. Az első tudományos értékű közlések ZIPSER (1817), BEUDANT (1822) és FOETTERLE (1852) nevéhez fűződnek.

A 19. század második felében elsőként PETERS (1862) foglalkozott a kőszén fáciesviszonyaival, őslénytani kutatásokat STUR (1874), folytatott. A Mecsek első részletes földtani térképezését BÖCKH (1876) és HOFMANN (1876) végezte el, míg a kőszénmedence megismerését bányaföldtani, ősföldrajzi tanulmányok segítették (HERTLE 1873, HANTKEN 1878, KLEIDORFER 1898). A 19. század második felében e kutatások kedvezően hatottak a bányászat fejlődésére. A 20. század első felében további kőszénföldtani és bányászati kutatások járultak hozzá jelentős mértékben a bányászat fejlődéséhez (PAPP 1915, TELEGDY ROTH 1928, VADÁSZ 1935, 1940, 1952, JIČINSKÝ 1931, VITÁLIS 1939, SZÁDECZKY-KARDOSS 1956).

A második világháború után NOSZKY (1952, 1953) és WEIN (1953) irányításával kezdődött meg a terület több mint harminc évig tartó intenzív kutatása. A regionális jellegű földtani munkával párhuzamosan (BALKAY *et al.* 1956, WEIN 1959, BARTKÓ *et al.* 1966a, FORGÓ *et al.* 1965, HÁMOR 1966, NAGY, FORGÓ 1967, NAGY Elemér 1969a, b, 1971, NÉMEDI VARGA 1971a, b, HETÉNYI *et al.* 1982) az egyes részterületek tematikus kutatása is egyre nagyobb jelentőséget kapott. A bányászati termeléssel kapcsolatos számos kéziratot munka mellett a kutatás az 1950-es évektől egyre több tudományos publikációt is eredményezett (WEIN 1953, 1965, PAÁLNÉ 1956a, b, 1964, 1965a, b, 1969, SZÁDECZKY-KARDOSS 1956, BÓNA 1963, NÉMEDI VARGA 1983a, b).

A szénbányászatot támogató földtani kutatás során a nyolcvanas évek végéig több mint 500 fúrás mélyült és részletes térképezés zajlott Pécsbánya és a Máza–Várlaja közötti területen, amelyhez teleptani és anyagvizsgálati kutatások kapcsolódtak (STAUB 1978, BALLA 1980, FÜLÖP 1984, BÓNA 1983a, b, 1984, IHAROSNÉ LACZÓ 1980, NÉMEDI VARGA 1984, VARGA, HORVÁTH 1986, RADNAINÉ GYÖNGYÖS 1990, BELLÁNÉ PELSŐCZI 1992). A fúrási tevékenység a kilencvenes évektől drasztikusan csökkent, de az archív adatok újrafeldolgozása és a terepi vizsgálatok további új rétegtani, teleptani és szerkezetföldtani eredmények megszületéséhez járultak hozzá (TARI 1992, NÉMEDI VARGA 1995, 1998, 2010, HAAS *et al.* 1999, HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR 2006, PÜSPÖKI szerk. 2009, PÜSPÖKI *et al.* 2012, FORGÁCS *et al.* 2011a–c, BUDAI, PÜSPÖKI in KERCSMÁR *et al.*, 2012, HÁMORNÉ VIDÓ 2013, 2015, BARBACKA *et al.* 2015, SEBE 2017).

A szénhez kötött metánvagyon felmérésére irányuló vizsgálatok a 21. század első éveiben folytak kétoldali együttműködés keretében. A Magyar Geológiai Szolgálat és az Egyesült Államok Földtani Szolgálat (USGS) irányításával felmérés készült a magasabb metántartalmú hazai kőszénokról. A kutatások eredményeként a Mecsekben jelentős szénhez kötött metántartalmat sikerült igazolni (LANDIS *et al.* 2002, 2003, FODOR 2007a, b).

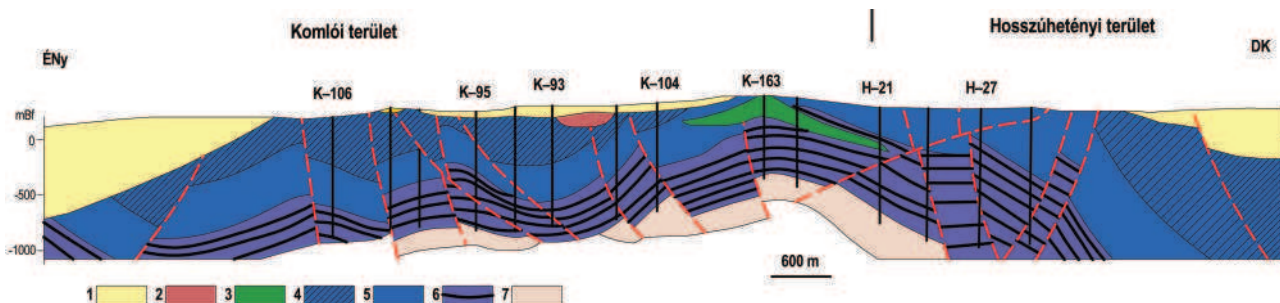
2008-tól 2014-ig az ausztrál érdekltségű WildHorse UCG Kft. és jogelődje végzett kutatásokat a föld alatti szénelgázosítás (Underground Coal Gasification – UCG) lehetőségének vizsgálatára. Ennek során a váraljai területen elvégezték a 20. század második felétől elérhető kutatási dokumentációk digitalizálását, új szeizmikus méréseket (2D, 3D) végeztek, valamint kutatófúrásokat mélyítettek, utóbbit a szeizmikus sebességtér modelljének megerősítését elősegítő, vertikális szeizmikus profil (VSP) felvételezésével kiegészítve.

A kőszénbányászat több mint 250 éves története során a kitermelés kezdetben egyedi vállalkozások keretében zajlott, az iparszerű kitermelés a 19. századtól indult meg. 1852–1923 között a pécsi bányákat a Dunai Gőzhajózási Társaság egyesítette, mely ezt követően 1938-ig osztrák érdekltségű lett, majd a német Göring Művekhez csatolták. A szénbányák 1945-től a szovjetek, majd 1952-től a Magyar Népköztársaság tulajdonába kerültek. 1962 után jött létre a Mecseki Szénbányászati Tröszt, melynek működése során az 1960-as években a mecseki kőszénbányászat elérte a legmagasabb termelési mennyiséget (4 millió tonna/év). Ebben az időszakban helyezték üzembe a legtöbb aknát. Az 1970-es évek elejétől kezdődött meg a bányászat fokozatos leépülése. Az utolsó mélyművelésként üzemelő Zobák Akna 2002-ben zárt be és ezt két külfejtés követte 2003-ban. Jelenleg két külfejtés van nyilvántartásban.

### *Rétegtani felépítés*

A Mecseki Kőszén Formáció egy közel É–D-i dőlésirányú félárok szerkezetben képződött kőszénösszlet, melynek összvastagsága 120–1200 m között változik, és a medence DNy-i részén, Pécs és Pécsszabolcs térségében éri el a maximumát (3.2. ábra). A szénteleses összlet limnikus és paralikus kifejlődések alkotják, amelyek a késő-triász rhaeti és a kora-liász hettangi és sinemuri korszakaiban képződtek (BÓNA 1966, 1983, NAGY Elemér 1969a, NÉMEDI VARGA 1995, HÁMOR-VIDÓ 2004, 2013, 2015, BARBACKA *et al.* 2015).

A Keleti-Mecsek szénteleses rétegsorának közvetlen fekvése az 500–600 m vastagságú felső-triász Karolinavölgyi Homokkő Formáció. A folyóvízi, delta fáciesű képződmény változó szemmagyságú, szürke homokkő és zöldesszürke aleurolit váltakozásából áll, felső szakaszán kőszénleletekkel. A felső-triász összletre folyamatos üledékképződéssel



3.2. ábra. A Keleti-Mecsek földtani szelvénye a hosszúhetényi és a komlói területen keresztül (NÉMEDI-VARGA 1995 nyomán, in: KERCSMÁR et al. 2012). A szelvény nyomvonalát a 3.1. ábra tünteti fel (1.sz.)

Jelmagyarázat: 1. neogén üledékek, 2. miocén andezit (Komlói Andezit F.), 3. alsó-kréta bazalt (Mecsekjányosi Bazalt F.), 4. alsó-jura „foltos márga” (Hosszúhetényi Márga F.), 5. alsó-jura fedőmárga (Vasasi Márga F.), 6. alsó-jura széntelepes összlet (Mecseki Kőszén F.), 7. felső-triász szárazföldi törmelékes összlet (Karolinavölgyi Homokkő F.)

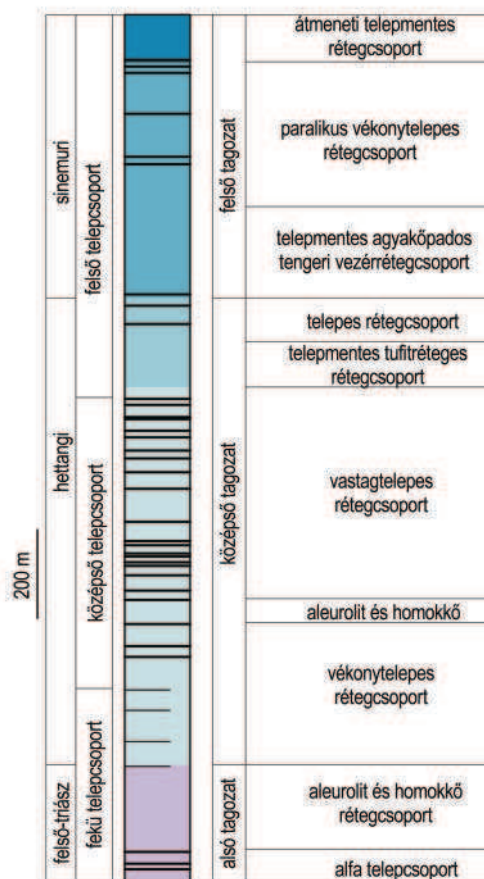
települnek az alsó-jura hettangi emelet deltasíksági (SZENTE 1993), ill. alsó-sinemuri sekélytengeri törmelékes rétegsor kőszéntelepes üledékciklusai (Mecseki Kőszén Formáció). Az erősen roncsolt pollenanyag alapján a triász–jura határ megvonása nem egyértelmű, az alsó-sinemuri határa ugyanakkor egyértelműen megállapítható az *Arietites bucklandi* ammonitesz megjelenésétől (BÓNA 1983a). A tengeri üledékek többszöri megjelenése a relatív tengerszint ingadozását tükrözi (SZENTE 1993). Regionális korrelációra alkalmas palinológiai minták a komlói területéről kerültek elő (GÓCZÁN 1956, BÓNA 1963, 1969), melyeket elsősorban a Máza–Váralja–Dél-Tolnaváraljai területtel lehetett azonosítani (BÓNA 1983a).

A kőszéntelepes összlet fokozatosan, szögeltérés nélkül fejlődik ki a Karolinavölgyi Homokkőből, de az összleten belül az alsó-sinemuri paralikus kifejlődésben regionális lepusztulás is megfigyelhető. A Mecseki Kőszén Formáció homokkő, aleurolit és agyagkő váltakozásából álló rétegsorának alsó szakasza ártéri lápi fáciesű, míg a rétegsorban felfelé egyre gyakoribbá váló tengeri molluszka-együttesek árapálysíkai tengerparti környezetet jeleznek.

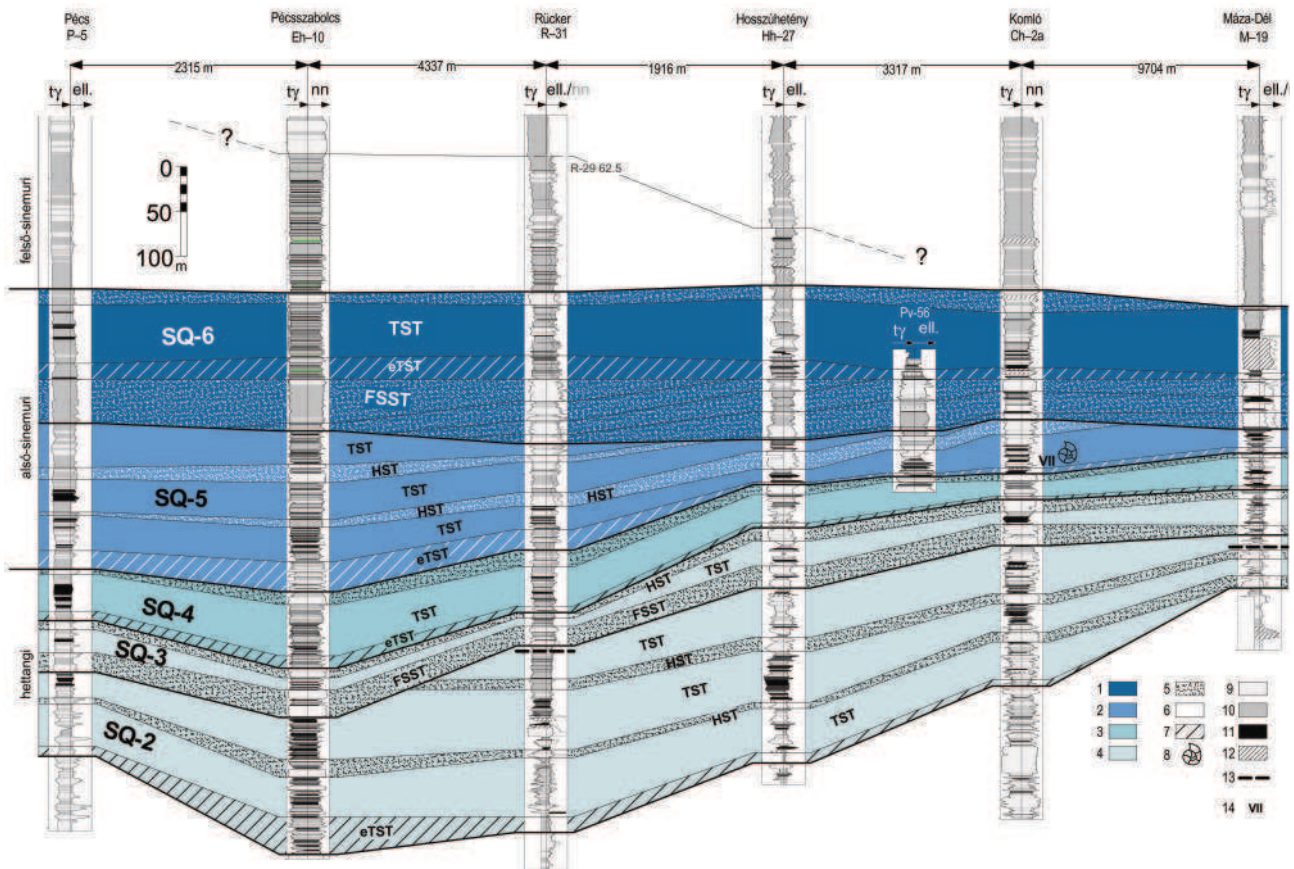
A széntelepes rétegsor fedőjét nagy vastagságú alsó-jura üledékes képződmények alkotják (alulról felfelé) nyílttengeri homok–aleurolit–márga (Vasasi Márga Formáció „fedőhomokkő” és „fedőmárga” tagozatai), mészmárga (Hosszúhetényi Mészmárga Formáció – „foltosmárga”) és homokkő (Mecseknádasdi Homokkő Formáció). E fölött középső-jura–alsó-kréta, mélytengeri kifejlődésű rétegcsoporthoz tartoznak (Komlói Mészmárga, Óbányai Mészkő, Fonyászó Mészkő, Kisújvári Mészkő, Mária-vári Mészkő), amelyhez az alsó-krétában bazalt (Mecsekjányosi Bazalt Formáció) és mélytengeri törmelékes üledéksor kapcsolódik (Magyaregregyi Konglomerátum, Hidasi-völgyi Márga). A mezozoos alaphegység lepusztult felszínére miocén törmelékes és karbonátos üledékek települnek, Komló környékén alsó-miocén andezittel (Mecseki Andezit Formáció).

A széntelepes összletet hagyományosan három tagozatra, illetve tíz rétegcsoporthoz tagolják (NÉMEDI VARGA, 1995). Az egyes tagozatok (3.3. ábra), ill. üledékes szekvenciák összvastagsága ÉK-ről DNY-i irányba 80–120 m-ről 1000–1200 m vastagságra nő. A vastagság Nagymányokon 120 m, Szászváron 180–200 m, Komlón 350–450 m, Vasas és Hosszúhetény térségében 600–700 m, míg Pécsbánya és Pécsszabolcs területén 1000–1200 m. A műrevaló széntelepek vastagsága ezzel ellentétes irányú változást mutat, D-ről É felé nő. A formáción belül a kőszén aránya 3,8–12,2% között változik, ami a telepvastagság-értékekkel együtt észak felé növekvő tendenciát mutat.

Nagyfelbontású karotázskorreláció alapján a Máza–Váralja–Dél területen 24 paraszekvencia került elkülönítésre, alsó szakaszukon rendszerint szénteleppel (4.41. ábra) (PÜSPÖKI szerk. 2009, FORGÁCS et al. 2011). A megfigyelések szerint a magasabb kőszéntartalommal rendelkező, vékonyabb telepek korai transzgresszív rendszeregységek retrogradáló paraszekvenciáihoz, a nagyobb vastagságú, alacsonyabb kőszéntartalmú telepek a késő transzgresszív rendszeregységek aggradációba váltó paraszekvenciáihoz kapcsolódnak (PÜSPÖKI et al. 2012). A Máza–Váralja–Dél közötti területen kialakított szekvencia-sztratigráfiai tagolás kiterjesztésével kísérlet történt a sztratigráfiai rendszer medence szintű alkalmazására is a Keleti-Mecsekben (BARBACKA et al. 2015) (3.4. ábra).



3.3. ábra. A Mecseki Kőszén Formáció tagolása (NÉMEDI-VARGA 2010)



3.4. ábra. A Keleti-Mecsek jura széntelepes rétegsorának áttekintő szekvenciasztratigráfiai szelvénye (BARBACKA et al. 2015 után módosítva)

A szelvény nyomvonalát az 3.1. ábra tünteti fel (2.sz.). Jelmagyarázat: 1. SQ-6, 2. SQ-5, 3. SQ-4, 4. SQ-3, SQ-2, a fúrások közötti térben: 5. uralkodóan homokos kifejlődés, 6. uralkodóan agyagkő-aleurolit, 7. transzgressziós üledéksor, 8. biosztratigráfiailag jelentős ammonitesz előfordulás, a fúrásszelvényeken belül: 9. homokkő, 10. agyagkő, aleuroit, 11. széntelep, 12. vulkáni telérközet, 13. tufitszint, 14. széntelep száma

### Teleptan

A kőszénképződési terület központi részének ÉK-i irányban történt áthelyeződése, valamint a folyóvízi–ártéri és delta fáciesekre jellemző gyakori fácieseltolódások miatt (DIESEL, 1992), a mecseki széntelepek korrelációja nehézséget okoz. Korábbi munkájában NÉMEDI VARGA (1995) 38–39 telepet azonosított, jelen munkában a korábbi beosztás (HÁMORNÉ VIDÓ 2015) és a karotázs-korreláció (BARBACKA et al. 2015) figyelembevételével 36–39 telep vagy telepcsoport létét valószínűsítjük (3.1. táblázat). A medence teleptani felépítését a Pécsbánya és a Mába–Váralja-Dél részmedence által képviselt képzeletbeli tengely mentén jellemezzük. A telepcsoportok, más néven tagozatok, ill. az egyes szekvenciák elkülönítését nagyban segítette a nagyobb vastagságú homokkő, ill. a kőszénrétegeket nem tartalmazó kőzetlisztes, agyagos összletek megjelenése. Nehezítik ugyanakkor a telepazonosítást a bonyolult szerkezeti viszonyok, emiatt a Nagymányokon és Szászvár területén korábban művelt telepek értékelése későbbre maradt.

Az „alsó tagozat” (SQ-1 szekvencia) édesvízi, tavi fáciesű rétegsorának kőszénrétegei ( $\alpha$  telepek) kis elterjedésben és kis vastagságban (0,2–1,8 m) fordulnak elő Pécs, Pécsszabolcs, és Hosszúhetény területén. A „rhaeti kőszéntelepes összlet” (BÓNA 1961) két részre tagolódik. Alsó része tartalmazza az édesvízi körülmények között képződött alapterlep típusú „alfa telepcsoportot”. E telepes összlet fokozatosan fejlődik ki a felső-triász delta fáciesű üledékekből. Vastagsága Pécs, Pécsbánya területén a legnagyobb (8–20 m) majd Hosszúhetény irányában csökken (9–12 m). A telepcsoport felső határa jó közelítéssel egybe esik a triász–jura határral, amire litológiai, mélyfúrás-geofizikai (NÉMEDI VARGA 1967, 1969) és palinológiai (BÓNA 1963, 1983a, b, 1984) adatok is utalnak. A 3 telepet vagy telepnymot tartalmazó tagozatban a legnagyobb vastagságú telepek térbeli elterjedése arra utal, hogy az üledékképződés Pécstől Hosszúhetény irányában mozdult el. A telepes csoport fölött zöldesszürke folyóvízi, tavi aleuroit és szürke homokkő települ, mintegy 40–80 m vastagságban (3.3. ábra). Az alsó telepcsoport vékony telepeinek telepeinek bányászata Pécs környékén a 19. században volt jelentős.

A középső (II.) tagozat vastagsága 440–480 m-től 80–140 m-ig változik részmedencénként, Pécstől Mába–Váralja-Dél irányában. Három szekvenciára tagolható (SQ-2, SQ-3 és SQ-4). Az egyes szekvenciák bázisát regionálisan kimutatható transzgressziós üledékek alkotják, ugyanakkor regionális progradációkhoz, ill. relatív tengerszintcsökkenéshez kapcsolódó homokkőtestek ugyancsak megfigyelhetők a rétegsorban (3.4. ábra). A középső tagozatban található a legtöbb és a legvastagabb telep, számuk 18, vastagságuk elérheti a 11 m-t is (3.3. ábra).

3.1. táblázat. A Mecseki Kőszén Formáció telepazonosítása (felhasznált szakirodalom: NAGY 1971, NÉMEDI VARGA 1995, HÁMORNÉ VIDÓ 2015, BARBACKA et al. 2016, SZILÁGYI szerk. 1985)

Kronosztratiográfia	Formáció	Rétegcsoport *	Bányüzemenként és/vagy kutatási területenként alkalmazott telepszámolás								Szekvenciák	Fácies	
	Tagozat		Pécsbánya	Szabolcs	Vasas	BÉTA	Komló	Hhetény	Máza- Váralja				
MECSEKI KŐSZÉN FORMÁCIÓ	alsó-sinemuri emelet	III. Felső	Paralikus vékonytelepes rétegcsoport	miocén-badeni emelet előtti denudáció					I	I	TF24 (24)	SQ-6	Felső lagúna kisciklus
						38	28	?	II	II	TF23 (23)		
						37	27	?	III	III	TF22 (22)		
						36	26	?	IV	IV	TF21 (21)		
						35	25	?	V	V	TF20 (20)		
						26	34	24	VIII	VI	VI		
		Tengeri vezérrétegcsoport								TF18 (18)	SQ-5	Szekélytengerparti lagúna kisciklus	
										TF17 (17)			
			25	33	23					TF16 (16)			
			24	32	22					TF15 (15)			
	hettangi	III. Középső	Közepes vastagságú telep rétegcsoport								TF14 (14)	SQ-4	Alsó lagúna kisciklus
				23	31	21	XII	VII	VII	TF13 (13)			
				22	30	20	XIII			TF12 (12)			
				21	29	15	XIV	VIII	VIII	TF2 (11)			
				20	28	14	XV			TF1 (10)			
			Vastagtelepes rétegcsoport	19	27	13	XVI	IX	IX	Tufit (9)	SQ-3	Alluviális delta kisciklus	
				18	26	Tufit	XVII / Tufit	Tufit	Tufit	T/a (8)			
				17	25	12							
				16	24				XI				
				15	23								
		14		22	11	XVIII	X	X	TA1 (7)				
		13		21		XIX	XI	XI	TA2 (6)				
		12		20	8	XX	XII	XII	TA3 (5)				
		11		18		XXI	XIII	XIII					
		10		15		XXII	XIV	XIV					
		Vékonytelepes rétegcsoport	9	12		?	XV	XV		SQ-2	Alluviális kisciklus		
			8	11			XVI	XVI					
			7	7									
			6.fedő_tp										
			6	6	6								
I. Alsó	Alfa telepcsoport	5		5		XVII	XVII	TA4 (4)	SQ-1	Lakusztris kisciklus			
		4	4	4		XVIII	XVIII	TA5 (3)					
		3	3	3				TA6 (2)					
		2	2	2				TA7 (1)					
triász : rhaeti emelet				1									
				fekü_1-2.tp	1.tp	„alfa”.tp	„alfa”.tp	„alfa”.tp	„alfa”.tp				
				alfa.tp	alfa.tp	Karolinavölgyi Homokkő Formáció							

A középső tagozat alsó szekvenciája (SQ–2), folyamatos kifejlődést mutat, amelyben a késő-triász tavi fáciest folyóvízi váltja fel. Vastagsága 50–100 m között változik. A korábban „vékonytelepes rétegcsoportként” is ismert (NÉMEDI VARGA 1995) kifejlődés a legteljesebb négytelepes előfordulással Pécs, Pécsszabolcs és Vasas területén jellemző, Komló és Hosszúhetény térségében két műrevaló telep található.

Az SQ–3 szekvenciában a képződési környezet folyóvíziből delta fáciesűbe vált, amelyben változó számú (3–14) és változó vastagságú telep található. A telepgyakoriság Pécs, Pécsszabolcs területén a legnagyobb. A rétegcsoportra 50–200 m közötti átlagos vastagság jellemző. A szekvencia kezdetét regionálisan elterjedt, feltehetően átmeneti relatív tengerszintcsökkenéshez köthető homokkőpad jellemzi (SQ–3 FSST), amelynek vastagsága 20–50 m (3.4. ábra). E korábban is azonosított (NÉMEDI VARGA 1995) meddő összlet uralkodóan aleurolitból, agyagkőből és homokkőből áll („aleurolit és homokkő rétegcsoport”). Ezután a kőszénképződés kezdetben limnikus–paralikus átmenetű fácieseket hozott létre, amelyet delta környezetben képződött vastagtelepes, de regionálisan nem minden esetben térképezhető telepek követnek („vastagtelepes rétegcsoport”). A legvastagabb telepet 6–11 m-es vastagsággal Pécsszabolcsra a 23-as, Vasason a 11-es, Komlón és Hosszúhetényben a X-es telep képviseli a szekvencia felső részén (3.1. táblázat). A karotázs-korrelációs szelvényben (3.4. ábra) az SQ–2 üledékciklusok vastagsága a Rücker–31 és Hosszúhetény–27 jelű fúrásokban, feltolódás okozta rétegméltlódás miatt, a reálisnál nagyobbak látszik.

A középső tagozat felső szekvenciája az SQ–4. A ciklus bázisán egy újabb 20–35 m (Hosszúhetény, Komló, Máza–Váralja–Dél), ill. 50–60 m vastag (Pécsszabolcs és Vasas) meddő összlet települ („telepmentes, tufitréteges rétegcsoport” – NÉMEDI VARGA (1995) (3.3. ábra), anyaga uralkodóan szürke aleurolit, alárendelten agyagkő és homokkő. Tufitos szintek egy vagy két betelepülésben jelennek meg. Az alsó lokális tufitszint 4–5 m vastag és Pécsszabolcs környezetében jellemző, a felső 1 m körüli vastagságú szint regionálisan is kimutatható. A középső tagozat felső részén az SQ–4-be tartozó telepek a „közepes vastagságú rétegcsoport” (NÉMEDI VARGA 1995) alsó részébe tartoznak (3.3. ábra), viszonylag egységes

elterjedésűek, a telepek száma többnyire öt (3.1. táblázat). Komló és Hosszúhetény területén csak két telep található. A négytelepes előfordulásoknál a telepek vastagsága Pécsszabolcsan 0,4–1 m, Vasason és Máza–Váralján 1–2 m között változik, míg a komlói és hosszúhetényi területen a legfelső XVIII-as telepben, több padot magában foglalva elérheti a 3,5–5 m-t is.

Az alsó-liász sinemuri emeletbe tartozó felső tagozat vastagsága 150–350 m között változik és a SQ-5 és SQ-6 szekvenciákat tartalmazza. A paralikus kifejlődésű, nyílt lagúna fáciesű összlet kezdő teleptemes rétegei uralkodóan zöldesszürke agyagkőből állnak. A „tengeri vezérrétegcsoport” (NÉMEDI VARGA 1995) regionálisan követhető (3.3. ábra), amelynek vastagsága 40–80 m. A vékony telepeket közrefogó, közel állandó vastagságú pelites és homokkőekkel tagolt rétegsorban található zöldesszürke tufitos agyagkőrétegek az egész Mecseki Kőszén Formáció legszinttartóbb képződményei.

Az SQ-5 ciklus sekélytengeri képződésű, lagúna fáciesű, vékonytelepes összlete Pécsen a 23-as, Pécsszabolcsan a 31-es, Vasason a 21-es, Komlón és Hosszúhetényben a VII-es, Máza–Váralja–Délén a TF(13) (HÁMORNÉ VIDÓ 2015) vagy (13-as) (BARBACKA et al. 2015) teleppel kezdődik (1. táblázat). Komlón a K-171 jelű fúrásban és Pécsbánya térségében a Cassiani-aknán a 22-es és 23-as telepek között vonható meg a hettangi-sinemuri határ az ammonitesz-vizsgálatok alapján (KLEIDORFER 1898). A szekvencia Vasas irányában kivastagodik, ahol elérheti a 100–150 m-es vastagságot. Komló és Máza–Váralja–Dél irányában fokozatosan elvékonyodik, és az északi területen már csak néhány tíz méter vastag. A szekvencia Pécs, Pécsszabolcs, Vasas területén három, Komló–Hosszúhetény területén egy, Máza–Váralja térségében öt teleppel jellemzett.

E fölött eróziós bázissal települ az SQ-6 üledékciklus, újabb lagúna fáciesű kőszénképződéssel, ahol a szekvencia vastagsága 90–160 m között változhat és jól követhető a medencében. A ciklus kezdetét (3.4. ábra), 50–70 m-es vastagságú, csökkenő tengerszint mellett lerakódó homokos kifejlődés képviseli (SQ-6 – FSST), amelyet 40–70 m-es, hat-hét telepet tartalmazó, kőszéntelepes összlet követ. A szekvenciát a néhány métertől 20 m-ig változó vastagságú átmeneti teleptemes rétegcsoport zárja.

A kőszénösszletben a cikluskezdő tengeri elöntéseknel és az SQ-3 delta fáciesű szakasztól kezdve jellemző a tengeri fauna megjelenése a kőszéntelepek között, amely általában *Cardinia listeria*, *Perna petersi* rossz megtartású példányaiból, vagy phyllopodás padból áll. Az agyagkőves, teleptemes szakaszokon gyakoriak a növényi maradványok, többnyire lenyomatok és uszadékfák formájában. A kőszéntelepes összletet a krétában vékonyabb-vastagabb (1–100 méter) alkálibazalt-telerek járták át, melyek természetes kokszosodást idéztek elő a kőszéntelepekben. Telérmentes területnek csak Pécsbánya és Pécsszabolcs tekinthető.

### Szerkezeti viszonyok

A mecseki feketekőszén-előfordulás mindkét fő kifejlődési területe, Pécs–Komló környéke, ill. a Keleti-Mecsek északi része és az Északi-pikkely területe is erősen igénybe vett tektonikailag, vetőkkel tagolt, illetve gyűrt szerkezetű. A szerkezeti tagoltság a széntelepes összletben elsősorban a betelepülő vulkáni tufa–tufit, illetve a teleptani fejezetben ismertetett, regionálisan korrelálható teleptemes szintek elvetése alapján észlelhető. A vetők gyakori megjelenése mind a mélyművelésű, mind a külfejtéses előfordulások esetén megnehezíti a földtani modellezést, a műveléstervezést és a művelést.

A Pécs–Komló környéki terület kelet felé dőlő tengelyű szinklinálist és hozzá kapcsolódó antiklinálist formál. A medence déli pereme tektonikus, egy jelentős eltolódásos vetőzóna, a Mecsek déli peremén húzódó ún. Mecsekalja-öv zárja le. A területen belül a széntelepes összlet erős deformációt szenvedett. Számos, különböző – akár több száz méteres – elvetésű, uralkodóan feltolódásos jellegű vető tagolja, emellett, részben a fekü- és fedőképződményekhez képest kisebb kompetenciája miatt, a telepes összlet meggyűrődött. A tektonikai igénybevétel utólag a széntelepek vastagságát is befolyásolta, egyes helyeken kivastagodnak, más helyeken kihengerlődtek, elnyíródtak, szinte teljesen hiányoznak. A feltolódások sok esetben a rétegtani azonosítást is nehezítő telepismétlődésekhez vezetnek. Máza–Váralja–Dél esetében ez egyes telepeknek akár négyszeri megjelenését eredményezte, így pl. a Máza M-15-ös fúrásban a harántolt telepek száma meghaladja a 100-at (4.40. ábra).

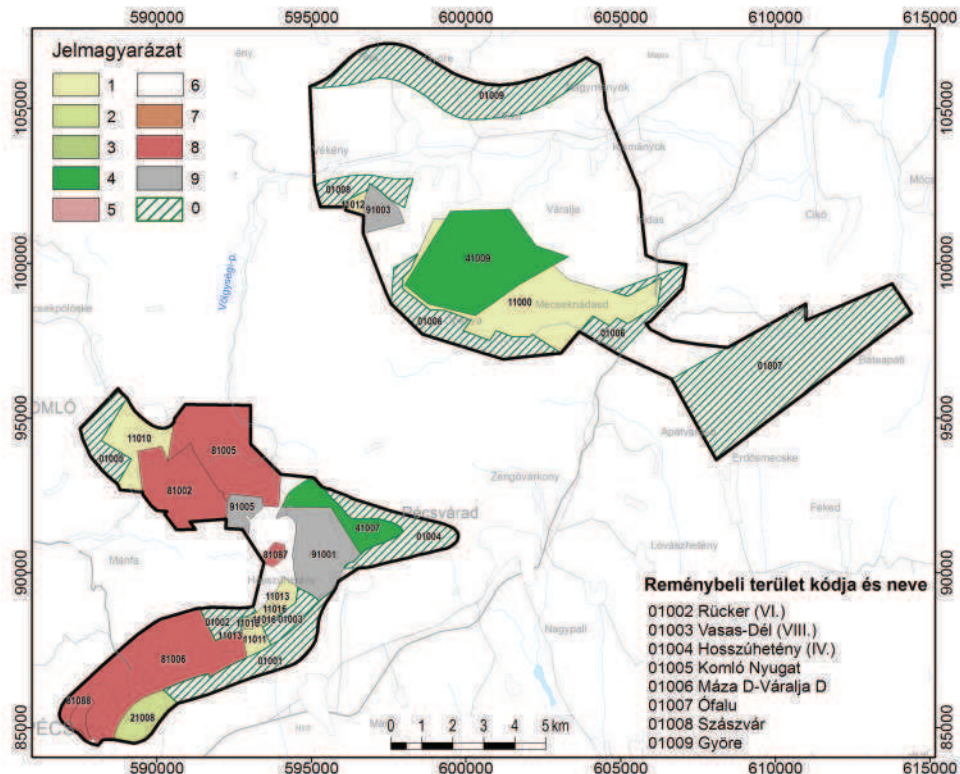
Az Északi-pikkely a Keleti-Mecsek alaphegységi részének egy keskeny (néhány km széles), kiemelt szelete, amely É és D felé is az előtéri neogén üledékekre toldott. Belső szerkezete erősen gyűrt, és sűrűn tagolt nagy elvetésű szerkezeti síkokkal. A miocén során és azt követően e síkok mentén több 100 m-es, alapvetően eltolódásos–feltolódásos mozgások zajlottak (WEIN 1965, TARI 1992, PÜSPÖKI et al. 2012). A szerkezeti mozgásokkal járó rövidülés a széntelepes összlet kivastagodását okozta, ám az erős deformáció a telepek követését és termelését bonyolulttá és költségessé teszi.

WEIN (1951) szerint a mecseki szénmedence szerkezetileg ma is aktív. A feltolódásos mozgások jelenlegi aktivitására következtetett abból a tényből, hogy a komlói bányavágatokban a feltolódások mentén a kőzetnyomás erősebb, a vágatok hamarabb mennek tönkre. Jelenlegi É–D-i irányú feszültségtér nyomást gyakorló hatásával számol NÉMEDI VARGA (1983a) is.

Vitatott, hogy a szénmedence déli határát eredetileg is szerkezeti vonal(ak) által kialakított medenceperem alkotta-e (NAGY Elemér 1969b), vagy a Mecsekalja-öv mentén zajló mozgások a szénmedence déli peremét levágták, és esetleg oldalirányban elszállították (BALLA 1980). A széntelepes összlet jelentős kivastagodása D felé az előbbi elméletet támogatja, míg a szenes összletnek a Mecsekalja-övben és attól D-re, a hegység nyugati és keleti részén előforduló foszlányai a második lehetőséget sem zárják ki. Az Alföld aljzatából is mutattak ki a Mecseki Kőszén Formációhoz sorolható képződményeket (BÉRCZINÉ MAKK 1998).

## Nyilvántartás szerinti vagyon és művelési perspektívák

A Mecseki feketeköszénmedence vagyona nemzetközi viszonylatban is számottevő. Ez hazánk egyetlen kokszolásra alkalmas szene, amely európai viszonylatban is figyelmet érdemel tekintettel arra, hogy az Európai Bizottság 2014-től a



3.5. ábra. A Mecseki feketeköszénmedence mérlegterületei és elsajátítás szerinti állapotuk

Jelmagyarázat: 1. felderítő kutatás, 2. előzetes kutatás, 3. részletes kutatás, 4. megkutatott, 5. megtervezett bánya, 6. épülő bánya, 7. működő bánya, 8. leállított bánya, 9. felhagyott bánya. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (1. 3.2. táblázat)

kokszolható szenet a stratégiai szempontból fontos „kritikusan elérhető” nyersanyagok listáján tartja számon. A medence nyilvántartott mérlegterületei (21) közül (3.5. ábra) az egyik megosztás miatt felszámolás alatt áll, egy másik pedig teljes egészében végleges pillérben van (3.2. táblázat). A medence 1,5 Mrd tonnát meghaladó földtani vagyonnal rendelkezik. A számbavételi határ a földtani vagyon esetében rendszerint 0,4 m telepvastagság, 12,56 MJ/kg fűtőérték, maximális 0,3 m meddő betelepülés. Az elérhető földtani vagyonnál a fejtési vastagság minimum 1,2 m. Fűtőértéke országosan is kiemelkedő, 11–22 MJ/kg (átlagosan 14,869 MJ/kg).

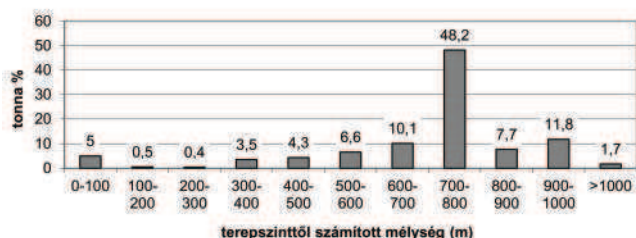
A bányászat számára problémát jelent a kitermelhető vagyon nagy felszín alatti mélysége (3.6. ábra). A mélységgel arányosan növekszik a sújtólég- és tűzveszély és a magas bányabeli hőmérséklet is akadályozó tényező. A meredek dőlésű, összepréselt, soktelepes kifejlődés jár kedvező lehetőségekkel is (kisebb szállítási és utaztatási költségek), de egyéb természeti adottságokkal (pl. sújtólégveszély) együtt számos nehézséget okoz a műveléstervezésben és üzemeltetésben (földtani modellezés bizonytalansága, sújtólégveszélyes bánya tervezési, üzemeltetési problémái, gépesítés). A tapasztalatok szerint víztelenítési gondok nincsenek (2,9 m<sup>3</sup>/p), bányabeli vízbetörések elvétve, legfeljebb helyi, speciális földtani adottságokhoz (pl. miocén karbonátos fedőüledékekhez, szerkezeti anomáliákhoz) kapcsolódóan fordultak elő. A bányaműveléssel kapcsolatos problémák lehetnek még a bonyolult szerkezeti viszonyok miatt magas kutatási költségek és a természetvédelmi lefedettség magas aránya (78,7%).

A közelmúlt tapasztalatai szerint a bonyolult szerkezeti és teleptani viszonyok miatt a már megkutatott, de termeléssel még nem érintett területeken további mélyfúrások és geofizikai kutatás szükséges a kitermelés tervezéséhez. A Máza–Váralja-Dél területen kimutatott 438 Mt szénvagyon kitermelésére befektető hiányában eddig nem került sor. Jóllehet a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet javaslatai között 7,5 Mt/év kapacitású külfejtési elképzelés is létezett (GAGYI PÁLFFY 1985), a legutóbbi kutatási zárójelentést készítő Calamites Kft. – környezetvédelmi megfontolások miatt – elsősorban hagyományos mélyművelésű technológiával tervezi a kitermelést (DEBRECZENI et al. jelen tanulmánykötet). Az átlagnál kedvezőtlenebb kitermelési költségek kompenzációját a cég üzleti modellje szerint elsősorban a szén magasabb feldolgozottsági szinten történő értékesítése, vegyipari átalakítása, ill. komplex hasznosítási lehetőségeinek azonosítása eredményezheti.

**3.2. táblázat.** A Mecseki feketeköszénmedence mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével irt azonosítottok kivételével megtalálhatók a 3.5. ábrán)

Kódja	Nyilvántartási terület Neve	Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték* (kJ/kg)	Súlyponti mélység* (m)	Bányavíz- emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természetvédelmi fedettség (%)
11000	Máza-D maradék („perem”)	526 872	768 706	11 889	779	3	92
41009	Máza-Váralja-Dél	438 276	472 462	16 500	784	5	100
41007	Hosszúhetény	202 068	205 370	18 373	815	2	54
81005	Zobák-akna	142 689	136 699	16 732	397	0,9	48
81006	Pécsbánya	107 206	124 074	16 554	533	0,7	74
11010	Komló-Ny	56 936	59 637	17 587	670	2	11
21008	Pécsbánya-D	29 222	31 211	17 760	773	2	14
91001	Vasas bánya	24 873	26 158	16 840	369	0,7	46
11011	Rücker-D	24 488	24 978	15 439	721	2	70
11013	Vasas-D	22 147	22 457	15 032	350	1	34
81088	Külfejtés II. (Pécsbánya)	13 874	5 127	11 971	152	1,1	1
81002	Kossuth	11 106	10 929	15 636	417	0,7	4
81087	Külfejtés I. (Vasas)	6205	9 436	11 651	81	0	25
91003	Északi bányaüzem	5841	5 351	22 477	716	0,2	99
91005	Béta	4712	4 695	17 144	455	1	6
11012	Szászvár	3185	3438	17 835	875	4	100
41014	Váralja	2990	2289	17 212	169	0	0
11016	Rücker-K-Vasas-D	1852	1930	14 712	40	0	44
11014	Váralja	522	600	17 777	55	0	0
41015	Nagymányok erdőszáv	74	0	17 212	55	0	0
11009	Máza-D	0	0	13 840	779	0	100
Mecsek összesen*		1 625 138	1 915 547	14 869	716	2,9	78,7

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.



**3.6. ábra.** A Mecseki feketeköszénmedence kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

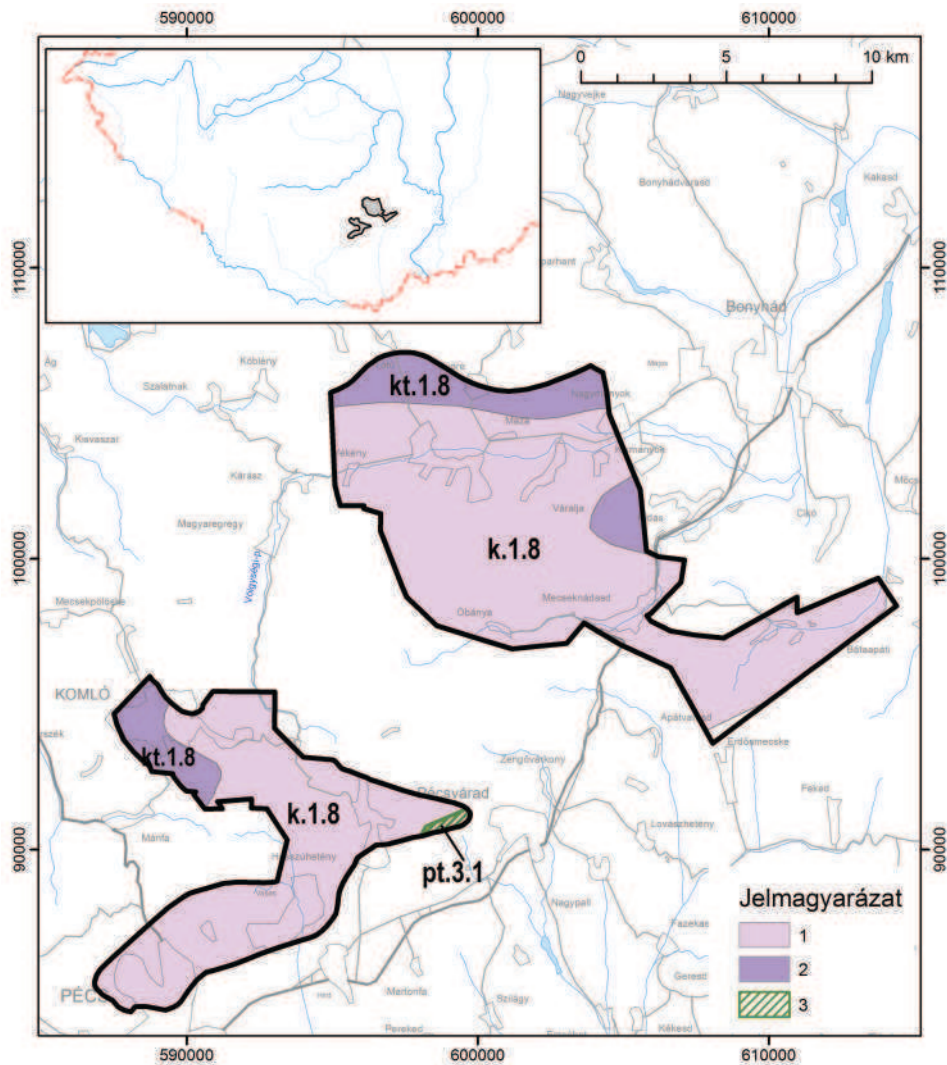
miatt a kutatás leállt (KISS 1995). Az eredménytelenség okát a hazai szakközönség azóta is folyamatosan vitatja, az állásfoglalások egy része a szén alacsony áteresztőképességét, másik része a mecseki szén kedvezőtlen diagenizáltsági állapotát tételezi fel. Egyik felvetésből sem következnek ugyanakkor perspektivikus technológiai megoldások. A mecseki szén metántartalmának kinyerése így feltehetően csak a mélyműveléses bányászat kísérő tevékenysége lehet, elsősorban az előzetes lecsapolás, a szellőztetés, ill. a bányászatot követő, az öregségi műveletek felhasadozott zónáihoz (GOB) kapcsolódó fúrólukas kitermelések révén.

Ugyancsak felmerült a föld alatti szénelgázosítási technológia (Underground Coal Gasification – UCG) bevezetésének gondolata, elsősorban a nagy mélységű, mélyművelés szempontjából nem perspektivikus telepek művelésbe vonása érdekében. E nem konvencionális művelési mód mecseki megvalósítása mellett szól az a tény, hogy a medence köszéntelepes összelete nem áll szoros kapcsolatban perspektivikus ivóvízbázissal. A műszaki tervezést és megvalósítást nehezíti ugyanakkor a hazai átlagot jóval meghaladó vetősűrűség és a nagy telepszámból adódó telepkorrelációs bizonytalanság (FANCSIK et al. 2013). Ehhez kapcsolódóan külföldi vállalat (WildHorse Energy Hungary Kft.) földtani kutatást is végzett 2008–2014 között (MAJOROS, PAPRIKA 2014). A kutatást egyelőre nem követte kísérleti fázisú megvalósítás.

### *Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások*

Az alsó-jura mecseki feketeköszén-medence területén az Európai Unió Vízkeret Irányelveiben meghatározott Mecseki karszt (k.l.8) és Mecseki termálkarszt (kt.l.8) víztest található (3.7. ábra). A karsztvíztároló képződményeket döntően

Felmerült a széntelepek metántartalmának fúrólukon keresztül történő kitermelése. Ennek érdekében a kilencvenes években kutatás kezdődött a szénhez kötött metán kitermelési lehetőségének vizsgálatára (RADNAINÉ GYÖNGYÖS 1990, KISS 1995, METHAN MASTER 1994). 1993-ban a kanadai érdekelt-ségű Methane Master Kft. széntelepek gázlecsapolására indított kutatást kezdett. Ennek célja a Máza-Váralja-Dél területen korábban mélyített kutatófúrás metántermelő kúttá való alakítása, valamint három új fúrás kivitelezése és lecsapolási kísérletek végrehajtása volt. Eredménytelenség



3.7. ábra. A Mecsek víztest térképe

Jelmagyarázat: 1. Karsztos víztestek (k.1.8-Mecseki karszt), 2. Termálkarsztos víztestek (kt.1.8-Mecseki termálkarszt), 3. Porózus termál víztest (pt.3.1-Délnyugat-Dunántúl)

középső-triász kőzetek alkotják: Hetvehelyi Dolomit, Rókahegyi Dolomit, Lapisi Mész, Zuhányai Mész és Csukmai Formáció. A szénmedence területén a karsztos víztesten kívül hegyvidéki, sekély hegyvidéki, porózus és sekély porózus víztestek találhatók, valamint igen kis területi elterjedésben Pécsvárad térségében a Délnyugat-Dunántúl porózus termál víztest (pt.3.1) fordul elő. Az erősen karsztos képződmények a Nyugati-Mecsekben a felszínen találhatók, de keletebbre ezekre vastag, kevésbé vagy egyáltalán nem karsztosodó jura–kréta kőzetek települnek.

A triász karsztos képződmények és a széntelepes összlet (Mecseki Kőszén Formáció) között védőréteggént jelentkezik a középső–felső-triász Kantavári és a felső-triász Karolinavölgyi Formáció. Annak ellenére, hogy a kőszéntelepes összlet kőzetei között a leggyakrabban homokkő fordul elő (30–45%-ban), nagy cementáltsága miatt minimális áteresztőképességgel rendelkezik. A közvetlen fekvő (Karolinavölgyi Homokkő) és fedő (Vasasi Márga) képződmények vízzáró tulajdonságú agyagos aleurolitok, illetve erősen cementált kvarchomokkővek, egymástól hidrodinamikailag elzárt egységként működnek, a telepek gyakorlatilag vízzárónak tekinthetők (FODOR 2007a, b). A tapasztalatok szerint víztelenítési gondok nincsenek.

A mecseki mélyszinti feketekőszén-bányászat során számolni kell az alábbi veszélyekkel: vízbetörések és ehhez kapcsolódó szennyező anyagok, metánszivárgások és gázkitörések. ISTVÁNFALVI (1979) megállapításai szerint vízbetörésekre csak speciális földtani adottságokhoz kapcsolódóan (pl. miocén karbonátos fedőüledékek, szerkezeti elemek) kell számítani. A Dunántúli-középhegységben lévő dorogi vagy tatabányai eocén széntelepes előfordulásoktól eltérően itt nem jellemző nagy hozamú vízbetörés megjelenése, inkább szivárgó vizek jelentkeznek. Ezek elsősorban csapadékvízből származnak és mennyiségük – időeltolódással – annak mennyiségi ingadozását követik.

A mecseki bányák mélysége 100–600 m között változik. ISTVÁNFALVI (1979) mérései szerint a felszínre érkező víz a legmélyebb bányában kb. 5–6 hónap késéssel jelenik meg, azaz ennyi a leszivárgási ideje. A leszivárgó víz környezetre

ártalmas anyagokat oldhat ki a kőzetekből (magas oldott sótartalom), valamint a bányákban összegyűlt víz tartalmazhat szennyező lebegő anyagokat, szénport stb. Annak érdekében, hogy minél kevesebb szennyező anyag jusson a földtani közegbe, ülepítő tározókat vagy egyéb erre alkalmas technológiákat szükséges létesíteni, ill. használatba venni.

A mecseki feketekőszén-bányászatra is igaz, hogy a gázkitörések erőssége és gyakorisága a művelési mélységgel és a szénültés előrehaladásával, valamint az illótartalom csökkenésével nő (KOVÁCS 1975). A mecseki gázkitörésekkel részletesen BÍRÓ (2003) és BÍRÓ, PÁL (2003) foglalkoztak. A veszélyeztetettség mértékét a szénben lévő adszorbeált gáz mennyisége és a települési mélységből adódó terheléses nyomás közötti egyensúly határozza meg, mely a mecseki feketekőszén esetében 400 méternek adódott.

SZIRTES (1977) szerint kb. 400 méteres mélységig a kitörések többsége 18–28% közötti száraz, hamumentes állapotra számított illóanyag-tartalmú kőszénekben fordul elő, mely Pécs Széchényi-akna területén jellemző. Ezen mélységben a terheléses nyomás alacsonyabb, mint a szénben megkötött gáz nyomása, ezért a keletkezett és felhalmozódott gázok az alacsonyabb nyomás irányába, azaz a felszín felé migrálnak. A gázok folyamatosan eltávozhatnak a telepből, csökkentve vagy akár teljesen meg is szüntetve a kitörések veszélyét. A 400 m alatti zónákban a terheléses nyomás növekedésével a gáz migráció lelassul, majd megszűnik, de a keletkezett gáz mennyisége nő mindaddig, míg a telepet külső behatások nem érik (pl. tektonikai mozgások, telep lefejtése) (KOVÁCS 1989).

RADNAINÉ GYÖNGYÖS (1988) és TÓTH *et al.* (1991) fizikai–kémiai vizsgálatai szerint a mecseki széntelepben megkötött gáz egy része felületi megkötéssel gázalmazállapotban, másik része a szén belső szerkezetében szilárd oldatként található. A kitörést megelőzően az utóbbit ismétlődő energiahatások érik, melynek hatására a szilárd fázisból gázzá alakul, majd ismét szilárd oldatba változik vissza, miközben a kilökődő gázmolekulák felszabadulása láncreakciót vált ki. E szerint a modell szerint tehát a váratlan gázkitörések oka a láncreakciószerű gázfelszabadulással gerjesztett pórusnyomás-növekedés.

A korábban alkalmazott szénbányászati technológia nem volt nagy vízigényű. Amennyiben azonban a jövőben az iparfejlesztés alapját a szénfeldolgozás vegyipari technológiai irányai határozzák meg, a korábbiakhoz képest sokkal nagyobb mennyiségű víz felhasználására lesz szükség. Ezen esetben elkerülhetetlen lesz megfelelő kapacitású vízbázis kiépítése, amelynek elengedhetetlen lépései a vízbázis feltárásához szükséges kutatás, a hatósági engedélyek megszerzése és a kivitelezés.

A felszín alatti vizek jelentősebb vízádói a karsztos kőzettestek. A fejlesztésre szánt területeken karszt víztestek találhatók, de ezek nagysága a vizsgált produktív területek környezetében változó. Az ipari tevékenységhez esetlegesen felhasználható porózus víztestek minőségi és mennyiségi szempontú vizsgálata a létesítmények közelében további kutatást igényel. A bányászati technológia tervezésénél figyelembe lehet venni a vízművektől átvehető vízmennyiséget is, ennek hátránya, hogy vezetékkel kell kiépíteni a felhasználás helyszínéig, melyhez engedély szükséges, elsősorban a NATURA 2000 területek miatt. Megfontolásra érdemes a korábbi bányászati tevékenységből visszamaradt végtavak használata, valamint a Dunából történő vízkivétel is. Utóbbihoz több tíz kilométernyi vezetékkel kell kiépíteni, melyhez hatás-vizsgálatok, tulajdonosi megállapodások és többfajta engedélyeztetés szükséges.

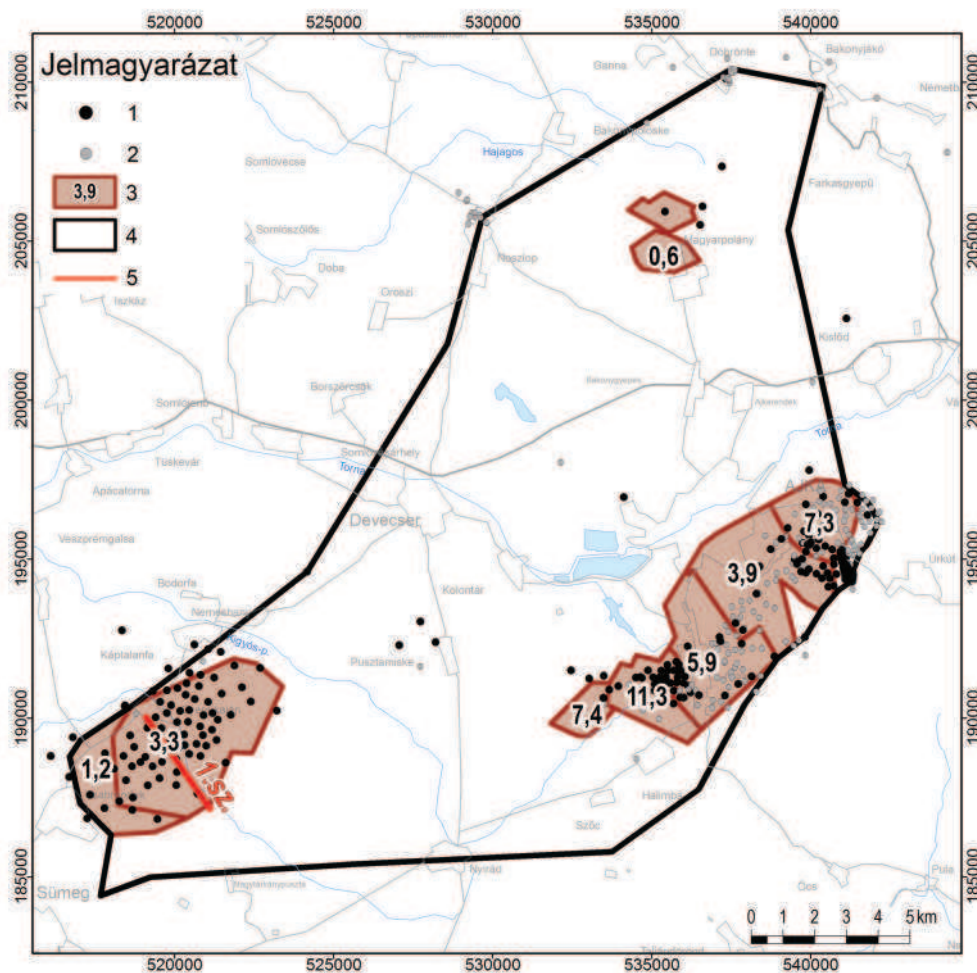
## Ajkai Kőszén Formáció – felső-kréta

### *Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet*

A felső-kréta Ajkai Kőszén Formációt a Bakony DNy-i részén található Somlővásárhely, Zalagyömörő, Sümeg, Magyarpolány, és Ajka–Halimba településekkel jelzett térségekben tárták fel a kőszénkutatások során (3.8. ábra). A bányászat az Ajkától D-re lévő csinger-völgyi kibúvások területén kezdődött 1865-ben a földtani kutatásokkal közel egyidőben (HANTKEN, 1867, BÖCKH 1875–78), s folyamatos zajlott, a bánya kilencvenes években történt bezárásig (KOZMA, TAMAGA 1998). A földtani kutatás első összefoglaló eredményeit HANTKEN (1867), PAPP (1915), ROZLOZNIK *et al.* (1922), ROZLOZNIK (1925, 1928) és VITÁLIS (1939) készítették. A kőszénföldtani viszonyokkal részletesebben EDELSTEIN, (1937) és VADÁSZ (1940), a teleptani kérdésekkel KOPEK (1961) és BARTKÓ (1966) foglalkozott. Összefoglaló és szintetizáló munkák a második világháború után DARÁNYI (1957), GONDOS, SCHULTHEISZ (1959) KOPEK (1961) és BARTKÓ (1966) kutatásai nyomán születtek.

Az ajkai Ármin-bánya előrehaladott kitermelése közben, 1978 és 1990 között a Magyar Állami Földtani Intézet irányításával intenzív földtani kutatás folyt a Csabrendek–Gyepükaján–Devecser–Káptalanfa–Padragkút által határolt területen, amely során számos fontos földtani eredmény került publikálásra. Az átfogó, részletes kutatások összefoglalását KOPEK (1980), CSÁSZÁR (1984), HAAS *et al.* (1986, 1999), CSÁSZÁR, GÓCZÁN (1988), CSÁSZÁR *et al.* (1985, 1990), GÓCZÁN *et al.* (1986), PERA *et al.* (1987), JOCHA-EDELÉNYI (1988, 1996) és GYALOG, CSÁSZÁR (1990) munkái tartalmazzák.

A területen részletes rétegtani, paleobotanikai és palinológiai kutatások is folytak (GÓCZÁN 1961, 1965, GÓCZÁN *et al.* 1986, SIEGLNÉ FARKAS 1988, CSÁSZÁR, GÓCZÁN (1988). A szerves kőzettani kutatások az 1930-as évektől elkezdődtek a medencében, az eredményeket VADÁSZ (1940), GREGUSS (1949), JAKUCSNÉ NEUBRANT (1949), PAÁLNÉ (1962) és ELEK



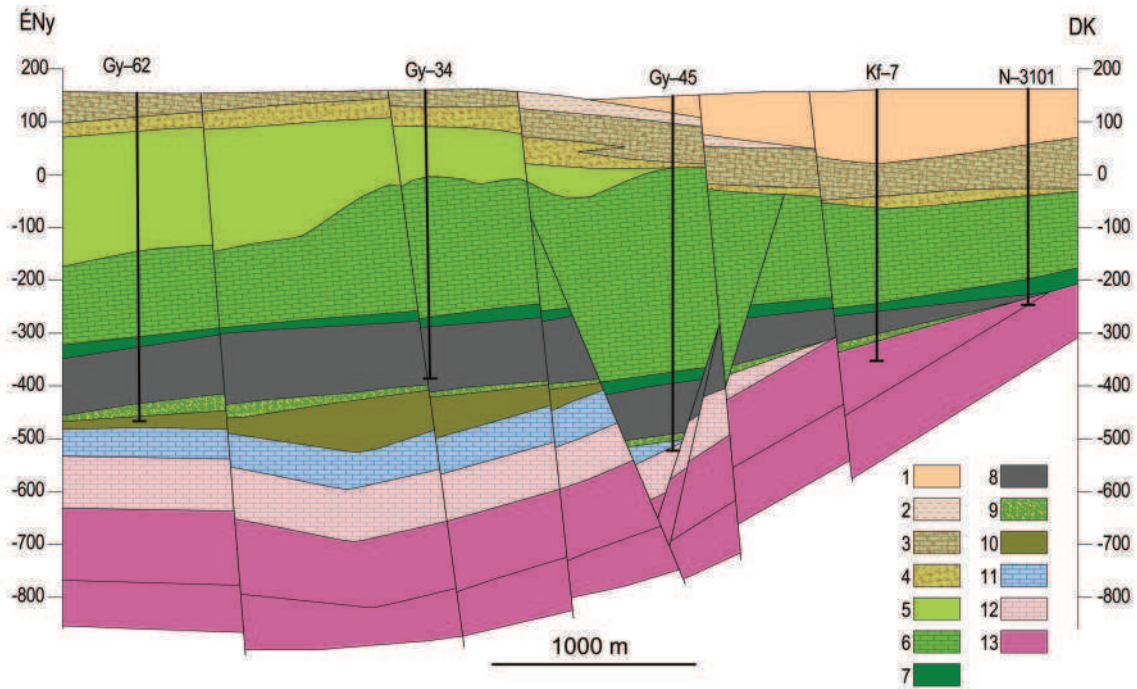
3.8. ábra. Az Ajkai Kőszén Formáció elterjedése és megkutatottsága 3.9. ábra szelvényének nyomvonalával  
Jelmagyarázat: 1. szénkutató fúrás mélyfúrás geofizikával, 2. szénkutató fúrás geofizika nélkül, 3. nyilvántartási terület (a beírt szám fúrás/km<sup>2</sup>), 4. a szénmedence határa (1,2 m-nél vastagabb telepet harántoló fúrásokat bezáró poligon), 5. tanulmányban szereplő szelvény nyomvonala

(1984) foglalta össze, megállapítva, hogy a legtöbb inertinitet a felső-kréta szenek tartalmazzák, jelentős liptinit tartalom mellett. HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR (2006) külön felhívták a figyelmet a vezérszintben jelentkező „ajkait”, rezinit előfordulására az alsó telepekben, amely bizonyítékként szolgál a telepkepződés közbeni áthalmozásra. Jelentős eredmények születtek a széngeokémiában is, TOMSCHEY (1990), SACHNSENHOFER, TOMSCHEY (1992), HÁMOR (1991a, 1994), HÁMOR, HERTELENDI (1991), PÁPAY (199, 1996), HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR (2006) és HORVÁTH, HÁMORNÉ VIDÓ (2015) kutatásai nyomán, ahol a szénben lévő elemi összetételt és a kénfázisokat vizsgálták. Hidrogeológiai kutatásokat VENKOVITS (1954), VÍGH, SZENTES (1957), HARSÁNYI, DARÁNYI (1967), KLESPITZ (1968, 1971) és JENEINÉ JAMBRIK (1986) végzett, elsősorban a bányabiztonsági okokból, a vízbetörésveszély elhárítására.

### Rétegtani felépítés

A késő-kréta kőszénképződés körülményeit az alpi szerkezetalakulás határozta meg. A karbonátos kőzetekből felépülő mezozoos alaphegység ekkor kiemelkedett, bauxit- és vörösiszap-felhalmozódásokkal tarkított lepusztulási felszínén a senonban indult meg az üledékképződés. Ennek képviselője a Csehbányai Formáció folyóvízi, ártéri, ill. delta üledékekből felépülő rétegsora, ill. az Ajkai Kőszén Formáció édesvízi-brakk-vízi mocsári fáciese (GÓZCÁN et al. 1986, HAAS et al. 1986).

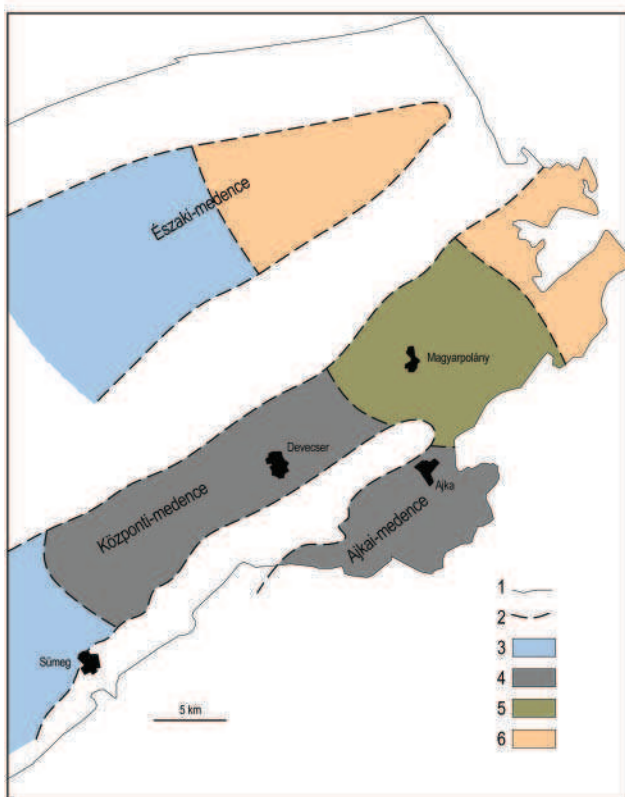
A kőszéntelepes összlet közvetlen fekvése a Csehbányai Formáció, amellyel ÉK felé össze is fogazódik. Közvetlen fedője a Jákói Márga Formáció, melynek 50–100 m vastag anyaga rosszul rétegzett, szublitórális fáciesű korallós–molluscás márga (Csingervölgyi Tagozat). A kőszéntelepes összlet a Zalai-medence irányában az Ugodi Mészkő Formáció („hippuriteses mészkő”) mintegy 100–300 m vastag platform fáciesű rudistás mészkőre felé ékelődik ki. A felső-kréta összlet legfelső részét a helyenként nagy vastagságban (max. 800 m) kifejlődött medence fáciesű Polányi Márga Formáció („inoceramuszos márga”) alkotja, melynek anyaga jól rétegzett, szürke, agyagos mészkő, mészmárga, márga és kőzetlisztes márga (3.9. ábra).



3.9. ábra. Az Ajkai Formáció települési viszonyai a gyepükajáni medencében (PERA et al. 1987 nyomán, in KERCSMÁR et al. 2012)

A szelvény nyomvonalát a 3.8. ábra mutatja. Jelmagyarázat: 1. Csatkai F., 2. Csolnoki F., 3. Szóci Mészko F., 4. Darvastói F., 5. Polányi Márga F., 6. Ugodi Mészko F., 7. Jákói Márga F., 8. Ajkai Kőszén F., 9. Csehbányai F., 10. Sümegi Márga F., 11. jura képződmények, 12. Dachsteini Mészko F., 13. Földolomit F. és Kősseni F.

### Teleptan



3.10. ábra. Az Ajkai Kőszén formáció fáciestérképe (HAAS et al. 2001)

Jelmagyarázat: 1. a senon képződmények elterjedési határa, 2. a kőszénképződési terület határa, 3. uralkodóan tengeri képződmények, 4. a kőszénképződés optimális területe, 5. delta üledékek, 6. folyóvízi-tavi üledékek

A medencét HAAS et al. (1986) szerint ÉK–DNy-i csapású, 5–8 km széles kiemelt háta É-i, központi és D-i medencére osztották (3.10. ábra). A kőszénlápok a központi hátságot körülvevő keskeny sülyvedékekben alakulhattak ki. Ennek köszönhető, hogy amíg az É-i medencében inkább az édesvízi körülmények domináltak, addig a medence D-i részén az édesvízi környezet a santoni során fokozatosan brakk-vízi környezetre váltott.

Az ajkai barnakőszén bányászatához kapcsolódó részletes ösföldrajzi kutatások a központi és D-i medencék fúrásai alapján történtek. A részmedencék közül a D-i Ajkai-medence a jobban megkutatott, felszínhez közelebbi helyzete miatt. A központi és É-i medencék települési mélysége a tektonikai lezökkenések miatt 600–1300 m.

A kőszéntelepek összlet vastagsága 40 és 110 m között változik, átlagosan 100 m. Kiterjedése a központi medencében a legnagyobb, ahol ÉK–DNy-i irányban 35–40 km hosszan és 5–8 km szélességben követhető. A D-i medence D-i és DK-i irányban a senon képződmények eróziója által határolt, míg az É-i legmélyebben fekvő medencéről csak néhány fúrás adatai állnak rendelkezésre.

A telepek összlet általában 7 telepet tartalmaz, melyek közül 5 minősült művelőnek (3.11. ábra). A telepeken belül gyakoriak az agyag, márga és molluscás finomtörmelékes betelepülések. Minőségét tekintve a legjobbnak az első négy telep tekinthető, 1,5–3,5 m vastag, a területen több kilométer hosszan követhető kifejlődésével. A területen belül vezérszintnek tekinthető a IV. telep, amelyben többnyire megfigyelhető egy néhány mm vastag gipsz-

réteg („huszárzsínór”) és 1–2 mm-es borostyánszemcsékkel hintett kőszén megjelenése. A telepet ezért borostyánkő telepnek, vagy ajkait telepnek is hívják (VADÁSZ 1940).

Az Ajka II. területen a 70–90 m vastag formáción belül három telepcsoport fejlődött ki Magyarpolány környékén. Devecsernél az alsó telepcsoport 10–27 m vastag, a középső és a felső azonban mindössze néhány méter. Gyepükaján környékén (amely a részletesen megkutatott Ajka–II. kőszénterület) a 100–130 m vastag formáció öt telepcsoportja közül a művelő alsó telep vastagsága 10 m körüli. Ettől DNy felé a redukált vastagságú formáció tengeri kifejlődésekkel fogazódik össze.

A művelésbe vont telepek anyaga alacsony szénültességű, a vitrintreflexió értéke 0,47–0,48% közötti értéktől 0,56%-ig változik, a fényes barnakőszén, ill. szubbitumenes kőszéntől a bitumenes kőszénig. Átlagos fűtőértéke 8–16,7 MJ/kg között, nedvességtartalma 12–30% között alakul. Az átlagos nedvességtartalom 11% körüli, a kén-tartalom átlagosan 5,4%. A magas kén-tartalom a paralikus lagúna fáciesű képződési környezetnek és a döntően karbonátos környezettel kapcsolatba hozható intenzív bakteriális tevékenységnek köszönhető.

A kőszének litotípusa kemény, félkemény gyengén rétegzett, vagy rétegzetlen. Macerál összetételét tekintve a magyarországi kőszének között e terület kőszenei a legváltozatosabbak. A vitrinittartalom széles határok között változik, átlagosan 60% körüli. A kréta szének jellegzetes kőzetalkotója az inertinit, ami leginkább inertodetrinit. Ennek mennyisége hazai viszonylatban a legnagyobb, a telepek talpától a fedő irányába nő és pozitív korrelációt mutat a rezinit-tartalom („ajkait”) mennyiségének növekedésével. A rezinit és inertodetrinit gyakori előfordulása és nagy mennyisége alapján a telepképződés a felsőbb telepekben először hypoautochton, majd allochton lehetett, feltehetően az erősödő transzgresszió hatására. A szénkőzettani adatok mellett ezt a geokémiai nyomelem-vizsgálatok (TOMSCHEY 1990, HÁMOR, HERTELENDI 1991, SACHSENHOFER, TOMSCHEY 1992, HORVÁTH, HÁMORNÉ VIDÓ 2016) és a stabil szén- és kénizotópos elemzések adatai is alátámasztják (HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR 2006). A tengeri környezet hatását a magas kén-tartalom mellett a nagyobb bórtartalom, és a  $\delta^{34}\text{S}$  stabil kénizotópoknál a nehezebb izotópok irányába történő elmozdulás jelzi.

Az Ajkai Kőszén Formáció telepeinek köztes üledékei homokos, márgás képződmények. Vízföldtani szempontból egységes hidrodinamikai tömböt alkotnak, és felszínközeli helyzetben (pl. Ajka térségében) a mélyszerkezeti bányászat idején a karsztosodott fedő irányából vízbetörés-veszélyes képződménynek minősültek (MEINHARDT 1953, VÍGH, SZENTES 1957).

### Szerkezeti viszonyok

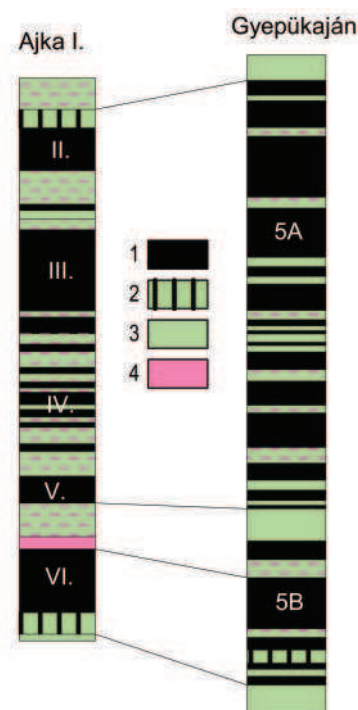
A szénmedence a Dunántúli-középhegységet alkotó, DNy–ÉK csapású szinklinális tengelyzónájában fekszik. A kréta időszak közepén szinklinálissá gyűrődött rétegsor felső része a kiemelkedés hatására lepusztult. Az Ajkai Kőszén Formáció az újrainduló üledékképződés kezdeti időszakában rakódott le, fekéjéhez képest kevésbé deformált.

A Dunántúli-középhegység szerkezeti képét a kréta orogenezis során kialakult vetőrendszerek határozzák meg, melyek a kainozoikum során több esetben felújultak. A mezozoos és későbbi vetők elválasztása nehézségekbe ütközik (FODOR et al. 2005b, NÉMEDI VARGA 2010). Az ajkai kőszénterület peremén ennek megfelelően a szinklinális csapásával párhuzamos, DNy–ÉK-i irányú vetők a meghatározók (3.9. ábra). Ezek részben az üledékképződéskor létező árkok határait alkották, részben későbbi felújulásukkal szabtak határt a széntelepek összletnek.

A hosszanti vetőkhöz társuló harántirányú (ÉNy–DK-i) szerkezetek eltolódásos és függőleges összetevővel is rendelkező, meredek dőlésű vetők, melyek elvetési magassága a 100 m-t is meghaladhatja. A bányászatban ezek döntő jelentőségűek, ugyanis az egyes aknaüzemeket ezek választják el egymástól. A harántvetők által kialakított pászták magassága DNy felé lépcsőzetesen csökken, a létrejött magasságkülönbség meghaladja az 500 m-t. A pásztákon belül a szenes összlet enyhén gyűrű, a rétegdőlés szintén enyhe, az összletet tagoló vetősíkok elvetési magassága viszonylag kicsi (10 m alatti). A fő vetők a fedő és fekvő víztartó képződmények felől áramlási pályákat képeznek, így növelik a vízbetörés veszélyét (VÍGH, SZENTES 1957).

### Nyilvántartás szerinti vagyon és művelési perspektívák

A medence 9 mérlegterülete (3.12. ábra) összesen 366 Mt földtani vagyonnal rendelkezik, ebből a nyilvántartott kitermelhető vagyon 269 Mt (3.3. táblázat). A számbavételi határ 1,0 m-es telepvastagság, 7,5 MJ/kg fűtőérték. A kitermelhető vagyon fűtőértéke viszonylag alacsony, 8,5–10 MJ/kg, átlagosan 8,898 MJ/kg.

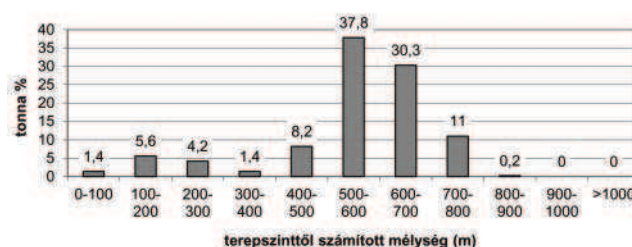


3.11. ábra. Ajkai Kőszén F. elvi telepszelvénye (KOZMA 1991) Jelmagyarázat: 1. széntelep, 2. szenes agyag, 3. agyag, agyagmárga, 4. kövület, kövületpad



A szénmedence jó minőségű szénvagyonát az elmúlt 140 évben lefejtették. Megkutaták a Sümeg–Csabrendek térségében található Ajka–II. szénelfordulást, amely a korábbi tervek szerint a kimerülőben lévő ajkai szénbányák pótlását szolgálta volna. Az 1980-as évek végén, amikor a szénbánya-vállalatok felszámolása elkezdődött, a bánya megnyitása nem valósulhatott meg. A jelentős települési mélységgel párosuló alacsony fűtőérték, valamint a fedő és fekü felőli vízbetörésveszély miatt a kitermelést jelenleg nem tervezik.

A nagy települési mélység és a jelentős telepvastagság alapján felmerült a felszín alatti szénelgázosítással történő hasznosítás gondolata. A széntelepes rétegsor karsztos vízádókkal való kapcsolata azonban kiemelten magas hidrogeológiai, elsősorban vízszennyezési kockázatot jelent.



3.13. ábra. A Bakonyi kőszénmedence kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

### *Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások*

A kréta szénmedence esetleges hasznosítása hidrogeológiai szempontból komoly körtekintést igényel. A széntelepes összlet mind a fekü, mind a fedő oldaláról vízveszélyes. A szinklinális tengelyzónájában a fő karsztvíztároló és a széntelepes összlet (Ajka Kőszén Formáció) között védőréteget képez a vízzáró alsó-kréta márga (Sümegi Márga), melyen a szenes összlet közvetlen feküje, a felső-senon törmeléken összlet települ (Csehbányai Formáció). A szinklinális szárnyai felé viszont az alsó-kréta vízzáró védőréteg hiányzik, itt a Csehbányai Formáció alatt már közvetlenül a fő karsztvíztároló karsztosodott felső-triász–jura karbonátos kőzetek találhatók. E részeken a fekü irányából gyakoriak a komoly vízföldtani kockázatot jelentő vízbetörések.

A formáció közvetlen és magasabb fedő képződményei jobbra vízzáró tulajdonságúak: felső-kréta márga (Jákói és Polányi Márga), amely mészkővel (Ugodi Mészkő) fogazódik össze. Ezekre az eocén mészkő (Szöci Mészkő), majd az oligocén–alsó-miocén törmeléken összlet (Csatai Formáció) települ. Vízföldtani szempontból komoly kockázatot jelentenek a széntelepes összlet közé települt márgás és homokos képződmények is, melyek vízföldtani szempontból feltehetően egységes hidrodinamikai tömböt alkotnak és ahol a felszínközélen helyezkednek el (pl. Ajka térségében), a mélyszerinti bányászat idején vízbetörés szempontjából veszélyeztetett területnek minősülnek (MEINHARDT 1953). A bányákban a vízbetöréseken túlmenően számítani kell metángáz-robbanásra is.

## **Dorogi Formáció – középső-eocén**

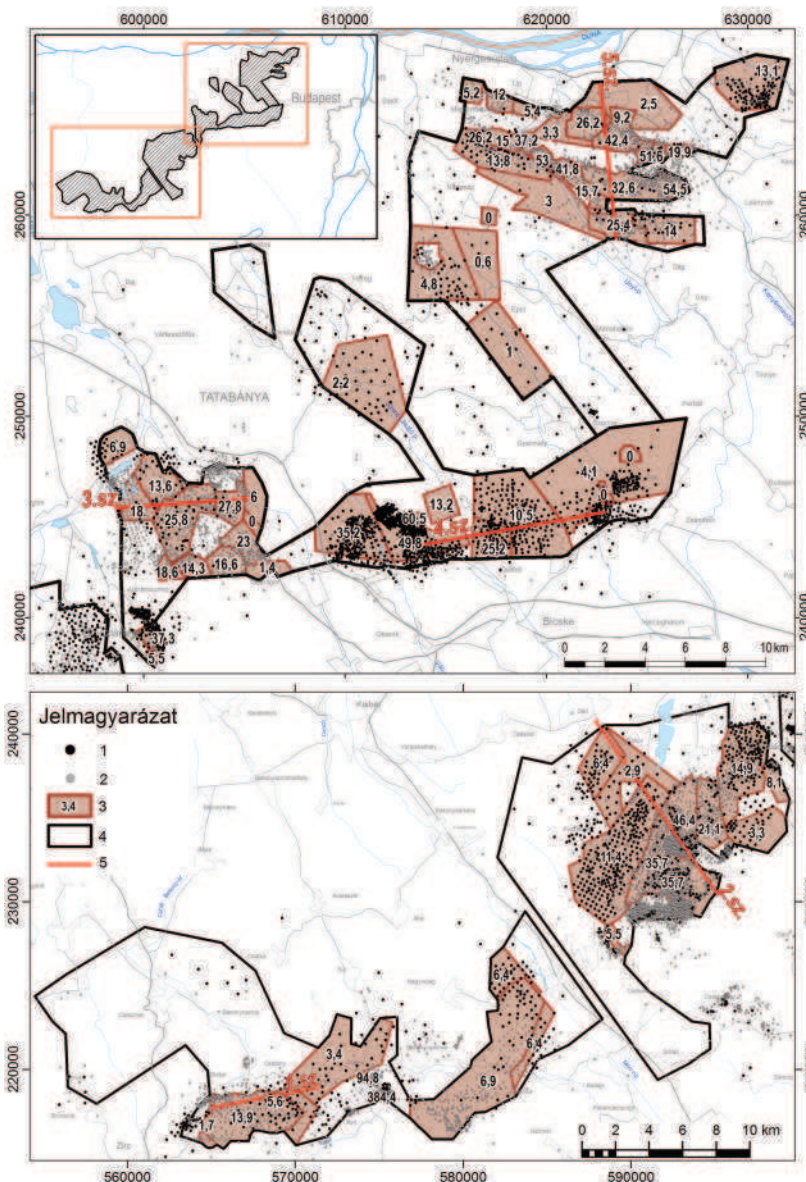
### *Elterjedés, kutatás- és bányásztörténet*

A középső-eocén Dorogi Formáció egymástól jól elkülönülő részmedencékben (3.14. ábra) a Magyar Paleogén-medence területén: az Északi-Bakony peremén (Dudar–Csetény, Kisgyón–Balinka), a Vértes ÉNy-i oldalán (Oroszlány–Bokod–Pusztavám), a Gerecse és Vértes közötti Tatabányai-medencében, a Gerecse és a Pilis közötti Dorogi-medencében valamint a Budai- és Pilis hegységben (Nagykovácsi–Solymár–Pilisvörösvár).

A tágabb értelemben vett Dorogi-medencében a bányászat 1805-ben kezdődött Sárísápon. Ezt követte az 1839-ben megnyílt tokodi, majd 1840-ben a szarkási és 1850-ben a dorogi szénmező (PETERS, 1859, PAPP 1915). A Sárísáphoz tartozó Annavölgyben 1850-ig csak az oligocén széntelepeket fejtették, amely alatt az eocén széntelepet egy vetődés mentén találták meg. A Dorogi-medencéhez tartozó lencsehegyi szénmező feltárása 1955–1956-ban geofizikai mérésekkel kezdődött, majd földtani térképezéssel és fúrások mélyítésével folytatódott 1961–69 között (KNAUER KOPEK 1982). A Budai-hegység É-i részén és a Pilis előterében, Pilisvörösvár, Pilisszentiván, Solymár és Nagykovácsi területén folyt eocén barnakőszén kitermelése 1861–1969 között. Az első publikációk szerzői HANTKEN (1861, 1865, 1871) és PAPP (1915).

A Tatabányai-medencében az oligocén rétegek alatti eocén telepeket 1895-ben Hönsch Ede szorgalmazására kezdték el kutatni. 1895-től 1989-ig, folyamatos kutatás és termelés folyt a szénmedencében, ahol 26 db mélyművelésű és 5 db külfejtéses bányüzem működött, csaknem 100 éven keresztül (CSICS 1987). A Vértes ÉNy-i előterében Vértessomló és Mór között 1937-től működnek a középső-eocén barnakőszénre települt bányák. Az oroszlányi bányaterület mellett 1944-ben megnyílt az 1971-ig termelő pusztavámi, 1976-ban a majki és 1981-ben a márkushegyi (VARGA 1978) bányüzem. Nagygyeháza–Csordakút első kutatása a tatabányai szénkutatás 1896-os sikere után 1898-ban indult.

A Csordakút–Nagygyeháza–Mány térségében ismert előfordulás az 1960-as évektől lett egyre intenzívebb kutatás tárgya. Az első bányanyitások 1974-től indultak Csordakúton, majd 1981-ben Nagygyeházán és Mányban indult termelés. A 70-es évekig végzett földtani kutatás alapján több területen vált világossá, hogy a bányatervezés és nyitás a meglévő adatok alapján nem biztonságos. Az erre a célra telepített fúrások megerősítették, hogy a széntelepes összlet és az aljzat



3.14. ábra. Az Dorogi Formáció elterjedése és megkutatottsága a 3.18. ábra (1. sz.), 3.19. ábra (2. sz.), 3.20. ábra (3. sz.), 3.22. ábra (4. sz.), 3.23. ábra (5. sz.) nyomvonalával  
Jelmagyarázat: 1. szénkutató fúrás mélyfúrás geofizikával, 2. szénkutató fúrás geofizika nélkül, 3. nyilvántartási terület (a beirt szám a fúrás/km<sup>2</sup>), 4. a szénmedence határa (1.2 m-nél vastagabb telepet harántoló fúrásokat bezáró poligon), 5. tanulmányban szereplő szelvény nyomvonala

mélyedéseiben települő bauxitlencsék között nagy vastagságú áthalmazott dolomitbreccsa helyezkedik el. E közvetlen fekvő és annak a tágabb földtani környezettel való kapcsolata kritikus tényezőknek bizonyult a bányaművelés és a karsztvízszint-süllyesztés tervezése során. A 10 éves kiegészítő kutatás igazolta, hogy az egyes részmedencék vízföldtani viszonyai nem ismertek elég részletesen. A karsztvíz kitermelése a 80-as években kezdődött több lépcsőben, de 1990-től a Vízgazdálkodási Minisztérium csökkentette a kitermelhető karsztvíz mennyiségét, s 1989–1992 között előbb az elárasztott mányi, majd a nagygyházai, végül a csordakúti bányüzem is bezárt.

A földtani és bányaföldtani viszonyokat először PAPP (1915), TELEGDY ROTH (1925, 1927), TAEGER (1936) és VITÁLIS (1939) ismertették. ROZLOZSNIK (1925, 1930) külön kiadványban foglalkozott a széntelepes előfordulásokkal, különös tekintettel a Tatabányai-medencére, amelynek ő készítette az első részletes bányaföldtani térképét is. BARTKÓ et al. (1966) rövid földtani összefoglalást adott az eocén előfordulásokról. SÓLYOM (1953, 1972) földtani térképezése és összefoglaló munkája valamint SZENTES (1968) eredményei nagyban hozzájárultak a kőszéntelepes összlet megismeréséhez.

Részletes összefoglalást adott a kifejlődés rétegtanáról HOFMANN (1871), ROZLOZSNIK (1930), SZÓTS (1948, 1952a, b, 1953, 1956), NAGY et al. (1968) és GIDAI (1971a, b). Bányaföldtani értelmezések és a földtani, rétegtani eredmények összehangolásán SAS (1972), GERBER (1978) GIDAI (1968, 1971a, b), LOHRMANN (1983) és GUTTMANN (1988) dolgozott. GIDAI (1968, 1971a, b) munkáinak kiemelkedő

erénye a kőzettani adatok és fúrásszelvények pontos tényszerű közlése, ami kiváló alapot képez a rétegtani revíziókhoz (KERCSMÁR 2010). Szerkezetfejlődési modellt FODOR et al. (1992, 2005a), KERCSMÁR, FODOR (2005), PÁLFALVI et al. (2006) és KISS (2010) publikált. KERCSMÁR (2005a, b, 2006) tisztázta a nevezéktani és rétegtani ellentmondásokat és fejlődéstörténeti sorrendbe állította a képződményeket.

Az észak-dunántúli eocén képződmények rétegtani helyzetével BÁLDINÉ (2003), az egyes eocén fáciesek kifejlődésének kérdésével KOPEK (1961, 1964, 1969, 1980) és KERCSMÁR (2005a) foglalkozott. A Vértes hegység térképezése során új eredményeket közölt BERNHARDT, PEREGI (1983), BERNHARDT (1985), KERCSMÁR et al. (2006, 2009, 2010, 2011) és PÁLFALVI et al. (2006). A területről a Magyar Állami Földtani Intézet új földtani felvételezése alapján 50 ezres méretarányú földtani térkép (BUDAI, FODOR szerk. 2008, FODOR et al. 2008) és térképmagyarázó készült (BUDAI et al. 2008a, b)

A kőszénösszlet palinológiai és ősnövénytanai vizsgálataival ANDREÁNSZKY (1954), ANDREÁNSZKY, SONKODI-KOVÁCS (1955), ill. RÁKOSI (1960, 1978, 1979, 1985), foglalkozott. A telepek magas nyomelemtartalmát FÖLDVÁRINÉ (1968), TOMSCHEY (1992), HORVÁTH, HÁMORNÉ VIDÓ (2016) vizsgálta. Szénkőzettani tanulmányokat a Tatabányai- és Dorogi-medencében SZÁDECZKY-KARDOSS (1939), VADÁSZ (1940, 1952), STACH (1951), IHAROSNÉ LACZÓ (1961, 1963, 1964, 1966, 1969, 1973), VARGA, HORVÁTH (1986), VARGA et al. (1986), GRÓNAI, ELEK (1988), BOHNÉ, VAJK (1999) végeztek. A

márkushegyi széntelepes összletre vonatkozó szerves kőzettani és geokémiai értékelések alapján az eocén szénképződés körülményeinek jellemzőit FÖLDVÁRINÉ (1968), ÓDOR (1969), VARGA et al. (1986), GRÓNAI, ELEK (1988), HÁMOR (1991a, 1994), HÁMOR, HERTELENDI (1991) PÁPAY (1993, 1996), HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR (2006), BECHTEL et al. (2007) és HORVÁTH, HÁMORNÉ VIDÓ (2016) munkái mutatják be.

### Rétegtani felépítés

A telepek közvetlen fekjéből származó nannoplankton adatok alapján BÁLDINÉ (2003) a Dorogi Formáció lerakódásának kezdetét a középső-eocén lutetiai végére teszi a medence egész területén, azaz az Északi-Bakonytól a Vértesig terjedően. A formáció fekjét döntően Földolomit és Dachsteini Mész, ill. a denudációs felszínre települt Polányi Márga alkotják, de ÉK felé haladva több helyen jura mészkövek adják a kőszéntelepes összlet fekvő képződményeit. A paralikus kifejlődésű kőszéntelepes összlet bázisán Dudartól a Vértes ÉNy-i oldalig transzgressziós sekélytengeri homok található. Ettől ÉK-i irányba haladva a széntelepes összlet közvetlen fekjét a lepusztulási felszín közetei alkotják, így Nagyecyháza–Bicske térségében például Földolomitra és a paleokarszt-felszín topográfiai mélyedéseiben felhalmozódott bauxitra települ a széntelepes összlet. Dorog, Tokod és a Gerecse, valamint a Visegrádi-hegység előterében triász mészkő és jura karbonátok, ill. ezek törmelékes lepusztulási képződményei adják a fekvő. Mindez tükrözi a középső-eocén kőszénképződést megelőzően kialakult lepusztulási felszín összetettségét és változatosságát.

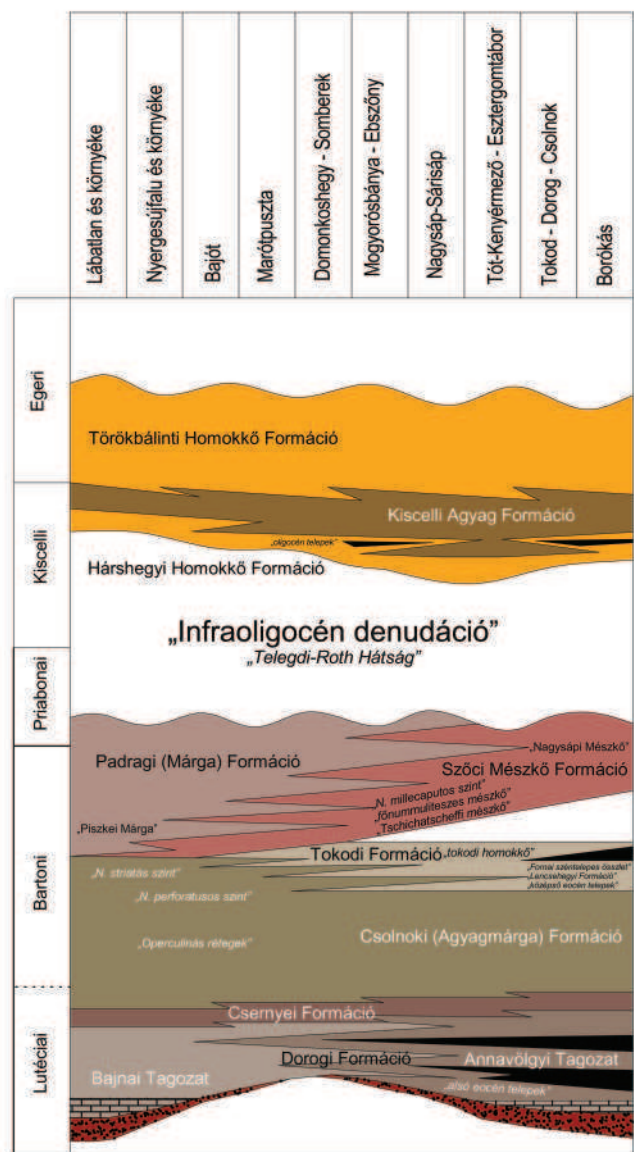
A Dorogi Formáció az egész észak-dunántúli egységben egyetlen transzgressziós ciklus része, ugyanakkor a telepképződés DNy-ról ÉK-i irányban egyre később kezdődött. Az első tengerszint-emelkedéssel egyidejűleg a szárazföld irányában vizes élőhelyek alakultak ki, majd a helyi depressziókban a tőzegképződés is megindult (BÁLDINÉ 2003). A paralikus lagúna üledékképződési környezete jól követhető az É-Bakonytól a Vértes ÉNy-i előteréig (KOPEK 1964, 1980, KNAUER, KOPEK 1982), amelynek területén több mint 20 km hosszan húzódó kőszénmedence alakult ki.

Mány, Csordakút, Tatabánya környezetében és Dorog–Tokod irányában a telepes rétegcsoport a szerkezeti blokkok süllyedésének és a helyi depressziók feltöltődésének megfelelően rakódott le néhány kilométeres átmérőjű lencsék formájában. A blokkok süllyedési ütemét követve akár 5–10 m vastagságot is elérő üledékcsoomagok jöttek létre, rendszerint tőzeges üledékekkel, helyenként édesvízmész-kőbetelepülésekkel. Dorog, Tokod és Lencsehegy területén a kőszéntelepes összlet legtöbbször durvatörmelékes aljzatra települ. Megjelenése deltasíkságra jellemző lencsékre hasonlít, ami arra utal, hogy itt a kőszénképződés a tengeri környezetből egyre inkább limnikus deltasíksági fáciesbe megy át.

A kőszéntelepes összlet közvetlen fedőjét a 10–20 m vastag sekélytengeri Csernyei, majd a fölötté következő, egyre mélyülő medencében lerakódott Csolnoki Formáció márga alkotja (3.15. ábra), mészmárga, kőzetliszt, homokkő rétegsora alkotja, alsó szakaszán gyakran lumasellaszerűen feldúsuló csiga-, kagyló- és korallmaradványból álló padokkal (HÁMORNÉ VIDÓ 2013). A bakonyi medencék DNy-i részén a fedő a Padragi Márga sekély-pelágikus-tól a bathiális környezetig változó aleuritos márgája tufitbetelepülésekkel, felső részén helyenként turbidites homokkő-szakaszokkal.

Tatabányától ÉK-i irányban a Csolnoki Márga összefogazódik a sekélytengeri molluscsás, nummuliteszes, miliolinás, kőszéntelepeket is tartalmazó Tokodi Formációval, melyet agyagmárga és márga, valamint édesvízi mészkő és mészmárga váltakozása, felső részén pedig folyóvízi homok, meszes homokkő képvisel.

Az eocént követő lepusztulás után az oligocén fedő



3.15. ábra. A Dorogi-medence paleogén képződményeinek elvi rétegszlopa (KERCSMÁR 2010, KERCSMÁR in print)

rétegsort a Csatkai Formáció folyóvízi összlete képviseli, összefogazódva a sekélytengeri Törökbálinti Formáció Mányi Tagozatával, amelynek alsó szakasza kőszéntelegeket is tartalmaz (Mogyorósi Tagozat).

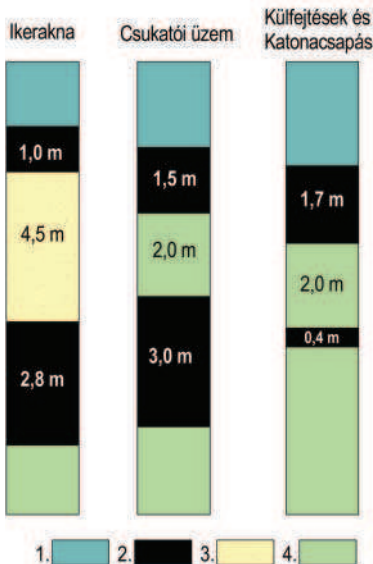
### Teleptan

A kőszénképződés a szigettengerek által körbevett szárazulatokon kezdődött (KOPEK 1980, BÁLDINÉ 2003). Az üledékképződés jellegét a vízszint, a tengertől való távolság és az aljzat morfológiája, típusa határozta meg az esztuáriumtól a felső delta, limnikus, folyóvízi, ártéri és tavi karsztkőszén-képződési környezetekig (HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR 2006). A tengeri kapcsolat a Bakony É-i részén és a Móri-árok, Pusztavám térségében volt a legjelentősebb.

Az 1–2 telepet vagy a 3–4 telepet tartalmazó kőszénteleges összlet kifejlődése DNY-ról ÉK-i irányban a paralikus partszegélyi, mangrove környezettől a szárazföldi, folyóvízi–tavi fáciesig változik. Általában két telep kifejlődése jellemző, ahol a partszegélyi környezetben az átlagos telepvastagság 2 m (3.16. ábra). A karsztfel-színre (Csordakút, Nagyegyháza, Tatabánya) és a hegylábi süllyedékekben kőzet-törmelék aljzatra települt, tavi és palusztris környezetben képződött telepek száma (pl. Dorog, Lencsehegy) helyenként ennél több is lehet (3.17. ábra). A limnikus környezetben induló alsó főtelep és a rá következő paralikus felső telep egymástól néhány tíz méteres távolságra fekszik, s elterjedésük a legnagyobb a medencében. Települési mélységük 200–350 m.

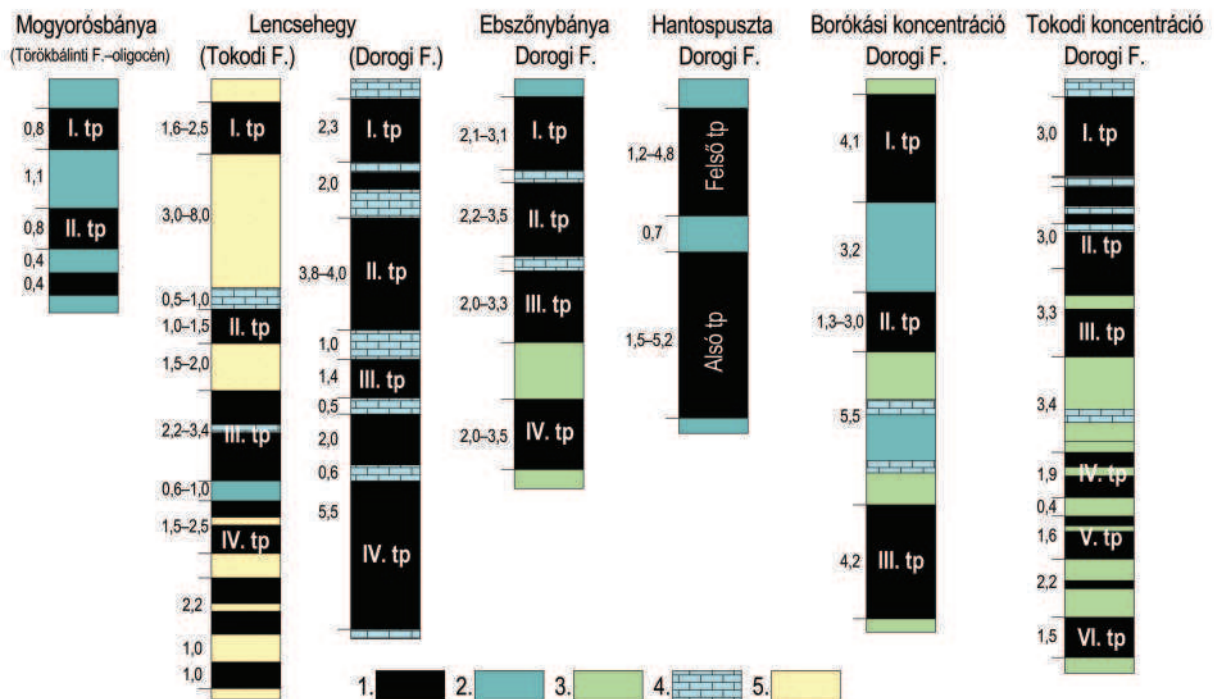
A Bakony É-i előterében és a Vértés ÉK-i területétől kezdve a kőszénképződés a karsztosodott felszín helyenként bauxittal kitöltött mélyedéseiben teresztrikus folyóvízi, tavi környezetben, a felső deltasíkságon történt. A kőszénmezők kiterjedése lencseszerű, ugyanakkor vastagságuk nagyobb, általában 3–5 m között változik, Bicske–Nagyegyháza–Tatabánya térségében a 10 m-t is eléri, sőt meghaladja azt (3.17. ábra). Tatabánya térségében a kőszénképződést a humidabb éghajlatú és magasabb vízszintű időszakokban édesvízi mészkő képződése helyettesíti.

A Dorogi Formáció telepeinek szénközöttani összetétele a képződési környezettel változik, de a fő kőzetalkotó jellemzően a vitrit, jelentős mennyiségű lipinit, legfőképpen szuberinit (szárazföldi növények védőszöve) és sporopollenin kíséretében. A képződési környezetek közötti különbséget elsősorban a funginit jelenléte, ill. hiánya mutatja. Amíg a paralikus környezetben a magas vízállás melletti enyhén lúgos pH-jú közeg a magasabbrendű növényi anyag bomlását segítette, addig



3.16. ábra. A Vértés előterében lévő telepek elvi rétegszelvénye (SZILI 1979)

Jelmagyarázat: 1. molluszkás meszes márga, 2. szénteleg, 3. agyagos homok, 4. agyag



3.17. ábra. Kőszéntelegek elvi rétegszelvényei a Dorogi-medencében (GUTMANN 1988)

Jelmagyarázat: 1. szénteleg, 2. márga, agyagmárga, 3. agyag, 4. édesvízi mészkő, 5. homokkő

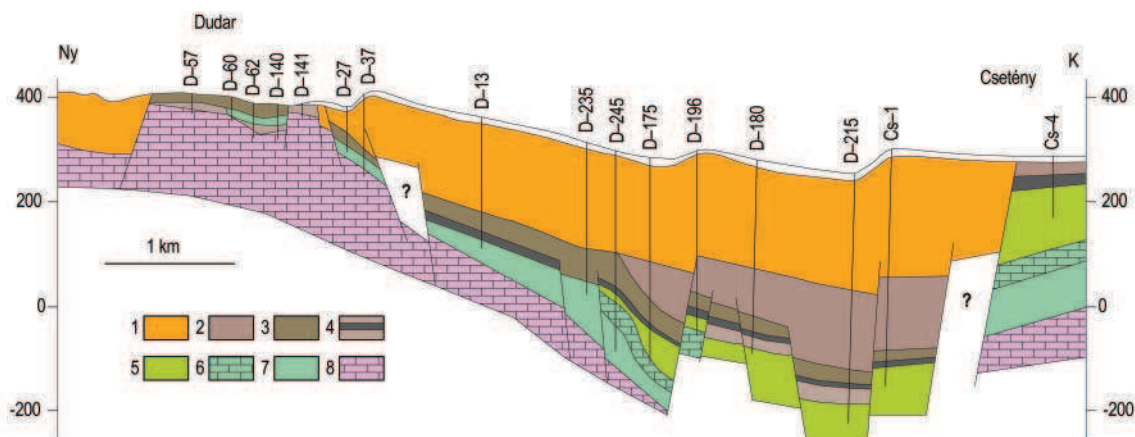
a karsztosodott területen a szintén magasabb pH-jú feltehetően hidrogén-karbonátos vizek befolyásolták a betemetett szerves anyag megőrződését (BECHTEL et al. 2007, HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR 2006). Mindez a karsztos területen alacsonyabb talajvízállás mellett történhetett, amit a gombaspórák gyakori, helyenként tömeges előfordulása is bizonyít (SZÁDECZKY-KARDOSS 1939, 1947d, VADÁSZ 1940, STACH 1951).

A tenger közelsége és a karsztosodott felszín együttesen idézte elő a kőszén magas, 3,4–5,6%-os kéntartalmát. A legalacsonyabb értéket Dudar, míg a legmagasabbat Balinka térségében mérték (KOVATSIST, WOLF 1980). Az eocén kőszének fényes barnakőszén, vagy szubbitumenes kőszén típusba tartoznak, nedvességtartalmuk 12–13,5%, hamutartalmuk átlagosan 15,4%, fűtőértékük 9,5 és 24 MJ/kg között változik, a vitrinitreflexió értéke 0,4–0,44% közötti.

A telepek geokémiai vizsgálata során bebizonyosodott, hogy a barnakőszénen kívül az agyagos és márgás kőzetekben is dúsulnak bizonyos nyomelemek (B, Cr, Cu, Li, Mo, Pb, Ti) (FÖLDVÁRINÉ 1968). A barnakőszén egyes mintáiban kiemelkedő a Mo-tartalom. ÓDOR (1969) a litofil elemcsoportot vizsgálva a szenes agyagok és égőpalák esetében az átlagnál magasabbnak találta az Y, Be, Sc, Zn és Zr koncentrációját megállapítva, hogy dúsulásuk az anorganikus elegyrészekhez kötődik.

## Szerkezeti viszonyok

A Dorogi Formáció elterjedési területének szerkezeti viszonyait KERCSMÁR et al. (2012) munkája alapján ismertetjük. A dudar-csetényi terület a Bakony közvetlen északi előterében helyezkedik el, minden irányból alaphegységi blokkok veszik körül. Kelet felé az alaphegység és a szenes összlet felszínhez viszonyított mélysége nő (3.18. ábra). A széntelepesszerű összlet tagolt domborzatra települt, a telepek elterjedése, vastagsága és minősége eszerint változik. A csetényi medencerészben a telepek jellemzően vékonyabbak és gyengébb minőségűek (NÉMEDI VARGA 2010). A medence szerkezetét elsősorban a hegység csapásával párhuzamos DNy-ÉK-i, kisebb részben ÉNy-DK-i csapású vetők szabják meg. Elvetési magasságuk jellemzően 30–80 m, de elérheti a 100–200 m-t is.

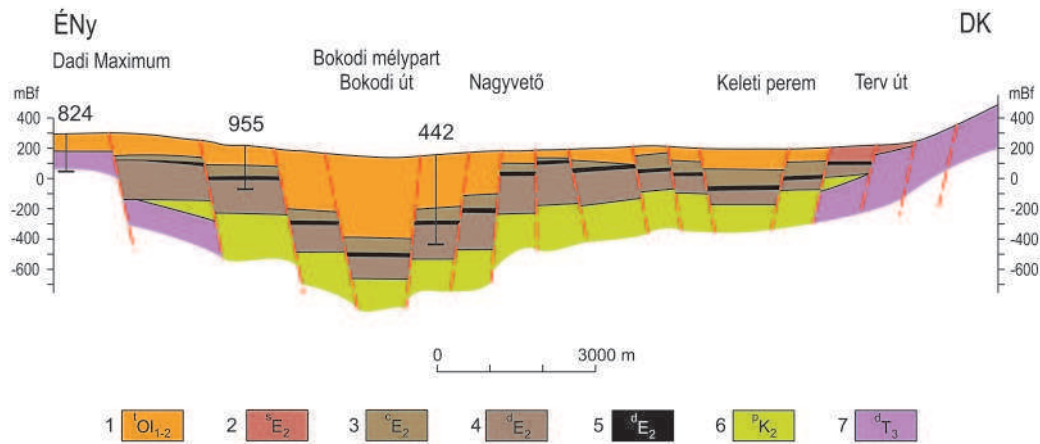


**3.18. ábra.** Földtani szelvény a Dudar–csetényi medencén keresztül (LOHRMANN 1983 nyomán). A szelvény nyomvonalát a 3.14. ábra mutatja (1. sz.). Jelmagyarázat: 1. oligocén szárazföldi törmelékcső (Csatka F.); 2. felső-eocén márga (Padragi F.); 3. középső-eocén fedőmárga (Csernye és Csolnoki F.); 4. kőszéntelepes öslet (Dorogi F.); 5. alsó-kréta „turrilliteszes” márga (Pénzeskúti F.); 6. alsó-kréta mészkő (Zirci F.); 7. alsó-kréta agyagmárga (Tési F.); 8. felső-triász sekélytengeri mészkő (Dachsetini Mészkő)

A Kisgyón–Balinkai-medence a Bakony É-i előterében húzódik, déli határát a hegység peremvetője adja. Kelet felé az alaphegység és a szenes összlet is egyre nagyobb mélységben helyezkedik el, utóbbi 6°-kal dől ÉK felé (NÉMEDI VARGA 2010). A medence szerkezetét DNy–ÉK-i, illetve ÉNy–DK-i csapású vetők szabják meg. A kisgyóni és balinkai medencerészt egy K–Ny-i csapású, É-i dőlésű vető választja el egymástól.

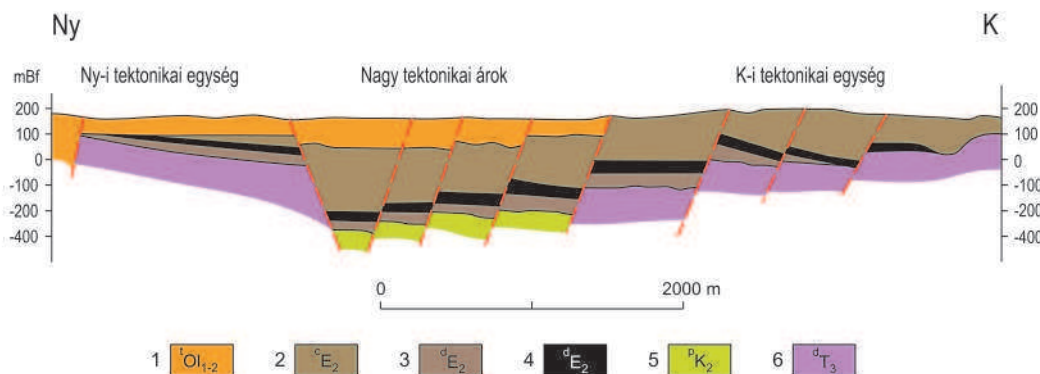
Az Oroszlány–Pusztavám–Mór közötti terület a Vértes csapásával megegyező irányú, 17 km hosszú és 4–7 km széles paleogén részmedence. Az Oroszlányi-medence szerkezetét ÉK–DNy-i és ÉNy–DK-i csapású vetők határozzák meg (SZENTIVÁNYI 1964). A medence középső része a tőle Ny-ra és K-re levő árkokhoz képest kiemelt helyzetben van. Itt 12–86 m volt a kitermelési mélység, míg az É-i árokban 100–160 m, a bokodi mélymezőben 350 m alatti szintről termelték a kőszent (3.19. ábra). A pusztavámi bánya két ÉK–DNy-i lefutású pásztán helyezkedik el, amelynek DDNy-i határát egy 50 m-nél nagyobb elvetési magasságú normálvető adja. A márkushegyi bányaterületet 100–180 m-es elvetésű, ÉK–DNy-i csapású szerkezeti vonalak határolják, amelyeket 40–60 m-es elvetésű szerkezetek harántolnak, egyben kialakítva a bányamezők határait is.

A Tatabányai-medence a Vértes ÉÉNy felé dőlő monoklinálisának É-i előterében fejlődött ki, az Oroszlányi-medence ÉK-i folytatásaként. A medence szerkezetileg egy „keleti” és egy „nyugati” tektonikai egységre és egy ún. „nagytektonikai árokra”, valamint a Ny-i tektonikai egység K-i részén található „nyugati mélymezőre” tagolódik (3.20. ábra). A



**3.19. ábra.** A Vértességi hegység ÉNy-i előterének vázlatos szelvénye (SZENTIVÁNYI 1964 után In: KERCSMÁR et al. 2012). A szelvény nyomvonalát a 3.14. ábra mutatja (2. sz.).

Jelmagyarázat: Oligocén: 1. Törökbálinti F., Eocén: 2. Szóci Mésző F., 3. Csolnoki Agyagmárga F., 4. Dorogi F., 5. Dorogi F. széntelepes összlet, Kréta: 6. Pénzeskúti Márga F., Triász: 7. Dachsteini Mésző F.



**3.20. ábra.** A Tatabányai-medence K-Ny-i keresztmetszete (NÉMEDI VARGA 2010 alapján In: KERCSMÁR et al. 2012). A szelvény nyomvonalát a 3.14. ábra mutatja (3. sz.).

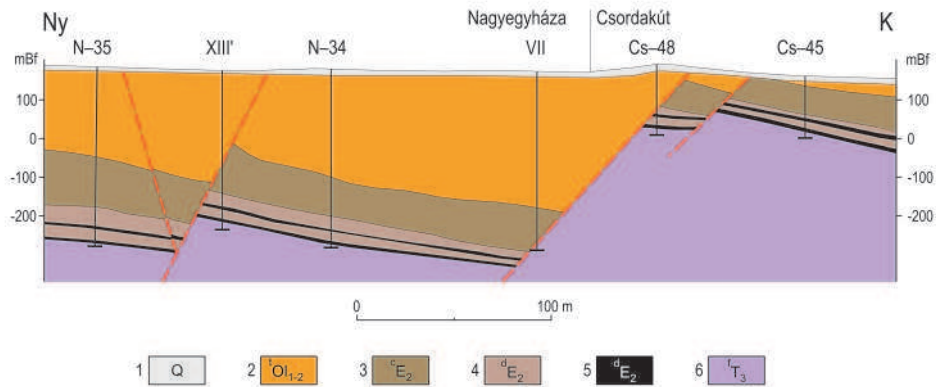
Jelmagyarázat: Oligocén: 1. Törökbálinti F., Eocén: 2. Csolnoki Agyagmárga F., 3. Dorogi F., 4. Dorogi F. széntelepes összlete, Kréta: 5. Pénzeskúti Márga F., Triász: 6. Dachsteini Mésző F.

kőszénmedence jelenlegi szerkezeti képét ÉNy-DDK-i csapású 50–250 m elvetési magasságú fiatal normálvetők szabják meg. Ezek a törések határozzák meg a főbb szerkezeti egységek határát, illetve a felszín alatti vizek áramlását.

A szénmedencében az eocén során is aktív, a medencesüllyedést és a fácieseloszlást, valamint a széntelepek minőségét is befolyásoló szerkezetalakulással lehet számolni (KERCSMÁR 2005a, b). A NyÉNy-KDK-i és K-Ny-i csapású, eredetileg jobbos, illetve ÉNy-DK-i csapású balos oldaleltolódások az eocén utáni időszakokban akár ellentétes irányú mozgással többször is felújultak (KERCSMÁR 2005a, b). Ugyanakkor a széntelepek minőségét és vastagságát a szénképződés alatti, az aljzatmorfológiát befolyásoló ÉK-DNy-i csapású, a monoklinális csapásával párhuzamos tengelyű, nagy hullámhosszú redőképződés és hajlításos extenziós szerkezetek (kisebb, ÉK-DNy csapású normálvetők) határozták meg (KERCSMÁR, FODOR 2005).

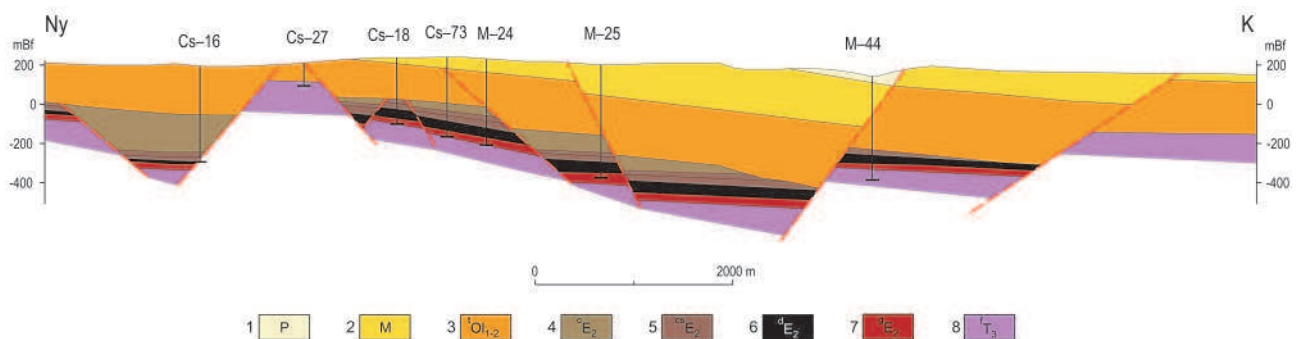
A Nagygyeháza-Csordakúti-, a Mátyás-Zsámbéki- és a Héreg-Tarjáni-medencét magában foglaló terület D-i határát a késő-krétában, a középső-eocénban, sőt a fiatalabb szerkezeti fázisok során is aktív, K-Ny-i csapású Környe-Zsámbéki-vonal jelenti. A tektonikai zónától É-ra helyezkedik el a középső-eocén széntelepeket is magukba foglaló Nagygyeházai- és Mátyási-medence, amelyeket É-ról a Gerecse mezozoos vonulatai határolnak. A Héreg-Tarjáni-medencét szintén szerkezeti vonalak határolják a Gerecse mezozoos tömbjén belül.

A Környe-Zsámbéki-vonaltól D-re lévő fennmaradt mezozoos blokkok sora képezi a medencék éles, K-Ny-i csapású határát. A Nagygyeházai-medence és a Mátyási-medence K felé dőlő félárok szerkezet, amelyek kialakulása a Pannon-medence kora-miocén színrift szakaszához köthető. A K felé mélyülő Nagygyeházai-, Csordakúti- és Mátyási-medence-részeket a K felé kibillent alaphegységi blokkok Ny-i magaslatai választják el egymástól (3.21. ábra, 3.22. ábra). Ennek megfelelően az oligocén utáni képződmények vastagságviszonyait nagymértékben ez az üledékképződés közbeni billenés határozta meg, miközben a szénészlet az egyes blokkokon belül K felé egyre mélyebb helyzetbe kerül, míg a Ny-i peremeken, ha nem pusztult le, akkor a felszín közelében található.



**3.21. ábra.** Földtani szelvény a Nagytegyháza-Csordakúti-medence határán, a fővetőn keresztül (Sas 1972 nyomán In: KERCSMÁR et al. 2012)

Jelmagyarázat: Negyedidőszak: 1: Kvarter képződmények általában, Oligocén: 2: Törökbálinti F., Eocén: 3: Csolnoki Agyagmárga F., 4: Dorogi F., 5: Dorogi F. széntelepes összlete, Triász: 6: Földolomit F.

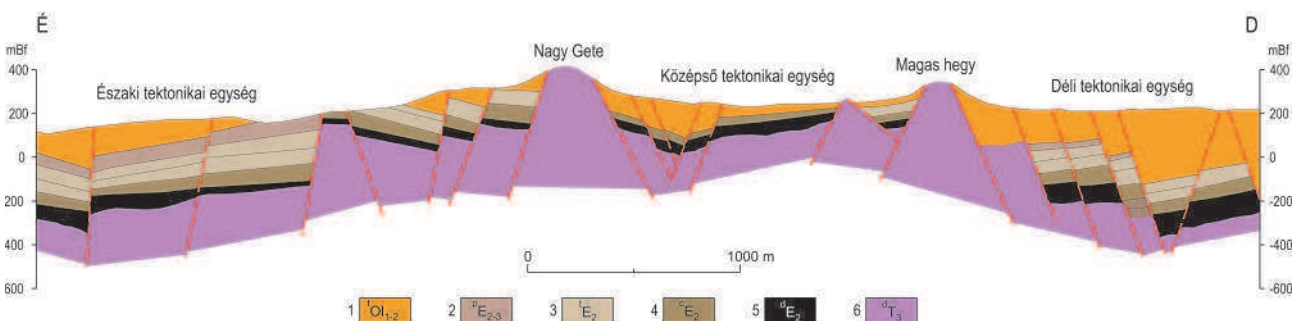


**3.22. ábra.** Földtani szelvény a Mátyi- és Csordakúti-medencén keresztül (Sas 1972 nyomán In: KERCSMÁR et al. 2012). A szelvény nyomvonalát a 3.14. ábra mutatja (4. sz.)

Jelmagyarázat: Negyedidőszak: 1. Pleisztocén képződmények általában, Miocén: 2. szarmata képződmények általában, Oligocén: 3. Törökbálinti F., Eocén: 4. Csolnoki Agyagmárga F., 5. Csernyei F., 6. Dorogi F. széntelepes összlete, 7. Gánti Bauxit F., Triász: 8. Földolomit F.

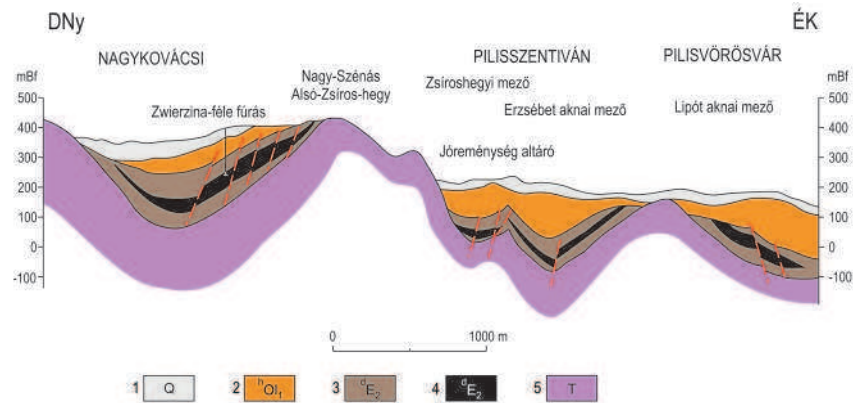
A Tardosi-medence mezozoos peremekkel körbevett rombusz alakú pull-apart medence a Gerecsében, amelynek jelenlegi szerkezetét eocén utáni mozgások alakították ki.

A Dorogi-medence K–Ny-i irányban kb. 20 km, É–D-i irányban 8–16 km kiterjedésű. A medencét mezozoos alaphegységi kibúvások szabdalják, amelyek a jelenlegi bányamezők természetes határát is kijelölik. A lencsehegyi kifejlődés a Dorogi-medence ÉK-i részének szerkezetileg elválasztott részmedencéjében található. A Dorogi-medence fő szerkezeti elemei a NyÉNy–KDK, K–Ny és KÉK–NyDNy-i csapású, 300–600 m-es elvetési magasságú, jelentős normál komponensű, részben eocén utáni oldaleltolódások. A fővetőkhöz kisebb törések kapcsolódnak, amelyek a medencebelsőben tovább szabdalják a telepeket, átlagban 40–60°-os dőlésszöggel. Az egyes blokkokban a széntelepek átlagos dőlésszöge 15° (3.23. ábra).



**3.23. ábra.** A dorogi szénmedence vázlatos földtani szelvénye a három fő tektonikai egység megjelenésével (NÉMEDI VARGA 2010 nyomán In: KERCSMÁR et al. 2012). A szelvény nyomvonalát a 3.14. ábra mutatja (5. sz.)

Jelmagyarázat: Oligocén: 1: Törökbálinti F., Eocén: 2: Padragi (Piszkei) Márga F., 3: Tokodi F., 4: Csolnoki Agyagmárga F., 5: Dorogi F. széntelepes összlete, Triász: 6: Dachsteini Mészke F.



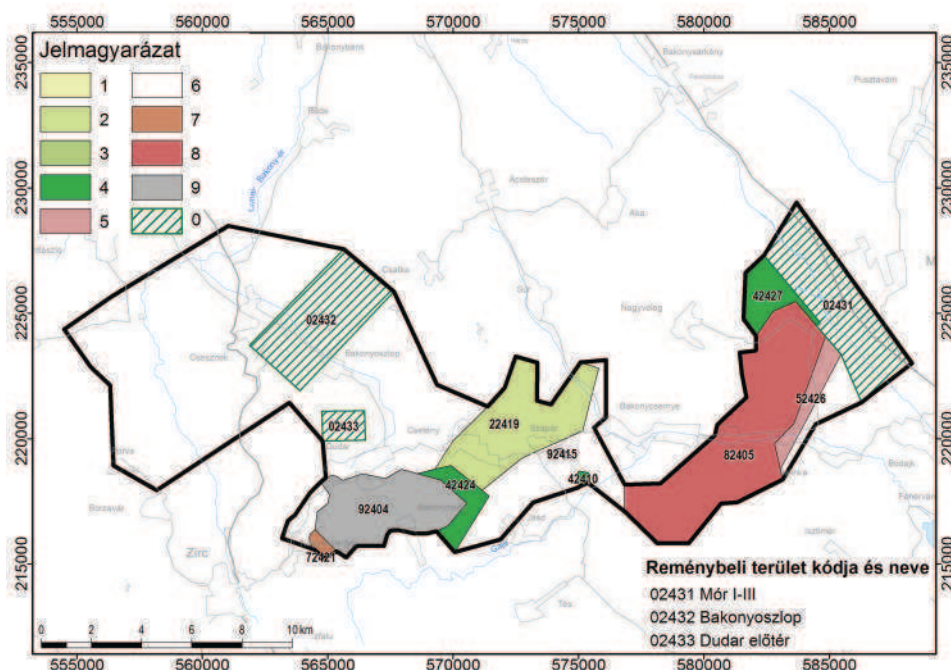
**3.24. ábra.** Földtani szelvény a Nagykovácsi-Pilisszentiván-Pilisvörösvár eocén részmedencéken keresztül, (BÁNKI, TÓTH 1996 alapján In: KERCSMÁR et al. 2012).

Jelmagyarázat: Negyedidőszak: 1: Kvarter képződmények általában (löss, futóhomok, édesvízi mészkő) Oligocén: 2: Hárshegyi Homokkő F., Eocén: 3: Dorogi F., 4: Dorogi Formáció szénteles összetete, Triász: 5. középső-késő-triász képződmények általában

A Pilis és a Budai-hegység ÉNy-i részén Pilisvörösvár, Pilisszentiván, Solymár és Nagykovácsi határában találhatók eocén szénmedencék (3.24. ábra). A barnakőszénmező ÉK–DNY-i irányban 8 km, erre merőlegesen 2–3 km kiterjedésű. A részmedencéket az alaphegység mezozoos képződményei választják el egymástól. Részben az eocén utáni, részben a középső–késő-eocén határán zajló szerkezeti mozgások hoztak létre jelentős szintkülönbségeket az eredetileg összefüggő telepeken, ezek hatására az eocén képződmények kibillentek, kiemelkedtek és helyenként jelentősen mértékben lepusztultak. A szénteles dőlése egyes helyeken a 40–50°-ot is eléri. A medencéket ÉK–DNY-i és ÉNy–DK-i töréses szerkezetek szabdalják, ugyanakkor jelentősek a K–Ny-i és közel É–D-i csapású vetők is.

### *Nyilvántartás szerinti vagyon és művelési perspektívák*

Az észak-bakonyi medence 10 nyilvántartási területe (3.25. ábra) összesen 177 Mt kőszénvagyon, a mérlegben nyilvántartott adatok szerint összesen 113 Mt kitermelhető vagyon tartalmaz (3.4. táblázat). A számbavételi határ 1,0 m-es telepvastagság, 7,5 MJ/kg fűtőérték. A kitermelhető vagyon fűtőértéke 9–13 MJ/kg, átlagosan 11,869 MJ/kg. A települési



**3.25. ábra.** A bakonyi eocén barnakőszénmedencék mérlegterületei és elsajátítás szerinti állapotuk. Jelmagyarázat: l. 3.5. ábra. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.4. táblázat)

**3.4. táblázat.** A Bakonyi eocén barnaköszén medencék mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével irt azonosított kivételével megtalálhatók a 3.25. ábrán)

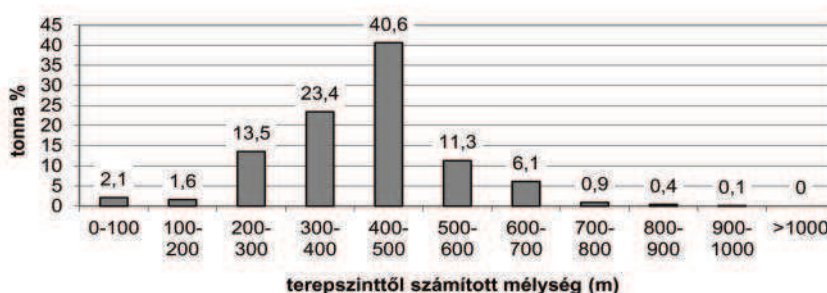
Kódja	Nyilvántartási terület Neve	Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
82405	Balinka	73 060	48 289	12 925	439	10,5	70
22419	É-Bakony előtér	42 090	29 627	11 588	416	5	11
92404	Dudar	26 972	12 616	9788	334	2	43
52426	Balinka II.	18 408	13 115	11 144	406	10	39
42424	Csetény	11 011	6367	10 832	647	5	80
42427	Balinka ÉNy	2894	763	13 044	527	10	11
72421	Dudar V. (Nagyesztergár)	1321	1083	12 184	64	0	54
32420	Szapár II. ütem külf.(oligocén)	494	468	9571	31	0	0
42410	Inotpuszta II. ütem	409	339	11 492	67	0	58
92415	Szapár I. ütem külfejtés (olig.)	126	120	8848	27	0	0
Bakonyi eocén összesen*		176 785	112 787	11 869	423	7,5	47,5

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.

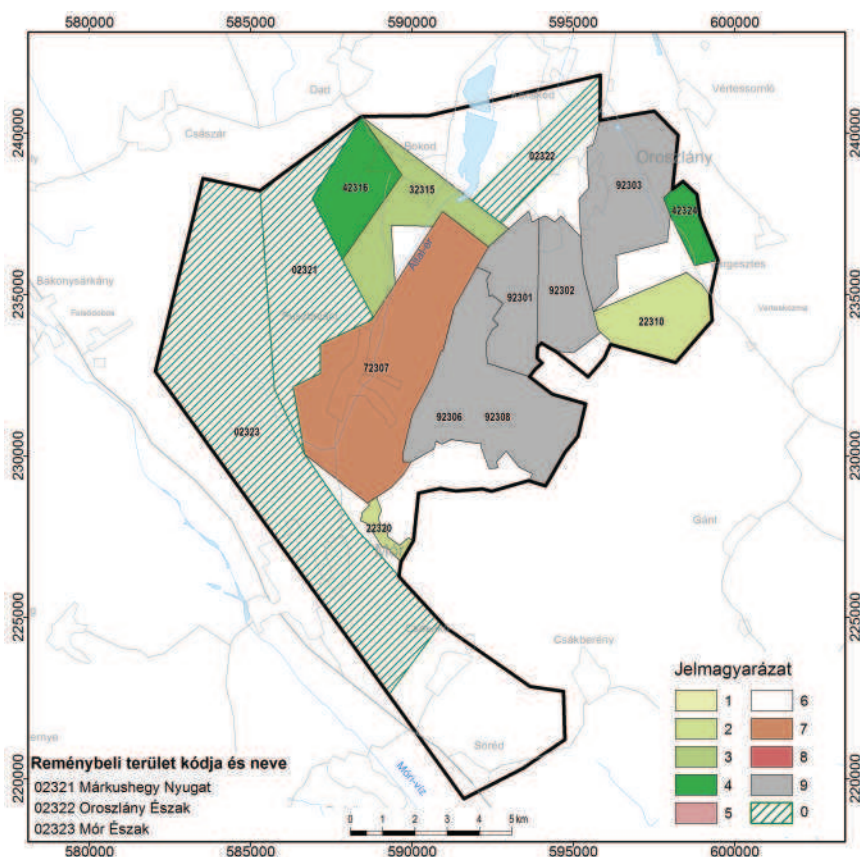
mélység 300–500 m, átlagosan 423 m (3.26. ábra). A bányászat magas fokon gépesíthető, ugyanakkor nagy szállítási igényű művelési móddal végezhető. A víztelenítés céljából kiemelendő bányavíz mennyisége változó, de a termelés mértéke nem magas, 0–10 m<sup>3</sup>/p, átlagosan 7,5 m<sup>3</sup>/p. Ez költségnövelő tényező, viszont feltehetően nem jár kiemelkedő környezeti kockázattal. A kőszénmedence természetvédelmi területtel fedettsége nem túl magas, átlagosan 47,5%.

Az észak-bakonyi előtér kutatási területen 42 millió tonna szénvagyon prognosztizálható. A Balinka bányában 24 millió tonna szénvagyon nem került kitermelésre.

Az Oroszlányi-medence 18 nyilvántartási területe (3.27. ábra) összesen 150 Mt földtani vagyon képvisel, a mérleg szerint nyilvántartott kitermelhető vagyon 130 Mt (3.5. táblázat). A számbavételi határ 0,8 m-es telepvastagság, 6,3 MJ/kg fűtőérték. A kitermelhető vagyon fűtőértéke 9–14 MJ/kg, átlagosan 11,968 MJ/kg. A települési mélység mindössze néhány száz méter, átlagosan 296 m (3.28. ábra). A medence bányászatát a nagy szállítási távolságok, ugyanakkor jól gépesíthető



**3.26. ábra.** A bakonyi eocén barnaköszénmedencék kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása



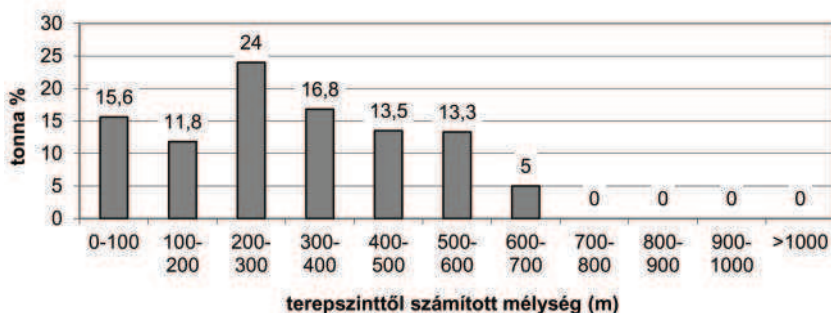
**3.27. ábra.** Az oroszlányi barnaköszénmedencék mérlegterületei és elajátítás szerinti állapotok.

Jelmagyarázat: 1. 3.5. ábra. A beirt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.5. táblázat).

**3.5. táblázat.** Az Oroszlányi barnaköszén medence mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével irt azonosítók kivételével megtalálhatók a 3.27. ábrán)

Kódja	Neve	Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
72307	Márkushegy	72 574	68 032	12 394	301	0,6	58
32315	Márkushegy II.	27 882	21 159	14 226	565	0,2	32
42316	Márkushegy III.	9946	10 842	10 368	222	0,2	10
92303	XX. akna	9110	3776	12 023	232	0,4	51
92308	Déli bányauzem (XXI–XXII. a.)	7515	3863	11 518	122	0,3	99
92306	Déli bányauzem (XXIII. akna)	6853	6290	7649	85	0,3	99
22310	Keleti perem (eocén)	4649	6431	6487	157	0	100
92301	XVI. akna	3669	3634	13 623	124	0,3	84
42324	K-i perem külf. (oligocén)	1892	1892	9323	36	0	100
92302	XVII. akna	1313	1058	11 710	91	0,3	63
12314	Brennberg-külfejtés	1000	1100	12 955	20	0	48
42302	Szent Borbála	855	287	14 951	86	1	0
22320	Antalhegyi-külfejtés	723	615	12 236	30	0	100
72327	Oroszlány VI. (XXIII. akn.p. kül.)	654	165	18 392	54	0	0
82329	Ferenc-bánya	447	249	15 498		1	0
92325	Dobai-külfejtés	332	224	8971	39	0	0
42330	István-bánya	94	74	17 270		0	0
82326	Csukató ÉNy (Borbála) külfejt.	33	33	12 564	27	0	0
Oroszlányi medence összesen*		149 541	129 724	11 968	296	0,4	55,8

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.



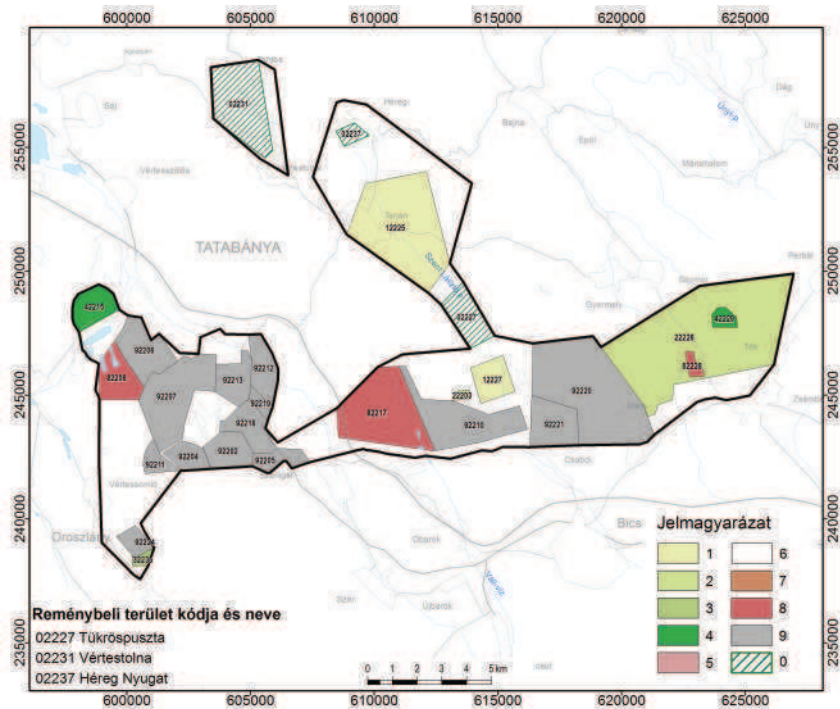
**3.28. ábra.** Az oroszlányi barnaköszén-medencék kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

fejtések jellemzik. Bányavízemelési gondok a területen nem jellemzők, nincsenek kiugró értékek, s az átlagos bányavízemelés 0,4 m<sup>3</sup>/p. a természetvédelmi fedettség nem túl magas, átlagosan 55,8%.

Az Oroszlányi-medencében működött az utolsó jelentős hazai mélyművelésű szénbánya a Márkushegyi bányauzem. A bányatelek szénvagyonának művelése 2014-ben befejeződött. A szénkészlet kitermelése a közeljövőben nem várható.

A Tatabányai-, Nagygyeháza-Mányi-medence 25 nyilvántartási területe (3.29. ábra) 427 Mt földtani vagyont képvisel, a nyilvántartás szerint elérhető földtani vagyon 327 Mt (3.6. táblázat). A számbavételi határ 0,8 m-es telepvastagság, 8,4 MJ/kg fűtőérték. A kitermelhető vagyon fűtőértéke 10–16 MJ/kg közötti érték, átlagosan 14,846 MJ/kg. A bányavízemelések mértéke erősen változó, a minimális értékektől az egészen magas, 100 m<sup>3</sup>/p értéket meghaladó termelést is regisztráltak. A termelés átlagosan megközelíti a 30 m<sup>3</sup>/p értéket. Ez előrevetíti a víztelenítésekből adódó költségnövekedést, ill. a kapcsolódó környezetvédelmi problémákat. A települési mélység 100 m-es nagyságrendű, átlagosan 390 m (3.30. ábra). A természetvédelmi fedettség változó, összességében nem túl magas (47,8%).

A Vértes és a Gerecse közötti Tatabányai-medencében, valamint a Gerecse és a Budai-hegység közötti Nagygyeháza-Mányi-medencében jelentős szénvagyon található. Az „Eocén program” keretében e szénvagyon kitermelésére az 1970–80-as években mélyművelésű bányákat nyitottak, majd 3–5 évig tartó működés után e bányákat bezárták, elsősorban a jelentős vízemelés költségei és a vízkivétel által okozott környezetvédelmi problémák miatt. A megkutatott szénvagyon jelentős része Tarján–Héreg (40 millió tonna) és Mány-Kelet–Zsámbék (55 millió tonna) térségében található, de kisebb előfordulást tartanak nyilván Patárhegy és Tükröspusztá előfordulási helyen is. Mány térségében a Vértesi Erőmű Zrt. rendelkezik még bányatelekkel. A bányaföldtani viszonyok, a karsztvízbetörés fokozott veszélye miatt a tatabányai mélységi bányák újrainyitása és a szénhasznosítás nem valószínű.

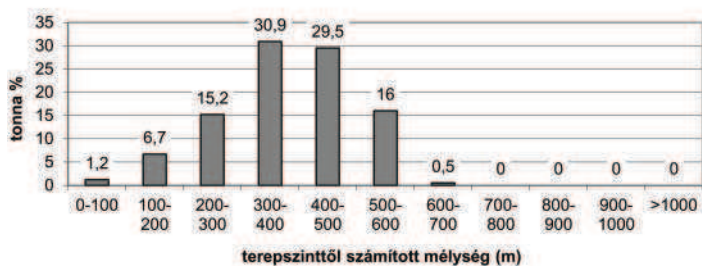


3.29. ábra. A Tatabánya–Nagyegyháza–Mányi-medence mérlegterületei és elsajátítás szerinti állapotok  
Jelmagyarázat: l. 3.5. ábra. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.6. táblázat)

3.6. táblázat. A Tatabányai-barnaköszén-medence mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével írt azonosítók kivételével megtalálhatók a 3.29. ábrán)

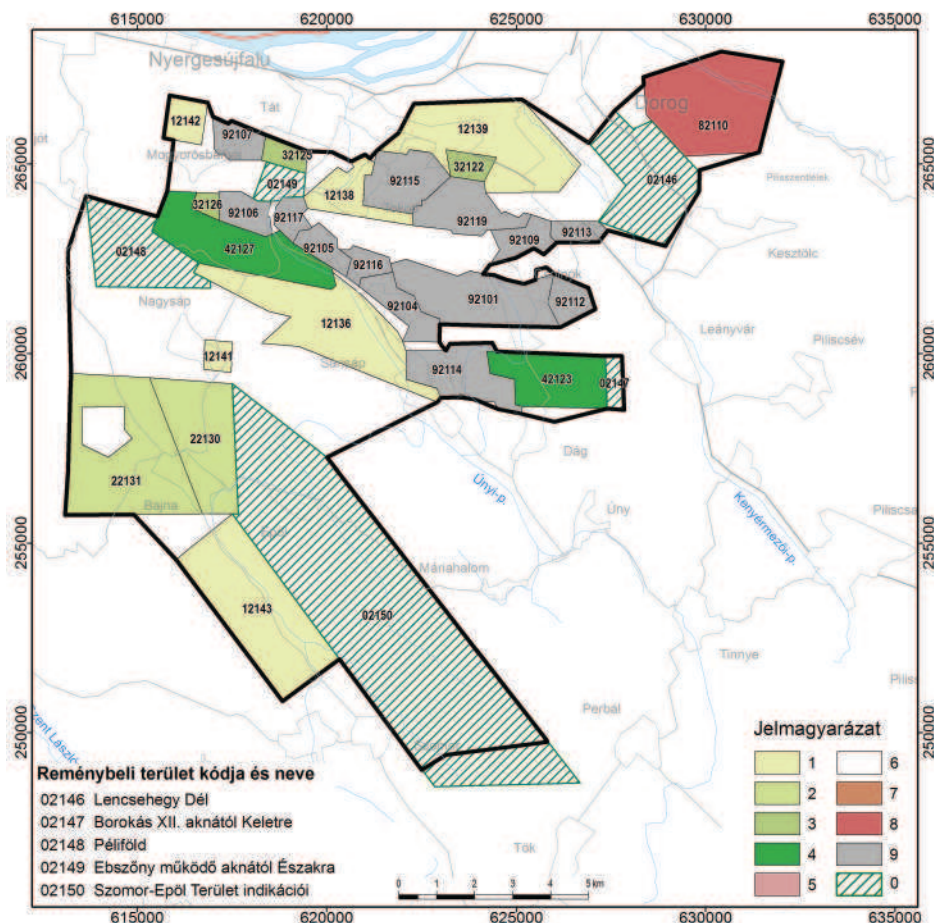
Nyilvántartási terület		Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
Kódja	Neve						
92220	Mány I.	130 178	99 266	15649	520	5,2	16
82217	Nagyegyháza	65 989	62 269	14257	369	132,2	98
22226	Mány K – Zsámbék	55 316	50 097	15851	355	9	18
12225	Tarján-Héreg	40 360	35 270	14457	329	2,4	100
92221	Mány II.	30 855	26 149	14985	424	2,4	20
42229	Zsámbék É.	17 163	10 470	12796	242	22	47
42215	Patarhegy	12 150	2741	15424	248	3,9	0
92218	VII/A akna	11 230	5807	12398	193	0,6	38
92207	XV/A akna	10 048	4827	12910	347	0,9	21
92204	XII/A akna	9530	5506	11058	330	2,5	80
12227	Tükrőpuszta	7264	6116	16202	230	2,4	100
82228	MányI/A akna	6647	5145	12586	243	11	64
92213	Régi I., II. És III. Akna	5604	0	15698	105	0,01	4
92212	III/A akna	4328	1852	19956	152	0,01	86
92210	Csordakút	4197	4349	10145	209	2,9	96
92206	XV. akna	3829	1901	13107	246	0,01	0
92211	Síkvölgy	3279	0	14727	163	0,01	72
92205	XIV. akna	2908	1860	15200	164	3,9	58
82208	XV/B akna	2581	1237	13967	86	0,01	10
92202	XI/A akna	1710	665	13117	179	0,01	59
92219	III/B akna	870	740	18997	170	0,01	20
22203	Csordakút II.	506	488	14885	76	8	100
32235	Vértessomló III. (olig.)	208	200	10992	38	0	0
92224	Zsigmond akna	153	165	6768	99	0,1	34
32235	Vértessomló III.	88	99	7738	61	0	66
Tatabányai medencék összesen*		426 991	327 219	14 846	390	29,6	47,8

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.



3.30. ábra. A Tatabánya, Nagyegyháza–Mányi-medence kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

A dorog–pilisi barnakőszén-medencék 32 nyilvántartási területe közül (3.31. ábra) egy törlés alatt áll, öt pedig végleges pillérben található (a pillérben lekötött vagyon 94,2 Mt). Összességében a medence 426 Mt földtani vagyonnal rendelkezik, amiből a mérleg szerint 255 Mt elérhető (3.7. táblázat). A számbavételi határ 0,8 m-es telepvastagság, 8,4 MJ/kg fűtőérték. A szén fűtőértéke változó, esetenként igen kedvező (8,7–20,4 MJ/kg, átlagosan 14,410 MJ/kg). A bányászat alapvető akadálya a szénvagyon túlnyomó részének regionális



3.31. ábra. A dorog–pilisi barnakőszén-medencék mérlegterületei és elsajátítás szerinti állapotuk  
Jelmagyarázat: l. 3.5. ábra. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.7. táblázat)

karsztvízszint alatti helyzete. A bányavízemelések értéke a múltban erősen változó, esetenként igen magas volt (100 m<sup>3</sup>/p), átlagosan is meghaladta a 20 m<sup>3</sup>/p értéket. Karsztvízszint fölött található előfordulások száma és vagyona korlátozott (pl. Borókás XII/A akna felső-eocén telepei). A települési mélység 100 m-es nagyságrendű átlagos mélység közel 400 (397) m (3.32. ábra). A természetvédelmi területekkel fedettség változó, összességében nem túl magas (25%).

A Dorog–Pilisi-medence szénvagyonra többnyire karsztvízszint alatt helyezkedik el. Az utolsó bányák bezárása óta az új infrastruktúra kiépítése, új bányák nyitása csak korlátozottan lehetséges, elsősorban a karsztvízszint fölött található telepek művelése (pl. Borókás XII/A – Csolnok Új-Borókás) lehet perspektivikus. A főként kis kapacitású bányák elsősorban a lakossági, ill. kisközségi szénigény kielégítésében kaphatnak szerepet.

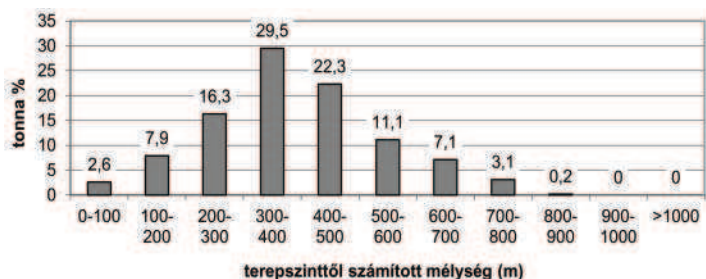
A dunántúli eocén barnakőszén-előfordulások kapcsán a nem konvencionális kitermelések közül elsősorban a szénhezkötött metántartalom fűrólyukon keresztül történő kinyerésével kapcsolatban merültek fel elképzelések. A szénhezkötött metán kinyerésének egyik lehetséges módja ugyanis éppen a telepre nehezedő hidrosztatikus nyomás víztermeléssel történő csökkentése és az így felszabaduló metán kitermelése. Erre éppen a jelentősen a karsztvízszint alatt található telepek (pl.

**3.7. táblázat.** A dorog-pilisi barnaköszén-medence mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével írt azonosítók kivételével megtalálhatók a 3.29. ábrán)

Kódja	Nyilvántartási terület Neve	Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
12136	Kerekdombi konc.	101 640	81 969	13 525	527	20	13
12139	Kenyérmező	59 105	0	18 017	950	0,01	2
42127	Kerekdomb É	48 021	34 588	11 787	429	15	32
42123	Borókás XII/A	34 239	26 682	17 675	430	20	11
92115	Tokodi konc.	17 348	11 792	19 069	329	40	18
92114	Borókási konc.	15 691	9656	20 471	428	100	40
12142	Mogyorós NY	14 806	12 459	11 780	335	10	26
82110	Lencsehegy I.	14 630	12 605	17 190	272	15,8	99
12138	Tokod, község alatt	14 530	0	16 551	250	0,01	33
12141	Nagysáp-Ny	12 087	9875	10 995	450	15	0
12143	Gyermely	12 012	10 258	14 830	219	5	6
32122	XV. aknától K-re	11 002	0	17 041	334	0,01	0
22134	Solymár	9412	0	15 960	318	0,01	0
32126	Ebszöny, terv. Bánya	7714	6452	8942	119	2	99
32121	Bajna Dél	6174	5739	16 627	203	5	0
22130	Bajna	6126	5540	10 874	185	10	9
92112	VI. akna	5806	4848	16 569	339	20	0
92116	XVII. akna	5420	3294	17 574	210	40	16
22131	Bajna Dny	4855	4053	12 622	261	37	54
92119	Tokod altáró	4715	3107	19 699	212	30	77
92109	XXI. akna	4135	1341	17 794	265	12	58
92106	Ebszöny	3307	1538	8749	158	4	96
82111	Bajna, Judit-akna	2432	2236	9858	57	0	0
92117	Ebszöny Ny	2392	1274	13 688	218	15	100
92104	X. akna	2289	777	19 042	221	10	4
92105	Ebszöny Öreg-bánya	1486	1201	15 648	204	16	89
32125	Mogyorós, terv. Bánya	1339	1170	17 539	262	5	6
92113	VIII. akna	1318	1142	17 872	401	20	0
92101	I–II. Akna	1073	825	18 080	204	20	22
92107	Mogyorós-bánya	857	498	17 397	138	0	19
32129	Kósd	153	0	18 711	250	0,01	100
92108	Mogyorós bánya II. Külfejtés	0	0	9229	20	0	0
Dorog–Pilisi medencék összesen*		426 114	254 919	14 410	397	21	25

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.

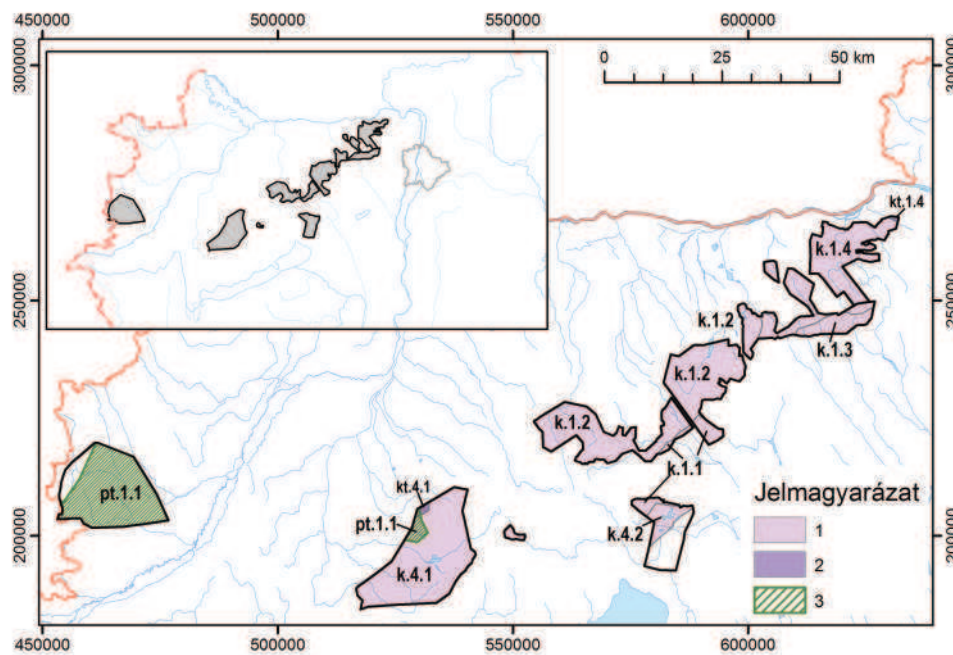
Nagygyháza–Mány) esetében lenne mód. Kérdés ugyanakkor, hogy a mélyművelésekhez kapcsolódó víztelenítések környezeti károsítása nem jelentkezne-e egy metánkinyeréshez szükséges víztermelés megvalósításakor is, akár kötelező vízvisszatáplálás kivitelezése mellett is. A felszín alatti szénelgázosítás (UCG) lehetőségét éppen a karsztos víztestekkel való közvetlen kapcsolat és az ennek nyomán fellépő környezetszennyezési kockázatok miatt a közelmúltban készült elemzések (FANCSIK et al. 2013) valószínűltlennek tartották.



**3.32. ábra.** A Dorog-Pilisi barnaköszénmedencék kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

### Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások

Az Európai Unió vízkeret irányelvben meghatározott karsztos víztestek közül, az Észak-Dunántúli széntelepes övezet az alábbiak területén helyezkednek el: Hévízi-, Tapolcai-, Tapolcafő-források vízgyűjtője (k.4.1), Veszprém, Várpalota, Vértesséki források vízgyűjtője (k.1.1), Tatai- és Fényes-források vízgyűjtője (k.1.2), Budai-források vízgyűjtője (k.1.3), Esztergomi-források vízgyűjtője (k.1.4), Nyugat-dunántúli termálkarszt (kt.4.1), Visegrád–Veresegyháza termálkarszt (kt.1.4) (3.33. ábra).



**3.33. ábra.** Az Észak-Dunántúl víztest térképe

Jelmagyarázat: 1. Karsztos víztestek (k.1.1–Dunántúli-középhegység Veszprém, Várpalota, Vértes déli források vízgyűjtője, k.1.2–Dunántúli-középhegység Tatai- és Fényes-források vízgyűjtője, k.1.3–Dunántúli-középhegység Budai-források vízgyűjtője, k.1.4–Dunántúli-középhegység Esztergomi-források vízgyűjtője, k.4.1–Dunántúli-középhegység Hévízi-, Taplocai-, Tapolcaforrások vízgyűjtője, 2. Termálkarsztos víztestek (kt.1.4–Visegrád–Veresegyháza termálkarszt, kt.4.1–Nyugat-dunántúli termálkarszt) 3. Porózus termál víztest (pt.1.1–Északnyugat-Dunántúl)

A Dunántúli-középhegység fő karsztvíztárolója 10 000 km<sup>2</sup>-t meghaladó területével az ország legnagyobb karsztos víztartója (ALFÖLDI, KAPOLYI 2007). Fő képződményei a nagy vastagságban jelen lévő felső-triász Fődolomit és Dachsteini Mészkö Formáció. A többi triász karbonátos kőzet (pl. Aszófői Dolomit, Iszkahegyi Mészkö, Megyehegyi Dolomit, Budaörsi Dolomit) előfordulása szórványos, csupán egy-egy hegység rész területéhez köthető (HAAS, BUDAI 2014). A főkarsztvíztárolót horizontálisan vízzáró, főként metamorf képződmények határolják, ezért a tároló határán az oldalirányú peremi vízcsere gyakorlatilag elhanyagolható. A karsztvíztároló fekvését túlsúlyban metamorf, ill. permi homokkőrétegek adják, így a fekvő felőli mélységi vizek feláramlása sem valószínűsíthető. Hidraulikus kapcsolat és készletcsere csak azokon a medenceterületeken lehetséges, ahol a fő karsztvíztárolót fiatalabb víztartó rétegek fedik (ALFÖLDI, KAPOLYI 2007).

Minél fejlettebb a karsztrendszer, annál nagyobb mértékű az összlet víztárolási és vezetési képessége. A felső-triász mészkőképződmények (Dachsteini Mészkö) jól karsztosodnak, fejlett karsztrendszerrel rendelkeznek, míg a felső-triász dolomit (Fődolomit) sokkal kevésbé karsztosodott, inkább porlódása figyelhető meg, ezáltal kevesebb vízmennyiséget képes tárolni (POROS *et al.* 2013). A dunántúli-középhegységi fő karsztvíztároló természetes állapotú forrásaira jellemző a lassú, kiegyenlített hozamváltozás, valamint az, hogy az intenzív beszívargási időszakok vagy szárazabb évek hatása csak késleltetve és ellapultan jelentkezik. A fő karsztvíztárolón belül az egyes önálló karsztvízáramlási rendszerek dinamikus egyensúlyban érintkeznek egymással (ALFÖLDI, KAPOLYI 2007).

Az Észak-Dunántúli szénmedencék egy részénél a fő problémát az okozza, hogy a fő karsztvíztároló és a széntelepességek között sok esetben nem fejlődött ki megfelelő vastagságú védőréteg, így a fekvő oldali vízbetörések igen jelentős mértékűek (KASSAI 1948, SCHMIEDER, SZILÁGYI 1988).

A karsztos víztestek mellett a területen hegyvidéki, sekély hegyvidéki, porózus és sekély porózus víztestek találhatók. A középhegység Ny-i területén egy igen kis területen jelenik meg az Északnyugat-Dunántúl porózus termál víztest (pt.1.1) (3.33. ábra).

Az eocén szénmedencék közül az észak-bakonyi-, az Oroszlányi- és a Pilisi-medencék esetében a bányajáratokban és aknában víztelenítési problémák nem vagy csak alárendelt mértékben adódnak. Ezzel ellentétben a Tatabányai-, Nagygyeházi-, Mátyási- és a Dorogi-medencékben a vízbetörések komoly problémát jelentenek, mivel a fő karsztvíztároló és a széntelepességek között, nagyobb területeken nem alakult ki megfelelő védőréteg, ugyanakkor a bányák zöme a karsztvíz szintje alatt üzemelt. Ugyancsak gondot jelentenek a széntelepességek közötti közbeépült, jó vízvezető képességű kőzetek.

Az Oroszlányi-medencében a kitermelhető széntelepességek a fő karsztvíztároló vízszintje fölött helyezkednek el, ezért nem vízveszélyesek. A mélyfekűt a fő karsztvíztárolót felépítő felső-triász karbonátos képződmények alkotják, a közvetlen fekvő pedig – leszámítva a nyugati szerkezeti egységeket és az Oroszlánytól É-ra lévő területeket – középső-kréta márga és mészkő (Polányi Márga), ill. alárendelten alsó-liász mészkő, melyekre eocén törmelékes rétegsor (tarkaagyag, agyagos

homok) települ. Az orosz-lány-márkushegyi szénbányában folyó vízemelés nem a főkarsztból, hanem a fedőkarsztvizet adó, kréta korú mészkőből történt, ezért ennek környezetre gyakorolt negatív hatása nem igen jelentkezett. A széntelepes összletben vízzáró tulajdonságú márga-közbetelepülések találhatók, valamint a közvetlen fedőt is ugyanezen márgaképződmények alkotják (Csernyei és Csolnoki Formáció), a peremeken néhol eocén mészkővel (Szóci Mészkő).

Az észak-bakonyi medencékben (Kisgyőn-Balinkai- és Dudar-Csetényi-medence) a széntelepes összlet fekszik egyes helyeken jó vízvezető képességű felső-triász-jura karbonátos összlet, máshol, hasonlóan az Oroszlányi-medencéhez, ennél rosszabb vízvezető képességű kréta mészkő, homokkő és márga formációkból álló rétegsor. Közvetlen fekszik az eocén közöttörmeléken agyag, tarkaagyag. A széntelepes összletben vízzáró márga közbetelepülések találhatók, s közvetlen fedőjét is e képződmények alkotják. A bányákban a vízbetörés veszélye nem jellemző, a fekvés irányából csak szórványosan, kisebb területeken jelentkezik, amelyben nagy szerepe van a védőréteget képező kréta és eocén képződmények nagy területi elterjedésének (MARKÓ 1998).

A Tatabányai-, Nagygyeháza-Mányi-szénmedencében a bennmaradt széntelepes összlet szinte teljes egészében a fő karsztvíztároló vízszintje alatt található, azaz a bányajáratok és aknák vízveszélyesek, azok folyamatos víztelenítése szükséges (SZÉKELY 1948, GERBER 1977, 1987). Vízbéramlás szempontjából a legnagyobb problémát a fekvésből származó víz jelenti, mely a fő karsztvíztárolót felépítő döntően felső-triász aljzatban, valamint a széntelepes összlet alatt közvetlenül található, a karsztvizet tároló, áthalmozott dolomitbreccsában van jelen (DANKÓ 2002). Sokkal kisebb a hidrogeológiai kockázat azokon a területeken, ahol a felső-triász karbonátos kőzetekre települten kréta márga, homokkő és mészkő található, valamint ahol az eocén bázisa nem konglomerátumból, hanem agyag-, homokos agyag- és márga-képződményekből áll.

A vízemelési adatok alapján a vízbetörések e területen a dolomitképződményekhez hasonló gyakoriságúak és vízhozamúak, s főként szerkezeti elemekhez kötődnek. Az egyes bányajáratok és aknák környezetében a vízbetörések helyét és vízhozamát a szerkezeti elemek elhelyezkedésén túl, főként a vízzáró tulajdonságú eocén fedő vastagsága határozza meg. A fedőképződmények közül az eocén mészkő és édesvízi mészkő, az oligocén homokkő és a szarmata mészkő tárolhat jelentősebb vízmennyiséget. Ezek közül különösen gyakori vízbetörési problémát jelent a medencében a telepek között és a fedőben található, a vizet igen jól vezető édesvízi mészkő. Emellett vízzáró márga- és agyagmárga-betelepülések találhatók, melyek megegyeznek a fedőben lévő képződményekkel. További komoly problémát jelent a szénhez kötött toxikus elemek jelenléte, melyek a vízben oldódhatnak, és ezzel veszélyeztethetik a környezetet, különös tekintettel Nagygyeháza környékére, ahol az alsó telepben helyenként magas vanádiumkoncentráció (800–1500 ppm) mérhető.

A Dorog-Pilisi-medencében a széntelepes összlet fekszik szintén a jó vízvezető képességű felső-triász mészkő és dolomit alkotja, alsó-liász mészkő csak szórványosan, alsó-kréta homokkő pedig csak a Dorogi-medence peremi részein fordul elő. Közvetlen fekszik eocén törmeléken összlet (tarkaagyag, homok, agyagos homok és édesvízi mészkő, mézsmárga) képezi. Hasonlóan a Tatabányai-, Nagygyeháza-Mányi-medencéhez, a terület nagy részén nincs védőréteg a felső-triász fekvő és a széntelepes összlet között. A széntelepes összletben közbetelepülésként márga, eocén mészkő és édesvízi mészkő jelenik meg, utóbbi a hidrogeológiai kockázatot jelentősen növeli, hasonlóan a Tatabányai-, Nagygyeháza-Mányi-medencéhez. A telepes összlet fedőjét vízzáró tulajdonságú márga alkotja. A Dorogi-medencében a bányák karsztvízveszélyesek (AIBEL 1950, SZÜCS 1988), a Pilisi-medencében a kőszéntelepek egy része azonban a karsztvízszint felett helyezkedik el (Nagykovácsi-medence), másik része pedig megfelelő védőréteggel rendelkezik, így azok nem tekinthetők vízveszélyesnek.

A korábbi bányászati tevékenységgel kapcsolatos környezetföldtani problémák alapján az észak-dunántúli területen az eocén szénbányák újrainyitása különösen nagy hidrogeológiai kockázatot jelentene. A Dunántúli-középhegység fő karsztvíztárolójának vízmérlegére jelentős hatással volt az 1960–1990 közötti időszak bányászati tevékenysége. Döntő mértékben a bányajáratok és aknák víztelenítéséből adódó bányavízemelések (különösen a Tatabányai-, Nagygyeháza-Mányi- és Dorogi-medencékben), alárendelten az egyéb célú vízkivételek hatására a vízmérleg 1965 után negatívvá változott, és csak 1991 után, a bányák bezárását követően vált újra pozitívvá. Az 1960-as években a dunántúli-középhegységi összes vízkivétel mintegy 60%-kal haladta meg a természetes utánpótlódást (485 m<sup>3</sup>/perc), elérte a 700 m<sup>3</sup>/percet, sőt némely években a 800 m<sup>3</sup>/percet is (ALFÖLDI, KAPOLYI 2007).

A bányák vízemelése következtében a dunántúli-középhegységi fő karsztvíztároló csaknem teljes területére kiterjedő depresszió alakult ki, a karsztvíz szintje jelentősen csökkentek. A karsztvízszint csökkenése környezetföldtani problémákat okoz, a források elapadásához, tavak vízhozamának csökkenéséhez vezethet. A bányászat szempontjából az egyik leginkább érintett az 1960–1990 közötti időszakban a Veszprém, Várpalota, Vértes déli források karsztos vízgyűjtő teste volt. Területén belül a tatabányai eocén szén termeléséhez kötődő karsztvíz kiemelés révén keletkezett depresszió a kincsesbányai bauxitbányászathoz kapcsolódó depresszióval együtt éreztette hatását. A várpalotai miocén és a balinkai eocén szenek termeléséhez kapcsolódó vízkivétel csak lokális depressziót eredményezett. A folyamatos vízkivétel következtében az ösküi és hajmáskéri források vízhozama csökkent, a csóri, majd a bodajki és fehércsurgói források el is apadtak.

Másik, a bányászat által leginkább érintett karsztos víztest a Tatai- és Fényes-források vízgyűjtő teste. E területen a karsztvízszint csökkenését, és ez által a Tata környéki források vizének elapadását a tatabányai és nagygyeházai eocén széntermeléshez kötődő bányavíz kiemelés okozta (LENKEI 1943, TÓTH 2002). A bányák bezárását követően a források hozama folyamatosan nő, a dunaalmási Csokonai-forrás 1999 óta, a tatai Fényes-forrás 2002 óta működik újra.

A harmadik érintett karsztos víztest az Esztergomi-források, valamint a Budai-források vízgyűjtő teste. É-on az esztergomi

és sárisápi források a bányászat hatására elapadtak, K-en a budai langyos források hozama csökkent, de még a gerecsei területen is vízszintváltozások voltak megfigyelhetők. A tatabányai és a nagygyházi eocén szén bányászatához kapcsolódó víz-emelések nagyobb vízszintsüllyedést okoztak Dorog térségében, mint amit maga a dorogi szén bányászata okozott a legnagyobb vízkitermelésekor. A Pilis hegység területén mért vízszintváltozás fő oka a Dorog környéki bányászat volt. A vízemelés maximuma az 1960-as években volt, a hatás ekkor a Budapest környéki termálkarszt felé is kiterjedt (ALFÖLDI 1973).

A Zsámbéki-medencében is jelentős vízszintsüllyedések történtek a bányászati tevékenységek idején, míg a Dunához közeli területeken jelentős vízszintváltozás nem volt kimutatható. A bányászat a Visegrád–Veresegyháza termálkarszt területén is éreztette hatását, mind a vízszintek, mind forráshozamok nagyobbak voltak az 1970-es évekig, mint napjainkban. A Hévízi-, Tapolcai-, Tapolcafő-források karsztos vízgyűjtője és a Nyugat-dunántúli termálkarszt esetében a karsztvízszint csökkenését (főként források elapadását, Keszthelyi-hegység forrásainak hozamcsökkenését) elsősorban a nyirádi bauxitbánya víztelenítése okozza, az ajkai szénbányászat csak minimális depressziót okozott.

Az 1990-es évektől történő folyamatos bányabezárások következtében a karsztvízszint regenerálódása először ÉK-en a Tatabányai-medencében, majd később DNy-on, a Bakony előterében indult meg. A főkarsztot terhelő dunántúli-középhegységi bányavízemelés napjainkra alig 10 m<sup>3</sup>/percre apadt. A regenerálódó készlet mellett is még legalább tíz–tizenöt év kell az új egyensúlyi állapot kialakulásáig, amely a vízigények kielégítése miatt nem érheti el, legfeljebb megközelítheti a természetes állapotot (BÖCKER, HÓRISZTI 1992).

## **Törökbálinti Formáció – oligocén**

### *Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet*

Oligocén folyóvízi–ártéri kőszételepek a Dunántúlon és az Északi-középhegység felső-oligocén rétegeiben fordulnak elő, utóbbiak rétegtani besorolása azonban települési helyzetük alapján bizonytalan. Gazdaságilag külszíni fejtésekkel elérhető helyzetben Szápár–Jásd, Vértessomló–Gesztos–Sárisáp–Annavölgy, Noszlop, Becske, Kelecsény, Szandaváralja térségében találhatók, rendszerint korlátozott földtani készlettel és mindössze 1–2 km átmérőjű elterjedésében. A következőkben a dunántúli-középhegységi oligocén szénes összletek ismertetésére szorítkozunk.

Az oligocén kőszén kitermeléséről és földtanáról irodalmi adatok alapján 1870-től vannak feljegyzések (VENATOR 1903). Vértessomló térségében PAPP (1915) utal alsó-oligocén kőszén előfordulására és jelentősebb kitermelésre 1842-től 1914-ig, szintén sekély (30 m) bányákból vagy külszíni fejtésekből. Stur vetette fel először 1871-ben, hogy Annavölgy, Tokod, Dorog analógiájára Vértessomló térségében is feltételezhető az oligocén alatt az eocén széntelepes összlet megléte (TELEGDI ROTH 1925, 1927, VITÁLIS 1939, 1944). A kezdeti szénbányászat történetéről FALLER (1930) majd TILES (1932a,b) és BÁNKI TÓTH (1996) közölt részletes ismertetést.

Az 1970-es évek elején a Magyar Állami Földtani Intézet mélyített fúrásokat Vértessomló környékén az eocén képződmények megismerésére. A várgesztesi és Vértessomló–Kapturpuszta környéki eocén szénkutatás az oligocén széntelepes összlet megismeréséhez is szolgáltatott adatokat (GIDAI 1973, 1974, 1983, 1985). A Vértessomló–Majkpuszta–Oroszlány környéki oligocén barnakőszételepek kutatásának perspektíváiról GIDAI (1986) közölt összefoglalást. Az alsó-oligocén széntelepes összlet rétegtani és képződési környezet szerinti tagolásával KÖRPÁS (1981) és BÁLDI (1998) részletesen foglalkozott. MAJZON (1957) a Dorog és Tokod körüli előfordulások rétegtanával, JASKÓ (1957), és SIPOSS (1964) a fáciesviszonyokkal, RÁKOSI (1960) a xylotómiai és szénképződési környezettel, ANDREÁNSZKY (1952) ősnövénytan, míg IHAROSNÉ LACZÓ (1961) a szénközöttani lópöves rendszerrel foglalkozott. A kénfázis-kutatásokban és az ezzel összefüggő genetikai következtetések levonásában jelentős eredményeket ért el HÁMOR (1991a, 1994), HÁMOR, HERTELENDI (1991), PÁPAY (1993) és HÁMORNÉ VIDÓ, HÁMOR (2006).

A Tatabányai Szénbányák a vértessomlói területen 1986-ban kezdeményezte a szénkutatást (GERBER 1987). A bányászat 1987–1997 között folyt, összesen 200 kt oligocén szén kitermeléssel (NÉMEDI VARGA 2010).

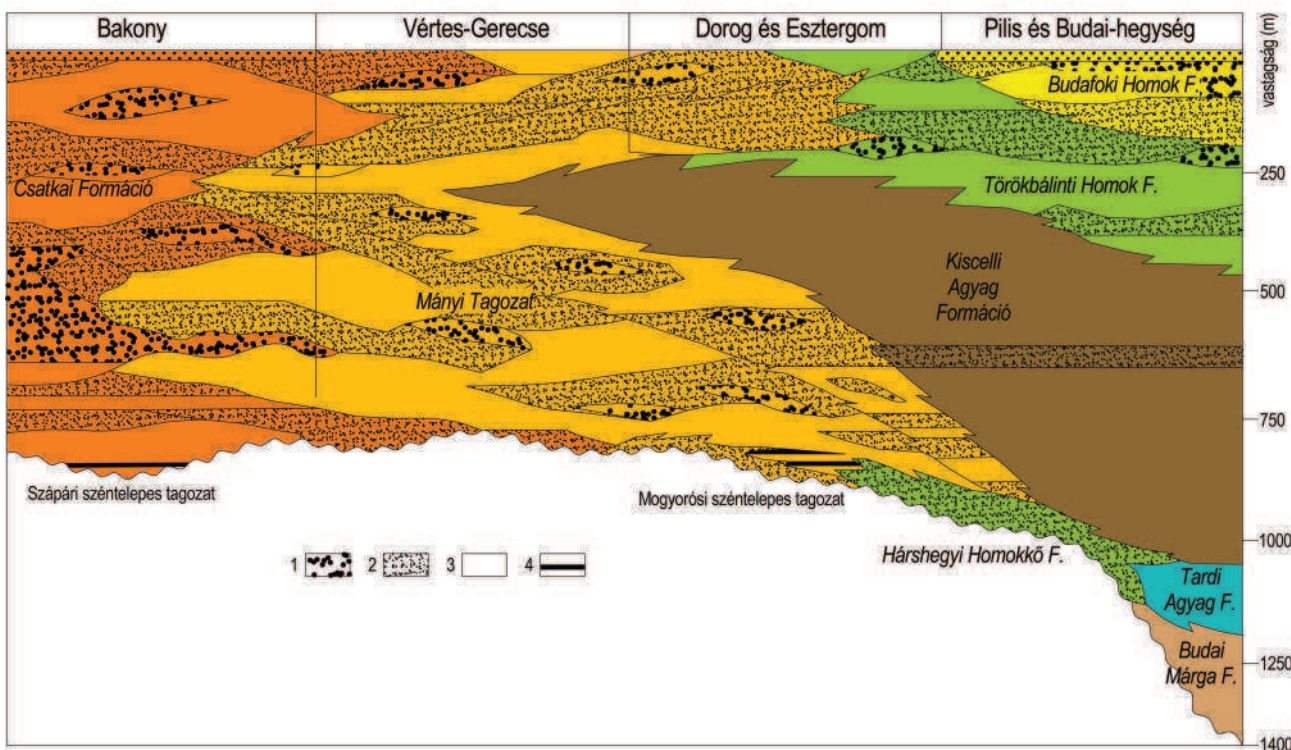
### *Rétegtani felépítés*

A gazdaságilag értékelhető széntelepes összleteket is tartalmazó Törökbálinti Formáció és a vele összefogazódó Csatkai Formáció korlátozott elterjedésű. Az oligocén kezdeti lepusztulást követően lerakódó üledékösszlet eróziós diszkordanciával települ. Feküsképződménye a Vértessomló-ÉNy-i előterében kréta és eocén, az ÉK-Dunántúli területen az eocén kőszéntelepes összlet (KÖRPÁS 1981, HÁMORNÉ VIDÓ 2013). A széntelepes összletek kialakulására a kiscelli korszakban került sor (KÖRPÁS 1981, SELMECZI, FODOR 2008).

Az érintett alaphegységi képződmények a triász Dachsteini Mészke és Földolomit Formáció, a jura Pisznicei Mészke, Tölgyháti Mészke és Pálhálási Mészke Formáció, a jura–kréta Szentivánhegyi Mészke Formáció, a kréta Tatai Mészke, Vértessomló Aleurit, Környe Mészke és Tési Agyagmárga Formáció. A medencét Ny-on, Majk környékén a felszín alatt kis mélységben húzódó felső-triász dolomithát különíti el az Oroszlány–Bokodi-medencétől (VITÁLIS 1939). A paleogén medence-

üledékek szárazföldi képződményekkel indulnak (Dorogi Formáció), de számos más eocén formáció is kimutatható a térségben (Csernyei Formáció, Csolnoki Agyagmárga Formáció, Tokodi Formáció, Szőci Mészke Formáció).

Az oligocén eleji lepusztulás után induló üledékképződés területenként változó szárazföldi (homokos, kavicsos) üledékekkel indul (Csatka Formáció). E fölött felfelé finomodó szemcseméretű édesvízi üledékek (agyagos homok, agyag) települtek (3.34. ábra), a lápképződésnek kedvező területeken szénas agyag és barnaköszén is kifejlődött (Törökbálinti Formáció Mogorósi Tagozat). A széntelepes összletre a korábbi Mányi Formáció csökkent sós vízi – lagunáris rétegei következnek (SELMECZI in: KERCSMÁR szerk. 2012). A Mányi Formációt újabban a Törökbálinti Formáció tagozataként különítjük el (SELMECZI in print).



3.34. ábra. A Dunántúli-középhegység oligocén képződményei (KORPÁS 1981 után, a Rétegtani Bizottság aktuális ajánlásainak figyelembevételével módosítva).  
Jelmagyarázat: 1. durvartörlemes kifejlődés, 2. uralkodóan homokos kifejlődés, 3. Uralkodóan pélites kifejlődés (agyag, agyagmárga), 4. széntelepes rétegsor

A Mányi Tagozat homok, aleurit és agyagmárga váltakozásából épül fel. Uralkodó kőzete meszes aleurit, agyagos aleurit, homok és homokkő, esetenként konglomerátum, kőszénzsinór- és tarkaagyag-betelepülésekkel. A kavicsos rétegek többnyire aprószeműek, többségükben kavicsos homok összetételűek, felfelé durvuló tendenciát mutatnak (BERNHARDT, INCZE 1998). A barnaköszéntelepes összlet a képződmény alsó harmadában található, vastagsága 0–120 m, s elsősorban folyóvízi–tavi környezetben képződött.

A vértessomló területen a széntelepes összlet fedőjében szinte kizárólag a Mányi Tagozat üledékei települnek. A széntelepes összlet egytelepes kifejlődésű, kis területi kiterjedésben fordul elő, és a medence több pontján fúrásokkal és külszíni fejtésekkel feltárt limnikus telepekkel jellemezhető (HÁMORNÉ VIDÓ 2013). Feküje tavi agyag, fedője brakk-vízi homokos agyag és agyag.

### Teleptan

A Törökbálinti Formáció alsó szakaszán, kis területi kiterjedésben előforduló, felső delta környezetbe tartozó limnikus barnaköszéntelep alaptípusú kifejlődés. A kőszéntelepek közül Oroszlány, Dudar térségében a 2–3 m vastag telepek bányászata ismert. A kőszéntelepek felépítésében uralkodóan tűlevelűek, alárendelten lombosfák vettek részt, a széntelepek a láperdők övében keletkeztek (IHAROSNÉ LACZÓ 1961). Az eocén kőszénlápokhoz képest az oligocén lápok korlátozottabb elterjedésűek lehettek, a széntelepek foltokban, lencsékben találhatóak. A szénkőzettani vizsgálatok és az álló helyzetben megőrződött fatörzsrészek a kőszéntelep autochton jellegét bizonyítják (RÁKOSI 1960). HÁMORNÉ VIDÓ, HÁMOR (2006) a vértessomló kőszéneken végzett vizsgálatok alapján megerősítette a limnikus viszonyok között végbementő láperdei képződést. Ezt a kén-tartalmak és a  $\delta^{34}\text{S}$  izotópösszetétel is megerősíti.

Az oligocén kőszén képződési környezetüknek megfelelően a legkisebb, átlagosan 1% alatti kén-tartalmú szén. Az

erdős lápi környezetnek köszönhetően a magas vízállás mellett, erős biodegradáció érvényesült, amit a magas huminitartalom jelez. A humin anyagban különösen gazdag kőszén gyógyászati és más ipari célokra is hasznosítható. Inertinit csak elszórtan, lipinit alarendelten található a kőszénben. Szénültése alapján meta-lignitnek tekinthető 0,31%-os vitrinitreflexió-értékkel és 20–22% közötti nedvességtartalommal (VITÁLIS 1939). A kitermelt szén minősége kiváló, a kéntartalom alacsony (<1%), fűtőérték viszonylag magas 13–18 MJ/kg, változó hamutartalom (5–22%) mellett.

### *Szerkezeti viszonyok*

Vértessomlótól DK-re az oligocén széntelepes összlet minden oldalról vetőkkel határolt medencében helyezkedik el, részben az eocén kőszén felett. A 19. században viszonylag kis mélységben, +10 – –30 m tszf. magasságban bányászták (NÉMEDI VARGA 2010, GERBER 1987). Az 1970-es éveken végzett fúrásos kutatás alapján az oligocén barnakőszéntelepek Oroszlány és Vértessomló térségében egy É–D-i csapású, ~7,5 km hosszú és 1–1,5 km széles vonulatban mintegy 300 m mélységig találhatók meg. A mezozoos és paleogén képződményekre eróziós diszkordanciával, egyenetlen felszínre települnek, a telepek vastagsága oldalirányban szeszélyesen változik. A területen három szerkezeti egység különíthető el (GIDAI 1986). A két délebbiben a fő szerkezeti irányok DNy–ÉK-iek, az oligocén talp 100–250 m tszf. magasságban található, míg az északi egység É–D-i csapású, –100 m tszf. magasságú oligocén talppal.

A Dorog–Esztergomi-medencében az oligocén szén összlet helyzete a vértessomlóihoz hasonló: mezozoos és paleogén képződményekre települ eróziós diszkordanciával. A telepek nagyobb kiterjedésű, ~2×1 km-es lencsékben fejlődtek ki (NÉMEDI VARGA 2010). Mivel az oligocén szén jelentős részben az eocén szén képződmények felett települ, szerkezeti viszonyai megegyeznek az eocén szénmedencéknél írottakkal. Az oligocén összletet tagoló, főként ÉNy–DK-i csapású vetők elvetési magassága 50–300 m (GIDAI 1986).

### *Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások*

Az oligocén szénbányák nem vízveszélyesek. A telepek az eocén szénmedencék magasabb fedőjében fejlődtek ki. A fekvő és fedő képződmények többnyire vízzáró tulajdonságúak, vastag védőréteggel, a széntelepek kis kiterjedésűek. A szápári előfordulás fekvését vízzáró eocén Padragi Márga alkotja, fedője is inkább vízzáró agyagból, agyagmárgából, valamint kavics–konglomerátum és homok–homokkő rétegek váltakozásából álló. A vértessomlói és Dorog–esztergomi területen a fekvő képződményeket legtöbbször a vízzáró eocén Csolnoki Agymárga képezi, a közvetlen fekvő vízzáró tavi agyag, a fedőt szintén vízzáró homok, homokos agyag és agyag alkotja (Törökbálinti Formáció felsőbb része).

## **Salgótarjáni Barnakőszén Formáció – miocén, ottngi–kárpat**

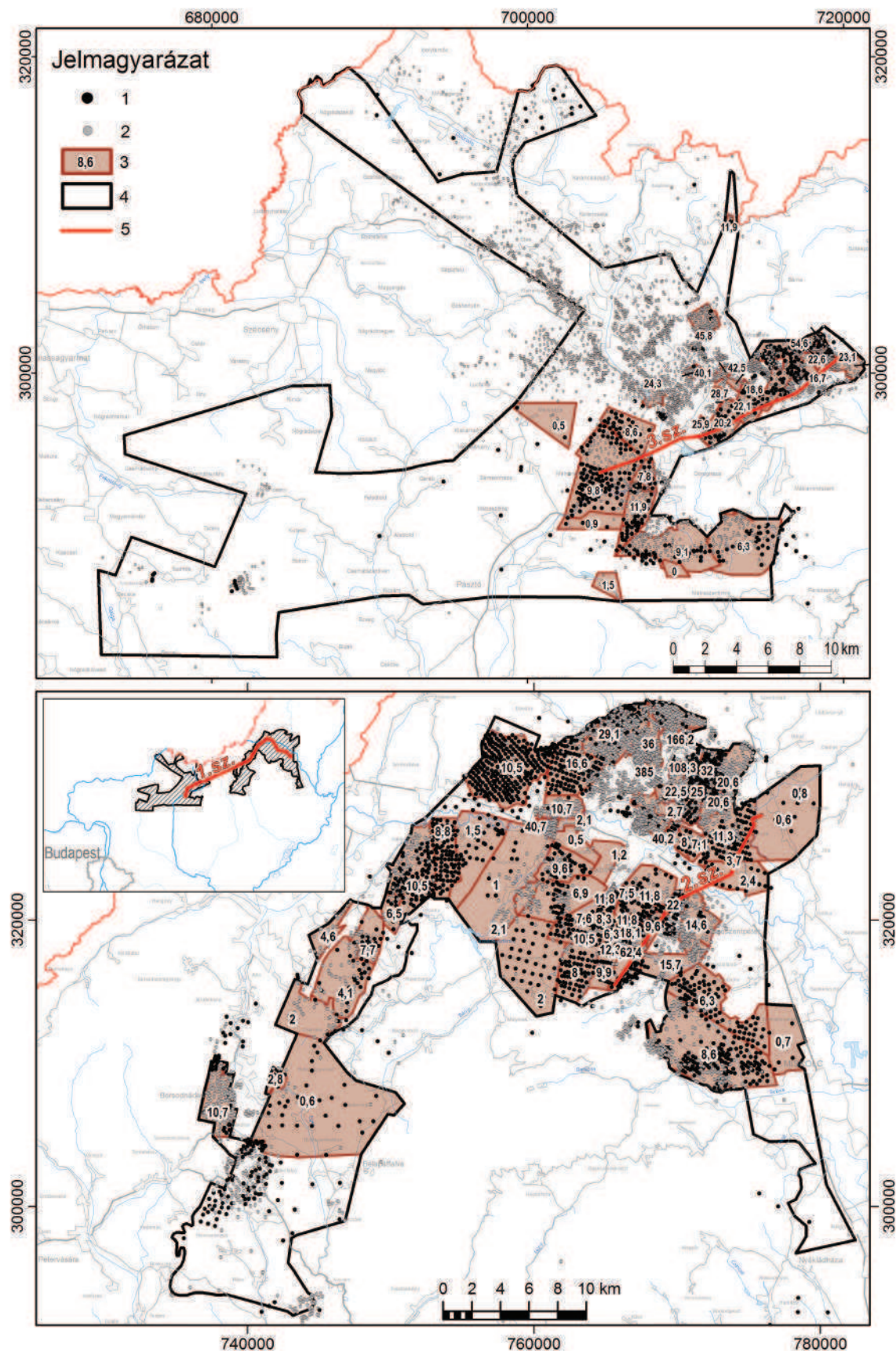
### *Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet*

Az alsó–középső-miocén kőszéneket Észak-Magyarországon a kb. 130 km hosszan elhúzó Salgótarjáni Barnakőszén Formáció képviseli. Területi elterjedése az ország É-i és ÉK-i részén, az Északi-középhegységben a Nógrádi-medencétől a Borsodi-medence K-i részéig jellemző a Mátra, a Bükk, az Upponyi-, Rudabányai- és a Szendrői-hegység előterein található medencékben. Kelet felé az elterjedési terület határáként a Cserehát, a Sajó–Bódva vonala nevezhető meg. A magyarországi előfordulásokon túl a formáció Szlovákia felé is áthúzódik a szlovákiai Modry Kamen (Kékkő)-i medencerészbe (VASS *et al.* 2005, RADÓCZ 2010) (3.35. ábra).

A formáció legfontosabb elterjedési területei a Nógrádi- és a Borsodi-medence, ahol felszíni kibúvásokban és lezökkent helyzetben kb. 400–500 m mélységig fúrások és bányászati tevékenység által feltárt. A Nógrádi-medencében a széntelepes összlet határait a fiatalabb lepusztulásnak köszönhetően Ny, É, és K-i irányban oligocén üledékek, felszíni kibúvásai adják. D-ről a kőszénösszletet a Mátra hegység andezittömege fedi be (BARTKÓ *et al.* 1966b, HÁMOR 1985, NÉMEDI VARGA 2010).

A Borsodi-medencét D-ről a Bükk, Ny-on az északi Mátra-előtér oligocén térszínei, É-on a Rudabányai- és a Szendrői-hegység határolja, K felé földrajzi határa a Sajó–Bódva vonala. A medencét a kifejlődési jelleg alapján további két medence-részre osztják, Nyugat-Borsodi-medence (a Bükk ÉNy-i előtere) és Kelet-Borsodi-medence (a Bükk-től É-ra az Upponyi-, Rudabányai- és Szendrői-hegységek által közrefogott terület) a két részmedence határát jó közelítéssel a Darnó-vonal jelenti, jóllehet az eltérő rétegtani jelleggel bíró területek összeföldrajzi határa északon egyértelműen *nem* a Darnó-vonal.

A borsodi szénbányászat kezdetét 1769-től számítjuk, amikor Fazola Henrik bejegyeztette bányászati igényét Tardona, Parasznya és Mályinka területén. Az első ipari igényeket kiszolgáló szénhasznosítás 1848-tól indult, majd a századfordulótól 1930-as évek közepéig a Magyar Általános Kőszénbánya Rt. egyre növekvő kapacitással termelt, az 1920-as évekre elérte az évi 1,8 M tonnát, amibe a nógrádi bányák kapacitása is beleszámított. A második világháború vége felé az ipari üzemek mellett a borsodi szénbányák is károkat szenvedtek. Az újjáépítést követően az 1950-es évek második felétől az állami tervgazdálkodás keretei között megvalósuló bányabővítések és a kitermelés fokozása intenzív kutatást



**3.35. ábra.** A Salgótarjáni Barnakőszén Formáció elterjedése és a medence megkutatottsága a 3.37. ábra (1. sz.), 3.40. ábra (2. sz.) és 3.42. ábra (3. sz.) nyomvonalával

Jelmagyarázat: 1. szénkutató fűrés mélyfűrészi geofizikával, 2. szénkutató fűrés geofizika nélkül, 3. nyilvántartási terület (a beírt szám a fűrés/km<sup>2</sup>), 4. a szénmedence határa (1,2 m-nél vastagabb telepet harántoló fűrésokat bezáró poligon), 5. tanulmányban szereplő szelvény nyomvonala

eredményezett. A hanyatlás az 1980-as évektől kezdődött, a mélyszinti bányászatot 2004-ben Lyukóbányán fejezték be. Jelenleg a nógrádi és borsodi részmedencékben 3–5 külfejtés működik.

A nógrádi medencében Salgóbánya térségében 1841-ben indult meg a kőszénbányászat (LASSAN 1986), amely 1993-i tartott. A bányászat fejlődése a századfordulóra teljesedett ki a Magyar Általános Kőszénbánya Rt. tagjaként üzemelő Salgótarjáni Kőszénbánya Rt.-vel. A termelés maximumát 1960 és 1970 között érte el. A több lépcsőben indított, új bányák nyitásával a Nógrádi Szénbánya Rt. termelése egészen az 1980-as évekig fenntartható volt, a recesszió idején azonban már a borsodi és nógrádi üzemek összevonása révén sem tudott megerősödni, így 1993-ban megszűnt a mélyműveléses bányászat.

A Nógrádi- és Borsodi-medencében a kőszéntelepés előfordulások és medencék földtanáról HANTKEN (1978), PAPP (1915), SCHRÉTER (1929), VITÁLIS (1939), majd a 20. század második felétől BARTKÓ et al. (1966) és ALFÖLDI et al. (1975) készítettek összefoglaló értékeléseket. A monografikus munkák mellett kiemelkedő RADÓCZ (1966a, b, 1985) és JUHÁSZ (1965, 1970, 1988, 1984) munkássága. A Nógrádi-medence rétegtani ismertetését NOSZKY (1912), SCHRÉTER (1933, 1940), VITÁLIS (1935) és BARTKÓ (1952, 1961, 1962, 1966) és RADÓCZ (2010), GYALOG BUDAI (2004) adták. A későbbiekben a terület földtani térképezése alapján, a komplex földtani képet HÁMOR (1985) monográfiája összegezte. HÁMOR (1997, 1998) munkái a Kárpát-medence miocén fejlődéstörténetébe, illetve a Paratethys ősföldrajzi rendszerébe is beillesztik a formációt. A bányaföldtani eredményeket JÁVOR (1941), SZENTIRMAI (1962, 1965), KÉRI (1964, 1966), LASSAN (1966) és HERMESZ (1984a,b), a medencekutatókat és a bányászat történetét ÉRSEK (1996), MÁNDY, ZSÁMBOKI (1996), HAHN et al. (1998) és NÉMEDI VARGA (2010) összegzik. Őslénytani vizsgálatokat CSEPREGHYNÉ MEZNERICS (1949), RÁSKY (1958) és SIMONCSICS (1959), SOÓS (1964), NAGY Eszter (1985), NAGY Eszter, RÁKOSI (1993) végeztek, VITÁLIS (1961) és DÁVID et al. (2006) életnyomokat közöl a területről.

A neogén képződmények megismerését célzó kiterjedt szeizmikus méréseket PLESZKÁTS et al. (1986) foglalja össze. A szekvenciasztratigráfia kutatási módszerének hazai szénkutatóban történő adaptációja a Borsodi- és Nógrádi-medence fejlődéstörténetének megismerésében DÁVID et al. (2006), ÁDÁM (2006a, b) és HÁMORNÉ VIDÓ et al. (2013) révén hozott új felvételeket, majd PÜSPÖKI et al. (2001, 2009, 2017) részletesen vizsgálta a Borsodi-medence miocén keletkezési körülményeit, párhuzamosítva azt a Középső-Paratethys globális tengerszintváltozásaival (VAKARCS et al. 1998). A széntelepek közettani, genetikai, geokémiai és fáciestani tulajdonságai SZÁDECZKY-KARDOSS (1940, 1946, 1947a–c), SZÁDECZKY-KARDOSS, SOÓS (1959, 1964), ELEK (1963, 1964, 1988), VARGA (1985), HÁMOR-VIDÓ (1992, 1993a, b, 1994), HÁMOR-VIDÓ, HERTELENDI (1996), HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR (2006) és HORVÁTH, HÁMORNÉ VIDÓ (2016) munkája révén váltak ismertté. A Borsodi-medence fejlődésének tektonikai háttere TARI et al. (1992, 1993), SZTANÓ, TARI (1993), CSONTOS, NAGYMAROSY (1998), ÁDÁM (2006a) FODOR et al. (2005b) és PÜSPÖKI et al. (2009, 2017) munkái alapján pontosíthatók.

A bányaveszélyek közül a gázkitörések általában alacsonyabbak a Borsodi- és Nógrádi-medencében, de Nógrádban esetenként szén-dioxid gáz, míg főként Nyugat-Borsodban elsősorban vízbetörések nehezítették a termelést. A bányaföldtani veszélyforrásokkal többek között LASSAN (1966, 1984), SZIRTES (1969, 1973) és SZABADOS (2011) foglalkoztak. A hidrogeológiai vizsgálatok egyes területeken fontos szerepet játszottak. A Borsodi-medencében a vízföldtani kérdéseket ALFÖLDI (1959), JENEYNÉ JAMBRIK (1985, 1987, 1989), JENEYNÉ JAMBRIK, TÖRÖNÉ (1990a,b) RADNÓTY (1954), BORBÉLY, JUHÁSZ (1971), VARRÓ (1979) vizsgálták.

### *Rétegtani felépítés*

A Salgótarjáni Barnakőszén Formáció kifejlődése az Észak-magyarországi paleogén medence fejlődési keretei között, az akkor jellemző ősföldrajzi viszonyoknak megfelelően indult, és a kárpáti korszakban felerősödő (szinrift) szerkezetváltozások hatása alatt zajlott. Ennek megfelelően a Nógrádi- és Borsodi-medence jelenleg egyetlen formációban tárgyalt széntelepés kifejlődései valójában jelentős eltéréseket mutatnak, amit elsősorban a tagozat szintű nevezéktan juttat kifejezésre.

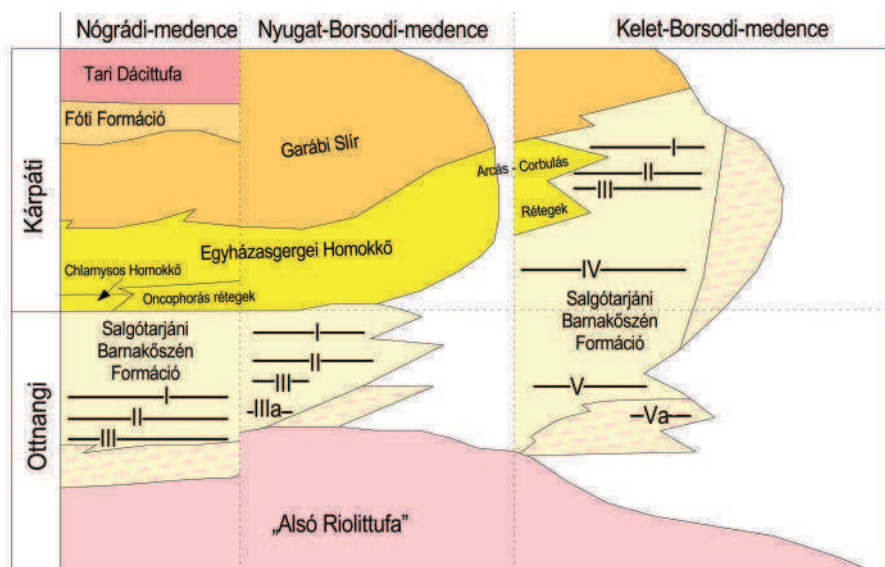
A Nógrádi-medencében a mélyfekűt az oligocén Szécsényi Slír Formáció, ill. az ennek fedőjében települő Pétervásárai Homokkő Formáció képviseli. A széntelepés rétegsor közvetlen fekvését a medence középső (ÉK-i) részén elsősorban a Gyulakeszi Riollittufa Formáció (3.36. ábra), másutt (Etesi-árok, Zagyva-árok jelentős területei) a riollittufa fekvésében vagy közvetlen fedőjében megjelenő ún. „alsó tarkaagyag” (Zagyvapálfalvai Formáció), ill. „felső tarkaagyag” (HÁMOR 1991b). A tarkaagyagok elválasztása jelenleg csak a riollittufa megléte esetén egyértelmű.

A Borsodi-medencében a széntelepés összlet fekvőképződményei változatosak. Edelénytől K-re a szendrői és upponyi típusú, paleozoos, metamorf képződmények jelennek meg az aljzatban, míg a medencebelsőben és a Ny-Borsodi-medencében többnyire oligocén–alsó-miocén törmelékes összletek (Pétervásárai Homokkő, Felsőnyárádi Formáció) alkotják a fekvést. Diósgyőrnél a felső-eocén Szépvölgyi Mészke Formáció is megjelenik. A kb. 300 m vastag, kőszénrétegeket is tartalmazó Felsőnyárádi Formáció a Darnó-zóna tengelyével egyezően megnyúlt, hosszanti mélyedésben fejlődött ki a legteljesebben, s maga is tartalmaz széntelepeket. Alaptelep jellegű limnikus telepei 1,6–1,8 m (VII.) és 1,4–4,6 m-es (VI.) vastagságban fejlődtek ki.

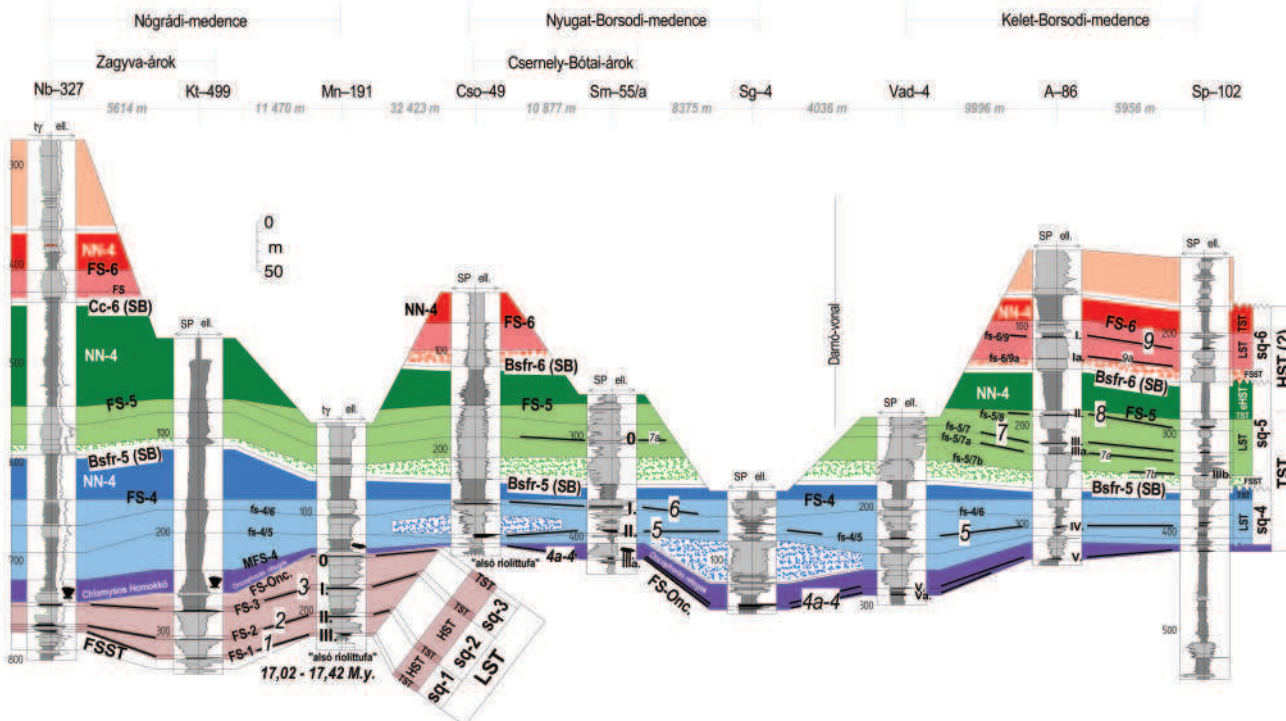
A Gyulakeszi Riollittufa Formáció elterjedése elsősorban a széntelepés rétegsor lerakódását megelőző denudációt, s ezzel összefüggésben a széntelepés rétegsor lerakódásához alapul szolgáló térszín egyenetlenségeit tükrözi. Jellemzően, nagy vastagságban megtalálható a Nógrádi-medence ÉK-i részén (Mizserfa környékén), ill. a Borsodi-medencében elsősorban a K-i részeken (Varbó–Sajóbábony) (10–30 m). Teljesen lepusztult ugyanakkor a Nógrádi-medence Ny-i és D-i területein, ill. a Borsodi-medence nagy részén.

A szentelepeket tartalmazó ottnangi-kárpáti rétegsor tagolásában kiemelt rétegtani jelentőséggel bír az ottnangi képződmények felső részén megjelenő Rzehakiás (Oncophorás) szint. A Bécsi-medencétől Észak-Magyarorszáig terjedő faunahorizontot képviselő társulás megjelenése mindkét medencében igazolt. A Nógrádi-medencében a szentelepes rétegsor *fölött*, a hazai szakirodalom által kárpátinak tekintett (HORVÁTH, NAGYMAROSY 1979) transzgresszív fedő homokkőösszetben jelentkezik (Egyházasgergei Homokkő), amely fölfelé a Garábi Slír képződményeibe megy át. A Borsodi-medencében ezzel szemben közvetlenül a legalsó (Ny-borsodi III.) telep fölött került elő (BÁLDI 1976, RADÓCZ 1987), a Borsodi-medencében végzett nann

A fentiek figyelembevételével, szisztematikus karotázskorrelációk alapján a Nógrádi- és Borsodi-medencében a kísérő telepeket nem számítva összesen 9 regionálisan is korrelált széntelep azonosítható (3.37. ábra). A jól azonosítható, fölfelé durvuló üledékciklusok és elöntési felszínek alapján a 9 telepképződési időszak mindegyike relatív tengerszint-emelkedési időszakhoz, ill. ehhez kapcsolódó elöntéshez rendelhető. A legidősebb telep a Nógrádi-medence legalsó (III.) telepe. A nógrádi telepek (III–II–I.) képződésének idején a Borsodi-medence területe nagyrészt lepusztulási térszín volt (3.38. ábra A).

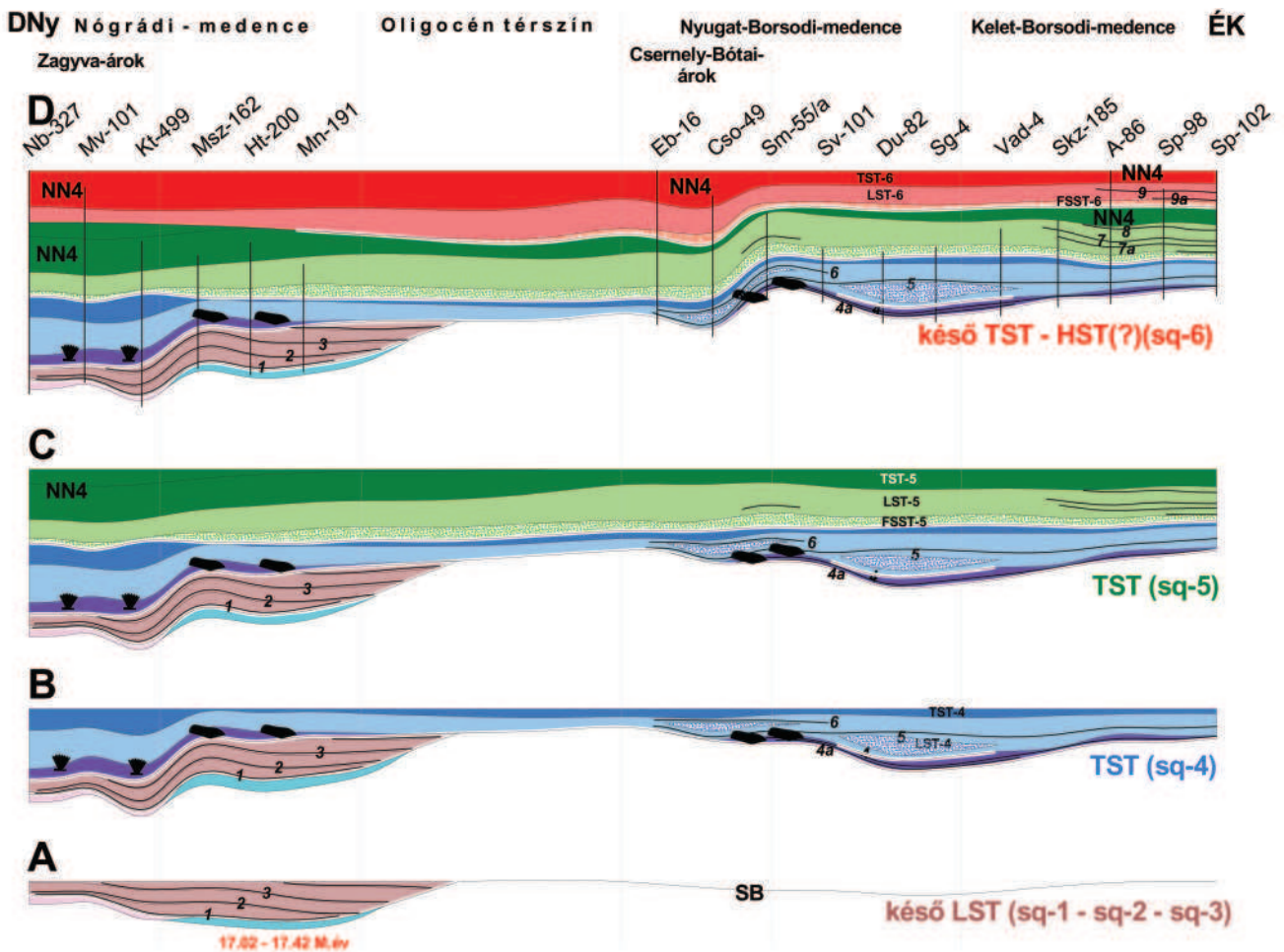


**3.36. ábra.** A Salgótarjáni Barnakőszén Formáció litosztratifráiai helyzete (PÜSPÖKI et al. 2017 után módosítva, az Elsevier engedélyével)



3.37. **ábra.** A Salgótarjáni Barnaköszén formáció korrelált üledékciklusai a Nógrádi- és a Borsodi-medence területén (PÜSPÖKI et al. 2017 után módosítva, az Elsevier engedélyével). A szelvény nvomvonalát a 3.35. ábra mutatja (1. sz.)

Jelmagyarázat: Rövidítések magyarázata: FFSST: csekénlő vizszint mellett képzódó üledékes rendszerezység, LST: kisvízi üledékes rendszerezység, TST: transzgresszív üledékes rendszerezység, HST: nagyvízi üledékes rendszerezység, FS: magasabb rendű elöntési felszín (befoglaló szekvencia maximális elöntési felszíne), fs-x/x: alacsonyabb rendű elöntési felszín, az első szám a befoglaló szekvencia száma, a második szám az elöntési felszínhez rendelhető korrelált széntelep száma, FS-OnC: Az Oncofhorák (Rzehakiák) megjelenéséhez kapcsolódó elöntési felszín, Bsfr (SB): éles bázisú homoktest települési felszíne, potenciális szekvenciáké, római számok a fúrások belüli: helyi telepszámozás, kereset számok a fúrások között: regionálisan korrelálható telepszámok. Az alsó riolitúfa kora PÁLFY et al. (2007) alapján



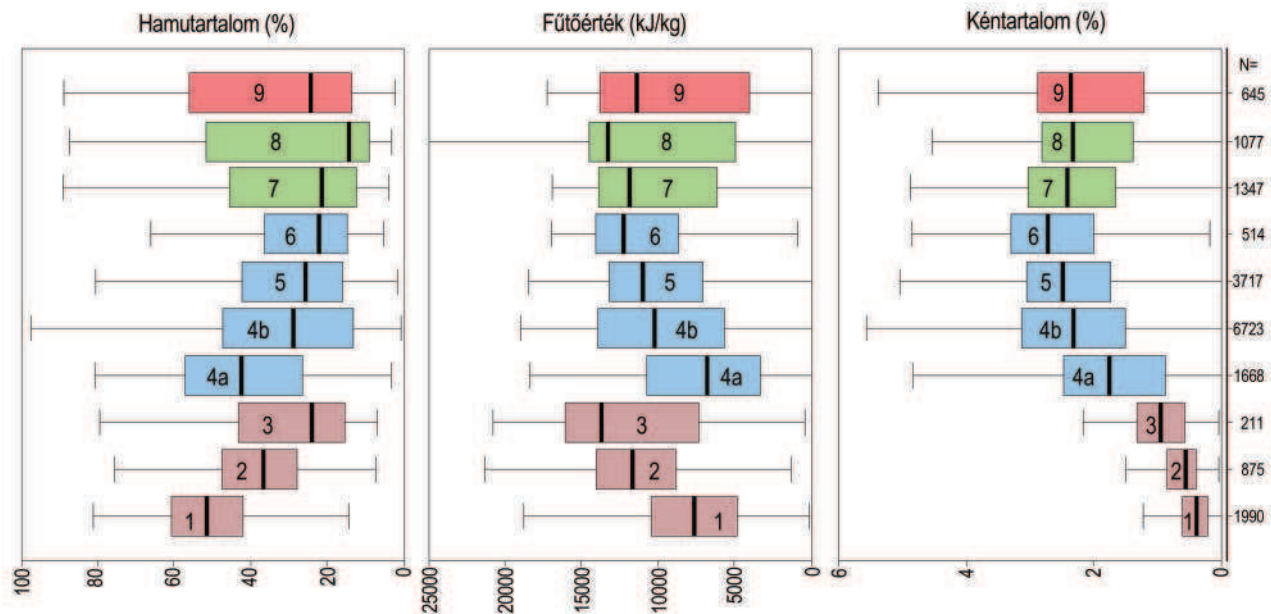
3.38. ábra. A Nógrádi- és Borsodi-medencék széntelepes rétegsorának fejlődéstörténeti modellje (PÜSPÖKI et al. 2017 után módosítva, az Elsevier engedélyével). A szelvény nyomvonala és szintkulcsa megegyezik a 3.37. ábra nyomvonalával és jelmagyarázatával

A kárpáti kezdetén az erősödő relatív tengerszint emelkedés hatására a Nógrádi-medencében a szénképződés megszakadt, s a területen az Egyházasgergei Homokkő, ill. Garábi Slír lerakódása folyt (3.38. ábra B, C, D). A szénképződés ezzel egyidőben áttevődött a kiemeltebb Borsodi-medencébe. A legutóbbi, nagy felbontású karotázskorreláción és szénközöttani vizsgálatokon alapuló elemzések alapján a Ny-Borsodi- és a K-Borsodi-medence legalsó telepei egykorúak (PÜSPÖKI et al. 2017), valamint megbízhatóan egykorúnak tekinthetők a Nyugat-Borsodi II. és Kelet-Borsodi IV. telepek (4.2. ábra). A Nyugat-Borsodi legfelső (I.) telep nem terjedt át kelet-borsodi területekre. A Kelet-Borsodi-medence III–II–I. telepei már csak itt találhatók meg, a Nyugat-Borsodi, legfelső helyzetű „Borsodi csík” megfelel a Kelet-Borsodi IIIa kísérőtelepnek. A transzgresszió erősödését a széntelepek átlagos kéntartalom-növekedése is mutatja (3.39. ábra), valamint a S, C stabilizotópok is jelzik a tengeri hatást (HÁMOR 1991a, 1996, HÁMOR, HERTELENDI 1991, HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR 2006).

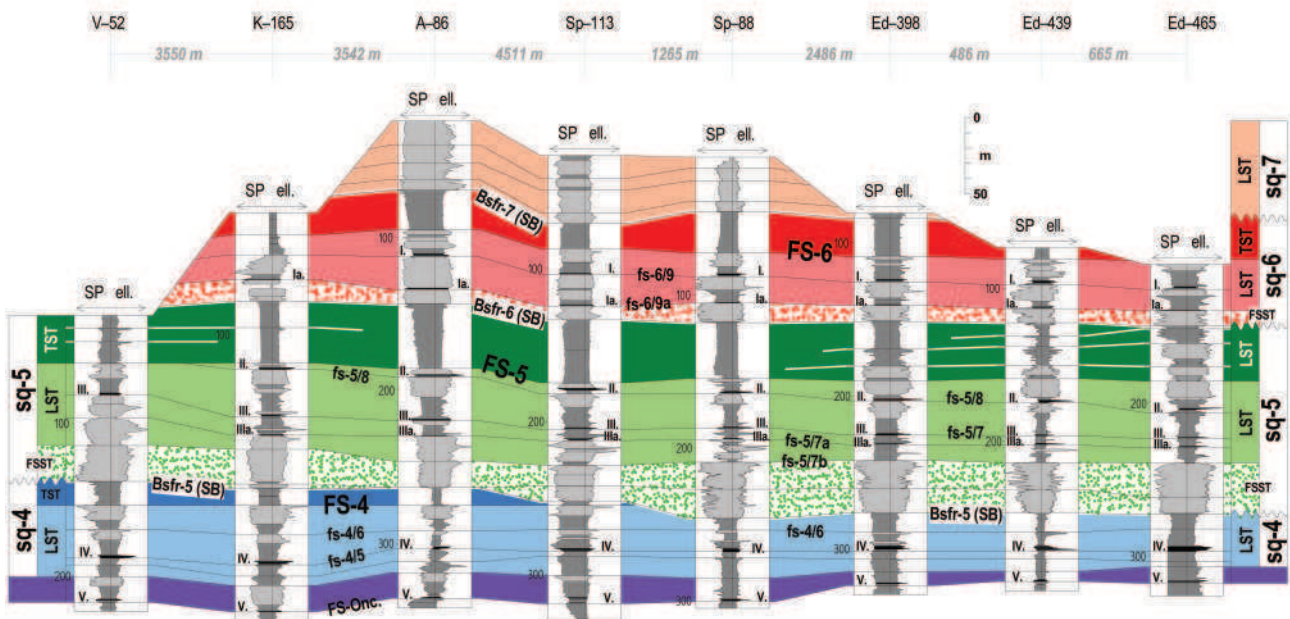
A SBF barnakőszéntelepet tartalmazó összelete a Nógrádi-medencében a Kisterenyi Tagozat, amelynek meddő kőzete uralkodóan zöldesszürke homok. Közvetlen fekvését a Gyulakeszi Riollittufa Formációra települő, folyóvízi–mocsári fáciesű Nógrádmegyeri Tagozat („felső tarkaagyag”) adja. A Kisterenyi Tagozatot szürke agyag, kőzetlisztes-homokos agyag–agyagmárga fölfelé durvul (progradációs) üledék ciklusai és három, az elöntési felszínhez kapcsolódó széntelep építik fel (4.31. ábra). Vastagsága 40–180 m, dőlése 2–5°. A tagozat fáciesé alul édesvízi, amely felfelé alig sós vízi – félsós vízi kifejlődésbe megy át.

A SBF széntelepes összelete a Borsodi-medence területén a 300 m vastagságot is elérheti. A rétegsorban nagy biztonsággal térképezhető, elöntési felszínekkel határolt paraszekvenciák száma meghaladja a 20-at. A jelentősebb transzgressziókra utaló nagyobb vastagságú aleuritösszletek és az általános elterjedésű lumasellapadok ugyancsak gyakoriak (PÜSPÖKI et al. 2009, 2017). Szintén jellemzői a kifejlődésnek az éles bázisú homoktestek, melyekhez esetenként eróziós diszkordanciák is kapcsolódnak, ami megerősíti ezek szekvenciahatár-jellegét (3.40. ábra).

A széntelepes rétegsor nyílttengeri betelepülései kárpáti jellegű foraminifera-faunát tartalmaznak, mely megjelenésében erősen hasonlít a Garábi Slír hasonló korú képződményeihez (KORECZNÉ 1985). Radostyán környékén a



3.39. ábra. Hamutartalom, fűtőérték és kéntartalom változása a Nógrádi és Borsodi szénmedencék korrelált telepeiben (PÜSPÖKI et al. 2017 után módosítva, az Elsevier engedélyével). A széntelepek számozása és a befogadó ciklusok színezése a 3.37. ábra szinkulcsát követi



3.40. ábra. Éles bázisú homoktesthez kapcsolódó diszkordancia (Bsfr-5) és transzgressziós sorozatban érvényesülő parti hatások (SQ-5 TST) a Kelet-Borsodi medence széntelepes összletében (PÜSPÖKI et al. 2017 után módosítva, az Elsevier engedélyével). A szelvény nyomvonalát a 3.35. ábra mutatja (2. sz.). A rövidítések magyarázata a 3.37. ábra szerint.

szervesvázú mikrop plankton-vizsgálatok ugyancsak kárpáti kort jeleztek (SÜTŐ-SZENTAI 2000). A nyugat-borsodi és nógrádi területtől némileg eltérő kifejlődése miatt a kelet-borsodi széntelepes összletet gyakran Sajólászlófalvai Tagozat néven különítik el. A telepek kimaradásával a széntelepes rétegsor fölfelé Garábi Slírbe megy át.

A kárpáti rétegsor fedőjében a Bádeni Formáció partszegélyi, majd sekélytengeri üledékei következnek, a szarmata előtti lepusztulásnak azonban e badeni és jelentős részben az otnangi-kárpáti kifejlődések is áldozatul estek, a badeni képződmények csak kisebb foltokban maradtak meg (pl. Sajómercsse II., Dubicsány, Tardona). A K-Borsodi medence középső és Ny-i részén a lepusztulás következtében csak az V. és IV. telep valamint a kísérő meddő egy része maradt meg. A szarmata-pannóniai rétegsort a Sajóvölgyi Formáció teresztrikus – csökkent sós vízi rétegsora, a Dubicsányi Andezit Formáció piroklasztikumai képviselik, a Galgavölgyi és Csereháti Riolituffával egyetemben.

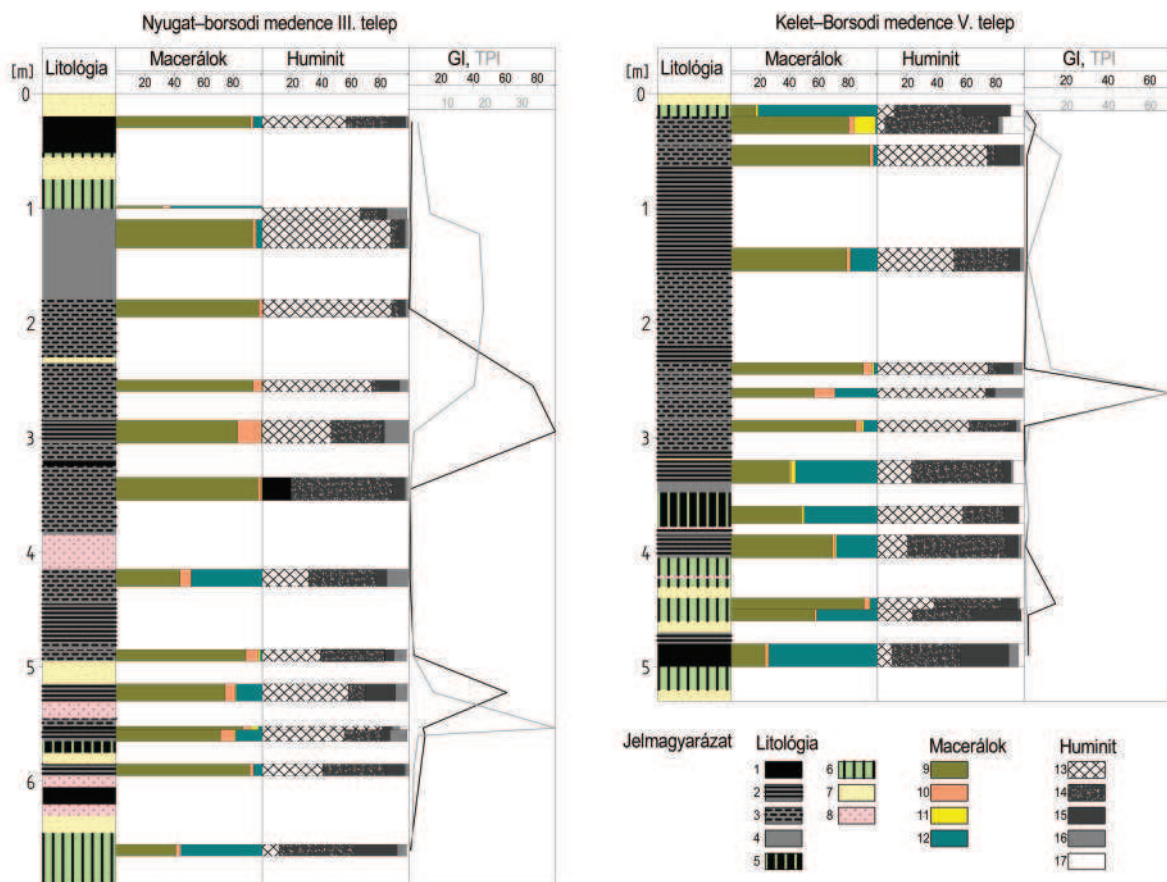
### Teleptan

A Nógrádi- és Ny-Borsodi-medencékben 3, a K-Borsodi-medencében rendszerint 5 telep és esetenként a kapcsolódó kísérőtelepek művelése zajlott. A telepszámozás mindegyik részmedencében felülről lefelé nő. A kifejlődés legnagyobb elterjedésű telepei Nógrádban a középső (II.), Ny-Borsodban ugyancsak a középső (II.), míg K-Borsodban az utóbbival párhuzamosítható IV-es telep. A telepek átlagos vastagsága 2 m, de helyenként 5–10 m vastag kifejlődés is ismert.

A kőszénképződés tengerparti, lagúna közeli, főként láperdei kifejlődésű, transzgressziós jellegű, amelyet a telepfedőkben gyakran megjelenő lumasellarétegek is igazolnak. A kőszén vitrinittartalma 80% fölötti. Jellemző további elegyrészek a szuberinit és kutinit, de az időszakos talajvízszintesést és részleges oxidációs környezetet jellemző funginit is gyakori a macerálok között. Minőségét tekintve a kőszén fénytelen fás-barnakőszén, vagy metalignit. Nedvességtartalma 22–29%, kéntartalma 2,2–5,3%, hamutartalma 10–30%, fűtőértéke 10,5–23,5 MJ/kg között változik, vitrinitreflexió-értéke 0,26–0,34% közötti. A Ny-Borsodi-medencében három elem, a Co, a V és a Zn szoros pozitív korrelációt mutat a hamutartalom változásával és területi anomáliaként jelentkezik a Cr (HORVÁTH, HÁMORNÉ VIDÓ 2016).

A Nógrádi-medencében a szénészlet egyenetlenül erodált felszínre települő édesvízi kifejlődésű teleppel indult, a telepek elterjedése így területileg változó, a térszíni mélyedések központi részén a telepek vastagabbak (HÁMOR 1985). Az észak-nógrádi területen, Salgótarján környékén az alsó III-as telep 2–5 m, a középső területen (Kisterenye, Kazár, Mátranovák) az 1–4 m vastagságot ér el, és a dél-nógrádi területen (Mátraverebély, Nagybátöny) nem fejlődött ki. A legnagyobb területi elterjedésű II. telep a Tiribesi és Szoros-pataki aknák területén közvetlenül a riolituffára települ, vastagsága 0,8–1,5 m. Az I. telep nem fejlődött ki észak-nógrádban, a középső medencerészen 0,7–1,4 m közötti a telep vastagság, míg a dél-nógrádi területen az I-es telep az elődleges, vastagsága 1,2–2,2 m.

A Ny-Borsodi medencében a három telepes kifejlődés kezdetét az alaptelep típusú limnikus kőszénképződés jellemzi, amely változó vastagságú, néhol az 5–6 m-t is eléri (JUHÁSZ 1988). A telep alsó része rosszabb minőségű, hasonlóan a rétegtanilag azonos K-Borsodi V-ös telephez. A szénközvetlen vizsgálatok alapján az azonos idejű telepképződést a két részmedencében az áramlási rendszer energiaszintjét mutató konzerválódási index (TPI) és a vízborítottság mértékével arányos gélesedési index (GI) hasonló időbeni változása is jelzi (3.41. ábra). A nyugat-borsodi II-es telep egyeletes



**3.41. ábra.** A Salgótarjáni Barnakőszén Formáció szerves kőzetani alapú teleptani azonosítása a Ny-Borsodi III. (Királd) és a K-Borsodi V. telepek (Feketevölgy) között (PÜSPÖKI et al. 2017 után módosítva, az Elsevier engedélyével)

Jelmagyarázat: Litológia: 1. kemény kőszén, 2. rétegzett kőszén, 3. rétegzett kőszén xylites lencsékkel, 4. rétegtelen kőszén, 5. agyagos szén, 6. szén agyag, 7. kőzetlisztes agyag, 8. tufit. Macerálok: 9. huminit, 10. liptinit, 11. inertinit, 12. ásványos alkotók. Huminit: 13. telohuminit, 14. detrohuminat, 15. gelohuminit, 16. liptinit, 17. inertinit. GI: gélesedési index TPI: konzerválódási index (DIESEL 1986, KALKREUTH et al. 1991)

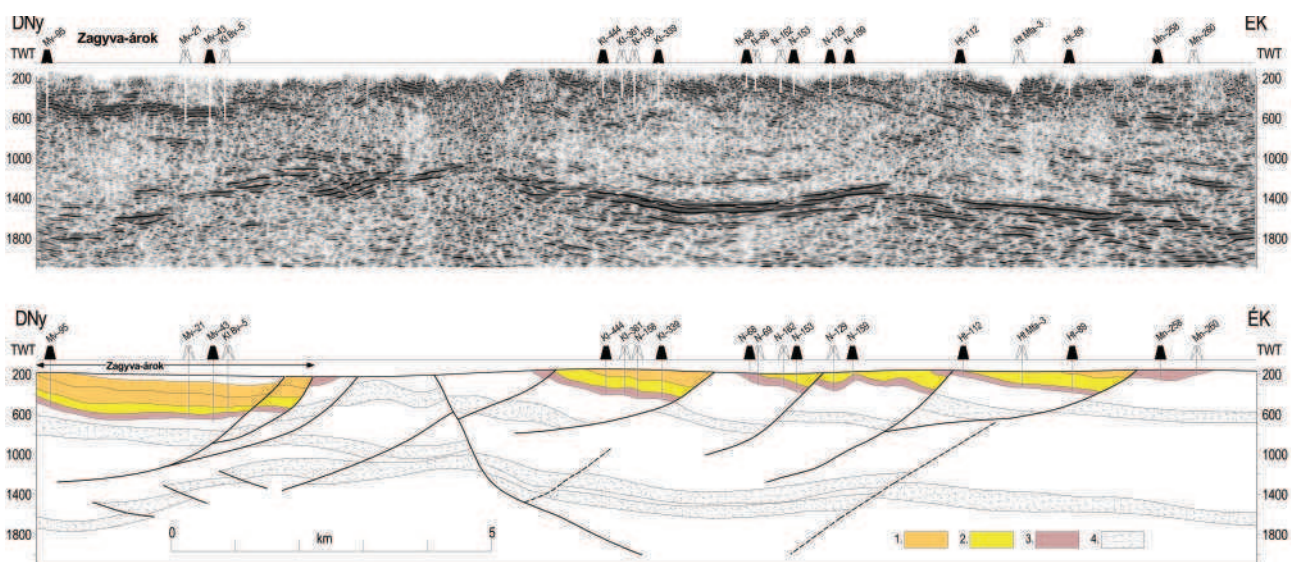
vastagságban 2–5 m közötti átlagos vastagságban található, Farkaslyuk és Királd környezetében kivastagodását fellápi jellegű kőszénképződés kísérte a telepképződés középső szakaszában, amit a szerves alkotók magas törmelékanyag-összetétele támaszt alá (HÁMORNÉ VIDÓ 1993a, 1994).

A K-Borsodi-medence közéntelepei részben alap-, részben köztetelep jellegűek ismétlődő paralikus–mocsárláp állapotot tükröznek. A rétegsorban öt főtelep és 3 kísérőtelep ismert. A legalsó V-ös telep a Sajó vonalától D-re egy vékonyabb, É-ra 2–3 pados vastagabb telep (legvastagabb Oromosbányán). HÁMORNÉ VIDÓ (1993b, 1994) szerint itt minden lápövíztípus megjelenik a telepfejlődés során vertikálisan a nyílt víztől a nedves mocsáredőn át a kiszáradó lápi környezetig. A IV-es telep a legnagyobb elterjedésű. A Sajótól D-re vékonyabb 0,9–1,6 m, É-ra É felé haladva 3 m-re is kivastagodik (Dusnok). A lápövek változékonysága kisebb, uralkodóan rétláp, alárendelten láperdő (JUHÁSZ 1965, 1970, HÁMORNÉ VIDÓ 1992, 1993a). A III-es telep vastagsága 0,1–1,5 m között változó, művelő telepei K-i irányban fejlődtek ki. A II-es telep homogén, 0,2–1,4 m vastagságú, erdősláp–sekélyláp fáciesű (JUHÁSZ 1970), és a Ny-i medencerészben hiányzik, fedőjében gyakori a kovásodás. Az 1 m körüli vastagságban ismert láperdei fáciesű I-es telep a terület jelentős részén lepusztult.

### Szerkezeti viszonyok

A Nógrádi-medence tektonikusan meglehetősen tagolt, szerkezetét alapvetően a fiatal fejlődésű ÉÉK–DDNy-i csapású Zagyva-árok és az erre közel merőleges NyÉNy–KDK-i csapású Etesi-árok határozza meg. A Zagyva-árok miocén fejlődéstörténete elsősorban a széntelepkepződés kialakulását követő színrift eseményekhez köthető (TARI et al. 1999), mindazonáltal egyes vélemények szerint (pl. HÁMOR 1985) az árokrendszerek aktivitása a szénképződés idején is feltételezhető, aminek következtében a szénképződés akár nem is teljesen egyidejű az egyes területrészekben.

A területet utólagos tektonikai mozgások is tagolták, és bár a rétegdőlés nyhe (legfeljebb 5°), a medence törésekkel erősen szabdalt. Az uralkodó vetőirányok az ároktengelyekkel közel párhuzamosak. A vetők viszonylag meredek (60–70° dőlésűek), függőleges elvetésük több 10 m, összetett vetők esetében a 200 m-t is eléri. A korábbi bányászati gyakorlatban jellemzően normál vetők mentén kialakult rögös–árkos szerkezettel számoltak, azonban a 2002–2004-ben a területen végzett regionális szeizmikus felmérések egyértelműen kibillent félárok szerkezeteket tanúsítanak a Zagyva- és Etesi-árok területén, ill. a két árokrendszer találkozásánál egyaránt (PÜSPÖKI et al. 2017) (3.42. ábra).



3.42. ábra. Szeizmikus szelvény (migrált időszelvény) értelmezése a Nógrádi-medence területén (PÜSPÖKI et al. 2017, az Elsevier engedélyével). A szelvény nyomvonalát a 3.35. ábra mutatja (3. sz.)

Jelmagyarázat: 1. Garábi Slir F., 2. Egyházasgergei Homokkő F., 3. Salgótarjáni Barnaköszén F., 4. oligocén reflektáló felületek. TWT: kétutas idő

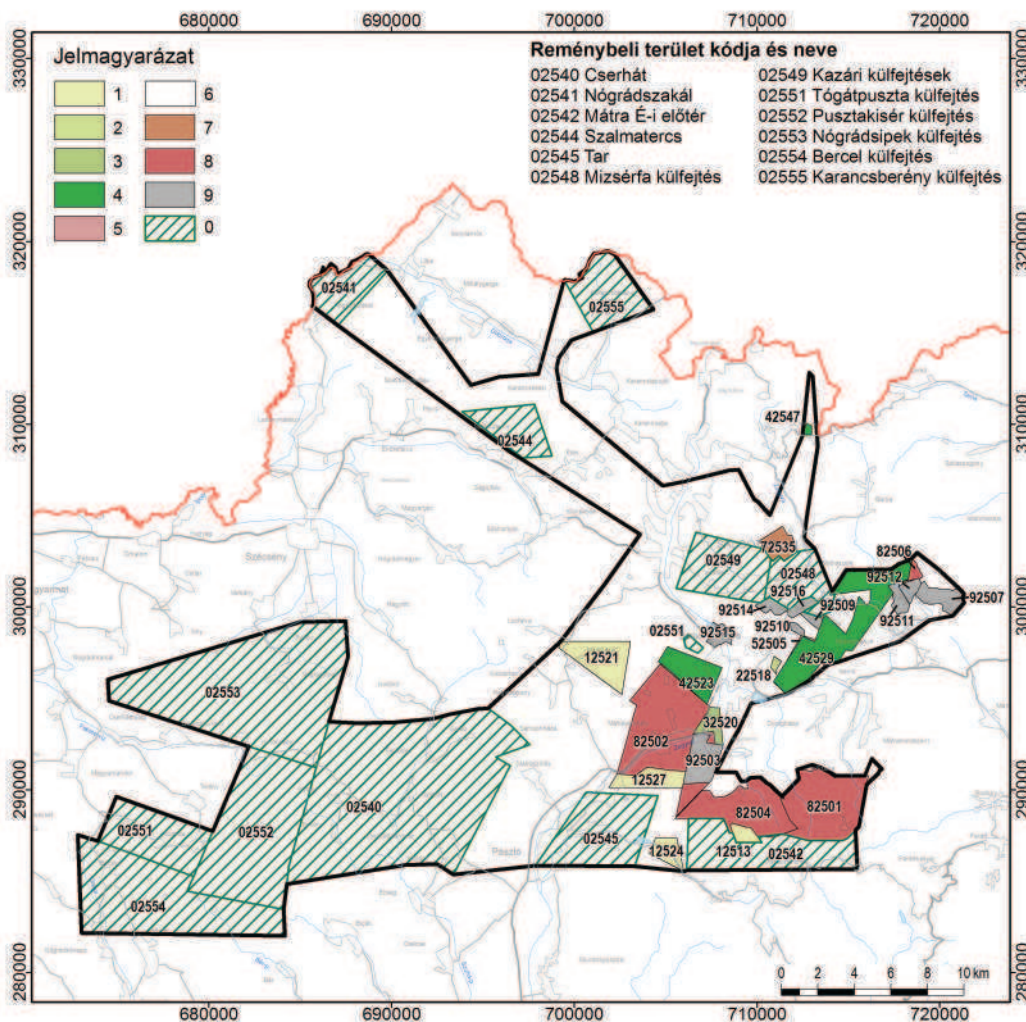
A Borsodi-medencét kettéosztó Darnó-zóna a Kárpát-medence egyik nagy eltolódásos vetőzónája (FODOR et al. 2005b). A Darnó-zóna aktivitása már az üledékképződés során befolyásolta a széntelepes összlet lerakódását (PÜSPÖKI et al. 2009, 2017), éles ősföldrajzi határvonalat azonban inkább déli szakaszán, a Sajótól délre jelentett (ÁDÁM 2006). A szénes összlet a szerkezeti mozgások hatására kialakult tagolt domborzatra települt, ami esetenként jelentősen befolyásolta a legalsó telepek elterjedését és vastagságát (NÉMEDI VARGA 2010) (4.12. ábra). A kőszénösszlet felső része szerkezeti mozgások hatására területileg változó mértékben részben még a közvetlen fedő badeni üledékek lerakódása előtt, részben későbbi tektonikai fázisok során lepusztult.

A K-Borsodi-medence vetői jórészt a Darnó-zónával párhuzamosak (JUHÁSZ 1961). Ezeket JASKÓ (1989) uralkodóan normál vetőkként értelmezi. A nagyobb vetők a medencében 50–250 m-enként fordulnak elő, köztük kisebb elvetésű járulékos vetők találhatók. Kiemelkedő jelentőségű szerkezetet térképeztek ki szintén a Darnó-zónával párhuzamos csapásban a terület nyugati részén (Sajókaza–Felsőnyárád vonalában) 40–60 m-es, valamint keletebbre, Kondó mellett több mint 150 m-es elvetési magassággal. Mindkettő maga is összetett, kisebb síkokból álló vetőnyaláb. Egyes vetők elvetési magassága a sík csapása mentén változhat. A fő vetőkre merőlegesen 0,5–1 m-es elvetésű kis vetőket figyeltek meg a bányákban. Az ilyen irányú szerkezetek csak a medenceperemen okoztak jelentősebb elmozdulást, így Diósgyőrnél például 45 m-es elvetést. A rétegdőlés a medencében rendszerint néhány fok, igen ritkán éri el a  $10^\circ$ -ot.

A Ny-Borsodi-medence fő vetői szintén párhuzamosak a Darnó-zónával – JASKÓ (1989) valójában a Darnó-zóna részének tekinti a Ny-Borsodi-medencét, ami megfelel a FODOR *et al.* (2005a) által használt nevezéktannak is. A szerkezeti síkok itt nagyobb, akár 80–100 m elvetési magasságúak, mint a keleti részmedencében, és meredek –  $50$ – $70^\circ$  körüli – dőlésűek, emiatt keskeny árkok határozzák meg a medence morfológiáját. A nagyobb, több km hosszan követhető tektonikai síkok néhány 100 m-enként fordulnak elő. A harántvetők ritkák, elvetési magasságuk legfeljebb 40 m. A Darnó-zóna transzpressziós jellegéhez illeszkedik, hogy ebben a részmedencében megjelennek kompressziós formák K–Ny-i csapású boltozatok képében és esetenként a rétegdőlés is meredekebb, a vetők közelében a  $30^\circ$ -ot is meghaladhatja.

### *Nyilvántartás szerinti vagyon és művelési perspektívák*

A Nógrádi-medence miocén széntelepes összletének vagyona 26 mérlegterületen (3.43. ábra) összesen 211 Mt földtani, 172 Mt kitermelhető vagyonnal szerepel a nyilvántartásban (3.8. táblázat). A számbavételi határ 0,8 m-es telepvastagság, 7,5 MJ/kg fűtőérték. A kitermelhető vagyon fűtőértéke 7–12 MJ/kg, átlagosan 11,3 MJ/kg. A 100–700 m közötti, átlagosan 340 m-es települési mélység (3.44. ábra), figyelembe véve a fűtőértéket, nem kedvező. A bányák ugyanakkor igen kedvező



3.43. ábra. A Nógrádi-medence mérlegterületei és elsajátítás szerinti állapotuk. Jelmagyarázat: l. 3.5. ábra. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.8. táblázat)

**3.8. táblázat.** A Mecseki feketekőszénmedence mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével irt azonosítók kivételével megtalálhatók a 3.43. ábrán)

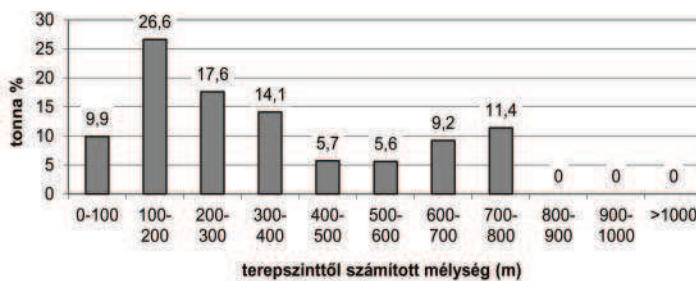
Kódja	Neve	Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
42529	Mizsérfa II.	34 168	28 585	10 004	154	0	56
12521	Szentkút	34 000	28 720	12 394	722	0,6	97
82502	Kányás	33 399	27 136	12 501	340	1,2	44
12527	Tar E	16 682	14 034	11 699	582	2	88
42523	Bikkvölgy	15 603	9 140	10 351	284	0	7
82504	Szorospatak	15 311	12 842	11 956	280	0,4	100
52505	Gyula III.	12 967	13 138	9327	148	0	61
82501	Ménkes	11 398	9346	10 206	191	0	96
72535	Székvölgy II.	5815	5309	9127	98	0,6	98
92503	Tiribes	4777	3413	11 280	350	0,4	44
12513	Szorospatak D	4688	3783	10 536	589	0	100
12524	Hasznos	3671	3256	16 377	203	0,01	100
32520	Tiribes	3449	0	12 733	148	0,01	12
82506	Nyírméd Kéregbánya	2795	2484	8995	67	0,1	5
92516	Szurdok	2483	2235	12 208	146	0,01	14
92510	Rákóczi	1872	1666	11 927	73	0,6	100
92507	Csurgó	1591	1400	10 334	34	0,6	8
92514	Tordás	1588	1429	13 459	204	0,01	3
92515	Csigakút	1264	1150	13 457	120	0,01	18
92509	Gusztáv	1062	928	9105	98	0,01	80
92512	Gáti IV.	766	682	10 495	122	0,01	17
42547	Rónabánya	522	283	7654	32	0,6	100
22518	Gyula D külfejtés	469	384	9114	47	0	99
82536	Székvölgy I.	133	28	7610	270	0,01	0
92511	Gáti II.	115	102	11 470	62	0,6	48
82537	Árpád-lejtakna	54	54	7643	259	0,01	0
Nógrádi-medence összesen		210 642	171 527	11 271	340	0,5	67,9

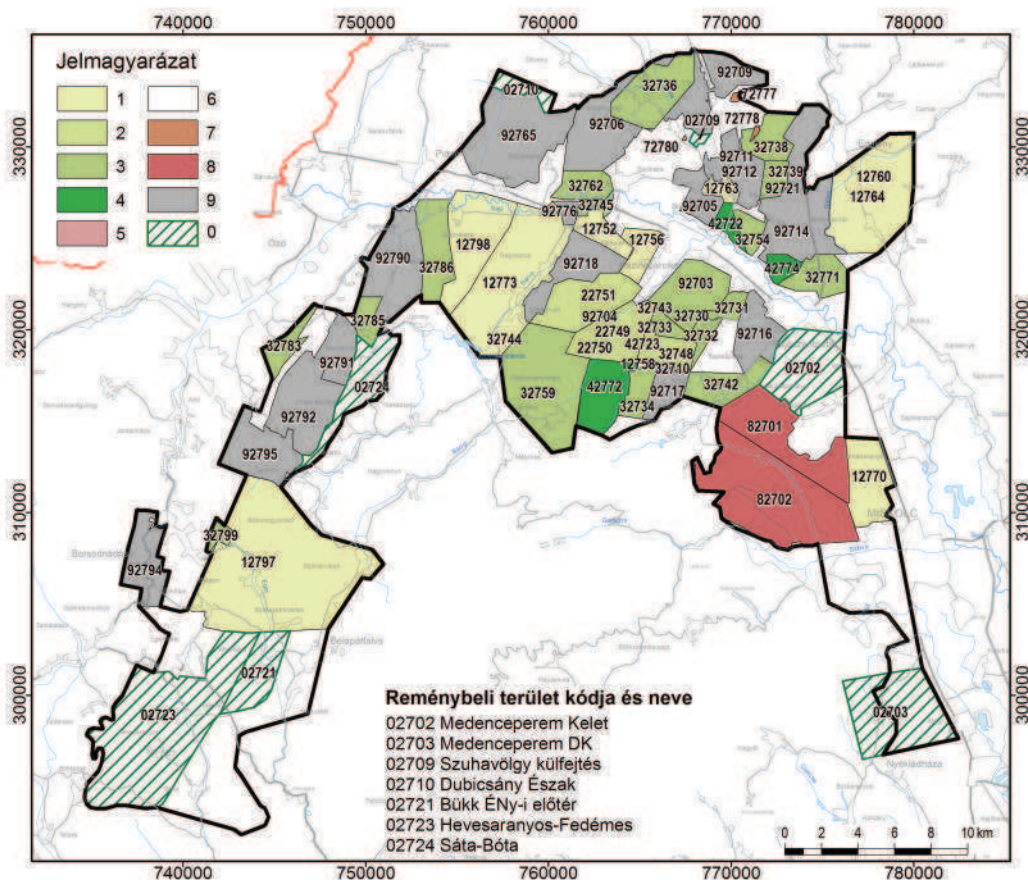
\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.

vízemelési adottságok mellett üzemeltek, a víztermelés sehol sem haladta meg a 2 m<sup>3</sup>/p értéket, átlagosan 0,5 m<sup>3</sup>/p. A természetvédelmi fedettség magas, átlagosan 67,9%.

A bányabezárások során a Nógrádi-medencében működő mélyművelésű bányákat zárták be elsőként, főként a gazdaságtalan kitermelés miatt. A szénmedencében nyilvántartott szénvagyon 125 millió tonna. A területek kisebb részén vállalkozások szereztek bányászati jogosultságot. Hagyományos mélyműveléssel néhány tíz millió tonna kitermelése lehet reális. A Nógrádi Szénbányák Vállalat, ill. a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet (GYAGYI PÁLFFY 1985) által mélyművelésre leginkább perspektivikusnak tartott előfordulás Mizsérfa II. bányaterület. Egyes felvetések szerint a medence egyes előfordulásai alkalmasak lehetnek a felszín alatti elgázosítási technológia kipróbálására is.

A Borsodi-medence miocén rétegsorának kőszénvagyonja 82 mérlegterületen szerepel (3.45. ábra), jóllehet ebből kettő (Sajóvölgy és Szuhavölgy-D külfejtések) törlés alatt áll. A teljes földtani vagyon az elmúlt évszázadok igen intenzív termelése után is meghaladja az 1,1 Mrd tonnát, a nyilvántartott kitermelhető vagyon mennyisége 784 Mt (3.9. táblázat). A számbavételi határ 0,8 m-es telepvastagság, 7,5 MJ/kg fűtőérték. A borsodi kőszén fűtőértéke 8–14,5 MJ/kg, átlagosan 11,268 MJ/kg. A jellemző települési mélység 100–400 m, átlagosan 193 m (3.46. ábra). Kedvező képet mutatnak a bányák víztelenítéséhez kapcsolódó termelési adatok, melyek sehol nem érik el a 10 m<sup>3</sup>/p értéket, átlagosan 3,5 m<sup>3</sup>/p. E tekintetben ugyanakkor jelentős különbség van a vízbetöréssel küzdő Nyugat-Borsodi- és az ilyen tekintetben sokkal

**3.44. ábra.** A Nógrádi-medence kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása



3.45. ábra. A Borsodi-medence mérlegterületei és elsajátítás szerinti állapotuk. Jelmagyarázat: l. 3.5. ábra. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.9. táblázat)

3.9. táblázat. A Borsodi barnaköszén medence mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével írt azonosítók kivételével megtalálhatók a 3.45. ábrán)

Nyilvántartási terület		Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
Kódja	Neve						
82701	Lyukóbánya I.	103 258	54 025	11 091	234	1	78
92765	Dubicsány	92 760	52 937	10 645	190	6	99
32786	Sajómercse II.	88 757	70 345	11 747	187	4	87
82702	Lyukóbánya II.	60 167	32 622	10 861	174	3	52
92790	Putnok	57 565	32 853	11 895	222	4	92
92714	Edelény	47 190	25 226	11 259	132	7,5	24
32759	Tardona-Peres	45 999	31 785	11 546	279	5	94
92706	Feketevölgy I.	43 292	26 557	9 675	162	2	46
92703	Berente	40 208	35 107	11 427	139	3	95
12770	Forrásvölgy	39 152	23 509	10 693	413	3	19
12760	Edelény K (I. II. Tp.)	38 562	34 334	13 805	265	1	19
12773	Medenceperem Ny	38 146	25 768	9002	163	3	81
12798	Dubicsány Dny	28 780	24 516	10 171	210	5	83
12797	Balaton-Szilvásvár	27 474	21 189	11 378	322	4	85
42772	Tardona K	25 323	18 079	11 980	224	3	100
92704	Tervtáró	24 445	16 696	10 562	168	7	93
32771	Duzsnok K	20 175	14 506	11 851	218	5	11
92711	Rudolf IV.	18 382	14 138	10 105	125	2,9	27

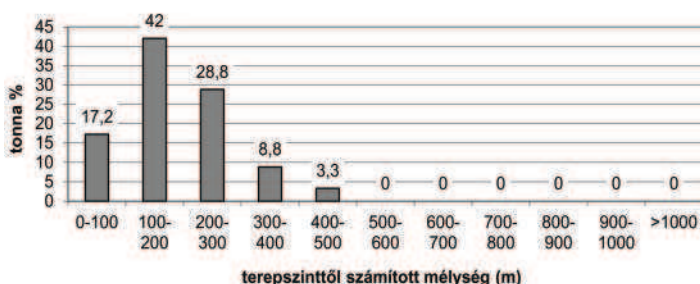
3.9. táblázat. Folytatás

Nyilvántartási terület		Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
Kódja	Neve						
32736	Feketevölgy VI.	17 300	7051	9728	306	3	35
32725	Lyukóbánya Észak	17 104	15 150	11 032	119	1	0
32684	Egercsehi II.	16 556	13 890	14 767	403	3	0
92709	Ormos VII.	16 258	8895	8800	93	3,2	45
32734	Morgó	14 032	12 069	12 134	148	2	100
92792	Farkaslyuk	12 453	9239	13 158	190	2,8	83
32732	Kondó É	10 854	9402	13 057	127	1	81
92712	Szuhakálló II.	10 739	9045	11 152	109	5	6
22749	Tervtáró (V. tp.)	10 605	9268	10 452	210	5,2	98
32742	Nyögővölgy	10 173	8962	11 810	130	2	19
92717	Harica	9162	7862	11 688	118	2	96
32762	Sajóvölgye	7991	4158	11 515	73	3	39
92718	Nagybarca	7382	5952	9714	121	3	55
12763	Majorsági rét	7214	4176	11 920	108	6	2
32754	Edelény (II. III. III/A tp.)	7172	5780	12 841	31	2	98
72747	Sajókaza IV. (kőszén+kavics)	6685	3848	10 365	40	3	0
32745	Vadna EK	6580	5798	9574	40	3	14
32748	Béke (IV. tp.)	6497	5690	10 225	241	2	100
92705	Szeles- akna	6109	2428	10 174	80	9	50
42722	Szeles bővítés	6061	5264	10 849	115	9	80
22750	Tervtáró (II. III. tp.)	5958	5190	12 802	112	2	97
72715	Feketevölgy II. külfejtés	5498	1373	10 689	40	0,2	0
32738	Rudolf IV.(II. III. III/A tp.)	5495	4848	11 211	39	2	56
92716	Sajószentpéter III.	5089	3980	11 911	103	2	16
82796	Sajómercse I.	5063	1069	11 992	172	0,7	0
32731	Berente alt. É	5047	3666	9731	238	4	86
92721	Albert II.	4958	4256	10 554	52	2	17
32783	Ladány	4727	3988	13 137	77	3	100
82693	Egercsehi I.	4445	3099	14 619	161	3	0
12752	Ivánka I.	4284	3335	7765	66	4	27
32733	Kakucs (IV. tp.)	3837	3244	9480	213	4	100
22751	Tervtáró Ny	3808	3224	11 250	221	5	89
32785	Egercsehi K	3779	3333	14 800	386	3	0
92791	Királd bővítés	3389	3022	12 885	180	5	79
32710	Királd	3124	1610	13 468	138	5	98
32739	Kondói külfejtés	3021	2637	11 870	123	1	100
92794	Albert (V. tp.)	2985	2522	9785	168	1	17
12756	Borsodnádásd	2434	2711	12 159	124	3	91
42774	Ivánka II.	2328	1865	7778	80	4	19
72746	Duzsnok NY	2302	1917	11 642	-2	4	11
92776	Sajókaza III.	1958	1757	7044	21	0	0
92799	Vadnai külfejtés	1799	194	9854	33	3	39
12764	Budaberke táró	1648	1405	9283	98	1	0
32744	Edelény (III. tp.)	1646	1516	11 766	298	1	18
92795	Chorin	1482	1110	10 645	120	2	92
82793	Somsály	1471	1144	12 431	178	3	93
12781	Nóra akna	1196	1401	10 912	81	0	0
32730	Mikófalva	1080	966	13 745	409	1	0
32799	Hársas	1036	893	12 879	84	1	94
12752	Budaberke	873	775	10 603	185	1	65
42740	Lánc-réti külfejtés	805	674	13 591	16	4	0
42723	Harica bővítés	666	570	12 680	86	2	100

## 3.9. táblázat. Folytatás

Kódja	Nyilvántartási terület Neve	Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
72769	Kazincbarcika zagyt. kőszénpor	663	643	5774	4	1	0
32743	Kakucs	607	535	11 439	235	2	100
12758	Tardona (II.III. tp.)	559	495	11 496	56	3	100
92708	Szuhakálló V.	534	455	11 363	77	7	0
72778	Császtai külfejtés	406	364	12 545	47	0	15
72777	Mákvölgyi külfejtés	270	142	12 649	16	0,4	0
72707	Szuhakálló II. külfejtés	262	228	11 667	32	5	0
72720	Kondó I.	167	35	15 945	10	0,1	0
52713	Kurtyán V.	58	42	0	9	0	0
52719	Kurtyán, Horváth-tető	21	21	0	10	0	0
72779	Sajóvölgy külfejtés	0	0	8421	8	1	0
72780	Szuhavölgy-D külfejtés	0	0	10 735	21	1	24
Borsodi-medence összesen*		1 147 340	784 373	11 268	193	3,5	64,7

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.



3.46. ábra. A Borsodi-medence kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

kedvezőbb adottságokkal rendelkező Kelet-Borsodi-medence között. A természetvédelmi fedettség nagyon változó, átlagosan 64,7%.

A Borsodi-medencében megkutatott szénvagyon hasznosítási lehetőségeinek felmérése az utóbbi évtizedben is napirenden van. A térség a tisztaszén technológiák hazai bevezetésének gondolatkörében is kiemelt helyet foglal el. Kérdés ugyanakkor a medenceszinten biztosítható teljes kapacitás mértéke. Problémát jelent a sok kis bányához tartozó és művelésbe vonható bányaterületek kis készlete, a

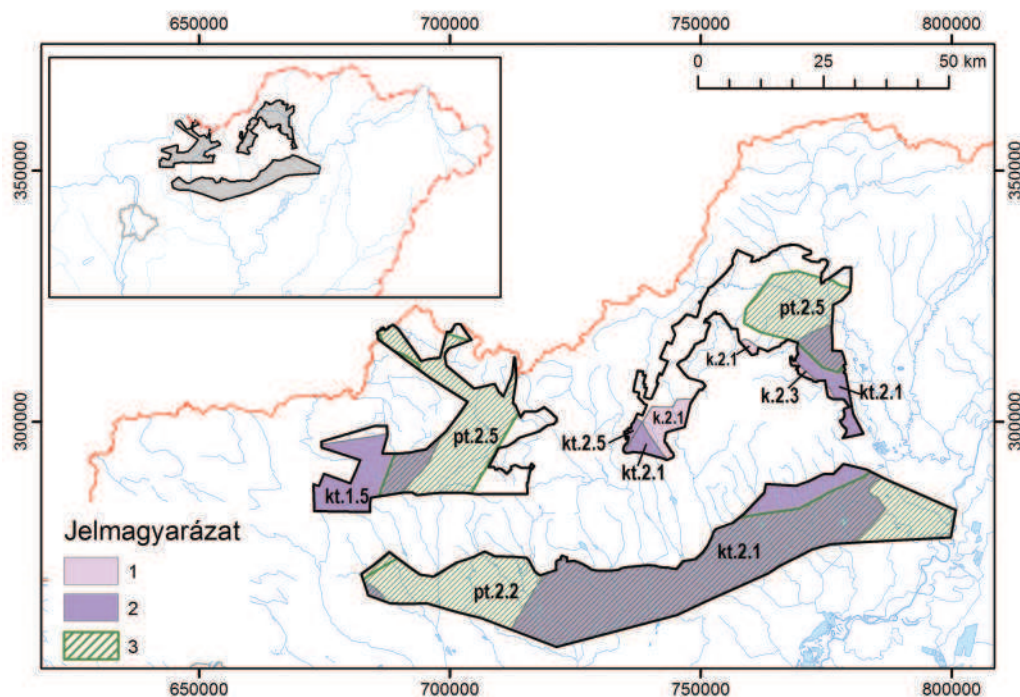
felszíni létesítmények nagy területfoglalási igénye és a várhatóan magas beruházási költségek.

Ezt ellensúlyozhatja a viszonylag nagyobb előfordulások együttes figyelembevétele. E tekintetben fontos lehet a nagyobb előfordulások együttes figyelembevétele. A 10 Mt nagyságrendet elérő perspektivikus előfordulások közül különösen figyelemre méltó a dubicsányi terület, ahol a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet (GYAGYI PÁLFFY 1985) is javasolt bányanyitást. Gondot itt elsősorban a várható víztermelési nehézségek jelentenek. Dubicsányhoz közeli, részben hasonló adottságokkal rendelkező, de többtelepes előfordulás a megkutatott Sajómercse II. terület, ahol a részletes kutatás fúrási és laboratóriumi része megtörtént, a készletszámítás és a kapcsolódó kutatási zárójelentés, ill. erre épülő bányatervezés azonban nem készült el. Ugyancsak aktív kutatás és konkrét bányászati elképzelések tárgyát képezi a Tardona-Kelet, Tervtárol területét lefedő tardonai kutatási terület (Szuha2000 Kft).

### Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások

Az Európai Unió vízkeret irányelvben meghatározott karsztos víztestek közül az alábbiak esnek a Borsodi- és Nógrádi-medence miocén széntelepes összletének a területére: Naszály–Nógrádi rögök (k.1.5), Bükk nyugati karszt (k.2.1), Aggteleki-hegység (k.2.2), Bükk keleti karszt (k.2.3), Nógrádi termálkarszt (kt.1.5), Bükki termálkarszt (kt.2.1). A területen az Északi-középhegység medencéi porózus termál víztest (pt.2.5) is megjelenik (3.47. ábra). Ezekon túlmenően a területen sekély hegyvidéki, hegyvidéki, porózus és sekély porózus víztestek fordulnak elő.

A széntelepes összlet (Salgótarjáni Barnakőszén Formáció) a Nógrádi- és a Borsodi-medencében a mélyfekűt alkotó karsztvíztartótól vastag védőréteget követően települ. Feküjét oligocén–alsó-miocén törmeléken üledékekből felépülő rétegsor, esetenként alsó-miocén mállott riolitufa (Gyulakeszi Riolitufa) alkotja. A széntelepek között jó vízvezető képességű homokos valamint rossz vízvezető aleuritból, aleuritos agyagból álló képződmények találhatók. A Borsodi-medencében a kőszéntelepes összlet fedőjében vízzáró agyagos, aleuritos (Garábi Slír), helyenként homokos agyagos (Bádeni Agg, Sajóvölgyi Formáció) találhatók változatos megjelenésben. A Nógrádi-medencében közvetlen fedőképződményei homokkő és kavicsos homok rétegsorból (Egyházasgergei Formáció) áll, melyre vastag finomszemű vízzáró agyagos aleuritos összlet (Garábi Slír) települ.



3.47. ábra. Az Észak-Magyarországi kőszén és lignit előfordulások víztest térképe

Jelmagyarázat: 1. Karstos víztestek (k.2.1-Bükk nyugati karszt, k.2.3-Bükk keleti karszt) 2. Termálkarsztos víztestek (kt.1.5-Nógrádi-termálkarszt, kt.2.1-Bükk-termálkarszt, kt.2.5-Recsk-Bükkszék-termálkarszt) 3. Porózus termál víztest (pt.2.2-Észak-Alföld, pt.2.5-Északi-középhegység medencéi)

A Mátra É-i előterében néhány km széles kiterjedésben andezit is található a fedőben.

A területen a fő hidrogeológiai veszélyt az erős tektonikai tagoltság okozza, melynek következtében egyes helyeken a széntelepes összlet kiemelt helyzetben van, amikor a fedő irányából nincs megfelelő zárókőzet (védőréteg). Új bánya létesítésekor éppen ezért a szerkezetföldtani adottságok minél pontosabb ismeretére van szükség.

A Kelet-Borsodi-medencében az edelényi területen a IV. széntelep művelése folyamán adódtak vízföldtani problémák (legmagasabb, 7,5 m<sup>3</sup>/perc vízemelés). A széntelepes összletet a talajvíztartó pleisztocén kavicsteraszt, majd holocén agyagos talaj fedi. A széntelepes összlet fedővízveszélyes, a víztartók csapadék eredetű utánpótlódással rendelkeznek, a csapadék a Sajó kavicsterasztán át jut a széntelepes összlet vízvezető képződményeibe. A víz alkáli-hidrogénkarbonátos-szulfátos, mely a kalcium-magnézium-hidrogénkarbonátos víz átalakulásával jön létre. Ehhez az kell, hogy nagy mennyiségű szén-dioxid jusson a vízbe, mely azt agresszívvá teszi és oldja az agyagos és tufás kőzeteket.

A szén-dioxid keletkezhet vulkáni tevékenység során vagy metamorfózishoz kötődően. Valószínűbb, hogy a szén-dioxid a karbonátos alaphegység metamorfózisával keletkezhetett. Ennek alapján a széntelepes összlet víztartó képződményei ott tartalmaznak nagy szén-dioxid tartalmú vizet, ahol a széntelepes összlet és a tektonizált alaphegység közé csak kis vastagságú üledékösszlet települt. A Keleti-Borsodi-medencében a legmélyebb települési helyzetű ilyen réteg a III/a és IV. kőszéntelepek közötti jó vízvezetőképeségű homokösszlet, mely a „borsodi ásványvizet” tartalmazza. Ennek a telepnek a művelése csak víztelenítéssel oldható meg, de az „ásványvíz” megfelelő elhelyezésével is foglalkozni kell. A IV. telep alatt jobbra agyagos üledékek települnek, a homokos vízvezető képződmények csupán lencséként jelennek meg, így ezen esetekben a szén-dioxid feldúsulására csak tektonizált zónák mentén számíthatunk (JENEYNE JAMBRIK, TÖRŐ 1990a, b).

További hidrogeológiai problémák adódnak a Borsodi-medence más területén is. Ezek közül például a dubicsányi barnakőszén előfordulásnál az V. telep bányászatára a IV. és az V. telepek közé, illetve az V. telep fedőjébe települt vízvezető összlet (főként homokos kifejlődések) okozza a vízveszélyt. A képződmények hidraulikailag összefüggenek, a vízvezető rétegek között nem található megfelelő védőképeséget biztosító réteg (JENEYNE JAMBRIK 1989). A vadnai barnakőszén-területen a bányászat a hidraulikai szempontból egységesnek tekinthető rétegösszletek – fedővíztárolók (teraszkavics és az alatti homokösszlet) lecsapolását igényli (JENEYNE JAMBRIK 1987).

A Sajómercse–II. szénterület a Nyugat-Borsodi-medencében található. Hidrogeológiai elemzése során négy, a széntelepes összlethez kapcsolódó, víztartó rétegcsoporthoz különíthető el. Ezek közül az I. telep felett, az I. és a II. telepek közötti víztartók jelentenek elsősorban vízveszélyt a bányászati tevékenységekre. Ezek a képződmények durva homokos, kavicsos vízvezetők, melyekbe csak lencsésen és kis kiterjedésben települnek vízzáró agyagos–aleurolitos kőzetek, vagyis egységes víztároló rendszernek tekinthető. A vetők a területet tektonikai blokkokra szabdalják, és tektonikailag zavart területen a vízbetörés valószínűsége is sokkal gyakoribb (JENEYNE JAMBRIK 1985).

A Nógrádi-medencében (Kányás-akna, Kőerdő-tető, Tiribes-akna) szén-dioxid felszabadulásra, váratlan kőzet-

robbanásra gáz- és vízbetörésre kell számítani (DZSIDA 1937). Ezek az 1960-as években jelentkeztek először és emberéletet is követeltek. Tiribes-aknán a gázbetörések a szénmedencét harántoló andezittelérek környezetében jelentkeztek, a vetők néhány száz méteres hatótávolságú körzetében. A gáz-, víz- és iszapfelszabadulás a vetővel érintkező bányavágatban vagy a vágatból indított, vetőt érintő fúrással került a bányaterületre. A véletlenszerű gázkitörések alkalmával kb. 350 000 m<sup>3</sup>, és szivárgással, az utólagos becslések szerint, évente kb. 1 millió m<sup>3</sup> 97%-os tisztaságú szén-dioxid került a légterbe a bányabaleseteket követő időszakban a bánya felhagyása után (FORGÁCH *et al.* 1981).

A szén-dioxid gáz eredetére vonatkozó információk szerint posztvulkáni vagy mélytörés mentén feláramló inorganikus gázképződésről beszélhetünk. A posztvulkáni eredet szerint a töréses rendszer mentén a miocénben képződött andezit szolgáltatja a hőt lokális felfűtési centrumokban a felhalmozódott jelentős mennyiségű gáz képződéséhez, amely a művelés során a tektonikailag zavart, vetős zónán keresztül csapolódott le. A posztvulkáni elképzelésekkel szemben a  $\delta^{13}\text{C}$  stabilizotóp-arány adatai inkább azt támasztják alá, hogy a szén-dioxid a metamorf kristályos aljzatról származik (KERTAI 1967, CORNIDES 1970, CORNIDES, SÜLT 1970). A gázkitörések megelőzésére a hatvanas évek végétől a Nógrádi Szénbányák Vállalat megrendelésére mikroszeizmikus és elektromos méréseket végeztek, melyek alapján a periodikusan visszatérő kitöréseket a hirtelen gázfelszabadulás előtt már öt-hat órával jelezni tudták.

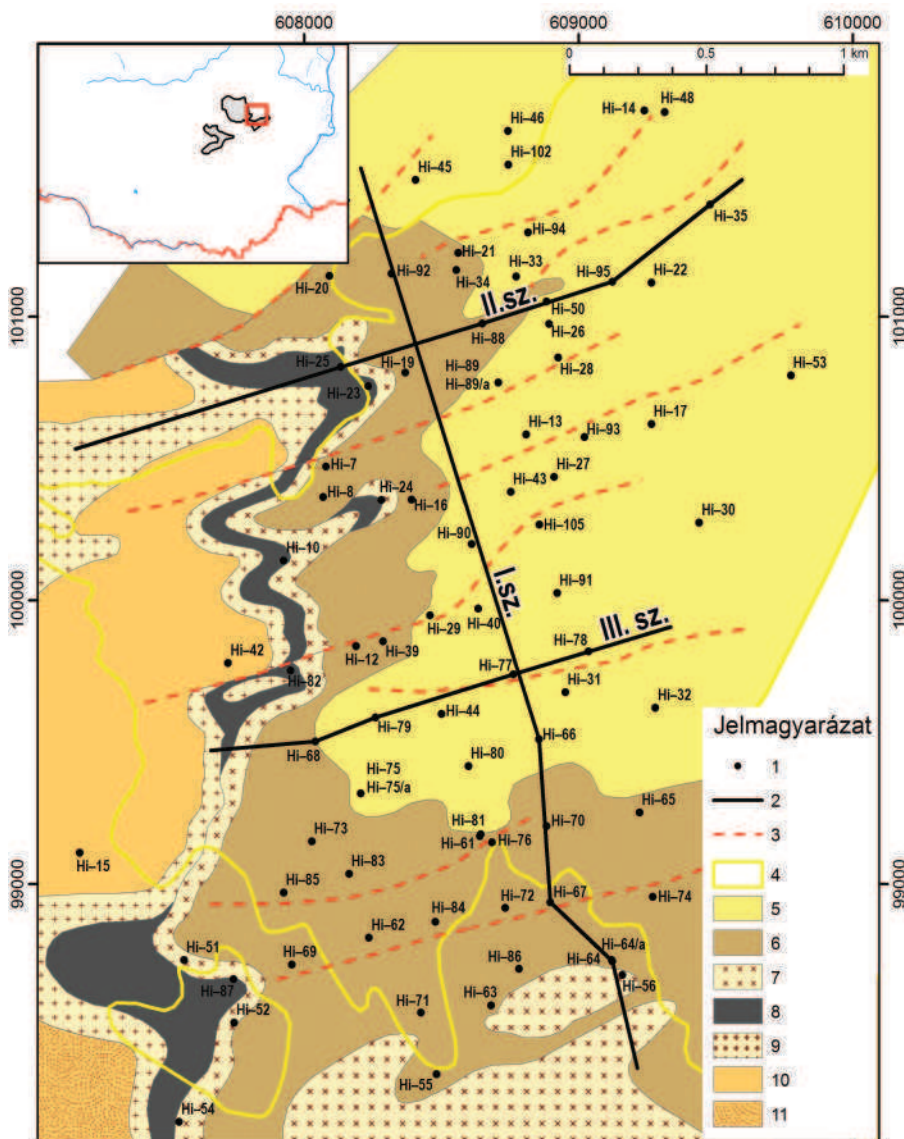
### Hidasi Barnakőszén Formáció – miocén, badeni (Keleti-Mecsek)

#### *Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet, művelési perspektívák*

A badeni korú Hidasi Formáció több területi elterjedésben fordul elő. A formáció egyik típusos előfordulása a Keleti-Mecsekben található (3.48. ábra). A bányászatiilag művelt és gazdaságilag legjelentősebb előfordulása a Bakony keleti részén (Várpalota, Herend) képződött előfordulás, melyet az észak-dunántúli kőszenekeket bemutató fejezetben tárgyalunk. Ismert még kisebb többtelepes előfordulás a Börzsöny–Cserhát előterében is.

A Mecseki előfordulás kis területi elterjedésű, gazdasági potenciálja kicsi. A hidasi barnakőszén medence a Keleti-Mecsek északi részén, Baranya és Tolna megyét is érintve, gyakorlatilag a 6. számú főközlekedési úttól közvetlenül keleti irányban helyezkedik el. A medence meghatározó része a Dél-Baranyai-dombság északi részéhez tartozik (Hidas, Kishidas, Cikó, Ófalu). A barnakőszén-terület mintegy 3,5 km hosszú 1,1 km széles medence É–D-i irányú tengellyel. Az elter-

A Mecseki előfordulás kis területi elterjedésű, gazdasági potenciálja kicsi. A hidasi barnakőszén medence a Keleti-Mecsek északi részén, Baranya és Tolna megyét is érintve, gyakorlatilag a 6. számú főközlekedési úttól közvetlenül keleti irányban helyezkedik el. A medence meghatározó része a Dél-Baranyai-dombság északi részéhez tartozik (Hidas, Kishidas, Cikó, Ófalu). A barnakőszén-terület mintegy 3,5 km hosszú 1,1 km széles medence É–D-i irányú tengellyel. Az elter-



**3.48. ábra.** A hidasi terület földtani térképe a 3.50. ábra nyomvonalával (FÖLDI 1966 alapján)

Jelmagyarázat: 1. szénkutató fúrás, 2. földtani szelvény, 3. szerkezeti vonal, 4. Somlói Formáció elterjedési határa, 5. Száki Agyagmárga Formáció, 6. Szilágyi Agyagmárga Formáció, 7. Lajtai Mészke Formáció Rákosi Mészke Tagozat, 8. Hidasi Formáció, 9. Lajtai Mészke Formáció Pécszabolcsi Mészke Tagozat, 10. Budafai Formáció tengeri kifejlődése, 11. Budafai Formáció terasztrikus kifejlődése

jedés határai Ny-on a kőszénösszlet kibúvási vonala, É-en egy nagyobb vető, D-en feltolódás mentén lepusztult miocén rétegsor, K-en ökoszervezeti okok miatt bekövetkező elmeddülés határolja (KOVÁCS et al. 2012).

A Hidas környéki barnakőszén-telepekről az első beszámolót PETERS (1861) adta, kezdettől felismerve azok miocén korát. Az első részletes térképezést az ország teljes területére kiterjedő M=1:28 800 méretarányú földtani térképezéssel 1870-ben a Magyar Királyi Földtani Intézet kezdeményezte. A Keleti-Mecsek területére eső munkákat BÖCKH (1876) és TELEGDY ROTH (1928) végezték, melynek az összefoglalásaként megjelent hegységszerkezeti és rétegtani megállapítások egy része még ma is helytálló.

A 19–20. század fordulója utáni időszakban a területre vonatkozó legátfogóbb ismereteket, újabb adatokat elsősorban VADÁSZ (1935) közölte. A Mecsek földtanával foglalkozó, összefoglaló jellegű, monografikus munkájában M=1:75 000 méretarányú nyomtatott térképen ábrázolta a területet és rétegtani összefoglalást adott a megismert képződményekről.

STRAUSZ (1942, 1952), WEIN (1949, 1952, 1955), CSEPREGHYNÉ MEZNERICS (1950) NAGY (1969) és BOHN-HAVAS (1970) a miocén őslénytani vizsgálatok, KLEB (1973) a szerkezeti megfigyelések vonatkozásában publikált új adatokat. GROSSZ (1969) a kőszénföldtani viszonyokat, míg BORAI (1959) a barnakőszén kitermelési lehetőségeit, HÁMOR et al. (1965) a hasznosítási lehetőségeket vizsgálta. 1958–1962 között földtani térképezéssel egybekötött, kiterjedt fúrásos kutatás is történt (HÁMOR 1958, 1971, KISS 1963, KOVÁCS 1964, FÖLDI 1966).

A terület szerkezeti viszonyait TARI (1992) és DUDKO et al. (1992), vizsgálták, a rétegtani helyzettel HÁMOR (1998) és SELMECZI (1987, 2015) foglalkozott. A hidasi barnakőszéntelepeket először RIEGEL tárta fel 1860-ban, majd 1870-től a Hidasi Szén- és Ipartársaság végzett kitermelést 1874-ig. 1900-tól a Hidasi Szén- és Ipartársulat Pécssett vállalkozás kezdte el a hét kőszéntelep bányászatát, de ez is rövid idejűnek mutatkozott (PAPP 1915), csakúgy mint a 1920–1924 közötti újabb termelés. A bányászat 1950-től újult fel, s 1966-ig tartott. A bányászat a felszíntől a 150 m-es mélységig követte a telepkifejlődést.

A földtani kutatásnak köszönhetően a földtani szénvagyon mennyisége 30 Mt lett. A 2000-es évek elején a Hidasi-medence szénvagyona törlésre került, és jelenleg nem szerepel a nyilvántartásban. A medence felé egyre mélyül, és infrastruktúrával, településekkel körülvett, Natura 2000-es területekkel lefedett vagyon kitermelése nem várható.

### Rétegtani felépítés

A mecseki kifejlődés a középső-badeni idején képződött (HÁMOR 1998), míg a Bakony térségében, a Várpalotai-medencében és Berhida környékén a kőszén képződése a késő-badeniben zajlott. A formáció jellegzetessége a tengeri fekü- és a fedőképződmények közötti oszcillációs, paralikus-brakkvízi kifejlődés.

A medence mezozoos aljzatát a Hosszúhetényi és Vasasi Márga Formáció kőzetei alkotják. A neogén üledékképződés a Budafai Formáció Komlói Agyagmárga Tagozatával indul, amelyet a medence DNy-i részén a Budafai Homokkő Formáció partszegélyi fáciesben képződött alapkonglomerátuma helyettesít. A telepes rétegsor közvetlen fekvését peremi kifejlődésben 30 m vastag kavicsos homok, máshol a Lajtai Mészke lithothamniumos mészkövei (Pécsszabolcsi Tagozat) adják (SELMECZI 1987, 2015). A terület medencebelseji részén K-i irányban, a fáciesviszonyok megváltozása miatt telepképződés nem zajlott, itt heteropikus helyzetben a Szilágyi Agyagmárga Formáció található.

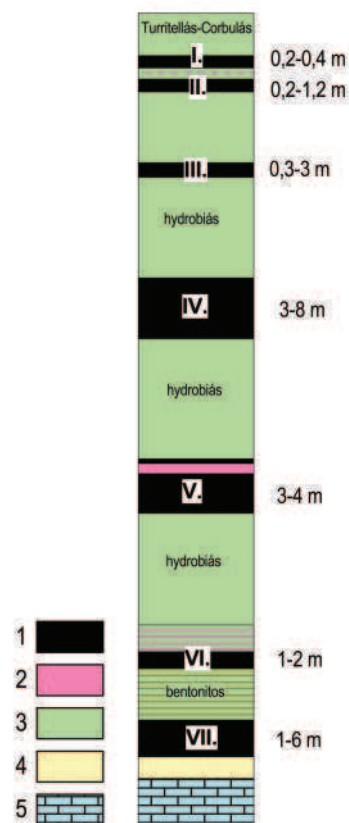
A kőszéntelepes összletre medencebéli kifejlődésben a Szilágyi Agyagmárga, peremi helyzetben a Lajtai Mészke (Rákosi Tagozat) települ üledékfolytonossággal. Felszínen a Pécsbányai-medencében és a Mecsek DK-i előterének miocén vonulatában fordul elő. Felső határát a határozott kőzetminőség-váltás és gazdag makro- és mikrofaunát tartalmazó normál sós vízi tengeri képződmények megjelenése jelzi (BOHN-HAVAS 1970).

### Teleptan

A formáció vastagsága a medence kis mérete és a gyors fáciesváltozások miatt változó. A medence D-i részén, peremi kifejlődésű helyzetben a 30–40 m-es sorozattól É felé haladva elérheti a 100–150 m-t. Hidason hét telep ismert, a kőszéntelepek vastagsága 1–2 m-től 3–6 m-ig változik, átlagosan 4 m (3.49. ábra). A telepek számozása fentről lefelé történt. A telepek közül öt telep bizonyult gazdaságosan kitermelhetőnek.

A földes-fás lignit legjobb minőségű telepe a IV-es, ún. főtelep, amely a legintenzívebb bányászat idején az 50-es években a kitermelés 40%-át adta. A telepek szénültése alapján az előfordulás lignitnek tekinthető. A fás, xilites típusú, magas vitrinittartalmú kőzet lagúna környezetben képződött, és a múlt század közepén főként brikettgyártásra használták. Fűtőértéke 8–10 MJ/kg közötti, hamutartalma 12–18%, nedvességtartalma 45%.

A telepek közötti meddőrétegeket szürke, homokos, molluscás agyagmárga, cerithiumos agyag, agyagmárga, hydrobiás márga, mikrorétegzett, elszórta halpik-



3.49. ábra. A Hidasi Formáció telep-szelvénye (HÁMOR 1970)

Jelmagyarázat: 1. széntelep, 2. kővület, kővülep, 3. agyag, agyagmárga, 4. agyagos homok, lithothamniumos mészkő

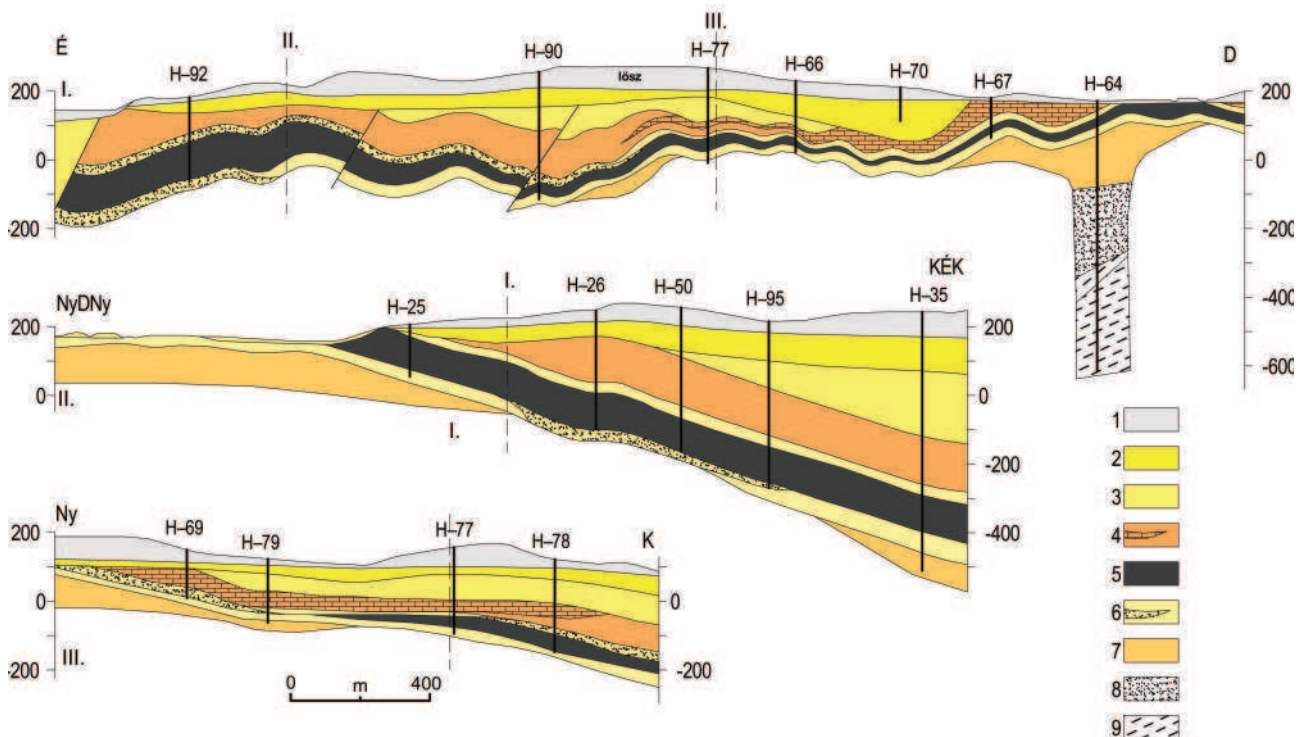
kelyeket tartalmazó kőzetlisztes agyagmárga, és szenes agyag alkotja (SELMECZI 1987, 2015). Lokálisan diatomás agyagmárga, valamint tufa- és tufitzsinórok, -lencsék is előfordulnak benne.

### Szerkezeti viszonyok

A széntelepes összletet magában foglaló, szerkezeti értelemben vett Hidasi-medence egy kelet felé nyitott medencealakulat, a Bonyhádi-medence részmedencéje a Keleti-Mecsek központi tömbje és annak egy tektonikusan elkülönült része, az ún. Északi-pikkely között. Neogén szerkezeti mozgások hatására jött létre és ezek határozták meg a kitöltő üledékek lerakódását, majd deformációját is.

A miocén üledéksor tagolt domborzatra rakódott le, ennek megfelelően a képződmények vastagsága oldalirányban változó. A szenes összlet a déli, peremi kifejlődésű résztől északi irányba, a medence központja felé 30 m-ről 100 m körüli vastagszik ki (3.50. ábra). Az egyes rétegtani egységek helyenként összefogazódnak (FÖLDI 1966).

A medence északi határát egy jelentős feltolódás alkotja, e mentén az Északi-pikkely blokkja a medence neogén



**3.50. ábra.** A hidasi terület földtani szelvényei (FÖLDI 1966 alapján). A szelvények nyomvonalát a 3.48. ábra mutatja  
Jelmagyarázat: 1. Pleisztocén lösz, 2. Somló Formáció, 3. Száki Agyagmárga Formáció, 4. Szilágyi Agyagmárga Formáció, 5. Hidasi Formáció, 6. Lajtai Mészko Formáció (széntelepes alatt: Pécsszabolcsi Mészko Tagozat, széntelepes fölött Rákosi Mészko Tagozat), 7. Budafai Formáció, 8. jura homokkővek, 9. jura márgák

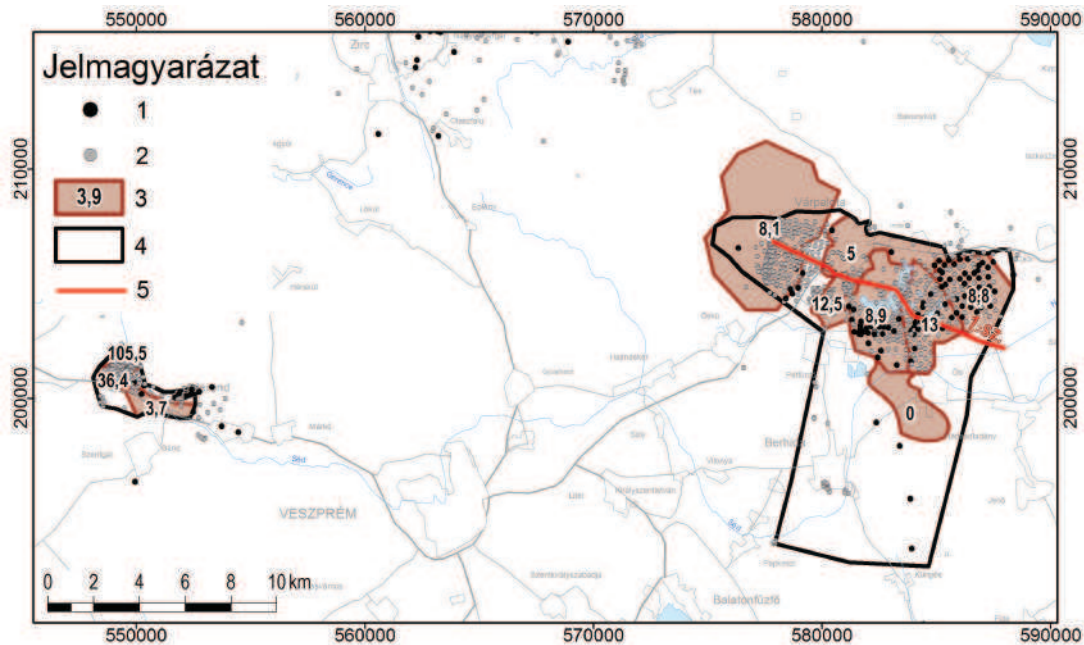
üledékeire tolódott a késő-miocén során és/vagy utána. Dél felé az alaphegység kiemelkedésével a szenes összlet is közelít a felszínhez és kivékonyodik. A medence tengelyének keleties dőlése miatt a széntelepes összlet a nyugati peremen kifut a felszínre és erodálódott, míg kelet felé egyre mélyebbre kerül.

A neogén során több fázisban zajlottak szerkezeti mozgások, emiatt a kőszéntelepes összlet is deformált. Lerakódása után legalább a szarmata–pannóniai határon, a késő-miocén (pannóniai) első és második felében, valamint a miocén után lehetett tektonikus mozgásokat kimutatni (SEBE 2017).

### Hidasi Barnakőszén Formáció – miocén, badeni (Várpalotai-, Herend–Márkói-medence)

#### Elterjedés, kutatás- és bányászattörténet

A Bakony hegység DK-i peremén Várpalota térségében és a Ny-i részén, a Herend környékén kialakult barnakőszén-előfordulások közül (3.51. ábra) a 20. század második feléig a Várpalotai-medence területe volt gazdaságilag jelentősebb. Az É–D irányban mintegy 10 km hosszú és K–Ny-i irányban 3–8 km széles medencét Várpalota, Inota, Pét, és Ősi határolja,



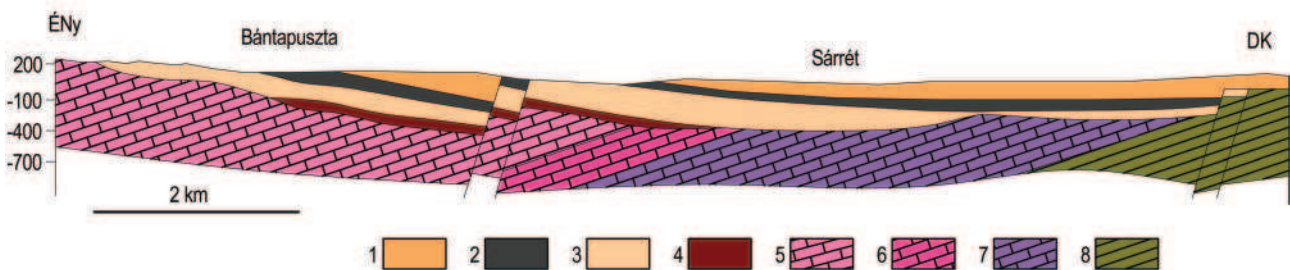
**3.51. ábra.** A Hidasi Barnaköszén Formáció elterjedése a Dunántúli-középhegységben és a medence megkutatottsága a 3.52. ábra (1. sz.) nyomvonalával

Jelmagyarázat: 1. szénkutató fúrás mélyfúrás geofizikával, 2. szénkutató fúrás geofizika nélkül, 3. nyilvántartási terület (a beírt szám a fúrás/km<sup>2</sup>), 4. a szénmedence határa (1,2 m-nél vastagabb telepet harántoló fúrásokat bezáró poligon), 5. tanulmányban szereplő szelvény nyomvonala

ahol a bányászat és az intenzív kutatás folyt. A mintegy 60 km<sup>2</sup> kiterjedésű, enyhén DK felé dőlő kőszénösszlet egy markáns 150 m elvetésű vető a Bántapusztai- és Sárréti-medencére tagolta (3.52. ábra).

A Várpalota környékén kialakult középső-miocén földes-fás barnaköszén kitermelése 1876-ban kezdődött és 1990-ig tartott. A Várpalotai-medencéről KÓKAY (1956, 1966, 1967, 1985, 1987, 1996a, b) közölt jelentős őslénytani és földtani és szerkezetföldtani eredményeket. A bányászati tevékenység támogatásához a hatvanas évektől részletes bányaföldtani vízföldtani kutatás indult a telepese kifejlődés fedő és fekvő viszonyainak tisztázására (HARSÁNY, DARÁNYI 1967).

A Várpalotai-medencétől DNY-ra eső, NyÉNy–KDK irányú Herend–Márkói-medence a Bakony hegység közepén, a



**3.52. ábra.** A Hidasi Barnaköszén formáció elvi földtani vázlata a Várpalotától D-re eső területen (KÓKAY 1966)

Jelmagyarázat 1. szarmata-pannoniai, 2. Hidasi Barnaköszén F. (felső-badeni), 3. ottngai(?)–kárpáti–alsó–középső-badeni, 4. eocén, 5. felső-triász, 6. középső-triász, 7. alsó-triász, 8. perm

Szentgál, Herend, Bánd, és Márkó által közrefogott területen található. A bányászati kisebb jelentőségű, NyÉNy–KDK tengelyirányú, Herend–Márkói-medencében, a múlt század húszas éveitől 1967-ig folyt a lignit kitermelése (FALLER 1931, 1957, BÓLE HERMANN 1975, HUSZÁR 1996). Az előfordulást elsőként TELEGGI ROTH (1924) kutatta, majd részletesen VITÁLIS (1939) írta le. További földtani kutatásokat MAJZON (1951) és DANK (1953) végezett. Összefoglaló értékelést BARTKÓ et al.(1966) és MAKRAI et al. (1985) készítettek. Geokémia vizsgálatokat HÁMOR, HERTELENDI (1991) és PÁPAY (1993, 1996), szerves kőzettani értékelést HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR (2006) végeztek.

### Rétegtani felépítés

A Várpalotai-medencében és Berhida környékén a kőszén képződése a késő-badeniben zajlott. A telepese összlet itt az idősebb badeni szárazföldi rétegsorból fejlődött ki folyamatos üledékképződéssel. A mélyebb fekvő alkotói a miocén korai szakaszában képződött szárazföldi–édesvízi és az erre települő tengeri összlet. A miocén transzgresszió KÓKAY (1967,

1973) kutatásai alapján az ottngiban érte el a területet (Bántapusztai Formáció), más vélemények alapján (LESS *et al.* 2015, LESS, FRIJIA 2016) a tengeri ciklus a kárpáti üledékekkel indult (a Garábi Slír Formációt uralkodóan agyagos–márgás üledéksor jellemzi, ezt a Fóti Formáció követi). Az alsó-badeni üledékek lerakódása utáni regressziót követően újabb transzgressziós eseményhez kapcsolódóan indult a kőszénképződés. A széntelep közvetlen fedőjében néhány dm vastag congeriás–bulimuszos réteg települ, amit édesvízi, alginites agyagmárga fed. A rétegsorban riódácittufa–tufit–közbetelepülések vannak. A képződményt diszkordánsan a Gyulafirátóti Formáció fedi.

Herend–Szentgál környékén a széntelepes összlet fekjét a kora–középső–miocén terresztrikum, fedőjét fiatalabb tengeri üledékek képezik. A kőszéntelepek a kora-badeniben képződtek.

A Pusztamiske környékén kifejlődött széntelepes összlet eróziós diszkordanciával települ a Lajtai Mészköre vagy a Pusztamiskei Formációra. Fedőjében üledékfolytonossággal szarmata képződmények (Kozárdi Formáció) következnek. A széntelepes összlet kora itt késő-badeni (BENCE *et al.* 1990, KÓKAY 1992).

### *Teleptan*

A kőszéntelepes összlet vastagsága 70–140 m közötti, fedőjét a limnikus–felsős–vízi karbonátokból álló tarka, mészcsonós agyag, homok, homokkő, változó szemnagyságú szárazföldi–folyóvízi, alárendelten delta kifejlődésű összlete alkotja. Az uralkodóan autochton erdőslápi kifejlődésű lignit maximális telepvastagsága 9 m, átlagosan 5 m. A paralikus, lagúna fáciesű lignitet csökkent sós vízi fedő és fekü kőzetek fogják közre.

Várpalotától É-ra a legvastagabb kifejlődésű területen a telepes összlet egyetlen telepet tartalmaz maximálisan 10 m körüli telepvastagsággal. A telep fedőjében általában 0,5–1 m vastag alginitréteg található, mely jelzi a vízszint emelkedését. A telep összetételében dominálnak a láperdőre utaló szövetmaradványok. A vitrinit nyitvatermőkből álló fás kőzet-típust igazol, erősen huminitesedett szövetfajtákkal. A magas vízállás mellett történt autochton láperdei felhalmozódást erősíti a sporinit gyakori jelenléte, amelyet dissacate és zárvatermő típusú pollenanyag képvisel az inertinitek alárendeltsége mellett. A láp befulladását és nyíltvíz megjelenését igazolja a fedő szenesagyagban a magas liptinit, elsősorban sporinit, alárendelten vitrodetrinit tartalom (HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR 2006).

A kőszén típusa fénytelen barnakőszén, vagy lignit, nedvességtartalma 20–22%, kéntartalma 2,3–3%, hamutartalma 7–12% között változik, fűtőértéke 9–18 MJ/kg, vitrinitreflexió értéke 0,27–0,32% közötti, szénültése alapján metalignitnek minősül. A jobb minőségű, alacsonyabb hamutartalmú, vastagabb telepes előfordulás a sárréti területen található.

### *Szerkezeti viszonyok*

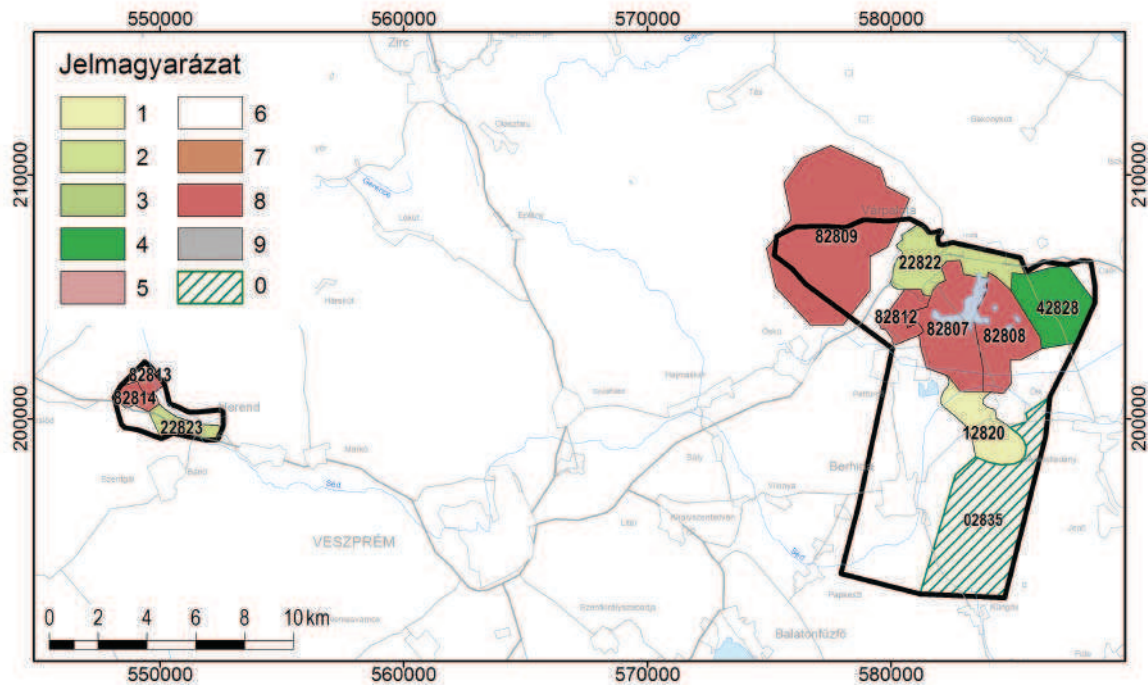
A badeni szénelőfordulásoka Bakony déli részén, jelentős eltolódásos–feltolódásos vetők előterében találhatók. A Várpalotai-medence transzpressziós medenceként alakult ki a Bakony legnagyobb vetője, a Telegdi Roth-vonal déli oldalán (KÓKAY 1996a, CSONTOS 1998a, b). Szerkezetföldtani vizsgálatával KÓKAY (pl. 1985, 1996a) számos publikációban foglalkozott, bár tektonikai értelmezései vitathatóak, nagy mennyiségű bányabeli és felszíni adatot gyűjtött össze. A badeni széntelepes összlet tengeri és szárazföldi kifejlődésű badeni képződményekre települ, viszonylag tagolatlan domborzatra, így üledékes eredetű oldalirányú változatossága kicsi. A medencét mind az üledékképződéssel egyidőben, mind utólag szerkezeti mozgások deformálták (KÓKAY 1996a, KISS 2010). Ezek eredményeként néhány nagyobb és számos kisebb, uralkodóan feltolódásos, illetve transzpressziós jellegű vető jött létre, melyek a szenes összletet tagolják. A nagyobb vetők a medencét részmedencékre osztják (3.52. ábra).

A bányák a hegységhez közeli Bántapusztai-medencében és az attól DK-re elhelyezkedő Sárréti-medencében működtek (KÓKAY 1996a). A két részmedencében mind a széntelepek vastagsága, mind fűtőértékük eltér, mindkét tényező esetén a bántapusztai a gyengébb (NÉMEDI VARGA 2010). A Magyar Állami Földtani Intézet fúrásos előkutatása egy további részmedencét is kimutat, az Ősi–Küngösi-medencét (CSÁSZÁR *et al.* 1990). A medencéken belül a határoló szerkezeteknél jóval kisebb elmozdulást okozó vetők, valamint redők fordulnak elő (KÓKAY 1996a).

A Herend–Szentgáli-medence NyÉNy–KDK-i csapásban húzódik a környező mezozoos, az északi oldalon oligocén képződményekkel fedett vonulatok között. Északi peremét jelentős vetők alkotják. Herendnél a határoló tektonikai síkot és a vele párhuzamos szerkezeteket KÓKAY (1996a) szelvényein normálvetőként ábrázolja, míg MÉSZÁROS (1982a, b, 1983) és MÉSZÁROS TÓTH (1981) szerint eltolódások. A medence aszimmetrikus, kitöltő rétegsora DK felé vastagszik, ez alapján a medence kialakulása az üledékképződéssel egyidejű. DUDKO *et al.* (1992) eltolódásos mozgáshoz, a javasolt lisztrikus vetők alapján transztenzióhoz kötik a medencemélyülést. A terepi megfigyelések alapján Herendnél a peremi vető mentén erős kompressziós szerkezetalakulás zajlott, feltolódásokkal és átbuktatott redőkkel, így az eltolódásos összetevőt is figyelembe véve legalább az utolsó mozgása transzpressziósna tekinthető. A kőszénösszlet jellemzően 8–10°-os DDK-i dőlésű. Észak felé a telepes rétegsor a felszínre bukkan, északi része erodálódott. A telepek laterális változatossága elsősorban üledékes eredetű.

## Nyilvántartás szerinti vagyon

A bakonyi (várpalotai) miocén (badeni) lignitelőfordulások 11 mérlegterületének (3.53. ábra) földtani vagyona összesen 294 Mt, kitermelhető vagyon a nyilvántartás szerint 193 Mt (3.10. táblázat). A számbavételi határ 1,0 m-es telepvastagság, 6,3 MJ/kg fűtőérték. A kitermelhető vagyon fűtőértéke 7–10 MJ/kg, átlagosan 9,602 MJ/kg.



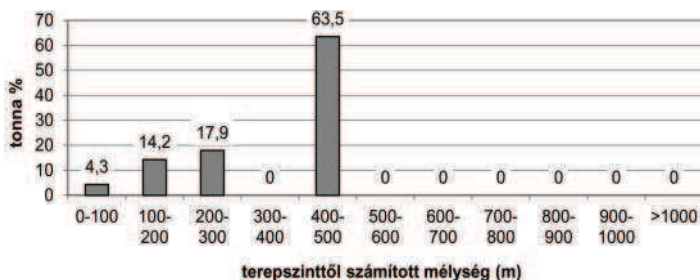
3.53. ábra. A bakonyi miocén lignit előfordulások mérlegterületei és elsajátítás szerinti állapotuk. Jelmagyarázat: l. 3.5. ábra. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.10. táblázat)

3.10. táblázat. A bakonyi miocén lignit előfordulások mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével írt azonosítók kivételével megtalálhatók a 3.53. ábrán)

Nyilvántartási terület		Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
Kódja	Neve						
12820	Várpalota D	140 206	122 684	9834	424	5	9
42828	S III.	38 402	13 865	8673	287	2	27
82807	S I. akna	33 003	15 683	9782	160	6,6	67
82808	S II. akna	27 633	18 334	10 296	247	6,6	93
22822	Várpalota	16 415	0	9164	109	0,01	13
82809	Bánta-bánya	15 798	11 904	8826	126	6	42
22823	Herend	15 402	6761	7542	136	10	0
82814	Herend mélyművelés	5503	2933	7495	113	15	40
82812	Cserbánya	1032	330	9954	62	0	60
82813	Herendi-külfejtés	602	601	6587	20	10	61
92830	Cser. IV. külfejtés	15	15	7872	15	0	0
Várpalotai lignit összesen*		294 011	193 110	9602	341	5,5	25,4

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.

A települési mélység 100–400 m, átlagosan 340 m (3.54. ábra), amely az alacsony fűtőérték mellett nem túl kedvező, ugyanakkor a nagy telepvastagság kedvező adottság. A bányavízemelés értéke egy kivétellel alatta marad a 10 m<sup>3</sup>/p értéknek, átlagosan 5,5 m<sup>3</sup>/p, ami a fajlagos önköltség alakulására rányomhatja a bélyegét, ugyanakkor kiemelkedő



3.54. ábra. A bakonyi miocén lignit előfordulások kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

homokos-kavicsos betelepülésekkel. A felső-badeni széntelepes összlet (Hidas Formáció) egyetlen jól követhető telepet tartalmaz, amelyet vízzáró agyagos közbetelepülések tagolnak. A közvetlen fedőben vízzáró alginites-diatomás agyagmárga, majd duzzadásra hajlamos dácit/riolittufa települ. A magasfedő szarmata korú édesvízi-tavi – alárendelten felsős vízi – karbonátokból (Gyulafirátóti Formáció Öcsi Tagozat), valamint szárazföldi folyóvízi agyag, homok és homokkő rétegsorból (Gyulafirátóti Formáció, Kozárdi Formáció). Bár a fő karsztvíztároló és a széntelepes összlet között többnyire védőréteg fejlődött ki, egyes helyeken ez igen vékony, így a fekvő felől vízbetörésekre számítani kell. A déli részen nem található karsztos víztartó, itt a porózus víztest felől adódhatnak hidrogeológiai problémák. A fedő vastagsága néhol igen csekély, a csapadékvíz leszívárolhat a bányajaratokba és aknába, ami szintén hidrogeológiai kockázatot jelent (HARSÁNYI, DARÁNYI 1967).

A Herend-Márkói barnakőszén medence széntelepes összletének bányászata nem vízveszélyes, köszönhetően a vastag vízzáró fekvő és fedő képződményeknek. Feküjét miocén korú szárazföldi képződmények (Somlónásárhelyi Formáció) alkotják, melyben bentonitosodott dácittufa-betelepülések figyelhetők meg, felső részén pedig gyakran vízzáró mészkonkréciós agyag települ. Ez felfelé fokozatosan megy át a széntelepes összletbe, melynek fedőjét vízzáró miocén agyag és agyagmárga (Bádeni Agyag Formáció) alkotja.

A noszlopi barnakőszén területen lévő széntelepek nem vízveszélyesek. A széntelepes összlet oligocén törmelékeny kőzetekre települ, közvetlen fekvője döntően finomszemcsés üledékekből áll (agyag, aleurit, homok, bentonitos agyag, bentonit, alárendelten kavics). Fedőjében vízzáró agyagos-homokos üledékek találhatók. A pusztamiskei területen a széntelepes összlet fekvője porózus üledékekből (Pusztamiskei Formáció) és repedezett, kavernás karbonátos képződményekből áll (Lajtai Mészkő Formáció), melyeket vízzáró riolit-/dácittufa-betelepülések tagolnak. A fedő képződménynek (Hidas Formáció és Kozárdi Formáció) ezzel szemben agyagosak, vízzárónak tekinthetők.

## Újfalui Formáció Bükkaljai Lignit Tagozat

### Elterjedés, bányászat- és kutatástörténet

A Bükkaljai Lignit Tagozat (3.55. ábra), amely éves energia szükségletünk 13–15%-át szolgáltatja, a legjelentősebb szén alapú energiaforrásunk. A felső-miocén lignitek legkiterjedtebb lelőhelye az Északi-középhegység déli vonulatában található, művelt külszíni bányái a Visontai- és Bükkábrányi-külfejtések. Kifejlődése É-Magyarországon az Alföld medencéjének É-i peremvidékén, a Cserhát és Mátra D-i, a Bükk hegység DK-i előterében mintegy 120 km hosszan követhető.

A másik megkutatott készlet a toronyi előfordulás, amely Nyugat-Magyarországon található, de gazdasági értéke új széntüzelésű erőművek létesítéséhez nem megfelelő, ráadásul a bányászati perspektívákat a környezetvédelmi korlátok és a társadalmi elfogadottság hiánya is rontja. A két terület hivatalosan nyilvántartott földtani vagyona 5,8 milliárd tonna, mely a felszíntől 100 m mélységig, külszíni fejtéssel művelhető földtani vagyont reprezentál.

A mátraaljai területen Rózsaszentmártonban, Szücsi környékén az 1890-es évek elejétől 1968-ig folyt mélyszintű lignitbányászat. 1900–1957 között csak jelentéktelen külszíni fejtések létesültek a Mátra előterében. Az első jelentős kihozatalú külfejtés Ecséden indult 1957-ben és a kitermelés 1973-ig folyt. A visontai külfejtés 1969-től, míg a bükkábrányi 1985-től üzemel (NÉMEDI VARGA 2010).

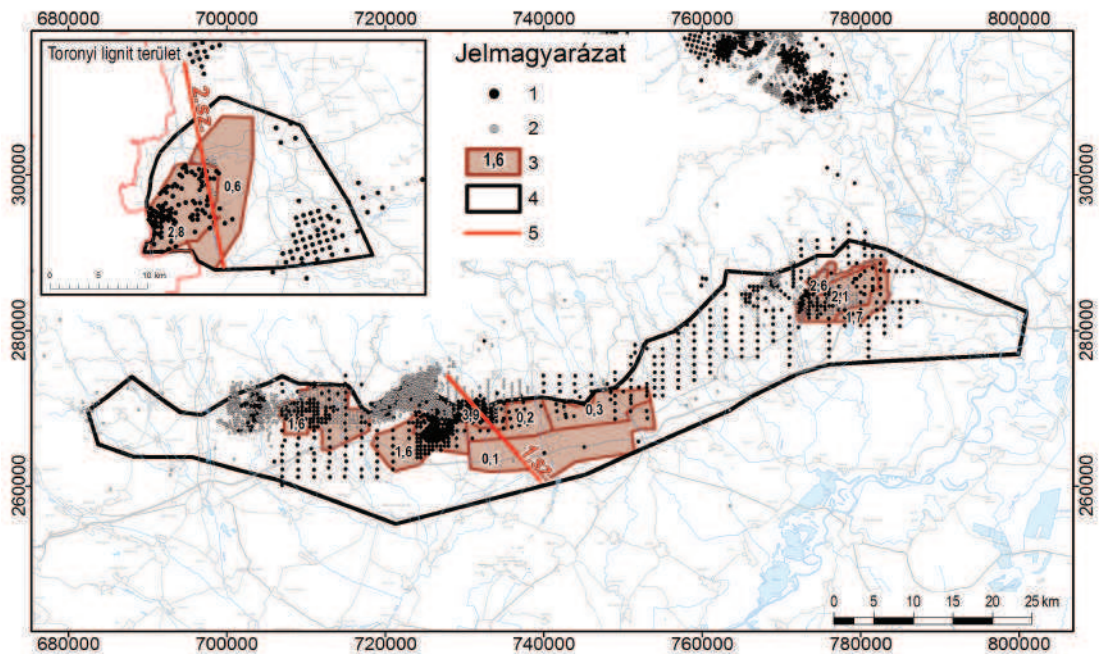
Az észak-magyarországi lignitre vonatkozó bányászati és földtani adatokat elsőként VITÁLIS (1939) közölte „A mátraaljai pontusi lignittelek”, illetve „Pontusi lignittelek a Cserhát alján” c. írásaiban. A lignitkutatás földtani leírását és gazdasági értékelését CSILLING (1963), MADAI (1977), SZOKOLAY (1984) és HAHN (1987) végezte. A terület kifejlődési jellegzetességeit JAKUCS et al. (1982), szerkezeti helyzetét, ill. a kutatási lehetőségeket JASKÓ (1985, 1991) foglalta össze. Vízföldtani kérdésekkel VITÁLIS (1941), RADÓCZ (1964), KOVÁCS, JAMBRIK (1997), KISSNÉ MEZEI, MADAI (2001) és KOVÁCS, KISSNÉ MEZEI (2013) foglalkoztak.

Az ősnövényntani, palinológiai kérdéseket PÁLFALVY (1952), HARASZTY (1953), VÖRÖS (1955), NAGYNÉ (1958), BÓNA, RUMLINÉ SZENTAI (1966), PÁLFALVY, RÁKOSI (1979), HABLY (1992), MAGYAR HABLY (1994) és MAGYAR (2013) vizsgálták. A geokémiai vizsgálatokat HÁMOR (1988, 1991a, 1994, 1996), PÁPAY (1996), HÁMOR, HERTELENDI (1991), HÁMOR-VIDÓ et

környezetvédelmi kockázatot nem jelent. A természetvédelmi fedettség alacsony, átlagosan 25,4%.

### Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások

A miocén szénmedencék nem különösképpen vízveszélyesek. A Várpalotai-medence badeni széntelepes összletének fekvő képződményeit kárpáti korú vízzáró agyagos-márgás összlet (Fóti és Garábi Slír Formáció) alkotja. A közvetlen fekvőben vízzáró agyagmárgás aleurit található, helyenként agyagos-



**3.55. ábra.** A Bükkaljai Lignit Tagozat elterjedése és megkutatottsága Észak- és Nyugat-Magyarországon, az 3.56. ábra, 3.57. ábra nyomvonalával.

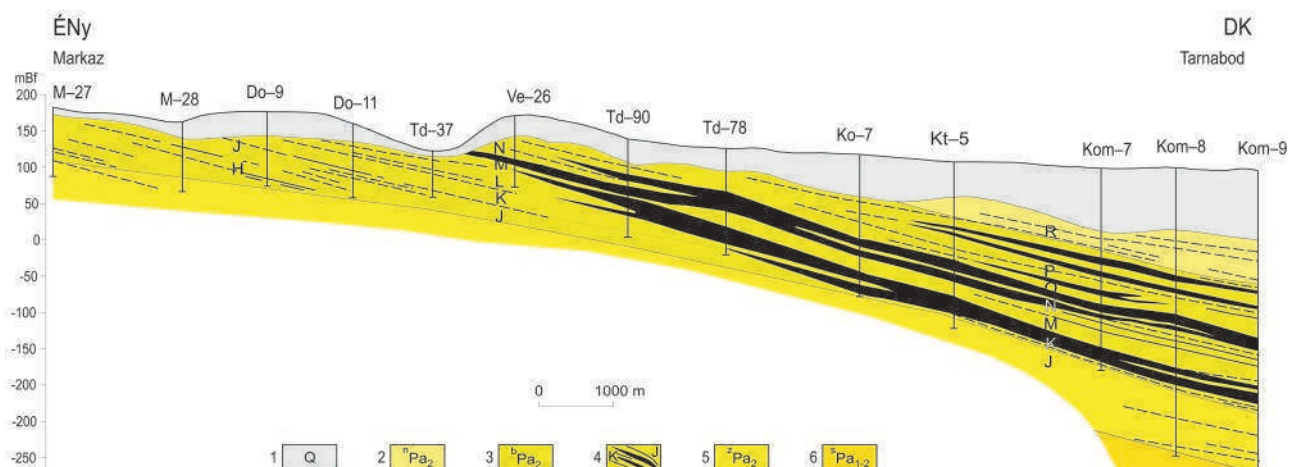
Jelmagyarázat: 1. szénkutató fűrés mélyfűrés geofizikával, 2. szénkutató fűrés geofizika nélkül, 3. nyilvántartási terület (a beirt szám a fűrés/km<sup>2</sup>), 4. a szénmedence határa (1,2 m-nél vastagabb telepet harántoló fűrésokat bezáró poligon), 5. tanulmányban szereplő szelvény nyomvonala

al. (2003), HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR (2006) és ALBERT et al. (2009) végeztek. Szerves kőzettani és korai diagenetikus kérdésekkel és ősföldrajzi rekonstrukcióval KOVATSISNÉ, BELLÁNÉ (1976), ELEK (1977), BELLÁNÉ (1992), HÁMOR-VIDÓ et al. (2003) IVANOVA et al. (2004), ZAISTEVA et al. (2004), KÁZMÉR (2008) és HÁMOR-VIDÓ et al. (2010), valamint alkalmazástechnológiai kísérleti kutatásokkal BELLA et al. (1965, 1980) és KOVATSISNÉ, BELLÁNÉ (1976) foglalkoztak.

### Rétegtani felépítés

A felső-pannóniai kőszéntelepes összlet feküképződménye nagy vastagságú, üledékes, részben vulkáni paleogén és neogén medenceperemi üledékösszletből áll. A lignittelepess összlet, a Bükkaljai Lignit Tagozat, szürke, kékesszürke tarkaagyag-, homok- és lignit-közbetelepülésekkel jellemezhető. Az egyes telepek vastagsága elérheti a 10–15 m-t is, amelyek a deltasíksági fácies víz fölött és alatt keletkezett rétegeinek váltakozásából állnak (GYALOG 1996, CSÁSZÁR 1997).

Az összlet rétegei általában 1–5°-kal dőlnek az Alföld felé (3.56. ábra), s É-D-i irányban a rétegsor kivastagszik, 300 m-től 600 m-ig változó vastagságú, 5–7 telepes kifejlődésű összletté fejlődik, majd 15–40 padból álló rétegsorra seprűződnek szét (HÁMOR-VIDÓ, MEZEI 2004). Az Alföld felső-pannóniai rétegsorában gyakran 1500 m-nél mélyebben is fúrtak át vékonyabb-



**3.56. ábra.** A Bükkaljai Lignit Tagozat dőlés irányú földtani szelvénye Füzesabony térségében (SZOKOLAY 1981). A szelvény nyomvonalát az 3.55. ábra mutatja (1. szelvény)

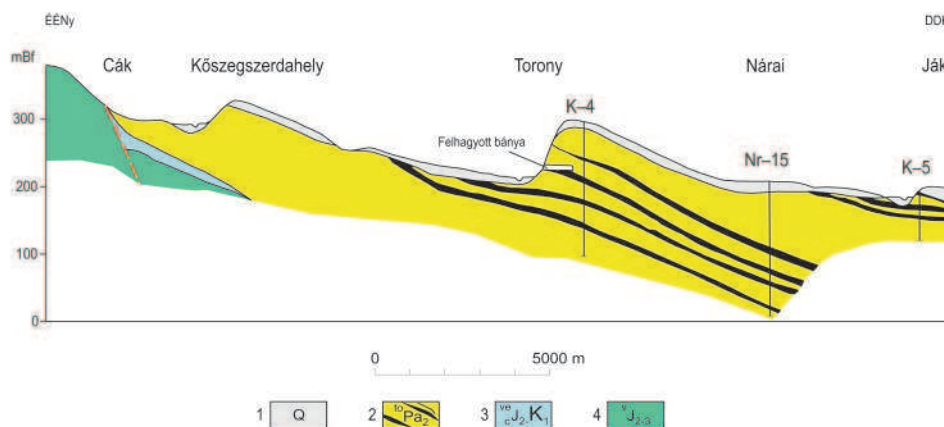
Jelmagyarázat: 1: negyedidőszaki üledékek, 2: Nagyalföldi Tarkaagyag F., 3: Bükkaljai Lignit T., 4: lignittelepék és az egyes telepek betűjele, 5: Zagyvai F., 6: Somló F.

vastagabb lignitrétegeket a Zagyvai Formációhoz és részben az Újfalu (korábban Törteli) Homokkő Formációhoz kapcsolódóan (CSIRIK *et al.* 2000, HÁMOR-VIDÓ, HÁMOR 2006). A lignitlepesek összlet ÉNy-i irányban, csapás mentén kiemelkedik.

A tagozatot alkotó üledékek a Pannon-tó deltasíkságán rakódtak le (JUHÁSZ 1992). Kialakulásuk erőteljes transzgresszív eseményhez kapcsolódhat (MAGYAR, SZTANÓ 2008). A Bükkaljai Lignit késő-miocén korú (MAGYAR 2013). Bázisa szeizmikus korrelációval a Prosodacnomya dainellii zónával párhuzamosítható, képződése a 7,5–6,7 millió év közötti időszakra tehető (POGÁCSÁS *et al.* 1989, 1990, ELSTON *et al.* 1990, MAGYAR 2013). Képződési környezet és kora azonos a Nyugat-Dunántúlon korábban Toronyi Lignitként leírt összlet lignites rétegeivel (MAGYAR 2013).

A kőszénösszlet fedőképződményeit a pannóniai időszak után következő (pliocén) lepusztulás miatt változó vastagságban, a Cserhát előterében homokos–agyagos, telepnyomos szárazföldi összlet (100–150 m), a Mátra előterében tarkaagyag, aleurit, olykor barnás festődésű agyagbetelepüléses összlet (Nagyalföldi Formáció), míg a Bükk előterében telepmentes homok és aleurit, szerves festődésű agyaggal jellemzett szárazföldi üledék képviseli.

Nyugat-Magyarországon a lignites összletre az észak-magyarországihoz igen hasonló települési viszonyok jellemzőek, beleértve a medenceirányú dőlést és mélyülést is (3.57. ábra). Keletkezési környezetük az észak-alföldi előforduláshoz hasonlóan a Pannon-tó deltasíkságán lehetett, így a telepek is hasonlóak: ahol nagy kiterjedésűek, ott jól követhetők, de bizonyos esetekben kiemelkedő lencsék képviselik őket, ilyenkor korrelációjuk nehézségekbe ütközik (JASKÓ 1964), ami a lerakódás idején megfigyelhető tagolt domborzatnak tulajdonítható. A felszíni kibúvásokban a rétegdőlést helyi tényezők,



**3.57. ábra.** A Bükkaljai Lignit T. vázlatos földtani szelvénye a Ny-Magyarországi pannon medencében (Jaskó 1964). A szelvény nyomvonalát az 3.55. ábra mutatja (2. szelvény)

Jelmagyarázat: 1: negyedidőszaki képződmények általában, 2: Toronyi Lignit F., 3: Velemi Mészfillit F. Cák Konglomerátum Tagozata, 4: Velemi Mészfillit F.

pl. csuszamlások is módosítják, de fúrások alapján szerkesztve a rétegdőlés enyhe. A késő-neogén–kvarter kiemelkedés miatt a telepek nyugati része lepusztult. A telepek kis távolságon általában jól követhetők.

### Teleptan

A rétegsor nagyobb része édesvízi és brakk-vízi üledékekből, laza homokból, agyagból és lignitlepekből épül fel. A széntelepek száma területileg eltér, a vastagságuk általában 1–3 m, de elérhetik a 4–5 m-t is. A visontai és bükkábrányi külfejtés főtelepe, két vékony meddő közbetelepüléssel eléri a 10 m-t (HÁMOR-VIDÓ *et al.* 2003, 2010, IVANOVA *et al.* 2004a, b, ZAISTEVA *et al.* 2004). A lignitlepek gyakran szétseprűződnek, kiemelkednek.

Az ortolignit nedvességtartalma 41 % és 30 % között változik, egyenletes csökkenést mutat a mélységgel, a kompaktió mértékével és a szénüléssel. A hamutartalom általában magas, 15–30 % között változik, ami megfelel az alsó deltasíkság képződési környezetnek, kéntartalma 3–6 % között változik és szerves anyagát vitrinit és az agyagosabb szakaszokon a liptinitcsoportot képviselő alginit–sporopollenin alkotja.

A telepek nem csak megjelenésben változatosak, hanem összetételük is jelentősen eltér területenként. A műrevaló kőszéntelepek fűtőértéke 5–8,4 MJ/kg, hamutartalma 15–30 %. A legegységesebb kifejlődésű és a legjobb minőségű (7,5–9,2 MJ/kg) telepek a medenceperemektől távolabb, nagyobb mélységben találhatók (NÉMEDI VARGA 2010).

A toronyi lignit 80 m vastag összletén belül a telepek összvastagsága 10–18 m, fűtőértéke 8,35–10,45 MJ/kg.

### Szerkezeti viszonyok

Az Északi-középhegység előterében, a Mátra és a Bükk lábánál is, a lignites összlet vastagsága az üledékképződés alatt zajló süllyedés miatt a medence irányában (DK felé) néhány méterről 250 m körülire nő, a rétegek szétseprűződnek (JASKÓ 1985)

(3.56. ábra). Az Alföld részben üledékképződés utáni, késő-neogén–kvarter süllyedése miatt az üledéktestek hegységhez közel eső részei is dőlnek a medence felé, a rétegdőlés jellemzően kisebb  $10^\circ$ -nál. Ugyanezen okból a fedővastagság is nő DK felé. A lignites összlet medence felé történő kivastagodását elsősorban a meddő kőzetek vastagságnövekedése okozza, a lignitlepek vastagsága nem változik számottevően. A telepek aránya a teljes rétegsorból így a hegységperemtől távolodva folyamatosan csökken. A területre a tektonikus deformáltság nem jellemző. A rétegek jól követhetőek, redőktől általában mentesek. A lignites rétegsort tagoló kisebb vetők csak a hegységperemi, kivékonyodó rétegsorokban mutathatók ki, a medence belseje felé az utólagos deformáció eltűnik (JASKÓ 1985). Előfordulnak emellett az egyes részmedencék határain, a részmedencéken belül hatásuk nem számottevő. A Bükk előterében a lignites összlet talpszintjét kismértékben befolyásolta a hegység előtt húzódó Vatta–Tardi-árok süllyedése, ez a talpfelületben 100 m-nél kisebb kimélyülést, emellett enyhe rétegdőlés-változást – akár északiasra visszaforduló dőlésirányokat – okozott. Az árok süllyedése a késő-miocén végén már igen lassú volt, majd meg is szűnt, így a fedő itt sem vastagabb, mint a Mátra előterében, sőt a pannóniai (felső-miocén) képződmények teleses összlet fölötti szakasza le is pusztult, így a szénfedőt elsősorban kvarter üledékek alkotják. A lignitvonulat nyugati és keleti peremén (Cserhát, ill. Sajó-völgy) a kevésbé megkutatott részmedencék határait is vetők adják (JASKÓ 1991).

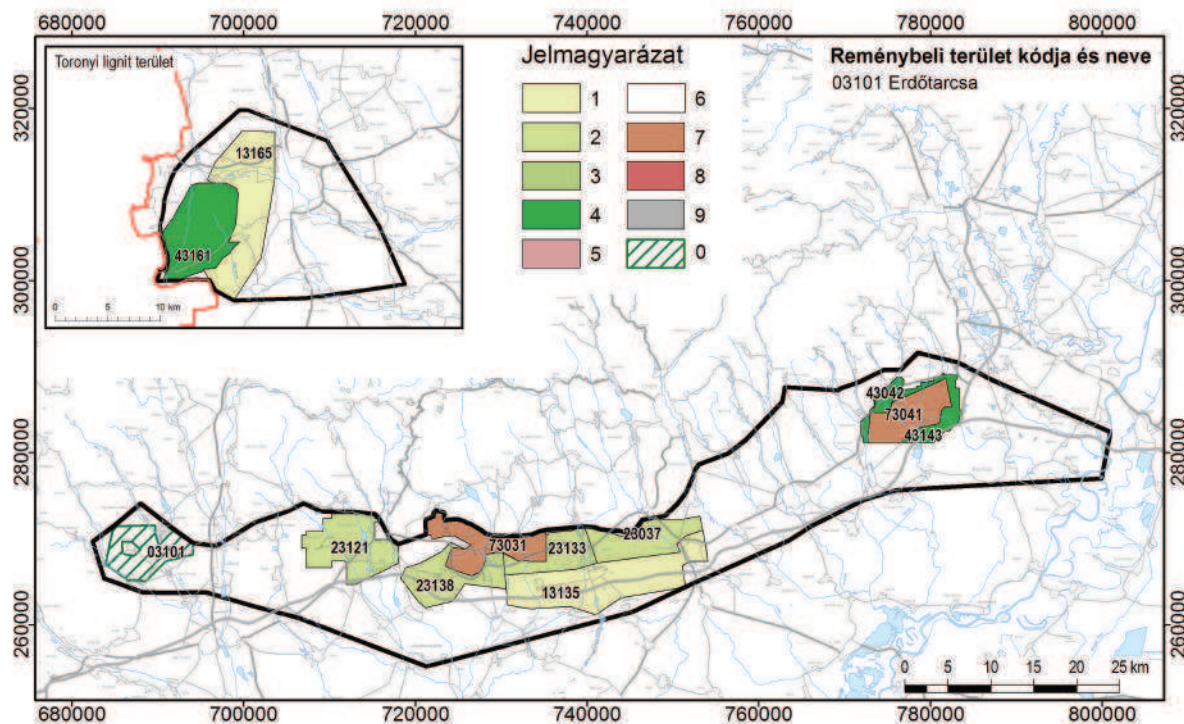
A nyugat-magyarországi előfordulás esetében az országhatár és a Rába közti nagyobb területet vizsgálva néhány nagyobb szerkezeti sík metszi el az összletet akár 100 m fölötti függőleges elvetéssel (MOLNÁR 1964, KOVÁCS, TELBISZ 2013). A Rába közvetlen nyugati szomszédságában a rétegdőlés szintén enyhe, de a terület többi részén jellemző (dél)keleties dőléstől eltérően (dél)nyugatias.

### Nyilvántartás szerinti földtani vagyon

Hazánk fiatal, pannóniai korban képződött lignitvagyon nemzetközi viszonylatban is számottevő. A 14 mérlegtétel alapján regisztrált földtani vagyon (3.58. ábra) meghaladja az 5,7 Mrd tonnát, a kitermelhető vagyon a 4,3 Mrd tonnát (3.11. táblázat). A számbavételi határ 1,0 m-es telepvastagság, 4,2 MJ/kg fűtőérték. A hazai lignit fűtőértéke 6–8 MJ/kg között alakul, átlagosan 7,191 MJ/kg. A vagyont fiatal kora lévén, erőteljes szerkezeti szétagolódás nem érte.

A települési mélység 70–270 m között alakul, átlagosan közel 170 m (3.59. ábra). A művelés alá kerülő területeket vízteleníteni kell. A tevékenység számottevő vízemeléssel jár, gyakran meghaladja a  $\sim 30 \text{ m}^3/\text{p}$  értéket, az átlag is több mint  $22 \text{ m}^3/\text{p}$ . Ez az érték a fajlagos önköltség alakulásánál éppen úgy jelentkezik, mint a kapcsolódó környezetvédelmi hatásokban. A természetvédelmi lefedettség nem túl magas, átlagosan 27,3%. A jelenlegi termelési kapacitás (8–9 Mt/év) nem meríti ki a lehetőségeket.

A jelenleg üzemelő külszíni fejtekekből kitermelt lignitet a Mátrai Erőmű Zrt. Visontai Erőművébe szállítják. A Mátrai Erőmű Zrt. két bányatelekében összesen 556 millió tonna kitermelhető szénvagyon található. A Kőszeg–Szombathely–Kör-

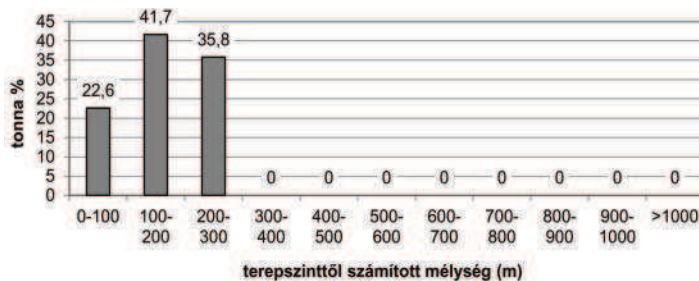


3.58. ábra. Az észak- és nyugat-magyarországi lignit mérlegtérületei és elsajátítás szerinti állapotuk  
Jelmagyarázat: l. 3.5. ábra. A beírt szám a nyilvántartási terület egyedi azonosítója (l. 3.11. táblázat)

**3.11. táblázat.** Az észak- és nyugat-magyarországi lignitelfordulások mérlegterületei (2011. január 1-i állapot, A nyilvántartási területek a szürkével irt azonosítók kivételével megtalálhatók a 3.58. ábrán)

Nyilvántartási terület		Földtani vagyon (kt)	Kitermelhető vagyon (kt)	Fűtőérték (kJ/kg)	Súlyponti mélység (m)	Bányavíz emelés (m <sup>3</sup> /p)	Természet- védelmi fedettség (%)
Kódja	Neve						
13135	Nagyút-Kál	1 370 346	1 301 829	8212	270	30	42
43161	Torony I.	738 788	637 972	6836	136	8	57
13165	Torony II.	640 000	544 390	6755	167	9	21
23037	Füzesabony	624 042	454 774	6675	130	35	5
73041	Bükkábrány bányatel.	561 843	397 929	7003	91	38,9	8
13121	Nagyréde	548 260	476 668	6379	92	0,01	7
23133	Kápolna-Kelet	478 943	177 780	6594	169	40	4
73031	Visonta bányatelek	386 465	158 059	6583	107	35,7	4
23138	Karácsond-Ludas	198 211	141 131	7767	113	25	10
43143	Bükkábrány perem	95 471	0	6939	81	3	16
13151	Komjáti	57 000	52 041	6301	70	0,01	65
43042	Bükkábrány tartalék	47 274	0	6950	76	5	5
13153	Kánó Észak	4100	3813	6508	0	0	0
43154	Edelény-Nagyvölgy	1311	1272	7754	-2	0	0
Lignitterületek összesen*		5 752 054	4 347 658	7191	169	22,3	27,3

\*kitermelhető vagyonnal súlyozott átlag.



**3.59. ábra.** Az észak és nyugat-magyarországi lignit kitermelhető vagyonának mélység szerinti eloszlása

mend vonalától nyugatra, 17 km hosszú és 6–11 km széles területen található toronyi lignit, megkutatottsága nem éri el az észak-alföldi előfordulás ismeretességét. A toronyi lignitvagyon bányászati hasznosítása jelentős társadalmi–lakossági ellenállásba ütközik.

#### *Vízföldtani viszonyok, földtani és bányászati veszélyforrások*

A Cserhát–Mátra–Bükkalja lignitmedencék területén a Visegrád–Veresegyháza termálkarszt (kt.1.4), a Nógrádi termálkarszt (kt.1.5), a Bükki termálkarszt (kt.2.1), az Észak-Alföld porózus termál (pt.2.2) víztestek találhatóak (3.47. ábra), valamint porózus és sekély porózus víztestek fordulnak elő. A területen hidrogeológiai problémát VITÁLIS (1941) vizsgálatai szerint elsősorban a felszálló víz (artézi víz) jelent. A terület tektonikailag többnyire kevésbé megviselt, ami a váratlan vízbetörések valószínűségét csökkenti (MADAI, SZOKOLAI 1999). A külfejtéses lignitbányák víztelenítése nem csak a bányászati tevékenység során keletkező költségeket növeli, hanem negatív környezetvédelmi hatásokban is jelentkezik.

A lignites összlet (Bükkaljai Lignit Tagozat) fekü képződményeit a Cserhát–Mátra–Bükkalja területen a homok-, homokkő-, aleurit-, agyag- és agyagmárgarétegekből, esetenként barnakőszénecsíkokból álló szárazföldi képződmény alkotja (Zagyvai Formáció). A lignites összleten belül az egyes telepeket agyagos és homokos képződmények választják el egymástól. Vízveszélyt a jó vízvezető képességű homokrétegek okoznak, a bányászat során külön feladatot jelent ezek folyamatos víztelenítése (CSIRIK et al. 2000).

A lignites összlet fedőjében változó vastagságban és elterjedésben agyag, homokos agyag, aleurit, agyagos homok található. A rézsűk állékonyságára veszélyesek a telepek közvetlen fedőjében, ill. horizontális folytatásában is elterjedt agyagok, valamint a gravitációsan alig vízteleníthető, agyagos és iszapos finomhomokok. Visontán karbonátos kötőanyagú homokkővek is találhatóak, melyek a jövesztési ellenállás szempontjából okoznak időszakos és lokális problémákat (MADAI, SZOKOLAI 1999).

Az északkelet-magyarországi területeken a Komjáti-medencében, a Szendrői-medencében és az Aggteleki-karszt déli peremén nagyobb lignitlepek nem fejlődtek ki, inkább lencseszerű előfordulások ismertek. A lignitet egyedül a Szendrői-medencében bányászták, ahol a fő problémát a folyóshomok, a talpduzzadás és a szén öngyulladás okozta. A nyugat-magyarországi toronyi lignitterületen az Észak-Dunántúli porózus termál (pt.1.1) víztesten túlmenően hegyvidéki, sekély hegyvidéki, porózus és sekély porózus víztestek fordulnak elő. A bányák vízveszélyességével ebben az esetben is számolni kell.

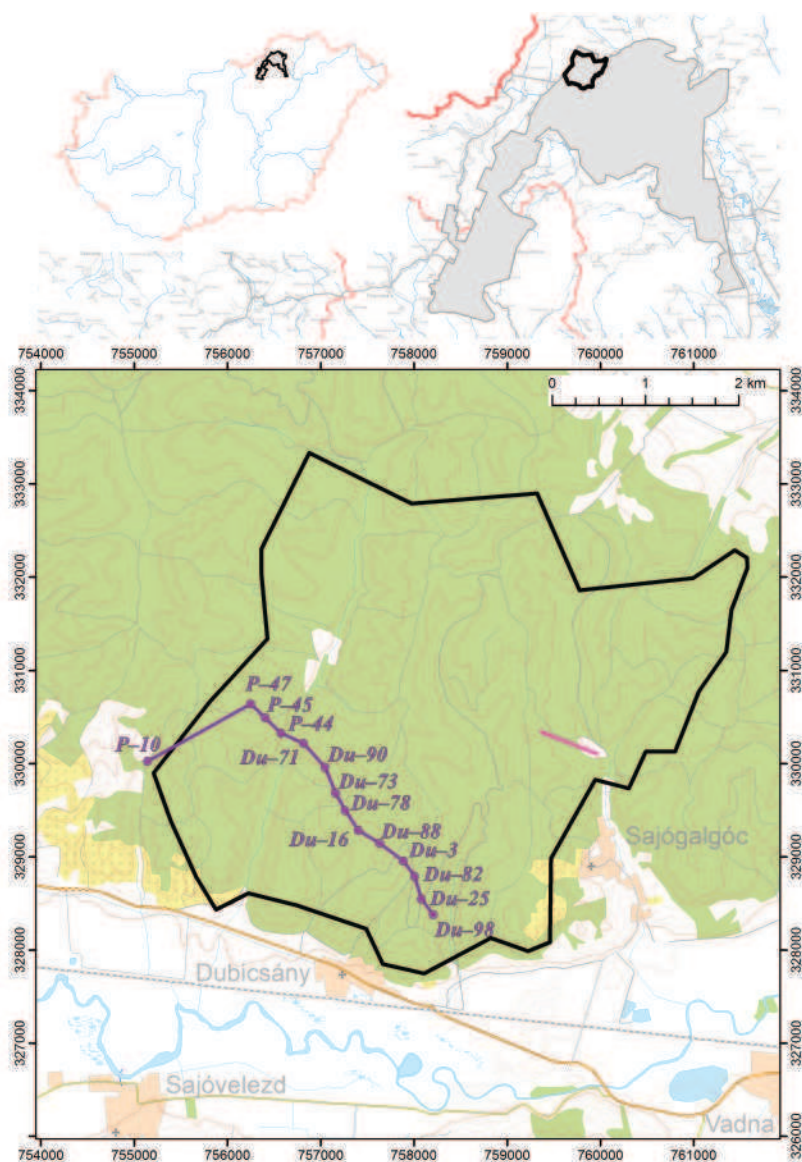
DEBRECENI ÁKOS, HAVELDA TAMÁS, BOMBICZ JÁNOS, KAUFMANN TIBOR,  
VERBŐCI JÓZSEF, BARCZIKAYNÉ SZEILER RITA, PÜSPÖKI ZOLTÁN

## Dubicsány

### Kutatástörténet

A dubicsányi területre (4.1. ábra) vonatkozó bányászati adatok egészen a 19. sz. végére vezethetők vissza. 1920–23 között a sajógalgóci kőbányától É-ra PÉTER János és fia üzemeltetett szénbányát, ahol a telepvastagság 0,6–0,7 m volt, a kihajtott táró hossza 1922 végére elérte a 329 m-t (SCHRÉTER 1929). 1943-ban a „Péter-féle” tárótól északra KOSITZKY Ferenc nyitott kb. 80 m hosszú táró, de a vállalkozást a korlátozott telepvastagság és a szállítási nehézségek ellehetetlenítették (ÜRMÖSSY in DEÁK et al. 1982). A bányáskodással érintett telep a IV. telep lehetett. Az addig mélyült bizonytalan eredetű mélyfúrások műszaki kivitelezése a kor színvonalának megfelelően csigafúróval, kézi erővel történhetett.

A terület modernebb fúrásos kutatása 1957. február 1-jén indult (Putnok Pu-3, –4) az Ózdvidéki Szénbányák kivitelezésében, de a fúrások eredménytelensége miatt a kutatást nem folytatták. Még ebben az évben a Magyar Állami Földtani Intézet (MÁFI) is mélyített két fúrást a területen. A Dubicsány Du-1 62,0 m-ben elszerencsétlenedett, ezért 300 m-re K-re megkezdték a Dubicsány Du-2 fúrás mélyítését távlati barnakőszénkutatás és szerkezetkutatás céljából. Utóbbi 550,3 m mélységben állt le, harántolva az V. telep padjait, illetve a mélyfekű képződménysorát. Ennek az időszaknak a fúrási



**4.1. ábra.** A dubicsányi terület topográfiai térképe, a, 4.3. ábra nyomvonala, mélyfúrásai, és a megépült lejtőakna nyomvonala

technológiáját az autós Rotary berendezés (RM-45), háromélű és görgösvéső, illetve a mintavételt biztosító Alexejenkó magcső képviselte. Ezt követően a dubicsányi terület kutatása hosszú időre leállt, jöllehet a MÁFI szakemberei 1962-ben intézeti felterjesztés (3. ötéves terv) formájában javaslatot tettek a dubicsányi terület északi irányban történő megkutatására és a Sajógalgóc Sg-3 fúrás 1963–64-ben a MÁFI megrendelésre mélyült.

Az elő- és felderítő fázisú kutatási program javaslatát JUHÁSZ A, RADÓCZ Gy. és ZENTAY T. állították össze 1971-ben, melyet a Központi Földtani Hivatal (KFH) jóváhagyott. Ez a program volt az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat (OFKFV) kiegészítéseivel a teljes kutatási munka legfontosabb alapidokumentációja. Ennek megfelelően csak az 1970-es évek elején (1971–73) indult meg a fúrásos kutatás, felderítő jelleggel (Sajókaza Sk-249, -251, -252, -253, -263, Dubicsány Du-3–8, Sajógalgóc Sg-4–7). A Jákfalva Jf-46–50, 52–54 fúrások, illetve a Sajókaza Sk-264–266, -269, 273–276, 280–282 fúrások (Fekete völgy) eredetileg nem a dubicsányi terület megismerését célozták, hanem az 1974-ben készült Fekete völgy–Dubicsány földtani jelentés és vagyonszámítás részét képezték (GAÁL CS-NÉ *et al.* 1987), de a részletes kutatás eredményeképpen végül ezek a fúrások is a jelen vizsgálati terület készletszámításába épültek be. A fúrásos kutatásoknak ebben az időszakában már bevezetésre került a ZM-34, ZM-58 és ZM-59 duplafalú magcső, mely ugrásszerűen javította a magkihozatal arányát.

A dubicsányi terület részletes kutatását 1977-ben határozták el (KFH 540/77). A terv első ütemében, 1979-ben, 23 fúrás került kivitelezésre (Dubicsány Du-9–20, Sajógalgóc Sg-9–14, Sajókaza Sk-283–287). Mivel az előzetes feltételezésekkel ellentétben a produktív terület túlterjedt a fúrásokkal így megkutatott területen, új kutatási program készült. Az így engedélyezett második ütemben készült további 43 fúrás (Dövény Dö-1–3, Dubicsány Du-21–30, Jákfalva Jf-56, Putnok Pu-5–16, Sajógalgóc Sg-15–24, Sajókaza Sk-288–292). Ebben az időszakban a fúrástechnológiában további minőségjavulást eredményezett a ZM-58-as és ZM-61-es duplafalú magcsőveken bevezetett gyémántkorona. A fúrások jobb öblítéssel, magfúrással, illetve szakaszos magfúrással kerültek kivitelezésre, a telepharántolások minden esetben magcsővel történtek.

Ezt követően az 1983-as, egyszer módosított KFH határozat (426/1983, 42-a/1983) alapján indult meg a terület részletes fázisú kutatása 1983 nyarán. Ennek során 1987-ig lemélyítésre került 174 db szénkutató fúrás, és 12 db segédkút. A 174 fúrából 14-ben hidrogeológiai vizsgálatok is történtek. A fúrások közül teljes értékű (előírt magkihozatal, geofizika, MEO, oldalfal minta) 140 db, közel teljes értékű (csökkent magkihozatal, oldalfal mintavétel hiánya) 46 db. A részletes kutatás ideje alatt megindult a lejtakna kiépítése, melynek adatai (bányabeli legyezőfúrások, vágatbeli mérések) ugyancsak beépültek a készülő földtani tektonikai modellbe.

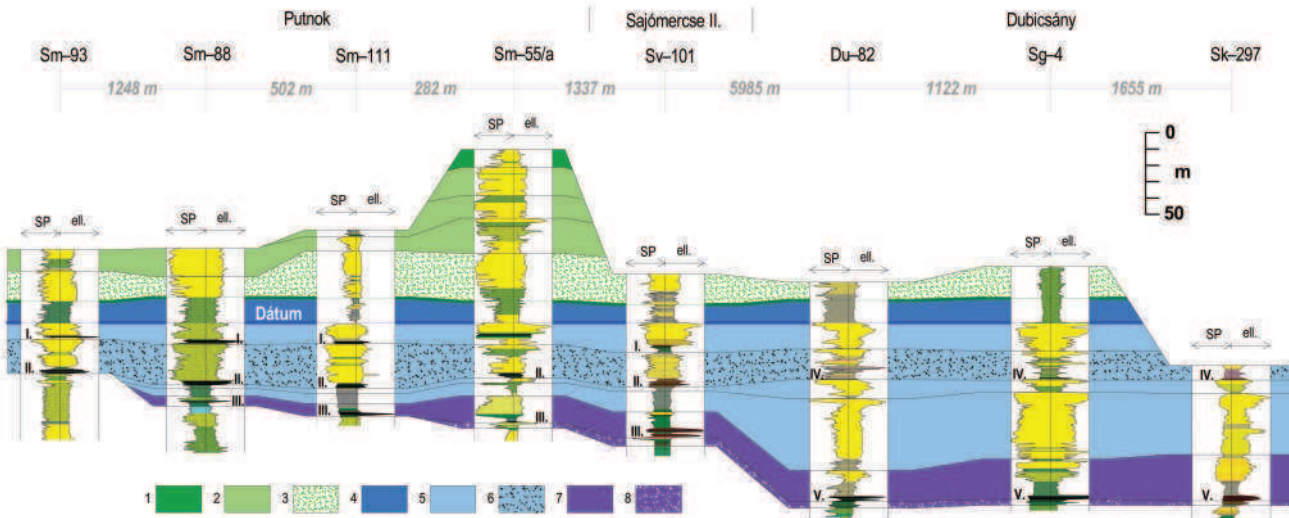
Az anyagvizsgálatok a következőképpen alakultak: MEO 5318 db, kontroll MEO (Dövény Dö-4, Dubicsány Du-32, -38, -56, -60, -72, Putnok Pu-27, -30, -38, -70, Sajógalgóc Sg-26, -47, -50, Sajókaza Sk-296, -302/a) 468 db, szénközet-tan (Dubicsány Du-61, -69) 59 db. Karbonáttartalom-meghatározás történt 1003 db mintán, közetfizika terén sodrási határ 2370 db, térfogatsűrűség 2370 db, hézagtenyező 1090 db mintán. Mikrofauna-vizsgálat történt 298 db, nannoplankton 3 db, ásvány-közet-tani vizsgálat 42 db, színképelemzés 39 db, derivatográfiás 39 db, RTG 32 db mintán. Geomechanikai értékelés történt 6182 közetszerkezeten. A szemcseösszetételi vizsgálatok száma 1061; szitasorral és 681 KÖHN módszerrel. A vízkémiai vizsgálatok száma 89, gáztartalom- és korrózióvizsgálat történt 7–7 db mintán. A kutatásról 1987 márciusában készült összefoglaló földtani zárójelentés (GAÁL CS-NÉ *et al.* 1987). 2014-ben a területről komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentés is készült (PÜSPÖKI, GYURICZA szerk. 2014).

A 2012–2016 időszakban a terület bekerült a felülvizsgálatra kijelölt kiemelt projektek közé. A kutatási zárójelentés (GAÁL CS-NÉ *et al.* 1987) alapján újbóli modellépítésre nem volt szükség, sor került viszont (1) a mélyfúrási naplók feldolgozására (MEO vizsgálati eredmények rögzítése – 200 fúrás, 6091 minta), (2) az V. telepi vetőtérkép digitalizálására, (3) a teleptalptérképek digitalizálására, (4) a készletszámítási térképek digitalizálására. Ezt követte (5) a feltárási és művelési terv létrehozása, (6) a telepvastagság-adatok újraszámítása és térképi megjelenítése, (7) végül a ténylegesen kitermelhető készlet meghatározása.

### *Rétegtani adottságok*

Jöllehet Dubicsány a Darnó-vonaltól Ny-ra található terület, a széntelepes kifejlődés tekintetében alapvetően a „Kelet-Borsodi-medencére” jellemző viszonyokat tükröz, szemben a térben közeli, rétegtanilag ugyanakkor jelentősen eltérő, tipikusan „Nyugat-Borsodi jellegű” Sajómercse II. területtel (PÜSPÖKI *et al.* 2017). A legfontosabb különbségek a következők: (1) a Nyugat-Borsodi I. telep hiánya, (2) a IV. és V. telepek (ezek nyugat-borsodi megfelelői az ottani II. és III. telepek) között megjelenő nagy vastagságú (~40 m) homokosmeddő-közbetelepülés (4.2. ábra).

A megkutatott terület nagy részén jó minőségű kelet-borsodi V. telep fejlődött ki, ez képezi az előfordulás tényleges nyersanyagbázisát. Rétegtanilag alsó és felső padra bontható, melyek között a terület D-i, DNy-i részén (például Putnok P-47, -45, -44, Dubicsány Du-71) 10–15 m vastagságú meddő-közbetelepülés is megjelenik (4.3. ábra). Itt a korábbi kutatások hagyományosan egy felső V. és egy alsó Va telepre bontották és vagyonát is külön térképen számították. Az Va telep gyenge minőségű, számbavételi határ fölötti vastagságban (1 m) és minőségben (7500 kJ/kg) csak néhány fúrásban vált ismertté, az V. telep viszont műrevaló. A terület többi részén egy telep található, melynek felső 2–3 m-es jobb minőségű része rétegtanilag megegyezik a kétteteles kifejlődés felső telepével, alsó gyengébb minőségű része pedig a kétteteles kifejlődés Va telepével.



4.2. ábra. Dubicsány és Sajómerse II terület széntelepes rétegsorának rétegtani kapcsolata

A szelvény nyomvonalát l. a 4.16 ábrán. Jelmagyarázat (PÜSPÖKI et al. 2017 és a 3.37. ábra alapján): 1. SQ-5 TST, 2. SQ-5 LST, 3. SQ-5 FSST, 4. SQ-4 TST, 5. SQ-4 LST, 6. SQ-4 LST, 7. SQ-4 LST, 8. SQ-4 LST. Nyugat-borsodi II – Kelet-Borsodi IV telepet befoglaló üledékciklusa, 7. „Oncophorás rétegek” felső paraszekvenciája 8. „Oncophorás rétegek” alsó paraszekvenciája, a fűræsszelvényben: sárga = homok, szürke = aleurit, zöld = agyag, fekete v. barna = kőszén, kék = riloittufa, tufahomok, Sm=Sajómerse, Sv=Sajóvelezd, Du=Dubicsány, Sg=Sajógalgóc, Sk=Sajókaza

Az V. telep gyenge minőségű metalignit. A telep átlagos hamutartalma 30%, nedvességtartalma, 27% és fűtőértéke 9500 kJ/kg. A telepre jellemző a viszonylag magas éghetőkén-tartalom (2,5%). Az osztatlan V. telep alsó 2,5 m-es szakasza magasabb hamutartalmú, helyenként már a szenes agyag, sőt a szerves festődésű agyag, aleurolit típust képviseli. A rosszabb minőségű alsó telepszakaszon általában három nagyobb hamutartalmú betelepülés figyelhető meg változó vastagsággal. Itt a hamutartalom átlagosan 38%, a nedvességtartalom 25%, a kén-tartalom 2,5% és a fűtőérték 8150 kJ/kg körüli. A telep felső szakaszán a kedvezőbb minőséget már az alacsonyabb hamutartalom (14–25% közötti) is jelzi, amely átlagosan 20%. A nedvességtartalom átlagosan 30%, az éghetőkén-tartalom 3,5% és a fűtőérték egy 10–15 cm vastag meddőbetelepülést kivéve meghaladja a 12 000 kJ/kg értéket.

A felső pad a terület nagy részén minőségileg egységesnek tekinthető, a pad rétegei 10 000–16 000 kJ/kg között változnak, az egyirányú nyomószilárdság is nagyobb  $\sigma_{ny}=10\text{--}21$  MPa. A kisebb szilárdságú rétegek általában lemezeselek, csúszási laposak. A telep alsó része már kevésbé egységes, nagy eltérések mutatkoznak rétegenként, mind minőségben (2.000–11 000 kJ/kg) mind szilárdságban:  $\sigma_{ny}=3\text{--}11$  MPa.

Az V. telep feképződésmintái tufás agyag, tufás homok, illetve ezek váltakozása, homokos agyag, aleurit, agyag, homok és agyag, melyek összvastagsága 0,3–18,8 m között változik. Az egyirányú nyomószilárdság jellemzően  $\sigma_{ny}=1,0\text{--}5,2$  MPa. A feképződés szempontjából legkedvezőtlenebb az agyagos összetétel, amely, ha vizet kap, nagymértékben változtatja szilárdsági tulajdonságait.

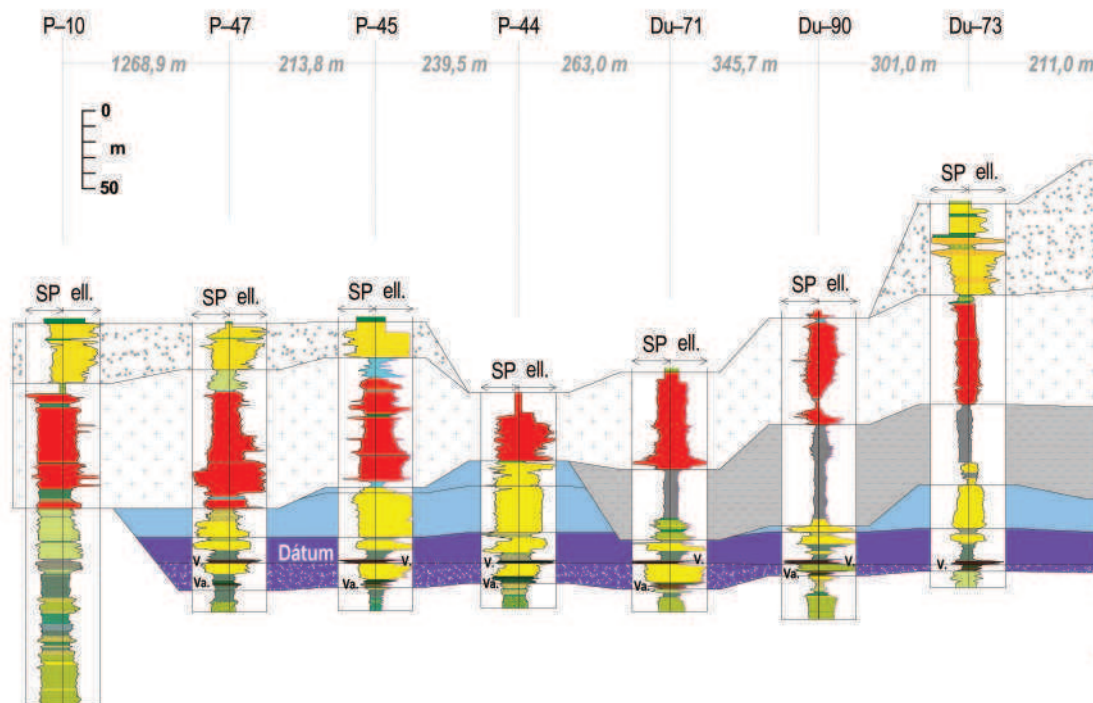
A fedőkőzet anyagát tekintve egységes, a közvetlen fedő szinte az egész területen aleurit, amely helyenként agyagos, máshol homokos, vastagsága 5–15 m között változik. E fölött homok található, melynek vastagsága az 50 m-t is elérheti, vizet tartalmaz. Az aleurit egyirányú nyomószilárdsága  $\sigma_{ny}=2,0\text{--}8,0$  MPa; a homok egyirányú nyomószilárdsága  $\sigma_{ny}=0,0\text{--}0,3$  MPa. Az V. telep közvetlen fedőjében található, szinttartó aleurolit hidrogeológiai védőréteg szerepét tölti be, ilyen szempontból vastagsága és kifejlődésének változása kritikus lehet, mivel a fedőjében található vastag homokos összetétel a bányászati szempontjából vízbetörésveszélyt jelent.

A magasfedőben települő IV. telep nem művelhető, átlagos vastagsága a dubicsányi területen 0,5 m, elterjedése a vizsgálati terület keleti részére korlátozódik, hiányát lepusztulás okozta.

### Szerkezeti viszonyok

A földtani rekonstrukció szempontjából a dubicsányi terület esetében a legnagyobb nehézséget a Darnó-vonal közelségéből adódó erőteljes szerkezeti igénybevétel okozhatja. A Darnó-zóna és az Ózdi-medence szerkezeti felépítésének megismerése érdekében az 1980-as évek során a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet regionális szeizmikus kutatásokat végzett. A mérések tervezése során külön figyelemmel voltak a medencealjzat domborzatának és közzettani összetételének jelentős változásaira. A felbontóképesség növelése érdekében középlövéses észlelési rendszert, 10 m-es geofonbázisközt és robbantásos rezgékeltést alkalmaztak, 48 csatornás műszerrel, 40 Hz geofonokból álló, 20 tagú geofoncsoportokkal, törekedve a nagyfrekvenciák kiemelésére. A feldolgozás során 30–50 Hz-es és 55–110 Hz-es sávszűrések egyaránt készültek (ALBU et al. 1985, BRAUN et al. 1989, PETROVICS, SZALAY 1992).

Az Ózdi-medence északi részén a dubicsányi területet északról és délről keretező szeizmikus (migrált idő) szelvények



**4.3. ábra.** A kelet-borsodi V. és Va telepeket beágyazó üledékciklusok megjelenése Dubicsány területén Ny-K-i csapású A szelvény nyomvonalát l. a 4.1. ábrán. Jelmagyarázat (PÜSPÖKI et al. 2017 és a 3.37. ábra alapján): 1. Sajóvölgyi Formáció, 2. Dubicsányi telepet befoglaló üledékciklusa, 8. „Oncophorás rétegek” felső paraszekvenciája 9. „Oncophorás rétegek” alsó paraszekvenciája, a fúrások, P=Putnok, Du=Dubicsány

(Szuha–1, S6–1/88) bizonyítják a Darnó-vonal feltolódásos szerkezetét. A szelvényeken kitűnően látható, a medencealjzat Darnó-vonal mentén több lépcsőben bekövetkező emelkedése, és a kapcsolódó ÉNy-i vergenciájú feltolódások sora, így e szelvények a későbbi regionális földtani feldolgozásoknak is megfelelő alapot képeztek (SZTANÓ, TARI 1993, FODOR et al. 2005b).

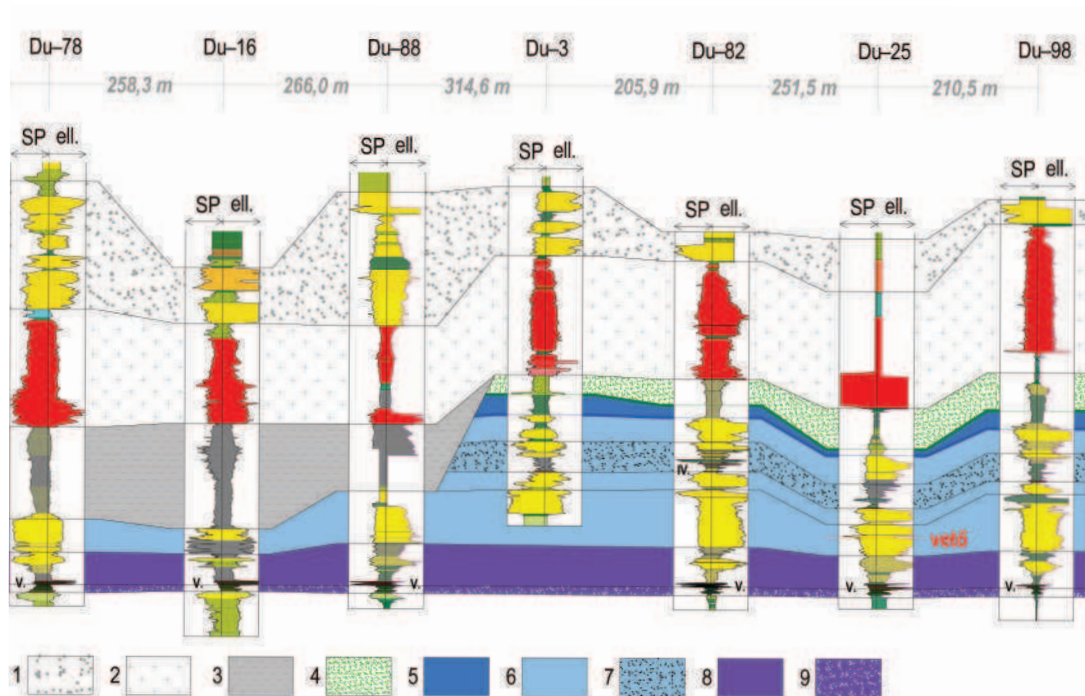
A dubicsányi terület a Darnó-vonal menti alaphegységi kiemelkedés előterében található, s területét a Nyugat-Borsodi-medencére jellemző árokrendszer határozza meg. A területen jelentkező közel észak–déli lefutású vetők rendszere ennek megfelelően elsősorban a területet keletről kísérő Darnó-vonal jelenlétével magyarázható. A tektonikai térkép (4.4. ábra) szerkesztésénél figyelembe vették a Darnó-zónára jellemző ÉÉK–DDNy-i irányú vetők meghatározó szerepét, a telepek fedőszintjeit, a IV. és V. telepek közötti távolság csökkenését, az indokolatlan telepkimaradásokat, telepvékonyodásokat, a rétegsorban észlelt rétegmimaradásokat, illetve szerkezeti elemeket. A térkép csak a 10 m, illetve ennél nagyobb vetők helyzetét tünteti fel. A területen a Borsodi Szénbányák vállalat új bánya nyitását tervezte, ezért a kutató fúrásokon kívül lemélyítettek két lejtőszaknát (4.5. ábra), és kihajtottak összesen több mint 2000 m vágatot is. A lejtőszakna mélyítése és a vágathajtások során nyert tapasztalatokat szintén tartalmazza a tektonikai térkép. A földtani modellalkotás során a vetők dőlésszögét egységesen 60°-nak vették.

A szerkezeti modellezés legfontosabb megállapításai a következők: (1) a terület keleti része vetőkkel sűrűn szabdalva, a nyugati oldalon a nagyvetők gyakorisága nem haladja meg az átlagos borsodi értéket, (2) igazolódott a vetők ÉK–DNy-i lefutása, elvetési magasságuk 3–78 m között adódott, (3) a szerkezeti mozgások levetések, árkokat eredményeztek, ennek megfelelően a telepek dőlésiránya változó, de azok mértéke sehol sem haladja meg a lapos dőlésű telepekre jellemző mértéket.

A tektonikai térkép nem jelez az ÉÉK–DDNy-i irányú fővetőkre merőleges harántvetőket. Ezek szerepe alárendelt lehet, és így a meglévő fúrási háló nem elegendő ezek észleléséhez. A további vetőkutatás egyik lehetséges eszköze a nagy felbontású, széles spektrumú (72–500 Hz), a célzott kutatási mélységben a megfelelő fedésszámot biztosító (5 m-es geofoncsoport-távolság) szeizmikus reflexiós kutatás. A területre vonatkozó kísérleti szeizmikus vizsgálatokra sor került az 1980-as évek elején a Borsodi Szénbányák kezdeményezésére, a Központi Földtani Hivatal és a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet kivitelezésében (HEGEDÜS 1984). A tapasztalatok szerint a széntelepes összlet fekéje, illetve az oligocén–miocén határ jól reflektáló felületként jelentkezik, s lehetőséget ad a széntelepes rétegsorban jelentkező vetők azonosítására is.

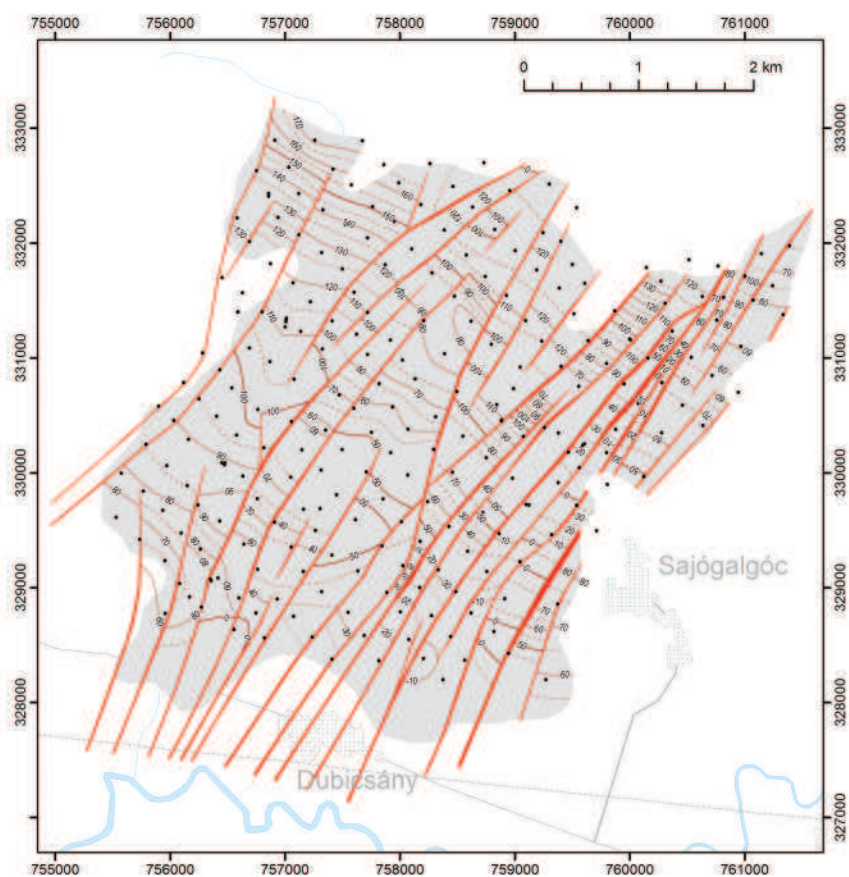
#### Feltérési terv

A települési mélység lehetővé teszi, a terület lejtőszaknapárral történő feltérását (4.6. ábra). A lejtőszakna és a fő feltérő vágatpár nyomvonala egy északi és egy déli részre osztja a szénelőfordulást. A tengely irányú kettéosztás az uralkodó vetőirányok átszelését eredményezi, így alapja lehet a bányabeli kutatásnak. További előnye, hogy az így kialakítható fejtések kifutási hosszai optimálisak lehetnek a fejtések kísérő vágatainak fenntarthatósága szempontjából.

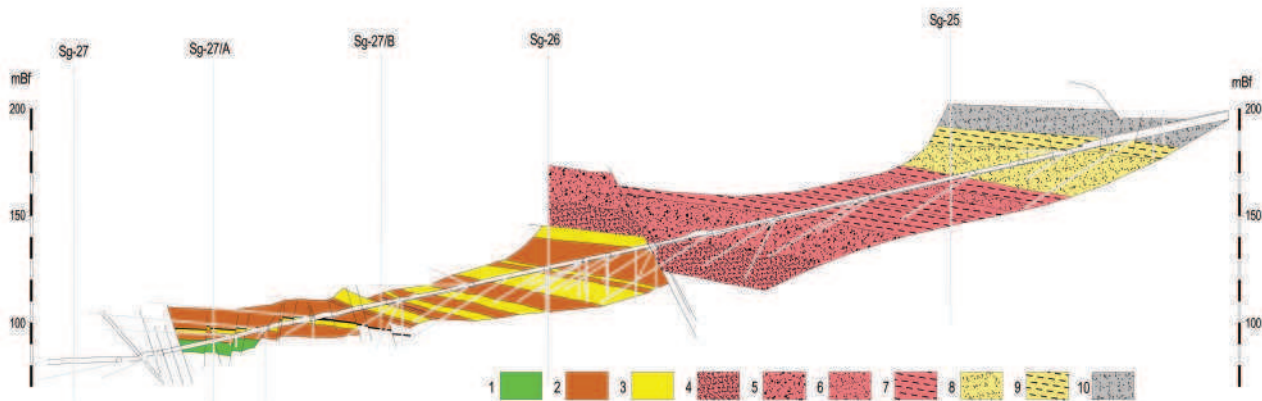


szelvényen

Andezit Formáció, 3. Bádeni Agyag Formáció, 4. SQ-5 FSST, 5. SQ-4 TST, 6. SQ-4 LST, 7. SQ-4 LST Nyugat-borsodi II - Kelet-Borsodi IV szelvényben: sárga = homok, szürke = aleurit, zöld = agyag, fekete v. barna = kőszén, kék = riolittufa, tufahomok, piros-andezit, andezit, piroklaszk-

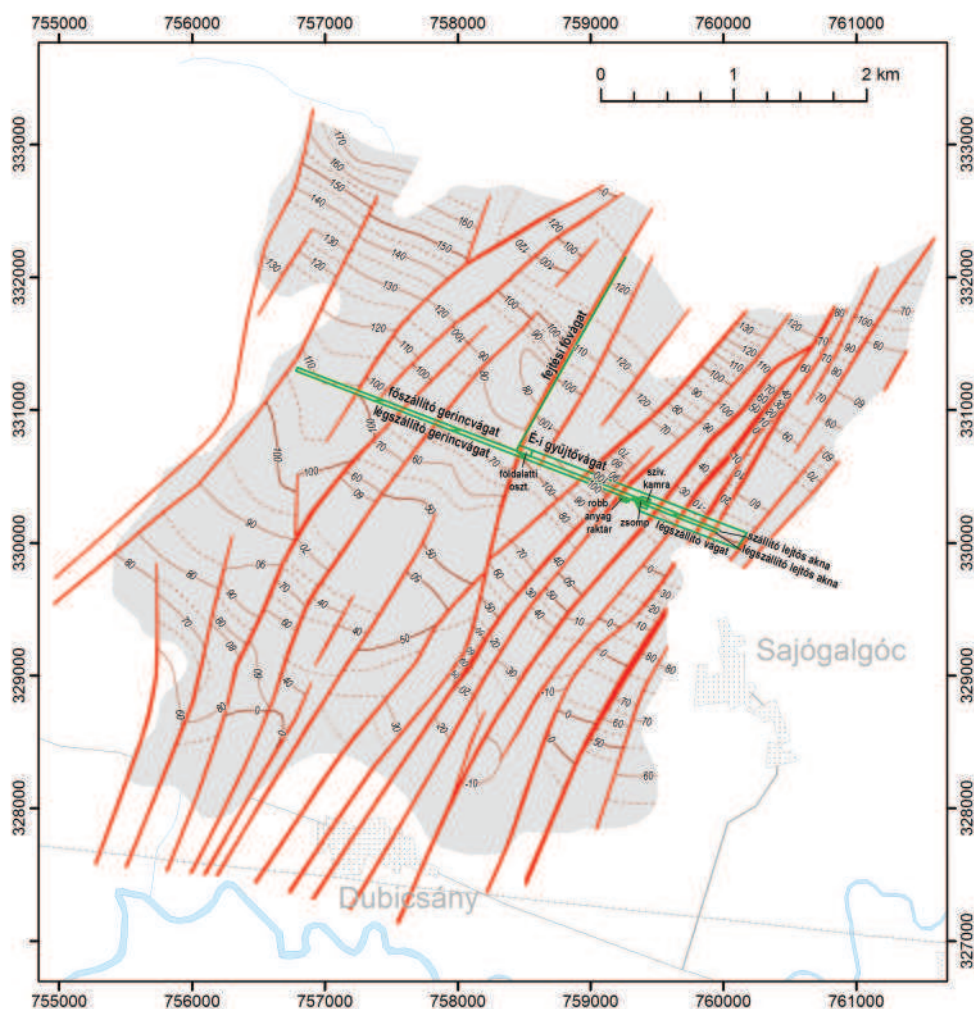


4.4. ábra. A Kelet-Borsodi V. telep elterjedése, települési mélysége és szerkezeti viszonyai a dubicsányi területen (GAÁL NÉ et al. 1987)



4.5. ábra. A dubicsányi lejtőszakna földtani szelvénye (GAÁL NÉ *et al.* 1987)

A szelvény nyomvonalát l. a 4.1 ábrán. Jelmagyarázat Eggenburgi: 1. tufás kavics, Kárpáti: 2. agyag, homokos agyag, 3. homok, agyagos homok, szarmata-pannóniai 4. tufahomok, 5. lapillós andezittufa, 6. agyagos homok, 7. tufás, homokos agyag 8. kavics, 9. agyagos homok, pleisztocén 10. kavicsos homok, Sg=Sajóalgód



4.6. ábra. A dubicsányi terület fő feltárási terve

A működés későbbi szakaszában, az egy időben nyitva tartott vágathossz, a telepített munkahelyek száma és a szellőztetés optimalizálása, illetve stabilizálása, szükségessé teszi a lejtős aknákkal ellentétes oldalon a bányatelek Ny-i szélén egy szellőztetés céljára szolgáló kis átmérőjű akna, vagy egy nagy átmérőjű fúrólyuk létesítését. A lejtős aknák korábban már lemélyítésre kerültek, de a közben eltelt idő és az azóta bevezetésre került technológiák miatt újjahajtásuk szükséges. A lejtős aknák tengelyvonalában kerülhetnek kihajtásra a fő feltárási vágatok.

A feltárás és az előkészítés kellő párhuzamosítása miatt, az északi mező középső részén, az ott található kb. 20 m elvetési magasságú vetővel párhuzamosan célszerű egy vágatot hajtani, ami É–I. és É–II. mezőrészekre osztaná a területet.

A lejtős aknák alatt létesülhet a bánya fő vízmentesítő telepe, a fő transzformátorállomás, a robbantóanyag-raktár, a TH-hengerlő, a tűz- és vízvédelmi raktár és a föld alatti szerszámraktár. Környezetvédelmi okokból meggondolandó, hogy a föld alatt kerüljön kialakításra egy előosztályozó mű is.

A feltárás a lejtős aknák hajtásával, a termelés a D–I. (esetleg É–I.) mező lefejtésével kezdődhet. Fontos, hogy a fejtések dőlésben vagy áldőlésben felfelé haladjanak, ugyanis még a gondos előzetes víztelenítés után is marad víz helyenként a fedőben. Dőlésben vagy áldőlésben lefelé haladó fronthomlokokon a víz összegyűlne, az előrehaladási sebesség és a termelés csökkenne, esetleg a fejtési teljesen ellehetetlenülne.

A homlokok dőlésben vagy áldőlésben felfelé való vezetése megkívánja, hogy a fejtések észak–északkelet felé haladjanak. A hazai gyakorlatban szokásos „hazafelé haladó” fejtések kialakítása szükségessé teszi, hogy az É–I. és É–II. mezők feltárására, a fő szállítópályából mezőbeli szállítópályát, a fő légvágatból mezőbeli légvágatot hajtssanak ki északi irányban, és ezek a vágatok az északi mezők északi pereme mentén is folytatódjanak. (Az É-i mezőket lényegében körbe kell keríteni.)

A lejtős aknák építésének megkezdésétől az első fejtés termelésbe lépéséig ~4,5 évre van szükség. A kívánt évi kapacitását (1,54 millió tonna) a 6. évben érheti el az üzem. A bánya várható teljes élettartama a tervben szereplő kapacitások mellett ~37 évre tehető.

### *Aknaelepítés, vágathajtás*

Az aknák helyének kijelölésénél figyelembe kell venni az optimális aknaelepítés szabályait, mint az ásványvagyonhoz történő legrövidebb hozzáférés, a szállítási súlypont, a veszteségek minimalizálása, valamint a külszíni viszonyok, mint a domborzat, a települések elhelyezkedése, a külszínen meglévő létesítmények, az úthálózat és infrastruktúra bekapcsolhatósága, a környezet- és természetvédelem szempontjai. Ezek figyelembe vételével gyakorlatilag a bányatelek K-i határvonala mellől indulhat a lejtős aknapár a legkevesebb ásványvagyon lekötésével (ZAMBÓ 1985). Itt kerülhet kialakításra a bányaiüzem udvara is az összes külszíni létesítménnyel együtt.

A lejtős aknák a felső 15 m-es szakaszon szintes kialakításúak, majd folyamatos átmenettel 200‰ dőléssel kerülnek kihajtásra. Hosszuk a szállító lejtősakna esetén 620 m (1. sz. vágat); lég lejtősakna esetén 630 m (2. vágat). Szelvényméretük Ø4500 mm-es kör. A biztosítás 25 kg/fm tömegű TH, melynek beépítési sűrűsége 0,5 m. Gyenge megtartású rétegeken történő áthaladáskor a biztosítógyűrűk beépítési távolságát csökkenteni kell. A 4 elemű, 25 kg/fm tömegű kör szelvényű TH-biztosításhoz 5×5-ös lyukméretű rácsbéléssel kerülne beépítésre mint alapbiztosítás. A végleges biztosításhoz erősebb rácsbéléssel lőtt beton kerülne felhordásra több rétegben, 25 cm vastagságban.

A szállító lejtős akna fő funkciói: a termelvény szállítása, személyszállítás, függő sínes szervíz pálya helye, személyközlekedés, kihúzó légáram vezetése, sűrített levegős hálózat vezetése, tartalék víztelenítő hálózat vezetése, tűzivíz hálózat betáp. vezetékek vezetése, 6 kV-os betáp. kábelek vezetése, jelző, riasztó és hírközlő kábelek vezetése. A lég lejtős akna fő funkciói a behúzó légáram vezetése, anyag beadási fő útvonal, menekülő járat, 6 kV-os betáp. kábelek vezetése, víztelenítő hálózat vezetése.

Célszerű a TH-val biztosított régi aknát újrainyitni, és amennyiben állapota megengedi, víztelenítési, vízszint-süllyesztési célokra igénybe venni az új lejtős aknák kihajtásánál.

A mélység, a várható nyomásviszonyok és a kőzetek szilárdsági paraméterei miatt, a térségi bányászati tapasztalatok figyelembevételével, az alapvágatokat a 3–6 MPa egyirányú nyomószilárdságú mélyfeküben célszerű kihajtani, ugyanis a telep alatt átlagosan 15 m mélységben nagy vastagságban aleurit, tufás és agyagos homokrétegek találhatók. Ebben a mélységtartományban a szilárdsági értékek viszonylag kedvezőek, és nem mutatnak nagy szórást.

A fejtési kísérő vágatokat a széntelepben ~30 cm-es „szénbőrke” elhagyásával célszerű kihajtani. Ez a fennmaradó szénréteg elegendő arra, hogy a fejtés jövesztett utcájában a nyitott fűte ne szakadjon meg a biztosítás beépítéséig (pajzsos fronton a pajzsok belépéséig, egyedi támasz fejtésben a soron következő utca gerendáinak beépítéséig). Vágathajtáskor is hasonló szerepe van a fennhagyott szénrétegnek, hiszen a szén felső rétegének nyomószilárdsága 10–21 MPa, míg a közvetlen fedő képződményeké csupán 2–8 MPa. A fejtési kísérő vágatok állékonysága szempontjából is kívánatos a szénréteg fent hagyása, még akkor is, ha a tervezett szelvényméret miatt a vágat alsó része netán fekvő kőzetbe kerül, és a fent hagyott szén az omladékban potenciális tűzveszélyt jelent.

Az alapvágatokat, fő gerincvágatokat és kiszolgáló bányatérsegek esetében Ø4500 mm-es, 4 elemű, 25 kg/fm tömegű kör-szelvényű TH-biztosítás kerülne beépítésre 5×5-ös lyukméretű rácsbéléssel mint alapbiztosítás, (fogás mélység 1,0 m egy pótszerkezettel), majd a végleges biztosításhoz egy a már beépítettél erősebb, a TH-belső oldalára erősített rácsbéléssel lőtt beton kerülne felhordásra több rétegben, 25 cm összvastagságban. Fejtéskísérő és egyéb vágatok esetében Ø3500, illetve Ø4000 mm-es 25 kg/fm tömegű TH-körszelvényű biztosítás alkalmazandó zárt deszkabéléssel. Az alsó ív mentén erősen hézagos bélelés építendő be. Fogásmélység 1,0 m 1 db pótbiztosítással (szerkezetárvolság 0,5 m). A különleges méretű bányatérsegek esetében (rakodó, föld alatti osztályozó, transzformátorkamra, szivattyútelep, mozdonyszín, robbantóanyag-raktár) és a nagyobb vágatkeresztmetszések környezetében közethorgonyos és közetszilárdító injektálásos megerősítés válhat szükségessé.

**4.1. táblázat.** Dubicsány vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve) a beruházási időszakban

Beruházási vágathajtás	TH	TH+beton	Összesen
Alapvágatok	170	250	420
Egyéb vágatok	50	30	80
Összes vágathajtás (fm/év)	220	280	500

**4.2. táblázat.** Dubicsány évi vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve)

	Szén	Meddő	Összesen
Üzemi vágathajtás	3300	300	3600
Beruházási vágathajtás	-	500	500
Fenntartás	500	100	600
Összes vágathajtás (fm/év)	3800	900	4700

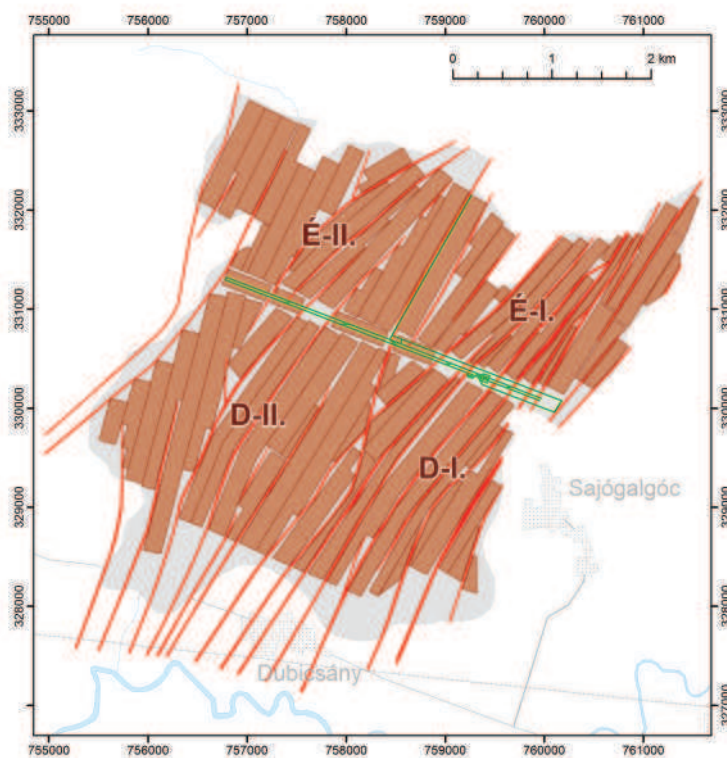
A körszelvényű vágatok kihajtása egy lépésben kell, hogy történjen, az ellenív utólagos beépítése nem célszerű. A kihajtás vágathajtó gépekkel történhet. A fúrás-robbantásos jóvestést lehetőség szerint kerülni kell a vékony és kemény fedőréteg miatt. A beruházás első időszakában jelentkező vágathajtási igényeket a 4.1. táblázat, a folyamatos termeléshez szükséges és a bővítési lehetőségeket is tartalmazó átlagos évi vágathajtási igényeket a 4.2. táblázat tartalmazza.

A felfutási (tisztán beruházási) időszakot követően, a további feltárásokhoz szükséges vágatok kihajtását öt komplex vágathajtó csapat tudja elvégezni.

### *Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon*

A külszíni fúrások részletes feldolgozása után kialakított elsődleges tektonika alapján, a fő feltárás rögzítését követően, megtervezésre kerültek a fejtési idomok. Az idomok kialakításánál elsődleges, hogy az alkalmazandó technika illeszthető legyen a tektonikához, ugyanakkor minél teljesebb kihozatal legyen elérhető. Az alkalmazandó technika ezért a telepadoottságok alapján került meghatározásra (DARLING 2011).

A fejtési idomok általánosságban ÉK–DNy irányúak, a nagyobb vetőszávok közé illesztettek (4.7. ábra). Szerencsés, hogy a mikrotektonika rendszerint közel azonos a nagyvetők irányával. A fejtések iránya dőlésben vagy áldőlésben felfelé haladó.

**4.7. ábra.** A dubicsányi terület V. telepének fejtési terve a fejtési idomokkal

Az előzőekben ismertetett megfontolások miatt komplex gépesítésű frontfejtések [F] (pajzsos biztosítás, maróhengeres jövesztés) és rövidebb homlokhosszúságú egyedi támos fejtések [P] kerülnek kialakításra. A telepvastagsághoz igazodóan a komplex frontok esetében 3,5 m és 2,5 m vastagsággal számolhatunk.

A komplex frontok esetében a technika 2,5, illetve 3,5 m átlagos telepvastagság művelésére alkalmas hidraulikus pajzsokhoz illeszkedik. A jövesztés távirányítható maróhengerrel történik. A pászták fejtési átlagvastagsága 2,2 m, az alkalmazott technika alapját egyedi könnyűfém támos jelentik acélsüveg gerendákkal, szélesebb homlok esetén esetleg egytárcsás kisméretű maróhengerrel.

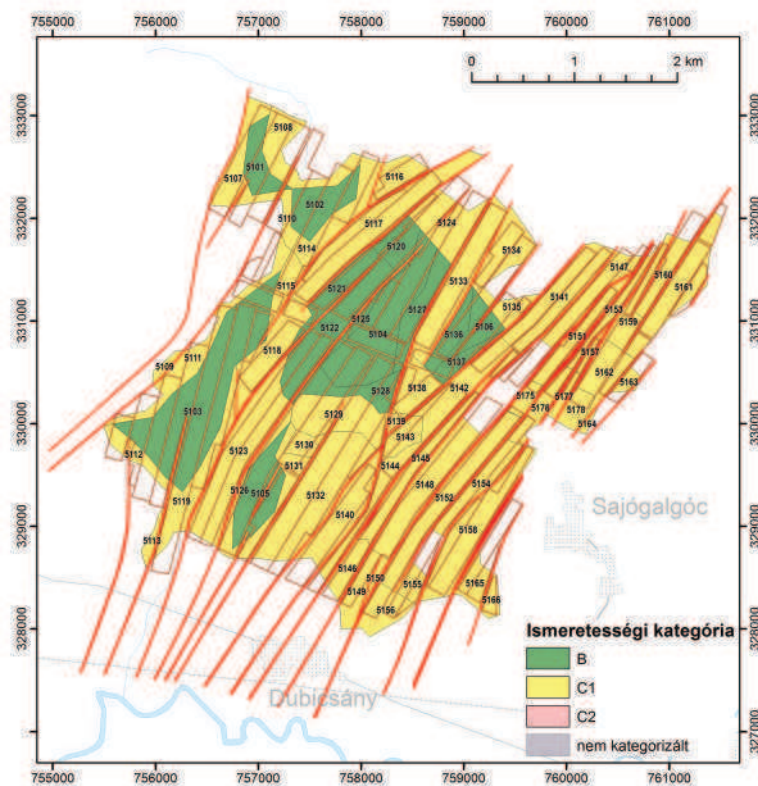
A fejtési homlokhosszak a komplex frontok esetében a lehetőségek függvényében 80–180 m között váltakoznak. A pászták homlokhossza az egyedi támos miatt rugalmasan változtatható, különösen ott, ahol a jövesztés fúrás-robbantásos technológiával történik.

A fejtések kifizetési hossza nagy szórást mutat a tektonika, a feltárási rendszer, a kivékonyságok és a határpillérek függvényében. A törekvés a komplex frontok esetében az ezer méter körüli kifizetési lehetőség. A nagyobb kifizetési hosszak, még ha azt a tektonika lehetővé is teszi, magában hordozzák a vágatok fenntarthatóságának problémáját. Mintegy 3–4 m/nap fejtési sebesség mellett is a fejtési vágatoknak akár három évig is állniuk kell. Pásztafejtések esetében 1,5 m/nap a tervezett sebesség, jóllehet ott a kifizetési hosszak lényegesen rövidebbek.

Mindegyik fejtéstípus esetében omlasztásos módszer alkalmazandó. Semmi sem indokolja tömedékelés alkalmazását. Az omlasztás induló fejtés esetében több méter előrehaladás után indul meg, majd folyamatosan zajlik a fejtés haladásával szinkronban. Tekintettel a széntelep és kísérő kőzeteinek szilárdságára (a szénnél lágyabbak a kísérő kőzetek) és a hasonló településű szenes előfordulások omlasztathatósági tapasztalataira, csak egyszeteles művelés alkalmazható. A többszeteles művelés nem jöhet szóba még akkor sem, ha a telepvastagság helyenként meg is engedné azt. Ehhez az elvhez illeszkedik a pajzsok művelési tartományának kiválasztása is. Állékonysági okok miatt, a széntelep legfelső részén 20–50 cm vastag szénbőrke marad fent (elváló lap mentén). Az így omladékba kerülő szén az öngyulladás folyamat potenciális veszélyforrása, ezért is kívánatos a megfelelő fejtési sebesség tartása.

Az egyes fejtési idomok között kőzetmechanikai és tűzvédelmi megfontolások miatt 5 m pillér ad megfelelő biztonságot. Az alapvágatokra minimum 50 m pillért kell hagyni, mely elegendő biztonságot nyújt az áthárított feszültség elviseléséhez. A fejtési kísérő vágatok kihajtásával egy időben meg kell kezdeni a fejtési terület bányabeli víztelenítését is, aminek időtartama szoros összefüggésben van a fejtési idom méretével, különösen a homlokszélességgel.

A tényleges kitermelhető vagyon a tektonika ismeretében megtervezett fejtési idomok alapterületének, a tervezett fejtési vastagságnak és a laboratóriumi mérések alapján számított átlagsűrűségnek a szorzata (4.8. ábra).



4.8. ábra. A dubicsányi terület V. telepének készletszámítási tömbjei és fejtési idomai  
A készletszámítási tömbökben a tömbök nyilvántartási azonosítója látható

Az indító beruházások elkészülése után a termelés felfutását követően az éves termelés várhatóan 1,540 ezer t lehet. Ez a kapacitás két komplex front (~640 ezer t/év/db), egy pásztafejtés (~140 ezer t/év/db) és öt elővájás egyidejű működtetésével lehetséges. Az első ilyen kapacitású év a hatodik lehet. A bánya várható termelési volumene vágathajtásból ~3,6 Mt, fejtésből ~46,4 Mt, mindösszesen ~50,0 Mt. (Összehasonlításul a korábbi nyilvántartások a földtani vagyont 92 760 ezer t-ra, míg a kitermelhető vagyont 52 937 ezer t-ra kalkulálták.)

### *Vízmentesítés*

A terület hidrogeológiai kutatása során 17 db hidrogeológiai alapfúrás és 12 db segédkút mélyült. A fúrásokkal az összes olyan fekvő és fedő oldali víztartó képződményt vizsgálták, melynek hatása lehet a bányaművelésre.

Az V. telepi bányaműveletekre a fedő oldali vízadó rétegek jelentik a legnagyobb veszélyt. Elterjedésük gyakorlatilag megegyezik a széntelep elterjedésével, vastagságuk nagy, a telep és a vízadó rétegek közé települt védő réteg vastagsága nem elegendő a bányászati műveletek megvédéséhez, így vízszintsüllyesztés szükséges. Az ottnangi víztartó rétegek közül a bányászatra közvetlenül az V. telep felett lokálisan kifejlődött homokösszlet jelent veszélyt. A homokréteg átlagos vastagsága meghaladja a 30 m-t. Ez alatt a homokösszlet alatt 8–11 m vastag homokos, agyagos aleurit van. A homokréteg alsó egyharmadában átlag 3,5 m vastagságú aleurit-, homokkő-, aleuritos homokpad-betelepülés található, ami két padra osztja a homokréteget. Ennek ellenére ez a rétegsor egy hidraulikai rendszert alkot. Az összlet rétegvízének feszültségmentesítése és részleges lecsapolása előfeltétele a biztonságos bányaművelésnek. A vetők ugyan többnyire vízzáróak, de a bányászati műveletek hatására a különböző vízadó rétegek kapcsolatba kerülhetnek egymással.

Mivel a nyugalmi vízszint 160–170 m Bf. körüli, ami az V. telep főtesszintjére vonatkoztatva 5–15 bar nyomást jelent, számítható a tárolt víz mennyisége a szivárgási tényező ismeretében. Ennek a mintegy 58 millió m<sup>3</sup> víznek a csapolása időben elhúzódó, így a mindenkor bányaműveletekhez igazodónak kell lennie. A preventív és aktív vízmentesítés külszíni és bányabeli kutakon, fúrásokon keresztül történhet. A külszíni csapoló kutak telepítését úgy kell ütemezni, hogy a széntelepen történő vágathajtás feszültségmentesített területen történjen. A külszíni víztelenítés hatására a feszültségmentesítés 1–2 év alatt részben végbemegy. A bányabeli előfúrások és csapoló fúrások tovább csökkentik a fejtési mező vízveszélyességét. A bányabeli vízszint süllyesztése két fázisban valósítható meg: (1) a feltárás időszakában főtecsapoló fúrásokkal, illetve (2) a fejtések előkészítése időszakában ún. bevert szűrőkkel.

A hidraulikai számítások a maximális csapolt vízmennyiséget mezőnként 5 és 7 m<sup>3</sup>/perc közé teszik, amiből a külszíni víztelenítés hozzávetőlegesen az összes mennyiség 25–35%-a. A bányaműveletek egy időben maximum két mezőben folynak, ezt az emelt vízmennyiség számításánál figyelembe kell venni. A beépítendő szivattyúkapacitásnak (esetleges vízbetörésre való tekintettel) legalább 15 m<sup>3</sup>/perc-nek kell lennie. A szükséges zsomptérfogat is az előzőek ismeretében határozható meg, ami összesen ~6800 m<sup>3</sup>. Ez egy Ø6 m átmérőjű kör szelvényű vágattal számolva mintegy 240 m hosszú vágatszakszt jelent.

A víztelenítés során kiemelt víz, a bányavízről elkülönítve, zárt rendszerben gyűjtve és kezelve, alkalmas a szén vegyipari feldolgozásához szükséges vízigény kielégítésére. A fennmaradó vízmennyiség a környező felszíni vízfolyásokba vezethető.

A földtani kutatás során a fúrások nem hatoltak be a paleogén aljzatba, jelentős számban az ottnangi széntelepes összletben, az V. és Va telep fekvésében álltak le, így nem zárhatjuk ki a fekvőoldali veszélyt sem.

A vizsgált területen a felszín alatti víz a Bükk, Borsodi-dombság–Sajó-vízgyűjtő hegyvidéki víztestéhez tartozik. Az Aggteleki-hegység karsztos vízteste a bányatelektől kb. 1200 m-re, északi irányban található. A területen nincs ivóvíz-, gyógyvíz-, ill. ásványvíztermelő kút, illetve vízbázis. A terület szűkebb környezetében a vízellátási célú vízkivétel a mélyebb rétegekből nem jellemző, a térségben a környező nagyobb települések vízellátása főként a folyók (elsősorban a Sajó) alluviumából, illetve kisebb részben karsztos vízadókából történik. A legközelebbi vízbázis (Sajóivánka) védőterülete mintegy 2500 m-re található a bányatelektől.

### *Szellőztetés*

A bányauzemben a bányaeépítési és felfutási időszakban, a telepített létszám fokozatosan növekszik, tehát a kezdeti időszakban kisebb légmennyiségre van szükség, mint a termelés teljes felfutását követően.

A bánya fő szellőztetése két lépcsőben alakítható ki. A bányaeépítési szakaszban a fő szellőztetőgép a szállító lejtős akna szájához telepítendő. Ekkor a bánya szellőztetés szempontjából centrális jellegű. Stabillabb üzemű diagonálissá akkor válik, amikor a teljes hosszban kihajtott alapvágatpár utolsó harántvágatához köthetően elkészül – a kizárólag szellőztetés céljára szolgáló – nagy átmérőjű fúrólyuk vagy akna. Ekkor kialakításra kerülhet a végleges fő szellőztetési rendszer. A légakna vagy fúrólyuk szájához kiépített depressziós házba, ~200 m<sup>3</sup>/s légmennyiség szállítására alkalmas axiális szellőztető ventilátor kerül beépítésre. (Ennek 100%-os tartalékát is biztosítani kell.) A szállított légmennyiségnek és a depresszióknak változtathatónak kell lenni a mindenkor optimális munkapont elérése érdekében.

A beépített fő szellőztetők segítségével azok szívó üzemmódban járatásával a bánya szívott jellegű lesz. Kerülendő a

nyomó üzemmód, mert ekkor a bányatérsegek túlnyomósággá válnak, ami egy esetleges főszellőztető-leállás esetén potenciális veszélyforrás jelentene a felszabaduló gázok miatt. Természetesen szénbányában a tűzveszély miatt a fő szellőztetésnek megfordíthatónak kell lennie, ezért a beépítésnél a kialakításnak olyannak kell lenni, ami ezt a kívánalmat is tudja. A tartalék ventilátoron kívül újabb tartalékot jelent (bár nem 100%-os kapacitással) a lejtőszakna-szájhoz a bányaeépítés időszakában kiépített szellőztetőgép-csoport is, ami havária esetén a meneküléshez kellő légmennyiséget biztosíthat.

Alaphelyzetben az előzőekben leírt szellőztetési mód esetén a szellőztető fűrólyukban a légáram a bányából kihúzó, míg a lejtős aknáknak behúzóvá válnak. A harántokon kisebb lesz a depresszió, így a légajtók nyitásakor (pl. szállítás alkalmával) kisebb lesz a légszökés és az abból eredő szellőztetési ingadozás is. A behúzó aknáknak lefagyás elleni fűtéséről – téli időszakban – gondoskodni kell.

Az elővázások szükséges szellőztetési kapacitását a szelvényméretek és az Általános Bányászati Biztonsági Szabályzat (ÁBBSZ) szellőztetési normái alapján kell meghatározni. A ventilátorokat sorba kapcsolva kell szerelni, egy csoportba legfeljebb 3 db csőventilátor építhető. Az elővázások szellőztetésénél a normál fűvő, illetve szívó üzemi szellőztetés mellett ún. kombinált szellőztetés is alkalmazható.

A szellőztetés tervezésénél a fenti alapelvek irányadóul szolgálhatnak, amit a bányabeli körülmények (pl. felszabaduló gázok mennyisége és összetétele, alkalmazott géptípusok, valamint a klimatikus viszonyok) befolyásolhatnak.

### *Külszíni létesítmények és a felszín érintettsége*

Dubicsány komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálata (PÜSPÖKI, GYURICZA szerk. 2014) részletesen tárgyalja a közúti és alsóbb rendű utak, valamint a vasúti hálózat állapotát, azok hozzáférési lehetőségét és a közlekedésre és szállításra vonatkozó fontosabb jogi szabályzásokat. A 30 évvel ezelőtti beruházás kapcsán elkészült ideiglenes irodaház, öltöző és fürdő, valamint a véglegesnek gondolt műhelycsarnok, a kompresszorház és az aknaudvar kialakítása nem felel meg egy 21. századi üzem követelményeinek, így a teljes külszíni infrastruktúrát újjá kell építeni.

A dubicsányi területet villamosenergia-átviteli hálózat nem keresztezi. A térség fő elosztó központja *Sajószögéd*. Az innen kiinduló elektromos vezetékhálózat látja el elektromos energiával az egész Borsodi-medencét. Két feszültségszint is jelen van a térségben. A 400 kV-os átviteli hálózat Sajószögédre indul, és a Borsodi-szénmedence keleti szélétől 5 km-re, azzal párhuzamosan fut ÉÉNy-i irányba. Sajószentpétertől nyugatra mintegy 1,5 km-re halad el, és a bányatelektől keletre, mintegy 6,5 km-re végződik, Sajóivánka térségében. A 120 kV-os elosztó hálózat Miskolc, illetve Eger felől érkező vezetékei gyakorlatilag a Borsodi-szénmedence egész területét behálózzák.

A bányaiüzem kétoldali betáplálása biztosított lehet, így az áramellátás biztonságosan megoldható. A *Tiszaújváros (erőmű)–Felsőzsolca–Kazincbarcika (Sajóivánka)–Putnok–Ózd* vezeték Kazincbarcikát délről megkerülve halad Ózd felé, a bányatelek déli részét néhány száz méterre megközelítve. A *Lőrinci (erőmű)–(Borsodnád)–Ózd* vezeték délnyugat felől érkezik, Ózdot észak felé kerüli meg, és becsatlakozik a Putnok felől érkező vezetékbe. A *(Mezőkövesd)–Eger–Borsodnád–Ózd* vezeték szintén délnyugat felől halad északkeleti irányba. Dél felől kerüli meg Ózdot, és keleti irányba halad, Kazincbarcika felé. A *(Sajóivánka)–Diósgyőr* vezeték Kazincbarcika mellett fut délkeleti irányba, Miskolc nyugati zónája irányába. Főbb alközpontok, a térségben: Felsőzsolca (400/220/132/20 kV-os), Sajóivánka (400/120/35/20 kV-os), Sajószögéd (400/220/132 kV-os), Borsodnád (120/35/20).

Az ivóvízellátás a sajógalgóci gerincről, vagy a bányából elkülönítetten emelt vízből oldható meg. Célszerű a bányából kiemelt vizet – szükség esetén tisztítás után – kommunális célra felhasználni, mellyel jelentősen csökkenhet a vásárolt víz mennyisége. Ugyanezt a vizet hőszivattyúk segítségével saját hőtermelésre is lehet fordítani. A fel nem használt bányavíz a természetes vízfolyásokba juttatható (PÜSPÖKI, GYURICZA szerk. 2014).

A saját üzemi létesítmények két üzemudvart, és egy meddő tároló depóteret jelentenek. A lejtős aknáknak szájánál kerülne kialakításra a fő telephely (1. számú), a terület nyugati részénél lemélyítendő nagy átmérőjű fűrólyuk külszíni pontja környezetében lenne a második (2. számú) telephely, és a Sajógalgóc Sg–28, illetve Sg–45 jelű fűrólyukak közelében a Várvölgy lejtőszakna melletti Ny-i mellékvölgyben kerülne kialakításra a meddő depónia (a 3. telephely).

Az 1. telephelyen kerül kialakításra a lejtős aknáknak fedett háza, a termelvényt fogadó bunkerek, javító, karbantartó létesítmények, részben fedett anyagtároló depónia, transzformátorállomás, kompresszortelep, kazánház, öltöző, fürdő-épület, lámpakamra, diszpécserközpont, irodaépület, központi parkoló, belső út- és vasúthálózat, közműlétesítmények, őrzésvédelmi létesítmények. A 2. telephelyen létesül a fő szellőztetőgépház, a kompresszortelep, trafóállomás és további őrzésvédelmi létesítmények. A 3. telephelyen készül el a fogadó létesítmény, felhordó és teregető szalag, valamint őrzésvédelmi létesítmények. A meddőt fogadó helyet úgy kell kijelölni, hogy maximális befogadóképessége a feltárás időszakában 600 t/nap legyen. A depóteret a jogszabályi követelményeknek megfelelően kell kialakítani, amit már a kihordás időszakában kezelni kell, részleges rekultiváció végrehajtásával.

A földtani adottságok alapján a termelés a telep északi részén 120–230 m, a déli mezőben 200–300 m mélységben történik majd. A fejtési vastagság várhatóan 2,5–3,5 m. A lefejtés következtében 2–3 m süllyedéssel lehet számolni. A föld alatti művelés határvonala Dubicsány és Sajógalgóc településektől olyan távolságra van kijelölve, hogy a belterületeket a bányaművelés hatásai ne ériék.

A Sajó és a Szuha-patak között helyezkedő terület vízfolyásai a Sajóba torkollanak. Ezek a Galgóczi-, illetve a Zsuponyó-patak, amelyek nem víztest kategóriájúak. További, névtelen vízfolyások is erednek a terület északkeleti határán, amelyek a Szuha-patak mellékvizei. Mivel a dőlésviszonyok nem változnak számottevően, lefolyástalan területek sem alakulnak ki. A területre nem esik sem víztest kategóriájú, sem kategórián kívüli állóvíz.

A későbbi viták elkerülése érdekében a bányaműveletek megkezdése előtt célszerű a bányatelek külszínén kőzetmozgásmérési vonalakat létesíteni. A mérési vonalaknak É–D és K–Ny irányúaknak kell lenni (irányonként legalább 2–2 db) és minden esetben a bányatelen kívülről, mozgásmentes helyről kell őket indítani. A prognosztizált külszíni mozgások alapján valószínű, hogy erdőgazdasági károk, úgymint fakidőlés, gyökérszakadás nem, vagy csak minimális mértékben keletkezhetnek.

A terület felett nincs beépített terület, így az épített környezetben kár nem keletkezhet. A saját üzemi létesítmények (két üzemudvar, üzemi út) megóvása érdekében védőpillért kell kijelölni.

### Foglalkoztatás

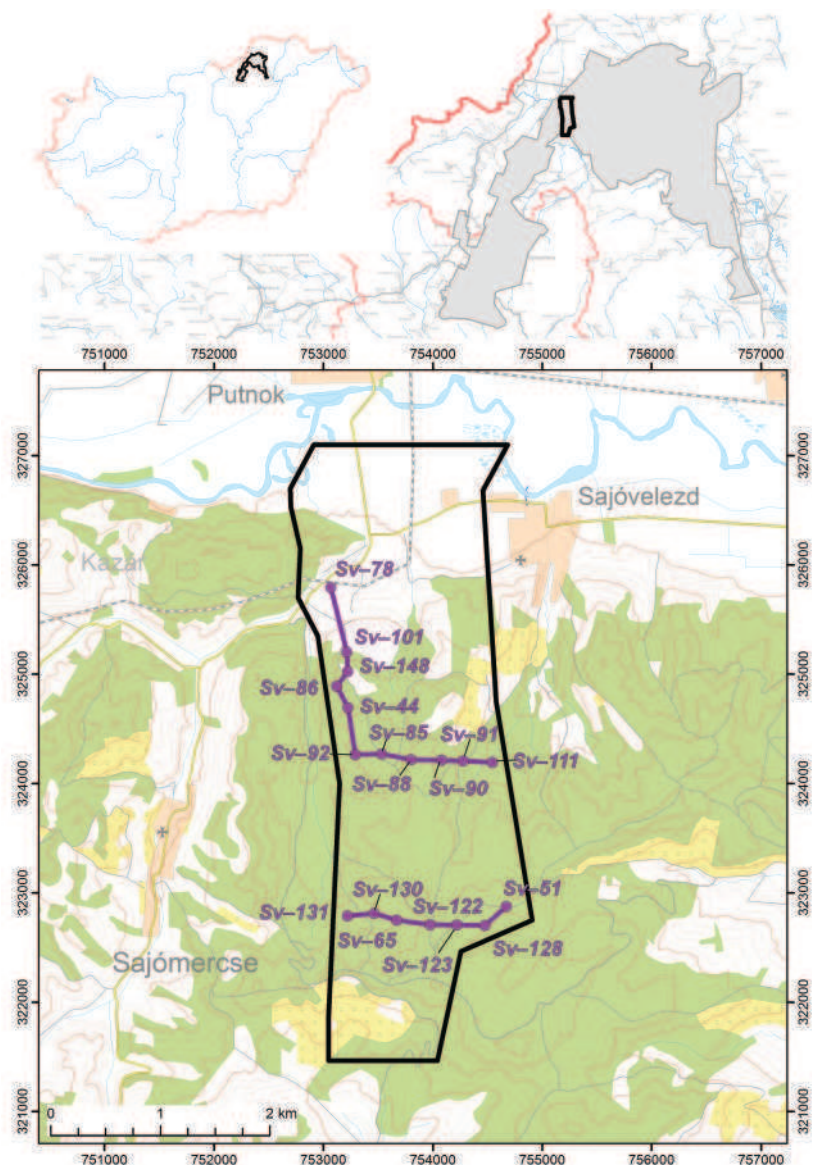
A működési szakaszban a termelés felfutását követően a teljes létszámgigény 902 fő. Ehhez adódik hozzá a kiszolgálói és beszállítói foglalkoztatott létszám.

## Sajómercse II. – Putnok bővítés

### Kutatástörténet

Sajómercse II. terület (4.9. ábra) az 1970-es és 1980-as években részletesen megkutatott előfordulás. Az előzetes fázisú kutatási zárójelentés (SZEPESSY, DEÁK 1977) alapján 1985-ig folytatódott a terület fúrásos megkutatása. A részletes kutatást kiegészítő hidrogeológiai vizsgálatok (JENEINÉ JAMBRİK 1985) a víztelepítés szükségességére és problémáira világítottak rá. A részletes kutatás során elért fúrássűrűség 8,8 fúrás/km<sup>2</sup>, a fúrások 300–400 m-es hálóban lefedik a teljes területet. Jóllehet az előzetes értékelések, teleptérképek és telepenkénti szerkezeti modellek megszülettek (JENEINÉ JAMBRİK 1985, SZEPESSY, SINYEI 1987) és egyidejűleg elkészültek a szénkőzettani alapvizsgálatok is (ELEK 1987), részletes kutatási zárójelentés és kapcsolódó készletszámítás nem készült, így a kutatási eredmények értékelése megkövetelte a kutatási dokumentáció teljes körű feldolgozását.

Az adatbázis építése MBFH–MFGI együttműködéshez kapcsolódóan, a Debreceni és Miskolci Egyetem részvételével zajlott 2012 és 2016 között. A feldolgozás lépései a következők voltak: (1) mélyfúrási naplók feldolgozása (szöveges állomány terjedelme – 91 fúrás 8338 réteg, mélyfúrási geofizikai görbék – 85 fúrás, 190 000 fm, MEO vizsgálati eredmények – 91 fúrás 3960 minta), (2) fúrások rétegtani értékelése (nagy felbontású



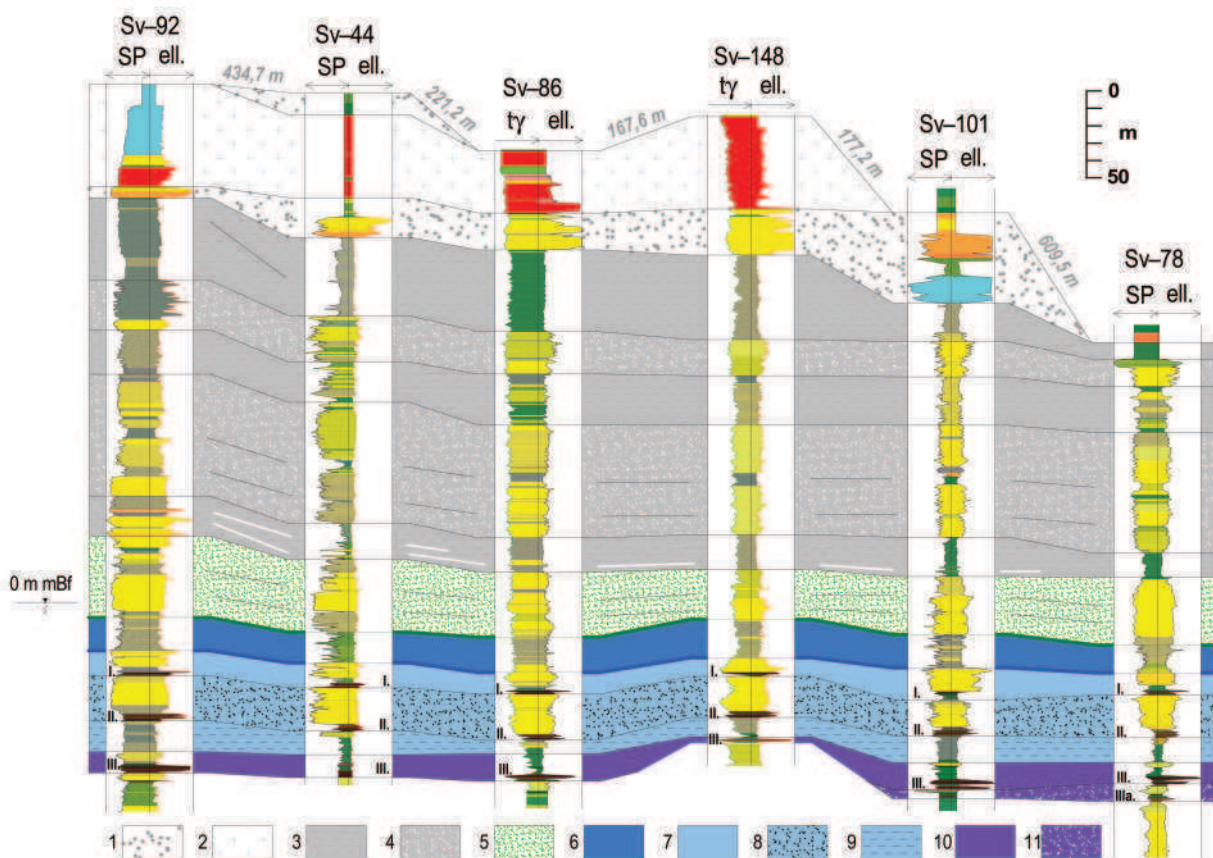
4.9. ábra. Sajómercse II. terület topográfiai térképe és a 4.10., 4.11., 4.13. ábrák nyomvonala és mélyfúrásai

karotázskorrelációk), (3) földtani szelvények szerkesztése, (4) telepenkénti vetőterképek szerkesztése, (5) teleptalp- és telepvastagság térképek szerkesztése, (6) készletszámítási térképek készítése – készletszámítás, (7) 3D modellépítés kutatölésítményeken azonosított kontroll pontok 3D környezetben történő együttes interpolációjával.

Időközben felmerült mezőcsatolás lehetősége Putnok bővítés (JUHÁSZ et al. 1984) irányába. Ennek vizsgálatához szükség volt Putnok bővítés teleptalp és vető térképeinek, valamint készletszámítási térképeinek digitalizálására. Ezt követte a teljes területre vonatkozó bányatervezés.

### Rétegtani adottságok, telepelterjedés

Sajómercse II. terület jellegzetes nyugat-borsodi előfordulás, amelyre a medence területére vonatkozó valamennyi megállapítás érvényes. Megtalálható mindhárom, a Nyugat-Borsodi medencére jellemző széntelep (I., II. és III.), melyek mindegyike egy-egy progradációs ciklus transzgressziós bázisképződményének tekinthető, még akkor is, ha a partközeli helyzet miatt a progradációs ciklus fölfelé durvuló szemcseméret-változásai nem mindenhol észlelhetők a területen (4.10. ábra).

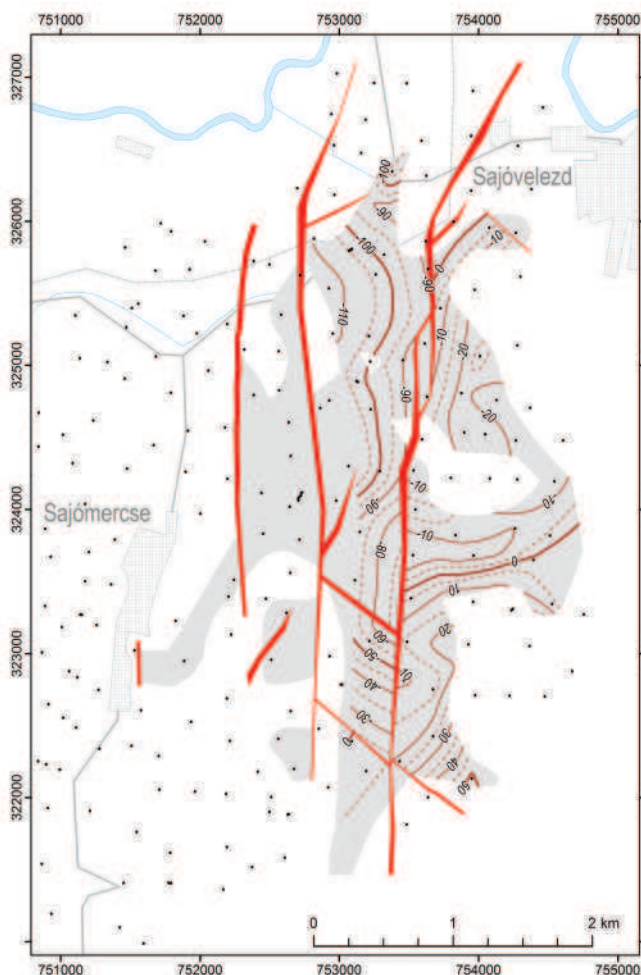
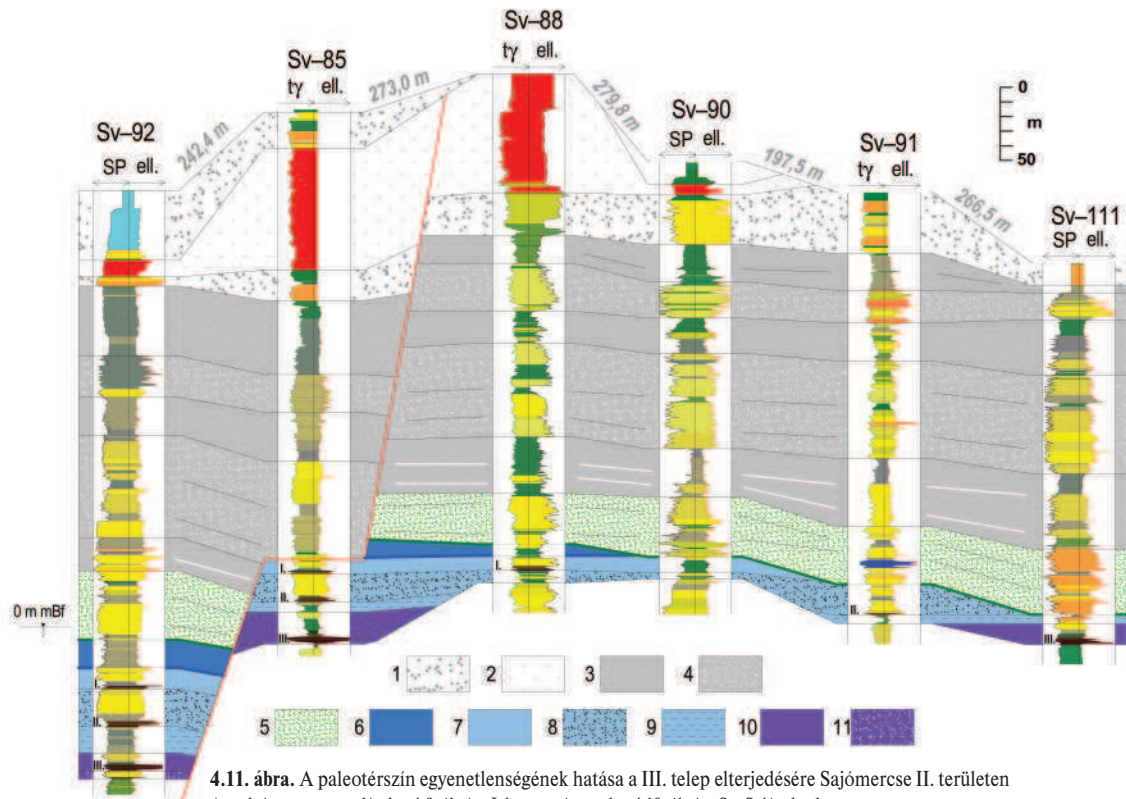


4.10. ábra. A nyugat-borsodi III., II. és I. telepeket beágyazó üledékciklusok megjelenése Sajómercse II. területen D–É-i csapású szelvényen

A szelvény nyomvonalát I. a 4.9. ábrán. Jelmagyarázat (PÜSPÖKI et al. 2017 és a 3.37. ábra alapján): 1. Sajóvölgyi Formáció, 2. Dubicsányi Andezit Formáció, 3. Bádeni Agyag Formáció agyagos kifejlődései, 4. Bádeni Agyag Formáció homokos kifejlődései, 5. SQ-5 FSST, 6. SQ-4 TST, 7. SQ-4 LST, 8. SQ-4 LST Nyugat-Borsodi II. - Kelet-Borsodi IV. telepet befoglaló üledékciklusa, 9. SQ-4 LST legalsó üledékciklusa, 10. „Oncophorás rétegek” felső paraszekvenciája 11. „Oncophorás rétegek” alsó paraszekvenciája, a fúrászelvényben: narancs = kavics, sárga = homok, szürke = aleurit, zöld = agyag, fekete v. barna = kőszén, kék = riolitufa, tufahomok, piros = andezit, andezit piroklasztikum, Sv=Sajóvelezd

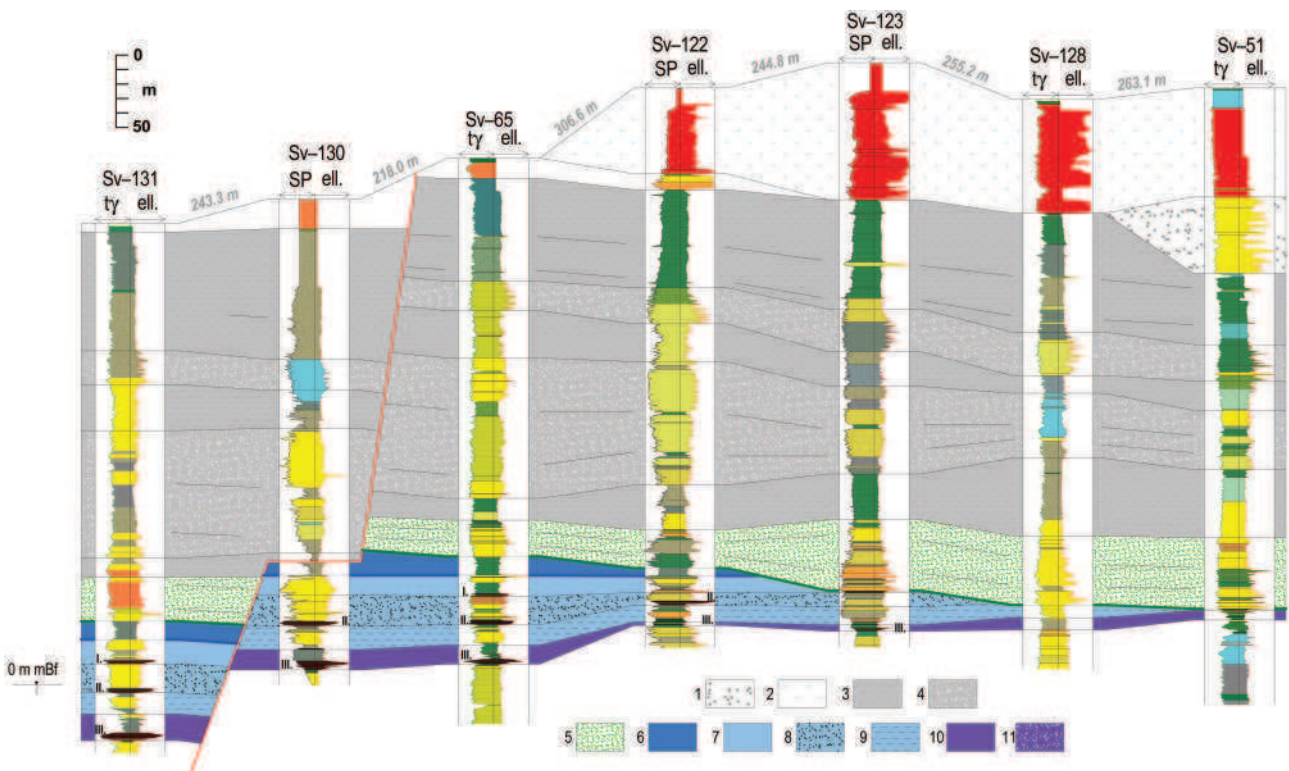
A regionális települési viszonyok alapján (4.2. ábra) a három progradáló ciklus egy transzgresszív üledékes rendszereztség retrogradáló paraszekvencia-sorozata. A területtel határos Darnó-vonal szerkezeti aktivitása mindhárom telep képződését, illetve megmaradását befolyásolta, ami meghatározta a telepelterjedés alakulását is. A legalsó ciklus és a benne található III. telep elterjedését a transzgresszió kezdete előtt kiemelt medenceperemi terület egyenetlenségei alakították (4.11., 4.12. ábra). A II. és I. telepek elterjedésének főként a telepképződés után, még a kárpáti korszakban vagy a badeni korszak kezdetén bekövetkező regionális lepusztulás szabott határt, a telepek jelentős részének erózióját eredményezve (4.13., 4.14., 4.15. ábra). A területen mindhárom telep művealónak tekinthető, jelentősebb vagyont a III. és II. telepek jelentenek, és típusos kifejlődésük jól jellemzi a terület bányaföldtani viszonyait.

A IIIa telep csak helyenként, foltokban fejlődött ki elsősorban ott, ahol a riolitufa az aljzatban nem jelentkezik. Kis vastagsága és alacsony fűtőértéke (~8000 kJ/kg-os égőpala) miatt ezzel a teleppel nem számol a vizsgálat.



A III. telep földtani vastagsága 0,8–6,2 m, amiből a tervezhető technika miatt 2,5–3,5 m vehető számba. A terület É-i részén a vastagság konzekvensen csökken. Átlagos fűtőértéke 13 500 kJ/kg-ra adódik. A széntelep egyirányú nyomószilárdsága az agyagos beágyazódások miatt rendkívül változatos (8–18 MPa). A közvetlen fekvő a transzgressziót megelőző egyenetlen paleotérszín földtani viszonyait tükrözi. Esetenként glaukonitos homokkő, jellemzően azonban szürke mállott agyagos tufa, illetve zöldesszürke riolittufa (1,2–9,2 MPa). A fedő a telepképződést előidéző transzgresszió erősödése következtében lerakódó aleurolit, szenes aleurolit (4–6 MPa) 20 m-t meghaladó vastagságban, felső harmadában helyenként átmeneti partelőnyomulásra utaló homokbetelepüléssel.

A II. telep földtani vastagsága 0,7–5,65 m, amiből a tervezhető technika és a vízveszély miatt a számba vehető vastagság 2,0–2,5 m. Az átlagos fűtőérték ebben a tartományban 12 000 kJ/kg-ra adódik. A széntelep egyirányú nyomószilárdsága (az I. telepével gyakorlatilag azonos) 12–24 MPa. A közvetlen fedő alig 1 m vastag aleurolit települése után közel 20 m vastag laza, vízdús szürke homokkő, homokos agyag (2–6 MPa), ami mind a főteállékonyság, mind a bányavízvédelem szempontjából különös figyelmet érdemel. A közvetlen fekvő 1,5–2 m vastag szürke agyag, agyagos aleurit (2–10 MPa). A II–III. telepek között 10–30 m agyag, agyagos homok, konglomerátum található jó vízvezető képességgel.

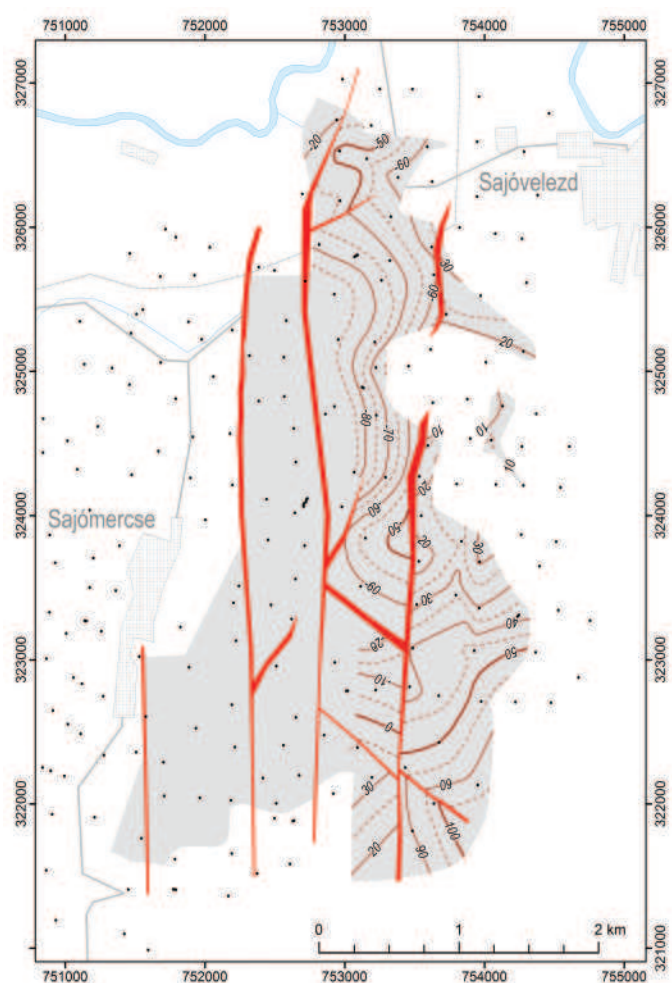


**4.13. ábra.** Utólagos erózió és szerkezeti mozgások hatása a telepes összlet kifejlődésére Sajómercse II. területen  
A szelvény nyomvonalát l. a 4.9. ábrán. Jelmagyarázatot d. a 4.10. ábrán, Sv=Sajóvelezd

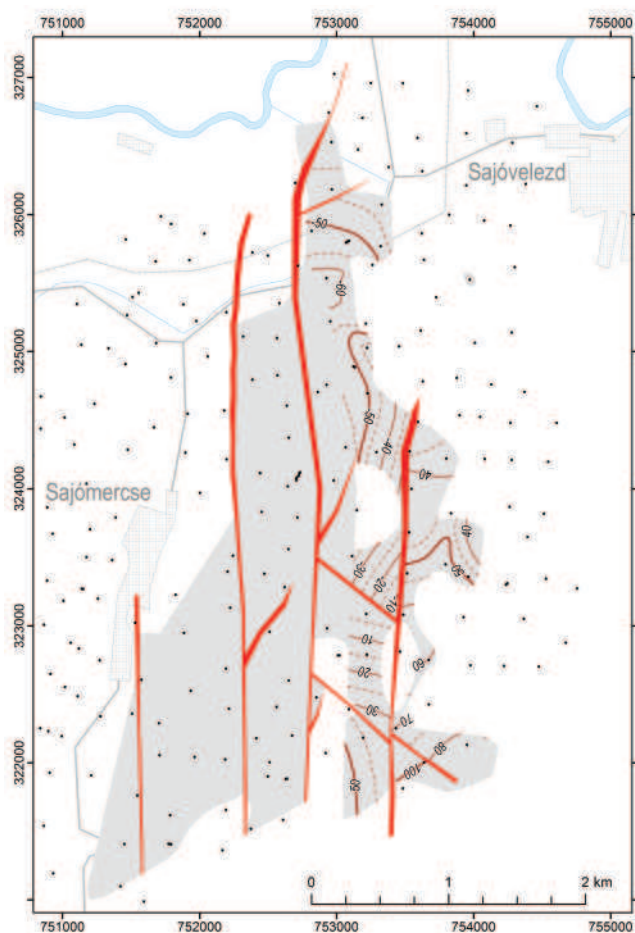
Az I. telep földtani vastagsága 0,85–2,45 m között változik, amiből a tervezett technika miatt a számba vehető vastagság 1,8–2,2 m. Az átlagos fűtőérték ebben a tartományban 12 650 kJ/kg-ra adódik. A szénteleg egyirányú nyomószilárdsága 12–24 MPa. A közvetlen fedő változó vastagságban (0–4 m) aleurolit, homokos aleurolit (2–6 MPa), mely fölött mintegy 10 m vastag laza, vízdús homokkő következik. Az I. telep fedő homokkőre figyelmet érdemel a főtebiztosítás és bányavízvédelmi megfontolások kialakításánál. A közvetlen fekvő legfeljebb 0,5–1 m vastagságú lagunáris aleurolit betelepülése után a II. telep laza fedő homokja (0–0,1 MPa), ami a nagy súrlódási szög miatt tömörödés után jó teherviselő lehet a fejtések talpán. Az I–II. telepek között 20–25 m vastag homokréteg található, mely közvetlen veszélyt jelentő víztározó.

#### Szerkezeti viszonyok

A fúrások között szerkesztett szelvények a telepes összletre jellemző igen kisfokú 2–4°-os dőlés általános jelenlétére engednek következtetni. Mivel a szerkezeti vonalak jelenlétére is csak a fúrásokból következtethetünk, haránt irányú szerkezetekkel nem számolva a dölések esetenként ennél nagyobbak (5–8°) is lehetnek. A haránt irányú szerkezetek jelenlétének kimutatása nem csak a dőlésviszonyok tisztázása, hanem a szer-



**4.14. ábra.** A Nyugat-Borsodi II. telep elterjedése, települési mélysége és szerkezeti viszonyai Sajómercse II. – Putnok bővítés területén (PÜSPÖKI szerk. 2017)



4.15. ábra. A Nyugat-Borsodi I. telep elterjedése, települési mélysége és szerkezeti viszonyai Sajómercsse II. – Putnok bővítés területén (PÜSPÖKI szerk. 2017)

kezeti vonalak és 15–20 m-es haránt irányú elvetések víztelenítésre gyakorolt hatásának tisztázása szempontjából is fontosak.

A kutatási terület szerkezeti viszonyait alapvetően határozza meg egy, a területet teljes hosszában kettészelő, közel észak–déli csapásirányú, a terület északi részén ÉÉK–DDNy-i csapásba váltó, nyugati dőlésű, normál vető. A vető jelenléte és jellege egyértelműen igazolható (1) az azonosított rétegeknek a vető két oldalán jelentkező magasságkülönbségből és (2) a vetőt harántoló 16 fúrás rétegsorában jelentkező réteghiányokból (például 4.13. ábra, Sajóvelezd Sv–130). A vető ugrómagasságának meghatározása és a vetőt harántoló fúrásban történő pontos jelölése a nagy felbontású karotázskorreláción alapult. A vető dőlését a putnoki bányászterületén nyert tapasztalatok alapján  $60^\circ$ -nak tekintettük.

A fő vető környezetében 3 fúrás (Sajóvelezd Sv–96, –104, –61) esetében észlelhető szerkezeti zavarok, legyszerűbben a normál vető mentén bekövetkezett balos eltolódás következményeként kialakuló virágszerkezetek, illetve kisméretű „pull-apart” szerkezetek jelenlétével magyarázhatók.

A „Putnok bővítés” irányába tervezett mezőkapcsolás feltétele a bányaterületeken térképezett szerkezeti elemek regionálisan egységes kezelése. Ez a fő szerkezeti vonalak tekintetében nagy biztonsággal megtehető (4.16. ábra). Az ábrán a dubicsányi terület (GAÁL NÉ *et al.* 1987) szerkezeti vonalai az V. telep (Nyugat-Borsodi III.) fedőjére, a

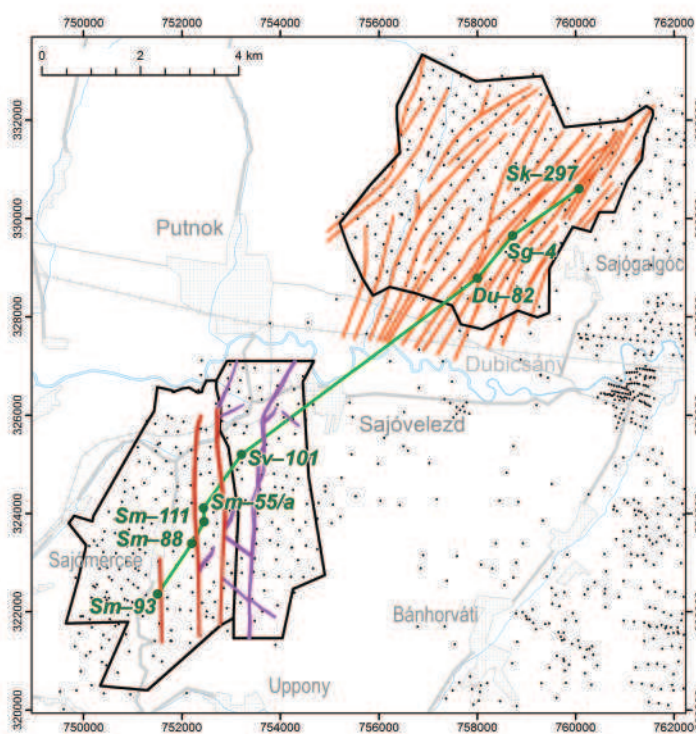
Putnok bővítés területén (JUHÁSZ *et al.* 1984) a II. telep fekvőjére, Sajómercsse II. területen a III. telep fekvőjére vonatkoznak.

A Darnó-vonalat kísérő észak–déli, illetve ÉÉK–DDNy-i fővetőrendszer, megbízhatóan azonosítható. Jól észlelhető az is, hogy az uralkodó csapásirányban a változás Sajómercsse II. és Putnok terület É-i részén következik be. A Dubicsány és a Sajómercsse II. területen született szerkezeti értékelések jelzik a fővetőkről hegyesszög alatt elágazó másodrendű (virág-) szerkezeteket, melyek a Darnó-vonal menti balos eltolódás következményeként jöhettek létre.

Sajómercsse II. és Putnok bővítés földtani térképeinek illesztésekor feltűnő, hogy Putnok bővítés esetében a szerzők (JUHÁSZ *et al.* 1984) nem számolnak sem a fővetőket kísérő szerkezeti zavarokkal sem haránt irányú másodrendű vetőkkel, mindkét jelenséget lokálisan meredek telepdőléssel oldják meg. Tanulságosak e tekintetben a Putnoki Bányászterületén észlelt, regionálisan értelmezett szerkezeti elvetések csapásvonalai (KÖVI 1961). Ezek a fő szerkezeti vonalak észak–déli és a másodrendű virágszerkezetek ÉÉK–DDNy-i irányait egyaránt igazolni látszanak.

A két eltérő tektonikai megoldás közötti különbségtétel nemcsak az adatok és térképek harmonikusabb illesztése miatt fontos, hanem a

4.16. ábra. Sajómercsse II, Putnok bővítés és Dubicsány szerkezeti vonalai és a 4.2. ábra nyomvonala

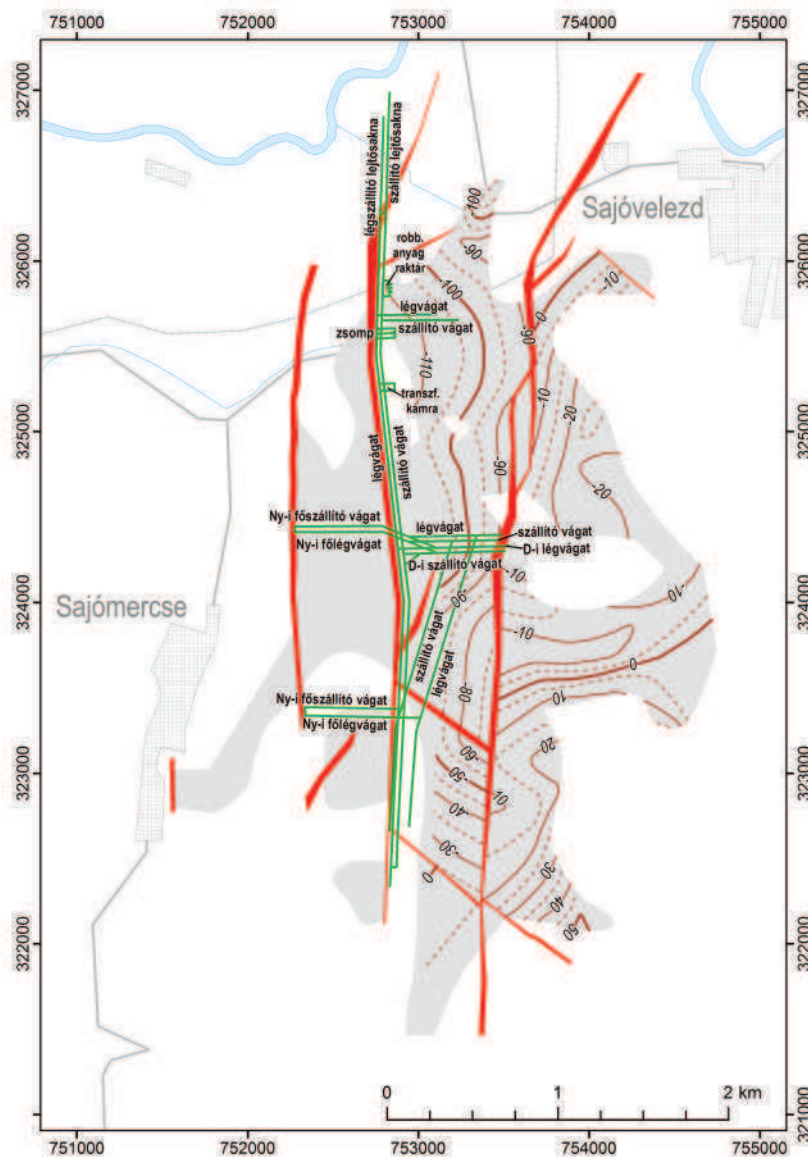


másodrendű szerkezeti elemek fejttéstervezésre és víztelenítésre gyakorolt hatásának megítélése szempontjából is. A kétféle megközelítés közötti választás, azaz a harántvetők, virágszerkezetek jelenlétének igazolása vagy cáfolata sűrű geofonköz-zel történő szeizmikus szelvényezéssel eldönthető. A mérések tervezésénél azonban a terepviszonyok általános figyelem-bevétele mellett különös tekintettel kell lenni az árnyékoló hatású Dubicsányi Andezit felszíni elterjedésére.

### Feltárási terv

A települési mélység lehetővé teszi, a lejtőszaknappárral történő bányafeltárást. A működés későbbi szakaszában, a lejtős aknákkal ellentétes oldalon (bányatelek déli szélén) szükséges lesz egy a szellőztetés céljára szolgáló kis átmérőjű akna, vagy egy nagy átmérőjű fúrólyuk létesítése.

A lejtős aknák és a fő feltáró vágatpár nyomvonala a nagy vetők közötti területen észak–déli irányú (4.17. ábra). A terület észak–déli irányban hosszan elnyúló geometriája miatt kelet–nyugati csapású osztóvágatpárok kihajtása elengedhetetlen. Egy ilyen csomópont a legalkalmasabb a mezőbeli gyűjtőbunkerek és esetleg egy egyszerűsített bányabeli osztályozó kialakítására. A szükséges egyéb föld alatti létesítmények (fő vízmentesítő telep, transzformátorállomás, robbantóanyag-raktár, TH-hengerlő, tűz és vízvédelmi raktár és föld alatti szerszámraktár) ugyancsak a lejtőszaknappárhoz és az azok folytatásában kihajtandó fő gerincvágatokhoz kapcsolhatók. A feltárás a lejtős aknák hajtásával kezdődik. A termelés az I. telepben indul a harmadik év végén. A termelés megkezdésével párhuzamosan folytatódhat a mező feltárása.



4.17. ábra. Sajómercse II. - Putnok bővítés terület fő feltárási terve

### Aknaelepítés, vágathajtás

Az aknák helyének kijelölésénél figyelembe vettük az optimális aknaelepítés szabályait, úgymint az ásványvagyonhoz történő legrövidebb hozzáférést, a veszteség minimalizálását, illetve a külszíni viszonyokat (domborzat, települések, úthálózat, infrastruktúra bekapcsolhatósága, környezet- és természetvédelem) (ZAMBÓ 1985). Ezek alapján gyakorlatilag a bányatelek É-i határvonalától, nem műrevaló terület fölött indul a lejtőszaknapár. Védőpillére mellett már műrevaló telepek vannak. Célszerűen itt kerülhet kialakításra a bányauzem udvara is az összes külszíni létesítménnyel együtt.

A lejtős aknák felső 15 m-es szakasza szintes kialakítású, majd folyamatos átmenettel 200‰ dőléssel kerülnek kihajtásra. Hosszuk: szállító lejtős akna 1064 m, a lég lejtős akna 1103 m. Szelvényméretük Ø4500 mm-es kör. A biztosítás 25 kg/fm tömegű TH, melynek beépítési sűrűsége 0,5 m. Gyenge megtartású rétegeken történő áthaladáskor a biztosítógyűrűk beépítési távolsága csökkentendő. A 4 elemű, 25 kg/fm tömegű körszelvényű TH-biztosítás, 5×5-ös lyukméretű rácsbéléssel kerülne beépítésre mint alapbiztosítás. A végleges biztosításhoz a TH-belső oldalára erősített rácsbélélésre lőtt beton kerülne felhordásra több rétegben, összesen 25 cm vastagságban.

A lég lejtős aknában húz be a friss levegő, itt folyik az anyagbeadás, ebben vezetik ki csővezetéken a bányavizet, ez a menekülési útvonal és helyet kapnak benne az 6 kV-os elektromos kábelek is. A szállító lejtős aknában húz ki az elhasznált levegő, itt szállítják ki a bányában termelt szenet, itt folyik majd a személyszállítás, a (gyalogos) személyközlekedés, ebben kap helyet a függősinés szervizpálya, a sűrített levegős és a tűzivíz-hálózat, a jelző-, a riasztó- és a hírközlőrendszer vezetékei, a víztelenítő hálózat tartalék vezetékei, valamint 6 kV feszültségű elektromos kábelek.

A mélység, a várható nyomásviszonyok és a kőzetek szilárdsági paraméterei miatt, a térségi bányászati tapasztalatokat is figyelembe véve, az alapvágatokat a 8–18 MPa egyirányú nyomószilárdságú III. telepben vagy annak aleuritós főtéjében célszerű kihajtani. A fekü és fedő kőzetek ennél jellemzően puhábbak, és vizet is tartalmazhatnak. Természetesen a I. és II. telepek lefejtésénél a Ny–K irányú osztóvágatokkal fel kell emelkedni az adott szintre, ahonnan a fejtések kísérő vágatai kerülnek kihajtásra. Ezt a feltérési tervet az indokolja, hogy az osztóvágatok kis szilárdságú kőzetekben haladó szakaszai így lesznek a lehető legrövidebbek.

A térségi tapasztalatok alapján mindhárom telep fejtésénél szükséges minimum 10–35 cm vastag szénbőrke meghagyása a telepek főtéjében. Ez a fennmaradó szénréteg csökkenti a víz- és iszapbetörések veszélyét, biztosítja, hogy a fejtés jövesztett utcájában a nyitott főte ne szakadjon meg a biztosítás beépítéséig, illetve a pajzsok belépéséig. A fejtési kísérő vágatok állékonysága szempontjából is kívánatos a szénréteg fent hagyása, még akkor is, ha a tervezett szelvényméret miatt a vágat alsó része netán fekü kőzetbe kerül, és a fent hagyott szén omladékba kerülve potenciális tűzveszélyt jelent.

A vágatok biztosítása tekintetében két alapvető eljárás javasolható. Az alapvágatok, fő gerincvágatok és kiszolgáló bányatelések esetében az alap biztosítás Ø4500 mm-es, 4 elemű, 25 kg/fm tömegű kör szelvényű TH-biztosítás, 5×5-ös lyukméretű rácsbéléssel (fogás mélység 1,0 m egy pótszerkezettel), a végleges biztosítás egy a már beépítettől erősebb, a TH-belső oldalára erősített rácsbélélésre több rétegben lőtt beton, összesen 25 cm vastagságban. Szintosztó, fejtéskísérő és egyéb vágatok esetében Ø3500 mm-es, illetve Ø4000 mm-es 25 kg/fm tömegű TH-körszelvényű biztosítás alkalmazható zárt deszka béleléssel. Alsó ív mentén erősen hézagos bélelés építendő be. Fogásmélység 1,0 m 1 db pótbiztosítással (szerkezet-távolság 0,5 m).

A fejtési kísérő vágatok esetében az alsó ív bélelése hézagos, vagy elmaradó. A különleges méretű bányatelések esetében (rakodó, föld alatti osztályozó, fő transzformátorkamra, fő vízmentesítő-telep, mozdonyszín, robbanóanyag-raktár) és a nagyobb vágatkeresztmetszések környezetében közhorgonyos és közhorgonyos injektálásos biztosítás megerősítés beépítése válhat szükségessé. A körszelvényű vágatok kihajtása egy lépésben kell, hogy történjen, ellenív egyidejű beépítésével.

A beruházás első időszakában a vágathajtások a 4.3. táblázat szerint alakulnak. A termelés folyamatosságát és a bővítési lehetőségeket is biztosító évi vágathajtási igény a 4.4. táblázatban látható.

**4.3. táblázat.** Sajómercse II – Putnok Bővítés vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve) a beruházás időszakában

Beruházási vágathajtás	TH	TH+beton	Összesen
Alapvágatok	1923	207	2130
Egyéb vágatok	84	113	197
Összes vágathajtás (fm/év)	2007	320	2327

**4.4. táblázat.** Sajómercse II – Putnok Bővítés évi vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve)

	Szén	Meddő	Összesen
Üzemi vágathajtás	6155	245	6400
Beruházási vágathajtás	1045	110	1155
Fenntartás	188	5	193
Összes vágathajtás (fm/év)	7388	360	7748

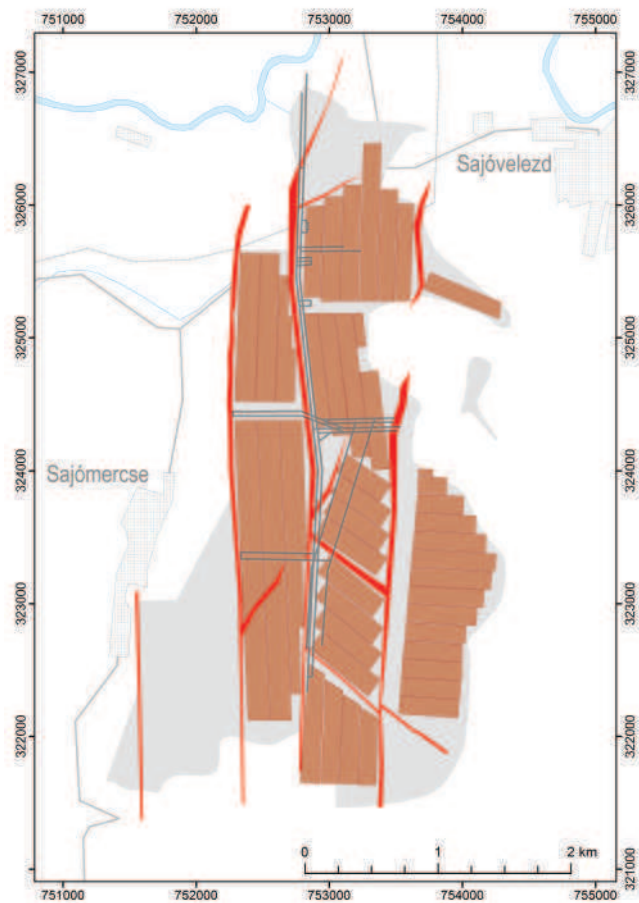
A felfutási (tisztán beruházási) időszakot követően, a feltáró és a folyamatos fejtésváltásokhoz szükséges vágatok kihajtásához hét komplex vágathajtó csapat telepítése szükséges. A várható élettartam és az egy időben nyitva levő vágatok összes hossza miatt várhatóan két fenntartó csapat munkájára is folyamatosan szükség lesz.

### *Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon*

A külszíni fúrások részletes feldolgozása után kialakított elsődleges tektonika alapján, valamint a fő feltárás rögzítését követően megtervezésre kerültek a fejtési idomok (4.18., 4.19., 4.20. ábra). Az idomok kialakításánál számtalan tényező közül elsődleges volt, hogy az alkalmazandó technika illeszthető legyen a tektonikához, ugyanakkor minél teljesebb kihozatal legyen elérhető. Az alkalmazandó technika a telepadoottságok alapján került meghatározásra (DARLING 2011).



4.18. ábra. Sajómercse I. – Putnok bővítés terület I. telepének fejtési terve a fejtési idomokkal



4.19. ábra. Sajómercse II. – Putnok bővítés terület II. telepének fejtési terve a fejtési idomokkal

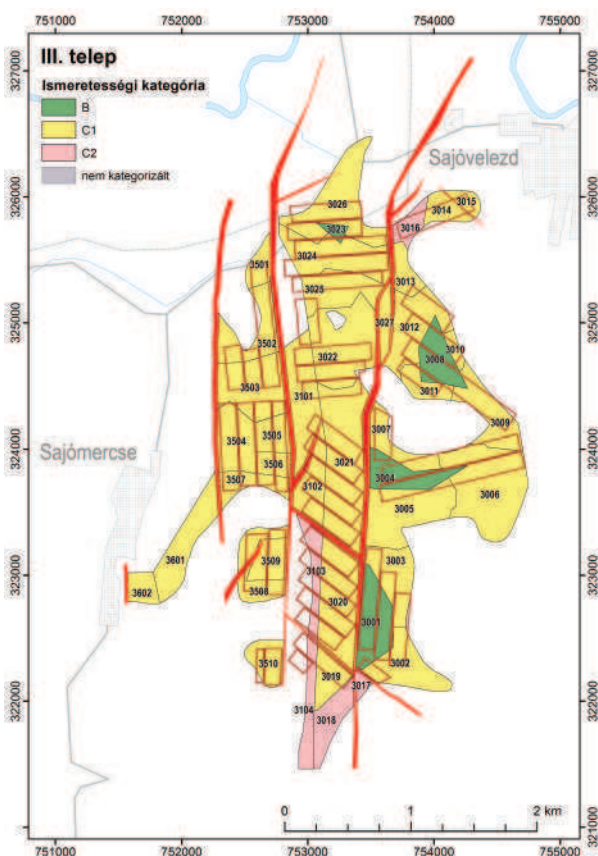
A fejtési idomokról általánosságban elmondható, hogy É–D irányúak, a nagyobb vetősávok közé illesztettek. A nagy vetők a feltárást nehezítik, mert azok vágatokkal történő harántolása különleges bányászati megoldásokat igényel, és nagy meddővázat kihajtásokat eredményez. A nagy vetőkhöz képest a mikrotektonika feltehetően alárendelt szerepű, így a fejtések vitelét vetők kevésbé zavarhatják.

A telepek dőlése nem jelentős, átlagosan mindössze néhány tíz ezrelék. Fontos, hogy a fejtési sebesség érje el a 3 m/nap értéket. A Borsodi-medencében az üzemi tapasztalatok szerint lényeges, hogy a fejtések dőlésben vagy áldőlésben felfelé haladjanak, így a fejtési üregekbe jutó víz folyjon el a fejtési homlokról és ne lehetetlenítse el a termelést.

E megfontolások alapján, a frontfejtések [F] komplex gépesítéssel (pajzsos biztosítás, maróhengeres vagy gyalus jövesztés) kerülnek kialakításra. A telepvastagsághoz igazodóan három átlagos jövesztett szeletvastagsággal számolhatunk a komplex frontok esetében: I. telepben 2,00 m, II. telepben 2,25 m, III. telepben 3,00 m. Ez egyben azt is jelenti, hogy az I. és a II. szeletben gyakorlatilag azonos fejtési berendezés használható, míg a harmadik telep művelésbe vonásakor meg kell emelni a biztosítóberendezések fejtési tartományának magasságát, vagy új berendezések beszerzésére lesz szükség. Tekintettel arra, hogy a felső és a középső szeletek leművelése ~18–20 év, és a III. szelet művelése csak ezután következhet, vélhetően célszerű lesz új pajzsokat beszerezni.



4.20. ábra. Sajómercse II. – Putnok bővítés terület III. telepének fejtési terve a fejtési idomokkal



4.21. ábra. Sajómercse II. – Putnok bővítés terület I. telepének készlet-számítási tömbjei és fejtési idomai  
A készlet-számítási tömbökben a tömbök egyedi azonosítója látható

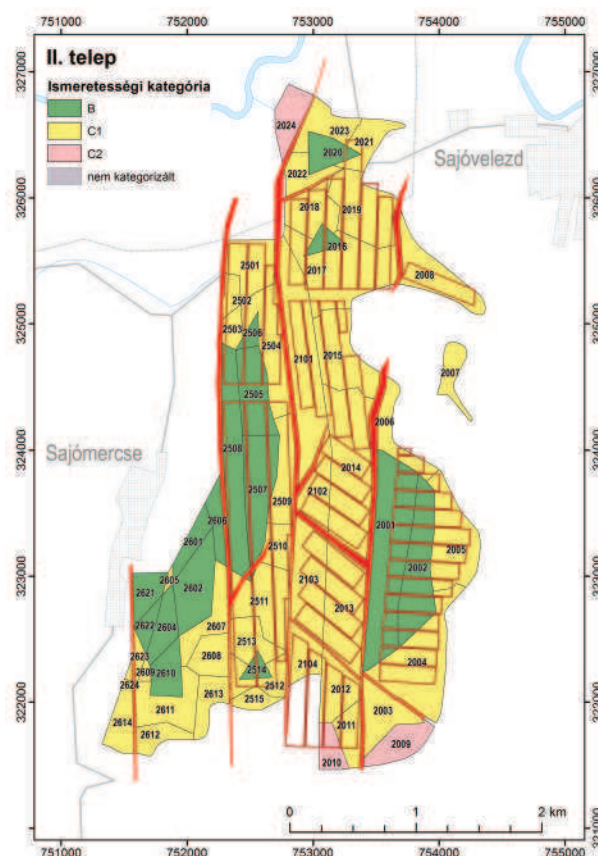
A tervezett fejtési biztosítás: 1,8–2,4 méter telepvas-tagság művelésére alkalmas hidraulikus pajzsok. A jö-vesztés történhet gyaluval vagy maróhengerrel. A fejtési homlokhosszak a komplex frontok esetében 100 m és 135 m között váltakoznak a lehetőségek függvényében.

A fejtések kivitási hossza nagy szórást mutat a tektoni-ka, a feltárási rendszer, a kivékonyodások és a határpillérek függvényében. Törekvés a komplex frontok esetében az ezer méter körüli kivitási lehetőség. A nagyobb kivitási hosszak – még ha a tektonika engedné is – vágatfenntartási problémákhoz vezetnének.

Jelen esetben omlasztásos módszer alkalmazandó. Az omlás folyamatosan megy végbe a fejtés haladásával szinkronban. A szénfőte alatt – vízvesztély és a szilárdsági, állé-konysági okok miatt – szénbőrke marad fent, 10–35 cm vas-tagságban a széntelep legfelső részén. Az ily módon omla-dékba kerülő szén az öngyulladás folyamat potenciális veszélyforrása, ezért is kívánatos a megfelelő fejtési sebesség tartása.

A három telep fejtési szeletvastagságának összege 7,25 m. Azokon a helyeken, ahol mindhárom telepet fejtik, 5–6 méteres maximális felszínsüllyedéssel kell számolni. Meg kell határozni a védendő létesítmények körét és a süllye-dések miatt várható bányakárokat.

A tényleges kitermelhető vagyon a tektonika ismere-tében megtervezett fejtési idomok alapterületének, a szén-telepes összetétel vastagságához igazított fejtési vastagságnak



4.22. ábra. Sajómercse II. – Putnok bővítés terület II. telepének készlet-számítási tömbjei és fejtési idomai  
A készlet-számítási tömbökben a tömbök egyedi azonosítója látható

és az átlagsűrűségnek ( $1,43 \text{ t/m}^3$ ) a szorzatából számítható (4.21., 4.22., 4.23. ábra). Az egyes fejtési idomok között közetmechanikai és tűzvédelmi megfontolások miatt 5 méter pillért kell hagyni. Az alapvágatokat az áthárított feszültségek miatt minimum 50 m pillérrel kell védeni. A fejtési kísérő vágatok kihajtásával egy időben megkezdődik a fejtési terület víztelenítése is, aminek időtartama szoros összefüggésben van a fejtési idom méretével. A kitermelhető hasznos termék mennyisége 37,6 millió tonna, a tervezett éves termelési kapacitás 1,008 millió t/év, így a bánya élettartama 37 termelő év.

### Vízmentesítés

A tervezett bányatelek a Lázberci Tájvédelmi körzet és az Upponyi Tájvédelmi körzet közelében helyezkedik el. Felszíni vízfolyások (Sajó, Mercse-patak) és források is találhatóak a bányatelek környezetében. A sajómercsei barnaköszén-előfordulás telepei jó víztároló és vízvezető homokrétegek közvetlen közelében települtek. Az előzetes vízföldtani vizsgálatok során két szignifikánsan eltérő víztároló összetetlet lehetett megkülönböztetni, melyek a széntelepekhez viszonyított helyzetükben, szerkezetükben és kifejlődési formájukban ugyan hasonlóak, de a tárolt vizek mennyiségében és a víztárolók nyomásállapotában igen nagy eltérést mutatnak.

Az *in situ* különálló tektonikai tömbök rétegvíztárolóit egybekapcsolja a bányaművelés. Mindhárom termelésbe vont telep víz- és úszóhomok-betörés veszélyes. Az I. telep fedőjében kb. 30 m vastag homok-, illetve homokosagyagréteg van, mely feszített tükrű vizet tartalmaz. Az I. és a II. telep között 20–25 m vastag, feszített tükrű vizet tartalmazó homokréteg található. A II. és a III. telepek között 10–30 m vastag agyag és jó vízvezető agyagos, homokos konglomerátum van. A III. telep közvetlen fekvését mállott, áthalmazott, változatos felszínű riolittufa alkotja. Ennek lokális kiemelkedései azok a riolitkúpok, melyeknél a III. telep nem fejlődött ki.

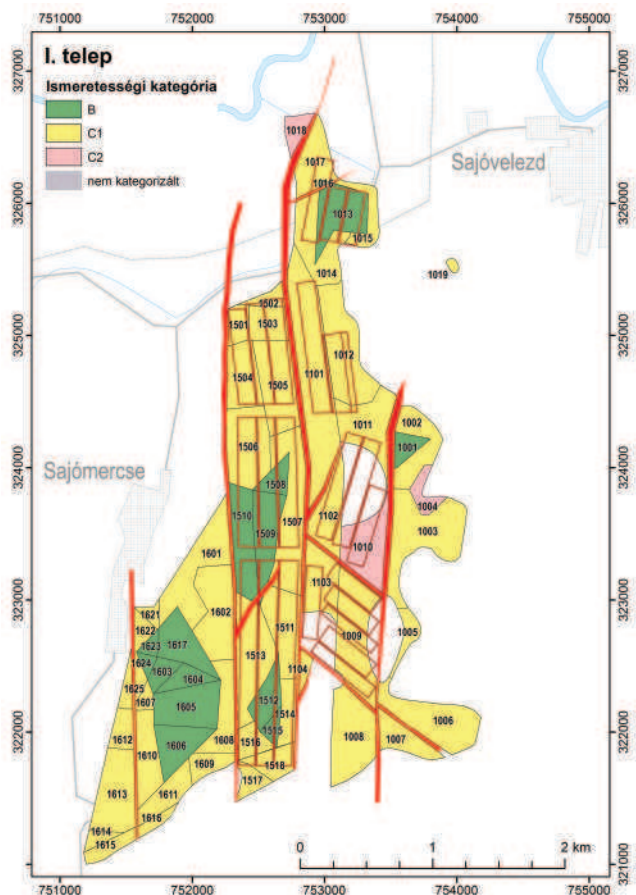
Megfelelő védelmet a vágatok főtéjébe bevert szűrők biztosíthatnak, melyek a vágatokban néhány méterenként követik egymást. Ezzel a bányabeli kútrendszerrel már hatékonyan le lehet csapolni fedőbeli víztározókból a vizet. Ennek a módszernek a Sajómercse II. bányában való alkalmazását elkerülhetetlennek látjuk. A víz- és iszapbetöréseket teljes biztonsággal nem küszöbölhetik ki, viszont a bevert szűrős védekezés a korábbi tapasztalatok szerint megfelelő üzembiztonságot eredményez.

A víztelenítés során kiemelt (főtekutakból származó) víz a bányavízről elkülönítve, zárt rendszerben gyűjtve és kezelve, a kémiai és biológiai összetétel meghatározását követően, alkalmas lehet ivóvízként történő felhasználásra, vagy a szén vegyipari feldolgozásához szükséges saját vízigény kielégítésére. A fennmaradó mennyiség a környező felszíni vízfolyásokba vezethető.

### Szellőztetés

A bánya fő szellőztetése annak kiépítése, gépesítése és üzemeltetése alapvetően megegyezik a Dubicsánynál leírtakkal. A végleges üzem itt is két lépcsőben alakítható ki, a bányaeépítési szakaszban a fő szellőztetést a szállító lejtősakna fejéhez telepítendő gép adja, majd a teljes hosszban kihajtott alapvágatpár utolsó harántvágatához köthetően elkészül a szellőztetés céljára szolgáló akna vagy nagy átmérőjű fúrólyuk, és kiépítésre kerülhet a végleges fő szellőztetési rendszer. A szellőző akna vagy fúrólyuk külszíni szájához kiépített depressziós házba itt is egy  $\sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$  légmennyiség szállítására alkalmas axiális szellőztetőventilátor kerülhet beépítésre a 100%-os tartalékkal együtt. A szállított légmennyiségnek és a depresszióknak ez esetben is változtathatónak kell lennie.

A fő szellőztető beüzemelése után a bánya szívott jellegű lesz, a nyomó üzemmódot ez esetben is kerülni kell, természetesen a tűzveszély miatt a fő szellőztetésnek ebben az esetben is megfordíthatónak kell lennie. Alaphelyzetben a szellőztetőaknában vagy fúrólyukban a légáram a bányából kifelé irányul, míg a lejtős aknák behúzóvá válnak.



4.23. ábra. Sajómercse II. – Putnok bővítés terület III. telepének készlet-számítási tömbjei és fejtési idomai

A készlet-számítási tömbökben a tömbök egyedi azonosítója látható

Az elővájások szellőztetéskapacitását itt is a szelvényméretek és az ÁBBSZ szellőztetési normái alapján kell meghatározni. A külön szellőztetés biztosításához a járatos típusú légcsőszellőztetők használhatók. Az elővájások szellőztetésénél a normál fűvő, illetve szívó üzemű szellőztetés mellett kombinált szellőztetés is alkalmazható.

### *Foglalkoztatás*

A működési szakaszban a termelés felfutását követően a teljes létszámgény mintegy 612 fő. Ehhez adódik hozzá a kiszolgálói és beszállítói foglalkoztatott létszám.

## **Tardona**

### *Kutatástörténet*

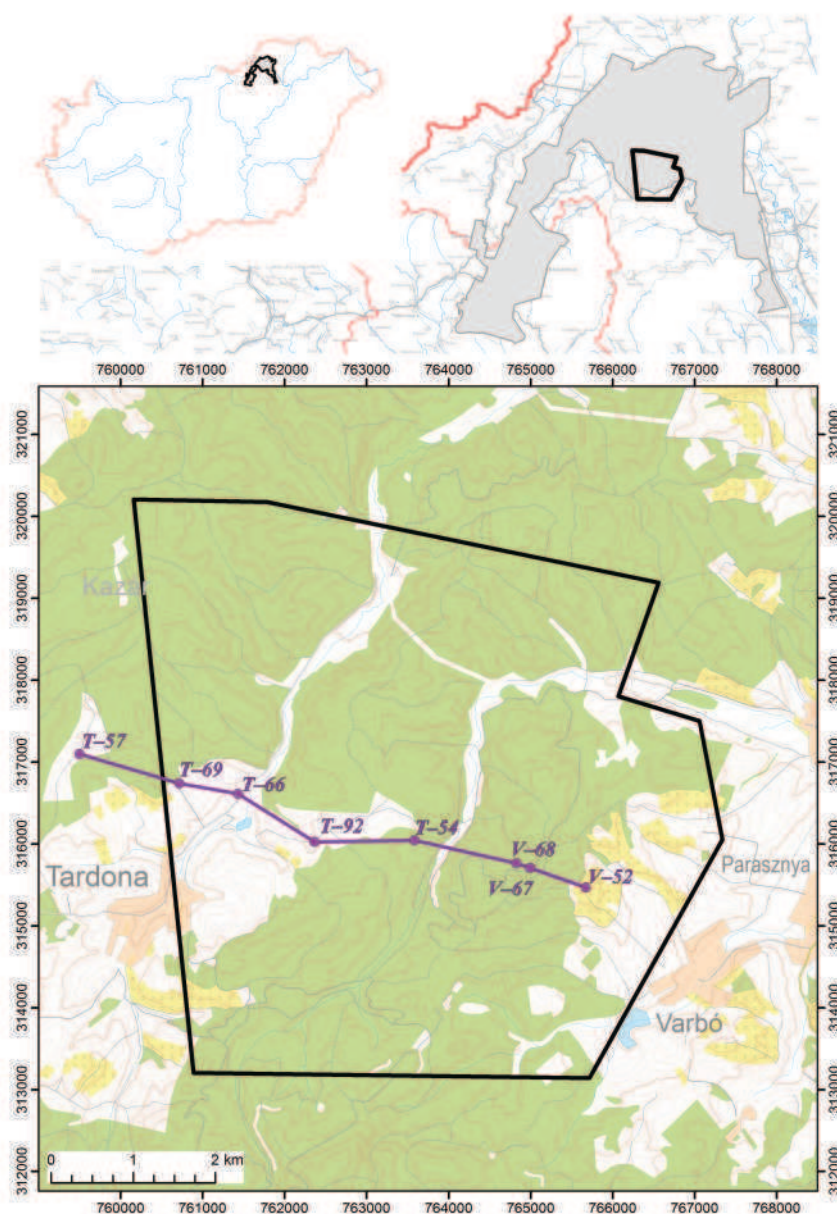
Az összetett terület (4.24. ábra), részben vagy teljesen, az alábbi egykori bánya (illetve kutatási) területeket érinti: (1) Tervtáró (és bővítése), (2) Tardona–Peres (amely magába foglalja a Tardona–Keletet), (3) Morgó (4), Harica és (5) Béke–IV.

Legnagyobb egysége az előzetes fázisban modern mélyfúrásokkal megkutatott Tardona–Peres, illetve annak részletes fázisban megkutatott részterülete a Tardona–Kelet. Fontos részei még az egykori Tervtárói-bánya környezetében kialakított ún. Tervtáró-bővítés kutatási területek.

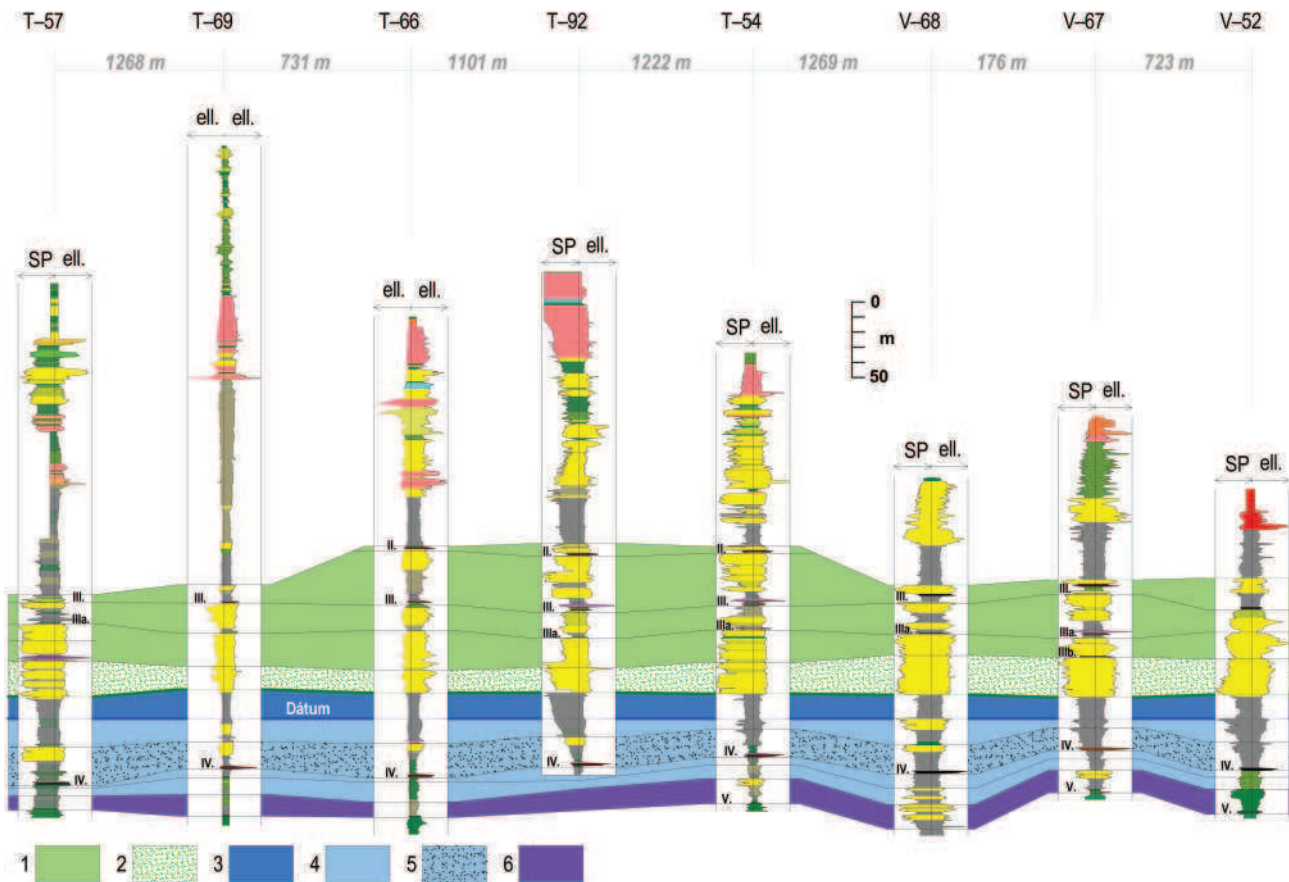
A „Tardona” kutatási terület földtani felépítése az 1965-től 1983-ig elvégzett, illetve a még korábban lefolytatott szénkutatás, valamint a több mint 200 éves borsodi bányászat során szerzett ismeretek következtében jól tanulmányozott. A „Tardona-szén” kutatási terület földtani felépítéséről, a rajta elhelyezkedő IV. telep hasznosítható ásványvagyonáról kutatási zárójelentés készült (KARBOLITH-BT. 2011). A területtől É-ra található Tervtáró-akna, amelynek K-i fővonalától D-re eső lefejtett bányamezőjét a „Tardona-szén” kutatási terület magába foglalja. A terület földtani felépítését a Tardona–Peres (LATRÁN *et al.* 1981) előzetes és Tardona–Kelet (GAÁL, VÁRHEGYI 1987) részletes fázisú kutatási zárójelentések tárgyalják.

### *Rétegtani adottságok*

A „Tardona I.” terület a kelet-borsodi miocén korú barnakőszén-medencéhez tartozik, földtani kifejlődésében annak jegyeit viseli magán. Általánosságban elmondható, hogy a Borsodi-medencében lemélyített kutatófúrásokból mind az öt borsodi széntelepet ismerjük az I. és III. számú telepek kísérőtelepeivel együtt, de itt csak a II., III., IIIa, a IV. és V. telep található meg (4.25. ábra). A széntelepek között felváltva



**4.24. ábra.** A tardonai terület topográfiai térképe és a 4.25. ábra nyomvonala és mélyfúrásai



4.25. ábra. Kelet-Borsodi IV., IIIa, III. és II. telepeket befoglaló üledékciklusok megjelenése Tardona területen

A szelvény nyomvonalát l. a 4.24. ábrán. Jelmagyarázat (Püspöki et al. 2017 és a 3.37. ábra alapján): 1. SQ-5 LST, 3. 2Q-5 FSST, 3. SQ-4 TST, 4. SQ-4 LST, 5. SQ-4 LST Nyugat-Borsodi II. - Kelet-Borsodi IV. telepet befoglaló üledékciklusa, 6. „Oncophorás rétegek”, 7. Oncophora teknők fúrásban, 8. fúrásban harántolt öregségi művelet, a fúrásszelvényben: narancs = kavics, sárga = homok, szürke = aleurit, zöld = agyag, fekete v. barna-köszén, kék = riolittufa, tufahomok, piros = andezit, andezit piroklasztikum, T=Tardona, V=Varbó

vízzáró és vízvezető rétegek fejlődtek ki. Agyag és főképpen aleurit alkotja a vízzáró rétegeket, amelyek között vízvezető homokrétegek helyezkednek el.

A prekainozoos medencealjazat kőzetei a terület déli részén a felszíni kibúvásokban szinte folyamatosan megtalálhatók. A permet a Nagyvisnyói Mészke Formáció, a triást az Ablakosvölgyi, a Hámori Dolomit, a Szentistvánhegyi Metaandezit és a Kisfennsíki Mészke Formációk, a jurát a Mónosbéli és a Vaskapui Homokkő Formációk képviselik. Az alaphegységi kontúrból látható, hogy a Tardona- és a Harica-völgy völgyfői közé egy DNY–ÉK irányú nyelv nyomul. A terület fúrásai közül egyik sem érte el az alaphegységet, viszont a Tardona–Peres kutatás több déli helyzetű fúrása is megütötte az alaphegységi feküképződményeket a telepes összlet és a kavicsos bázisképződmények alatt (Tardona T-55,–70).

Több fúrás zöldesszürke kövületmentes agyagos homok–homokos agyag váltakozásából álló képződménysort igazolt az V. telep fekvésében. E feküképződmények gyakorisága keleti irányba (Varbó felé haladva) nő. A képződménysort nagyobb vastagságban az 567 m mély Varbó–50 jelű fúrás tárta fel, de a Varbó V–64 jelű 117,0 m-es talpmélységű fúrás is végig ebben haladt. A mélyszublitorális fáciesű üledékek az ottngai–kárpáti transzgresszióval idősebb ciklust képviselnek, koruk oligocén (Kiscelli Aggyag Formáció), esetleg eggenburgi. Mivel a Varbó V–74 fúrás a Felsőnyárádi Formáció alatt igazoltan Kiscelli Aggyag Formációban állt le, valószínű, hogy az itt említett feküképződmények kora is oligocén (kiscelli). Felmerülhet még a miocén (eggenburgi) Szécsényi Slír Formációval való párhuzamosítás lehetősége is, de az erre jellemző Amussium–Bathysyphon makrofauna együttesről a leírások egyike sem tesz említést.

A miocén eggenburgi emeletét képviseli a Felsőnyárádi Formáció. A terület déli részén Varbó térségében felszínen is elterjedt, elsősorban Kiscelli Aggyag és alaphegységi foltok társaságában. Anyaga alaphegységi kőzetekből álló kavicsokat tartalmazó sekélytengeri, durvatörmelékcs üledéksor. A már említett Varbó V–74 szerkezetkutató fúrás nagy vastagságban tárta fel az ún. „alsó riolittufa” alatt. Tardona területén a Felsőnyárádi Formációhoz sorolható feküüledékek találhatók a terület déli, délnyugati, sőt középső részén mélyült fúrásokban, jellemzően kavics, kavicsos–homokos agyag, tarka agyag, tufit, rétegsorrenddel az V. telep fekvésében. Azonosításuk bizonytalan, nehezen különíthetők el az ottngai–kárpáti üledékciklus kezdőüledékeitől.

Ugyancsak a miocén fekvő üledéksorban jelenik meg a Gyulakeszi Riolittufa Formáció, legtöbbször zöld agyag vagy

tufit az V. telep fekéjében. Tipikus szárazföldi hullott tufa is előfordul a Varbó V–70 és a Tardona T–111 jelű fúrásokban, valamint felszínen a Harica-völgy felső szakaszán. A régebbi fúrások leírásaiból sajnos egyáltalán nem azonosítható a kifejlődés. Felső részén gyakran áthalmozott és jelentéktelen telepnyomokat tartalmaz (Va telep az ÉNy-i területrészen és Varbótól északra).

Miocén (ottnangi–kárpáti) korú a Salgótarjáni Barnakőszén Formáció Sajólászlófalvai Tagozata. Alapteplel (V.) induló öttelepes rétegcsoporthoz, melyben a III. széntelepek egy kísérő telepe (IIIa) is kifejlődött (4.25. ábra). Az összlet tipikusan „kelet-borsodi” és talán a medencében a legteljesebb, legjobb megtartású makrofaunát tartalmazza. Az alsó V. és IV. telep déli irányban elmeddül. A IV. telep elmeddülése gyors, a földtani telep kivastagodása és minőségi jellemzőinek erőteljes leromlása kíséri. A IV. széntelep felett vastag, akár 10–15 m-es, gyakran nagyon sötét színű, erősen redukált jellegű pelites üledéksor települ. A II. széntelep fedő litorális homokréteg fedőjében már szublitorális, slír jellegű képződmény települ.

Az I. széntelep a területen már nem található, a felső telepek hiánya a későbbi lepusztulásnak köszönhető. A meglévő telepek közül ennek természetesen a II. széntelep a legjobban kitett, amely gyakran esett kárpáti, ill. prebadeni foltszerű denudáció áldozatául. A Kondó–207 fúrásban a prebadeni erózió a III. és IIIa telepeket is eltüntette. Tendenciózus lepusztulás csak a Tardona-völgytől nyugatra eső területrésze jellemző, ahol a nagy kelet–nyugati irányú levetéstől északra, már csak a IV–V. telepek maradnak. Itt a medencejelleg is változik. A terület kiemelt déli és délkeleti részén a szármata, ill. jelenkori lepusztulás következtében a teljes telepes összlet eltűnt. Ezt fúrásokkal Varbótól északra több szelvényben ki lehetett mutatni és a Harica-, Tardona-völgy között, illetve a Morgó-tetőtől délre eső területrészen sem várható másképp.

A széntelepes összlet fedőjében fejlődött ki az Egyházasgergei Homokkő Formáció. A Bükk hegység újratérképezésénél ide sorolták a hegységperem homokbányáiban feltárt abráziós rétegeket. Valószínűleg a kiteljesedett ottnangi–kárpáti ciklus része és a fúrások II. telep feletti magasabb szintű széntelepmentes összlete már ezekkel párhuzamosítható.

A badeni képződmények az ottnangi–kárpáti képződményektől eróziós diszkordanciával különülnek el, bázisukon morfológiailag tagolt térszintjelző vegyes, gyakran olisztolitszerű tömböket is tartalmazó alaphegységi kavicsoktól mentes, törmelékes összlettel. Jellegzetes, nagy foraminiferákból és echinoideákból álló trópusi tengerre utaló formaegyüttes. Sok a riolittufás elegyrész, gyakran vastag riolittufa anyagú homokpadokkal. A badeni képződmények a területen csak a Tardona-völgytől nyugatra, északnyugatra jelennek meg összefüggően. A Tardona T–60, K–206, –199, –207, –158, –157, –119/A, –118, Varbó V–55, –50, –51, –47, –63 fúrások sávjában egész a terület DK-i pereméig lehúzódnak.

A szármatát a Dubicsányi Andezit Formáció képviseli. Nagyon jellegzetes, egyedi a területre jellemző sekélytengeri, partszegélyi képződménysor, alul vegyes anyagú, alaphegységi kőzeteket is bőven tartalmazó báziskavicsos, felül szárazföldi tömbös, osztályozatlan anyaggal. Lepelszerű elterjedésű. A morgói területrésztől keletre és a Harica-völgy déli részén lepusztult. Pleisztocén–holocén képződmények a domboldalakon a lejtőagyag és -törmelék, a völgytalpakon allúvium.

### *Szerkezeti viszonyok*

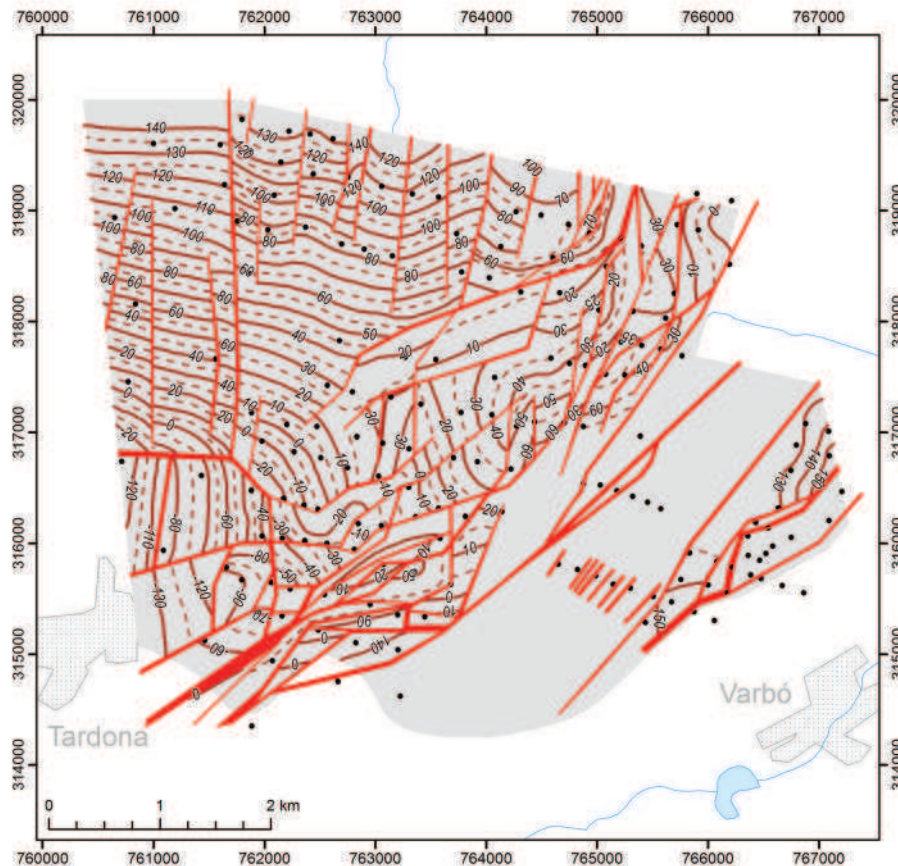
A fúrási rétegsorok értékelése alapján a tektonikailag legintenzívebb időszak feltehetően a badeni vége, a szármata eleje. Mindez egybeesik a terület vulkáni aktivitásával, mely során jelenleg nem ismert pozíciójú helyi vulkáni kürtökből nem túl nagy intenzitással többször ismétlődő tufa- és törmelékszórás következett be. Ennek végterméke a Dubicsányi Andezit Formáció. Úgy tűnik, hogy a vulkanizmus gyengülésével a tektonikai aktivitás is csökkent.

A medenceszerkezetet kialakító törérendszer iránya vitatott. A Tardona–Peres és Tardona–Kelet kutatások eredményei azonban nem értékelhetők úgynevezett harántvetők alkalmazása nélkül. Egyébként ezek meglétét a Bükki aljzat (és törérendszer) déli közelsége elméletileg is indokolja. A végeredmény azt jelzi, hogy az elmozdulások fő iránya Darnó-zóna menti, azaz ÉK–DNy irányú.

A tektonikai térkép szerkesztésének legfontosabb eredményei, ill. szempontjai (1) a törések dilatációs jellege, azaz rátolódások, rétegismétlődések hiánya, (2) közel É–D irányú vetőpászták, közöttük egyenletes, néhány fokos telepdőléssel, (3) déli és keleti irányban a vetősűrűség és/vagy a telepdőlés növekedése.

A fúrásokban tapasztalt zavartalan teleptávolságok a II–III. telep között 32–35 m, a III–IIIa között 12–15 m, a IIIa–IV. között 95–100 m, a IV–V. között 30–40 m. A IV–V. telepek közötti távolság változókéonyabb a többinél, mivel az V. alaptelep lévén nagyobb fekégyenletlenségeket is hordozhat. Ez tükröződik is a területen, mert a nyugati oldalon többnyire 40 m-es, míg a déli, hegységközeli oldalon már csak 20–25 méter a távolsága a IV. teleptől. A vázolt teleptávolságok rövidülése esetén rendszerint feltételeztük, hogy a fúrás vetősíkot harántolt a telepek között.

A telepdőlést általában csekélynek, néhány fokosnak tételeztük fel, extrapolálva a Tervtároi-bányában jelzett dőlés-értékeket. Itt megjegyezzük, hogy a terület DNy-i oldalán található, mélyre vetett zónába eső fúrások rétegleírásaiban 20–25°-os dölésekkel is találkozhatunk, és mi is mértünk 15–20°-os döléseket szomszédos borsodi területek réteglapjain. A törések az értelmezés szerint csak a badeni képződményeket érintették, a szármatát már nem, az ettől való esetleges eltérés nem képezte a vizsgálat tárgyát (KISS, BOMBICZ 2015). Vetők csak kifejezetten indokolt helyeken (teleptávolság-rövidülés,



4.26. ábra. Kelet-Borsodi IV. telep elterjedése, települési mélysége és szerkezeti viszonyai Tardona területen

jelentős telepszintkülönbség a fúrások között stb.) kerültek jelölésre (4.26. ábra). A fentiek alapján megszerkesztett tektonikai térkép szolgált alapul a készletszámításhoz is. A térkép hézagos, mert DK-en a vetők csak egy-egy, egymástól távol eső szelvényben mutathatók ki, nem köthetők össze. Folytonos viszont a Tardona–Peres, Tardona–Kelet területeken és a Harica-völgytől északra eső (Béke-akna észak) területén. A megszerkesztett tektonika alapján több fő szerkezeti rész azonosítható.

A terület DK-i oldalán Varbótól északra, Parasznyától nyugatra egy ÉK–DNy irányú nagyvető húzódik. DK-i oldalán a IV. telep a 190–240 m Bf. szinten van. Érdekes, hogy a Parasznya Pa–50, –51 és –54 jelű fúrások mentén mélyebb, 170–180 m Bf szintre sülyed a telep a fennmaradó oldalon is. A IV. telep és csaknem az egész telepes összlet DK–K-i elterjedésének megszűnéséért gyakorlatilag ez a vető felelős.

E nagyvetőtől ÉK-re, a Harica-völgy felé haladva a IV. széntelep már a 120–140 m Bf. szintekben található. Ez a területrészt csak szórványfúrásokkal és a Varbó V–69 –fúrástól a V–50-ig terjedő szelvényvel feltárt. A nyugati oldalon húzódó határvető (inkább vetősáv), a Kondó K–118, –117 és K–117–160 fúrások között húzódik, délnyugaton pedig belesimul a Tardona–Kelet terület déli oldalán húzódó, csaknem kelet-nyugati irányú nagyvetők valamelyikébe.

Szerkezetileg már ettől ÉK-re elkezdődik a Tardona–Kelet szénterület, mely gyakorlatilag két ÉK–DNy irányú, nem túl karakterisztikus gyakran megszakadó vetőpálya közé szorult sávnak tekinthető. Változatosak a telepszintek (–60 és +60 m Bf.). A vetőirányok döntően ÉK–DNy irányúak továbbra is, de csaknem kelet–nyugat irányú vetők is megjelennek, és a területrészt déli oldalán gyakoriak a nagyvetők sávjai mentén darabokra tört táblás–rögös szerkezetek. A telepdőlés kaotikus, gyakran hullámzó, ahol szerkeszthető, ott döntően DNy-i irányú. A terület északi oldalán egy, a Tervtárói-bánya felől, a Kondó K–206, –199, –183 és K–193 fúrások irányában húzódó harántvető mentén jól látható a telepdőlés fokozatos torzulása.

Az ettől a vonaltól északra húzódó Tervtárói-bányaterület fúrásokból adódó szabályos szerkezeti képe megtévesztő. Az egykori bányabeli mérések azt mutatják, hogy a vágatok és a fejtések nagyobb vetőket (akár 5–10 métereket) nem harántoltak, csak sok apró (max. néhány dm-es, nagyon ritkán méteres) elvetési magasságút. Úgy tűnik, hogy a sok apró törés, mely mozaikszerűen összetöri a telepet, összességében szabályos törésrendszert mutat. A Tervtárói-bánya vágatai általában észak–dél irányú (csapású) tektonikai elemeket harántoltak, de alárendelten előfordult ÉK–DNy és DK–ÉNy irányú is.

A tervtárói területtel minden szempontból egy szerkezeti egységet alkot a tőle nyugatra található bánhorváti–bánfalvai területrészt, mely hosszan húzódik déli irányban a Tardona-völgy mentén. E szerkezeti egység délen egy éles K–Ny-i csapású, kelet felé kissé elhaló nagyvetővel szűnik meg, és, egy a Tardona T–69, –66, –64, –105, –103, –104, –68 fúrásokkal

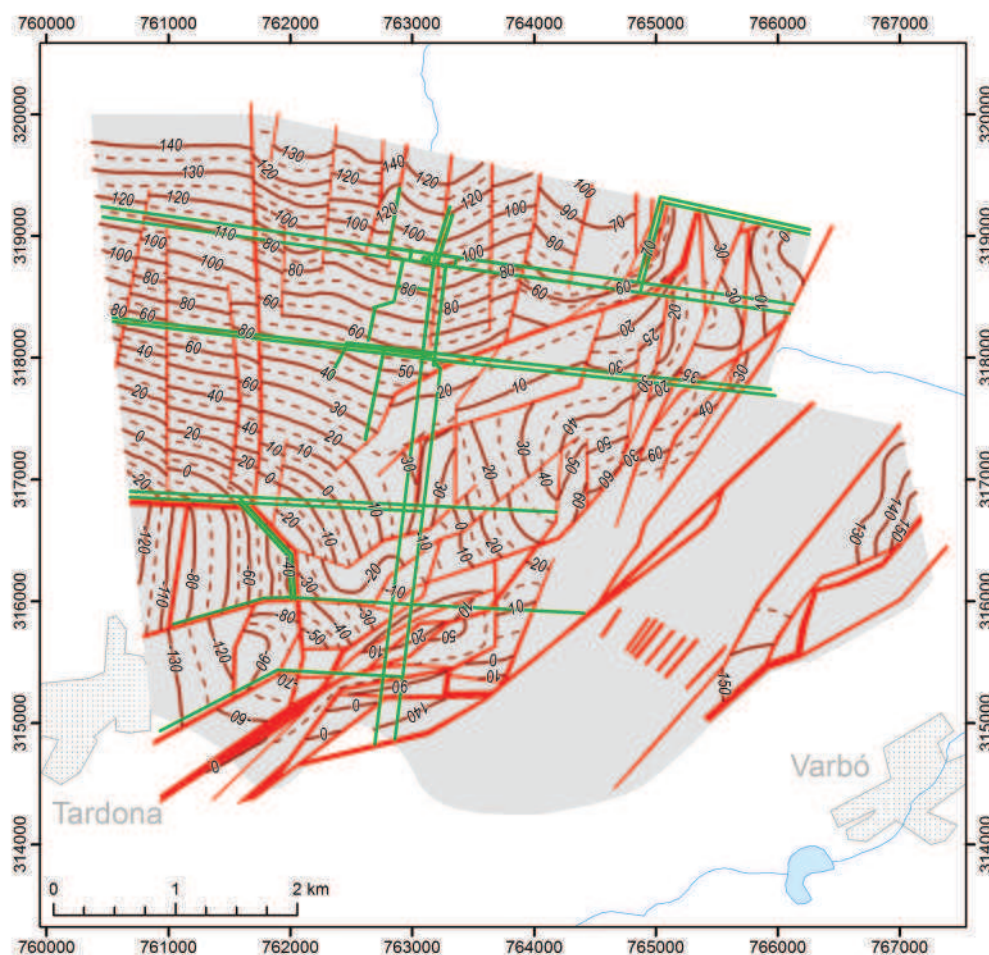
határolható, mélybe zökkent, táblás szerkezetrésszel folytatódik. Erre a –40 m Bf. és –150 m Bf. IV. telep talpszintek és K–Ny irányú telepdőlés jellemző. Ez utóbbi a rendelkezésre álló adatok alapján bizonytalan. Tőle délre a Bükk peremén jelentkező nagy vetők találhatók, hatalmas szintkülönbségekkel.

Az ismertett tektonikai modell jelentősen pontosítható, több helyen nem is folytonos. A bányabeli tapasztalatok alapján a valós folyamatokat legpontosabban tükröző mikrotektonikai elemek nem térképezhetők. A mikrotektonikai elemek jelentősége az utóbbi időben a Bükk hegység újratérképezésénél is felértékelődött, a Borsodi-medencében pedig régóta közismert. A mikrotektonika figyelmen kívül hagyása a vetőt harántoló fúrásoknál a levett és helyben maradt szárny szintjének megítélésénél komoly hibákhoz vezethet. Ez a mélyfúrásos kutatás diszkontinuális jellege miatt nem küszöbölhető ki, legfeljebb nagyobb felbontású rétegtani korrelációkkal csökkenthető.

Végeztül két fúrást emelhetők ki, melyeket a tektonikai modellbe csak nagy nehézségek árán sikerült beilleszteni. Egyik a Kondó–214 jelű hidrogeológiai mellékcélú fúrás, amely kétségtelenül egy nagy, kb. 35–40 m-es elvetésű vetősíkot harántolt, de a levett szárny kb. –20 m Bf. IV. telepi feksztintje a környezetbe csak nehézkesen illeszthető be. A másik a Tardona T–102 jelű fúrás, melynek rétegsorában jól azonosítható, hogy a fúrás vegyes, kevert badeni üledékek alatt erősen tektonizált környezetben a II. telep fedőjéből közvetlenül a III. telep fedőjébe jutott, majd át is fúrta az összetört III. telepet. Az egyértelműen 40 m-es elvetésű levett –120 m Bf. szintje nem illeszthető a fúrásokkal sűrűn megfúrt környezet magasabb szintjei közé. A tektonikai megoldás helyett ezért TÓTH (2011) a badeni bázisösszletben történő gravitációs áthalmozást (csúszást) feltételezett.

### Feltérési terv

A bányamező nyitópontjainak a meghatározásánál, gazdaságossági szempontok miatt, célszerű igénybe venni az egykori Tervtáró II. mező egyes fő bányatérsegeit, külszíni területét (4.27. ábra). A legfontosabb létesítmények a VA–30-as betonidomkövel falazott lejtőszaknapár, a föld alatti fő vízmentesítő telep, a fő szállítógátatok, melyeket korábban a művelésbe vonni tervezett bányamező felé hajtottak ki, a külszíni üzemtér területe, melyet részben rekultiváltak, jelenleg üresen áll, és a korábbi önürítő meddőhányó, amely eredeti formájában áll, csupán a gépi berendezéseket szerelték le róla.



4.27. ábra. A tardonai terület fő feltérési terve

A meddőhányó még jelentős kapacitással rendelkezik. Az üzemtér jó minőségű, szilárd burkolatú úton közelíthető meg. Regionális víz, szennyvíz nincs. A 20 kV-os energiahálózat a terület mellett halad. Az üzemtér lakott területektől távol helyezkedik el (Kazincbarcika 8 km, Tardona 5 km).

A bányabeli vizek a terület határán folyó Tardona-patakba vezethetők. A bányavíz fogadására korábban kiépítették a megfelelő műtárgyat. A patak alsóbb szakasza jelenleg is magába fogadja a régi bánya öregségi vizeit.

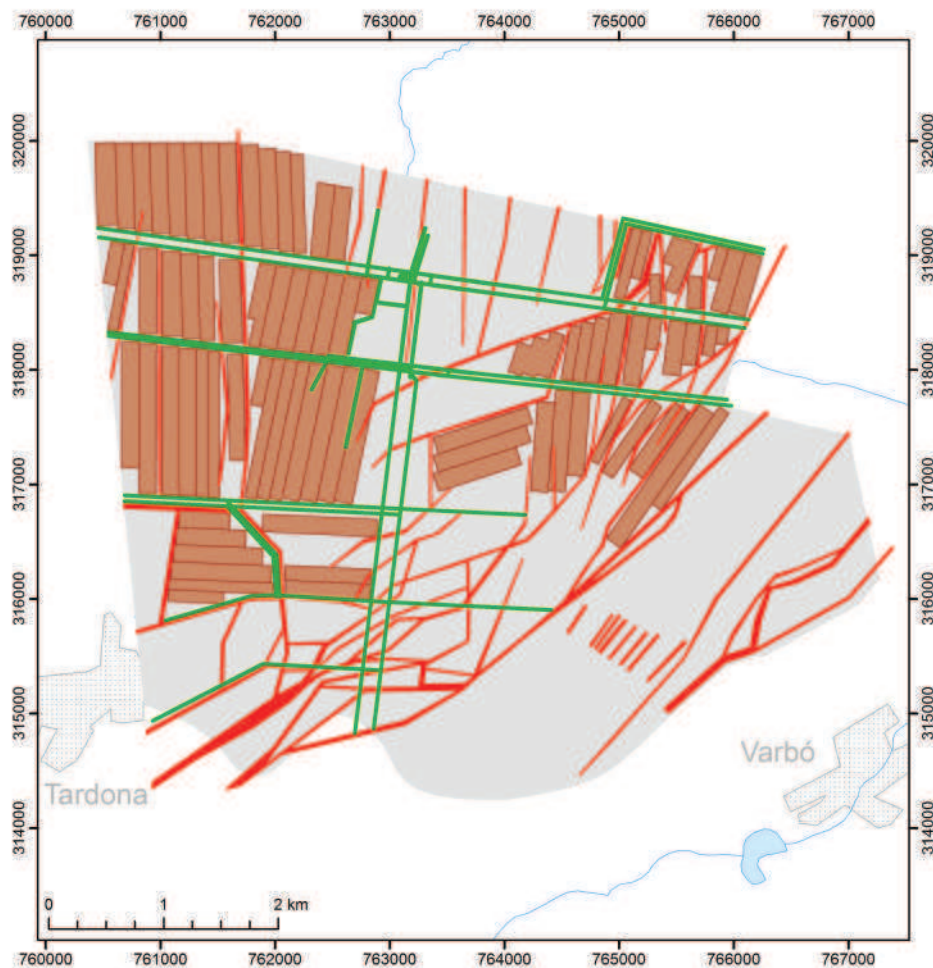
Az üzemtérén fel kell készülni mind a szén, mind a meddő fogadására, kezelésére, a bányászati segédeszközök, anyagok tárolására. Létesíteni kell egy maximum 400 fő ellátására alkalmas szociális létesítményt. Ezt az üzemteret a továbbiakban Billa-bányának hívjuk.

A kutatási terület egyik nyitópontjaként figyelembe vett Tervtáró II. bányamező öregségi vízzel telített, valamint összeköttetésben van a még korábban művelt Tervtáró I. és más régebbi műveletekkel. A korábbi műveletekből szabadon folyik ki az öregségi víz Kazincbarcika, Herbolya-bányatelepen, a +161,0 m Af. szinten, így a területen fakadó vízmennyiség meghatározható (várhatóan 5–7 m<sup>3</sup>/perc). A bányából kifolyó víz minősége megállapítható. Az öregségi vizek lecsapolása, a billa-bányai lejtőszaknapáron keresztül oldható meg. Az aknapár elejét rövid szakaszon tömedékelték, illetve elbontották. Újranyitása viszonylag kis ráfordítással megoldható.

Tervtáró II. bányamező légellátást a lejtős aknapár egyik aknájára telepített fő szellőztetőgép biztosította, melynek maximális kapacitása 2000 m<sup>3</sup>/perc volt. A víztelenítés előre haladásával, a vízszint csökkentésével ennek a centrális szellőztetési módnak a helyreállítása nagyban meggyorsítja az új bányamező feltárását. A későbbi, bánya élettartama alatti, diagonális fő szellőztető légáram kialakításánál a rendszer megtartható, illetve a kapacitása megfelelő.

A föld alatti (és külszíni) szállítási (mozgási, mozgatási) költségek lehetőség szerinti minimalizálása miatt a „Tardona szén” kutatási terület teljes lefejtéséhez szükség lesz egy második nyitópont meghatározására is. A terület IV. telepre vetített súlypontját, valamint a külszíni terepviszonyokat is figyelembe véve ez a pont a Harica-patak völgyében Kondó községtől 5 km-re nyugatra, a Kondó K–209 felű fűrés közelében adódik. A külszíni terület alkalmas egy 2–3 ha nagyságú üzemtér kialakítására. A külszíni nyitóponttól a IV. telep, Ny-i irányba egy 900–950 m hosszú 200–230‰ lejtésű lejtőszaknával érhető el.

A bányamező lefejtésének előre haladásával (4.28 ábra) szükségessé válhat a második lejtőszakna kihajtása is, a fenn-



4.28. ábra. A tardonai terület IV. telepének fejtési terve a fejtési idomokkal

tartási, mozdítási költségek optimalizálása miatt. Ezért az első lejtőszakna helyének, irányának, lejtésének meghatározásánál figyelemmel kell lenni erre is. Ezen az üzemtéren is fel kell készülni mind a szén, mind a meddő fogadására, kezelésére, a bányászati segédeszközök, anyagok tárolására, s itt is létesíteni kell egy maximum 400 fő ellátására alkalmas szociális létesítményt. A létszám folyamatosan nő a kezdeti 50–60 főről a fent említett 400 főre. Ezt az üzemteret továbbiakban Harica-bányának hívjuk.

Összefoglalva: A „Tardona szén” kutatási terület termelésbe vonásához, az optimumok figyelembe vétele miatt két nyitóponttal kell felkészülni. Az élettartam során a kezdeti időben Billa-bánya jelentősége lesz a nagyobb, majd kiegyenlítőds után a súlypont Harica-bánya irányába tolódik el. A termelés utolsó időszakában a billa-bányai tevékenység minimálisra csökken (4–5 fő). A kezdeti időszakban Billa-bánya mint önálló termelő egység, Harica-bánya mint feltáró bánya üzemel. Billa-bánya a víztelenítés befejezése után a régi bányavágatok felhasználása miatt viszonylag rövid idő alatt termelésbe vonható, aminek sok kedvező hatása van (költségkímélés, gyorsabb foglalkoztatás, bányászati kultúra mielőbbi felélesztése, a régió olcsó, lakossági szénrel történő ellátása stb.). A régi vágatokkal részben feltárt, illetve előkészített, leművelhető szén mennyisége közel 3 millió tonna.

### *Aknafejtés, vágathajtás*

Az előkészítő vágatok kihajtását, egy-egy bányamező feltárása után, dőlésben lefelé haladóan kell irányítani. Az előkészítő vágatok szelvénymérete ~10 m<sup>2</sup>. A vágatokat körszelvényű, acélbiztosító elemek felhasználásával kell biztosítani. Nyitott szelvényű (kapu, vagy tároló) biztosítást ideiglenes vágatok esetén lehet használni, valamint a régi Tervtáró II. mező részben. A várható kőzetnyomás miatt, arra kell felkészülni, az előkészítő vágatok mennyiségének meghatározásánál, hogy minden fejtéshez minimálisan két kísérő vágatot kell kihajtani. Ez 1000 kt/év termelési szintet

**4.5. táblázat.** Tardona (fm/év-ben kifejezett) vágathajtási igénye a beruházási időszakban

Beruházási vágathajtás	TH	TH+beton	Összesen
Alapvágatok	1000	450	1450
Egyéb vágatok	50	50	100
Összes vágathajtás (fm/év)	1050	500	1550

**4.6. táblázat.** Tardona évi vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve)

	Szén	Meddő	Összesen
Üzemi vágathajtás	9000	500	9500
Beruházási vágathajtás	–	–	–
Fenntartás	1000	200	1200
Összes vágathajtás (fm/év)	10 000	700	10 700

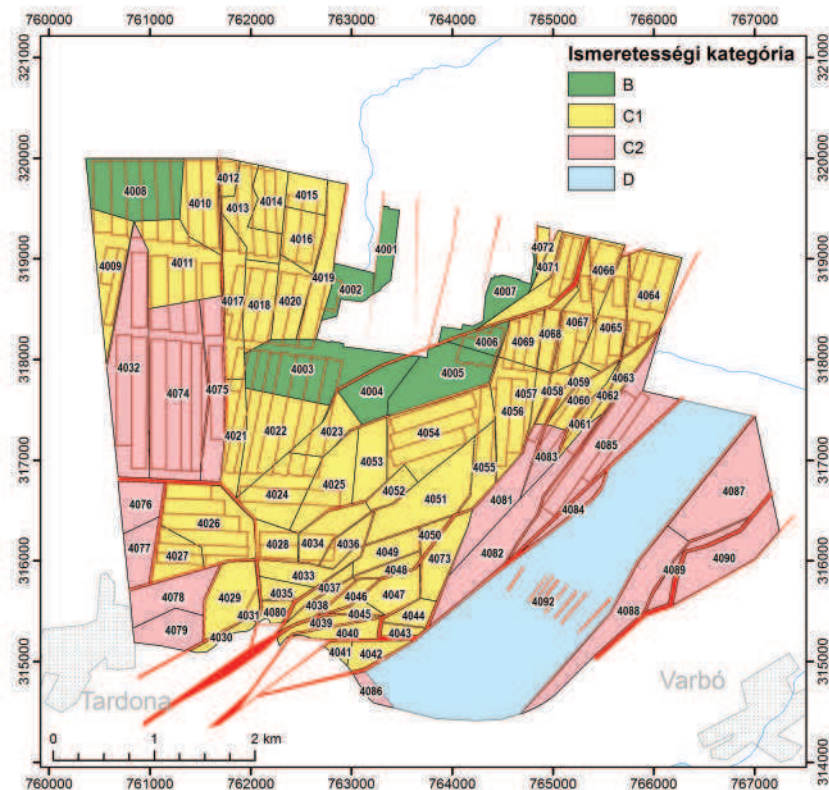
feltételezve mintegy 10 000 m/éves vágathajtást jelent, 20% tartalékkal. Folyamatosan 6–7 gépesített vágathajtó munkahely telepítésére lesz szükség. A kísérő vagy előkészítő vágatok kihajtása vegyes szelvényben történik 50–50% szén-meddő aránnyal. A szükséges mennyiségű feltáró és előkészítő vágat kihajtásához 7–8 db vágathajtó gép és egyéb kiszolgáló berendezés szükséges (4.5., 4.6. táblázat).

### *Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon*

A „Tardona szén” kutatási terület megkutatott IV. telepének szénvagyonja alapján az éves termelés nagysága tág határok között változhat. A minimális éves termelési szintnek a termelési költségek nagysága, míg a maximális termelésnek a fellelvőpiac szab határt. Egyéb gazdaságossági, humánpolitikai (szakképzett munkaerő) megfontolások alapján 1000 kt/év termelési kapacitás létrehozása látszik célszerűnek. A gépesített fejtési technológiát úgy kell megválasztani, hogy minél jobban alkalmazkodjon a változó telepvastagsághoz.

A kívánt ~1000 kt/év termelést (elővágásokkal együtt) 2 db – átszerelésekkel üzemelő – önjáró biztosítóberendezésekkel szerelt frontfejtéssel lehet megvalósítani. A 100–150 méteres homlokhosszúságra tervezett frontfejtések közül, az előkészítő vágatok mennyiségének minimalizálása érdekében minél többet két szárnyal kell kialakítani. A visszatartott vágatokkal üzemelő fejtési technológia a várható kőzetnyomás miatt nem alkalmazható, vagy aránytalanul nagy fenntartási igényekkel járna, és jelentősen csökkentené a frontok előrehaladási sebességét is. A fejtéseket, mind a fejtési pásztát, mind a fejtési mezőt, hazafelé haladó iránnyal kell tervezni. Esetleges lakossági szénigények szezonális kielégítése érdekében célszerű gépesített kamra–pillér fejtéseket kialakítani. Így csökkenteni lehet az ásványvagyon-vesztéseket is.

Az önjáró fejtési biztosítóberendezés kiválasztásánál figyelembe veendő főbb szempontok (1) a jövesztési mélység



4.29. ábra. A tardonai terület IV. telepének készletszámítási tömbjei és fejtési idomai  
A készletszámítási tömbökben a tömbök egyedi azonosítója látható

(fogásmélység) maximum 0,8 m, mely a kiválasztott biztosítóberendezés függvényében változhat, (2) a biztosítandó magasság 1,2–1,8 m, (3) a homokos, ill. agyagos aleurit talp, mely időnként vizes, (4) a csigás szürkemárga-főte, melynél a főteomlás gondokat okozhat, továbbá (5) a talpvíz hiánya. A frontfejtések fontosabb műszaki paraméterei: (1) redukált homlokhossz 135 m, (2) a fejtések átlagos sebessége 7,5 m/nap, (3) az átlagos telepvastagság 1,6 m, (4) a fejtések redukált darabszáma 1,75 db/év, (5) az évenkénti üzemnapok száma 252 (6) egy fejtésre eső átlagos termelés 2200 t/nap, (7) az összes fronti termelés 965 kt/év.

A kitermelhető vagyon 18,6 Mt (4.29. ábra). A terület déli része erősen tektonizált, jelen földtani ismeretek alapján ott nem tervezhető fejtés. Külszíni és bányabeli kutatással pontosíthatók az adatok, amely során várhatóan nőni fog a lefejtendő vagyon nagysága. A fejtésre jelenleg nem tervezett „Mélyszinti II. bányamező” vagyona 11 409 kt, a „Keleti III. bányamező” 10 258 kt, ismertsége „C<sub>1</sub>” és „C<sub>2</sub>”. Szintén nincs tervezett fejtés a bánya „D” ismertségű 9728 kt vagyonú részébe, ahol további kutatások szükségesek.

### Föld alatti és külszíni szállítás

A termelvény mind Billa-bánya, mind Harica-bánya irányában folyamatos szállító berendezéssel kerül a külszínig, 800 és 1000 mm-es gumihevederes szállítószalaggal. Végleges meddőszállítás 800 mm-es gumihevederes szállítószalaggal történik Billa-bánya irányába. Az anyagszállítás mindkét irányban függőspályán történhet. A lejtős akna csilleforgalmának csökkentése érdekében szénfeladó helyeket kell kialakítani a föld alatti gerincszállítás mellett, ahol az elővájási és kamra–pillér fejtési szenet fel lehet adni a folyamatos szállító berendezésre.

Harica-bánya üzemtéren tároló bunkereket kell kialakítani a szén fogadására. Billa-bányai üzemtérről beruházási időszakban tehergépkocsival látszik megvalósíthatónak a szállítás, Harica-bánya esetében megvalósítható a kötöttpályás szállítás, távolági szállítószalaggal. A kötöttpályás szállítás nyomvonala a korábbi Berente–Lyukóbánya drótkötélpálya nyomvonala lehet. A lakossági szénigények kielégítése az üzemtéren erre kialakított helyen megoldható.

A kitermelt meddőközet kezelésére mindkét üzemtéren fel kell készülni. Billa-bányán már létezik a korábbi meddőhányó, csak a berendezéseket kell beszerezni. Harica-bányán (a lyukasztásig) ideiglenes meddőhányót kell kialakítani. Technikailag önürítő rendszerű berendezést kell üzembe helyezni. A korábbi tapasztalat alapján nem várható a meddőhányók öngyulladás. A meddő közet és a termelvény gondos szétválogatása, valamint a szelektív jóvesztés meggátolja a meddőhányók öngyulladását. A kitermelt meddő éves várható mennyisége 80 000 m<sup>3</sup>, aminek zöme Billa-bányán kerül kiszállításra.

A bányászati segédanyagok (fa és acél biztosító anyagok, gépek, függősin stb.) fogadására az üzemtereken szintén fel kell készülni. Gazdaságilag sem célszerű jelentős készleteket tárolni, ezért egységcsomagos szállítási, mozgatói rendszert kell kialakítani, mely jól szervezhető és költséghatékony.

Mind a föld alatti, mind a külszíni szállítás gondos, körültekintő megtervezése nagyon fontos feladat a gazdaságosság, az élőmunkaigény szempontjából. A mozgás és mozgató költségeinek csökkentése szempontjából egy másik nagyon fontos kérdés annak az időpontnak a meghatározása, amikor a két bányát függetleníteni kell. Az első kapavágásokat ennek szellemében kell megtenni.

### *Vízmentesítés*

A „Tardona-szén” kutatási terület művelésbe vonásának sarkalatos pontja az öregségi vizek számbavétele és kezelése. A javasolt művelési koncepció helyett lehetett volna egy olyan javaslat is, amely szerint az öregségi vizet nem kellene lecsapolni, azonban ennek számos hátránya lenne. Az egyik, hogy az öregségi vízveszély miatt megszerkesztendő vízvédelmi pillér nagyon komoly szénvagyonot kötne le, ráadásul az így pillérben maradó terület a mező legígéretesebb része. A másik, hogy a megkutatott terület legmélyebb pontja és az öreg bányamező „túlcsorduló” pontja között közel 300 m szintkülönbség van, amely a tektonizáltságot is figyelembe véve, a védőpillér ellenére is, komoly veszélyt jelentene.

Az öregségi vizek lecsapolásáról korábban már esett szó. A vízlecsapolás során komolyabb vízlökéssel nem kell számolni, mivel a lefejtett terület egyenletes dőlésű a víztelenítési pont felé, és nem lettek olyan védőművek beépítve, melyek tönkremenetele ilyet okozhatna. Mindezek ellenére védőpillér kijelölésére vagy fúrólukás vízlecsapolásra az új mező ÉK-i részén szükség lesz. A lecsapolással párhuzamosan visszatelepíthető a lejtőszakna alatti fő vízmentesítő telep, mely a két bánya szétválásáig üzemelhet. A fő vízmentesítő telepről emelt vízmennyiség maximális értéke várhatóan 8–10 m<sup>3</sup>/perc, fogadó pontja a Tardona-patak.

A kutató fúrásoknál nem merült fel, hogy az új terület vízháztartása a korábban tapasztaltaktól eltérő lenne. Két fúrásnál azonban vízbetörés jelentkezett, melyre a feltárás során figyelemmel kell lenni.

Harica-bányán a termelés súlypontjának áttevődésével párhuzamosan, az aknaltalp közelében fő vízmentesítő telepet kell létesíteni, melynek kapacitása maximum 15–20 m<sup>3</sup>/perc. Az emelt víz fogadó helye a Harica-patak.

### *Szellőztetés*

Tervtáró I–II. bányaveszélyek szempontjából nem volt besorolva, így várhatóan a kapcsolódó bányamezők sem lesznek. Ez a kutató fúrások adataiból sem merült fel. Az a tény egyébként az egész kutatási terület leművelését nagyon kedvezően befolyásolja.

A billa-bányai lejtőszaknapár aknaltalpig történő víztelenítésének befejezése után az áthúzó légáram megteremthető a volt szénzállító lejtőszaknára visszatelepített fő szellőztetőgéppel.

A mezőbeni víztelenítés előre haladásával fokozatosan teremthető meg az egész Billa-bánya áthúzó légárama. A telepített 2000–2500 m<sup>3</sup>/perc légszállítású fő szellőztetőgépnek, változtatható motor fordulatszámmal és lapátszöggel kell rendelkeznie, mivel a mező lefejtése során a bánya légellenállása tág határok között változik. A két oldalról induló fő feltáró vágat lyukasztása után, a bányák szétválasztásáig, Harica-bánya szellőztetését is ez a fő szellőztetőgép fogja biztosítani. Szellőztetés szempontjából legkésőbb a két bánya összeköttetésének időpontjáig ki kell hajtani a párhuzamos lejtőszaknát, és itt kell megteremteni a centrális szellőztetés lehetőségét, egy hasonló teljesítményű fő szellőztetőgéppel.

### *Külszíni létesítmények és a felszín érintettsége*

A tervezett bányához két külszíni létesítmény kapcsolódna. Az egyik a korábban üzemelő Tervtáró II. üzemtere, melyet most Billa-bányának nevezünk. A másik a Harica-patak völgyében kialakítandó. A beruházás kezdetekor a billa-bányai üzemtérén folya nagyobb tevékenység. A termelés előre haladtával a tevékenység súlypontja egyre jobban áttevődne a harica-bányai üzemterre.

A Billa-bánya Kazincbarcika és Tardona közötti közút mellett helyezkedik el. Korábban Tervtáró II. bánya üzemtereként üzemelt. Regionális víz- és szennyvízhálózat nincs. A 20 kV-os elektromos távvezeték az üzemtérén van. A Harica-bánya Kondó és Tardona községek irányából kőburkolatú erdészeti úton közelíthető meg. Regionális víz- és szennyvízhálózat nincs. A 20 kV-os elektromos távvezeték 1–1,2 km-re található.

### *Foglalkoztatás*

A működési szakaszban a termelés felfutását követően a teljes létszámgigény mintegy 394 fő. Ehhez adódik hozzá a kiszolgálói és beszállítói foglalkoztatott létszám.

## Mizserfa II.

### Kutatástörténet

A Nógrádi-szénmedence legjobb gazdasági perspektívákkal rendelkező előfordulása. Mizserfa II. területén és környezetében (4.30. ábra) az 1800-as évektől az 1960-as évek szénbányászati visszafejlesztéséig termeltek szenet, elsősorban a legkönnyebben elérhető és a legjobb minőségű I. telep művelésével. A vizsgált területen a szenes előfordulás I. telepét csaknem teljes egészében lefejtették.

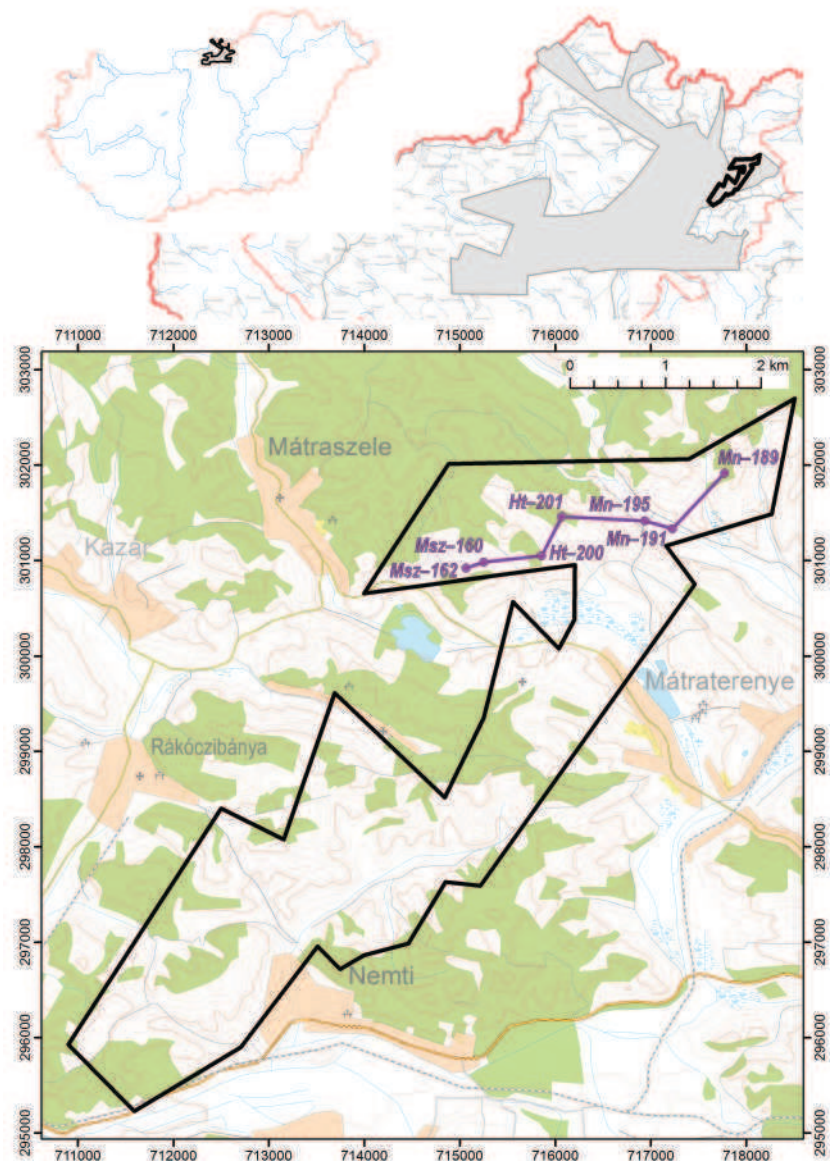
Az 1970–80-as években zajló részletes kutatási fázis kizárólag a II. és a III. telep megismerésére irányult (PALLA, SZEMEREY 1982). Az előzetes fázisú kutatás megindításáig 283 db fúrás mélyült le az előfordulás területén. A D-i részen a fúrások sűrűsége elérte a részletesen megkutatott követelményt, a megkutatottsági nyilatkozatot is kiadták. Az É-i részen a régi fúrások nagy része leállt az I. telep fekjében, ezért az 1980-as fúrások elsősorban az ismeretek kiszélesítése miatt főleg erre a területre irányultak. A 36 db magfúrás a III. telep fekjéig mélyült. A fúrásokban geofizikai méréseket is végeztek. Az 1981–82-es években végzett részletes kutatás során újabb 34 fúrás mélyült, melyek nagy része teljes szelvénnel harántolta a fedő képződményeket a lefejtett területek fekjéig. A Homokterenye Ht–203 számú fúrás a riolittufát harántolva a mélyfeküben állt meg. Ebben a fúrásban hidrogeológiai vizsgálatok is készültek a II. telepi fekü és a mélyfekü rétegvízének vonatkozásában. Az É-i rész lehatárolása érdekében M=1:10 000-es méretarányú földtani térképet is készítettek.

A kutatási zárójelentésben (PALLA, SZEMEREY 1982) közölt szerkezeti modell (vetőtérkép) a fúrásadatok mellett lefejtett I. telep bányászati adatai alapján készült, az I. telepi fejtések adatai meghatározták a jelentősebb tektonikai vonalak helyét, nagyságát, a telepek csapását és dőlését, így új szerkezeti modell létrehozása nem indokolt. A feldolgozás lépései az alábbiak voltak: (1) mélyfúrási naplók feldolgozása (szöveges állomány – 476 fúrás 8953 réteg, mélyfúrási geofizikai görbék – 284 fúrás, 205 893 fm, MEO vizsgálati eredmények – 244 fúrás 4085 minta); (2) vetőtérkép digitalizálása; (3) teleptalp térképek digitalizálása; (4) készletszámítási térképek digitalizálása; (5) 3D modellépítés egyedi szerkesztett földtani szelvények, illetve interpolált térképek georeferálásával és 3D környezetben történő együttes digitalizálásával; (6) bányamodell létrehozása; (7) gazdasági előkalkulációk.

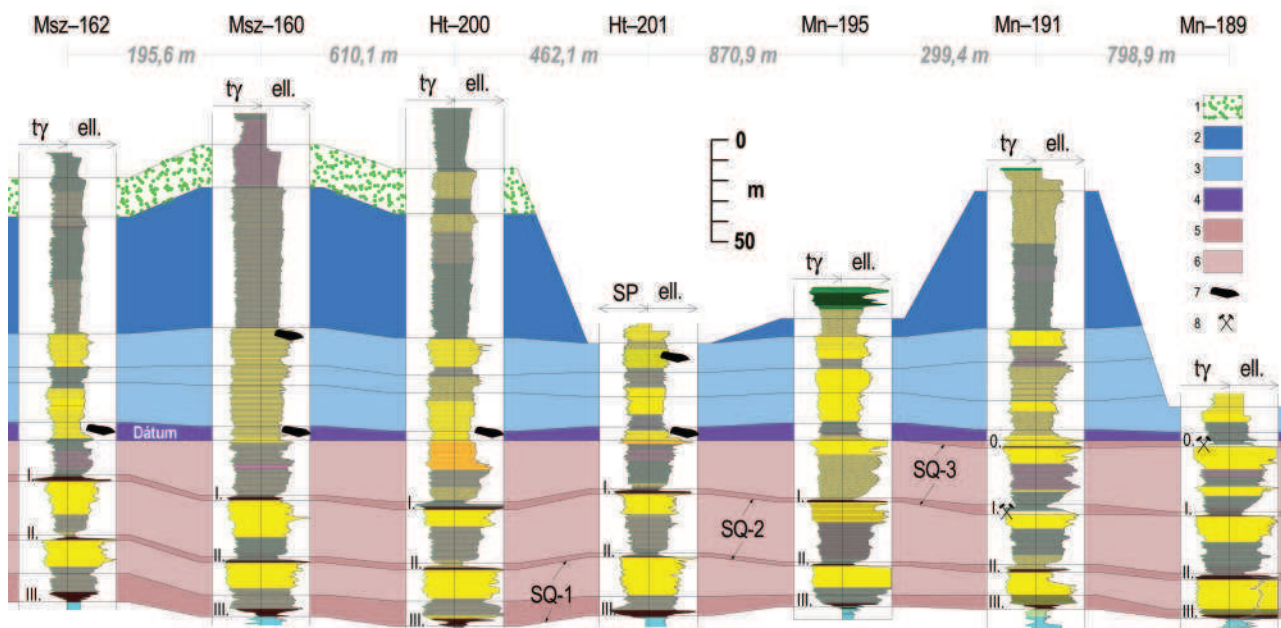
### Rétegtani viszonyok

Mizserfa II. terület telepei egy-egy fölfelé durvuló progradációs ciklus bázisán találhatók, s a tenger előrenyomulásának kezdetét jelző vízszintemelkedéshez kapcsolódnak (4.31. ábra). A III. telep közvetlen fekjét rendszerint erodált felszínű riolittufa, illetve áthalmozott, üledékkel kevert, homokos, kavicsos riolittufa képezi, esetenként vékony, nem műrevaló szénzsinór-betelepüléssel („teríték telep”). A riolittufa felszíne a mállott, üledékes hozzákeveredéseket tartalmazó részekben is eléri az 5–10 MPa egytengelyű nyomószilárdság értéket.

A III. telep általában nagy vastagságú, de csak a felső 1,5–3,5 m minősége felel meg egy 7500 kJ/kg-os kondíciós határnak. A terület középső részén egy



4. 30. ábra. Mizserfa II. terület topográfiai térképe és a 4.31. ábra nyomvonal és mélyfúrásai



**4.31. ábra.** A nógrádi I., II. és III. telepeket beágyazó üledékciklusok megjelenése Mizserfa II. területen DNY-ÉK-i csapású szelvényen

A szelvény nyomvonalát l. a 4.30. ábrán. Jelmagyarázat (Püspöki et al. 2017 és a 3.37. ábra alapján alapján): 1. SQ-5 FSST, 2. SQ-4 TST, 3. SQ-4 LST, 4. „Oncophoras rétegek”, 5. kőszéntelepes ciklusok transzgresszív szakaszai, 6. kőszéntelepes ciklusok progradációs szakaszai, Msz=Mátraszele, Ht=Homoktrenye, Mn=Mátranóvák

nagyobb és két kisebb meddőfolt található. A produktív területen az átlagos vastagság 1,85 m. A produktív III. telep közvetlen fekéje a rossz minőségű III. telepi alsó pad, mely nagy agyagtartalmú és kemény, így biztosító szerkezetek tartására alkalmas lehet. A telep közvetlen fedőjében 2–5 m vastag, jól omlasztható mikrorétegzett aleurit települ, rendszerint magas szervesanyag-tartalommal („kanavász”).

A II. telep fekéjében a megelőző ciklus jól osztályozott, gyakran szénzsinór- betelepüléses vagy gyökérnyomos, laza homokkőve települ, amely a biztosító szerkezetek tartására alkalmas, duzzadásra nem hajlamos. A II. telep az egész területen egyenletes kifejlődésű, vastagsága átlagosan 1,14 m. A II. telep fedőjében lévő aleurit megfelelően omlasztható. A II. telep közvetlen fedőjében lévő bitumenes agyagpala vastagsága, fűtőértéke és jöveszthetősége alapján alkalmas arra, hogy a vékony II. telep fejtésekor a minimálisan elegendő fejtési magasság érdekében részben lefejtésre kerüljön.

A széntelepek egytengelyű nyomószilárdsága 10–15 MPa körüli értéket mutat, a II. és a III. telep szilárdsága jelentősen nem különbözik. Ez a szilárdság – figyelembe véve a telepek feké- és fedőviszonyait és a telepvastagságokat is – előrevetíti a jövesztés módját.

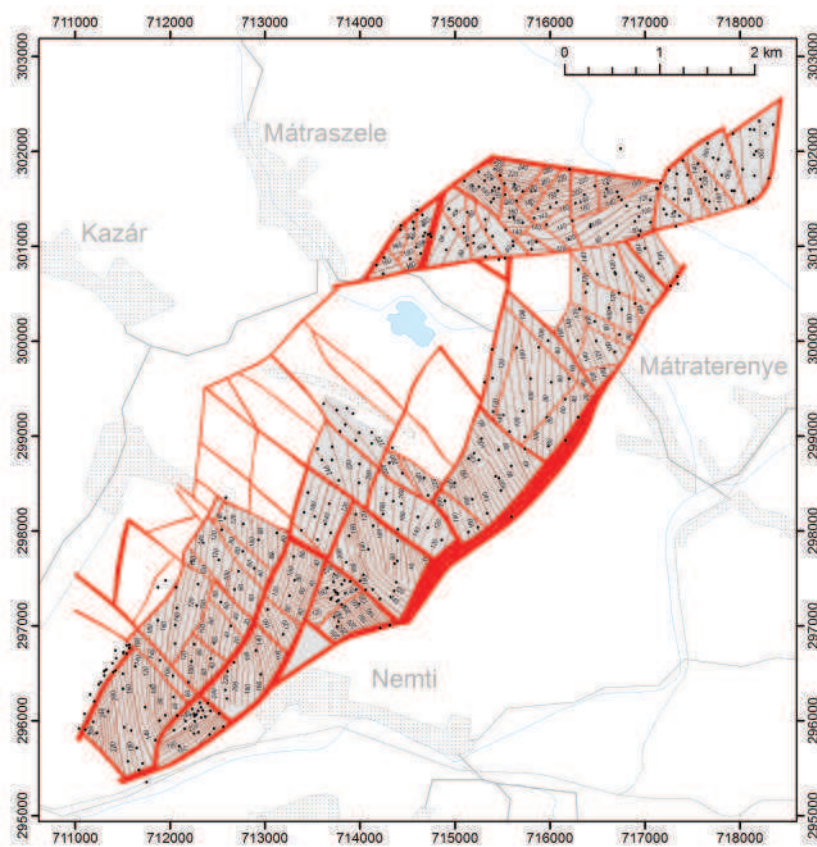
### *Szerkezeti viszonyok*

Mizserfa II. terület a Nógrádi-medence két félárok szerkezetének, a Zagyva- és az Etesi-árokaknak a találkozásánál, a két törérendszer keresztezési zónájában található. Ennek következtében a Nógrádi-medencére jellemző pásztás megjelenéstől eltérően Mizserfa II. területe sakktáblaszerűen felsabdalt (4.32., 4.33. ábra), amit a műveléstervezésnél hangsúlyozottan kell figyelembe venni. Az I. telepi fejtések tapasztalatai alapján kijelenthető, hogy a területen belül a legbonyolultabb tektonika az északi részen található, a kibillent szerkezetek változatos dőlésviszonyait tükrözik a II. telep és III. telep talpmélység térképei.

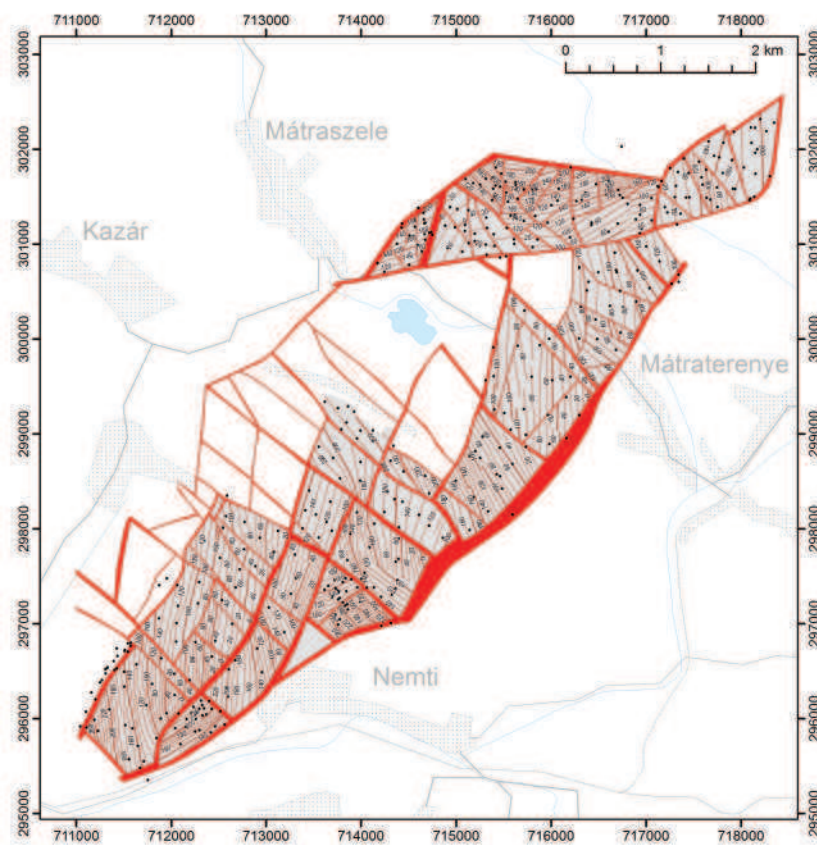
### *Feltérési terv*

A települési mélység itt is lehetővé teszi lejtőszaknappárral történő feltérást (4.34. ábra). A lejtőszaknappár optimális helyének meghatározásánál figyelembe vettük a kialakítandó fejtési tömbök súlyponti analitikáját (ZAMBÓ 1985, PALLA, SZEMEREY 2011). A bányatelek praktikusán két nagy területre, É-i és D-i bányamezőkre bontható, így a lejtő aknáknak a két fő mező határvonala közelébe kell a telepeket elérnie. A feltérást a D-i mező előkészítésével célszerű kezdeni, mivel ez a mező lényegesen jobb geotechnikai paraméterekkel rendelkezik. Mindkét lejtő aknát ebbe az irányba célszerű lemélyíteni. A tagoltság, a dőlésviszonyok, az idomok nagysága és ebből adódóan az alkalmazható technika és technológia behatárolja a termelés volumenét és fajlagos költségeit. A D-i mező e megfontolások alapján kedvezőbbnek mutatkozik.

A fő feltérő vágatok nyomvonala ÉK–DNY irányú, igazodva a területen áthúzódó 30–200 m elvetési magasságú nagy vetőhöz. Ez a tengelyirányú osztás a keresztirányú uralkodó vetők átszelését eredményezi, így alapja lehet egy bányabeli részletesebb kutatásnak.



4.32. ábra. A nógrádi II. telep elterjedése, települési mélysége és szerkezeti viszonyai Mizserfa II. területen (PALLA, SZEMEREY 1982)



4.33. ábra. A nógrádi III. telep elterjedése, települési mélysége és szerkezeti viszonyai Mizserfa II. területen (PALLA, SZEMEREY 1982)



A lejtős aknák építésének megkezdésétől az első fejtés termelésbe lépéséig ~4,5 évre van szükség. A teljes kapacitását (611 ezer t/év) a 6. évben érheti el az üzem. A bánya várható élettartama (beruházási időszak 4,5 év + termelési időszak 27,3 év + bányabezárás 2,2 év) összesen 34 évre becsülhető.

Az aknák helyének kijelölésénél figyelembe vettük az optimális aknatelepítés szabályait (ZAMBÓ 1985) (az ásvány-vagyonhoz történő legrövidebb hozzáférés, a szállítási súlypont, veszteség-minimalizálás) valamint a külszíni viszonyok (domborzat, települések helyzete, meglévő külszíni létesítmények, úthálózat, infrastruktúra, környezet- és természetvédelem). A bányatelek középső részén, a nyugati határvonala mellett célszerű indítani a lejtősaknapárt, a legkevesebb ásvány-vagyon lekötésével. Itt kerülhet kialakításra a bányauzem udvara is, az összes külszíni létesítménnyel együtt.

A lejtős aknák a felső 15 m-es szakaszon szintes kialakításúak, majd folyamatos átmenettel 200‰ dőléssel épülhetnek. Hosszuk: a szállító lejtős akna 697 m (L1. vágat); a lég lejtős akna 639 m (L2. vágat). szelvénymeretük 5,5 m talpszélességű 3,4 m magasságú nyitott kapuív. A biztosítás 25 kg/fm tömegű TH, melynek beépítési sűrűsége 0,5 m. Gyenge megtartású rétegeken történő áthaladáskor a biztosítószerkezetek beépítési távolságát csökkenteni kell. Bélelésként dupla deszka vagy palló használandó. A szállító lejtősakna fő funkciói: termelvényszállítás, személyszállítás, függősínes szervizpálya, személyközlekedés, a behúzó légáram vezetése, a sűrített levegős hálózat vezetése, a tartalék víztelenítő hálózat vezetése, a tűzivíz hálózat betáp. vezeték vezetése, 1–6 kV-os betáp. kábelek vezetése, a jelző, riasztó és hírközlő kábelek vezetése. A lég lejtős akna fő funkciói: a kihúzó légáram vezetése, anyagbeadási fő útvonal, menekülő járat, 1–6 kV-os betáp. kábelek vezetése, a víztelenítő hálózat vezetése.

A mélység, a várható nyomásviszonyok és a kőzetek szilárdsági paraméterei miatt, figyelembe véve a korábbi bányászati tapasztalatokat is, az alapvágatokat a 3–6 MPa egyirányú nyomószilárdságú II. telepben és annak közvetlen főtéjében célszerű kihajtani. Tekintettel arra, hogy az I. telep a terület legnagyobb része felett már korábban lefejtésre került, és az I. telepi omladék és a II. telep távolsága átlagosan 28 m, a fő feltáró vágatok állékonysága vélhetően itt lesz a legkedvezőbb. A fejtési kísérő vágatokat a széntelepben kell kihajtani.

A vágatok biztosítása tekintetében az alapvágatok, a fő gerincvágatok és a kiszolgáló bányatérsek esetében a kőzetkörnyezet jó állékonyságú, így a benne hajtott vágatok nyitott kapuíves szelvénnel készülhetnek. Néhány különleges funkciójú vágat kivételével a vágatok egységesen 16 m<sup>2</sup> szabad szelvénnel, ellenív nélkül, 1,2 m fogásmélységgel, egy pótácsolattal épülhetnek. A biztosítószerkezet anyaga 21 kg/fm tömegű TH, oldalanként 2–2 kötőszerezettel és deszka-béleléssel. A különleges méretű bányatérsek és a nagyobb vágatkereszteződések környezetében közethorgonyos és közetszilárdító injektálásos biztosítás-megerősítés beépítése válhat szükségessé.

Tekintettel a kőzet keménységére a vágathajtást vágathajtó géppel célszerű elvégezni. Fejtéskísérő vágatok esetében trapéz faácsolat beépítésére kerülhet sor 3 m-es gerenda és 2,5 m-es lábak alkalmazásával, deszkabéleléssel. A bélelés fejtésindító vágatok közelében hézagos is lehet. Javasolt fogásmélység 1,2 m egy pótácsolattal.

Meghatározásra került a beruházás időszakban (4.7. táblázat) és a folyamatos termelés időszakában (4.8. táblázat) az évi

**4.7. táblázat.** Mizserfa II. vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve) a beruházás időszakában

Beruházási vágathajtás	TH	TH+beton	Összesen
Alapvágatok	2740	152	2892
Egyéb vágatok	398	127	525
Összes vágathajtás (fm/év)	3138	279	3417

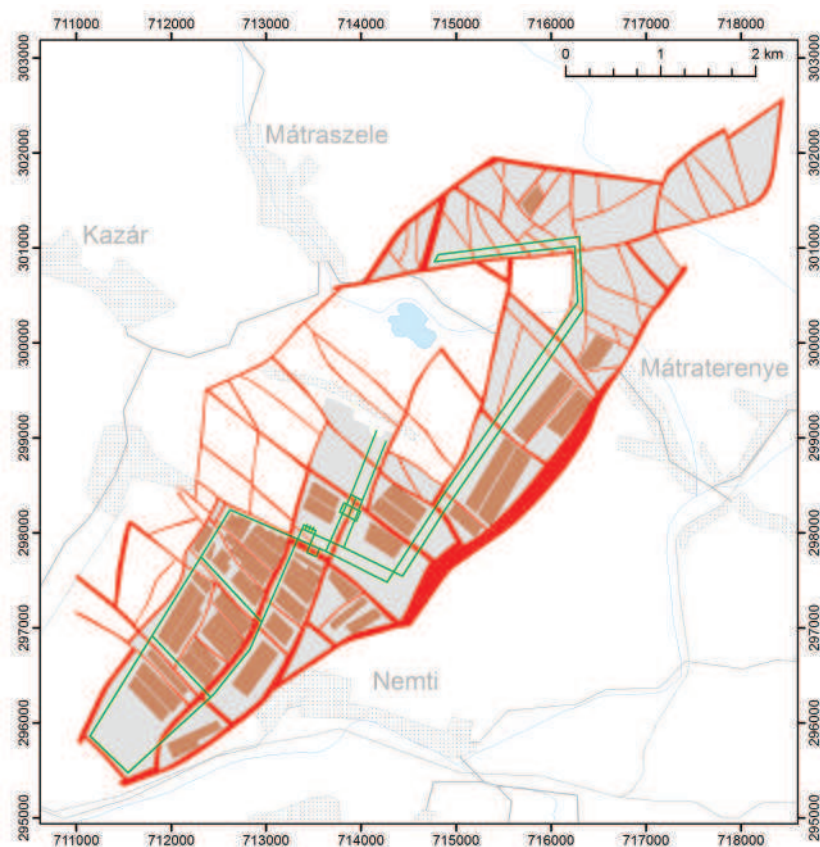
**4.8. táblázat.** Mizserfa II. évi vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve)

	Szén	Meddő	Összesen
Üzemi vágathajtás	3100	700	3800
Beruházási vágathajtás	-	210	210
Fenntartás	140	60	200
Összes vágathajtás (fm/év)	3240	970	4210

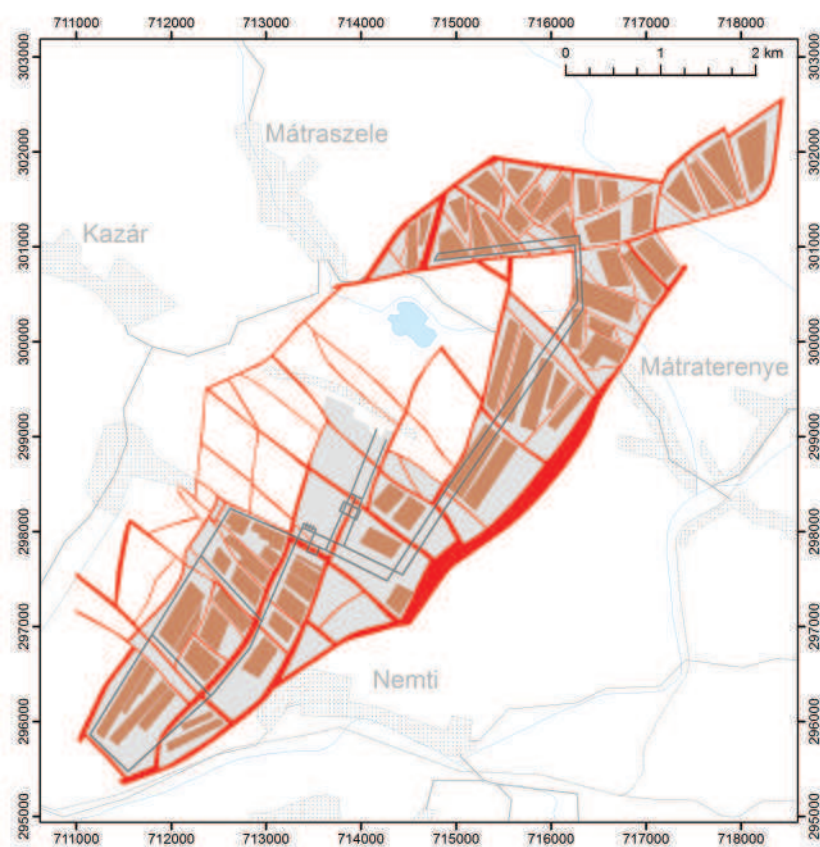
vágathajtási igény. A tisztán beruházási jellegű felfutási időszakot követően, négy komplex vágathajtó csapatra lesz szükség. Az egy időben nyitva levő vágatok összes hossza várhatóan két fenntartó csapat munkáját igényli.

### *Termelés, tényleges kitermelhető vagyon*

A fejtési idomok kialakításánál számtalan tényező közül elsődleges, hogy az alkalmazandó technika illeszthető legyen a tektonikához, ugyanakkor minél teljesebb kihozatal legyen elérhető (4.35., 4.36. ábra). A tervezett technika a telepadottságok alapján került meghatározásra (DARLING 2011). A fejtési idomokról általánosságban elmondható, hogy ÉK–DNy-i irányú nagyobb vetősávok és a rá közel merőleges irányú nagyobb törések közé illesztettek. A D-i mezőben a



4.35. ábra. Mizserfa II. terület II. telepének fejlesztési terve a fejlesztési idomokkal



4.36. ábra. Mizserfa II. terület III. telepének fejlesztési terve a fejlesztési idomokkal

haránt irányú 5–30 m elvetési magasságú vetők három fejtési mezőt határoznak meg. A telepdőlés átlagosan 50‰ körül van, ami bányászati szempontból gyakorlatilag szintes. Csak lokálisan fordul elő 100‰ körüli telepdőlés. Ebben a hidrogeológiai környezetben a kis telepdőlés, a hatékony víztelenítés, valamint a 3 m/nap körüli frontsebesség kedvező feltételeket biztosít a fejtések viteléhez és a vágatok megtartásához.

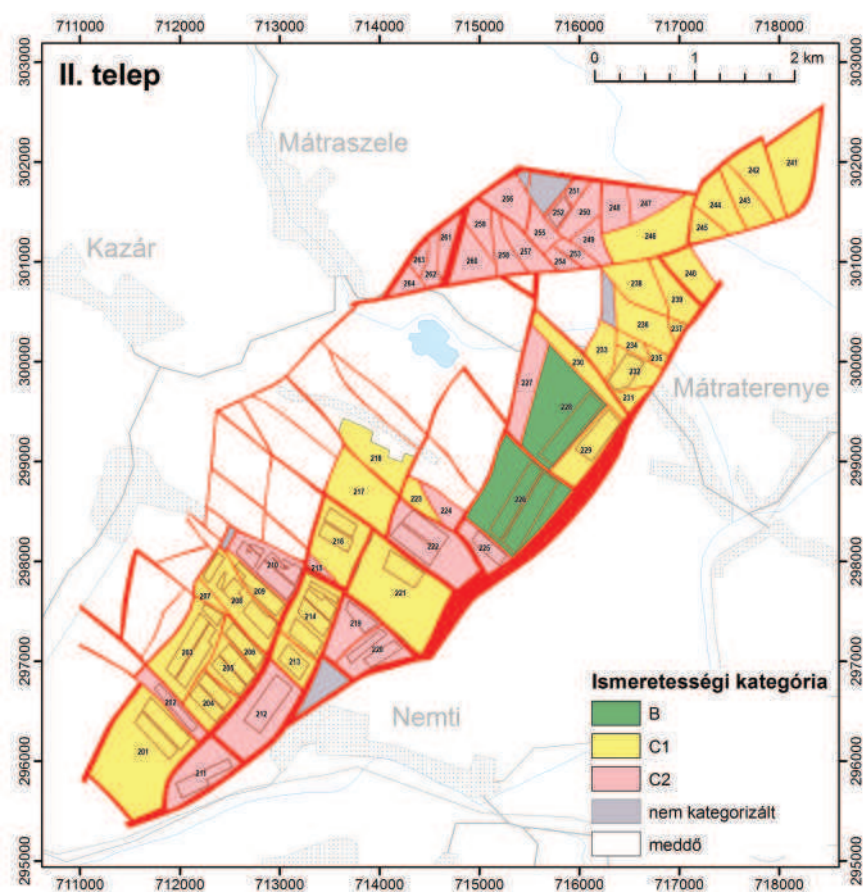
A fenti megfontolások miatt, a komplex gépesítésű frontfejtések [F] (pajzsos biztosítás, gyalus vagy maróhengeres jövesztés) és rövidebb homlokhosszúságú egyedi támos fejtések [P] kerülnek kialakításra. A telepvastagságok a komplex frontok esetében: II. telep 1,1 m; III. telep 2,3 m. A jövesztett szelet vastagsága természetesen a II. telep esetében ennél vastagabb (~1,9 m). A korábban leírtak szerint a szénnel együtt jövesztett bitumenes agyagpala hígulásként jelenik meg. Száraz osztályozással ennek a meddőnek a jelentős része leválasztható. Ez egyben azt is jelenti, hogy eltérő fejtési berendezésekre nincsen szükség, hiszen a jövesztett szeletvastagság olyan közel esik egymáshoz, hogy egy berendezés képes a feladatok ellátására.

A frontfejtésekhez alkalmas technika legfontosabb paraméterei: 1,8–2,5 m átlagos telepvastagság művelésére alkalmas hidraulikus pajzsok és távirányítható kéttárcsás maróhenger vagy gyalu.

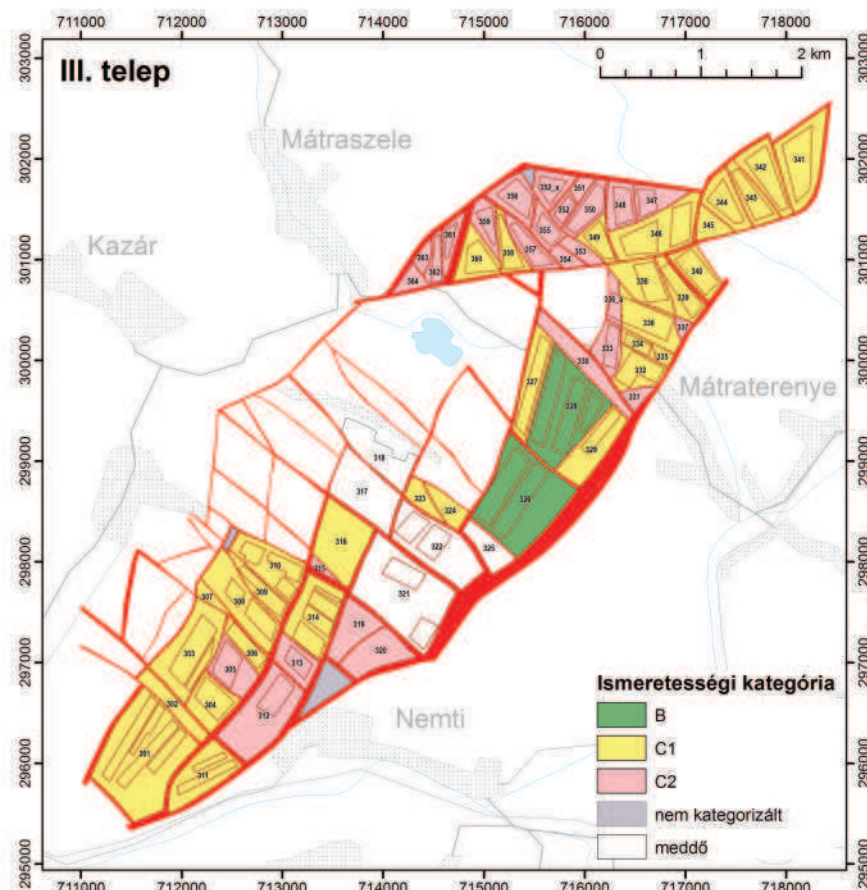
A fejtési homlokhosszak a komplex frontok esetében a lehetőségek függvényében 80–150 m között váltakoznak. A pászták homlokhossza az egyedi támos miatt rugalmasan változhat, különösen ott ahol a jövesztés fúrás-robbantásos technológiával történik.

A fejtések kifizetési hossza a tektonika, a feltérési rendszer, a kivékonyodások és a határpillérek függvényében nagy szórást mutat. A nagyobb kifizetési hossz – még ha a tektonika engedné is – magában hordozza a vágatok fenntarthatóságának problémáját. A fejtési vágatoknak akár két évig is állniuk kell 3 m/nap fejtési sebesség mellett. Egyedi támos fejtések esetében 1,5 m/nap a tervezett sebesség, bár ott a kifizetési hosszak lényegesen rövidebbek. Mindkét fejtési típusnál omlasztásos módszer alkalmazandó. Tömedékelés alkalmazása nem indokolt.

Közetmechanikai és tűzvédelmi megfontolások miatt az egyes fejtési idomok között 5 m, az alapvágatok mellett legalább 50 m pillért kell hagyni. A tényleges kitermelhető vagyon a megtervezett fejtési idomok alapterületének, a széntelepes összlet vastagságához igazított fejtési vastagságnak és a fúrásminták laboratóriumi méréseiből adódó átlagfajsúlynak a szorzatából adódik (4.37., 4.38. ábra).



4.37. ábra. Mizserfa II. terület II. telepének készletszámítási tömbjei és fejtési idomai  
A készletszámítási tömbökben a tömbök nyilvántartási azonosítója látható



4.38. ábra. . Mizserfa II. terület III. telepének készletszámítási tömbjei és fejtési idomai  
A készletszámítási tömbökben a tömbök nyilvántartási azonosítója látható

Az alap beruházások elkészülése után, a felfutást követően az éves termelés várhatóan 611 ezer t lehet. Ez a kapacitás két komplex front (II. telepben ~171 ezer t/év/db, míg III. telepben 358 ezer t/év/db), estenként egy egyedi támos fejtés (~21 ezer t/év/db) és négy elővájás egyidejű működtetésével lehetséges. Az első ilyen kapacitású év az ötödik. A bánya várható teljes termelése: vágathajtásból 61 ezer t/év (1,6 Mt/élettartam), fejtésből 550 ezer t/év (15,1 Mt/élettartam).

### Szellőztetés

A bánya fő szellőztetése három lépcsőben alakítható ki. A bányaeépítési szakaszban a fő szellőztetést a szállító lejtőszakna szájához telepítendő szellőztetőgép és annak 100%-os tartaléka adja. A vágathajtásokhoz így biztosítható a szükséges légmennyiség. Az első fejtés termelésbe lépését megelőzően alakítható ki a második ütem, melyben felszerelésre kerülhet a végleges szellőztetőberendezés. A lejtős akna szájához kiépített depressziós házba egy ~200 m<sup>3</sup>/s légmennyiség szállítására alkalmas axiális szellőztető ventilátor kerülhet beépítésre. Szükséges annak 100%-os tartaléka is. A szállított légmennyiségnek és a depresszióknak változtathatónak kell lenni a mindenkor optimális munkapont-és energiafelhasználás elérése érdekében.

A beépített fő szellőztetők segítségével azok szívó üzemmódban járatásával a bánya szívott jellegű lesz. Természetesen szénbányában a tűzveszély miatt a fő szellőztetésnek megfordíthatónak kell lennie. A behúzó akna lefagyás elleni fűtéséről téli időszakban gondoskodni kell.

A harmadik ütem az É-i rész feltárásával kezdődik. Ekkor a déli részen még folyik a termelés, de többletlegelőre lesz szüksége az É-i feltárásoknál foglalkoztatott csapatoknak. Előzetes becslések szerint, a korábban ismertetett szellőztetőgép, megfelelő beállításokkal ekkor is elegendő lesz a szükségletek kielégítésére.

Az elővájások szellőztetőképességét a szelvényméretek és az ÁBBSZ szellőztetési normái alapján kell meghatározni. A különshellőztetés biztosításához a járatos típusú légszűrőszellőztetők használhatóak. A ventilátorokat sorba kapcsolva kell szerelni, egy csoportba legfeljebb 3 db csőventilátor építhető. Az elővájások szellőztetésénél a normál fúvó, illetve szívó üzemi szellőztetés mellett ún. kombinált szellőztetés is alkalmazható.

A szellőztetés tervezésénél a fenti alapelvek az irányadók, amit a bányabeli körülmények (pl. felszabaduló gázok mennyisége és összetétele, alkalmazott géptípusok, klimatikus viszonyok) befolyásolhatnak.

### Foglalkoztatás

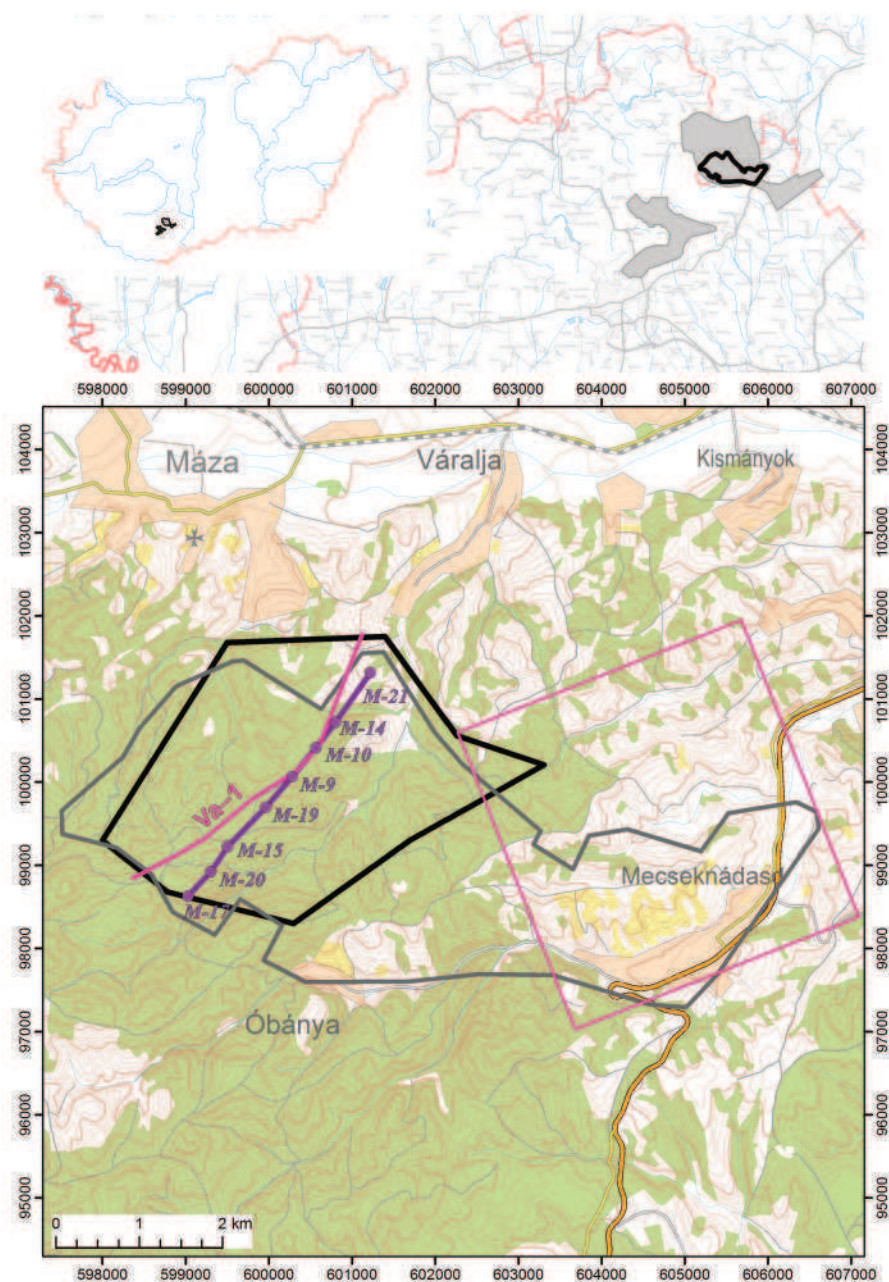
A működési szakaszban a termelés felfutását követően a teljes létszámgigény mintegy 492 főre adódik. Ehhez adódik hozzá a kiszolgálói és beszállítói foglalkoztatott létszám.

## Máza-Dél–Váralja-Dél

### Kutatástörténet

A területre (4.39. ábra) vonatkozó legkorábbi közléseknek a Kelet-Mecsek 1872–1876 között végzett,  $M=1:28\,800$  méretarányban felvett és  $M=1:144\,000$  méretarányban szerkesztett, illetve kiadott „Bécsi” térképezési eredmények (az ún. II. katonai felmérés topográfiai térképein) számítanak, melyekben már felfigyeltek a Szamár-hegy–Nagy-hegy északi oldalán „az alsó liász legfelső zónáihoz tartozó” rétegekre. HOFMANN (1872–1876, 1907) számos megállapítása mind a mai napig időtállóan tűnik. Jól jelzi a „szászvár-déli-szenterület” iránt a századfordulón megnövekedett érdeklődést HOFMANN K. cikkének 1907-es posztumusz kiadása, valamint több, az észak-mecseki kőszenterülettel foglalkozó kéziratos jelentés (pl. ROTH, HOFFMANN 1911, VADÁSZ 1910–1916). E jelentések nyomán egy, a szászvárinál nyugodtabb településű széntelepes rétegsor képe rajzolódott ki, az elképzelések szerint 300–400 m mélységben, mintegy 25 millió tonnás készleteket feltételezve (ROTH, HOFFMANN 1911).

A rétegsor és szerkezet megismerése szempontjából alapvető, mélyfúrási munkálatokkal is kiegészített kutatások a következő évtizedben kezdődtek. 1922-ben „Szászvárbányától délre... a középmiocén üledékek D-i szélén, a Somlyó-(Szamár-)hegy északi lábánál... az *Amaltheus spinatus*-szint talpán a fedőmárgában Vitális István javaslatára ... kutatófúrást (Császa [ma Szászvár] Cs–6) mélyítették, amely 398 m mélységben elérte a feketeszéntelepet. A második fúrást (Máza M–2) lejtőződés mentén tűztük ki s ott a 35 fokos átlagos lejtőződésnek megfelelően 600 méter mélységben ugyancsak elértük a feketeszéntelepet, amde a fúró a feketeszéntelep harántolása után a széntelepes üledékekből újra a fedőmárgába került...” (VITÁLIS 1939). Az 1924–26 során lemélyült harmadik (Császa Cs–7) és negyedik (Császa Cs–8) fúrások többszöri rétegismétlődéssel jellemezhető, bonyolult hegység-



4.39. ábra Máza-Dél–Váralja-Dél kutatási terület topográfiai térképe a 4.40. ábra nyomvonalai és mélyfúrásaival, valamint a Váraljai terület (Mecseknádasd) 3D szeizmikus adattömbjével

szerkezeti viszonyokkal jellemezhető kutatási terület képét vetítették előre. A Cs–7 fúrás 708,1 m-en a foltosmárga összletben állt le, míg az utóbbi 689,1 m-ben a feküképződményeket érte el. A nagy mélység és a bonyolult szerkezeti viszonyok következtében ebben a kutatási periódusban sem továbbkutatásra, sem aknatelepítésre nem került sor.

A Mecsekben ismét fellendülő kőszénkutatás eredményeképpen jelent meg a területről ifj. NOSZKY (1953) M=1:20 000 és WEIN (1953) M=1:15 000 méretarányú földtani térképe. Térképezésük során Óbányától Ny-ra a Farkas-árokban kimutatták a fedőmárga megjelenését, mely a korábbi (pl. VADÁSZ 1910–1916) térképeken még nem szerepelt. Utalást tettek a miocén tufák bizonytalan vastagságára, több szintben való településére, s WEIN Gy. felhívja a figyelmet arra, hogy a terepi megfigyelések alapján a miocén rétegsor alatt bányászatilag elérhető mélységben feltételezhető a kőszéntelepes összlet.

A térképezési eredményekre alapozva az 1950-es évek első felében indult a terület fúrásos kutatásának második szakasza. A nyugati (szászvári) területrészen 1952–53-ban egy (Császa Cs–9), 1954-ben három (Szászvár Szv–1, –2, –3), a középső, mázai területen 1954–56-ban négy (Máza M–5, –6, –7, –9), a keleti, váraljai területen, 1952–57 során ugyancsak négy (Váralja V–2, –3, –6, –7) mélyfúrás készült. Valamennyi fúrás teljes szelvénnel mélyült, szakaszonkénti magminta-vétellel, a kiegészítő karotázsmérések azonban nagyban növelték a fúrások kiértékelhetőségét. E fúrások adatai alapján a kőszéntelepes csoport összvastagsága mintegy 255 m-nek adódott, mely 10 műrevaló, összesen 29,28 m vastagságú, fejtésre érdemes telepet tartalmaz. Bár a teljes szelvényű fúrások a telepvastagság észlelése szempontjából nem ideálisak, és gyakoriak a túlzott vastagságok, e fúrási hullám célját elérve kedvező eredménnyel zárta le a terület földtani adottságaiból adódó bányászati perspektívák mindaddig nyitott kérdését.

1959–60-ban a legkedvezőbbnek tartott Máza-déli területen folyamatos magvétellel és karotázsvizsgálattal készült két fúrás (Máza M–10, –11), s a korábban lemélyített Váralja V–6 és V–7 fúrástól K-re, a még meg nem kutatott területrészen mélyült le 1959–1961 során két további fúrás (Váralja V–8, Nagymányok Nm–12). Így 1960-ra a területet 22 kutatófúrás, s a fúrásokkal egyidejűleg a MÁELGI kísérleti jellegű gravitációs és szeizmikus mérése tárta fel. A felszíni földtani, a mélyfúrásos és geofizikai kutatás eredményeinek összegzésével született földtani összefoglalók többsége (WEIN 1962, NAGY, FORGÓ 1967, NÉMEDI VARGA 1971b) pozitív volt.

A korábbi térképezési és mélyfúrási tapasztalatok, valamint az időközben elkészült felszíni geofizikai (BARABÁS *et al.* 1964, SZÉNÁS 1964a, b) felvételek alapján 1976–1979 között tíz újabb mélyfúrás mélyült le (Máza M–14–20, Váralja V–9–11). Ezek és további öt mélyítés alatt álló fúrás adatai alapján a Nehézipari Műszaki Egyetem Földtan–Teleptani Tanszéke készítette el a terület első összefoglaló földtani jelentését nyolc kötetben (NÉMEDI VARGA *et al.* 1979). Ennek eredményeképpen „7,1 km<sup>2</sup>-es területen 358 Mt földtani és 188 Mt ipari kategorizált készlettel, ill. 14,1 km<sup>2</sup>-es területen, 445 Mt földtani és 170 Mt ipari reménybeli készlettel az Országos Érc- és Ásványbányák (OÁB) a jelentést jóváhagyta, előírva egyben a kiegészítő felderítő fázisú kutatási program elkészítését is” (NÉMEDI VARGA 1995).

A felderítő kutatási fázis keretében 37 további fúrás (Máza M–21–33, Váralja V–9–34) lemélyítésére, és kapcsolódó felszíni (szeizmikus) geofizikai mérésekre került sor. A munkában részt vett a Központi Bányászati és Fejlesztési Intézet (KBFI), a MÁELGI, a Mecseki Szénbányák, az Országos Földtani Kutató és Fúró Vállalat (OFKFBV), valamint az Országos Kőolaj és Gázipari Tröszt (OKGT), melynek eredményeképpen elkészült az addigi legnagyobb terjedelmű mecseki kutatási zárójelentés (SZILÁGYI *et al.* 1985). A földtani modell akkor a szerkezeti vonalak és a Mecseki Kőszén Formáció határának 100 m-es szinttérképeken történő bemutatására terjedt ki. A szénpadok rétegtani azonosításának hiányában a készlet-számítás a földtani (szerkezeti) tömbök módszerével, 100 m-es szintosztással, és a legközelebbi pontok módszerével készült, valamennyi 0,4 m-t meghaladó pad figyelembevételével. A területadatokat minden szénpad esetében a befoglaló földtani tömb fekü- és fedőfelületének átlaga jelentette. Az akkori jelentés Máza–Váralja-Dél területére mintegy 410 Mt földtani vagyon jelenlétét állapította meg többnyire C<sub>2</sub>, alárendelten D<sub>1</sub> kategóriában.

Az új évezred első éveinek foglalkoztatási nehézségei, a térségi politikusok koncepcionális elképzelései, Dunaújváros ukrán kokszzszen-koncentrációval való ellátási kockázatai, a cseh és lengyel kokszolható szenek árnövekedése, lendületet adtak a már ismerté vált szénvagyon bányaművelési lehetőségeinek ismételt vizsgálatára (VERBÓCI 2010). 2005 és 2009 között a Calamites Kft. a Debreceni Egyetemmél együttműködésben engedélyezett földtani kutatás keretében felülvizsgálta a korábbi kutatási anyagokat, melynek eredményeképpen elkészült a Máza–Váralja-Dél elnevezésű nyugati terület-rész (4.39. ábra) legújabb földtani kutatási zárójelentése (PÜSPÖKI szerk. 2009).

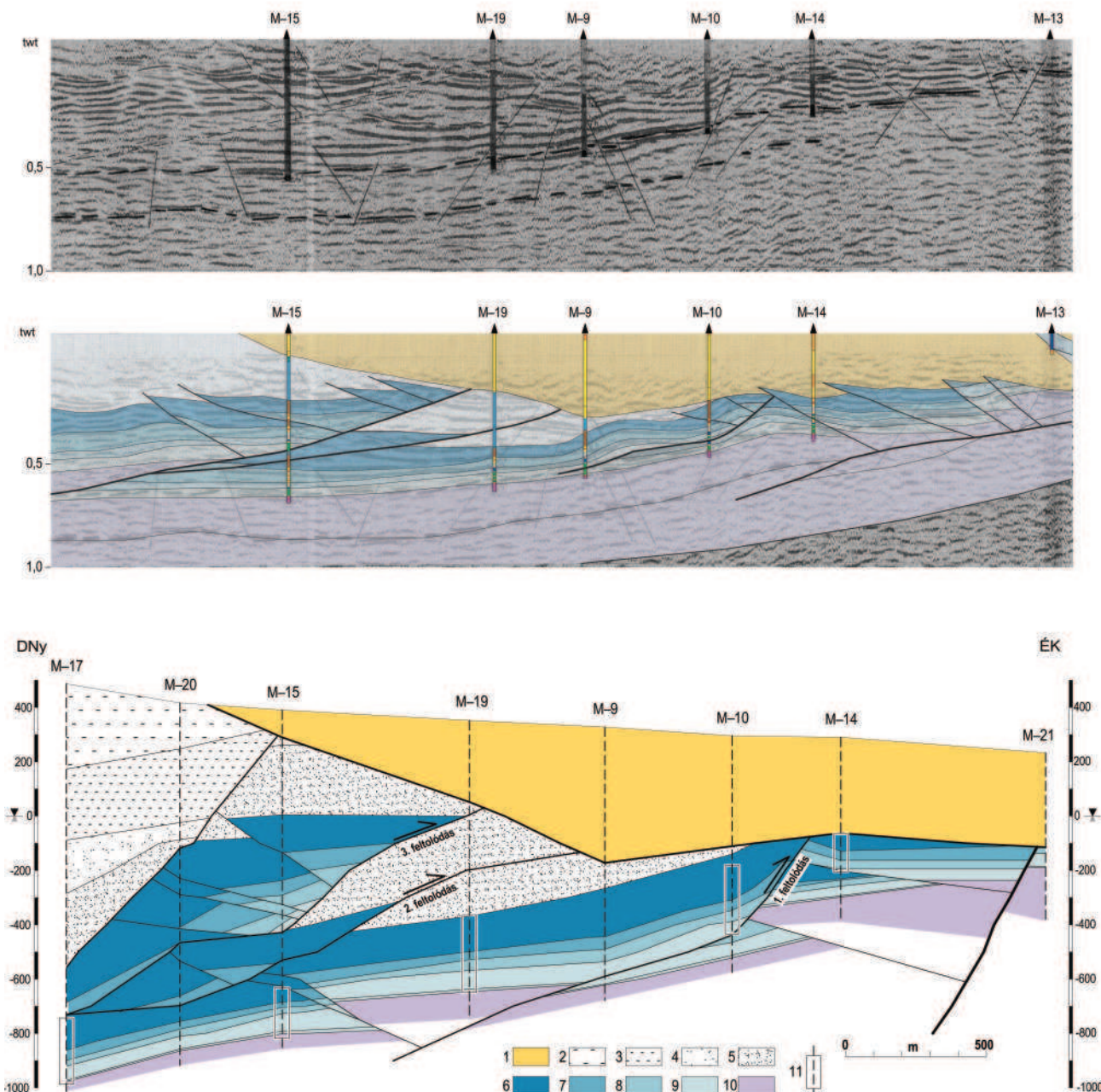
A munka során (1) egységes digitális adatbázis készült, a geodéziai, topográfiai, földtani (litológiai, paleontológiai, szedimentológiai, szerkezeti földtani stb.) és geofizikai (mélyfúrás-geofizikai) adatokra vonatkozóan. (2) A reflexiós geofizikai szelvények értelmezésével pontosításra került a szerkezeti vonalak helyzete és jellege, jelentős mértékben módosítva a korábbi szerkezeti modellt (PÜSPÖKI *et al.* 2012). (3) A nagy felbontású szekvenciasztratigráfia szabályainak megfelelően a szeizmikus és karotázsszelvényeken M=1:200 méretarányban értékelésre kerültek a telepes rétegsor üledékes ciklusai, szeizmikus szekvenciái, ezzel négy további térképezhető rétegtani egységre („tagozatra”) bontva a széntelepes formációt (FORGÁCS *et al.* 2011a, BARBACKA *et al.* 2015). (4) A mélyfúrás-geofizikai görbék szisztematikus értékelésével megtörtént a széntelepek fúrások közötti korrelációja, s M=1:10 000 méretarányban elkészültek a földtani szelvények (12 db). (5) M=1:10 000 méretarányban elkészült a 100 m-es szintek (9 db) és a miocén medencealjzat (1 db) földtani térképei, ábrázolva a jura formációkat, ill. a széntelepes rétegsor szeizmikus szekvenciáit és korrelált széntelepeit.

A fent leírt földtani modellt alapozva (6) a mérnöki tervezési szempontokat szem előtt tartva elkészült a 24 rétegtanilag

azonosított széntelep szintvonalas térképe valamennyi szerkezeti tömbben, bemutatva az egymás fölé tolt telepek átfedő helyzetét. (7) Elkészült a miocén medencekitöltő üledéksor 3D közetvázmodellje mind litológiai, mind rétegtani (szekvenciasztratigráfiai) beosztásban. (8) Az 1992-ben mélyült Máza M-34 fúrás rétegsorának utólagos modellbe illesztésével sikeresen tesztelték a kialakított földtani modellt. (9) A földtani modell térképi anyagát vektoros alapú térinformatikai rendszerbe foglalva automatizálták a készletszámítást, illetve a készlet minőség szerinti bontását (PÜSPÖKI 2011, FORGÁCS et al. 2011c).

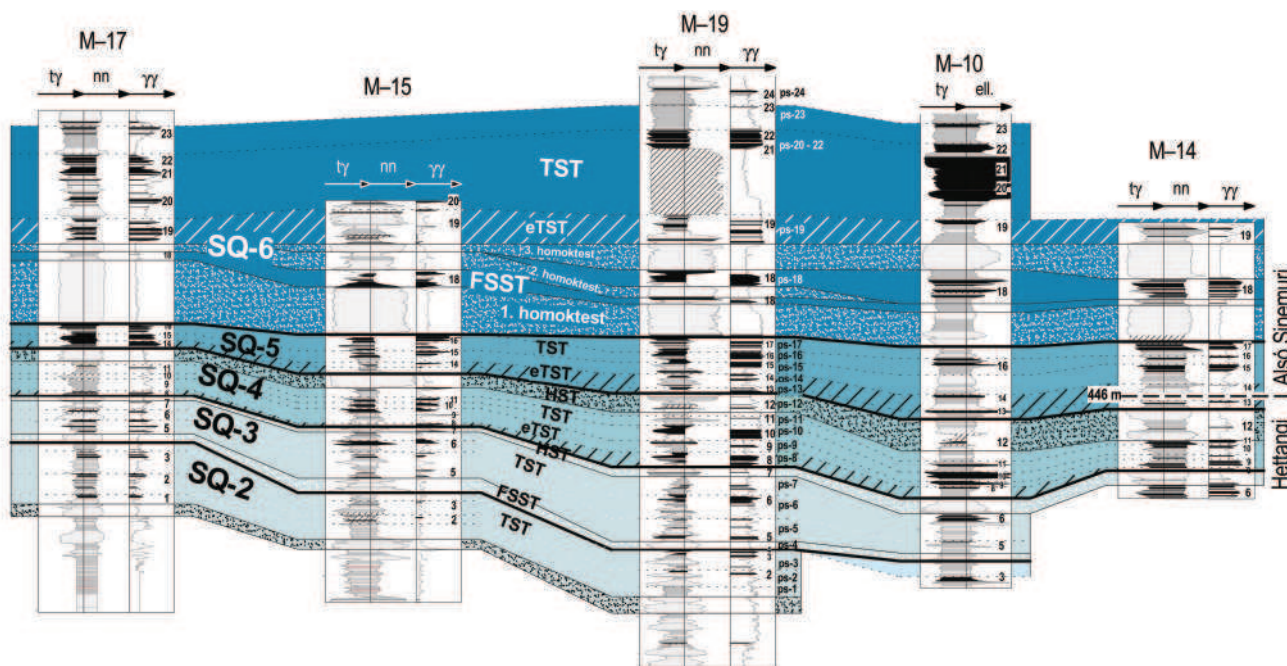
### Rétegtani viszonyok

Máza–Váralja-Dél területén a széntelepessé váló kréta–paleogén szerkezetfejlődés következtében É-i vergenciájú feltolódások tagolják (4.40. ábra). A rétegtani jelleget bemutató korrelációs szelvény (4.41. ábra) szerkezeti zavaroktól mentes fúrásokat, ill. fúrásszakaszokat tartalmaz. A szelvény a Máza M-19 fúrás sűrűségi szelvényének segítségével nem



**4. 40. ábra.** A Mecseki Kőszén Formáció szerkezeti jellemzői Máza-Délen szeizmikus (Va-1 migrált időszelvény) és mélyfúrás adatok alapján (PÜSPÖKI et al. 2012 után módosítva, az Elsevier engedélyével)

Jelmagyarázat: 1. Miocén általában, Jura; 2. Mecseknádasdi Homokkő F., 3. Hosszúhetényi Mészmarga F., 4. Vasasi Márga F. Fedőmárga Tagozat, 5. Vasasi Márga F. Fedőhomokkő Tagozat, 6 – 9. Mecseki Kőszén F. (6. SQ-6, 7. SQ-5, 8. SQ-4, 9. SQ-3 – SQ-2), Triász; 10. Karolinavölgyi Homokkő F., 11. a 4.41. ábra részletesen bemutatott fúrásszakaszainak helyzete, M=Máza



**4.41. ábra.** A Mecseki Kőszén Formáció üledékciklusainak megjelenése Máza-Délen (BARBACKA *et al.* 2015 után módosítva, az Elsevier engedélyével)  
A bemutatott fúrások helyét a 3.39 ábra, a kiemelt fúrásszakaszok helyét a 4.40. ábra mutatja

csak az üledékes szekvenciákat tünteti fel, hanem a széntelepeket tartalmazó paraszekvenciákat is. A telepek és a beágyazó paraszekvenciák számozása egységes.

Az SQ-2 szekvencia telepeit illetően Máza–Váralja-Délen az 1., a 2. és a 3. telepek aleurolitba ágyazódnak, a 4. telep ugyanakkor parti homokkőbe. Az SQ-3 szekvencia 5. és 6. telepei újra transzgresszív aleurolitban települnek. A 6. telep jól korrelálható, jelentős vastagságú telep. A 7. telepet ismét homokkő fedi, amely ugyancsak telepet zárhat magába. A térbeli elterjedést tekintve az SQ-2 és SQ-3 szekvenciák mind a hét telepe megtalálható a terület középső részén, ugyanakkor az 5. a 6. és a 7. telepeket tartalmazó üledékciklusok láthatóan folytatódnak északkeleti irányba, ami túlterjedő települést, összességében transzgresszív megjelenést tükröz. Az SQ-4 szekvencia négy, egyenként egy-egy széntelep tartalmazó, uralkodóan aleurolitból felépülő elemi ciklust tartalmaz (8., 9., 10. és 11. telepek) és egy 10 m vastag, éles települési bázissal rendelkező, helyenként széntelep beágyazó (12. telep) homoktesttel záródik.

Az SQ-5 szekvencia vastagsága Máza–Váralja-Dél területén alig több mint 30 m, s egyetlen transzgresszív eseményt képvisel, 5 széntelep aleuritis ciklussal. A ciklusok vastagsága fölfelé csökken, a széntelepek vastagsága ugyanakkor fölfelé növekszik, ami a korai, erőteljes transzgresszió retrogradáló paraszekvenciáiból a későbbi, gyengülő intenzitású transzgresszió aggradáló paraszekvencia-sorozatába való váltást jelzi. Ez a jelenség a mélyfúrás-geofizikai szelvények jellemző alakját eredményezi két jól elkülönített teleppel (13., 14. telepek), a szekvencia alsó részén és három vastag, gyakran egymásra települő teleppel (15., 16. és 17.) a szekvencia felső részén.

Az SQ-6 szekvencia diszkordánsan települő homokkőösszletében (SQ-6 FSST) Máza–Váralja-Dél területén vékony aleurolitréteg is települ, jól azonosítható szénteleppel (18. telep). Az SQ-6 sorozat transzgresszív aleurolitja zárja be a 19–24. telepeket. A 20., 21. és 22. telepek vastag, egymásra települő jellege átmeneti aggradációt jelez, míg a vékony, jól elkülönülő 23. és 24. telepek már az erősödő transzgresszióhoz kapcsolódnak.

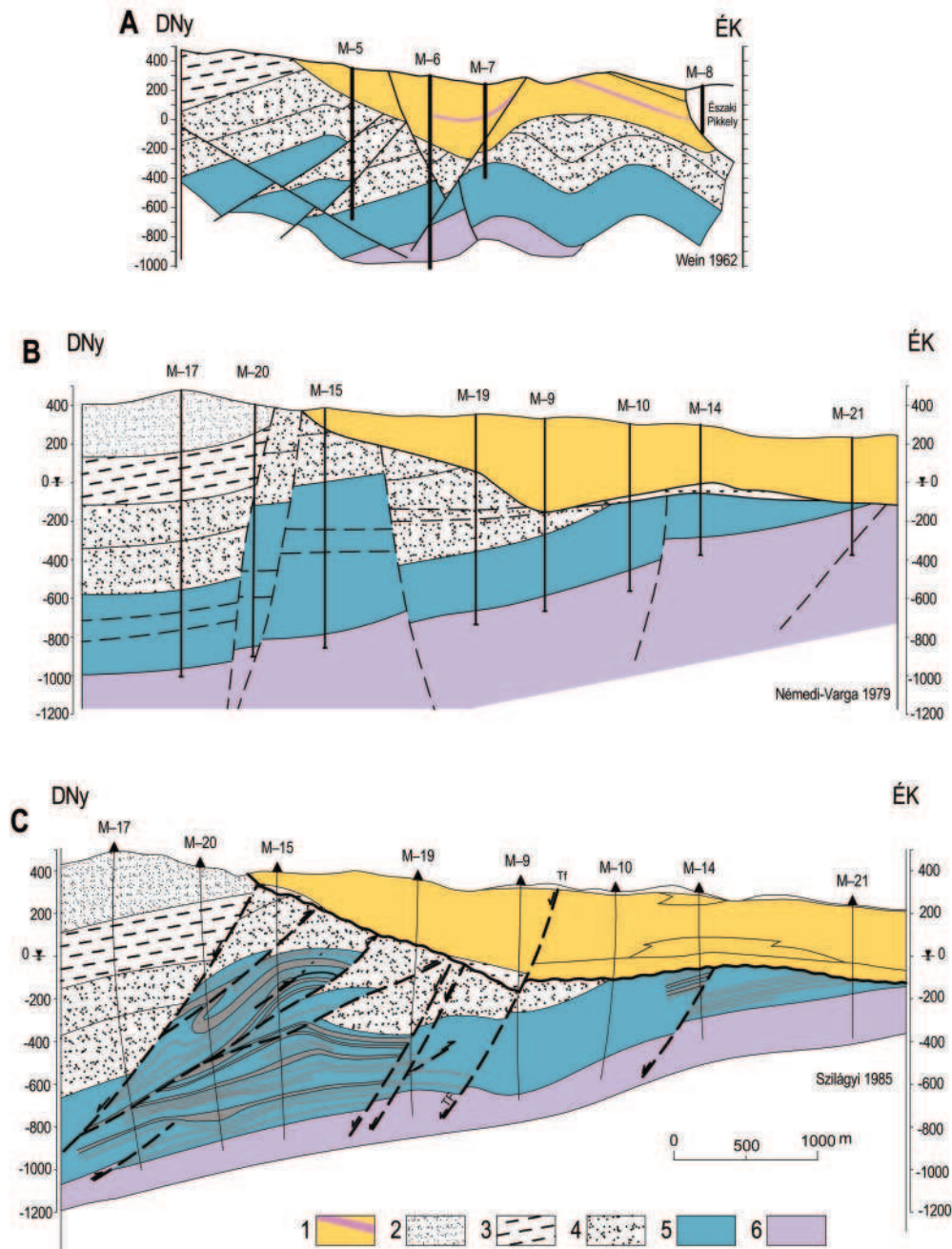
A zárójelentésben (PÜSPÖKI szerk. 2009) szint-, illetve teleptérképeken megjelenített üledékes szekvenciák regionális kiterjesztésének van néhány, Máza–Váralja-Dél terület megítélését, továbbkutatását is befolyásoló következménye. (1) A Máza–Váralja-Dél legfontosabb telepeit tartalmazó SQ-4, SQ-5 és SQ-6 szekvenciák fekvő, illetve fedő homoktestei mind kifejlődési jellegüket, mind vastagságukat illetően megalapozottan képezhetik szeizmikus kutatások tárgyát. (2) Az SQ-3-ban jelentkező „tufitszint” nagy kiterjedésben követhető, így megfelelő ciklusazonosítás esetén biztos rétegtani marker, ugyanakkor tufitbetelepülések más ciklusokban is megfigyelhetők, ezért szimplán ezek megjelenése, ciklusazonosítás hiányában, nem lehet a rétegtani azonosítás alapja. A tufitszintek geokémiai diszkriminációjának lehetősége mindeddig nem bizonyított. (3) Az SQ-6 csökkenő vízszinthez kapcsolódó üledékes rendszeregységének (FSST) diszkordáns jellege bizonyított, az eróziós diszkordancia mértéke mecseki viszonylatban a 100 m-t (!) is megközelíti, s Máza–Váralja-Dél viszonylatában is több 10 m lehet. Ez az északi, leginkább partközeli részeken akár intra-sinemuri teleperóziót s ezzel vagyonvesztést is eredményezhetett, ami csak a fúrásháló sűrítésével ellenőrizhető.

### Szerkezeti viszonyok

Máza–Váralja-Dél szerkezeti modellje lényegesen változott a mélyfúrási ismeretességtől és a rendelkezésre álló szeizmikus adatoktól függően. WEIN (1962) a rendelkezésre álló kisszámú fúrás alapján igen korán felismerte a rétegsorra jellemző szerkezeti feltolódásokat, s azok irányát, feltehetően az Északi-Pikkely analógiái alapján É-i vergenciával adta meg (4.42. ábra). Két feltolódással számolt a terület D-i részén, míg É-on feltolódást nem, csupán a gyűrt szerkezetek további jelenlétét tételezi fel.

NÉMEDI-VARGA et al. (1979) a második fúrási hullám adatai alapján megerősítette a feltolódási szerkezetek jelenlétét, s továbbra is két feltolódással számolt a terület D-i részén, míg nyugodt települési viszonyokkal É-on. A korábbi modellhez képest eltérés, hogy a feltolódásokhoz Ny-i vergenciát rendel (4.42. ábra), vélhetően a Máza M-15–5 fúrások viszonylata alapján.

SZILÁGYI et al. (1985) a harmadik fúráshullám alapján megerősítette a feltolódások jelenlétét. A feltolódás vergenciáját illetően az időközben lemélyült Máza M-25, –27 fúrások alapján ismét északnak tekinti. Modelljében továbbra is csak a terület D-i részén számolt feltolódásokkal a feltolódások száma azonban a korábbiakkal szemben négy (4.42. ábra).

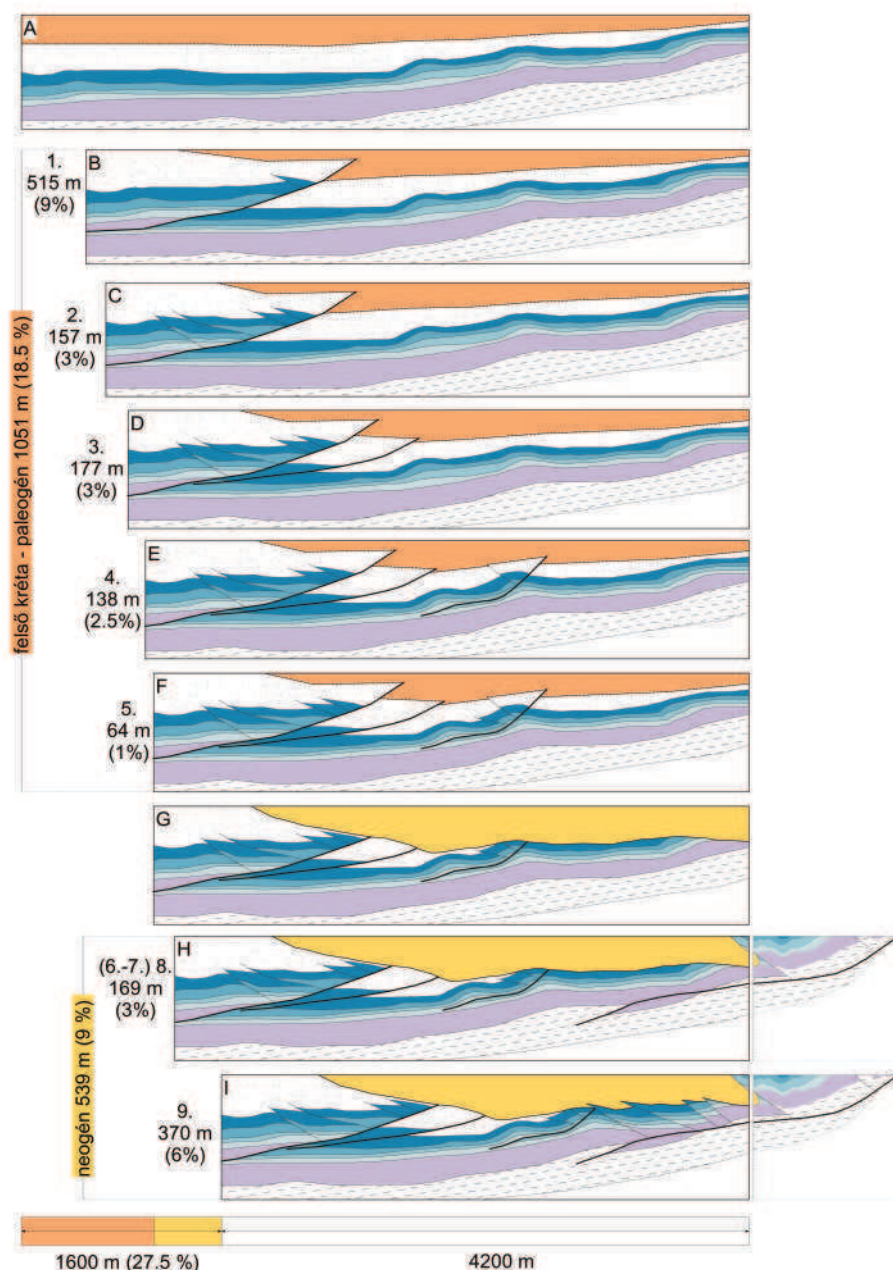


**4.42. ábra.** Máza-Dél szerkezeti viszonyai különböző szerzők értelmezésében (NÉMEDI VARGA és SZILÁGYI szelvényeinek nyomvonala megegyezik a 4.40. ábrával, Wein szelvénye attól nyugatabbra (in PÜSPÖKI et al. 2012, az Elsevier engedélyével))  
Jelmagyarázat: 1. Miocén medencekitöltő üledékek riolitufa betelepüléssel, 2. Mecseknađasdi Homokkő F., 3. Hosszúhetényi Mészmaré F., 4. Vasasi Márga F., 5. Mecseki Kőszén F., 6. Karolinavölgyi Homokkő F.

PÜSPÖKI (szerk. 2009) a szeizmikus szelvények adatait is (pl. Va–1 in BRAUN *et al.* 1985) figyelembe véve megerősítette a D-i részen található, 2 db északi vergenciájú feltolódás jelenlétét (4.40. ábra). További egy feltolódást azonosított a terület északi részén, amely nem idézte elő a széntelepes rétegsor vertikális megismétlődését, ennek megfelelően fúrásadatok alapján nem volt megszerkeszthető, ugyanakkor lehatárolja az északi területrészt és magyarázza a Máza M–10 fúrásban tapasztalt rétegdőlés-viszonyokat. Felismerte, hogy a SZILÁGYI *et al.* (1985) által érzékelt kisléptékű rétegismétlődésekért nem további kisebb méretű feltolódások a felelősek, hanem a nagyméretű északi feltolódásokhoz kapcsolódó D-i vergenciájú „visszapikkelyeződések”.

A létrejött szerkezeti modell megerősítése és a megfigyelt szerkezeti jelenségek értelmezése érdekében a szeizmikus adatrendszeren (Va–1, Si–7) fejlődéstörténeti rekonstrukció készült (4.43. ábra), mely a kialakított szerkezeti modell időben történő visszafejtésével állt elő. A visszafejtési lépéseinek megoldásai publikált laboratóriumi törési kísérletek eredményein alapulnak (ELLIS 2004).

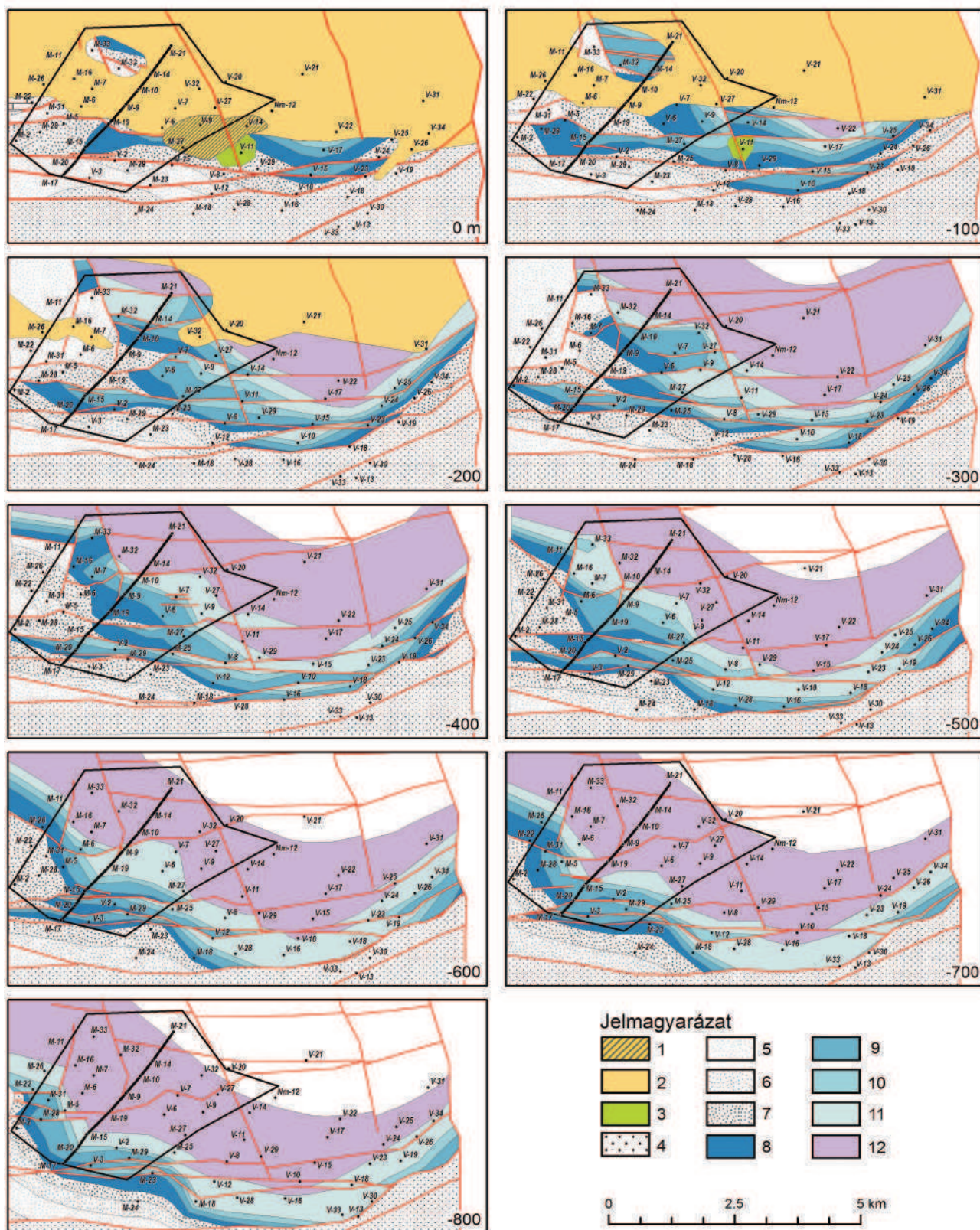
A fejlődéstörténeti modell tanúsága szerint a szerkezetet mintegy 13%-nyi késő- kréta–paleogén térrövidülés hozta létre, mely normál („in sequence”) feltolódás-sort eredményezett (4.43. ábra B, D, E), kapcsolódó „visszapikkelyeződés” (back-thrust) sorral együtt (4.43. ábra C, F). Ebből a legészakabbi (3. fázisú) feltolódást (4.43. ábra E) és a back thrustok jelenlétét a 2006–2009-es revízió igazolta, ekkor viszont mélyfúrási és szeizmikus adatok alapján egyaránt. A back thrustok



**4.43. ábra.** Máza-Dél széntelepes összletének szerkezetfejlődési rekonstrukciója a Va-1 szeizmikus szelvény (4.40. ábra) alapján (PÜSPÖKI *et al.* 2012 után módosítva, az Elsevier engedélyével)  
Jelmagyarázatot l. a 4.40. ábrán

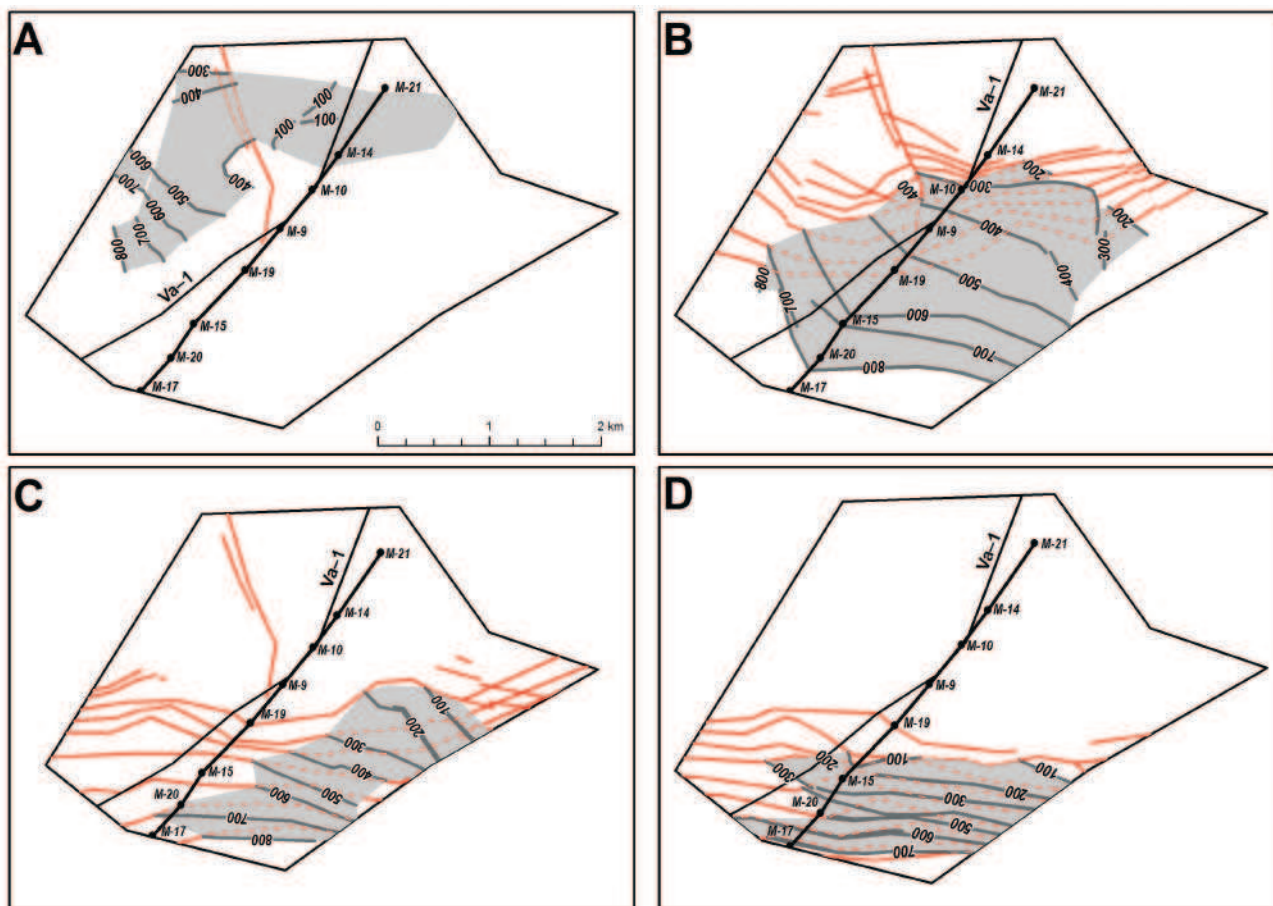
felismerése a korábban (SZILÁGYI et al. 1985) telepismétlődések miatt kényszerűen bevezetett feltolódások számának csökkenéséhez is vezetett.

Bányászati szempontból meghatározó, hogy a feltolódások bonyolult szerkezeti kép kialakulása mellett (4.44. ábra)



**4.44. ábra.** Máza-Dél-Váralja-Dél 100 méterenként (Bf.) készült szinttérkép-sorozata (PÜSPÖKI et al. 2012 után módosítva, az Elsevier engedélyével)

Jelmagyarázat: 1. Mecseki Andezit F., 2. miocén medencekitöltő üledékek általában, 3. Mecsekjányosi Bazalt F., 4. Mecsekánadasi Homokkő F., 5. Hosszúhetényi Mészmarga F., 6. Vasasi Márga F. Fedőmárga tagozat, 7. Vasasi Márga F. Fedőhomokkő tagozat, 8 – 11 Mecseki Kőszén F. (8. SQ-6, 9. SQ-5, 10. SQ-4, 11. SQ-3 – SQ-2), 12. Karolinavölgyi Homokkő F.

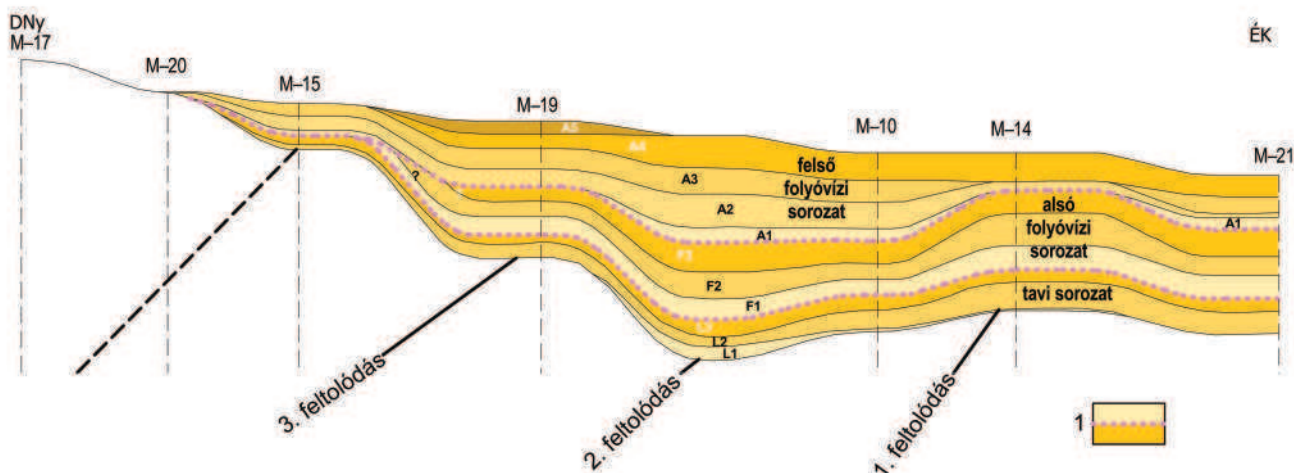


4.45. ábra. Máza-Váralja-Dél 15 telepének teleptérképei (PÜSPÖKI szerk. 2009 alapján)

A: 1-es feltolódás alatt, B: 1-es feltolódás fölött, C: 2-es feltolódás fölött, D: 3-as feltolódás fölött. A térképen szereplő földtani és geofizikai szelvényt a 4.40. ábra mutatja be

nagyléptékű telepméltódásokat hoztak létre (4.45. ábra), ami kis területen nagymértékű vagyonnövekedéshez vezetett, a kialakuló back thrustok azonban a modellezési és bányászati tevékenységet nagyban nehezítő lokális szerkezeti zavarok. Csak igen nagy vertikális és horizontális felbontást biztosító vizsgálati módszerekkel (pl. vágathajtás, bányabeli fúrások, esetleg 3D szeizmika) térképezhetők.

A kora-miocén denudáció után egyenletesen letarolt felszínre települtek a neogén képződmények (4.46. ábra). A miocén képződmények bázisán kialakult felszín posztmiocén szerkezeti tagolódása több szempontból (pl. miocén medenceüledékek és jura széntelepes rétegsor hidrogeológiai kapcsolata) is kritikus. A felszín jelentősebb tagolódására utaló mélyfúrásai vagy szeizmikus adat azonban mindeddig nem került elő.



4.46. ábra. Miocén fedőüledékek települése Máza-Dél területén (PÜSPÖKI et al. 2012 után módosítva, az Elsevier engedélyével)

Jelmagyarázat: 1. riolituffa betelepülés az üledéksorban

### A továbbkutatás alapkérdései

Az 1985-ben befejezett felderítő fázisú kutatás Máza-Dél-Váralja-Dél 23,38 km<sup>2</sup> kutatási területen –800 m Bf. szinten 834,6 Mt földtani szénvagyonot állapított meg (SZILÁGYI et al. 1985). A terület Máza-Váralja-Dél elnevezésű, mintegy 10,54 km<sup>2</sup> kiterjedésű, bányanyitási célból felülvizsgált nyugati blokkjában a 2009-ben zárójelentés 438,2 Mt szénvagyonot vesz számításba (PÜSPÖKI et al. 2009). Ez a mennyiség nagyságrendileg megfelel egy-egy hazai barnakőszén medence teljes földtani vagyonának és egy bányatervezés szénvagyonoldali feltételének (4.9. táblázat).

4.9. táblázat. A Máza-Dél-Váralja-Dél terület kőszénvagyonja

m-től	m-ig	Máza-Dél-Váralja-Dél SZILÁGYI T. (1895) 23,38 km <sup>2</sup>	Máza-Váralja-Dél PÜSPÖKI Z. (2009) 10,54 km <sup>2</sup>	Máza-Dél-Váralja-Dél (maradék) 12,84 km <sup>2</sup>
0	-300	247.496	118.950	129.546
-300	-600	357.121	223.288	133.833
0	-600	604.617	342.238	262.379
-600	-800	230.003	96.038	133.965
0	-800	834.610	438.276	396.334

A viszonylag nagy koncentráció a nagy telepszám és a bemutatott kompressziós tektonika következménye, ami viszont jelentősen növeli a földtani modellezés kockázatát is. A terület bányászati perspektíva esetén bizonyosan további kutatás tárgyát kell, hogy képezze, optimálisan a keresletet nem megvárva, hisz a szükséges kutatások hatósági engedélyezése, kivitelezése és értékelése minimum 2–4 év.

Első lépésben szükséges az 1. feltolódástól (4.40. ábra) északra eső ún. „Északi terület” részletes megkutatása. Az itt rendelkezésre álló vagyon (~22 Mt) alkalmas bánya megnyitására. Az Északi terület azonban a korábbi kutatás peremterülete volt, ahol a cél az elterjedés lehatárolása volt.

A Va–1 szelvény az északi terület dőlésviszonyairól és szerkezeti tagoltságáról biztató képet ad, ami meghatározta az Északi területről kialakult modellt. A bányanyitás optimális megoldása igényli a legmodernebb földtani kutatási módszerek és eszközök alkalmazását. Mindez igazolást adhat a modellalkotás helyességéről, a metodikák bányászati felbontás igényű alkalmazhatóságáról. A szeizmikus és mélyfúrásos továbbkutatás lépései ennek megfelelően előkészítő és terepi szakaszra bonthatók. Az előkészítés lépései lehetnek (1) a meglévő szeizmikus anyag újrafeldolgozása, (2) archív fúrásadatok vizsgálata (sebesség számítások, szintetikus csatorna, akusztikus impedancia, reflexiós koefficiens), (3) próbamérés tervezése (frekvencia, geofonköz, terítési geometria). A terepi kutatás lépései (4) paraméter fúrások lemélyítése (akusztikus és VSP mérések), (5) 2D szeizmikus próbamérések a „paraméter fúrások” összemérésével, (6) kiterjedt 2D szelvényháló vagy 3D mérés tervezése, kivitelezése és értelmezése, (7) a szerkezeti kép alapján a telepek azonosítására és készletszámításra alkalmas fúrásháló tervezése és kivitelezése.

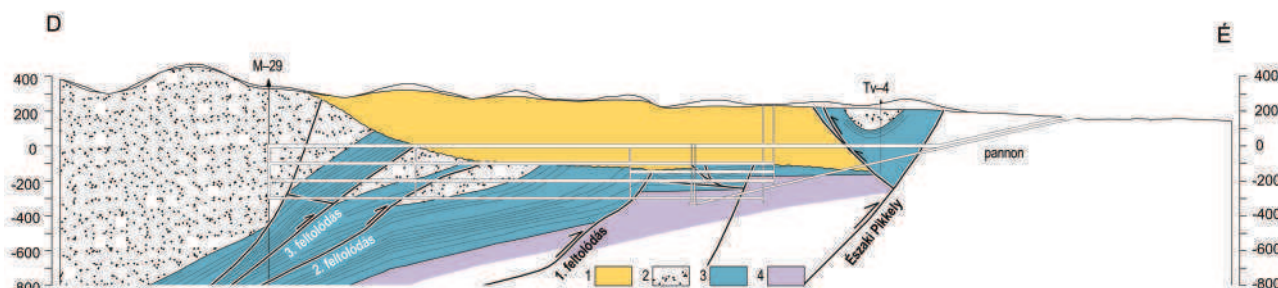
A szeizmikus kutatás tervezése során figyelembe kell venni a legfeljebb 350–600 m-es települési mélységet. A potenciális reflektorok a ciklusok jellegéből és vastagságából adódóan egymástól szeizmikusan jól kimutatható vertikális távolságban (30–40 m) települnek. Ezek fentről lefelé rendre (1) SQ–6 elöntési felszíne (az Északi terület nagy részén elvitte a miocén letarolás), (2) FSST SQ–6 bázisa (eróziós jellege miatt nyomozása bizonytalan), (3) SQ–5 elöntési felszíne, (4) SQ–4 elöntési felszíne, (5) SQ–3 elöntési felszíne, (6) SQ–2 elöntési felszíne és a triász fekü homokkőciklusai.

A bányatervezésnél figyelmen kívül hagyott maradék Máza-Dél-Váralja-Dél maradék terület szénvagyonja a külszínhez sokkal közelebb helyezkedik el, s szénvagyonja igénybevétele már a termelés kezdetétől lehetővé teszi a bányászati objektumok teljes kapacitású igénybevételét.

### A bányatervezés előzetes megfontolásai

A földtani kutatások a szénvagyon a –1200 m Bf. szintig tárták fel. Mivel a beruházási és üzemeltetési költségek a mélység növekedésével emelkednek, s ugyancsak arányosan nőnek a bányaveszélyek és a kőzet hőmérséklet, jelenleg csak a legkisebb kockázattal járó művelési mélységig, a –600 m Bf. szintig tűnik perspektivikusnak a nyilvántartott szénvagyon művelésbe vonása. Az ez alatt lévő szénvagyon tartaléknak tekinthető, amelynek műveléséről a technológiák fejlődése és egyéb tényezők figyelembevételével később születhet döntés.

Mértékadó szakvélemények alapján –300 m Bf. szintig a fajlagos CH<sub>4</sub> tartalom lényegesen lecsökkent, és tapasztalati adatokból tudjuk, hogy kb. –600 m Bf. szintig nincs szükség a munkahelyek klimatizációjára. Így amennyiben –300 m Bf. szintig a kinyerhető szén értéke fedezi a beruházási költségeket, ez a szénvagyon termelhető ki a legkisebb költséggel (4.47. ábra). A készletszámítás alapján –300 m Bf. szintig ~50 Mt művelelő szénvagyon található, amely (1,8–2 Mt/év termelés esetén mintegy 25 évre elegendő. Ennek megfelelően a bányamező feltárása több, időben elkülönülő ütemben történhet: 1. ütem: a –300 m Bf. szint fölött, 2. ütem: a –300 m Bf. és –600 m Bf. szint között, 3. ütem: a –600 m Bf. szint alatt.



4.47. ábra. Máza-Dél művelési lehetőségei a -300 szintig (1. ütem) (PÜSPÖKI et al. 2012 után módosítva, az Elsevier engedélyével)

Jelmagyarázat: 1. miocén üledékek általában, 2. jura fedő (Mecseknádasdi Homokkő F., Hosszúhetényi Mészmaré F., Vasasi Márga F.), 3. Mecseki Kőszén F., 4. triász fekvő (Karolinavölgyi Homokkő F.), M=Máza, Tv=Tornaváralja

Szerencsés körülmény, hogy az északi szerkezeti blokkban a -300 m Bf. szint fölött van a teljes szénmennyiség. A fentiek alapján a bányá nyitópontja észszerűen az északi szerkezeti blokk közelében alakítható ki. A bányáépítés és termelés ennek megfelelően az északi szerkezeti blokk feltárásával kezdődhet annak szem előtt tartásával, hogy a bányá továbbfejlesztése a termelés mellett is lehetséges legyen. A -300 m Bf. szint fölött teljes kapacitással működő bányá kialakításának ugyancsak fontos szempontja, hogy a bányá továbbfejlesztése a mélység felé a termelés mellett is lehetséges legyen.

A tervezett bányatelek nem érint lakott területet. A mázai vasútállomáson létezik egy 5 vágánypárból álló rendező és rakodó pályaudvar, ami minimális ráfordítással üzembe állítható, ugyanakkor a mázai vasútállomástól délre található megfelelő nagyságú beépítetlen terület viszonylag távol a lakott területtől, amely elegendő lehet a nagyobb helyigényű külszíni létesítmények elhelyezésére. Az érintett települések lakossága várakozással, pozitívan áll a bányá létesítéséhez. Kedvezőtlen körülmény ugyanakkor, hogy a tervezett bányatelek jelentős része természetvédelmi terület. A bányászellátási optimumok miatt számolni kell azzal, hogy anyag- és személymozgatással nem járó objektumok megfelelő körültekintéssel természetvédelmi területen is létesülhessenek.

A felszín mélyművelés által történő érintettségét kiterjedt süllyedésiteknő-vizsgálatok alapozták meg (GÖRCS 2014, BARICZÁNÉ SZABÓ, NÉMETH-2014). A feltöltődések miatt a kis terület alatti jelentős szénkivétel akár 30 m-es süllyedéssel számol a teljes lefejtés esetén, ami spontán tóképződést is előidézhet, a kifolyó pont magasságáig feltöltődően.

### Várható bányaveszélyek

A bányászati tervezők Máza-Váralja-Dél esetén a 200 éves mecseki szénbányászati tapasztalatok alapján a bányá veszélyek szempontjából sújtólég-, gázkitörés-, szénporrobbanás-, tűz- és szilikózisveszélyes bányahatósági minősítéssel számolnak (PUSZTAFALVI 2011). A vízbetörés-veszélyes minősítés ugyanakkor kizárható.

Szintén a mecseki szénbányászban szerzett tapasztalatok alapján a jövesztett szénből jelentős mennyiségű metánfelszabadulás várható. A metán a levegővel keveredve 4,5–14,5%(V/V) koncentráció között robbanóképes elegyet képez, melyet egy 650 °C-os szikra be tud gyújtani. A sújtólégrobbanás elleni legalapvetőbb védekezési módszer a bányá szellőztetésével a robbanóképes koncentráció alá – biztonsági megfontolásból 1%(V/V) – hígítani a levegőt, így nem alakulhat ki robbanni képes elegy. A tervezéskor ezért kiemelkedő szerepet kap a szellőztető infrastruktúra kialakítása, a feltárások méretezése, a szükséges légáramok biztosítása, gyújtószikramentes áramkörű eszközök és sújtólégbiztos tokozású villamos berendezések szinte kizárólagos alkalmazása. Elengedhetetlen a folyamatosan és automatikusan működő metánmérő-riasztó-reteszelő rendszer kiépítése. A bányatérsegek elhelyezésénél figyelembe kell venni, hogy az elektromos kapcsolótereket, transzformátorokat mindig az alacsony metántartalmú behúzó ági vágatokban kell kialakítani. Az esetleg bekövetkező robbanások továbbhaladása a főtében elhelyezett víztartályok, vízcsövek elhelyezésével akadályozható meg. Ezeket a robbanás lökéshatása ledönti, ezzel vízpermetet juttat a vágat teljes keresztmetszetébe, ami a robbanás energiáját elnyeli (BÁNHEGYI 2001).

Gázkitörés akkor lép fel, ha a széntelepből metán felszabadulása robbanásszerűen következik be, nagy mennyiségű gáz felszabadulása mellett. A mecseki gyakorlatban a széntelepek harántolásakor (aknamélyítés, keresztvágatok kihajtása) történtek váratlan kitörések, esetenként halállal járó katasztrófák. A váratlan szén- és gázkitörések leküzdését az egykori Mecseki Szénbányák, az akkori Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság finanszírozása mellett lényegében megoldotta. A több mint 300 megtörtént váratlan kitörésből mindössze egy eset következett be mezőben haladó fejtéselőkészítő vágatszakasban, magában a fejtésben sohasem. A váratlan gázkitörések során, még ha nem is követeltek emberéletet, az akná és keresztvágatszakszakok szinte mindenkor, néha jelentős hosszban, feltöltődtek szénrel, meddő kőzetekkel, elsodort bányászati berendezésekkel. Fokozta a kárt, ha a robbanó elegyű gáz gyújtóforrással találkozott.

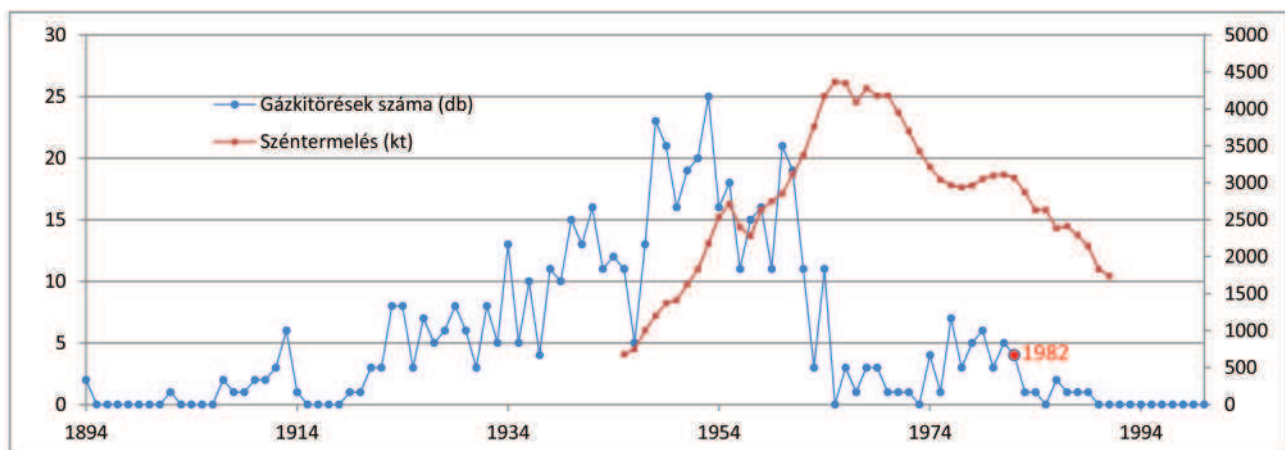
Mivel a gázkitörések a széntelepekhez kötve, azok közelében történnek, nagy hangsúlyt kell fektetni a folyamatos bányabeli geológiai–geofizikai kutatásokra (SZÜCS 2001). Pontosan kell ismerni a telepek helyét, szerkezetét, hogy a

gázkitöréseket megelőző tevékenységeket időben el lehessen végezni. A mecseki bányákban sikeresen alkalmazták vágathajtásokban a nagy átmérőjű előfúrásokat, a harántolásra kijelölt telepek kimosatását, ami csökkenti a telepek feszültségét.

A gázkitörés-veszélyes munkahelyek számának elkerülhetetlen esetekre való korlátozása érdekében világszerte elterjedt a védőtelepes művelés (VERBŐCI 2008). Ennek lényege, hogy egy már lefejtett telep (védő telep) művelési hatáskörében az ott lévő telepek és kísérőkőzetek az áthárított feszültség hatására megrepedeznek, így a védett telepekben megkezdődik a metán felszabadulása. A fejtési homlok továbbhaladtával a védett telepek kikerülnek a nyomott zónákból, így az elemi kitörés legfontosabb feltételei megszűnnek. A védőtelepes művelést a védett telepek előzetes gázlecsapolásával kombinálva a tervezett harántolásokat fenyegető veszély mértéke minimálisra csökkenthető. A gázlecsapolás során nyert metán felhasználható a kültéri létesítmények fűtésére, fürdővíz előállítására, zárt rendszerű elvezetésével csökken a bánya szellőztetésére fordítandó energia.

Kialakultak a nem védett telepszakaszokon való harántolások ún. lokális védekező technológiái is (NYERS 2001). Legáltalánosabban használt a provokációs robbantással védett vágathajtási-harántolási technológia, de eredményesek a meddő előtét védelmében végzett mosatással végzett előzetes anyagkivételi, illetve veszélytelen szénelőtét védelmében a hidraulikus teleproncsolások, valamint a nagyátmérőjű feszültségcsökkentő fúrások eljárások is. A bánya illetékes szakemberei ilyen esetben a harántolandó szén struktúrája szerint hozzák meg döntésüket.

A regionális feszültség-áthárítódási folyamatok szeizmikus nyomon követésére a Mecsekben használt szeizmikus átvilágítások és az azt feldolgozó tomográfértékelések bemutatása az 1982-es bányászati világkongresszuson világújdonságot jelentettek (HERMANN et al. 1982). A módszer kísérleti bevezetésére az 1970-es évek közepén vált esedékessé, amikor a mélyebb szint felé terjeszkedés következtében nőtt a telepharántolások és ezzel a váratlan gázkitörések száma, a módszerek komplex és tudatos használatával azonban a váratlan gázkitörések gyakorlatilag megszűntek (4.48. ábra).



4.48. ábra. A széntermelés és a gázkitörések számának alakulása a Mecsekben

A mecseki szénbányászatban szénporrobbanás nem történt, bizonyára a nemzetközi eseményekből való tapasztalat is inspirált kiemelt figyelmet és technológiai védekezést. Elterjedt módszer a leülepedett por robbanóképességének csökkentése kőpor kiszórásával és a porforrások pl. szállítópályák vizes permetezése.

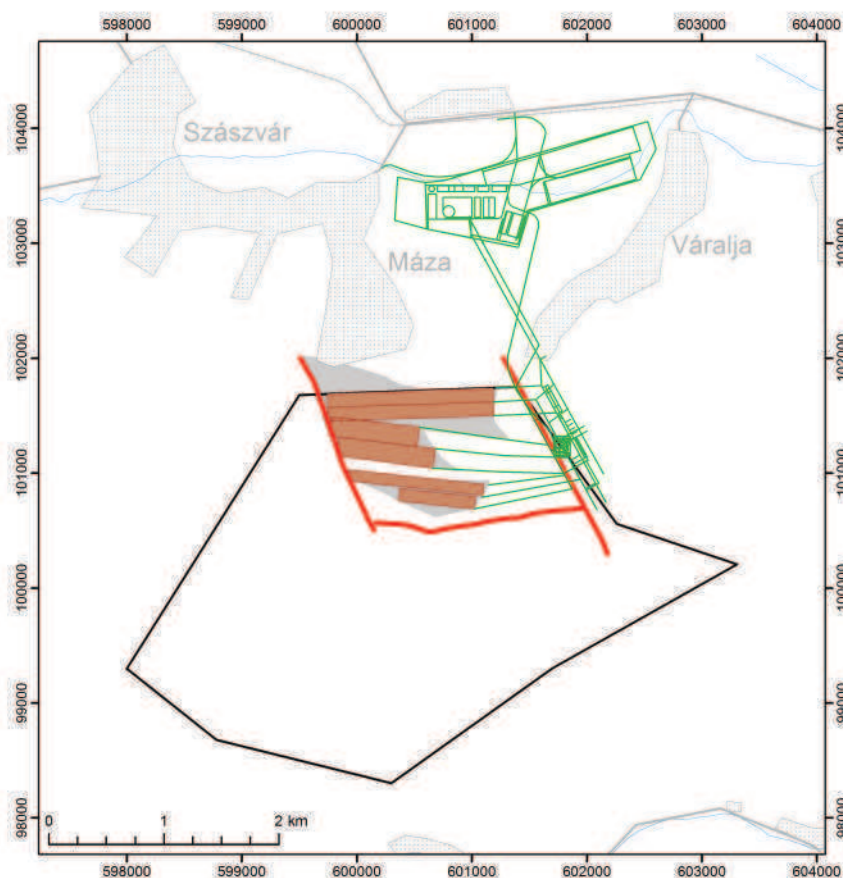
A tűzveszély oka, hogy a mecseki feketeszen öngyulladásra hajlamos. A mecseki szénbányászatban jelentős lépések történtek a bányatűzveszély megelőzésében (GOMBOS 2011). A legfontosabb lépések voltak a tűzvédelmi vízvezeték-gerinchálózat kiépítése, a könnyen éghető tulajdonságú gumiszalagok és tömlővezetékek lecserélése önkioldó tulajdonságúra, föld alatti tűzoltószertárak létesítése, iszapvezeték-hálózat telepítése. Eredményes volt az öngyulladás vegyszeres megelőzése, tüzek oltása nagy kiadósságú léghabbal, tűzgátak robbanásállósági vizsgálatai, gyors légzárás tömlőgáttal, ill. poliuretán habgáttal, hővédő ruha alkalmazhatósági vizsgálata, rejtett endogén eredetű melegek és tüzek felderítése hőmérsékletmérés alapján, kóbor légáramok felderítése radioizotópos légáthúzás-méréssel, endogén eredetű tüzek megelőzési módszerének fejlesztése inert ( $N_2$ ) gáz alkalmazásával. A „gázmérői szolgálat” megszervezésével, a nap 24 órájában  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$  mérésekkel azonosították a melegedési góccokat. A veszélyes helyeken és a légosztálykihúzó valamint a fő kihúzó vágatokban  $CO$ -mérő berendezéseket telepítettek.

A szilikózisveszély nem tekinthető klasszikus értelemben vett bányaveszélynek, de a dolgozóknál kialakuló gyógyíthatatlan betegség miatt feltétlenül foglalkozni kell a megelőzéséhez szükséges intézkedésekkel. Szilikózis a  $SiO_2$ -tartalmú porok tartós belégzésekor alakulhat ki. A finom szálló por eljut a tüdő légkócskáikáig és ott beágyazódva hegek kialakulásához vezet. A légzés a heges felület növekedésével egyre nehezebbé válik, nagy kiterjedésű szilikózis kialakulása

akár szívélételenséghez is vezethet. A betegség megjelenésére Máza–Váralja-Dél esetében is számítani kell. Kialakulását csak a porterhelés minimalizálásával lehet elkerülni. Nagy hangsúlyt kell fektetni a munkahelyek portmentesítésére vízpermetezők telepítésével, porelszívók használatával. Fontos a jövesztések porvédelme, vízőblítésű bányafúrások kizárólagos használata. Bár a dolgozók általában nem szeretik, porvesztélyes munkahelyeken meg kell követelni a porvédő maszkok használatát. Fontos a betegség korai stádiumának felismerése, ezért rendszeres orvosi vizsgálatokat kell végezni, felismert betegség esetén a dolgozókat a porvesztélyes munkahelyekről át kell helyezni.

### *Az I. ütem fő feltárási terve*

A dőlt telepek miatt a feltárás a szintműveléses rendszernek megfelelően történik, amely feltételezi, hogy egyidejűleg legalább két nyitott szint van, amelyek között közvetlen légösszeköttetést kell biztosítani. A bánya 2 lejtős, és egy függőleges aknával nyitható meg (4.49. ábra), egy fő kihúzó lejtősakna, szállítóakna (továbbiakban: FLA), egy behúzó – fő szállító lejtősakna (továbbiakban: LSZA) és egy behúzó szállítóakna (továbbiakban: BSZA). A függőleges akna (BSZA) elhelyezésénél elsődleges szempont, hogy ne harántoljon széntelepet, ezért teljes hosszban a feküben kerül kihajtásra. Az aknák helyzetének megválasztásánál figyelembe vettük azt a követelményt is, hogy a terepviszonyok lehetővé tegyék az aknák körül a szükséges külszíni létesítmények elhelyezését.



4.49. ábra. Máza-Dél terület fő feltárási terve az „Északi terület” (1. ütem) tervezett fejtési idomaival

A –300 m Bf. szint fölött települő szenes összlet súlyvonalában a telepek dőlésirányára közel merőlegesen fő keresztvágatok létesülnek. A terepviszonyok figyelembevételével az aknák elhelyezésének fő szempontja, hogy az aknák és a fő keresztvágatok közvetlenül összekapcsolhatók legyenek. A FLA a LSZA és a BSZA a fő keresztvágatok északi végén helyezkednek el. A lejtősaknák külszíni nyitópontja a központi telephelyen létesülő szénosztályozó közvetlen közelében van, talppontja a III. szint alatt 30 m-rel (–300 m Bf.), a fő keresztvágatok síkjába esik.

A termelés indításához szükséges állapot megteremtéséhez az I. szinti fő keresztvágat teljes hosszban kihajtásra kerül. A II. és III. szinti fő keresztvágatok csak az É-i bányamezőben kerülnek kihajtásra, a végpontjuknál pedig az áthúzó szellőztetés megoldása céljából nagytérű (Ø1200 mm) béléscsővezetett fúrólyukkal kapcsolódnak az I. szinti fő keresztvágathoz.

A bányamező déli részén elhelyezkedő, „feltölt” helyzetű telepek feltáró vágatait az Északi terület művelésbe vonását követően célszerű kihajtani. A keresztvágatok kihajtása a telepharántolások miatt várhatóan gázkitörés-veszélyesnek minősül. Ezek visszaminősítése csak a bányabeli kutatások alapján, a tényleges kihajtásuk közben, a vonatkozó Általános Bányászati Biztonsági Szabályzat (ÁBBSZ) előírásainak megfelelően lehetséges. Mivel gázkitörés-veszélyes munkahely a termelő koncentrációkban nem telepíthető, egy-egy koncentrációban időszakosan, a termelés szüneteltetése mellett végezhető csak feltáró, előkészítő munka, amely biztosítja a bánya termelési kapacitásának szinten tartását, vagy növelését.

Az aknák és a fő feltáró bányatérsegek folyamatosan ütemezve a biztonságos fejtések kialakításának igénye szerint kerülnek kialakításra. Ez megteremti annak lehetőségét, hogy további számottevő beruházás nélkül a –300 m Bf. szintig elhelyezkedő szénvagyon leművelhetővé váljon.

### *Aknatelepítés, vágathajtás*

A vágathajtást célszerű a lehető legnagyobb mértékben gépesíteni. A nem minősített munkahelyeken elsősorban villamos hajtású berendezéseket, a sújtólégveszélyes munkahelyeken sűrített levegős gépeket alkalmazunk. A nem minősített munkahelyek gépei önrakodó marófejes vágathajtó gép, villamos hajtású kihordó kaparó, villamos hajtású szállítószalag, hidraulikus TH-beemelő, elektromos vontatóvitla, sűrített levegős rablóvitla, sűrített levegős kéziszerszámok. A sújtólégveszélyes munkahelyek gépei nagyteljesítményű pneumatikus vagy hidropneumatikus fúrókocsi, pneumatikus vagy hidropneumatikus rakodógép, pneumatikus hajtású kihordó kaparó, hidropneumatikus TH-beemelő, pneumatikus vontatóvitla, sűrített levegős rablóvitla, sűrített levegős kéziszerszámok. A várható éves vágathajtási mutatók szénben 12 000 m/év, 16,0 m<sup>2</sup> átlagos szelvény mellett, meddőben 2100 m/év 19,0 m<sup>2</sup> átlagos szelvény mellett.

A lejtős szállítóakna legfontosabb adatai: nyitópont +150 m Bf., aknatalp –330 m Bf. (III. szint alatt 30 m-ig), ferde hossz 2500 m, dőlésszög –13°, szabad szelvény 24 m<sup>2</sup>, biztosítás Ø6/5,5 m lött betonnal, közethorgonnyal. Felszerelés 3 db 1200 mm gumiszalag, 1 db függőpálya (alatta járóosztály). Feladatai 8000 t/nap nyersszén kiszállítása a III. szinti fő bunkerből a külszíni fogadóállomásig, 500 m<sup>3</sup>/nap bányameddő kiszállítása a III. szinti fő bunkerből a külszíni meddőhányóig. Szellőztetése gyengén behúzó, de a behúzó levegő mennyisége igény szerint változtatható.

A lejtős fő kihúzó légakna legfontosabb adatai: nyitópont +150 m Bf., ferde hossz 670 m, dőlésszög –13°, szabad szelvény 24 m<sup>2</sup>, biztosítás Ø6/5,5 m lött betonnal, közethorgonnyal. Feladata a fő szellőztető légáram összegyűjtése és kivezetése az 1. központi telephelyen elhelyezett fő szellőztetőgépekhez.

A behúzó szállítóakna (BSZA) legfontosabb szint adatai: nyitópont +220 m Bf., az aknatalp –300 m Bf., az aknazsomp –330 m Bf. Az akna hossza 550 m, belső átmérője 8 m (50,2 m<sup>2</sup>), biztosítás 0,6 m ejtett beton. Felszerelése 2 db ellensúlyos aknazsallítógép. Feladatai szellőztetés (fő behúzó), személyszállítás, anyagszállítás, víz, sűrített levegő, kábel, vezetékek nyomvonala, bányamentő állomás, tűzoltórendszerek elhelyezése.

A fő keresztvágatok minden szinten kitüntetett szerepet játszanak a szellőztetés, szállítás és anyagellátás szempontjából. Élettartamuk az adott szint végleges felhagyásáig tart, ezért nagy szelvényrel és a szükséges élettartam alapján méretezett TH-biztosítással kerülnek kihajtásra. Megóvásuk érdekében az előírásoknak megfelelően méretezett védőpillér meghagyása szükséges.

### *Az „Északi terület” előzetes lefejtési terve*

A termelés az aknákhöz közelebb eső É-i bányamezőben kezdhető meg. A telepeket fentről lefelé (18. és 17. telep) a védőtelepes művelés elvei szerint kell leművelni. Mindhárom szinten a fő keresztvágatokból kiindulva keleti és nyugati irányban – a telepes összlet fekjében – a bányamező határáig kihajtásra kerül egy-egy fekü irányvágat. Az I. és II. szinten a fekü irányvágatokból kiindulva, a fő keresztvágatok mindkét oldalán – közel D-i irányban, a fő keresztvágatokkal párhuzamosan – a fekütől a legfedőbb műrevaló telepig (20. vagy 21. telep) az összlet telepes rétegsorát harántoló 2-2 db keresztvágat (1. K-i, 2. K-i és 1. Ny-i, 2. Ny-i keresztvágat) készül, amelyeket a végpontjaiknál a szintek között Ø1200 mm-es bélésűcsővezetett szellőztetőlyukak kötnek össze.

A III. szinti fekü irányvágat és a keresztvágatok metszéspontjaiban 2-2 db Ø1200 mm-es bélésűcsővezetett szállítólyuk készül a termelvény III. szintre történő leadása céljából. A III. szinti fekü irányvágat és a fő keresztvágatok metszéspontjában 2 db Ø3,0 m körszelvényű bunker kerül kialakításra II. és III. szint között.

A művelésre tervezett koncentrációk fedőtelepeinek (20., 16. és 12. telep) gázlecsapolására – a 11. telepben, illetve annak fekjében – a II. szinten (–200 m Bf.) Ny-i és K-i gázlecsapoló vágatok épülnek. A gázlecsapoló vágatokban 100 m-es távolságban kialakításra kerülő kamrákból legyező alakban történik széntelepek átfúrása a legfedőbb telepig.

A szintművelés és a táblás művelés kombinációjaként – mindkét művelési rendszer előnyeit kihasználva – az egyszerűbb szállítás és szellőztetés érdekében szükség szerint segédszinteket is ki kell alakítani. A segédszintek építésének szükségszerűsége csak a nyugati és a keleti keresztvágatok kihajtása közben végzett kutatások alapján lesz eldönthető, ezért azok előzetes tervezésével nem foglalkozunk.

A tervezett fejtési technológia a következőképpen foglalható össze. A 0–35° telepdőlésnél kialakítható, csapásirányban

haladó, széles homlokú frontfejtések biztosítására hidraulikus fejtésbiztosító-berendezés javasolt, 2,5 m-t meghaladó telepvastagság esetén fűteszénomlasztási lehetőséggel, a jövesztés berendezései ez esetben 1,2–1,6 m telepvastagságig távvezérelt gyalu, 1,6–2,5 m telepvastagságnál egytárcsás maróhenger, 2,5 m-t meghaladó telepvastagságnál kéttárcsás maróhenger. A szállítást fejtésenként egy vagy két fejtési láncos vonszoló biztosítja. A 35–50° telepdőlésnél kialakítható, dőlésirányban haladó, széles homlokú frontfejtések eszközei a hidraulikus fejtésbiztosító-berendezés fűteszénomlasztási lehetőséggel, a jövesztéshez távvezérelt gyalu, szállításhoz fejtési szállítóberendezés. 50°-nál nagyobb telepdőlés esetén szintomlasztásos technológia jöhet szóba, melynek eszközei az önjáró fűróberendezés, az airbreaker-rendszer s a fejtési láncos vonszoló.

A –300-as szintig rendelkezésre álló szénvagyon 50,04 Mt, átlagos fűtőértéke 19,86 MJ/kg. A napi termelés 3 db egyenként 1000–1200 m átlagos kifutású fejtési fronttal számolva várhatóan összesen 6000 t, ami évi 300 munkanappal számolva 1,8 Mt/év termelést tesz lehetővé. Az értékesíthető szénmennyiség várhatóan 1,4–1,5 Mt/év.

### *Bányabeli szállítás és csőhálózatok*

A szén és meddő ugyanazon a szállítórendszeren, időben elkülönítve kerül kiszállításra. A szállítórendszer végig folyamatos szállítóberendezésekből épül fel. A munkahelyekről láncos vonszoló szállítja el a termelvényt. Az anyag egy törőn áthaladva gumihevederes szállítószalagokra kerül, amelyek vagy egy alsóbb szintre leadó szállítólyukhoz, vagy közvetlenül a lejtőszakna tárolóbunkereihez továbbítják. A bányából a külszínre történő kiszállítás a lejtőszaknába beépített szállítószalagokon történik. A külszínen ugyancsak szállítószalagok továbbítják az anyagot a feldolgozóegységekbe vagy a meddőhányóra. A külszínen és a szállítóaknában az anyagszállítás vasúton, a mélyszinteken függősinpályán történik. A személyszállítás lebonyolítására a behúzó szállítóakna szolgál. A mélyszinteken a rendszeres személyszállítás függősinpályán mozgó speciális személyszállító kocsikkal történik.

A megnyitásra kerülő bányaterület III. osztályú sújtólégveszélyes bányának minősül, ezért metángáz-lecsapolást kell végezni, hogy a bányalevegő  $\text{CH}_4$ -tartalma a megengedett értéket ne haladja meg. A gázlecsapolásból származó gázmennyiséget a külszínen létesített gázlecsapoló állomás szivattyúival kell a külön erre a célra szolgáló csőhálózaton elszívni. Mindezek megvalósítása érdekében a gázlecsapoló állomástól a fejtési munkaterületekig NÁ300 méretű gázvezetékkel kell kiépíteni. A gázvezeték a külszínről, a BSZA-ban kell a szintekre vezetni, majd mindhárom szinten az É-i és a D-i fő keresztvágatokban, a K-i és Ny-i fekvő irányvágatokban, ill. ezekből a K-i és Ny-i keresztvágatokban kell kiépíteni.

A gázvezeték az ÁBBSZ-ben meghatározottak szerint a fűtésben felfüggesztve úgy kell vezetni, hogy sem a közetnyomásnak, sem egyéb mechanikai hatásnak ne legyen kitéve. A gázvezeték minden olyan helyen, ahol benne vízdugó képződhet, vízválasztóval kell ellátni. A csőkötések a biztonság érdekében sárga színjelzéssel kell ellátni. A gyűjtővezetéknek a fővezetékbe csatlakozásánál pillangószelepek beépítésével kell a szakaszolhatóságot biztosítani. A gázvezeték és a beépített gázszerelvények tömítettségét üzembe helyezés előtt 2 bar nyomású levegővel kell az ÁBBSZ előírásai szerint ellenőrizni.

A megnyitásra kerülő bánya, a mecseki szénmedence korábban művelt területeihez hasonlóan, fokozottan szénpor-robbanás-veszélyes és fokozottan tűzveszélyes bányának minősül. A bányában ezért az ÁBBSZ előírásai alapján szabványos tűzvédelmi vízvezeték-hálózatot kell létesíteni. Tűzvédelmi vezetékkel kell telepíteni az aknába, a bánya fő behúzó, fő kihúzó, fejtési behúzó, valamint a légosztálykihúzó, ill. összekötő vágatokban és valamennyi gumihevederes szállítóberendezés mellett, továbbá addig a területig, ahol belsőégésű motorral hajtott berendezés kerül alkalmazásra.

A külszínen a BSZA közelében, az aknaudvaron elhelyezett tűzivíz-tároló medencéből kiindulva egy NÁ150 méretű vezetékkel kell beszerezni mind a BSZA-ba, mind a LSZA-ba. A tűzvédelmi vezeték minden szinten ki kell vezetni az aknarakodókra, majd tovább a fő szállító- és fő keresztvágatokon, ill. a fekvővágatokon át a fejtésekig úgy, hogy a kiépített vezeték a vájvégtől, illetve a fejtés bejáratától legfeljebb 50 m-re legyen. A tűzvédelmi vezetékeket a szükséges biztonsági és elzárószelvényekkel fel kell szerelni. Szabványos önműködő tűzoltó berendezést kell beépíteni a gumihevederes szállítószalagok hajtóműveinél. Az ÁBBSZ előírásai szerint a tűzvédelmi vezeték vízmennyisége, megfelelő utánpótlás esetén a bánya iparvíz-szükségleteire is felhasználható.

A föld alatti munkaterületeken dolgozók részére ivóvizet kell biztosítani a munkahelyek közelében. Ennek érdekében a LSZA mélyítésének időszakában a külszínről ivóvízvezetékkel kell kiépíteni. A BSZA elkészülte után a külszínről az aknába telepített csővezeték keresztül kell a szintekre ivóvizet biztosítani. Minden szinten a BSZA-tól a D-i fő keresztvágatok teljes hosszában, a K-i és Ny-i fekvő irányvágatokban, illetve ezekből a K-i és Ny-i keresztvágatokban kell az ivóvízvezeték kiépíteni. Az ivóvizet horganyzott acélcsőben kell vezetni, a végpontok felé csökkenő átmérőjű vezetékben. A vezeték 200–300 méterenként vízvételi lehetőséget kell biztosítani, szabványos elzárószelvényekkel. Az egyes szinteken a víznyomás nem haladhatja meg az 5 bar értéket. Ennek érdekében az ivóvízhálózatba szükség szerint nyomáscsökkentő berendezéseket, vagy azzal egyenértékű megoldásokat kell alkalmazni.

Már a lejtős akna mélyítése alatt sűrített levegőt kell biztosítani a pneumatikus berendezésekhez és szerszámokhoz. A LSZA-ba egy sűrítettlevegős csővezetékkel kell telepíteni, és csatlakozásokat kell biztosítani a felhasználási igények szerint. A kompresszortelepről a sűrített levegőt hegesztett kivitelű csővezetékben kell az erre a célra kialakított csőosztályban

vezetni a BSZA-ig, ill. a LSZA-ig. Az aknában és a bányában 6 métert meg nem haladó hosszúságú lazakarima és kötőgyűrűs kivitelű vezetékcszakaszokból kell kialakítani a csőhálózatot. A BSZA-ban és a LSZA-ban a függőleges csővezetékcsakaszt a csőtartókon rögzített állványcsövekkel kell alátámasztani. Az alátámasztások között kihajlástgátlókat kell alkalmazni. Az aknák minden szintjénél leágazással ki kell fordulni az aknarakodókra. Az aknarakodókról a sűrített levegő csővezetékét a fő szállító- és fő keresztvágatokon, a fekvő irányvágatokon át, a K-i és Ny-i keresztvágatokon keresztül a fejtésekig, munkahelyekig kell kiépíteni úgy, hogy valamennyi munkahelyen rendelkezésre álljon a sűrített levegő.

A fokozottan tűzveszélyes bányákban a fejtésekig iszapvezeték-hálózatot kell kialakítani, és szükség esetén működtetni. A 30°-nál nagyobb dőlésű fejtések esetében az iszapolóvezeték mind a szállító-, mind a légvágatokban ki kell építeni. Az iszapolóvezeték a feltárás során elsőként a LA-ba kell kiépíteni. A BSZA és a LFA szerelvényezésekor mindkét aknában telepíteni kell az iszapolóvezetékét. Az iszapolóvezeték táplálására a külszínen egy 500 m<sup>3</sup>-es tömedékanyag-tárolót kell létesíteni, a hozzá kapcsolódó víztározóval, amelynek vízmennyisége a tömedékanyag betáplálására elegendő kell, legyen. Az iszapoló NÁ150 méretű vezeték minden szinten az É-i és a D-i fő keresztvágatokban, a K-i és Ny-i fekvő irányvágatokban, illetve ezekből a K-i és Ny-i keresztvágatokban kell kiépíteni. Elzáró szerelvények beépítésével kell gondoskodni arról, hogy az iszapolóvezeték szükség szerint szakaszolható legyen.

Az energiaellátás alapvetően villamos energiára épül. A villamos energia mellett sűrítettlevegős energiarendszert is kiépítünk, amely a villamos energia kimaradása vagy leváltása esetén az alapvető szolgáltatások ellátásához (szellőztetés, vízemelés stb.), illetve üzemszerűen a pneumatikus kézizserszámok használatához és az iszapolórendszer karbantartásához biztosít energiát. A föld alatti villamosenergia-ellátás a centrális szállítóakna közelében létesítendő 20/6,6 kV-os szigetelt csillagpontú transzformátorállomásról kettős betáplálást kap, melyet a 120/20 kV-os transzformátorállomásról biztosítanak. A föld alatti villamosenergia-ellátást tápláló 6,6 kV-os kábeleket a centrális szállítóakna oldalfalára rögzített kábeltartókra szereljük. 6,6 kV-os föld alatti fő elosztó az I., II. és III. szinten létesül. A 6,6 kV-os fő elosztókról biztosítjuk az egyes szinteken létesítendő 6,6 kV-os hálózat táplálását. A 6,6/0,5 kV-os transzformátorok biztosítják az egyes szintek villamos berendezéseinek villamosenergia-ellátását. A föld alatti világítás táplálása 500/230V-os világítási transzformátorokról történik.

### Vízmentesítés

A feltárás kezdetétől a BSZA beruházásának befejezéséig a LSZA-ba telepített átemelő és nyomószivattyúkkal kell a víztelenítést biztosítani. A BSZA befejezésekor a III. szinten, az akna közelében kell kialakítani a vízgyűjtő zompokat és a fő vízmentesítő telepet. A fő vízmentesítő elkészülte után a bányaterület vízmentesítése a BSZA-n keresztül történik. A bányavágatok úgy készülnek, hogy mind a fakadó, mind a technológiai vizek csorgában a fő vízmentesítő telep gyűjtőzompjaiba folyhassanak.

A fejtést előkészítő vágatokból, a fejtésekből, valamint a bányabeli munkahelyekről és a légaknák zompjaiból szükség esetén hordozható átemelő szivattyúkkal biztosítják a vízmentesítést. A bányaterületen összegyűlt vízmennyiséget magashozó szivattyúk segítségével éjszakai műszakban a BSZA -ba telepített nyomócsövön keresztül a külszíni tározókba továbbítják. A LSZA -ba telepített nyomócsővezetékek és átemelő szivattyúk a BSZA üzembe helyezésével sem kerülnek kiszerezésre, hanem biztonsági tartalékot képeznek havária esetére.

### Szellőztetés

A mecseki szénmedencében és a szomszédos bányákban megfigyelt adatok alapján a széntermelés során felszabaduló metán fajlagos értékét maximum 30 m<sup>3</sup>/t-nak veszik, a maximális széntermelés 8000 t/nap. A felszabaduló metán 30%-át tervezik lecsapolni, és zárt vezetéken a külszínre vezetni a gázlecsapoló állomás által előállított szívóhatással. A szellőztetéssel eltávolítandó metán: 21 m<sup>3</sup>/t, a felszabaduló metán: 168 000 m<sup>3</sup>/nap (~116,7 m<sup>3</sup>/min), a fő kihúzóban megengedett CH<sub>4</sub>-tartalom: 0,75%, egyenletlenségi tényező: 1,2. A fenti adatokat figyelembe véve a fő szellőztetők minimális légszállítási szükséglete: 18 660 m<sup>3</sup>/min.

Az É-i tömbben a széntelepes összlet „letarolása” következtében a felsőbb szinteken valószínűsíthető a széntelepek metántartalmának „kigázolása”, így a fajlagos metán-felszabadulás I. és II. szintek környezetében 30 m<sup>3</sup>/t helyett 15 m<sup>3</sup>/t-ra valószínűsíthető. A fő szellőztetőgépek kiválasztásánál a várható legmagasabb metánfelszabadulási értéket kell figyelembe venni. A fentiek alapján a szükséges légmennyiség: 2333 m<sup>3</sup>/min. A fejtésekben a maximálisan megengedett légsebesség (4 m/s) betartásához legalább 9,7 m<sup>2</sup> szabad szelvényt kell biztosítani.

A bánya tervezett szellőztetése diagonális rendszerű. A fő kihúzó lejtős légaknára (Ø6 m) – egymás tartalékát képező – 2 db fő szellőztetőgép telepítése szükséges, amelyeknek az egyenkénti névleges légszállítási teljesítménye 20 000 m<sup>3</sup>/min. A fő szellőztetők légszállítási teljesítménye lapátszögállítással változtatható, így a bánya építése és működése során a légmennyiségigény változása rugalmasan követhető. A fő szellőztetőknek reverzálhatóknak (irányválthatóknak) kell lenniük. A bánya a fő behúzó légáramot a centrális szállítóaknán (Ø8,0 m) és a lejtős szállítóaknán (Ø6,0 m) kapja.

### Külszíni létesítmények és a felszín érintettsége

Fontos szempont a külszíni létesítmények elhelyezésében és kivitelezésében, hogy a helyi lakosságot a lehető legkisebb mértékben zavarják. Ezért törekedni kell arra, hogy a lakott területektől minél messzebb legyenek, valamint az egyes telephelyek között a lakott területeket elkerülő üzemi utak létesüljenek.

Az 1. telephely kialakítására ideális hely lehet a mázai vasútállomás és a kutatási terület északi határa közötti terület vagy a nagymányoki volt Szarvas-akna és Rezső-légakna környékén művelésből kivont terület. Az 1. telephelyen kerülhet kialakításra a feldolgozó- és a kapcsolódó létesítmények, vízkezelő, kapcsoló-vezénylő épület, műhely-raktár, fő szellőztető, iroda-fürdő-étterem, sűrű zagyatároló, raktár, hűtőtorony, gázlecsapoló, gáztároló, műhely, porta, szabadtéri transzformátortároló, széntér. A telephelyet üzemi út fogja összekötni a Máza-Váralja közötti közúttal és a 2. telephellyel, valamint ipari vágány készül a telephely és a mázai vasútállomás között.

A két telephely Váraljától délre a parkerdő bejáratánál kerülhet kialakításra. A Behúzóaknához tartozó aknaudvaron (+220 m Bf.) az alábbi főbb létesítmények kerülnek elhelyezésre: vitla gépház, aknaház, szállító-gépház, műhely-raktár, villamos kapcsoló- és transzformátorház, oltóvíztároló, bányamentő-állomás, inert gáztároló, iszapoló.

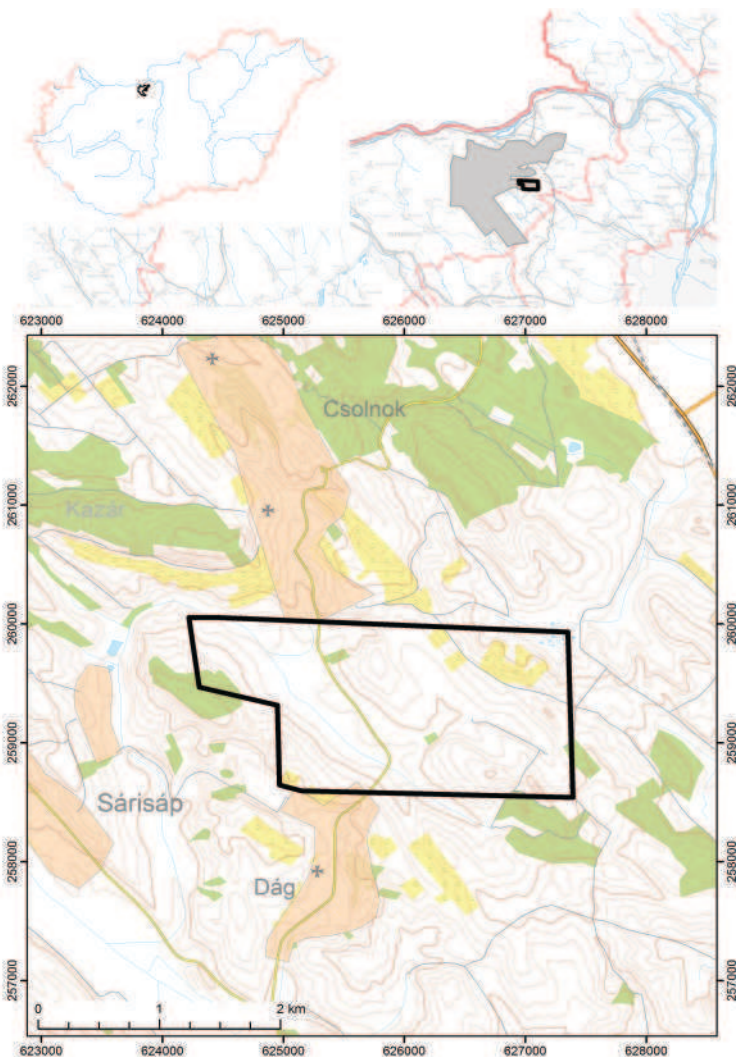
A bányászat során a nyersanyag kitermelésével meddő kőzet is felszínre kerül, amely elhelyezése a meddőhányón történik. Máza és Váralja között, pontosabban a Bánom-hegy és Györe-hegy közötti területen húzódik két ÉÉK-DDNy irányultságú eróziós–deráziós völgy, amelyet egy lankás völgyközi hát választ el egymástól. A völgyekben állandó vízfolyás nem található. Ez a tervezett helye a meddőhányónak.

A völgyfő az ún. Csepel-hegytől északra helyezkedik el, és azokat egy lejtőpihenő választja el egymástól. A völgyek hátravágódása folyamatos, melyet jeleznek az aktív horhosok. A két eróziós–deráziós völgy egy egységes részvízgyűjtőként fogható fel, amely északon nyitott a Völgységi-patakra. A völgytalp +150 m Bf. szinttől (Völgységi-patak szintje) déli irányba +250 m Bf. magasságig emelkedik. A két eróziós–deráziós völgy a lapos völgyközi háttal együtt kb.  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$  meddőanyag befogadására alkalmas.

### Csolnok, Új-Borókás

A Dorogi Szénbányák megítélése szerint (TURCSÁNYI 1988) „a befejezés előtt álló lencsehegyi bányaberuházást a borókási terület (4.50. ábra) termelésbe állítása kell, hogy kövesse, amely több ütemben valósítható meg”. A távlati tervek között a beruházás „Alagúti mezőkapcsolás” névvel szerepel (BÁNYÁSZATI EGYESÜLET 1990). Mivel a karsztvízszint-csökkenés lehetőségével a Dorogi-medencében környezetvédelmi okok miatt nem számolunk, csak a beruházási terv első ütemének alapját képező „középső-eocén” telepek feldolgozása történt meg a részletes kutatási fázis mellékletei alapján (SZÜCS et al. 1980).

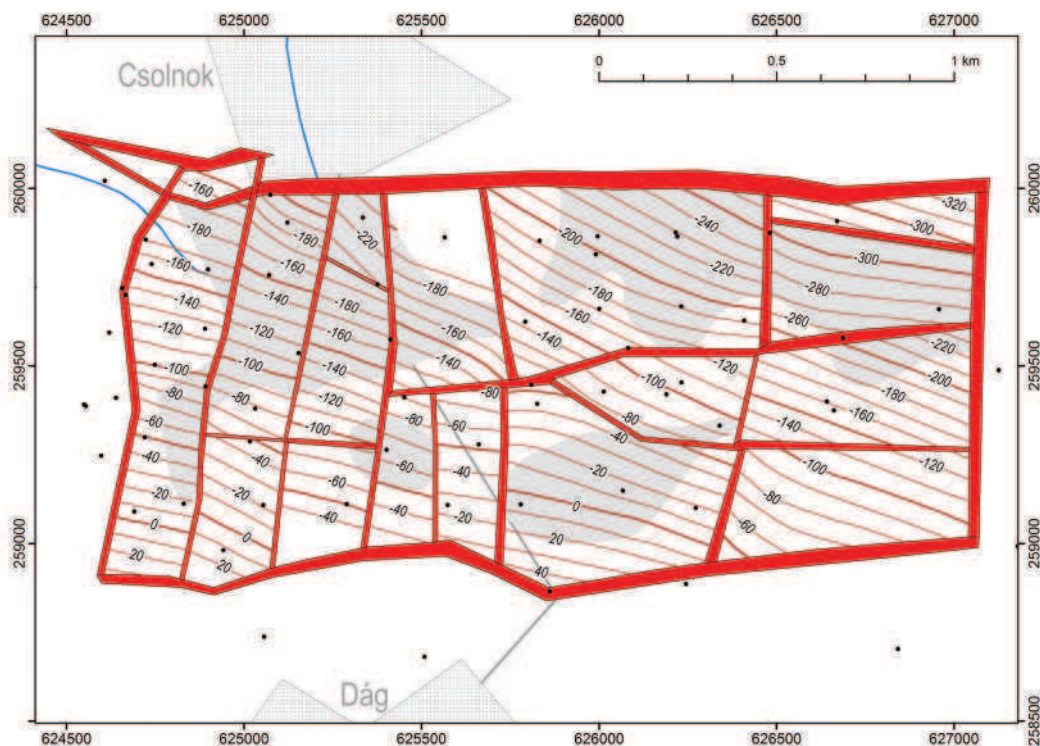
A terület előnyös adottságai: (1) a terület földtani megkutatottsága elegendő a bányatervezéshez és építéshez, (2) a szén kiváló minősége, (3) a „középső-eocén” széntelepek (a Dorogi-medence eocén előfordulásai között egyedüli kivételként) karsztvízvesztés nélkül lefejtethetők, (4) védendő külszíni létesítmény hiányában omlasztásos eljárás alkalmazható, (5) a létesítésre tervezett bánya infrastrukturális elhelyezkedése jó, (6) a térség (múltjából eredően is) a bányászat újraindítására nyitott, települési (önkormányzati) támogatottsága pozitív.



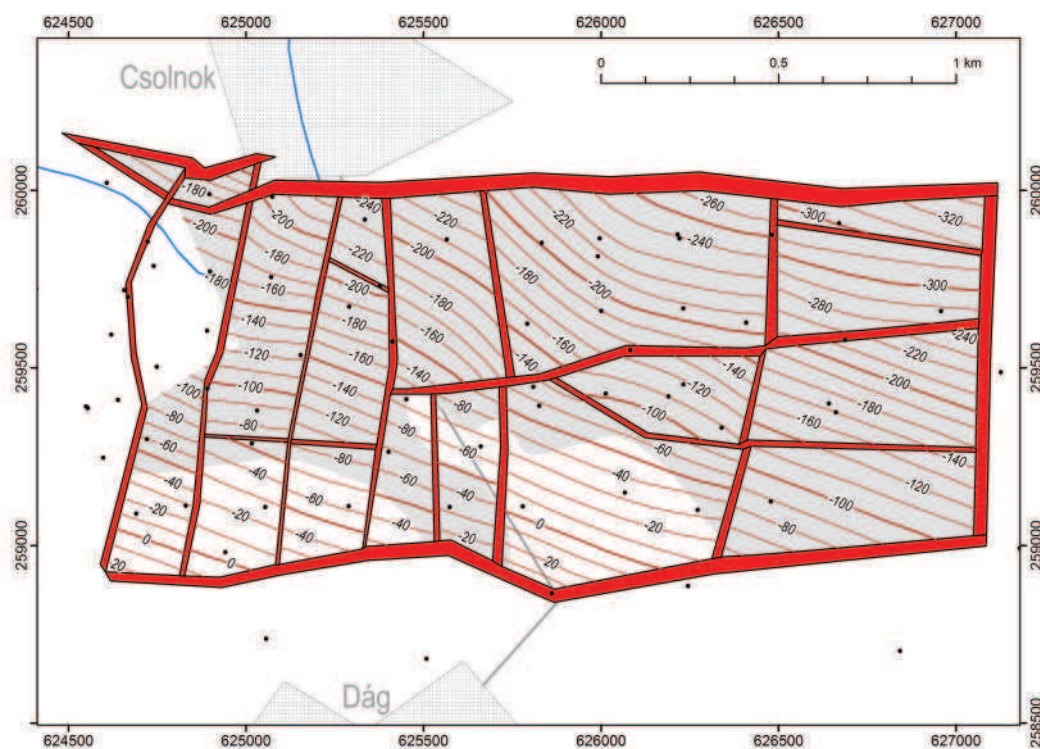
4.50. ábra. Csolnok Új-Borókás topográfiai térképe

*Teleptani adottságok, szerkezeti viszonyok*

Az alsó-eocén telepösszetlet fölött 120–180 m-re kifejlődött középső-eocén telepes csoport három telepet tartalmaz. A felső I. telep (4.51. ábra) vastagsága 0,8–3,2 m (átlagosan 1,6 m), a II. telep (4.52. ábra) vastagsága 0,8–6,0 m (átlagosan 2,5

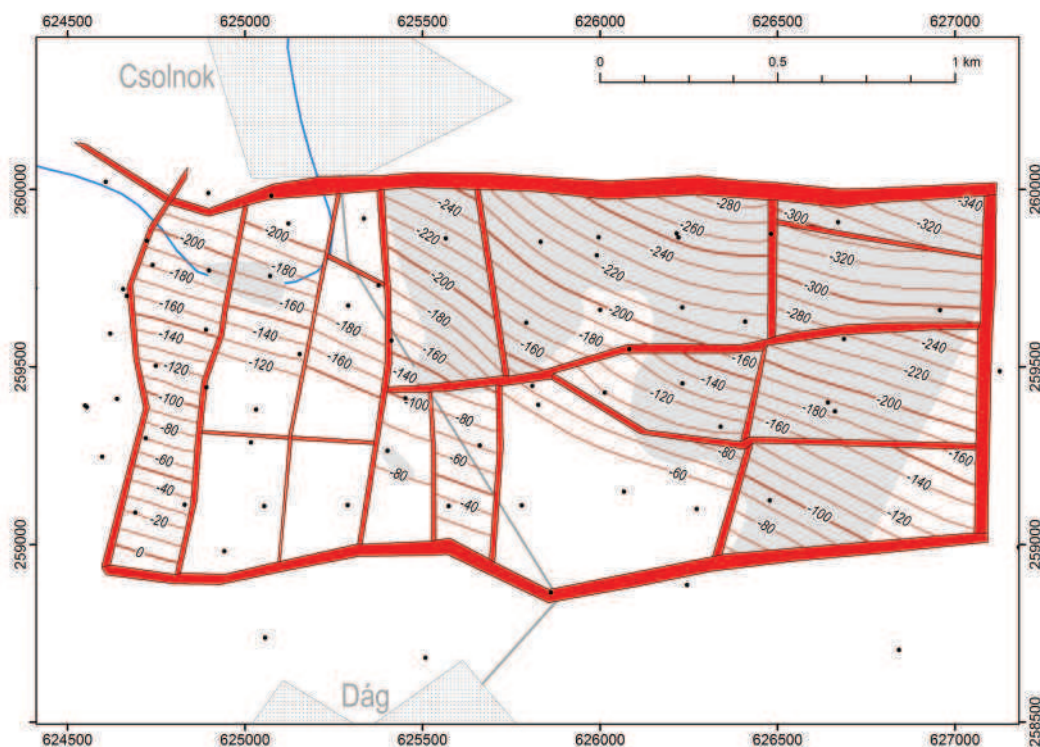


4.51. ábra. A Tokodi Formáció („Fornai széntelepes összlet”) I. telepének elterjedése és szerkezeti viszonyai Csolnok Új-Borókás területen (Szűcs et al. 1980)



4.52. ábra. A Tokodi Formáció („Fornai széntelepes összlet”) II. telepének elterjedése és szerkezeti viszonyai Csolnok Új-Borókás területen (Szűcs et al. 1980)

m), az alsó III. telepé (4.53. ábra) 0,8–4,0 m (átlagosan 2,0 m). A III. és II. telepek között 5–6 m vastag agyagos összlet, a II. és I. telepek között 5–15 m vastagságú homokos összlet helyezkedik el. Az I. telep közvetlen fedőjét 20–40 m vastag homok, laza homokkő alkotja.



4.53. ábra. A Tokodi Formáció („Fornai széntelepes összlet”) III. telepének elterjedése és szerkezeti viszonyai Csolnok Új-Borókás területen (SZÜCS *et al.* 1980)

A középső-eocén telepcsoporthoz karsztvízvesztéssel nem kell számolni, mivel a karsztvíztároló mészkőtől 150–250 m vastag, túlnyomórészt vízzáró rétegsor választja el. A telepek dőlése 12–16° és északi irányú, a telepcsoporthoz a +60 és –300 m Bf. szintek között helyezkedik el. A területen gázkitörésre nem kell számítani, sűjtőlégvesztés viszont valószínűsíthető.

A területet a Dorogi-medence általános szerkezeti viszonyainak megfelelően kelet–nyugati irányú nagy vetők harántolják és ezekre közel merőleges, észak–déli csapású harántvetők ( $H=20$  m) tagolják szerkezeti tömbökre. Kelet felé ugyancsak nagy elvetési magasságú ( $H=90$  m) vető zárja le a területet.

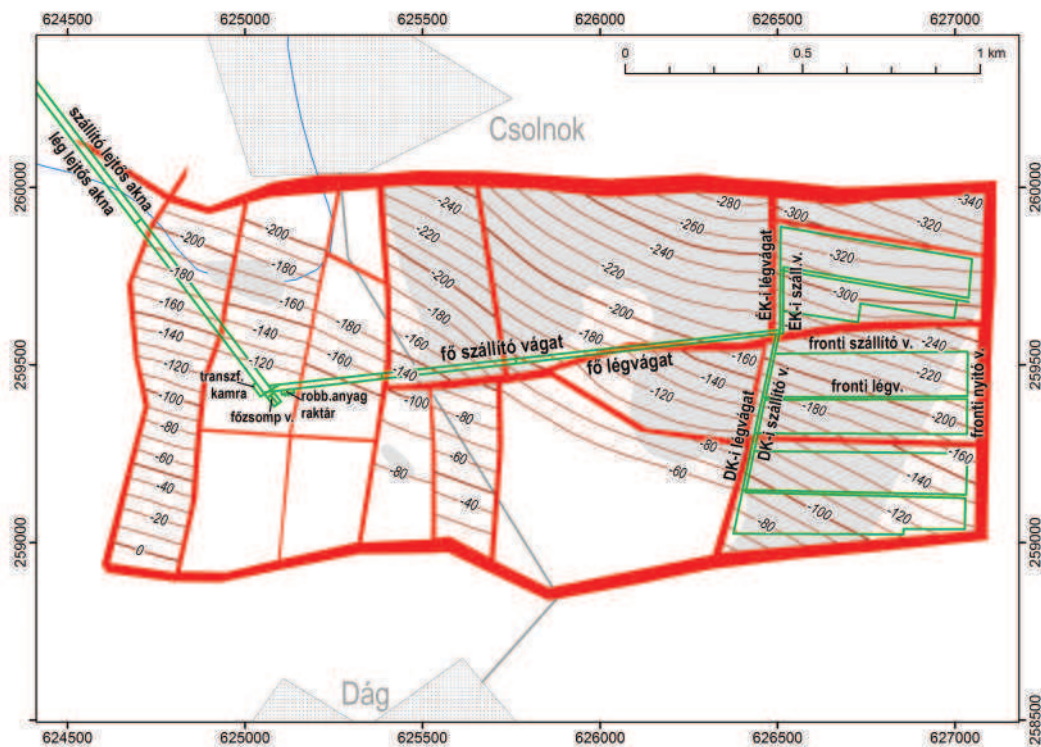
### Feltérési terv

A feltérési mód újraértékelése az alábbi tényezők együttes figyelembevételével született meg: külszíni adottságok, terepviszonyok, ásványvagyon-védelem, megközelíthetőség, kötelezően kijelölendő védőpillérek, infrastruktúra kialakítása, centrális aknatelepítés előnyei, fedő vízvesztélyessége, optimális fejtéstelepítés, generális tektonika, a jövőbeni bányakár minimalizálása.

Korábbi elképzelésekben egy már kihajtott függőleges akna is szerephez jutott volna második kijáratként (XII/A függőleges akna), de azt egyrészt betömedékeltek, másrészt az akna korábbi bányaműveletek karsztvizével kommunikált, így ez a gondolat elvetendő. Egyetlen bányaiüzemről lévén szó, idejélmúlt elgondolás az „alagúti mezőkapcsolás” is.

Tekintettel arra, hogy a művelésbe vonandó széntelepek viszonylag kis mélységben vannak, a külszínt és a fő feltáró gerincpárt lejtős aknákkal célszerű összekötni (4.54. ábra). A lejtős akna nyitópontja a Magos-hegy DK-i oldalánál jelölhető ki a +168,0-as szinten. A külszín alkalmassá tehető egy aknaudvar létesítésére annak ellenére, hogy az közigazgatásilag Csolnok belterületére esik.

A lejtős akna a művelendő terület Ny-i szélének közepén érik el a telepes összletet, és itt kapcsolódnak a fő feltáró gerincpárhoz. A szerkezeti tömbök elhelyezkedéséből következik a terület nyugat–kelet irányú felszelése, azaz a fő feltáró gerincpár a lejtős akna aljától keleti irányba húzódhat a területet keletről lezáró nagy vetőig, gyakorlatilag É-i és D-i mezőre osztva ezzel a területet. A tengely irányú kettéosztás az uralkodó vető irányok átszelését eredményezi, így alapja lehet a bányabeli kutatásnak.



4.54. ábra. Csolnok Új-Borókás fő feltárási terve

A lejtős aknák alatt létesülne a bánya fő vízmentesítő telepe, a fő transzformátorállomás, a robbantóanyag-raktár, a TH-hengerlő, a tűz- és vízvédelmi raktár és a föld alatti szerszámraktár.

A feltárás a lejtős aknák hajtásával kezdődik, majd a fő feltáró gerincpár és az egyéb bányatérsegek kihajtásával folytatódik. A nyugat-keleti csapású fő feltárás két egymással párhuzamos vágatpárt jelent, melyek közül a fő légvágat talpszintje van alacsonyabban. Mindkét vágat a középső-eocén II. és III. telep közötti márgában kerülne kialakításra. A nagy vetők harántolása itt is fekében történne, kerülve a fedőben lévő vízdús homokot. A fő feltáró gerincpár hossza 1449 m, illetve 1429 m. Az egyes tömbök lefejtéséhez ezekből a vágatokból lépnének ki a mezőfeltáró, illetőleg a fejtéselőkészítő vágatok. A kapcsolódás szállító-vágati oldalon lehetőség szerint mindenhol bunkerrel történik. A fő feltáró vágatpár generálisan dől keleti irányba.

A vágatszelvényeknek olyanoknak kell lennie, hogy lehetővé tegyék komplex gépesítésű omlasztásos frontfejtések és tisztázó fejtések telepítését, és megfeleljenek a technológiai és szellőztetési igényeknek. A széles homlokú fejtési rendszer paramétereit a lefejtendő tektonikai tömb határozza meg.

### Aknaelepítés, vágathajtás

A feltárási fejezetben leírt megfontolások miatt lejtős aknák kihajtására lesz szükség. Külszíni nyitópontja és bányabeli talppontja a már elmondott megfontolások alapján rögzíthető, ugyanakkor a lejtősakna-pár térbeli helyzetét meghatározza a IX–XIV. aknák középső-eocén lefejtett telepektől való biztonságos távolsága, az I. telep fedőjében lévő laza vízdús homokkő legkisebb hosszon történő harántolása és a lehető legnagyobb szakasz mészkőben történő kihajthatósága. A tervezett lejtős aknai nyomvonal, a megfelelő dőlésváltások kiválasztásával, a kritikus szakasz hosszát 150–170 m-re minimalizálja. A tervezett nyomvonal a nagyvetők kedvező harántolási igényét is kielégíti, továbbá az aknapárra kijelölendő védőpillér nem köt le hasznos ásványvagyon a művelési területből.

A lejtősaknák ~16° dőlésűek, hosszuk 1210 m és 1204 m. Közel a tervezett nyomvonalon, az ezredforduló előtt, a Dorogi Szénbányák gondozásában kihajtásra került egy kb. 480 m hosszúságú kutató vágat („lejtős akna”) ami mintegy 70–80 m hosszban ácsolt vágatot, 400–410 m hosszban triász mészkőben hajtott négyszög szelvényű vágatot jelent. A térségi bányászati tapasztalatok alapján utóbbi szakasznak állnia kell, vélhetően ma is használható.

Az alapvágatok II. és III. telep közötti átlagosan 5–6 m vastag meddő rétegben történő kihajtását indokolják a várható nyomásviszonyok és a térségi bányászati tapasztalatok is. Ez az agyagos összetétel jó állékonyságú, a benne hajtott vágatok nyitott kapuvas szelvényt készíthetnek. Törekedve az egységes kivitelezésben rejlő előnyökre, néhány különleges funkciójú vágat kivételével a vágatok egységesen 16 m<sup>2</sup> szabad szelvényt, ellenív nélkül, 1,2 m fogásmélységgel, egy pót-ácsolattal készíthetnek. A biztosítószerkezet anyaga 21 kg/fm tömegű TH, oldalanként 2–2 kötőszerezettel és deszka-béleléssel.

Fejtési nyitóvágatok esetében célszerű a négy oldalívből összeállított egyenes főtét biztosító ellenív nélküli szerkezet használata. Különleges szelvényméreteknél alkalmas pótbiztosításként akár dupla rácsra (belső–külső) lőttbeton-megerősítés is szóba jöhet. A beruházás első időszakának vágathajtási igényét a 4.10. táblázat, az ezt követő éves vágathajtási igényt a 4.11. táblázat tartalmazza.

**4.10. táblázat.** Csolnok Új-Borókás vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve) a beruházási időszakban

Beruházási vágathajtás	TH	TH+beton	Összesen
Alapvágatok	484	258	742
Egyéb vágatok	36	31	67
Összes vágathajtás (fm/év)	520	289	809

**4.11. táblázat.** Csolnok Új-Borókás évi vágathajtási igénye (fm/év-ben kifejezve)

	Szén	Meddő	Összesen
Üzemi vágathajtás	1905	40	1945
Beruházási vágathajtás	85	45	130
Fenntartás	20	5	25
Összes vágathajtás (fm/év)	2010	90	2100

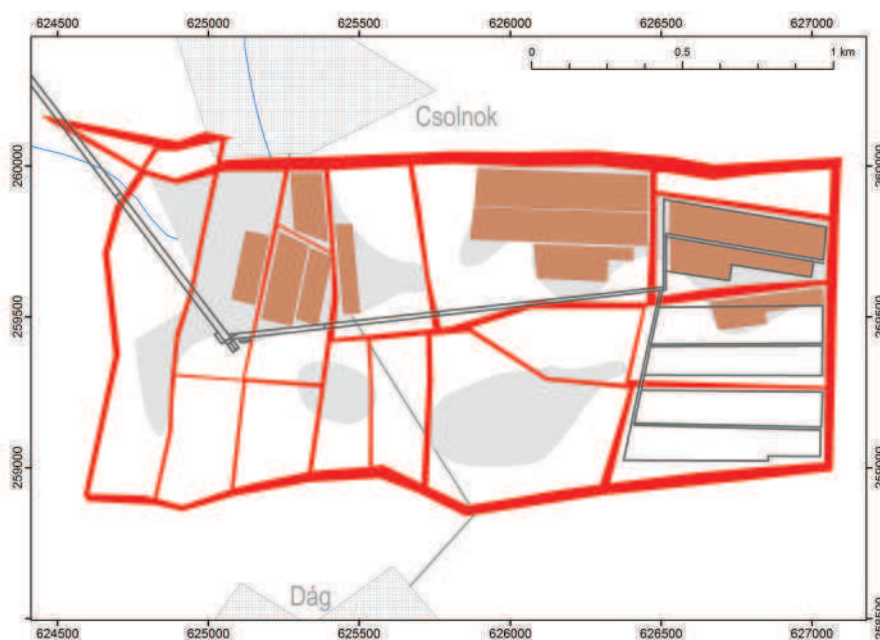
A felfutási (tisztán beruházási) időszakot követően várhatóan két vágathajtó csapat, egy fenntartó csapat és egy gépesített talpszedő csapat munkájára lesz folyamatosan szükség.

### *Termelés, ténylegesen kitermelhető vagyon*

A főfeltárás rögzítését követően megtervezésre kerültek a fejtési idomok. Az idomok kialakításánál elsődleges szempont volt, hogy az alkalmazandó technika illeszkedjen a tektonikához, és minél teljesebb kihozatal legyen elérhető. A fejtési idomokról általánosságban elmondható, hogy nyugat–kelet irányúak, a nagyobb vetősávok közé illesztettek, hazafelé haladók. Ez alól az egyedi támos fejtések némelyike kivétel, mert ott a terület lefedettsége nagyobb hangsúlyt kap. A vízveszély miatt is indokolt volt a mindenkor dőlésben felfelé haladó fejtésirány.

Fenti összegző megfontolások miatt, komplex gépesítésű (pajzsbiztosítás, maróhengeres jövesztés) frontfejtések [F] és rövidebb homlokhosszúságú egyedi támos fejtések [P] kerülnek kialakításra. A telepvastagsághoz igazodóan a komplex frontokon 1,7 m és 2,6 m közötti jövesztett szeletvastagsággal számoltunk. Az egyedi támos fejtések vastagsága 1,5 m és 2,5 m közé esik.

A frontfejtések 2 m/nap fejtési sebessége mellett, a fejtési vágatoknak hosszú ideig állniuk kell. Az egyedi támos fejtések esetében 1,2 m/nap a tervezett sebesség, de ekkor a kifizési hosszak is rövidebbek.

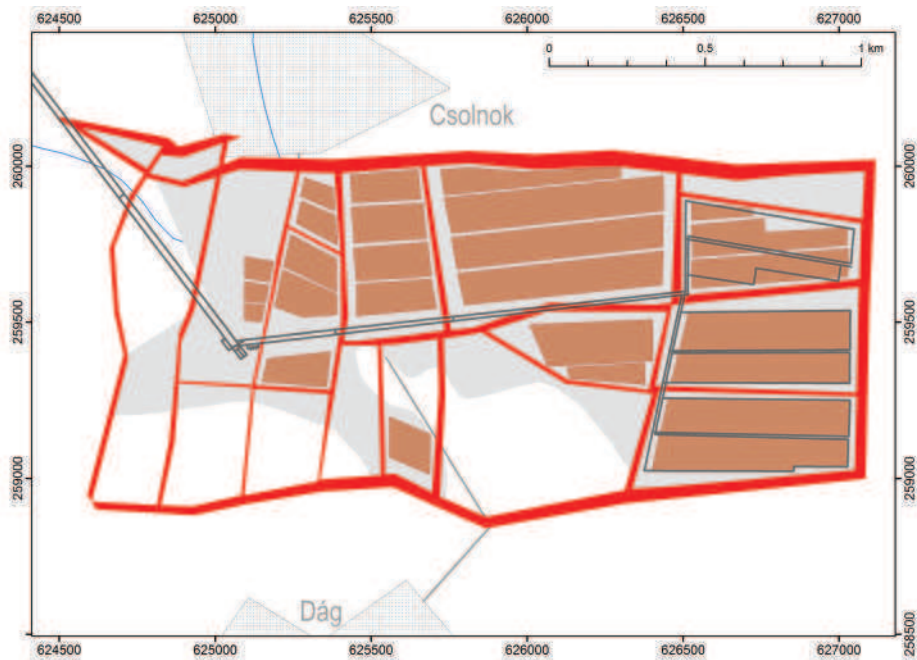


**4.55 ábra.** Csolnok Új-Borókás terület I. telepének (Tokodi Formáció, „Fornai széntelepes összlet”) fejtési terve

Mindegyik fejtéstípus esetében omlasztásos módszer alkalmazandó. A széntelep és kísérő közeinek vastagságára és szilárdságára való tekintettel, figyelembe véve a hasonló településű szenes előfordulások omlasztathatósági tapasztalatait, csak egyszeletes művelés alkalmazható.

A kifejlődött három széntelep fejtése felülről lefelé sorban történik, azaz először az 1. telep kerül lefejtésre (4.55. ábra), majd a 2. telep (4.56. ábra), s legvégül a 3. telep (4.57. ábra). Az egyes fejtési idomok között közetmechanikai és tűzvédelmi megfontolások miatt 5 méter pillért kell hagyni. Az alapvágatokra minimum 40 méter pillér elhagyása ajánlott. A fejtési kísérő vágatok kihajtásával egy időben fel kell készülni az esetlegesen fakadó vizek szivattyúzására is.

Az alap beruházások elkészülése után az éves termelés várhatóan 230 ezer t lehet. Ez a kapacitás két komplex front (~101 ezer t/év/db), egy egyedi támos fejtés (~30 ezer t/év/db) és két elővájás egyidejű működtetésével lehetséges. Az első ilyen kapacitású év várhatóan a negyedik év lehet.

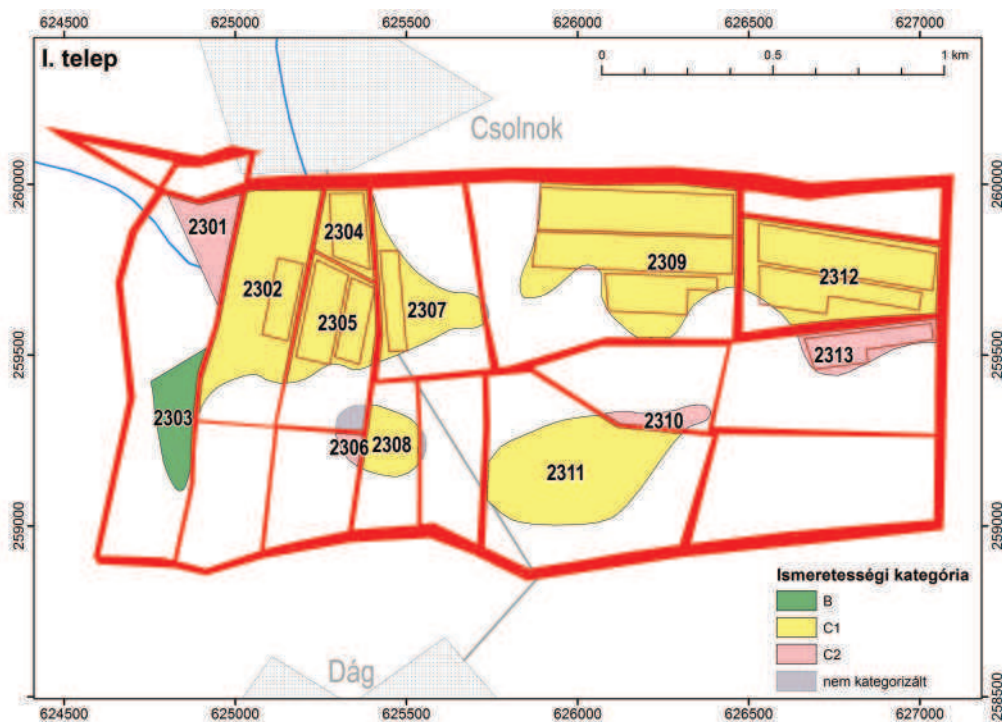


4.56 ábra. Csolnok Új-Borókás terület II. telepének (Tokodi Formáció, „Fornai széntelepes összlet”) fejtési terve



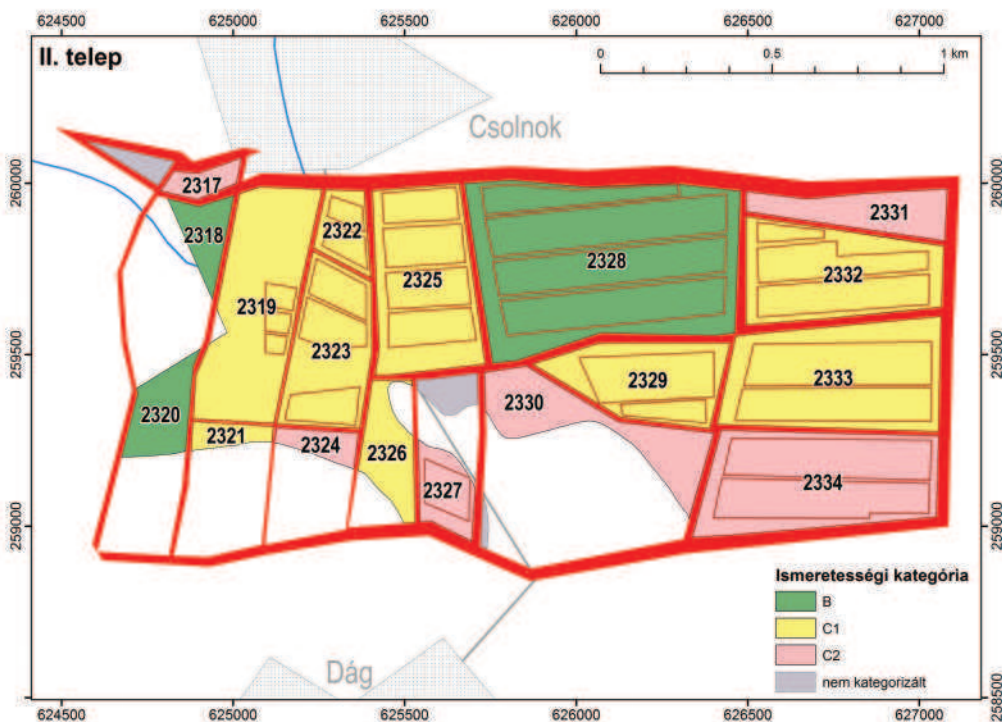
4.56 ábra. Csolnok Új-Borókás terület III. telepének (Tokodi Formáció, „Fornai széntelepes összlet”) fejtési terve

A tényleges kitermelhető vagyon, a fejtési idomok alapterületének, a fejtési vastagságnak és széntelepek átlagos sűrűségének szorzatából adódik (4.58., 4.59., 4.60. ábra). A bányá várható termelési volumene vágathajtásból 593,3 ezer t (~0,6 Mt), fejtésből 4184,7 ezer t (~4,2 Mt) összesen 4778,0 ezer t (~4,8 Mt).



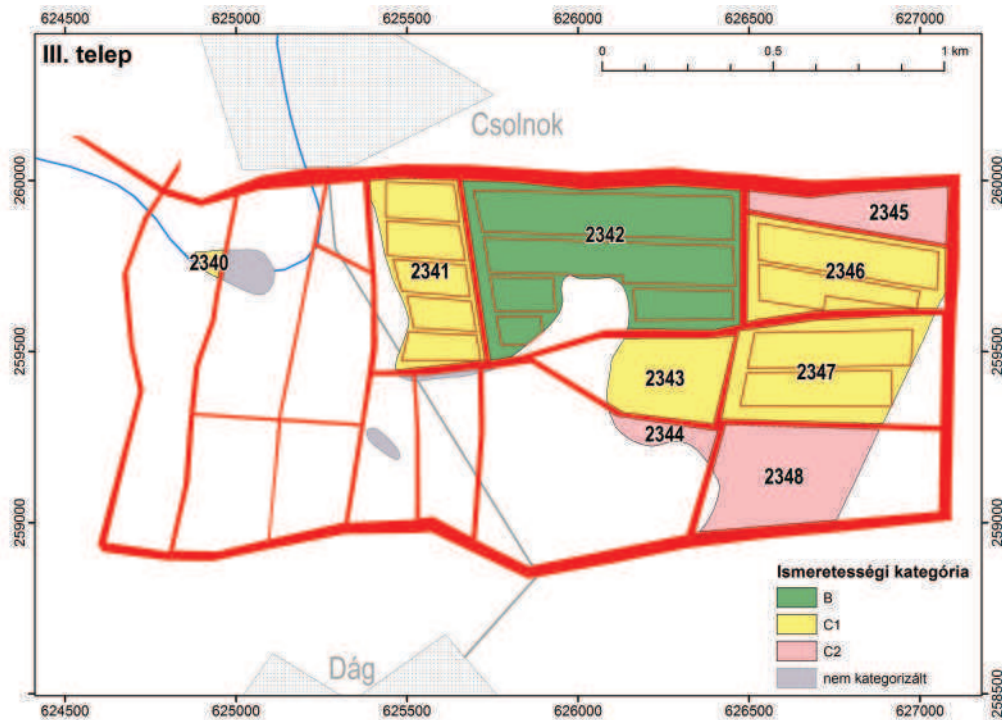
**4.58. ábra.** Csolnok Új-Borókás terület I. telepének (Tokodi Formáció, „Fornai széntelepes összlet”) készletszámítási tömbjei és fejtési idomai (SZÜCS *et al.* 1980)

A készletszámítási tömbökben a tömbök nyilvántartási azonosítója látható



**4.59. ábra.** Csolnok Új-Borókás terület II. telepének (Tokodi Formáció, „Fornai széntelepes összlet”) készletszámítási tömbjei és fejtési idomai (SZÜCS *et al.* 1980)

A készletszámítási tömbökben a tömbök nyilvántartási azonosítója látható



4.60. ábra. Csolnok Új-Borókás terület III. telepének (Tokodi Formáció, „Fornai széntelepes öszlet”) készletszámítási tömbjei és fejtési idomai (Szűcs et al. 1980)

A készletszámítási tömbökben a tömbök nyilvántartási azonosítója látható

### Vízmentesítés

Vízveszély szempontjából a terület lefejtésénél több fontos tényezőt is figyelembe kell venni. Csak a nem karsztvíz-veszélyes középső-eocén telepcsoport kerül művelésre, az alsó-eocén telepek nem. A várható tartós vízemelésnél figyelembe kell venni, hogy a karsztvíztároló alaphegységet dolomitos mészkő alkotja. Ez karsztosodásra kevésbé hajlamos, így a karsztvízveszély is kisebb a korábbi dorogi átlagnál. Az I. telep fedőjében jelentkező meszes, kaolinos homok nem jelent különösebb veszélyt a bányaművelés során. Zavartalan településnél csak csepegő víz várható a főtéből, ami fokozatosan csökkenő tendenciával a homokréteg kiszáradásához vezet. Az utánpótlás mértéke csekély, amit alátámaszt a szomszédos IX. aknai tapasztalat is.

Szintén korábbi térségi tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a fakadó vizek hozamai a bánya teljes élettartama alatt nem szuperonálnak, azaz az egyes mezőrészek felhagyása után a felhagyott részben a fakadó vizek mértéke lecsökken. A vetőzónák közelében kis mennyiségű vízszivárgás, esetleg úszóhomok-betörés várható, ezért a vetőzónák harántolása különleges intézkedéseket igényel.

A várható vízhozam analógiák alapján becsülhető. A termelési kapacitást és az egy időben nyitott bányatérsegeket is figyelembe véve, a IX. és a XIV. aknák adatait felhasználva, a várható vízhozam 1,5–2,5 m<sup>3</sup>/perc-re tehető. A nagyobb termelési kapacitásra való tekintettel biztonsági okokból 2,5–3,0 m<sup>3</sup>/perc vízhozammal célszerű számolni. Így a beépítendő szivattyú kapacitásának (esetleges vízbetörésre való tekintettel) 5 m<sup>3</sup>/perc-nek kell lennie. A szükséges zsomptérfogat is az előbbiek ismeretében határozható meg, ami ~480 m<sup>3</sup>-re adódik. Egy 16 m<sup>2</sup>-es szelvényméretű vágattal számolva ez mintegy 30 m hosszú vágatszakszt jelent. A víztelenítés során kiemelt bányavíz összetételétől függően akár tisztítatlanul kerülhet a környező vízfolyásokba. A bányavíz jelentős része szükség szerint saját célú felhasználásra kerülhet, mint technológiai hűtővíz, vagy porlekötő permetezési anyag.

### Szellőztetés

A bányauzemben a kezdeti időszakban kisebb légmennyiségre van szükség, mint a termelés teljes felfutását követően. A bánya fő szellőztetése két lépcsőben alakítható ki. A bányaeépítési szakaszban a fő szellőztetőgép az anyagszállító lejtősakna- (lég lejtősakna-) fejhez telepítendő. Amikor a teljes hosszban kihajtott lejtős aknák, az alsó rakodói harántok és az alapvágatpár utolsó harántvágata elkészül, akkor kiépítésre kerülhet a végleges fő szellőztetési rendszer. A lejtős akna udvarára kiépített depressziós házba, egy ~50 m<sup>3</sup>/s légmennyiség szállítására alkalmas axiális szellőztető ventilátor kerülhet beépítésre.

A beépített fő szellőztetők segítségével azok szívó üzemmódban járatásával, a bánya szívott jellegű lesz. Kerülendő a

nyomó üzemmód, mert ekkor a bányatérsegek túlnyomósossá válnak, ami a fő szellőztető esetleges leállása esetén potenciális veszélyforrást jelentene a felszabaduló gázok miatt. A fő szellőztetésnek megfordíthatónak kell lennie.

Alaphelyzetben a fentiekben leírt szellőztetési mód esetén az anyagszállító lég lejtős aknában a légáram a bányából kifelé irányul, míg a szállító lejtős akna behúzóvá válik. A behúzó akna lefagyás elleni fűtéséről téli időszakban gondoskodni kell.

Az elővázások szellőztetési kapacitását a szelvényméretek és az előírások (ÁBBSZ) szellőztetési normái alapján kell meghatározni. A külön szellőztetés biztosításához a járatos típusú légcsőszellőztetők használhatók. Az áthúzó szellőztetéstől mérhető viszonylag rövid távolságok miatt csak esetenként lehet szükség erre a megoldásra.

A szellőztetés tervezésénél a fenti alapelvek irányadóul szolgálnak, amit a bányabeli körülmények (pl. felszabaduló gázok mennyisége és összetétele, alkalmazott géptípusok, valamint a klimatikus viszonyok) befolyásolhatnak.

### *Külszíni létesítmények*

Az érintett térség közúton való megközelítési lehetőségei jók. A terület északi és keleti zónája a kiépített főúthálózat révén kiválóan megközelíthető, a terület többi része, valamint a vizsgálati területtől nyugatra és délre eső térség csak mellékúton érhető el. Fő és alsóbbrendű utak szelik át a területet, az országos átlagot meghaladó sűrűséggel (10-es főút, 102-es út, 1106-os közút, 1120-as közút).

A térség villamosenergia-ellátása 120 kV-os elosztó hálózatról biztosítható. A konkrét kiépítés lehetőségére külön vizsgálatot kell lefolytatni, de az országos rendszer megléte (és a korábbi nagyüzemek teljesítményigényére kiépített hálózat) alapján a szükséges villamos energia biztosítható.

A saját üzemi létesítmények egy üzemudvart, és egy meddőtaroló depóteret jelentenek. A lejtős aknák szájánál kerülne kialakításra a fő telephely és mellette a meddő fogadására kialakított telephely. A meddőfogadó helyet úgy kell kijelölni, hogy maximális befogadóképessége a feltárás időszakában 300 t/nap legyen.

### *Foglalkoztatás*

A működési szakaszban, a termelés felfutását követően, a teljes létszámgény mintegy 476 főre adódik. Ezt növeli a kiszolgálói és beszállítói foglalkoztatott létszám.

HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA, PÜSPÖKI ZOLTÁN

## A hazai kereskedelmi széntermékek minőségi katasztere

A nemzetközi osztályozási rendszerek célja a kereskedelmi szénfélések egymással való összehasonlításának biztosítása. Az osztályozások rendre a fizikai és kémiai összetétel, ill. a felhasználási/feldolgozási technológiák által támasztott minőségi követelményeken alapulnak. Az energetika, acélgégyártás és a vegyipari hasznosítás szempontjából kiemelt jelentőségű osztályozási rendszerek alapparaméterei az energiatartalom (égéshő), a nedvességtartalom, a hamutartalom, a kéntartalom (5.1. táblázat), valamint közepes–magas szénülségű szenek esetében a vitritreflexió. Kiegészítő paraméter az illóanyag-tartalom (5.1. ábra). Mindezek ismerete elengedhetetlen a vas- és acélgégyártás, valamint a vegyipari felhasználás terén a technológiaválasztás, ill. eljárásstervezéshez.

5.1. táblázat. A szénminősítési szabvány alapparaméterei és a vizsgálati eljárások ISO szabványai

Paraméter	Jelölés	Mértékegység	ISO standard
Nedvesség és hamumentes állapotra vonatkoztatott égéshő Gross calorific value recalculated to dry, ash-free basis (daf)	$Q_s^{daf}$	MJ/kg	1928
Összes nedvesség (eredeti mintán mért) Total moisture recalculated to as-received basis (ar)	$W_t^{ar}$	t%	1015 vagy 5068
Szárazanyagra számított hamutartalom Ash content recalculated to dry basis (db)	$A^{db}$	t%	1171
Szárazanyagra számított összes kéntartalom Totalsulphur content recalculated to dry basis (db)	$S_t^{db}$	t%	334 vagy 351

Forrás: UN-ECE/ Energy/50 (2002).

A hazai széntermékek kereskedelmi szempontú minőségi kataszterizálása a két világháború közötti időkre nyúlik vissza (pl. Magyar Államvasutak). A szén energiaellátásban betöltött vezető szerepe a 2. világháború utáni évtizedekben a szén-kémiai vizsgálatok és a kapcsolódó rendszerezések jelentős kiterjedését eredményezte. Az 1960-as évek átmeneti hanyatlását követően az 1970-es években az olajár-emelkedések hatására újabb lendületet kapott a hazai szénkutatás, amivel együtt járt a minősítő vizsgálatok újbóli fellendülése is, jóllehet két vonatkozásban az 1950-es évektől alapvetően eltérő módszertani keretek között.

Az egyik különbség, hogy a széntermelés struktúrája jelentősen változott. A bányák száma csökkent, ezzel együtt nőtt a szénelőkészítés koncentrációja, ami a kereskedelembe kapható széntermékek számának csökkenését is jelentette. Ez szükségessé tette az újabb átfogó kataszteri minősítést, melyet a Bányászati Kutató Intézet (továbbiakban BKI) a bányavállalatok MEO apparátusaival és a Villamosenergiaipari Kutató Intézettel (továbbiakban VEIKI) közösen a Magyar Szénbányászati Tröszt megbízásából 1975–1976-ban készített el (KOVATSITS, WOLF 1980).

A másik lényeges – a mai áttekintés szempontjából is kiemelkedő jelentőségű – különbség, hogy az acélgégyártás és a szénhidrogének által generált piaci verseny következtében egyre nagyobb hangsúlyt kaptak, a szénvegyészeti fejlesztési irányok, melyek új minősítő paraméterek bevezetését tették szükségessé (FRANK, KNOP 1986). Az erőműi alkalmazásokhoz szükséges nedvesség-, hamu-, és energiatartalom (égéshő- és fűtőérték-meghatározás) alapvizsgálatokon túl bevezették a

Szén típus és tözeg			Összes nedvesség-tartalom %	Energia tartalom af* MJ/kg	Illóanyag tartalom maf** %	Vitrinit-reflexió olajban %
UN-ECE	USA (ASTM)	Német (DIN), Magyar				
tőzeg	tőzeg	tőzeg	75	6,7		
ortho-lignit	lignit	lágú barnakőszén, lignit	35	16,5		0,30
meta-lignit		fénytelen barnakőszén	25	19,0		0,45
szub-bitumenes kőszén	szub-bitumenes kőszén	fényes barnakőszén	10	25,0	45	0,65
bitumenes kőszén	magas illótartalmú bitumenes kőszén	láng-kőszén			40	0,75
		gázláng-kőszén			35	1,00
	közepes illótartalmú bitumenes kőszén	gáz-kőszén			28	1,20
		zsír-kőszén			19	1,60
	alacsony illótartalmú bitumenes kőszén	kovácskőszén			14	1,90
		sovány-kőszén			10	2,20
antracit	szemi-antracit	antracit	3	36,0		
	antracit	antracit				

5.1. ábra. Szén osztályozási rendszerek összehasonlítása fizikai és kémiai paraméterek alapján (UN-ECE)

kéntartalomra, illóanyag-tartalomra, lepárlási és koksizálhatósági adottságokra és hamutartalom-jellemzőkre vonatkozó vizsgálatokat. Az 1975–76-ban készült átfogó országos vizsgálatsorozat deklarált célja volt a hazai szénvagyon olyan komplex bemutatása, ami az aktuális eljárások racionalizálásához szükséges ismereteken túl, alapot nyújt a perspektivikus technológiák kutatásához és tervezéséhez. Az így létrehozott adatrendszer átfogó jellegét tekintve ezért a jelen országos áttekintésnek is megbízható alapját képezheti.

A kataszteri vizsgálatok kiterjedtek a laboratóriumi körülmények között hazánkban véghezvihető összes szén-, és hamuelemzési jellemző meghatározására, ill. az azokból számítható minőségi paraméterek megadására. A mintaanyagot a Magyar Szénbányászati Tröszt vállalatának MEO laboratóriumaiban rendszeresen vizsgált kereskedelmi termékek 3–3 hónapos időszakot felölelő átlagmintáiból összeállított, homogenizált, és a MEO laboratórium által előkészített 0–0,2 mm-es laboratóriumi minták, valamint a 0–3 mm szemmagyságú lepárlási minták képezték. A vizsgálatokat a BKI Vegyészeti és Szénelőkészítési Osztálya végezte.

A vegyipari hasznosítás igényeit is kiszolgáló minősítési rendszer áttekintése, ill. korszerűsítése napjainkban újra időszérűvé vált a koksizálhatóság szempontjából is, mert az Európai Unió 2014-től a koksizálható szenet, mint a fejlett technológiák hosszú távú alkalmazhatósága szempontjából fontos, az európai vezető technológiák fejlesztéséhez és gazdasági szerepének megőrzéséhez szükséges, kritikusan elérhető nyersanyaggá minősítette (COM/2014/0297, 2014), amely a hazai feketeszen ez irányú piaci igényét hosszú távon alakíthatja.

### A hazai szénelőfordulások kereskedelmi besorolása

A minták megnevezését, a szabványos termék szénelőkészítésből adódó szemmagyság határait, a kapcsolódó hamztömeget és sűrűséget az egykori Szénbányászati Tröszt MEO laboratóriumaik adták meg. A gyakorlatban felmerülő leggyakoribb technológiák, az elgázosításban szereplő reaktortípusok, a koksizálhatóság és a gyártani kívánt koks minősége szempontjából meghatározó tulajdonság a bekerülő szénnek a szénelőkészítés eredményeként előálló szemcsemérete, az *őrölhetőségi együttható* fontos adat az alkalmazott technológia kiválasztása és a teljes eljárásrend várható költségeinek számítása szempontjából.

A kataszterben szereplő őrölhetőségi vizsgálatok (5.2. táblázat) kétféle módszerrel készültek a VEIKI-ben. A vizsgálat alapjául a BKI-ban is vizsgált 0–3 mm szemmagyságú mintaanyag szolgált. A Hardgrove-index meghatározása az ASTM 409 és ISO 5074: 2015 szabvány szerint, az ejtőszúlyos eljárás a VTI össz-szövetségi Hőenergetikai Intézet módszere szerint történt. A fajlagos őrlési hozam ( $E_{VTI}^{OR}$ ) értéke kWh/t mértékegységben fejezhető ki, ennek reciproka értéke a t/kWh értékben megadott őrölhetőségi együttható.

Az álló- és fluidágyas technológiák rendre 6–50 mm (~ rostált dara – dió – kocka), ill. 6–10 mm (~ rostált dara) szemcse-tartományt igényelnek, előbbieket nehezen, utóbbiak viszont rendszerint jól tolerálják a finomfrakció egyidejű jelenlétét, ami szükségessé teszi a rostálást. A kísérőként megjelenő finomfrakció nagyobb hatásfokú átalakítását szolgálják az ún.

5.2. táblázat. A hazai kőszén besoroláshoz szükséges alapjellemező és kereskedelmi besorolása (KOVATSITS, WOLF 1980)

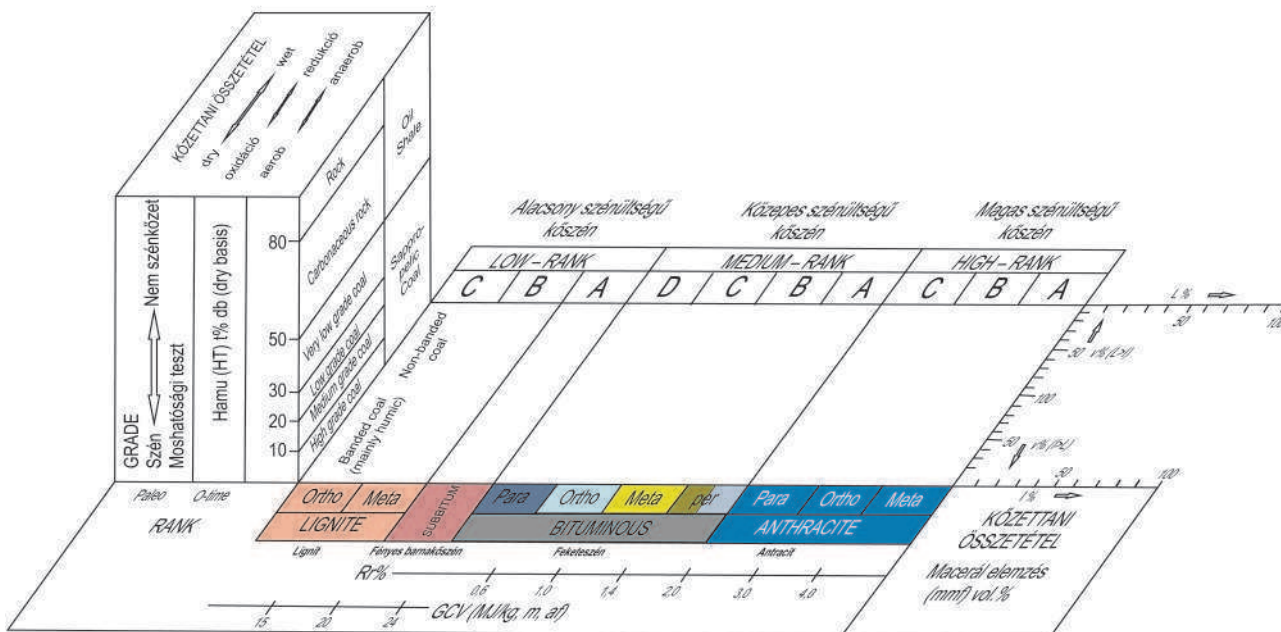
Széntermék	Szem nagyság mm	Halmaztömeg kg/m <sup>3</sup>	Sűrűség kg/m <sup>3</sup>	Hardgrove index	E <sub>or</sub> kWh/t	W <sub>max</sub> %	W <sub>i</sub> <sup>af</sup> %	T <sub>sk</sub> <sup>daf</sup> %	Roga	Dilato <sub>„b”</sub> %	Q <sub>g</sub> <sup>daf</sup> %	C <sup>daf</sup> %	H <sup>daf</sup> %	V <sup>daf</sup> %	Besorolási kód szám
Mecseki Kőszén Formáció (jura)															
Pécsi – „A” akna II,	0–50	1175	1990	124,3	6,565	3,2					31,1	75,8	5,6		
Pécsi – por	0–12	775	1610	117,43	7,75	2,4			70	18	34,82	83,7	5,6	25,2	433
Pécsi – iszap, durva	0–3	1125	1670	78,83	8,805	2,3			56	5	34,99	84	5	23,4	433
Pécsi – koksztűzén	0–12	825	1380			1,8			73	45	35,4	86,2	5,4	24,8	433
Komló – „A” dara	0–18	921	1680	81,26	11,915	3,8			77	60	33,39	78,3	5,5	31,9	534
Komló – por	0–8	778	1600	93,74	9,815	4,3			78	65	33,51	79,4	5,6	32,1	534
Komló – kokszt	0–8	785	1510			3,9			76	52	33,9	79,5	5,3	32	534
Ajakai Kőszén Formáció (kréta)															
Ajka – kockadarabos	40–	860	1350			19,7	27,4	7,4			28,25	67,6	4,2		1100
Ajka – tört akna II	0–30	1050	1690	73,64	8,935	14,6	29,6	6,6			23,92	57,4	3,2		1100
Dorogi Formáció (eocén)															
Dorog – kockadarabos	50–	740	1300			13,4	14,1	14,9			29,96	71,5	5,4		1010
Dorog – rostált dara	5–20	810	1380	33,45	11,27	13,4	15,8	10,8			29,63	71,1	5,6		1010
Tatabánya – „A” dió	20–40	800	1360			12,4	14,5	13,5			29,77	72,5	5,6		1010
Tatabánya – akna II	0–50	1040	1660	64,3	10,715	10,6	15,4	12,8			28,28	69,6	5,4		1010
Oroszlány – darabos	80–	830	1340			17,6	19,8	20,3			30,64	72,5	5,9		1030
Oroszlány – akna II	0–40	1020	1740	40,72	40,72	13,8	26,3	12			26,26	64,1	5,7		1110
Balinka – kockadar.	40–	790	1380			21,7	28,2	9			27,82	67,6	5		1100
Balinka – „A” por	0–8	815	1470	36,22	10,69	20,7	28,6	8,1			27,06	67,3	4,6		1100
Dudar – kockadarabos	40–	802	1380			22,3	29,5	12,4			28,04	65,6	5		1110
Dudar – rostált dara	8–20	772	1380	50,77	11,13	20,8	31,6	14,1			27,79	66	3,7		1210
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Nógrádi-medence															
Kányás – dara	0–20	830	1640	49,35	11,27	21	31,3	7,9			27,21	67,7	4,6		1200
Ménkes – akna II	0–50	1060	1710	65	11,845	10,2	18,6	11,2			30,81	72,6	5,3		1010
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Borsodi-medence															
Berente – „A” dara	0–20	920	1480	73,3	10,05	19,5	38,9	8,4			24,84	61,7	4,3		1200
Edelény – kockadar.	40–	810	1280			21,9	37,1	13,3			27,96	70,5	4,3		1210
Sajómerse – dara	0–20	940	1430	38,25	17,395	19,5	37	6,8			26,32	66	4,9		1200
Királd – akna II	0–40	940	1550	46,25	15,16	14,6	30,6	10,2			28,08	67,8	4,6		1210
Farkaslyuk – por	0–10	980	1500	51,1	13,55	18,5	30,6	8,3			25,93	66,2	4,5		1200
Egercséhi – dara	0–20	900	1540	38,25	15,455	14,8	29,8	2,3			27,58	68,1	4,6		1100
Borsodnádásd – por	0–10			34,6	15,9	17,9	30,3	4,9			27,57	71,1	4,7		1200
Hidasi Barnakőszén Formáció (bakonyi medencék)															
Várpalota – S II akna I	0–80	750	1260	33,1	20,235	25,1	47,1	12,6			26,04	67,3	5		1310
Várpal., – ahidr. kocka	30–70	630	1040			19,4	20,6	15,3			27,07	67,2	5,1		1120
Cser – akna I tört	0–80	770	1220	47,65	11,52	27,7	53,3	10,8			26,67	68,6	4,9		1410
Bükkaljai Lignit Tagozat (Észak-Magyarország)															
Visonta külf. dara	0–40			64,65	25,13	21,8	60,6	8,5			24,51	62,4	6,1		1500

W<sub>max</sub>: egyensúlyi nedvesség, W<sub>i</sub>: összes nedvesség, T<sub>sk</sub>: kátrányhozam, kis hőmérsékletű lepárlással, Q<sub>g</sub>: égésmeleg, C: karbonium, H: hidrogén, V: illó, felső indexek af: hammentes (ash free), daf: száraz, hammentes (dry ash free)

cirkofluid rendszerek. A sodróáramú elgázosítás jellemzően porszéntüzelésű, a kívánt szemcseméret ez esetben <0,1 mm (100 µm), ami az ilyen irányú felhasználás költségkalkulációjában, különösen a nehezen őrlhető barnaszén és lignitek esetében már számottevő, adott esetben kritikus költséget jelenthet.

A szénközetek nemzetközileg elfogadott osztályozása 8 paraméter adatai alapján kialakított, 14 számjegyből álló besorolási kód szerint történik (UN–ECE /COAL/115 1988). Az első meghatározó adat a szénültéség fokát jelző random vitritreflexió (Rr%) 2 számjeggyel és a vitritreflexió hisztogram eloszlás diagram 1 számjegye. A további kémiai és

fizikai alapparamétereket a macerálösszetétel 2 számjegye, a fúvódási szám vagy a Roga szám (1/10-ed része), a száraz, hamumentes állapotra számított illótartalom ( $i^0 - V^{daf}$ ), a hamutartalom, a teljes kéntartalom és a hamumentes állapotra számított energiatartalom, más néven égéshő adják (UN-ECE / ECE/ENERGY/50) (5.2. ábra).



5.2. ábra. Az UN-ECE ENERGY/1998/19 telepben vizsgált kőszén nemzetközi minősítési osztályozás általános változata

Jelmagyarázat: Low-Rank = Alacsony szénültőségű, Medium-Rank = Közepes szénültőségű, High-Rank = Magas szénültőségű kőszén, Lignite = Lignit; Subbituminous = Fényes barnakőszén, Bituminous = Feketeszen, Anthracite = Antracit, Rr% - Mértékadó vitrinitlerlelés (%) (ISO 7404-5 szabvány szerint); GCV - Égésmeleg bányanedves és hamumentes állapotban (ISO 1928 és 1170 szabványok szerint), a nedvességtartalom pl. teljes nedvesség tartalom Hamu (HT) - Hamutartalom (magas hőmérsékleten), tömeg %, szárazanyagra számítva (ISO 1171, 331 és 1170 szabvány szerint) V: vitrinit; L: liptinit; I: inertinit tf% hamumentes állapotban (ISO 7404-3)

A KGST országokban a feketeszenek osztályozásánál használt besorolás a szénülés szempontjából egészen a nyolcvanas évek végéig csak az illóanyag tartalmat vette figyelembe (BELLÁNÉ, VARGÁNÉ 1980), így az illótartalom, a hamutartalom és az égéshő alapján történt a minősítés (UN-ECE/COAL/110 1956). A kevésbé szénült feketeszenek esetében azonban 33% illótartalom fölötti tartományban az illótartalom függ a szén kőzettani (macerálcsoport) összetételétől is. A probléma kiküszöbölésére ebben a tartományban a szénültégi kód megadásánál a nedvesség és hamumentes állapotra vonatkoztatott égéshő ( $E^0 - Q_s^{daf}$ ) figyelembevételével alakították ki a besorolást.

A koks szilárdsága és kopásállósága ugyancsak alapvető kereskedelmi szempont, mivel a nagyolvasztó folyamatban a koks a kemence középső részén meg nem olvadt oszlopot képez, s ezzel fontos mechanikai támasztószerepet tölt be, lehetővé téve a gáz áthaladását, ill. ellenáramban a folyékony vas és folyékony salak lecsorgását. A sülőképességet kifejező mérőszámok a Roga-szám (ISO 335: 1974) és a Fúvódási szám (Free-Swelling index, ISO 501: 2012). Előbbi a szabványos minőségű antracitörleménnyel összekeverve végzett tégelykoksolás után képződött kokszelepény szilárdságát, utóbbi az önmagában hevített szén koksolásánál kialakuló kokszelepény méretváltozását minősíti.

A kamrás kemencében végrehajtott nagy hőmérsékletű koksolásnál a szeneknek jól meghatározott duzzadási és zsugorodási képességgel kell rendelkezniük, s a kamragázok hatékony elvezetése, ill. a kemence mechanikai védelme érdekében összességében a zsugorodásnak kell túlsúlyban lennie. Nagyon magas duzzadási nyomáscsúcsok végső esetben a kemencefalak tönkremenetelét is okozhatják. Ideális esetben a duzzadást az egyidejű zsugorodás elfedi, s bekövetkezik a szükséges kiegyenlítődés. Ennek érdekében rendszerint különböző széntípusok keverékével dolgoznak. A koksolódóképesség alternatív mérőszámai a dilatáció (%), ill. a Gray-King-index (ISO 502: 1982). Előbbi egy fűtött csőben elhelyezett széntöltet felfűtése során kialakuló zsugorodás vagy duzzadás mértékét fejezi ki %-ban, utóbbi grafitporral kevert szénpróba kvarccsőben végzett koksolásának termékét minősíti külleme alapján.

A fent bemutatott három paraméter figyelembe vételével került kidolgozásra a feketeszeneket háromjegyű kódszámmal jellemző ISO klasszifikáció hazánkban, amelyet a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet felügyel (5.3. ábra). Az első számjegy a szénültégi fokot jellemző kőszénosztályt adja meg illótartalom (1–5 osztályok), ill. 33% illótartalom fölött az égéshő (6–9 osztályok) alapján. A második számjegy a sülőképességet jellemzi a Roga-szám vagy a fúvódási szám alapján. Az alcsoportokat a harmadik számjegy adja meg a koksolódó képesség alapján a dilatációs vizsgálat vagy a Gray-King-index szerint. A hazai feketeszenek esetében a kataszterben szereplő illótartalom- és égéshő- adatokat a KBI Vegyészeti és Szénelőkészítési Osztálya határozta, a Roga-számot és a dilatáció "b", vagyis a koksolás során fellépő térfogat csökkenés, kontrakció értékét a Szénbányászati Tröszt MEO laboratóriumai adták meg.

Csoportok (sülőképesség)			A statisztikai csoportokba tartozó szénfélések ismertetése										Alcsoportok (kokszolódó képesség)					
Második számjegy	Alternatív paraméter		Kódszámok										Harmadik számjegy	Alternatív paraméter				
	Fúvódási szám (Swelling- index)	Roga szám												Dilatáció (%)	Gray-King- féle koksztípus			
3	4,5-9	>45					435	535	635					5	>140	>68		
							434	534	634					4	>50-140	65-68		
							333	433	533	633	733			3	>0-50	61-64		
							332 a	332 b	432	532	632	732	832	2	≤ 0	E-G		
2	2,5-4	>20-45					323	423	523	623	723	823		3	>0-50	61-64		
							322	422	522	622	722	822		2	≤ 0	E-G		
							321	421	521	621	721	821		1	csak kontrakció	B-D		
							212	312	412	512	612	712	812	2	≤ 0	E-G		
1	1-2	>5-20					211	311	411	511	611	711	811		1	csak kontrakció	B-D	
							100	200	300	400	500	600	700	800	900	0	nem lágyul	A
0	0-0,5	0-5																
Osztályok	Első számjegy		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Az illórézstartalom irányszámjai (%) 6. osztály: 33-41 7. osztály: 33-44 8. osztály: 35-50 9. osztály: 42-50			A szénminták hamutartalma nem érheti el a 10%-ot, kü- lönben előké- szítő eljárás szükséges		
	A víz- és hamumentes anyag illórézstartalma, t%		0-3	3-10	10- -14	14-20	20- -28	28- -33	>33									
				3-6,5	6,5-10	14-16	16-20											
	A légszáraz (30 C, 96-97% relatív páratartalom) és ha- mumentes anyag égéshője kJ/kg									>32 400	30 100- -32 400	25 500- -30 100	23 900- -25 500	Római számok: a szénfajták statisztikus min- ségi csoportjai				

5.3. ábra. Feketeszenfajták nemzeti minősítési rendszere (ECE)

Barnaszén esetében a szénültséget már nem az illótartalom, hanem a nedvesség fejezi ki megfelelően (5.4. ábra). Ezért az alacsony szénültségű szén osztályozására elfogadott nemzeti klasszifikáció négy alapparaméter szerint minősít, amelyben a száraz hamumentes állapotra számított égéshő ( $Q_{s}^{daf}$ ), a teljes nedvesség- ( $W_t^{ar}$ ), a száraz állapotra

Csoportparaméter:		Kódszám					
Kátrányhozam, száraz és hamumentes anyagra	Csoportszám						
>25	4	14	24	34	44	54	64
20-25	3	13	23	33	43	53	63
15-20	2	12	22	32	42	52	62
10-15	1	11	21	31	41	51	61
≤10	0	10	20	30	40	50	60
Osztály száma		1	2	3	4	5	6
Osztályparaméter: A kitermelt szén összes nedvességtartalma hamumentes anyagra vonatkoztatva		≤20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70

5.4. ábra. Barnaszénfajták nemzeti osztályozása az ISO-2950 szabvány szerint

számított hamu- ( $A^{db}$ ) és a száraz állapotra számított teljes kén tartalom ( $S_t^{db}$ ). Ennek alapján képződik egy négy számjegyű minősítési kód. Az osztályon belül fontos technológiai tulajdonság a kátránytartalom, de a hasznosítás szerint a kiegészítő paraméterek változóak, az őrlhetőségtől, a macerál összetételén keresztül a hamuösszetétel, hamu- olvadáspont, vagy a környezetvédelmi határértékek betartásához és ellenőrzéséhez rendelt higany, klór stb. vizsgálatokig.

A magyarországi minősítő besorolás szintén erre a rendszerre épült, tekintet nélkül a szénültési fokra. Ennek köszönhető, hogy a magyar osztályozási rendszer a vitrinitreflexió értékét és a macerálösszetételt, amely kifejezetten a feketeszenek besorolását szolgálja, nem alkalmazza. A hazai besorolás a nemzetközi gyakorlathoz képest, bizonyos kiegészítéseket is alkalmazott (MSZ 12 000/2–68, MSZ 18 000/2–71). A barnaszén és feketeszen megkülönböztetésénél kritériumként az *egyensúlyi nedvességi és hamumentes állapotra számított égéshő* mellett figyelembe vette a *W jellegindexet* ( $W = Ch \times (C/V)$ , ahol  $Ch$  = hamumentes karbon tartalom% össznedvességi állapotban,  $C$  = karbon tartalom% össznedvességi állapotban,  $V$  = illó% össznedvességi állapotban), vagy a nedvesség- és hamumentes állapotra számított *nem éghető illórész*. Utóbbi a szén szabványkörülmények között végzett hevítések távozó vízgőz és  $CO_2$  együttes mennyisége, ami a huminsavak és a maradékszen karboxil- és hidroxil csoportjainak lehasadásából származik. A hazai szabványok szerint feketeszennek minősültek azok a szénfélések, melyek *egyensúlyi nedvességi és hamumentes állapotra számított égéshője* nagyobb 23,87 MJ/kg-nál, feltéve, hogy a *W jellegindex* nagyobb 115-nél, vagy a *nem éghető illórész* nedvesség és hamumentes állapotban kisebb 11%-nál.

Ennek megfelelően a vizsgálati eljárások körében az 1975–76-os vizsgáltak során új elemként jelent meg a szén klasszifikációja kapcsán meghatározó *egyensúlyi nedvesség* ( $n^e - W_{max}$ ), vagyis az a vízmennyiség, amelyet a szén teljesen átnedvesített állapotból kiindulva 25 °C hőmérsékleten és 96% relatív légnedvességen egyensúlyi állapotban tartalmaz. Mivel a szénkísérő ásványok nedvessége általában kisebb a szén természetes nedvességénél, és az ásványi anyag hígítja a szerves anyagot, a kereskedelmi széntermékek nedvessége barnaszén esetében általában kisebb a szerves anyag szénültési fokára jellemző értéknél. Növelheti viszont a bányatermék összes nedvességét a széntelepen belüli elvizesedés, valamint a nedves szénelőkészítés, utóbbi alapvetően feketeszenek esetében számottevő.

### A hazai szénelőfordulások általános jellemzői

Az általános jellemzők (5.3. táblázat) a szén minőségét meghatározó szénkémiai vizsgálati adatok, melyek elsősorban a mélybe kerülő szerves anyag átalakulásának biokémiai és geokémiai szakaszairól, s ennek megfelelően a szén átalakultságának állapotáról adnak tájékoztatást. Az átalakulás korai, biokémiai szakaszában a legfontosabb lépés a lignin átalakulása huminsavvá, ill. a cellulóz, hemicellulóz bomlása huminsavszerű vegyületekké, ún. humin anyaggá. A mélységgel fokozatosan csökken a szerves anyag nedvessége és növekszik a sűrűsége, kompaktalódik és ezzel együtt nő a szárazanyag elemiszen-tartalma. Az ekkor kialakuló lágybarnaszén, vagy lignit még sem kémiai, sem fizikai szempontból nem homogén. A kiindulási növényi alkotók, mint pl. a fás szövetek, más néven a xilit, valamint a levél és a szár szövetének roncsolt töredékei még felismerhetők szabad szemmel is a kőzet friss törési felületén.

A szénülés geokémiai fázisában az eredeti vegetáció vegyületei átalakulnak biopolimerekből geopolimerekké. A szerves anyag maceráljai, vagyis az optikai mikroszkóp alatt azonosítható homogén elegyrészek közül a lignin és cellulóz alapú alkotók, a huminit csoport maceráljai homogenizálódással, a sűrűség növekedésével és a víztartalom fokozatos csökkenésével a gombák és baktériumok jelenlétében átalakulnak vitrinitté (HÁMOR-VIDÓ et al. 2010). Az átalakulás 0,5–0,6% vitrinitreflexió-változásnál történik. A reflexióképeség növekedését és mértékét felületi csiszolatban, ráeső fényben, olajimmerzió alatt mérik (ISO 7404). A vitrinitcsoport fizikai változása, a mikroszkóp alatt a homogén macerál megjelenése a vitrinitreflexió 0,5–0,6%-os értéke mellett egybe esik a kémiai homogenizációval, ezért ezt a szénülési szintet tekinti az összes osztályozási rendszer a barnakőszén (szubbitumenes kőszén) és feketekőszén (bitumenes kőszén) határának (5.2. ábra).

Az átalakulás, vagyis szénülés biokémiai és geokémiai fázisában a nyomás és a hőmérséklet fokozódásával, a szerkezeti és kémiai homogenizálódásnak köszönhetően ortholignit vagy lágybarnaszén, metalignit vagy keménybarnaszén, szubbitumenes kőszén vagy más néven fényesbarnaszén és bitumenes kőszén vagy korábbi néven feketeszen stádiumok követik egymást. A feketeszen-tartományon belül pedig lángszén, gázlángszén, gázszén, zsírszén, kovácsszén, soványszén és antracit stádiumok különböztethetők meg.

Az átalakulás során a nedvesség- és a hamumentes szénre vonatkozó karbon-, hidrogén- és oxigéntartalom szembevetően változik. A lágy barnakőszéntől az antracitig haladva a széntartalom ( $C\%$ ) aránya 65%-ról 91% fölé nő, míg az  $-OH$ ,  $-COOH$  és  $=CO$  csoportok, valamint az alifás oldalláncok lehasadásának következtében az oxigéntartalom 30%-ról 2%-ra csökken, s csökken a hidrogén részaránya is. Barnaszén stádiumban a  $CO_2$  lehasadás és a bakteriális metán  $CH_4$  képződés megindulása kezdődik, amelyet a feketeszen stádiumban a termikus metánképződés követ, mint uralkodó kísérő folyamat.

Az elemi összetétel változását kíséri a nedvességtartalom, a fűtőérték és az illórész mennyiségének változása is. A nedvességtartalom a rétegtérheléses nyomás hatására a barnaszén stádium végére 8–10%-ra csökken, a zsírszén stádiumig

## 5.3. táblázat. A hazai kőszének általános jellemzői (KOVATSITS, WOLF 1980)

Széntermék	W <sub>i</sub> <sup>r</sup>	A <sup>r</sup>	V <sup>r</sup>	V <sub>c</sub> <sup>r</sup>	(NV) <sub>c</sub> <sup>r</sup>	(CO <sub>2</sub> ) <sub>M</sub> <sup>r</sup>	C <sub>i</sub> <sup>r</sup>	C <sub>o</sub> <sup>r</sup>	H <sub>i</sub> <sup>r</sup>	N <sup>r</sup>	O <sup>r</sup>	(HA) <sub>i</sub> <sup>r</sup>	B <sup>r</sup>	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup>
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	MJ/kg	MJ/kg
Mecseki Kőszén Formáció (jura)															
Pécsi – „A” akna II,	6,8	57,3	10,2	na	25,7	1,7	27,2	26,7	2	0,5	3,1	na	0,1	11,17	10,56
Pécsi – por	7,5	31,7	16,8	2,1	44	0,7	50,9	50,7	3,4	0,9	3,4	na	0,2	21,17	20,23
Pécsi – iszap, durva	21,1	28,8	11,9	5,8	38,2	0,8	42,1	41,9	2,5	0,7	2,8	na	0,1	17,52	16,45
Pécsi – kokszzsén	6,9	10,3	20,4	9,7	62,4	0,1	71,4	71,4	4,5	1,2	3,2	na	0,3	29,31	28,15
Komló – „A” dara	5,1	40,1	18,9	6,8	35,9	0,7	42,9	42,7	3	0,7	5,8	na	0,3	18,3	17,51
Komló – por	6	32,7	20,3	8,5	41	0,3	48,7	48,6	3,4	1	5,8	na	0,3	20,54	19,64
Komló – koks	6,2	23,5	22,7	11,9	47,6	0,3	55,9	55,8	3,7	1	7,3	na	0,4	23,83	22,86
Ajakai Kőszén Formáció (kréta)															
Ajka – kockadarabos	24,4	11	29,4	9,4	35,2	0,4	43,7	43,6	2,7	0,6	13,3	6,4	1,2	18,25	17,06
Ajka – tört akna II	19,8	33	22,6	8,2	24,6	10,9	27,1	24,1	1,5	0,4	14,8	2,4	0,8	11,29	10,47
Dorogi Formáció (eocén)															
Dorog – kockadarabos	12,7	9,7	34,5	21,2	43,1	0,4	55,5	55,4	4,2	1,3	13,5	4	2,8	23,25	22,01
Dorog – rostált dara	14	11,6	30,2	14,2	44,2	0,5	52,9	52,8	4,2	1,2	12,8	3,9	1,8	22,05	20,78
Tatabánya – „A” dió	12	17,1	36	18,8	34,9	0,8	51,4	51,2	4	0,8	10,3	17,4	4,7	21,11	19,93
Tatabánya – akna II	9,7	37	27,5	11,8	25,8	2,6	37,1	36,4	2,9	0,6	8,2	8,9	3,5	15,07	14,2
Oroszlány – darabos	17,5	11,5	40,3	18,9	30,7	0,2	51,5	51,4	4,2	0,5	10,7	41,6	6,5	21,75	20,4
Oroszlány – akna II	14,9	43,3	21,9	10	19,9	1,8	26,8	26,3	2,4	0,4	8,2	16,3	2,6	10,97	10,08
Balinka – kockadar.	24,4	13,5	31,8	11,5	30,3	0,1	42	42	3,1	0,6	11,2	29,3	2	17,22	15,99
Balinka – „A” por	21,7	24,2	28,6	8,3	25,5	0,9	36,4	36,2	2,5	0,5	9,8	28	1,7	14,64	13,56
Dudar – kockadarabos	24,4	17,4	33,4	11,9	24,8	0,5	38,2	38,1	2,9	0,5	12,2	37,1	3,5	16,32	15,09
Dudar – rostált dara	25	20,9	30,3	14,6	23,8	0,6	35,7	35,5	2	0,4	11,6	37,1	3,2	15,03	13,98
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Nógrádi-medence															
Kányás – dara	23	26,5	20,4	10,4	30,1	0,2	34,2	34,1	2,3	0,9	10,1	4,1	1,5	13,74	12,67
Ménkes – akna II	9,8	47,2	15,5	5,2	27,5	0,3	31,2	31,1	2,3	0,6	6,1	3,2	0,5	13,25	12,5
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Borsodi-medence															
Berente – „A” dara	28	28,1	22,1	10,7	21,8	0,7	27,1	26,9	1,9	0,6	11,5	7,6	1,9	10,91	9,8
Edelény – kockadar.	34,6	6,8	28,1	12,4	30,5	0,1	41,3	41,3	2,5	0,7	11,9	6,4	2,3	16,38	14,98
Sajómerse – dara	28,5	22,9	23,5	8,3	25,1	0,1	32,1	32,1	2,4	0,7	10,9	5	1,8	12,79	11,56
Királd – akna II	20,2	33,9	22	14,4	23,9	0,2	31,1	31,1	2,1	0,5	10	4	3,5	12,89	11,93
Farkaslyuk – por	23,5	23,3	24,5	16,7	28,7	0,1	35,2	35,2	2,4	0,7	12,6	4,3	2	13,79	12,69
Egercsehi – dara	20,2	32,2	22,7	12,6	24,9	0,1	32,4	32,4	2,2	0,6	10,7	6	2,2	13,13	12,15
Borsodnád – por	22,3	26,5	22,3	12,4	28,9	0,4	36,4	36,3	2,4	0,8	10,6	4,2	0,8	14,12	13,04
Hidasi Barnakőszén Formáció (bakonyi medencék)															
Várpalota – S II akna I	39,5	16,2	22,1	10,8	22,2	2,4	29,8	29,1	2,2	0,6	9,4	12,5	1,9	11,53	10,08
Várpal., – ahidr. kocka	19	7,8	39,5	15,9	33,7	0,1	49,2	49,2	3,7	0,6	17,2	8,8	2,2	19,81	18,53
Cser – akna I tört	46,5	12,7	20,4	7,9	20,4	0,4	28	27,9	2	0,5	8,8	10,5	2	10,88	9,3
Bükkaljai Lignit Tagozat (Észak-Magyarország)															
Visonta külfejtés, dara	45,3	25,2	18,2	7,3	11,3	0,1	18,4	18,4	1,8	0,3	8,2	8,4	1,3	7,23	5,72

W<sub>i</sub>: összes nedvesség, A: hamu, V: illó, V<sub>c</sub>: éghető illó, (NV)<sub>c</sub>: fixkarbon, (CO<sub>2</sub>)<sub>M</sub>: karbonát szén-dioxid, C<sub>i</sub>: összes karbonium, C<sub>o</sub>: organikus karbonium, H<sub>i</sub>: hidrogén, N: nitrogén, O: oxigén, (HA)<sub>i</sub>: huminsav, B: A-bitumen, Q<sub>i</sub>: égésmeleg, Q<sub>i</sub>: fűtőérték, felső index r: as received (mintavétel állapotában értsd: összes nedvességnél).

1%-ra csökken, a fűtőérték viszont a szénültség előrehaladásával nő, maximumát a kovácszsén stádiumban éri el. Az illórész aránya ezzel szemben egészen az antracit stádiumig folyamatosan csökkenő tendenciát mutat. Az illórész mennyiségét befolyásolja a kiindulási szerves anyagok jellege és ennek megfelelően a szén mikroszkópi mértékű összetétele, a macerálcsoport összetétele. A feketeszenek esetében technológiai szempontból igen fontos jellemző az illótartalom, amely szoros összefüggésben állhat a macerálösszetétellel, a kiindulási szerves anyag eredetével, ezért a szénültség fokmérőjeként az osztályozásban a vitrinitreflexió mértéke a meghatározó.

Különösen a barnaszének szénülési fokára, genetikai viszonyaira és felhasználhatóságára vonatkozóan nyújt bővebb felvilágosítást a lúgban oldható *huminsav* és a szerves oldószeres (normál hexános, vagy benzol-alkoholos stb.) extrakcióval kioldható *bitumen* mennyisége. A huminsavak a barnaszénekben általában nátrium- vagy kalcium-humát formájában vannak jelen, s előrehaladó kondenzációjukkal jön létre az idősebb barnakőszének lúgban már oldhatatlan humin anyaga.

A bitumen anyagok a növényi részek viasz és gyanta anyagából származnak. Atmoszférikus nyomáson, közvetlen benzol-alkoholos extrahálással csak a bitumen anyagok egy része, az ún. *A-bitumen* ( $b^A - B^r$ ) vonható ki. A viaszok és gyanták lebomló észtereinek egy része Ca-sókat (szappanokat) képez, amely csak akkor oldható ki benzol alkohollal, ha előtte savas kezeléssel, a szappanokat megbontják (C-bitumen). A nyomás alatt, 270 °C-on végzett benzolos extrakcióval kioldható ún. B-bitumen tulajdonképpen az A-bitumen és a C-bitumen részben lebomlott elegye. A bitumen mennyisége eredeténél fogva alapvetően függ a szén macerálösszetételétől, a liptinit (exinit) és inertinit tartalmától. Ezeket az alkotókat nagy mennyiségben tartalmazó ún. liptobiolitok (piropisszit) magas extrahálható bitumentartalma egyedi felhasználásokat is lehetővé tesz (montánviasz).

A *hamutartalom* %-os mennyisége a szénminőség megítélésének egyik legfontosabb szempontja. A hamutartalom elsősorban nem a szénülés fokától, hanem az őskörnyezet jellegétől függ, eredete elsősorban az őskörnyezet topográfiai magaslatainak irányából eredő üledékbehordódásra vezethető vissza. Mennyisége ennek megfelelően függ a lápon belüli térbeli elhelyezéstől, a relatív tengerszintváltozások irányától és ütemétől, ill. az üledékképződés jellegétől. Ennek megfelelően egykori topográfiai magaslatok közelében a hamutartalom növekedése mutatható ki. Hamutartalom-növekedést eredményez a szárazföldek irányából fokozódó üledékbehordás (alacsony tengerszintnél), míg a transzgresszió erősödése rendszerint a hamutartalom csökkenésével jár. A hamutartalom részletes jellemzésével annak technológiai jelentősége miatt külön alfejezet foglalkozik.

### A hazai szénelőfordulások szerves kőzettani jellemzői

A fizikai és kémia tulajdonságokon alapuló szénminősítés célja a hasznosíthatóság megállapítása. Ebből a szempontból különösen fontos a macerál-összetétel és vitrinitreflexió- képesség meghatározása, mivel az őrlhetőség, éghetőség, brikettezhetőség, kokszolhatóság és elszénésítés, jelentős részben e tulajdonságoktól függ, vagy e tulajdonságokkal együtt változik. A macerál-összetételt a képződés helye, a vegetáció típusa és a korai diagenetikus elváltozások határozzák meg. Koks- vagy brikettgyártásra elsősorban a magasabb rendű növényi szövetmaradványokból felépülő, vitrinitdominanciával jellemzett, láperdei képződésű kőszének alkalmasak, de fontos tényező a szénültség foka is.

A macerálok között kiemelt szerepet kap a telinit és részben a liptinit, amely a bitumenes kőszén állapotától fűvódásra képes, így meghatározza a koks minőségét. Hasonlóan a lignitek és szubbitumenes kőszének összetételében meghatározó a gélesedett és nem gélesedett huminit mennyisége, mert a gélesedett elegyrészek nagyobb részaránya mellett a brikettezhetőség kedvezőbb, míg az ortholignitben a nem gélesedett alkotók túlsúlya jobb minőségű orvosi faszén gyártását biztosíthatja.

A magyarországi kőszének az északi félteke kőszeneihez hasonlóan huminites típusúak, vagyis összetételükben a huminit/vitrinit mennyisége a meghatározó, átlagosan 83,6%. Az ősföldrajzi viszonyoknak megfelelően az egyes formációk és szénmedencék kőszenei kisebb mértékben eltérnek egymástól, legnagyobb változékonyságot az inertinit-tartalom mutatja, mert a magas vízállású medencékben, mint például a középső-eocén Dorogi Formáció, vagy a felső-oligocén Törökbálinti Formáció Mányi Tagozat és az észak-magyarországi alsó-középső-miocén Salgótarjáni Barnakőszén Formáció szeneiben az inertinit nem vagy csak igen kis mennyiségben jellemző. Ugyanakkor a felső-kréta Ajkai Formáció előfordulásai és különösen a Újfalu Formáció Bükkaljai Lignit Tagozat nyugat-dunántúli fúrásaiból származó kőszének magas 14,8% és 49,5% inertinit-tartalommal rendelkeznek (5.4. táblázat).

A vízzel borítottság mértéke a középső-eocén idején lehetett a legnagyobb, ahol a liptinit aránya a szervesanyag-összetételben 20,2%. A szubtrópusi-trópusi vegetáció egyik részről igen jelentős mennyiségben halmozott fel a magasabb rendű növények védőszövetét adó liptinitet, azaz szuberinitet más részről jellemző a jelentős pollentartalom megőrződése, amely sporinit formájában helyenként kőzetalkotó mennyiséget képez. Utóbbi képződését nyílt vízi környezet támogatja. A magas liptinit-tartalom az elemi összetételben is megmutatkozik, mert ezekben a kőszénekben az elemi hidrogén mennyisége eléri a 4–5%-ot, amely például az elgázosításnál is figyelembe veendő.

További magasabb liptinit-tartalmú fosszilis éghető nyersanyagnak minősül a Törökbálinti Formáció Mányi Tagozat szubbitumenes kőszene 12,2%-kal és a Bükkaljai F. ortholignitje 14,4%-kal, ahol a liptinit-tartalom főként sporinitből áll (5.4. táblázat). A bükkaljai lignitre a nagyobb hamutartalmú rétegekben dúsuló sporinit jellemző. A telepfejlődés felső szakaszán a nagy hamutartalmú szintek alatt, a rétlápra jellemző levélkőszén-típust létrehozó fácies bizonyított, ahol a kutinit felhalmozódásnak köszönhetően ez a liptinit-típus kőzetalkotó anyagként jelenik meg hozzájárulva a macerálcsoport kiemelt képviselőéhez (HÁMOR-VIDÓ et al. 2010).

A vitrinitreflexió-adatok alapján a hazai kőszének többsége lignit és szubbitumenes kőszénnek minősíthető. Az UNECE 2002 szabvány szerint ortholignitnek tekinthető Újfalu Formáció Bükkaljai Lignit Tagozat az északi és nyugat-

5.4. táblázat. A hazai kőszének macerál összetétele és vitrinitreflexió adatai

	MACERÁL vol%						Vitrinitreflexió %	
	Huminit-Vitrinit	Liptinit	Inertinit	Huminit-Vitrinit*	Liptinit*	Inertinit*	Mineral*	R <sub>0</sub>
	af_ vol%	af_ vol%	af_ vol%	vol%	vol%	vol%	vol%	%
Mecseki Kőszén Formáció (jura)								
Min	69,9	0,0	0,0	42,0	0,0	0,0	3,1	0,680
Max	100,0	6,6	25,5	93,2	6,1	24,0	58,0	1,420
Átlag	93,2	1,4	5,4	76,1	1,1	4,8	18,0	1,024
STD	7,8	2,1	6,8	14,8	1,6	6,0	16,4	0,163
Mintasz.	25	25	25	25	25	25	25	50
Ajakai Kőszén Formáció (kréta)								
Min	27,8	0,0	0,3	1,9	0,0	0,1	0,0	0,410
Max	98,0	44,0	52,9	89,9	22,5	48,1	97,8	0,480
Átlag	78,7	6,5	14,8	48,7	3,9	9,7	37,6	0,437
STD	14,1	6,4	10,8	22,7	4,5	9,4	27,2	0,021
Mintasz.	101	101	101	101	101	101	101	10
Dorogi Formáció (eocén)								
Min	52,2	2,0	0,0	2,6	0,4	0,0	0,0	0,420
Max	97,0	44,6	6,3	89,5	43,5	5,7	97,0	0,440
Átlag	77,4	20,5	2,1	59,7	15,1	1,9	23,3	0,430
STD	12,2	12,3	1,5	26,2	11,9	1,5	32,0	0,010
Mintasz.	45	45	45	45	45	45	45	2
Törökbálinti Formáció Mányi Tagozat (oligocén)								
Min	83,4	5,9	0,0	66,7	5,5	0,0	6,4	0,360
Max	94,1	16,6	0,7	88,1	13,3	0,6	20,0	0,360
Átlag	87,6	12,2	0,2	77,8	10,6	0,2	11,4	0,360
STD	4,7	4,6	0,3	8,8	3,6	0,3	6,1	0,000
Mintasz.	3	3	3	3	3	3	3	1
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén ottngai-kárpáti)								
Min	44,9	0,0	0,0	2,7	0,0	0,0	0,0	0,276
Max	99,9	55,1	40,6	98,5	27,1	37,5	94,0	0,759
Átlag	92,1	5,3	2,6	72,6	4,1	2,0	19,4	0,326
STD	7,0	5,5	4,9	22,1	4,0	4,1	21,7	0,100
Mintasz.	244	244	244	244	244	244	244	20
Hidasi Barnakőszén Formáció (miocén-badeni)								
Min	72,4	0,0	1,0	24,0	0,0	0,8	2,8	0,320
Max	97,0	16,3	20,3	83,0	15,1	10,4	73,8	0,320
Átlag	87,7	5,6	6,7	60,8	4,0	4,4	30,8	0,320
STD	6,5	3,9	4,6	15,5	3,5	2,7	16,4	0,000
Mintasz.	23	23	23	23	23	23	23	1
Újfalui Formáció Bükkaljai Lignit Tagozat (pannóniai) – Észak-Magyarország								
Min	31,7	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,160
Max	96,3	65,9	16,7	86,7	19,2	16,7	79,7	0,323
Átlag	81,5	14,7	3,8	65,9	10,8	3,1	20,3	0,267
STD	11,5	11,4	3,8	19,5	6,3	3,6	21,5	0,032
Mintasz.	33	33	33	33	33	33	33	39
Újfalui Formáció Bükkaljai Lignit Tagozat (pannóniai) – Nyugat-Magyarország								
Min	20,0	0,0	5,0					0,240
Max	80,0	50,0	80,0					0,440
Átlag	38,1	11,6	49,5					0,315
STD	18,0	11,6	22,2					0,041
Mintasz.	28	28	28	0	0	0	0	24

magyarországi előfordulásokban. A metalignit-csoportba tartoznak a miocén Salgótarjáni Barnaköszén 0,326% és a várpalotai Hidasi Barnaköszén Formáció telepei 0,320%, valamint a Mátyási Formáció 0,360% vitrinitreflexióval (5.4. táblázat). Szubbitumenes, korábban fényes barnaköszén minősítéssel nyilvántartott kőszéneknek minősülnek a Dorogi és Ajkai Formációk telepei, átlagos vitrinitreflexiójuk 0,430% és 0,436%. Egyetlen bitumenes vagy hazai besorolása szerint feketeszen minőségű előfordulásunk a Mecseki Köszén Formáció, amelynek vitrinitreflexiója átlagosan 1,024% és szénültése alapján a koszgyártáshoz jó minőségű nyersanyagnak számít.

### A hazai szénelőfordulások hamutartalom és moshatósági viszonyai

A szén hamutartalmának ásványos összetételében a szilikátok (pl. kvarc, muszkovit, illit, montmorillonit, kaolinit), karbonátok (pl. kalcit, dolomit, sziderit), szulfidásványok (pl. pirit, markazit, pirrotin, troilit), oxidok (hematit, rutil) és szulfátok (pl. gipsz) egyaránt előfordulnak. A kéntartalmú vegyületekkel jelentőségük miatt külön alfejezet foglalkozik. Az ásványok egy része kémiai inert (kvarc, rutil), egy részük (pl. agyagásványok) a hőbomlást, elgázosítást, hidrogénezést katalizálja, más részük (pl. karbonátok) közvetlen reakciókban is részt vesz. Az égés, vagy elgázosítás során a az ásványi anyagok is termikusan bomlanak, az inert ásványok kristályvizet, a karbonátok  $\text{CO}_2$ -t adnak le. A szabad vas-oxid magas hőmérsékleten reagálhat a szilikátok kovasavtartalmával (fayalitképződés), a szilikátok pedig a bázisokkal reagálva hidraulikus tulajdonságú vegyületekké alakulnak.

Mindezen átalakulások következtében a laboratóriumi körülmények között keletkező hamu sem mennyiségileg, sem minőségileg nem azonos a szénben eredetileg jelen levő ásványianyag-tartalommal, a hamusítás során keletkező hamu mennyisége kevesebb és több is lehet, az eredeti ásványi anyag mennyiségénél. Az *ásványianyag-tartalom (%)* és a hamutartalom (%) hányadosa az ún. *ásványianyag-faktor*. Ennek értéke (5.5. táblázat) jelentőséggel bír a szerves anyag összetételének, égéshőjének számításánál, szénkémiai következtetéseknél, a szénvagyon reális becslésénél, tüzeléstechnikai számításoknál egyaránt. A hazai feketeszeneknél az ásványianyag-tartalom általában valamivel magasabb, az ásványianyag-faktor értéke 1,1 körüli, barnaszénknél 0,9–1,2 között változhat, nagy kéntartalmú, kis hamujú szenek esetében tapasztalhatók 1 alatti értékek.

A reaktortípus vagy tüzelőberendezés megválasztása szempontjából kiemelkedően fontos szerepe van a hamu lágyulási, ill. folyósodási tulajdonságának (5.5. táblázat). A *hamulágyulás* hőmérsékletén a hamu ragacsossá válik és agglomerátumot képez, ami akadályozza az ágyak működését és gátolja a hőcserélő rendszereket. A *folyósodási hőmérséklet* fölött, amikor a hamu teljesen folyékonnyá válik, újra könnyen eltávolítható a rendszerből. Így minden elgázosítási folyamat szempontjából létezik egy nyersanyag-specifikus, a hamu lágyulási és olvadási hőmérséklete által közrezárt kedvezőtlen hőmérsékleti tartomány („no-go temperature range”), ahol a gázosítási feltételek nem adóttak. E hőmérsékleti tartomány alatt a száraz porrá vagy szintereződött agglomerátummá (klinkerré) alakult salak eltávolítása, e fölött pedig az olvad salak lecsapolása jelent technikailag megoldandó feladatot. A kazán elsalakosodása, ill. a cementipari hasznosítás megítélése szempontjából a hamu elemi összetételében a  $\text{K}_2\text{O}$  és  $\text{Na}_2\text{O}$  adatok a nyújtanak információt 5.5. táblázat).

Technológiai szempontból kiemelkedő jelentőségű a hamueltávolítás lehetősége, azaz a szén moshatósága, és ehhez kapcsolódóan az ún. moshatósági teszt. A hamu eltávolításával kapcsolatos, jelentős részben a szén és hamu sűrűségkülönbségén alapuló eljárások jelentőségüknél fogva külön főfejezetben kerülnek tárgyalásra. A kőszének (természetes előfordulások, ill. bányászati és kereskedelmi termékek) moshatósági tulajdonságait a fajsúly- és hamutartalom alapgörbe tükrözi (5.5. ábra). Előbbi adott őrlési szemcseméret (pl. 0–20, 10–20, >0,75 mm) mellett mutatja a meghatározott sűrűségű elválasztó folyadék alkalmazása esetén kapott kihozatali százalékot, utóbbi az adott sűrűség mellett elválasztott frakció hamutartalmát mutatja. A két görbe természetesen egymásnak közel tükörképi párja, mivel a magasabb sűrűség mellett történő elválasztás értelemesen több szén+hamu részecske felülúszóba kerülését teszi lehetővé. Ábrázolható emellett a „mosott szén hamutartalma”, ami azt egyes frakciók hamutartalmának kihozatali százalék szerint súlyozott összesítéséből adódik.

Jól moshatónak tekinthetők azok a szenek, melyek sűrűség- és hamualapgörbéje egyetlen meredek lefutást mutat, mivel ez azt jelenti, hogy megadható az a sűrűségérték, amely mellett a szén és hamutartalom egymástól nagy hatékonysággal szétválasztható, függetlenül attól, hogy ez alacsony, vagy magas hamutartalom (azaz alacsony vagy magas kihozatali százalék) mellett történik meg. Ha a sűrűséggörbe több inflexiót mutat, az rendszerint komplikált, több sűrűségfrakció egymás után kapcsolat alkalmazásával megvalósuló és ezzel többtermékes kimenetet eredményező eljárást vetít elő. Amennyiben azonban a sűrűséggörbe ellapuló, markáns inflexióval nem rendelkezik, a szén és hamutartalom sűrűség szerinti elválasztása sok nehézséget okoz és várhatóan nem éri el a kívánt hatást. Utóbbi esetben további vizsgálat tárgyát képezheti, hogy a szemcseméret csökkentésével (finom őrlés) bekövetkezik-e olyan állapot, amikor a szén+hamu részecskék szétesésével a hamutartalom nagyobb határfokkal leválasztható.

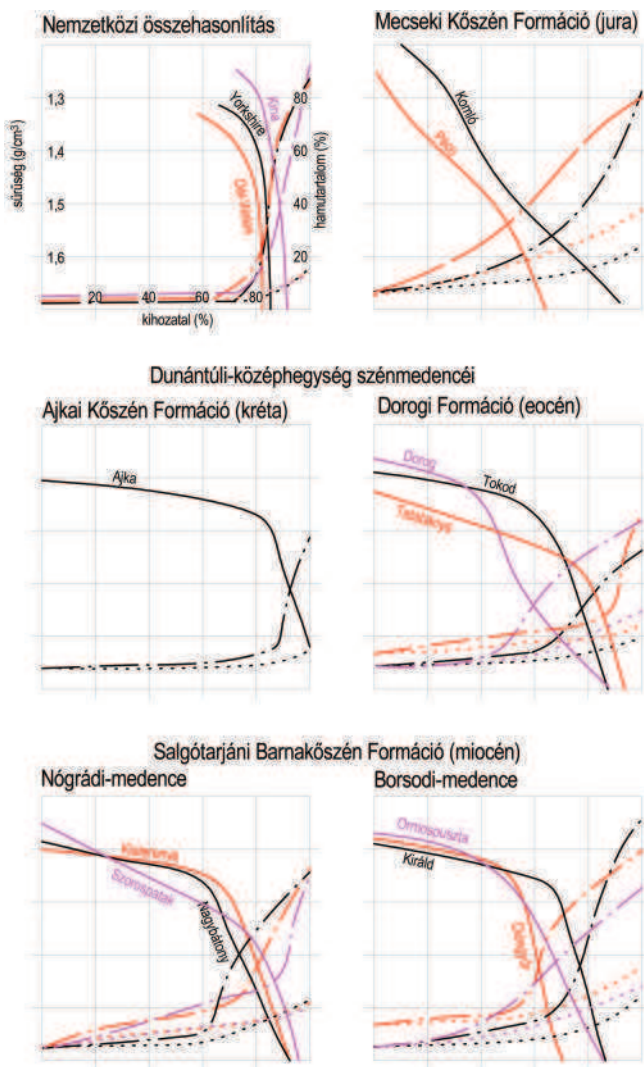
A hazai szénelőkészítési gyakorlatot és a rendszeres moshatósági vizsgálatokat megalapozó alaptanulmányban

5.5. táblázat. A hazai kősenek hamu összetétele és salakolvadási tulajdonságai (KOVATSITS, WOLF 1980)

Széntermék	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ásványi anyag tartalom	Ásványi anyag faktor	t <sub>s</sub>	t <sub>a</sub>	t <sub>b</sub>	t <sub>c</sub>
	%	%	%	%	%	%	%	%	%		°C	°C	°C	°C
Mecseki Kőszén Formáció (jura)														
Pécsi – „A” akna II,	57,7	21,9	8,9	1,2	1,1	3,4	0,3	2,2	63,2	1,103	1035	1160	>1450	>1450
Pécsi – por	58	25,4	5,8	1,3	0,7	3,6	0,5	2,2			1050	1210	>1450	>1450
Pécsi – iszap, durva	54,5	25,6	8,4	2	1,1	3,6	0,4	2,4			1025	1185	>1450	>1450
Pécsi – kokszzszen	51,6	23,4	15,5	1,5	0,9	2	0,5	2,3	12	1,165	950	1100	1395	1400
Komló – „A” dara	59,7	24,5	7,1	0,9	0,8	3,7	0,4	1,4			1000	1190	>1450	>1450
Komló – por	57,6	25,9	6,7	0,6	0,7	3,8	0,5	1,2			980	1190	>1450	>1450
Komló – koks	56,5	25,6	8	0,9	0,8	3,1	0,4	1,9	26	1,105	965	1150	>1450	>1450
Ajakai Kőszén Formáció (kréta)														
Ajka – kockadarabos	22	18,8	12,9	20	3,9	0,3	0,2	21,3	11,8	1,073	865	1100	1240	1245
Ajka – tört akna II	17,2	10,8	6,1	40	3,2	0,3	0,4	16,5	42,5	1,288	900	1240	1390	1440
Dorogi Formáció (eocén)														
Dorog – kockadarabos	35	25,5	12,2	9,6	6,4	1,2	1,5	8,5	10,3	1,035	1120	1240	1285	1300
Dorog – rostált dara	38,2	23,2	12,5	8,7	5,4	1,1	1,6	9			875	1280	1295	1300
Tatabánya – „A” dió	39,4	15,7	8,7	14,3	4,2	1,2	1,1	14,5			900	1140	1175	1180
Tatabánya – akna II	44,3	17,8	9	13,2	1,9	1,3	1,5	10,4			895	1125	1200	1210
Oroszlány – darabos	19,7	14,2	6	25,9	3,9	0,6	2,8	26			1000	1285	1300	1305
Oroszlány – akna II	46,4	22,2	7,8	10,5	1,8	1,3	0,6	8,3	49,2	1,094	1170	1295	1305	1315
Balinka – kockadar.	19,8	14,8	11,8	17,5	4,8	0,5	2,9	24,8			1070	1165	1290	1300
Balinka – „A” por	37,3	18,9	9,4	11,8	2,7	0,9	1,2	15,3			920	1120	1280	1285
Dudar – kockadarabos	30,9	12,6	6,8	18,1	4,1	0,8	0,7	22,3	16,6	0,954	1075	1180	1200	1200
Dudar – rostált dara	40,8	11,9	7,1	15,9	3,3	1	0,6	17,4			1150	1170	1200	1215
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Nógrádi-medence														
Kányás – dara	61,5	15,1	10,8	3,3	2,3	1,5	2,4	2,7	31	1,094	900	1160	1255	1260
Ménkes – akna II	67	19	6,8	1,4	1,4	1,2	1,1	1,1			950	1210	1460	1490
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Borsodi-medence														
Berente – „A” dara	52	19,3	7,6	7,2	1,9	1,9	0,8	6,6	32,9	1,171	950	1125	1262	1285
Edelény – kockadar.	31,4	13,9	11,3	18	3	1,2	1,8	18,8			1010	1120	1200	1205
Sajómerse – dara	53,5	19,4	7,6	6,3	1,9	1,8	0,9	6,6			915	1080	1280	1280
Királd – akna II	74,7	9,7	5	2,3	1	1,2	0,5	3,1			1100	1175	1405	1460
Farkaslyuk – por	56,1	16,8	8,4	6,3	2,2	1,9	0,6	6,7	28,5	1,223	900	1090	1265	1315
Egercsehi – dara	65,8	15,8	5,7	3,6	1,1	1,9	0,1	2,4			980	1125	1310	1345
Borsodnádásd – por	68,8	6,3	4,5	7,1	2	1	0,6	6,6			1125	1150	1340	1400
Hidasi Barnakőszén Formáció (bakonyi medencék)														
Várpalota – S II akna I	22,3	6,4	9,1	33,1	3,6	1	1	22	24,2	1,041	1115	1220	1260	1275
Várpalota – ahidr. kocka	31,2	3,5	10,3	22,5	4,5	0,6	0,8	24,2			1025	1175	1180	1180
Cser – akna I tört	36,3	7,5	7,1	24	3,9	1,2	0,6	16,8			1085	1150	1160	1165
Bükkaljai Lignit Tagozat (Észak-Magyarország)														
Visonta külf. dara	59,3	20,5	6,4	4,8	2	0,9	0,2	2,9	27,4	1,087	975	1165	1380	1395

t<sub>s</sub>: zsugorodáspont, t<sub>a</sub>: lágyuláspont, t<sub>b</sub>: olvadáspont, t<sub>c</sub>: folyáspont.

(TARJÁN 1949) közötti adatok alapján látható, hogy a hazai kősenek hamutartalma jóval magasabb, moshatósági tulajdonságai jóval kedvezőtlenebbek, mint a világ nagy szénélőfordulásainak termékei (5.5. ábra). Különösen sok problémát vetített előre a Mecseki Kőszén Formáció telepeinek magas és nehezen elválasztható hamutartalma, némileg kedvezőbb, de messze nem optimális a helyzet a Salgótarjáni Barnakőszén Formáció telepei esetében. A következő fél évszázad eljárástechnikai fejlesztései (l. BÖHM, BOKÁNYI jelen tanulmánykötet) a kezdeti felvetéseket igazolták.



5.5. ábra. Hazai kőszén sűrűség (folyamatos) és hamu-alapgörbéi (szaggatott), valamint a mosott szén átlagos hamutartalmának görbéje (pontozott) (TARJÁN 1949 alapján)

ekben való megjelenése történhet merkaptánok és tiolok (RSH), szulfidok vagy tioéterek (RSR), diszulfidok (RSSR) vagy tiofényűrűt tartalmazó aromás rendszerek formájában. Kialakulása többnyire az elhalt szervezetek anaerob körülmények között, kénbaktériumok által történő lebontására vezethető vissza. A baktériumok oxidálják az üledékek szerves anyagát, felhasználva az oxidációhoz a szulfátok oxigénjét, miközben a szulfátok kén-hidrogénné redukálódnak. A szerves kén-tartalom alakításában fontos szerepet játszik az őskörnyezet, mivel az enyhén lúgos környezet (pl. karsztkőszén – Dorog, Tatabánya, Ajka, karbonátplatformok lagúnái – Hidasi-medence) kedvez a kén-baktériumok tömeges elszaporodásának.

A szén kén-tartalmának csupán egy része kerül kén-dioxidként, ill. részben kén-trioxidként a füstgázokba. A bázikus ásványok (pl.  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ) ugyanis reagálnak az orgánikus kénfázisok (pl. tiofén, az aril-szulfidok, merkaptánok) termikus bomlásakor képződő hidrogén-szulfiddal, ill. a kén és  $\text{H}_2\text{S}$  oxidációjakor képződő  $\text{SO}_2$ -al, így a kén egy része a hamuban marad. A szerves kén-tartalom szulfátkén-tartalmát adó gipsz és kapcsolódó ásványok az égés során jellemzően ugyancsak a hamuban maradnak, kén-tartalmuk gáz formájában nem válik le, így égetéskor, füstgázok formájában nincs környezetkárosító hatásuk.

Ebből következik, hogy a hamu összetételétől és a kén-tartalomtól függően a kén-tartalomnak akár 50%-ig terjedő hányada a hamutartalomban maradhat, s csak a fennmaradó rész emittálódik égetéskor a füstgázokkal. Tüzeléstechnikai szempontból éppen ezért megkülönböztetik az égetéskor releváns, emissziót okozó *éghető kén* ( $\text{S}^e - \text{S}_A^r$ ) és a hamuban visszamaradó ún. *hamukén* ( $\text{S}^h - \text{S}_A^r$ ) formákat, a feltárás jellegére utal az ún. *bombakén* ( $\text{S}^b - \text{S}_p^r$ ) elnevezés.

Az emisszió szempontjából káros kén-tartalom csökkentésének alapvetően két útja van, (1) a szén kén-tartalmának égetés előtti csökkentése és a (2) füstgáz kéntelenítése. A piritkén egy része nagyobb sűrűségénél fogva a nedves szénelőkészítés

## A hazai szénelőfordulások kén-tartalma

A kén-tartalom vizsgálatának a szénfelhasználás kémiai emissziója és a szénvegyészeti technológiákban megjelenő katalizátorok kémiai érzékenysége miatt van meghatározó jelentősége. A kén-tartalom csökkentésére irányuló törekvések (pl. füstgázok kéntelenítése, szintézisgáz tisztítása, szén előzetes kéntelenítése) szükségessé teszi az *összes kén-tartalom* ( $\text{S}^0 - \text{S}_t^r$ ) ismerete mellett a kén genetikai, ill. tüzeléstechnikai szempontból eltérő kötési formáinak ismeretét is (5.6. táblázat).

Genetikai szempontból a szerves kén-tartalom legfontosabb összetevője *piritkén* ( $\text{S}^p - \text{S}_p^r$ ). A pirit apró kristályokban, finom eloszlású szemcsékben szórta, vagy repedések, réteglapok mentén bevonatokban, kisebb-nagyobb konkréciók formájában jelentkezik. Keletkezése történhet vas-szulfátos oldatokból a szénképződés korai diagenetikus szakaszában olyan környezetben, ahol a szárazföld irányából vasionokban gazdag üledékek, ugyanakkor a rétegvizekkel érintkezve ozmózis ioncsere útján a tengervíz irányából kénionokban gazdag oldatok kerülnek megfelelő koncentrációban a kőszénképző környezetbe, amely alapvetően édesvízi környezet. Kénbaktériumok jelenlétében oxigéntől elzárt, vagy korlátozott oxigéntartalmú környezetben a szerves anyag bomlásával pirit képződhet, amely egykristályos vagy framboid formában jelentkezik a kőszén anyagában (HÁMOR 1994). A bakteriális eredet mellett epigenetikus (pl. hidrotermális) úton is képződhet pirit, főként bekérdezések formájában. A paralikus telepek rendszerint magasabb pirittartalmát azonban elsősorban a bakteriális eredet magyarázhatja.

A pirit mellett kisebb mennyiségben egyéb szulfid módosulat (markazit, melnikovit, kalkopirit, arsenopirit, sztibinit) is előfordulhat. A szerves kén-tartalom kisebb hányada *szulfátkén* ( $\text{S}^{sz} - \text{S}_{\text{SO}_4}^r$ ) formájában jelenik meg. A kapcsolódó ásványos fázisok rendszerint gipsz, anhidrit, ritkábban szomolnokit, vagy melanterit.

A szerves *kén-tartalom* ( $\text{S}^{\text{org}} - \text{S}_p^r$ ) szerves komple-

5.6. táblázat. A hazai kőszének kéntartalom adatai (KOVATSITS, WOLF 1980)

Széntermék	S <sub>t</sub> <sup>r</sup>	S <sub>p</sub> <sup>r</sup>	S <sub>so4</sub> <sup>r</sup>	S <sub>o</sub> <sup>r</sup>	S <sub>c</sub> <sup>r</sup>	S <sub>A</sub> <sup>r</sup>	S <sub>b</sub> <sup>r</sup>
	%	%	%	%	%	%	%
Mecseki Kőszén Formáció (jura)							
Pécsi – „A” akna II,	3,1	2,6	0,2	0,3	2,3	0,8	3,1
Pécsi – por	2,2	1,2	0,3	0,7	1,4	0,8	2,2
Pécsi – iszap, durva	2	1,4	0,2	0,4	1,5	0,5	2
Pécsi – koksztűz	2,6	0,9	0,4	1,2	1,8	0,7	2,5
Komló – „A” dara	2,4	1,4	0,3	0,7	2	0,4	2,4
Komló – por	2,4	1,1	0,2	1,1	1,8	0,6	2,4
Komló – koksztűz	2,4	1,1	0,3	1	1,8	0,6	2,4
Ajakai Kőszén Formáció (kréta)							
Ajka – kockadarabos	4,3	0,7	0,3	3,3	3,4	0,9	4,1
Ajka – tört akna II	3,4	1,3	0,5	1,6	1,2	2,2	2
Dorogi Formáció (eocén)							
Dorog – kockadarabos	3,1	0,6	0,2	2,3	2,8	0,3	3,4
Dorog – rostált dara	3,3	0,9	0,3	2,1	2,9	0,4	3,5
Tatabánya – „A” dió	4,4	0,7	0,2	3,5	3,5	0,9	4,5
Tatabánya – akna II	4,5	1,5	0,3	2,7	3,1	1,4	4,5
Oroszlány – darabos	4,1	0,5	0,2	3,4	3,1	1	3,9
Oroszlány – akna II	4	0,5	0,2	3,3	2,4	1,6	3,9
Balinka – kockadarabos	5,2	1	0,3	3,9	4,1	1,1	5,2
Balinka – „A” por	4,9	1,5	0,3	3,1	3,5	1,4	4,9
Dudar – kockadarabos	4,4	0,7	0,2	3,5	3	1,4	4,4
Dudar – rostált dara	4,4	0,9	0,4	3,1	2,8	1,6	4,4
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Nógrádi-medence							
Kányás – dara	3	1,2	0,2	1,6	2,4	0,6	3,1
Ménkes – akna II	2,8	1,4	0,2	1,2	2,3	0,5	2,9
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Borsodi-medence							
Berente – „A” dara	2,8	0,9	0,4	1,5	1,8	1	2,6
Edelény – kockadarabos	2,2	0,6	0,2	1,4	1,8	0,4	2,2
Sajómercse – dara	2,5	0,9	0,2	1,4	1,8	0,7	2,6
Királd – akna II	2,2	1	0,2	1	1,7	0,5	2,2
Farkaslyuk – por	2,3	1,3	0,2	0,8	1,8	0,5	2,6
Egercsehi – dara	1,7	0,7	0,4	0,6	1,3	0,4	1,6
Borsodnádásd – por	1	0,4	0,4	0,2	0,4	0,6	1
Hidasi Barnakőszén Formáció (bakonyi medencék)							
Cser – akna I tört	1,5	0,5	0,1	0,9	0,7	0,8	1,6
Várpalota – S II akna I	2,3	0,8	0,2	1,3	1	1,3	2,3
Várpal., – ahidr. kocka	2,5	0,5	0,2	1,8	1,8	0,7	2,3
Bükkaljai Lignit Tagozat (Észak-Magyarország)							
Visonta külf. dara	0,8	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,8

S<sub>t</sub>: összesén, S<sub>p</sub>: piritkén, S<sub>so4</sub>: szulfátkén, S<sub>o</sub>: organikus kén, S<sub>c</sub>: éghetőkén, S<sub>A</sub>: hamukén, S<sub>b</sub>: bombakén, felső index r: as received (a mintavétel állapotában).

során viszonylag egyszerűen eltávolítható a széntermékből, vannak azonban olyan esetek (ilyen a mecseki szén is), amikor a nagyon finomszemcsés pirit gyakorlatilag mindvégig benne marad az előkészítés anyagában.

### A hazai szénelőfordulások lepárlási tulajdonságai

A lepárlás a szén levegő kizárásával végrehajtott hevítést, pirolitikus kigázosítást foglalja magában (5.7. táblázat). A lepárlás során különböző mennyiségű gáz, víz és kátrány keletkezik, maradékként pedig koksztűz- és a hamutartalomnak

5.7. táblázat. A hazai kőszének lepárlási adatai (KOVATSITS, WOLF 1980)

Széntermék	520 °C						1150 °C					
	Légszáraz nedvesség %	Félkoks %	Kátrány %	Bomlásvíz %	Gáz+vesztés %	Gázhozatal m <sup>3</sup> /kg	Légszáraz nedvesség %	Félkoks %	Kátrány %	Bomlásvíz %	Gáz+vesztés %	Gázhozatal m <sup>3</sup> /kg
Mecseki Kőszén Formáció (jura)												
Pécsi – „A” akna II,	1,4	91,6	1,2	2,6	3,2	0,120	1,6	86	1,6	3,2	7,6	0,248
Pécsi – por	1,2	85	5	2,6	6,2	0,056	1,2	80	5,6	3,2	10	0,338
Pécsi – iszap, durva	0,8	88,8	4	2,4	4	0,040	1,8	83,2	4	3,4	7,6	0,292
Pécsi – koksztűz	1	82,4	6,4	4,6	5,6	0,094	2,4	78	4,8	3,6	11,2	0,352
Komló – „A” dara	2	81,2	5,6	5,6	5,6	0,112	2,6	79,6	4,6	5	8,2	0,300
Komló – por	2,6	81,6	4	4,6	7,2	0,062	3	76,8	5,2	4,6	10,4	0,292
Komló – koksztűz	1,8	80,4	6,4	5	6,4	0,076	2,8	74,4	8	5,2	9,6	0,268
Ajka Kőszén Formáció (kréta)												
Ajka – kockadarabos	17,6	57,2	5,2	7,2	12,8	0,180	18	50,8	6,8	7,2	17,2	0,312
Ajka – tört akna II	7,2	74,4	3,6	6,4	8,4	0,116	8	60	4,4	5,2	22,4	0,288
Dorogi Formáció (eocén)												
Dorog – kockadarabos	12	60,8	11,6	10	4,6	0,152	12	53,2	9,6	10	15,2	0,220
Dorog – rostált dara	13,6	66,4	8	8	4	0,084	12	55,2	7,6	9,6	15,6	0,248
Tatabánya – „A” dió	12	61,6	9,6	9,2	7,6	0,060	11,2	52	10,4	8,8	17,6	0,199
Tatabánya – akna II	9,6	69,2	6,8	10	4,4	0,080	8,4	62	6,8	8	14,8	0,185
Oroszlány – darabos	41	52,8	14,4	9,2	19,6	0,088	14	43,2	15,6	7,2	20	0,252
Oroszlány – akna II	9,2	68,4	5	8	9,4	0,048	10,4	62,8	7,2	6,4	13,2	0,164
Balinka – kockadarab.	22,8	50,4	5,6	7,2	14	0,128	23,2	44,8	5,6	8	18,4	0,296
Balinka – „A” por	20,4	57,2	4,4	6	12	0,176	21,2	50	4,8	6,8	17,2	0,324
Dudar – kockadarabos	24,8	47,6	7,2	7,2	13,2	0,156	25,6	41,6	8	6,7	18	0,308
Dudar – rostált dara	25,6	46,8	7,6	6	14	0,258	25,6	42	8	5,6	18,8	0,328
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Nógrádi-medence												
Kányás – dara	19,2	62,8	4	7,6	6,4	0,084	19,6	56	3,6	8,4	12,4	0,204
Ménkes – akna II	6	76,4	4,8	7,2	5,6	0,072	6,4	70	5,2	7,2	11,2	0,188
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Borsodi-medence												
Berente – „A” dara	14	68,6	4,4	8	5	0,066	13,6	62	4,6	12,4	7,4	0,196
Edelény – kockadarabos	21,4	53,2	9,4	8,2	7,8	0,102	20,8	45,6	9,2	6,4	18	0,228
Sajómercse – dara	17,6	62,4	3,8	6,8	9,4	0,098	17,6	57,2	4,4	6	14,8	0,193
Királd – akna II	10,8	69,2	5,2	10,8	4	0,074	11,6	64	6,2	7,6	10,6	0,148
Farkaslyuk – por	19,6	60	4,6	9,2	6,6	0,094	19,6	52,8	4,8	6	16,8	0,138
Egercsehi – dara	11	68	1,2	12,6	7,2	0,096	11	65,2	2,8	9,4	11,6	0,276
Borsodnádásd – por	12,6	70,8	2,8	7	6,8	0,078	12,4	58	2,8	8	18,8	0,194
Hidasi Barnakőszén Formáció (bakonyi medencék)												
Cser – akna I tört	14,8	58,8	4,4	11,2	10,8	0,084	13,6	44	5,6	9,6	27,2	0,220
Várpalota – S II akna I	15,6	55,2	5,6	8,4	15,2	0,112	16	52,4	3,8	8,8	19	0,240
Várpal. – ahidr. kocka	14	39,6	11,2	11,6	23,6	0,100	14	42,8	11,6	11,2	20,4	0,220
Bükkaljai Lignit Tagozat (Észak-Magyarország)												
Visonta külf. dara	30,2	47,6	3,2	14,6	4,4	0,061	30,4	46	1	5,8	16,4	0,131

megfelelő mennyiségű szervesetlen fázis képződik. A lepárlás során keletkező termékek mennyisége és összetétele két évszázadon keresztül meghatározta az egyes szénfélések szénvegyészeti hasznosításának alakulását, s a barnaszenek minősítésének a kátrányhozam ma is fontos szempontja. Egy szén hidrogénezhetőségének előzetes megítéléséhez az elemi összetétel és a szén szöveti szerkezetének vizsgálata mellett az alacsony hőmérsékletű lepárlás (svélezési próba) szolgál jelentős felvilágosítással.

A hevítés hőmérsékletétől függően megkülönböztetnek alacsony hőmérsékletű lepárlást más néven svélezést (450–700 °C), valamint közepes (700–900 °C) és magas (> 900 °C) hőmérsékletű lepárlást, azaz kokszolást. Az eljárások fokozatosan

mennek át egymásba, ugyanakkor a lepárlás eredményeként keletkező lepárlási termékek mennyiségét és összetételét a szén alapulajdonságai mellett jelentősen befolyásolja a felfűtési mértéke, sőt annak sebessége is.

A keletkező *kátrány* mennyisége függ a szén szénültéségtől, a felfűtési sebességtől és a tartózkodási időtől, a cseppfolyós termékek hozamát növeli a gyors felfűtés és a képződő gőzök gyors lehűtése. Kis felfűtési sebességnél az eleinte képződő cseppfolyós termékek részben gázképződés közben krakkolódnak. Míg a kokszkátrány összetétele a másodlagos krakkfolyamatok következtében kevésbé függ a szén minőségétől, addig a svélkátrány összetétele alapvetően a kiindulási szén jellegének és a lepárlás körülményeinek függvénye. A svélkátrányok kémiai összetétele nagyon sokrétű, az egyes vegyületek kis koncentrációban fordulnak elő, s rendszerint több paraffint, cikloalkánt és olefint tartalmaznak, a kokszkátrányok ezzel szemben egygyűrűs és telítetlen aromákat tartalmaznak nagyobb mennyiségben.

A barnaszének lepárlási gázainak legfontosabb összetevői (5.8. táblázat) a  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , valamint az etán, propán és az etilén ( $C_nH_m$ ). Az első gáz alakban felszabaduló bomlástermék a  $CO_2$ . Az 520 és 650 °C-nál megfigyelhető maximumok rendre a huminsavak dekarboxileződésének, ill. a hamuban jelenlevő karbonátok bomlásának tulajdonítható. A  $CO$  felszabadulása is két maximumot mutat, ami különböző forrásokból való keletkezésre utal (éterkötések, ketonsocsoportok felszakadása), ill. a  $CO$  egy része szénfelesleg jelenléte miatt magasabb hőmérsékleten (> 1000 °C) már a *Boudouard*-egyensúly alapján keletkezik.

A  $H_2$  az egyik legfontosabb pirolízis gáz, amely fő tömegében ~720 °C fölött, azaz a közepes és magas hőmérsékletű lepárlás tartományában szabadul fel. A legnagyobb fűtőértéket a pirolízis gázok között a  $CH_4$  képviseli, mely széles hőmérsékleti tartományban, a legkülönbözőbb molekulacsoportokból képződik. Mivel felszabadulása ~620 °C körül éri el maximumát, s ezt követően fokozatosan csökken, mennyisége az alacsony hőmérsékletű lepárlás gázaiban rendszerint magasabb, ami meghatározza azok rendszerint magasabb fűtőértékét is. Az etán, propán és az etilén mennyiségében kicsi, fűtőértékben már jóval jelentősebb részét adják a lepárlási gázoknak, felszabadulásuk maximuma ~520 °C körül éri el maximumát, így ezek részaránya is az alacsony hőmérsékletű lepárlás gázaiban magasabb, alakítva annak kedvezőbb fűtőértékét.

Összességében elmondható, hogy az alacsony hőmérsékletű lepárlás gázait inkább a magasabb fűtőérték és változatosabb kémiai összetétel jellemzi, míg a magas hőmérsékletű lepárlás gázai elsősorban  $CO$ - és  $H_2$ -tartalmuk révén ideális alapanyagok a szintézisgáz gyártásnak. A KBI-ben végzett lepárlási vizsgálatok a kishőmérsékletű (520 °C) és nagy hőmérsékletű (1150 °C) lepárlás eredményeit is tartalmazzák, feltüntetve a gázkihozatal mértékét is. Egyes szénféle-ségeknél a lepárlási gáz összetétele és égéshője is meghatározásra került.

### A hazai szénelőfordulások oldhatósági viszonyai

A szén hidrogénezhetősége szempontjából kritikus minőségi mutató a hamutartalom mennyisége és annak eloszlása, ill. elválaszthatósága. Homogén hamutartalom-eloszlás esetén, amikor a hamumentesítés nem lehetséges, a hamutartalom végigvonul a hidrogénező eljárson (1) csökkentve a berendezések térkihasználtságát, (2) időbeni kapacitását, (3) növelve a hőszükségletet és (4) terhelve az iszapfázisú hidrogénezésben keletkező maradvány feldolgozását (szűrési, desztillációs eljárások).

A hamutartalomból adódó nehézségek leküzdése kapcsán, a direkt hidrogénezési eljárások egyik fontos, lehetséges lépése a szén oldószeres feltárása, melynek nyomás alatt, lépcsőzetes hevítéssel alkalmazott eljárása (Pott–Broche) a hagyományos Bergius–Pier módszerrel szemben kis hamutartalmú szénextraktumot eredményezett. Ehhez kapcsolódóan Magyarországon az 1930-as években folytattak, elsősorban a barnaszén-kátrányolajok és barnaszénkátrányból származó benzinek hidrogénezésével kapcsolatos kutatásokat (VARGA, MAKRAY 1931, VARGA 1932). Az eredmények alapján a 1935-ben kátrányolajok hidrogénezésén alapuló benzinszintézis indult meg a Péti Nitrogénművek Rt. kísérleti üzemében 10 t/nap kátrányolaj feldolgozására elegendő kapacitással. A hidrogénüzem fejlesztésének a hazai kőolajmezők időközben bekövetkezett feltárása vetett véget.

Az 1950-es évek elején elvégezték a hazai szének oldószeres extrakciós lehetőségeinek vizsgálatát (VARGA, SZÜCS 1952), melynek során a Pott–Broche eljárás nyomán oldószerként a tetralint, krezolt, ill. ezek különböző arányú elegyeit használták. A vizsgálat tárgyát képezte a mecseki liász kőszén (komlói gázszen), az észak-dunántúli eocén (Tata, Dorog) és a borsodi miocén (Sajószentpéter). A vizsgálatok eredményeként a tetralin minden esetben hatékonyabb oldószernek bizonyult, mint a krezol. Tetralinnal a komlói szén 84,1%-a (hőmérsékleti optimum: 450 °C), a tatai szén 94,2% a (hőmérsékleti optimum: 430 °C), a dorogi szén 95,1%-a (hőmérsékleti optimum: 430 °C), a sajószentpéteri szén 92,2%-a (hőmérsékleti optimum: 390 °C) volt oldatba vihető.

### A hazai szénelőfordulások elgázosítási kísérleteinek következtetései

A szénhidrogén világpiaci árának emelkedése miatt 1977–1989 között a MAGYAR SZÉNHI-DROGÉNIPARI KUTATÓ- FEJLESZTŐ INTÉZET (1979) áttekintette, a Központi Bányászati Fejlesztési Intézet pedig kiterjedten vizsgálta (TAKÁCS 1989) a hazai szén- és lignitvagyon elgázosítási perspektíváit (5.9. táblázat). Ezzel egy időben, ennek részeként elkészültek a

**5.8. táblázat.** A hazai kőszének lepárlási gázösszetétele (KOVATSITS, WOLF 1980)

Széntermék	Hőmérséklet °C	CO <sub>2</sub> %	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> %	CO %	H <sub>2</sub> %	CH <sub>4</sub> %	N <sub>2</sub> %	Q <sub>1</sub> MJ/m <sup>3</sup>	Q <sub>2</sub> MJ/m <sup>3</sup>
Ajkai Kőszén Formáció (kréta)									
Ajka –	520	27,8	2,3	9,6	13,4	41,9	na	22,43	20,26
kockadarabos	1150	9,2	1	16,6	32	26,6	3,8	20,22	19,36
Dorogi Formáció (eocén)									
Dorog –	520	32,5	na	7,5	na	55,9	4,1	23,23	20,96
kockadarabos	1150	28,8	3,1	5,4	35,2	27,5	na	18,18	16,23
Tatabánya – „A” dió	520	44,4	2,4	9,1	na	43,1	1	19,9	18,06
	1150	27,1	2,6	14,7	22,1	33,1	na	19,59	17,69
Oroszlány – akna II	520	52	3,9	5,8	4	29,4	4,9	15,53	14,1
	1150	22,6	0,8	21,6	33,8	21,2	na	16,02	14,45
Balinka –	520	24,4	2,5	6,9	2,1	37,5	na	24,68	22,37
kockadarabos	1150	10,9	1	15,7	29,5	25,5	na	21,05	19,03
Balinka – „A” por	520	20,3	2,1	6,1	2,4	39,2	na	25,77	23,45
	1150	14,7	0,8	17,2	31,8	23,8	na	19,26	17,38
Dudar –	520	26,6	2,4	7,6	1,9	29,3	na	22,74	20,77
kockadarabos	1150	12	1,4	16,5	30,9	25,1	na	20,59	18,6
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Nógrádi-medence									
Kányás – dara	520	51,7	1,7	8,9	8,7	23,1	5,9	12,56	11,38
	1150	30	1,2	13,3	21,4	16,7	17,4	11,87	10,71
Ménkes – akna II	520	18,1	2,3	11,9	26,9	25,4	5,4	16,58	14,91
	1150	15,6	1,7	11,7	41,5	12,1	17,4	12,72	11,33
Salgótarjáni Barnakőszén Formáció (miocén) – Borsodi-medence									
Edelény –	520	22,9	2	11,2	5,4	35,4	na	23,47	21,38
kockadarabos	1150	11,8	1,1	17,6	32,4	24,2	na	20,05	18,11
Farkaslyuk – por	520	25,4	2,3	11,5	2,4	19,9	12,6	17,87	16,4
	1150	20,1	2	17	25,9	26,5	na	19,52	17,67
Hidasi Barnakőszén Formáció (bakonyi medencék)									
Várpalota – S II akna I	520	44,3	2	10,2	7,7	13,1	22,7	8,81	8,38
	1150	23,4	1,1	25,2	31,2	17,7	1,4	14,95	13,56
Várpal., – ahidr. kocka	520	46,6	2,8	20	1,1	27,7	1,8	15,56	14,29
	1150	22,3	1,6	20	18,4	11,7	26	10,6	9,69
Bükkaljai Lignit Tagozat (Észak-Magyarország)									
Visonta külf. dara	520	42,7	1,9	10,2	9,7	16,1	12,9	11,87	10,81
	1150	11,9	1,4	24,4	31,5	16,8	na	18,33	16,67

Q<sub>1</sub>: égésmeleg, Q<sub>2</sub>: fűtőérték.

hazai szénfélések legfontosabb technológiai szempontú szénközvetlen és geokémiai alapvizsgálatai (BERTALAN-BALOGI, SZEDERKÉNYI 1989, PANTÓ et al. 1989). A munka során létrejött kiterjedt nemzetközi kapcsolatrendszerben valamennyi reaktortípust (állóág, örvényág, sodróáramú) vizsgálták (5.9. táblázat). 1991-ben a Lurgi cég minősítette a mecseki feketekőszén nyomás alatti fluidágyas reaktorban (HÖLL, LOEFFLER 1991). Ezt követően hosszabb szünet után 2016-ban a japán NEDO vizsgálta a borsodi szén örvényágyas reaktorban.

Az évtizedeken keresztül folytatott tevékenység fontosabb következtetései az alábbiak. A nyomás alatti állóágas elgázosítást alkalmazó Lurgi-technológia r-dara, vagy dió szemmagyságú generátor szén dolgoz fel, és a másik két technológiai változattal ellentétben érzékeny a tulajdonságokra is; a teljesen porszerű, ill. erősen összesülő anyagot szolgáltató hamut a generátorok forgórostélya nem tudja kihordani. Fontos követelmény még a generátorszén termikus szilárdsága, azaz, hogy a generátorszén a szárítási és lepárlási zónában érdemben ne porlódjon. Modellberendezésekben lefolytatott nagylaboratóriumi kísérletek alapján a Brennstoff Institut (Freiberg) a borsodi, dorogi és tatabányai mintákat, valamint a várpalotai ahidrált lignitet termikus szilárdsága és tulajdonságai szempontjából is megfelelőnek, sőt az egykori NDK-ban e célra használt tüzelőanyagoknál kedvezőbbnek minősítette.

Az állóágas technológia szerint vizsgáló Angol Állami Szénbányák nem végzett modellkísérleteket, de a Leitz-

**5.9. táblázat.** Hazai kőszéneken eddig elvégzett elgázosítási üzemkísérletek (TAKÁCS 1989)

	Állóágy	Örvényágy	Sodróáramú
Toronyi lignit	AÁSZ Lurgi	AÁSZ	AÁSZ, Krupp
Visontai lignit	Lurgi (Most)		Shell
Várpalotai lignit	BI		
Borsodi barnakőszén	BI	NEDO	Krupp
Dunántúli barnakőszén	BI, AÁSZ	AÁSZ, IGI	AÁSZ, Krupp
Mecseki feketekőszén		Lurgi	Krupp, Shell

BI: Brennstoff Institute – Freiberg, AÁSZ: Angol Állami Szénbányák, IGI: Moszkva.

vizsgálat és a hamuösszetétel alapján a vizsgált oroszlanói és toronyi minták esetében a tulajdonságokra vonatkozóan nem voltak aggályai. A termikus szilárdság tekintetében a toronyi lignitnél a végleges álláspont kialakításához üzemkísérlet elvégzését javasolta. Az ahidrált gyöngyösi lignittel 1952-ben a most-i Lurgi Gázgyárban volt ilyen üzemkísérlet, mely kísérlet során az ahidrált gyöngyösi lignit mind a termikus tulajdonságok, mind pedig a tulajdonságok szempontjából igen kedvezően viselkedett.

Eltérőek voltak a vélemények a Lurgi rendszerű elgázosításnál megengedhető nedvességtartalom vonatkozásában. A régebbi gyakorlat max. 30% nedvességet tartott megengedhetőnek, ezért az Angol Állami Szénbányák tanulmányi munkája a toronyi lignit esetében előszárítást irányzott elő. A Lurgi tanulmánya a 41,5% nedvességű alapanyagának szárítás nélküli feladását, mint szélső határt, még megengedhetőnek tartja. A 46–50% nedvességű észak-magyarországi ligniteknél, feltehetően mindenképpen előszárítás szükséges, mely előszárítás rostálással kombinálva egyben a durva frakció kívánatos hamutartalmát ( $A^d < 35\%$ ) és termikus szilárdságát is biztosíthatja.

A fluidelgázosítást kis nyomáson (2–3 bar) kivitelező Winkler-technológia 1–10 mm-es, max 20% nedvességű generátorszenet kíván meg, de hamukövetelménye a Koppers-technológiánál valamivel szigorúbb ( $A^d < 35\%$ ). A középnyomáson (10–20 bar) történő fluidelgázosítás lehetőségét az IGI tatabányai daraszén esetében 160 kg szén/h kapacitású modellberendezésben eredményesen vizsgálta.

A szénminőséggel szemben legkevesebb igényt támasztó porszéntüzelésű technológiával minden vizsgált hazai barnaszén és lignitminta, sőt még a 40% szárazhamut tartalmazó mecseki féltermékminta is 10% maradék nedvességtartalom alá történő szárítás után feldolgozható. A nyomás alatti szállóporos technológia (Shell-Koppers) szempontjából a Shell laboratórium a visontai lignitet alkalmasnak minősítette.



BÓHM JÓZSEF, BOKÁNYI LJUDMILLA

## A szénelőkészítés helye a szénfelhasználás, szénhasznosítás folyamatában

A bányászat által kitermelt szén szinte teljes mennyiségben valamilyen előkészítési folyamatot követően kerül felhasználásra. Az előkészítés sok esetben csak aprítást és/vagy osztályozást jelent, máskor minőség szerinti szétválasztás, dúsítás is szükséges. Összességében a cél a bányászat által kitermelt nyersszénből (aknaszén) a felhasználói igényeknek megfelelő minőségű, méretű és nedvességtartalmú termék előállítása a legkisebb ráfordítás és a legnagyobb tisztaság, meddőmentes szénkoncentrátum-kihozatal biztosítása mellett.

A szénelőkészítés célját alapvetően a felhasználási, felhasználói igények determinálják. Az elérhető eredményeket, az alkalmazható eljárásokat, módszereket, technológiákat, berendezéseket alapvetően a következő tényezők befolyásolják: 1. az aknaszén geometriai, fizikai, mechanikai, minőségi jellemzői (összetétel, alkotórész-tartalom, az előkészítés-technikai, dúsíthatósági jellemzők); 2. a felhasználói igények (szemcseméret-összetétel, minőségi jellemzők, nedvességtartalom, kezelhetőséggel kapcsolatos elvárások); 3. az előkészítési eljárások és technológiák alkalmazhatósági feltételei; 4. a szétválasztott termékek (részek) szállítási, elhelyezési-hasznosítási (meddő) lehetőségek; 5. gazdaságossági megfontolások.

A felsoroltak közül, mint meghatározót, ki kell emelni a kitermelt szén dúsíthatósági (előkészítés-technikai) jellemzőit, tekintettel arra, hogy a nyersszén minőségi jellemzői, dúsíthatósági paraméterei alapvetően determinálják a szénelőkészítés elvárható célkitűzéseit. A nyersszén dúsíthatósági jellemzői (pl. Bird szám) bizonyos határok között módosíthatók, például a méret csökkentése révén a szén és meddőkomponensek feltárással, de vannak olyan jellemzők, amelyek nem változtathatók. A szénelőkészítés céljainak meghatározásánál, az alkalmazandó eljárások kiválasztásánál a nyersszén tulajdonságait maximálisan figyelembe kell venni.

A szénelőkészítés célja a további felhasználásra tekintettel különböző lehet. A kereskedelmi szénosztályok előállítása során a cél, az aknaszén meghatározott méretosztályokra történő szétválasztása. A méret szerinti osztályozás esetenként minőségi javulást is eredményezhet, ha a kísérő kőzetanyag (meddő) és a szén szilárdsági tulajdonságai egymástól eltérnek (pl. homokpados előfordulás). A minőségjavítás vagy dúsítás viszont már egyértelműen az alkotórész-tartalom megváltozásával jár. E folyamat két területre bontható: 1. hamutartalom csökkentése, a fűtőérték növelése az égési maradványanyag csökkentése céljából (meddőleválasztás), 2. kéntartalom csökkentése, a káros emissziók csökkentése érdekében. A széndúsítás során általában a két cél egy eljárás alkalmazásával is teljesíthető, de vannak esetek, amikor külön eljárást kell alkalmazni a meddőleválasztásra és külön a szervesetlen kén (piritkén) részbeni eltávolítására. További eljárás a darabosítás (brikettálás).

## Szénelőkészítés–széndúsítás

A szénelőkészítési feladatokat száraz, vagy nedves eljárásokkal valósíthatjuk meg. A száraz vagy nedves eljárás alkalmazása az esetek nagy részében nem választható szabadon. A feldolgozásra kerülő nyersszén és a kísérőkőzet (meddő) fizikai-mechanikai jellemzői a választható eljárásokat nagyon sok esetben determinálják. Ezen túlmenően a feldolgozásra kerülő nyersszén dúsíthatósági jellemzői mellett a helyi körülményeket (pl. vízhiány) is figyelembe kell venni az eljárás kiválasztásánál. A nedves szénelőkészítési eljárások minden esetben élesebb szétválasztási eredményeket adnak, mint a száraz eljárások, s a nehezen dúsítható szén (Bird szám > 10) esetében lehetőség szerint mindig nedves eljárást kell választani.

A szénelőkészítés során a széndúsítás alapja a szén és a meddő eltérő mechanikai, fizikai, fizikai-kémiai tulajdonságai (a flotálást kivéve a szén és a meddő eltérő sűrűsége). Egyes esetekben az eltérő szilárdság (szelektív aprítás, aprózódás),

valamint az eltérő optikai jellemzők (optikai válogatás) is lehetőséget adnak a szén és a meddő szétválasztására. A ma alkalmazott nedves eljárások során (flotálás kivételével) a sűrűség és/vagy a sűrűség és a szemcseméret (tömeg, süllyedési végsebesség) eltérése alapján történik az egyes alkotók (a szén és a meddő) szétválasztása.

A szenek dúsíthatóságát alapvetően az aknaszén előkészítéstechnikai jellemzői (méret, összetétel, a szén típusa, minőségi tulajdonságai, a szén és a meddő összenövés, meddő típusa, tulajdonságai) határozzák meg. A szén és kísérő (beépült) meddőanyagok főbb fizikai paramétereit a 6.1. táblázat mutatja be.

**6.1. táblázat.** Szén és a kísérő meddőkőzetek főbb fizikai-mechanikai jellemzői (MURATA, ISHIDA 2012)

Jellemző	Egység	Szén	Meddő	Pirit
Szín		fekete	világosszürkés	aranysárga
Hasadóképeség		jó	jó	rossz
Keménység	Mohs	2,0–2,5	2,0–4,5	6,0–6,5
Sűrűség	kg/dm <sup>3</sup>	1,15–1,5	2,4–3,9	6,0–6,5
Határszög	fok	49–68 (feketekőszén)	13	58–73
Fajlagos ellenállás	Ohm/m	10 <sup>2</sup> –10 <sup>11</sup>	10 <sup>2</sup> –10 <sup>6</sup>	1–10 <sup>2</sup>
Dielektromos állandó		2,0–2,5	4,7–7,8	5,2–8,6
Térfogati szuszceptibilitás	10 <sup>6</sup> cgs	–0,6	20–400	38–63

A 6.1. táblázat adataiból látható, hogy a szén és a kísérő (beépült) meddőanyag sűrűsége jelentősen eltér, ezért az aknaszén átlagsűrűsége a minőségről is tájékoztatást ad. A szenek dúsíthatóságát az aknaszén (egyes méretfrakciók) sűrűség szerinti eloszlásfüggvénye  $F(\rho)$  alapján lehet megítélni. A sűrűség szerinti eloszlásfüggvényből meghatározható a tervezett elválasztási sűrűségérték ( $\rho_{elv}$ ) esetében, a szétválaszthatóság (moshatóság), amelyet a  $\rho_{elv} \pm 0,1$  kg/dm<sup>3</sup>-es sűrűségintervallumba lévő anyag mennyiségével (tömeghányada) jellemezhetünk (Bird szám). A szétválaszthatóság nem állandó érték, a tervezett elválasztási sűrűségérték változásával változhat. Ezért mindig célszerű a szétválaszthatóságot (Bird szám) az elválasztási sűrűség változásának függvényében  $F(\rho_{elv})$  vizsgálni. A dúsíthatóság, az elérhető dúsítási eredmények, a feldolgozásra kerülő anyag határ szemcseméretének csökkentésével (aprítás) jelentősen javíthatók (a szemcsék feltártsága nő, a szén-meddő összenövések csökkennek). Ha a sűrűségfrakciókhoz a minőségi paramétereket is (hamutartalom, fűtőérték stb.) hozzárendeljük, számolhatók a szénelőkészítési (dúsítási) alapfüggvények, amelyek segítségével a szénelőkészítés (dúsítás) elméletileg várható eredményei becsülhetők, ill. a minőségi igények ismerete esetében a szétválasztási paraméterek és a dúsítási technológia tervezhető. A dúsításra kerülő nyersszén (aknaszén) dúsíthatóságának ismerete nélkül a technológia nem tervezhető.

### A szénelőkészítés–széndúsítás alapelvei

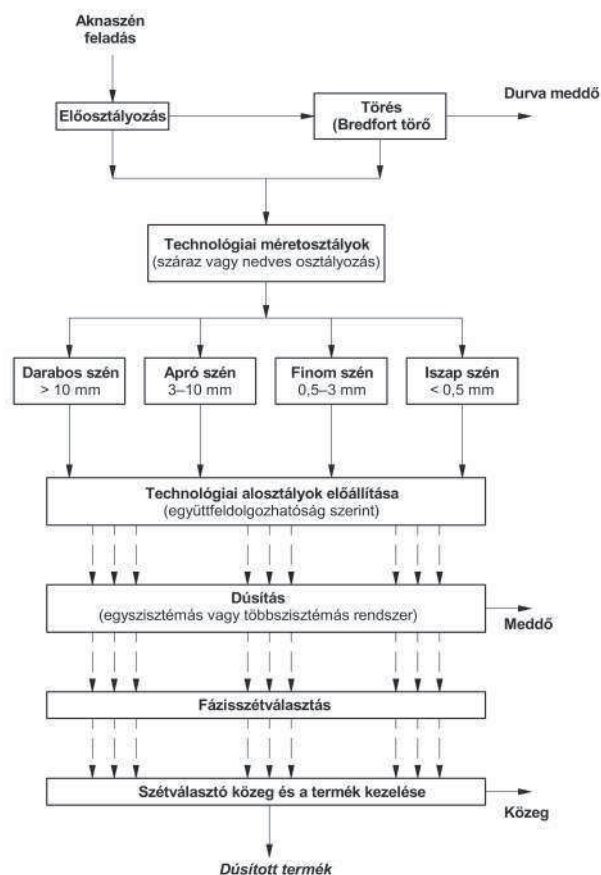
A szénelőkészítés során a nyersszén (aknaszén), teljes szemcseméret-tartományára (0–200 mm, esetleg 0–300 mm) általában nem alkalmazható azonos eljárás, vagy azonos berendezés. Az egyes mérettartományok eltérő dúsítási jellemzői, vagy technológia alkalmazhatósági korlátjai miatt a bányászat során kitermelt „nyersszén” ún. technológiai szemcseosztályokra kell bontani. Ezen túlmenően, még egy-egy technológiai méretosztályon belül is szükség lehet további méret szerinti szétválasztásra, mivel esetenként egy technológiai méretosztályon belül is több fajta eljárás alkalmazására kerülhet sor (pl. ülepítés, nehézkes statikus dúsítás) attól függően, hogy egy-, vagy többszisztémájú rendszert alkalmazunk-e.

A szénelőkészítésnél (dúsításnál) általában alkalmazható technológiai osztályok és eljárások, (szisztémák) a következő, ún. méretosztályok szerint foglalhatók össze. A 20(10)–200 mm darabos vagy durvaszén tartomány esetén alkalmazható eljárások 1. a szelektív aprítás–osztályozás (száraz eljárás), 2. optikai, vagy radiometrikus válogatás (száraz eljárás), 3. statikus nehézkes szétválasztás (nedves eljárás), 4. ülepítés (nedves vagy száraz eljárás), 5. dúsító áramkészülék (száraz vagy nedves eljárás). A 3–10(20) mm aprószén vagy finomszén tartomány esetén alkalmazható eljárások 1. a dinamikus nehézkes szétválasztás (nedves eljárás), 2. ülepítés (száraz vagy nedves eljárás), 3. dúsító áramkészülék (száraz vagy nedves eljárás), 4. szérelés (száraz vagy nedves eljárás), 5. spiráldúsítók (nedves eljárás). A 3–0,5 mm finomszén (porszén) esetében alkalmazható eljárások 1. a vizes „on-line”, autogén, vagy „sajátleves” ciklon (nedves eljárás), 2. szérelés (nedves eljárás), 3. spiráldúsítás (nedves eljárás). A <0,5 mm ún. iszapszén frakció, ill. a <0,15 mm „ultrafinom” frakció esetén alkalmazható eljárások 1. a szérelés (nedves eljárás), 2. spiráldúsítás (nedves eljárás), 3. különleges dúsító centrifugák (nedves), 4. flotálás, szelektív olajagglomerálás (nedves eljárás).

A felsorolt négy technológiai méretosztály sok esetben csak durva és finom tartományra korlátozódik. A megadott méretek nem tekinthetők éles határvonalaknak, azok tényleges alakulását a szén jellemzői, az alkalmazott eljárások és

**6.2. táblázat.** A szénélőkészítés (dúsítás) során alkalmazható/alkalmazott szétválasztási eljárások, berendezések és a szokásos alkalmazási mérettartományok

Jellemző	Eljárás	Berendezés	Alkalmazási mérettartomány
Szín	Optikai válogatás (száraz)	– Válogató szalag	100 mm felett
Mechanikai szilárdság	Szelektív aprítás (száraz)	– Bradford törő	100 mm felett
		– Kalapácsos/röpítő törő	
Sűrűség	Statikus nehézközeges szétválasztás (nedves)	– Kád szeparátor	100–6 mm
		– Dob (Wemco) szeparátor	200–10 mm
		– Drewboy szeparátor	100–6 mm
		– TESKA szeparátor	100–6 mm
		– Kónusz szeparátor	100–6 mm
	Dinamikus nehézközeges szétválasztás	– Nehézsuszpenziós ciklon	25 mm alatt
		– Larcoderm	120 mm alatt
		– Vizes (online) ciklon	25 mm alatt
		– Tri-Flo szeparátor	25 mm alatt
	Ülepítés (száraz, nedves)	– Baum ülepítő (nedves)	100–10 mm
		– Batac ülepítő (nedves)	100–10 mm
		– Finomülepítők (nedves)	10–0,5 mm
		– ROM ülepítő (nedves)	400–30 mm
		– Száraz ülepítők	40–0,5 mm
Sűrűség és szemcseméret	Dúsító áramkészülékek Szérelés	– Homok szér	5–0,5 mm
		– Iszap szér	0,5 mm alatt
Határfelületi tulajdonság	Spiráldúsítók Flotálás (nedves) Szelektív agglomerálás (nedves)		2(3)–0,1 mm
			0,5 mm alatt
			0,5 mm alatt
Mágneses permeabilitás	Mágneses szeparálás (száraz, nedves)		10 mm alatt
Elektromos vezetőképesség	Elektro-szeparálás		3 mm alatt

**6.1. ábra.** A szénélőkészítés általános elvi sémája

berendezések módosíthatják. A 6.2. táblázatban összefoglalt eljárások alkalmazási területei, alkalmazási feltételei, még egy technológiai mérettartományon belül is eltérők lehetnek. Az egyes eljárások alkalmazásával elérhető szétválasztási élességek is jelentős eltérést mutatnak. Az alkalmazandó eljárás kiválasztását a feldolgozásra kerülő szén dúsíthatósági jellemzője, a szétválasztás során elvárt élesség, elvárt termékminőség alapvetően determinálja. A korábbi megállapítást megismételve le kell szögezni, hogy a nedves eljárások szétválasztási élessége minden esetben jobb, mint a száraz eljárásoké. A szénélőkészítés itt bemutatott elvi sémája (6.1. ábra) száraz és/vagy nedves eljárások alkalmazása esetére is igaz. Sok esetben a kitermelt szén (aknaszén) teljes mérettartományát nem dúsítják, hanem az osztályozást követően bizonyos méretosztályt, minőség szerinti szétválasztás nélkül értékesítenek. A barnaszénnek esetében gyakori, hogy a 20(10) vagy a 3(5) mm alatti rész közvetlen energetikai hasznosításra kerül. Lignitek esetében általában csak a durva meddő leválasztására kerül sor az energetikai hasznosítás előtt.

### A szénélőkészítés–széndúsítás főbb eljárásai és berendezései

A 6.1. táblázat adataiból láthatók azok a fizikai, mechanikai, optikai jellemzők, amelyek alapján a szén és a meddő szétválasztható. Bár számos jellemző alapján megvalósítható lenne a szétválasztás, a széndúsítás esetében meg-

határozó a szén és a meddő eltérő sűrűsége és/vagy az eltérő határfelületi tulajdonsága. A szénelőkészítés (széndúsítás) során alkalmazható szétválasztási (dúsítási) eljárásokat és a szokásos alkalmazási mérettartományát a 6.2. táblázat foglalja össze. A mérettartományok nem jelentenek éles határokat, attól a szén jellemzői, a technológiai rendszer, a helyi adottságok és igények alapján el lehet (el is kell) térni.

Ma a világ teljes széntermelésének megközelítően a felét dúsítják, másik felét, aprítást és osztályozást követően hasznosítják. A működő szénelőkészítő (dúsító) művekben feldolgozásra kerülő aknaszén 70–75%-át a sűrűség szerint (gravitációs eljárások) 10–15% át flotálással dúsítják (6.3. táblázat). Az egyéb dúsítási eljárások aránya 5–10%. A mágneses vagy elektromos szétválasztási eljárásokat csak különleges esetekben, különleges minőségű szénkoncentrátum előállítására, döntően a szenek kéntelenítésére (pirit kiválasztására) alkalmazzák.

**6.3. táblázat.** A szénelőkészítési kapacitás %-os megoszlása eljárások szerint (vezető széntermelő országok) (dti 2001 alapján)

Ország/eljárás	USA	Ausztrália	Dél-Afrika	Kína	India	Németo.	Oroszo.	UK
Ülepítés	13	22	0	60	47	79	48	30
Nehézközeges	52	60	85	23	35	15	24	30
Flotálás	18	10	5	14	2	6	10	15
Egyéb	17	8	10	3	16	0	18	25

### A szénelőkészítési–széndúsítási eljárások alkalmazhatósága és szétválasztási élessége

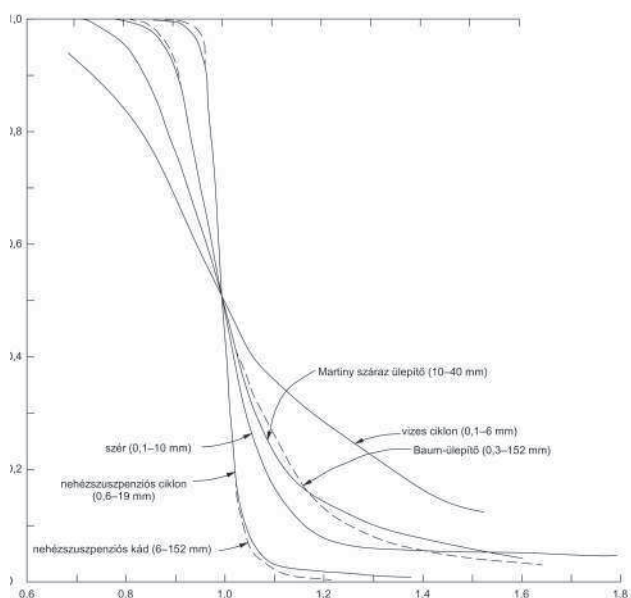
A 6.2. táblázat számos eljárást és berendezést tartalmaz, bár a felsorolt eljárások és/vagy berendezések azonos, vagy hasonló feladatra alkalmazhatók, de az egyes eljárásokkal és berendezésekkel elérhető szétválasztási élesség jelentősen eltér/eltérhet. A szétválasztás élességét az előkészítéstechnikában a szétválasztási függvénnyel, a szétválasztási függvényről leolvasható/származtatható értékekkel (paraméterekkel) jellemezhetjük. A szétválasztási függvény (Tromp függvény) alakja, lefutása pontos tájékoztatást ad a dúsítás eredményességéről. A Tromp függvény megmutatja, hogy a feladásban lévő, egy meghatározott tulajdonságú anyag rész milyen hányadban kerül a szétválasztási termékekbe. Matematikailag:

$$T(\rho) = m_{\text{termék}} f(\rho_{\text{termék}}) d / f(\rho_{\text{feladás}}) d\rho$$

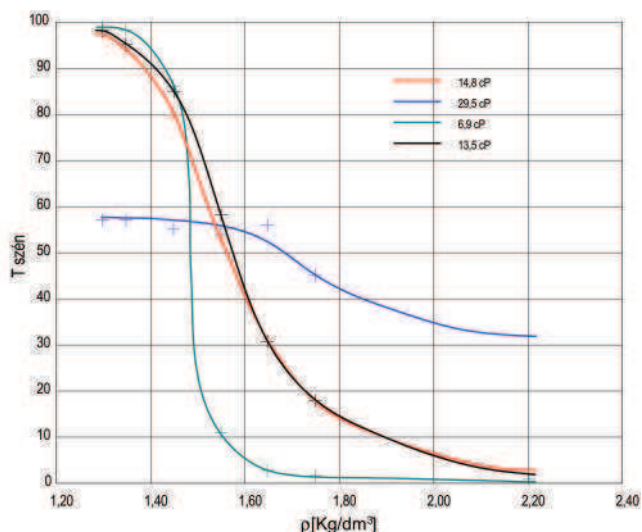
azaz: a  $T$  érték az elválasztás fizikai paraméter (sűrűség) termékre és feladásra jellemző sűrűség-függvények hányadosa. Az  $m_{\text{termék}}$  a termék tömegkihozatala.

A szétválasztás egyik jellemző értéke az elválasztási paraméter ( $\rho_{50}$ ), sűrűség szerinti szétválasztás esetén az elválasztási sűrűség ( $\rho_{\text{elv}}$ ), az a sűrűségérték, amely esetében, az adott jellemzővel rendelkező szemcsék fele-fele arányban oszlanak meg szétválasztott termékekben. Tökéletes szétválasztás esetén a  $T=1$  vagy 0, azaz minden, a  $\rho > \rho_{\text{elv}}$  sűrűségű szemcse a „könnyű” (mosott szén) termékbe és minden,  $\rho < \rho_{\text{elv}}$  sűrűségű szemcse pedig a „nehéz” (meddő) termékbe kerül. Tökéletes szétválasztás csak elméletileg képzelhető el. A szétválasztás élességét a  $T$  függvény meredeksége mutatja, amit az  $E_p$ , a Terra féle mérőszám jellemez. Az  $E_p$  a 25% megoszláshoz tartozó sűrűségérték  $\rho_{25}$  és a 75%-os megoszláshoz tartozó sűrűségérték  $\rho_{75}$  különbségének (abszolút értékben) a fele:

$$E_p = (\rho_{25} - \rho_{75})/2$$



**6.2. ábra.** A sűrűség szerinti szétválasztási eljárások Tromp függvényei (A vízszintes tengelyen  $\rho/\rho_{50}$ , a függőleges tengelyen a szétválasztási Tromp érték) KELLY, SPOTTISWOOD (1982)



**6.3. ábra.** A nehézközeges szétválasztás (Wemco dobszeparátor) Tromp függvényének alakulása a szuszpenzió viszkozitásától függően

„Tökéletes” szétválasztás (nem valósítható meg) esetén  $E_p=0$ . Minél nagyobb az  $E_p$  értéke, annál rosszabb (kevésbé éles) a szétválasztás. A szénélőkészítés során leggyakrabban alkalmazott sűrűségi dúsítási eljárások jellemző ( $\rho/\rho_{50}$  értékre redukált) szétválasztási függvényeit a 6.2. ábra mutatja.

A 6.2. ábra alapján megállapítható, hogy a legélesebb szétválasztás a nehézsuszpenziós eljárásokkal (statikus és dinamikus) érhető el. Meg kell azonban jegyezni, hogy a nehézsuszpenziós eljárások esetében a szuszpenzió (szétválasztó közeg) reológiai tulajdonsága (szennyezettsége) nagymértékben befolyásolja a tényleges eredményt. A 6.3. ábra jól mutatja a szétválasztó közeg (nehézsuszpenzió) reológiai tulajdonságának befolyását a szétválasztás eredményére. A WEMCO dobban történt szétválasztások (üzemi mérések), vizsgált három esetben, minden paraméter azonos volt, kivéve a szétválasztó közeg viszkozitását (szennyezettségét). A főbb eljárásokkal elérhető (gyakorlati adatok) szétválasztási eredményeket 6.4. táblázat foglalja össze. HONAKER (2007), a finom szén dúsítása során elért eredmények ismertetése kapcsán

**6.4. táblázat.** Nedves szénélőkészítés során leggyakrabban alkalmazott eljárások és berendezések működési mérettartománya, elválasztási paraméter és az elérhető szétválasztási élesség ( $E_p$ ) (Illinois –feketeszen,  $Ad=27,8\%$ ;  $St=6,0\%$ ; fűtőérték: 10 087 Btu/lb) (U.S.G.S. 2009 alapján)

Szétválasztási berendezés	Mérettartomány [mm]	Elválasztási sűrűség [ $\text{kg}/\text{dm}^3$ ]	$E_p$
Nhézsuszpenziós kád	100–6	1,3–1,6	~0,025
Nhézsuszpenziós ciklon	6–0,6	1,4–1,8	~0,033
Ülepítés		1,55–1,9	
– Baum ülepítő	100–0,8		~0,091
– Batac ülepítő	15–0,15		~0,09
– ROM ülepítő	350–40		~0,15
– Finom (iszap) ülepítő	6–0,1		~0,15
– Száraz ülepítők	40–0,5		0,15–0,25
Mozgatott szér	6–0,1	1,55–2,0	~0,086
Vizes ciklon	9–0,15	1,55–2,0	0,15–0,30
Dúsító spirál	4–0,15	1,6–2,0	~0,15
Flotálás	0,6 alatt	NA	NA

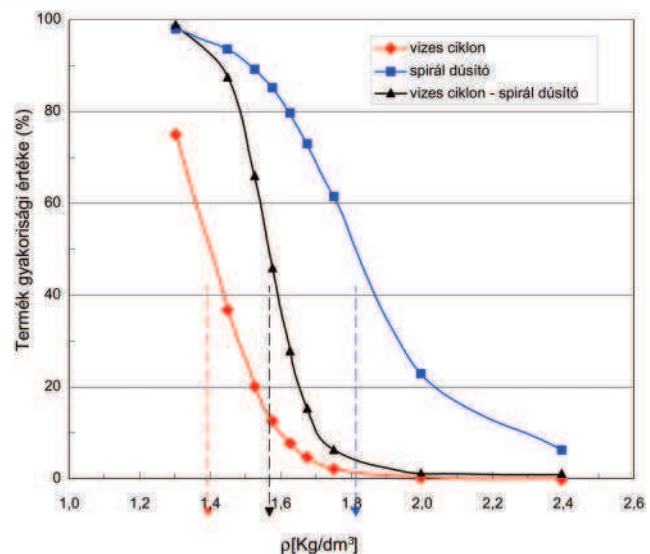
közreadta (WOC) vizes ciklon, spiráldúsító, vizes ciklon (WOC) és spiráldúsító alkalmazásával elért (üzemi eredmények) szétválasztás Tromp függvényeit (6.4. ábra).

### A széndúsítás során alkalmazott eljárások és fő berendezések

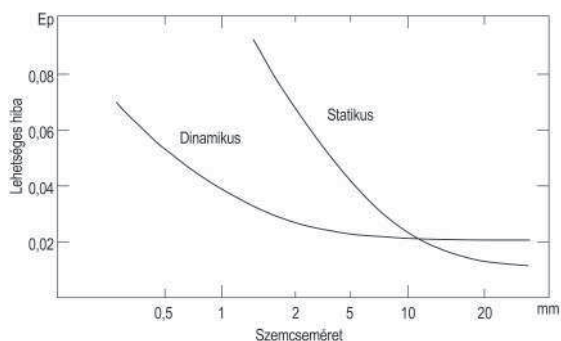
A széndúsítás meghatározó eljárásai a sűrűség szerinti szétválasztás és az eltérő határfelületi tulajdonság szerinti szétválasztás. A sűrűség (sűrűség és szemcseméret) szerinti szétválasztási eljárások közül a nehézközeges, nehézsuszpenziós (DMS vagy DM) eljárások a meghatározók. A szétválasztás során az elválasztási sűrűség általában 1,3–2,2  $\text{kg}/\text{dm}^3$  között változhat. Néhány kivételtől eltekintve a szétválasztási közeget (nehézsuszpenzió) magnetit (5–5,2  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ) és víz keverékéből állítják elő. A magnetit alkalmazásának számos előnye van. Viszonylag magas sűrűség mellett, kevésbé, vagy nem aprózódik, mágneses tulajdonsága révén könnyen kinyerhető, regenerálható, viszonylag egyszerűen beszerezhető.

Magasabb elválasztási sűrűség 1,8–2,2  $\text{kg}/\text{dm}^3$  („tisztá” meddő leválasztása) a magnetit mellett ferroszilíciumot is használnak kb. 50–50% arányban. A ferroszilícium is jól regenerálható, sok tekintetben hasonló tulajdonságokkal bír, mint a magnetit, csak nagyobb a sűrűsége (kb. 6–7  $\text{kg}/\text{dm}^3$  az ötvözet összetételétől függően).

A nehézközeges szétválasztás történhet gravitációs erőterben (statikus nehézsuszpenziós eljárás) és centrifugális erőterben (dinamikus nehézsuszpenziós eljárás). A statikus eljárást, a berendezéseket általában a durva szén (6–10 mm felett), a dinamikus eljárásokat az aprószen és a finom szén (0,5–3 mm felett) dúsítására alkalmazzák. A két eljárás alkalmazásának határát igazából az elérhető szétválasztási élesség jól kijelöli. Hozzávetőlegesen 10 mm az a szemcseméret, amely felett a statikus szétválasztás  $E_p$ -je kisebb, mint a centrifugális erőterben történő nehézközeges



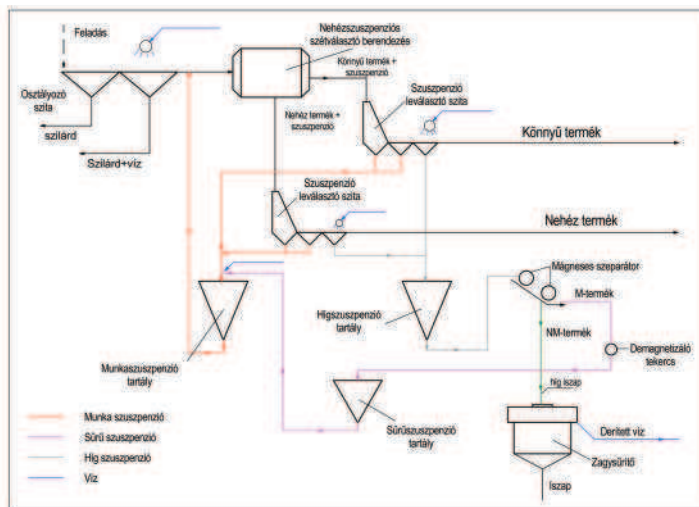
**6.4. ábra.** Finom szén nedves dúsítása során elérhető eredmények, a szétválasztások Tromp függvényei (HONAKER 2007)



6.5. ábra. A statikus és dinamikus nehézközeges eljárással elérhető szétválasztási élesség ( $E_p$ ) változása a szemcseméret függvényében (BURT, MILLS 1984)

elválasztás (6.5. ábra). 10 mm alatt a dinamikus nehézközeges eljárással érhető el a jobb szétválasztás.

A statikus nehézsuszpenziós szétválasztási eljárás egyszerűsített elvi ábráján (6.6. ábra) a szénmeddő anyagáramok mellett a szétválasztó közeg, azaz a nehézsuszpenzió körfolyamai is feltüntetésre kerültek. A szénelőkészítés során gyakori, hogy csak „tisztá szén” (mosott szén) és/vagy csak „tisztá meddő” leválasztására kerül sor, a további felhasználói igények szerint (pl.  $1,4 \text{ kg/dm}^3$  és/vagy  $2,0 \text{ kg/dm}^3$  elválasztási sűrűségek alkalmazása). Két kéttermékes vagy háromtermékes szétválasztással (pl. WEMCO dobszeparátor vagy Teska kád szeparátor) a tiszta szén és tiszta meddő mellett energetikai célra hasznosítható középtermék is leválasztható. Környezetvédelmi és energetikai megfontolások alapján a szénelőkészítés során a tiszta meddő leválasztása kell, hogy az elsődleges cél legyen.



6.6. ábra. Kéttermékes statikus nehézsuszpenziós szénelőkészítési rendszer egyszerűsített elvi technológiai sémája

#### *A statikus nehézsuszpenziós technológia főbb (gyakorlatban alkalmazott) berendezései*

A statikus nehézsuszpenziós szétválasztási eljárás 1950–1960 közötti időszakban jelent meg és terjedt el a szénelőkészítésben, a kezdeti időszakban a „durva” (25 mm felett, a 25–150 mm közötti mérettartományra) szemcsés feketeszenek dúsítására, a már korábban is alkalmazott ülepítés mellett/helyett. Az eljárással elérhető nagyon jó szétválasztási élesség segítette az elterjedést. Napjainkban az eljárás az egész világon elterjedt, nem csak a feketeszenek, hanem a barnaköszenek és lignitek előkészítésére is. Az eljárás alkalmazását, a technológia kialakítását számos tényező befolyásolja, de elsősorban a szén és a meddő tulajdonságai a meghatározók.

A statikus nehézsuszpenziós berendezésbe, az előzetesen nedvesen osztályozott „nyersszén”, a meghatározott és beállított sűrűségű, lassan mozgó, vagy álló (ezért statikus eljárás) szétválasztó közegbe ( $\rho_k$ ) kerül feladásra. A  $\rho < \rho_k$  sűrűségű szemcsék (alkotók) a szétválasztó közeg felszínére kerülnek (úszó termék, „mosott” szén), a  $\rho > \rho_k$  sűrűségű szemcsék (alkotók) a „nehéz” közegben leülepednek (nehéz termék, „meddő”). A szétválasztás gravitációs erőterben megy végbe. Egy berendezésben két különböző sűrűségű elválasztó közeg alkalmazásával három termék szétválasztására is van lehetőség (mosott szén, középtermék, meddő).

A statikus nehézsuszpenziós szétválasztás megvalósítására számos, különböző típusú berendezést fejlesztettek ki és alkalmaznak ma is a világban. Az ismert típuscsoportok, a kónusz szeparátorok, a kád szeparátor, a dob szeparátor, a „szekrényes”, vagy kombinált szeparátorok (szögletes és hengeres elemekből épülnek fel). Az egyes berendezéstípusok alkalmazási feltételei, körülményei eltérhetnek egymástól.

A nehézsuszpenziós kád szeparátorok (BURT, MILLS 1984) ma már kevésbé elterjedtek, inkább a korábban beépített berendezések működnek néhány amerikai szénelőkészítő üzemben. A „kád” alakú szétválasztó tartály tartalmazza a „nehéz” közeget. A nyersszén folyamatosan vezetik be a szétválasztó térbe, az úszó szénterméket végtelenített hosszirányú kihordószalag felső ága, a leülepedett meddőt az alsó ága szállítja ki, hosszirányban, a berendezésből.

A nehézsuszpenziós dobszeparátorok, első sorban a WEMCO cég által kifejlesztett két és háromtermékes Wemco dobszeparátorok széles körben elterjedtek a durva (darabos) szén feldolgozására (WILKES 2008). A feladásra kerülő szén szemcsemérete általában 10–200 mm közötti, de egyes esetekben 300, akár 500 mm is lehet a felső méret. Berendezésben két és háromtermékes szétválasztás is megvalósítható. A szétválasztás csónkakúpos végekkel záródó hengeres tartályban (dob) történik, amelybe folyamatosan vezetik be a szétválasztó közeget (nehézsuszpenzió) és a feldolgozásra kerülő, nedvesen előosztályozott „nyers” szenet. A bevezetett szuszpenzió a dob tengelye irányába folyamatosan, lassan kifelé áramlik, kiszállítva berendezésből az „úszó” terméket. A leülepedett nehéz terméket a tengelye körül lassan forgó dob, belső palástján kialakított spirál emeli ki és egy csúszdán kerül ki a berendezésből.

A WEMCO dobszeparátor különböző méretben készül. A legnagyobb berendezés dobátmérője 5,4 m és a hengeres rész

hossza 8,1 m (WILKES 2008). A feldolgozható szemcseméretet a kiömlő szuszpenzió mennyisége (vastagsága) alapvetően determinálja. A berendezésre feladható anyagemennyiség 400 t/óra. (20–25 t/óra/m<sup>2</sup> fajlagos feldolgozó-képességgel számolhatunk.) Magyarországon korábban Tatabányán, Borsodban és Nógrádban működtek ilyen berendezések. A WEMCO dobszeperator előnye, az egyszerű felépítése, viszonylag egyszerűen kezelhető, üzemeltethető, nagy a feldolgozóképesége. Hátránya azonban, hogy alacsonyabb feldolgozási igény esetén is a szuszpenzió térfogatáramot fenn kell tartani, hogy az úszó termék kiszállítódjon a berendezésből.

A kombinált, vagy „szekrényes” nehézszuszpenziós szeparátorokban „szögletes” elemekből felépülő tartályban történik meg a szétválasztás. Az úszó termék a szuszpenzió túlfolyásával távozik kiemelő lapátokkal segítve, míg a leülepedett nehéz terméket a tartályhoz épített lapátszerkezet, vagy henger emeli és szállítja ki a szétválasztó térből.

A francia fejlesztésű Drewboy szeparátorban (BURT, MILLS 1984) a „szögletes” elemekből felépülő tartályban zajlik a szétválasztás, a tartály egyik végén történik a szuszpenzió bevezetése szétválasztandó előosztályozott „nyers” szén feladása. A lassan áramló közegben a szemcsék sűrűség szerint szétválasztódnak, az úszó termék („mosott” szén) a túlfolyó szuszpenzióval távozik, míg a leülepedett „meddő”-t a tartályhoz kapcsolódó ferde síklapon forgó kihordókerék emeli ki. A feladási szemcseméret általában 13–300 mm közötti. A berendezés szokásos teljesítménye, (tartály és a kihordószerkezet méreteitől függően) 300–500 t/óra. Ez a berendezéstípus különösen Nagy-Britanniában, Oroszországban terjedt el, de számos üzemben megtalálható Európában és Amerikában is. Magyarországon a Pécsi Szénélőkészítőben üzemelt ilyen berendezés.

A német fejlesztésű (1959) Teska szeparátorban (BURT, MILLS 1984) egy szögletes elemekből álló tartályban történik meg a szétválasztás. A nehézszuszpenzióval telt tartályba kereszt irányban történik meg a szuszpenzió bevezetésével együtt a feladás. Az úszó termék (mosott szén) kihordását egy kiemelő forgó lapátkerék segíti. A leülepedett nehéz terméket (meddő) a szétválasztó tartályba merülő, lassan forgó, perforált felületű hengergyűrű emeli ki és onnan egy kihordó csatornába kerül.

### *Dinamikus nehézközegek szétválasztó eljárások és berendezések*

A dinamikus nehézközegek eljárás során, a szétválasztás, centrifugális erőterben történik. Ezt az eljárást elsősorban az apró (10 mm alatti) szén sűrűség szerinti szétválasztására fejlesztették ki. Az első alkalmazások már 1950 körül üzemszerűen megindultak. A centrifugális erőter alkalmazásával az eltérő sűrűségű szemcsék esetében a „szétülepedési” idő lecsökken. A dinamikus szétválasztás ciklonokban, örvénycsőekben valósítható meg. Az eljárás ismertebb és gyakorlatban is elterjedt főbb berendezései a nehézszuszpenziós ciklon, a „vizes” ciklon (sajátleves ciklon), a Dyna Whirlpool szeparátor (örvénycső), a Vorsyl szeparátor (örvénycső), Larcoderm szeparátor (örvénycső), a Tri-Flo szeparátor (örvénycső).

A nehézszuszpenziós ciklont (SINGLETON 2013) eredetileg a 0,5–20 (10) mm szemcseméretű szenek dúsítására fejlesztették ki, de ma már 80–100 mm felső szemcseméretig is alkalmazzák. A „hengeres” tartályba, tangenciálisan vezetnek be a nehézszuszpenzió-nyerszén keverékét, a nehéz termék (meddő) a szuszpenzió egy részével a hengeres részhez csatlakozó kúpos alsó részen lévő, szabályozható kivezető nyíláson távozik. A könnyű termék (mosott szén) a hengeres rész lezáró fedelébe beépített, a hengeres részbe részben benyúló, csövön („örvénykereső cső”) kerül kivezetésre, a szétválasztó közeg nagyobb részével együtt. A berendezés különösen a Dél-Afrikai Köztársaságban elterjedt. A korábban épült előkészítőművekbe 500–600 mm átmérőjű ciklonok üzemelnek, a ma létesülő korszerű széndúsító művekben már 1250–1500 mm átmérővel kerülnek beépítésre. A Dél-Afrikai Köztársaságban üzemszerűen működő nehézszuszpenziós ciklonok főbb paramétereit (tényleges üzemi adatok) a 6.5. táblázat foglalja össze.

A vizes ciklonokat 2–3 mm alatti, finom szén, centrifugális erőterű, egyszerű és olcsó szétválasztására fejlesztették ki (BURT, MILLS 1984). 1960–1970 között alkalmazták intenzíven, elsősorban energetikai szenek dúsítására erőművek számára. Az eljárás elvi alapja, hogy a szétválasztó „nehéz” közeget a feldolgozásra kerülő szén „iszap” frakciója (0,5 mm alatti rész) és a víz keveréke képezi, nem alkalmaznak külön „idegen” szuszpenzió alkotó szilárd anyagot (magnetitet). A magas hengeres résszel (body) kialakított ciklonba, tangenciálisan vezetnek be a feldolgozásra kerülő szén–víz keveréket. A hengeres részt alul egy tompaszögű csónakakúp zárja le, ezen át távozik a nehéz termék („meddő”) a folyadék kisebb részével. A hengeres részbe benyúló, nagyobb átmérőjű (osztályozó ciklonokhoz képest) örvénykereső cső biztosítja a

**6.5. táblázat.** Dél-Afrikai szénbányászatban üzemszerűen működő, nehézszuszpenziós dúsító ciklonok főbb műszaki paraméterei (RUDMAN 2015)

Ciklonátmérő (mm)	Feladás szemcsemérete Max. (mm)	Zagy térfogatáram (m <sup>3</sup> /óra)	Szilárdanyag feladás (t/óra)
600	40	190	75
800	53	400	160
900	60	525	210
1000	67	625	250
1250	83	1030	412
1500	100	1477	591

„könnyű” termék (szén) kivezetését, a víz nagyobb részével. A berendezéssel  $\sim 1,6 \text{ kg/dm}^3$  elválasztási sűrűség érhető el, viszonylag gyenge elválasztási élesség mellett (6.2. ábra), viszont nagy a feldolgozó képesség, egyszerű és olcsó az üzemeltetés. Ma már Kínában és Ausztráliában is alkalmazzák. A korábban Magyarországon kifejlesztett HALDEX eljárás is ezen az elven alapult.

A LARCODEMS (Large Coal Dense Medium Separator) nehézközeges szeparátort (örvénycső) (RUDMAN 2015) a British Coal Corporation (BCC) fejlesztette ki az 1980-as évek elején, durvább szemű (100–1 mm közötti) „apró” szenek nehézsuszpenziós, centrifugális erőterben történő szétválasztására. A berendezés alkalmazása Anglián kívül a Dél-

6.6. táblázat. Larcodem nehézsuszpenziós szeparátor műszaki adatai (RUDMAN 2015)

Hengeres rész átmérője (mm)	Szuszenzióáram (m <sup>3</sup> /óra)	Feldolgozókapesség (t/óra)	Maximális szemcseméret (mm)
850	500	200	75
1000	700	250	85
1200	850	350	100
1350	125	450	120

Afrikai Köztársaságban terjedt el, ahol először 1994-ben került üzembe helyezésre. A berendezés üzemeltetési paraméterei hasonlóak a nehézközeges ciklonokhoz, de a tapasztalatok alapján a LARCODEMS berendezésekkel hatékonyabb (élesebb) szétválasztást lehet megvalósítani. A berendezés eredményesen alkalmazható erőműi szenek dúsítására (meddő leválasztására). A Dél-Afrikai Köztársaságban üzemelő LARCODEMS berendezések főbb műszaki adatait a 6.6. táblázat foglalja össze (HORSFALL 1980).

### Ülepítés, ülepítő berendezések

Az ülepítés az egyik legrégebben alkalmazott előkészítési eljárás. Az eljárás viszonylag egyszerű és olcsó (olcsóbb, mint a nehézsuszpenziós eljárás). Különösen az 1970-es 80-as évektől terjed el a nagy széntermelő országokban, amit az új korszerű, nagyteljesítményű ülepítő berendezések (Baum, Batac, ROM) kifejlesztése tett lehetővé. Ma első sorban USA, Kína, Ausztrália, Dél-Afrika, Németország szénelőkészítő üzemekre jellemző.

Az eljárás alapja, hogy a különböző sűrűségű (szén–meddő) szemcsékből álló anyaghalmazt perforált lapra (szitára) helyezve (ülepítő ágy), periodikusan fellazítják lehetővé téve ezzel a szemcsék mozgását. A fellazítás csak olyan mértékű, hogy a szemcsék, lazítás utáni mozgásuk során, ne érhék el a süllyedési végsebességet. A folyamat eredményeként a nagy sűrűségű szemcsék (meddő) az ülepítő ágy alsó zónájába, a kis sűrűségű szemcsék (szén) az ülepítő ágy felső zónájába kerülnek. A sűrűség szerint szétüledett rétegeket az ülepítő berendezésből kivezetik.

A folyamat elméleti alapjait nem részletezve, a szétrétegződés magyarázatát a szemcsemozgás instacioner mozgási szakaszában végbemenő szemcsegyorsulás folyamata adja, tekintettel arra, hogy a gyorsulás kizárólag a sűrűség függvénye (nem függ a szemcsemérettől, a szemcse tömegétől). A nagyobb sűrűségű szemcse kezdeti gyorsulása nagyobb, mint a kisebb sűrűségű szemcséé, így a kezdeti szakaszban megtett út is nagyobb, függetlenül a süllyedési végsebességektől (nem érheti el a szemcse) nagyságától. Ez teszi lehetővé, hogy az ülepítésre feladott mérettartomány az együttüledési hányados (r) akár többszörösen meghaladó érték legyen.

A száraz ülepítés során azonban célszerű az együttüledési hányados értékét figyelembe venni. Az együttüledési hányados, az együtt feldolgozható szemcseméreteket (szén maximális szemcsemérete  $x_{\text{szmax}}$  és a meddő minimális szemcsemérete  $x_{\text{Mmin}}$ ) hányadosa adja, amely érték a szén ( $\rho_{\text{sz}}$ ), meddő ( $\rho_{\text{M}}$ ) és a közeg ( $\rho_{\text{k}}$ ), sűrűségekből számolható a következő szerint.

$$r = x_{\text{szmax}} / x_{\text{Mmin}} = (\rho_{\text{M}} - \rho_{\text{k}}) / (\rho_{\text{sz}} - \rho_{\text{k}})$$

Az ülepítés folyamata víz, vagy levegő közegben is megvalósítható (nedves, vagy száraz ülepítés). A szemcsehalmaz fellazítása történhet nyugvó közegben az ülepítő ágy mozgásával (mozgósztatás ülepítők), vagy a közeg mozgatásával (állósztatás ülepítők). Az ülepítést, a korszerű ülepítő berendezéseket a szénelőkészítésben ma 0,1–400 mm mérettartományban üzemszerűen alkalmazzák is. A nedves berendezések közül a szénelőkészítésben legelterjedtebb a BATAC (1964), a Baum (1968) és a ROM (1984) ülepítők.

A BATAC és a Baum ún. pulzációs ülepítő berendezések jelentős fejlődést hoztak az ülepítési eljárás alkalmazásában. A pulzációs ülepítő berendezésekben nem „mozgó” alkatrészek (dugattyú, membrán stb.) közreműködésével történik a közeg (víz) mozgatása, hanem levegő, ill. víz pulzációszerű bevezetésével. Ezzel a folyamat jobban szabályozható, kezelhető, a berendezés kialakítása sokkal egyszerűbb, mint a korábbi berendezések esetében.

A BATAC levegő-pulzációs ülepítő berendezés, széles mérettartományban (150–0,1 mm) alkalmazható a szénelőkészítésben. Az ülepítő közeg mozgatását az ülepítő ágy alatt lévő „légkamrákba” szabályozva bevezetett levegőpulzáció biztosítja (BATAC, ROMJIG 2011). A mozgásba hozott ülepítő közeg (víz) lazítja fel az ülepítő ágyat. A pulzáló levegőt szabályozva ki is vezetik a légkamrákból, így nem kerül át az ülepítő közegen és az ülepítendő ágyon, nem zavarja meg a

szétüledés folyamatát. A pulzáció frekvenciája durva ülepítő esetében 45–55 1/perc, finom ülepítő esetében 70–100 1/perc. A fellazítás amplitúdója 200–100 mm, ill. 20–5 mm. A szénélőkészítő üzemekben működő, különböző típusú BATAc ülepítők típusait, a feldolgozható szemcseméret-tartományt és a feldolgozási kapacitás adatokat a 6.7. táblázat tartalmazza. A berendezéstípus legfőbb előnye: az egyszerű kezelhetőség és szabályozhatóság, az alacsony üzemeltetési költség, a magas feldolgozási teljesítmény és egyszerű, de robusztus kialakítás. A BATAc berendezés alkalmazása, a német szénbányászat mellett, USA, Kína, India, Ausztrália, Oroszország szénélőkészítő üremeiben terjedt el, kiemelten a 10–100 mm közötti durva szén (darabos szén) dúsítására.

A levegő-pulzációs Baum ülepítő berendezést (BATAc, ROMJIG 2011) a német származású Fritz Baum fejlesztette ki 1892-ben. A berendezést az 1950-es évektől alkalmazták a szénélőkészítésben, döntő részben a BATAc ülepítő berendezések kifejlesztése előtt. A berendezésben az ülepítő közeg (víz) mozgatását biztosító levegőpulzációt, az ülepítő ágy mellett kialakított „léggamrák”-ból biztosítják. A léggamrákba a levegő be és kiáramlását egy dugattyús vezérlés szabályozza. A levegő itt sem kerül az ülepítő közegbe, vagy az ülepítő ágyba. A dugattyús vezérlés kevésbé teszi lehetővé magasabb frekvenciájú mozgatást, ezért ez a berendezés inkább a 150–30 mm-es szenek feldolgozásánál alkalmazták.

A mozgó szítás nedves ROMJIG ülepítő berendezést (BATAc, ROMJIG 2011) a német KHD cég fejlesztette ki 1984-ben, kifejezetten az energetikai célra kitermelt barnaszén, lignitek előkészítésére. Az ülepítő nevében („Run of Mine”) is tartalmazza a kifejlesztés célját, hogy a bányából kikerülő „nyersszén” dúsítását oldják meg minden különösebb előkezelés nélkül. A berendezés 40(30)–350 mm-es nyersszén dúsítására alkalmas, de akár 500 mm-es maximális szemcsemérettel is üzemeltethető. A berendezés két különböző kialakításban készül, külszíni előkészítőműben, ill. föld alatti térben történő elhelyezés céljából. A két kialakítás csak a termékek kihordásában tér el, de a lényegi ülepítő rész, mindkét kialakításnál azonos. A berendezés fő eleme a vízzel telt tartályba merülő, egy ponton rögzített, a vízszinteshez képest kissé ferde helyzetű „ülepítő szita”, erre történik az előosztályozott (30–400 mm-es) nyersszén feladása. Az „ülepítő szitát” a folyamatosan bevezetett anyag fellazítása érdekében, a vízben, 35–45 1/perc frekvenciával mozgatják (körívpályán). A feladási anyagáram előre haladva folyamatosan fellazul, és sűrűség szerint szétüledik. A „nagy” sűrűségű meddő az anyagágy alsó részén, a „kis” sűrűségű szén a felső zónába helyezkedik el.

Felszíni kialakítás esetén a sűrűség szerint rendeződött anyagáramot a berendezésbe beépített perforált felületű kiemelő hengergyűrű vezeti tovább két, hengeresen elválasztott részbe, az ülepítő ágyba beépített, állítható „elválasztó lemezzel” választva ketté. A hengergyűrű folyamatosan forog és az elválasztott részekből a szén, ill. a meddő külön kivezető csúszdára kerül. Föld alatti beépítés esetén a szénterméket, az ülepítő ágyhoz csatlakozó kihordó spirállal, a meddőt az ülepítő ágy alá beépített, ferde, fogazott kihordó szalaggal vezetik el. A berendezéssel a „tisza meddő” ( $>1,9 \text{ kg/dm}^3$  sűrűségű rész) több mint 95%-a leválasztható. Bár nedves ülepítő berendezésről van szó, a vízigény minimális  $0,03 \text{ m}^3/\text{t}$ . A ROMJIG fajlagos energiaigénye is alacsony  $0,2 \text{ kWh/t}$ . A berendezést ma már Németország mellett Indiába és Kínába is elterjedt, és eredményesen alkalmazzák a durva (30–400 mm) meddő (pl. India 81%-os hamutartalmú meddő) leválasztására (HASANKHOEI et al. 2014).

### Száraz eljárások és berendezések

A nagy széntermelő országokban részben gazdasági megfontolásokból igény jelentkezik a kitermelt szenek száraz előkészítésére, dúsítására. A száraz eljárások alkalmazását azonban nagyban gátolja a kitermelt szén magas nedvességtartalma ( $>10\%$ ), a száraz szétválasztási eljárásokkal elérhető viszonylag gyenge ( $E_p \sim 0,3\text{--}0,4$ ) szétválasztás, a feldolgozási szemcseméretkorlátok (a száraz válogatás kivételével a technológia alkalmazásának felső mérethatára 40 mm), a porképződés és a környezetvédelmi hatások. Száraz eljárásokat ennek megfelelően inkább korábban, 1930–1965 között alkalmaztak.

A száraz gravitációs széndúsítási eljárások alkalmazása során különös jelentősége van a nedvességtartalom mellett a megfelelő méretosztály kiválasztásának. Száraz áramkészülékek, légülepítők esetén az együttüledési hányados ( $r$ ) figyelembe vétele nem elhanyagolható, amely a szén meddő keverék esetében,  $\rho_M = 2,4 \text{ kg/dm}^3$  és  $\rho_{sz} = 1,2 \text{ kg/dm}^3$  értékekkel számolva is csak 2 (víz közegben hasonló sűrűség értékeknél ez 7). Ezért száraz széndúsítási méretosztályok általában szűkek, 20–40 mm; 10–20 mm, 3–10 mm és 1–3 mm. Dúsító áramkészülékek esetében, ha az alakítókat is figyelembe vesszük, még ennél is szűkebb (1,5–1,7) méretosztályokkal kell dolgozni.

A száraz szétválasztás élessége erősen függ a felületi nedvességtartalomtól is. Az ún. kritikus felületi nedvességtartalomnál nagyobb nedvességtartalmú szenek száraz szétválasztásánál konglomerátumképződés, a szétrétegződés lelassulása, a teljesítmény romlása és a berendezések bedugulása, meghibásodása lép fel. A kritikus felületi nedvességtartalom feketekőszénknél 4–8%; a barnaszénknél 6–15%. Az ennél nagyobb felületi nedvességtartalmú szeneket száraz dúsítás előtt szárítani kell. Bár történtek fejlesztések, a száraz eljárások jelentős elterjedéséről nem beszélhetünk. A száraz széndúsítási eljárások közül a légülepítők, a száraz dúsító áramkészülékek és a légszerek alkalmazására van gyakorlati példa.

6.7. táblázat. BATAc ülepítők típusai és a feldolgozható szemcseméret tartomány

Típus	$X_{\max} - X_{\min}$ (mm)	Teljesítmény (t/h)
Durva szén ülepítő	150–10	720
Apró szén ülepítő	10(12)–0,5	600
Finom szén ülepítő	10–0,5	
„Por” szén ülepítő	3–0,5(0,1)	

A légülepítő berendezésekben egy közel vízszintes perforált felületre kerül a szén–meddő keverék feladásra, amelyen keresztül (a teljes felületen vagy szakaszosan) levegőt áramoltatnak, amellyel a perforált lapon lévő szénágyat periodikusan fellazítják. A fellazult rétegben a szemcsék elmozdulnak, a nagyobb sűrűségű szemcsék az alsó, a kisebb sűrűségűek a felső rétegbe kerülnek.

A Stomp Jig légülepítő berendezésben a nyersszén egy enyhén lejtő perforált felületre kerül. A ágy alá állandó térfogatú levegőáramot vezetnek be ezzel folyamatosan fluidizálják az ülepítő ágyat, amelyet pulzáló levegőárammal még periodikusan fellazítanak. Miközben a gravitációs erő hatására az anyagágy halad a lejtő irányába a szemcsék sűrűség szerint rendeződnek. Alul a nehéztermék, felül a tiszta szén vezethető ki a berendezésből.

A magyar fejlesztésű Martiny-féle légülepítő hasonló felépítésű, de ebben a berendezésben nem fluidizálják folyamatosan a teljes ülepítő ágyat, hanem periodikusan, annak csak egy-egy szegmensét lazítják fel. A Martiny-féle berendezések feldolgozó képessége függ a szemcsemérettől. 20–40 mm-es méretosztályra vonatkoztatva kb. 40 t/óra, 10–20 mm-es méretosztály esetén kb. 30 t/óra, 2–10 mm-es méretosztály esetén kb. 20 t/óra.

Az egylépcsős légülepítés során – mint száraz szénelőkészítésnél általában – nem érhető el két tiszta termék. Ha a kéttermékes szétválasztást alkalmazzuk, az egyik termék, pl. a szén tiszta, a másik termék mindig középtermék jellegű lesz. Az utóbbi tehát erőműben még hasznosítható. Ha két tiszta terméket (szén és meddő) kívánunk előállítani, akkor azt csak a háromtermékes szétválasztással lehet elérni. A két tiszta termék mellett is keletkezik egy középtermék jellegű harmadik termék.

A légszéreket még a 19. században fejlesztették ki, napjainkban is nagyon elterjedt száraz szétválasztó (dúsító) berendezések, jóllehet szerepük inkább az élelmiszeriparban, valamint az elektronikai hulladékok és kábelhulladékok előkészítésében meghatározó. A légszér trapéz, vagy téglalap alakú, porózus felülettel rendelkezik. A felület bordázott is lehet, de mindenképpen kétirányú dőlése van. A szér lap a nedves szérhez hasonlóan excentrikus mozgásokat végez. A levegő permanensen áramlik a pórusokon keresztül. A levegőáram és a vibrációs mozgás a szilárd szemcsék fellazulását és szétretesződését biztosítja, a vibrációs mozgás, a dőlés és a bordák a nehéz részecskéknek (meddő) a feladás helyéhez képest a szér legtávolabbi végéhez való elmozdulását és vándorlását eredményezi. A középtermék jellegű szemcsék közepén, míg a szén a feladás helyével szemben kerül elvezetésre.

A légszér, más száraz gravitációs berendezéshez hasonlóan, szűk szemcsefrakciók esetén működik jól. A <0,1 mm-es port nem lehet légszérrel dúsítani. Maximálisan 75(100) mm-es szénszemcsék adhatók fel. A légszér fajlagos teljesítménye függ a szén szemcseösszetételétől, nedvességtartalmától és dúsíthatóságától, a feldolgozó képesség általában 4–9 t/h/m<sup>2</sup> között változik. A légszükségletük 800 és 1000 m<sup>3</sup>/t között mozog. Egy-egy berendezés teljesítménye eléri a 150 t/h értéket.

A száraz dúsító áramkészülékekben a szétválasztás a szén és a meddő eltérő süllyedési sebessége alapján történik. A különböző szemcseméret-tartományok feldolgozására alkalmas rendszer több, párhuzamosan kapcsolt egységből építhető fel, a technológiai rész méretosztályoknak megfelelően. Az eljárás, ill. a berendezés elsősorban a 10–40(60) mm mérettartományban alkalmazható tiszta szén, vagy tiszta meddő leválasztásával. Az eljárás alkalmas arra is, hogy két lépcsőben, a háromtermékes szétválasztással tiszta szén mellett tiszta meddő is elválasztható legyen. Ez sorba kapcsolt két berendezéssel valósítható meg akár úgy, hogy először a tiszta meddő kerül leválasztásra, ezt követően a tiszta szén, vagy a tiszta szén leválasztását követően van lehetőség a tiszta meddő leválasztására. Egy-egy egység maximális feldolgozó képessége kb. 15 t/óra.

### *Vékony vízárammal dolgozó dúsító berendezések*

A széntermelés gépesítésének következtében jelentősen megnőtt a kitermelt szénben az apró, a finom és az „iszap” szén aránya. A világ széntermelésében a 25 mm alatti frakció aránya a korábbi ~30%-ról (1960-as évek) ~70%-ra növekedett, ezen belül a 0,5 mm alatti rész ~3%-ról ~25%-ra. Ennek következtében az apró szén, de különösen a finom és iszapszén dúsításának is megnőtt a jelentősége. Korábban a finom és iszap szenek dúsítására, első sorban kokszosítási célra felhasznált feketeszenek esetében került sor. Ma részben környezetvédelmi, részben gazdasági okok miatt az energetikai, vagy vegyszeti felhasználás esetén is igény van a teljes mérettartományú széndúsításra. A jelentkező igények következtében mind a gravitációs, mind a flotációs eljárások és a berendezések esetében is jelentős fejlesztések valósultak meg. Az apró szenek dúsítása területén, a gravitációs szétválasztási eljárások esetében, a szérek, csatornák, legyező szeparátorok, spirálok (vékony vízárammal dolgozó berendezések) alkalmazására történtek kezdeményezések.

Ezekben a berendezésekben a szétválasztás a feladás maximális szemcseméretével azonos, vagy azt kissé meghaladó, vízáramban megy végbe. A szétválasztás folyamatát a tömegelő mellett, a felhajtó, az ellenállási, a súrlódási, a tehetlenségi, a centrifugális erő is jelentősen befolyásolja (nem csak a sűrűség számít).

Az álló, vagy mozgatott széreket már korábban is alkalmazták a 3 mm alatti szenek dúsítására (pirittelenítésre), de a viszonylag alacsony feldolgozóképeség mellett, a mechanikus, mozgó alkatrészek gyakori hibája, a magas költségek a szélesebb elterjedést megakadályozták. A „végtelenített” csatornának tekinthető spiráldúsítók alkalmazása azonban jelentős eredményeket hozott mind technológiai, mint gazdasági szempontból és egyre elterjedtebben alkalmazzák.

A spiráldúsítók speciális profil-kialakítású, tengely körül, 0,3–0,5 m sugarú körpályán, spirál alakban végtelenített csatornák, amelyben folyamatos bevezetett vékony vízáram biztosítja a zagy formában feladott szilárd anyag haladását. A

víz – szilárd keverék (10–15 tf% szilárd) áramlása nem csak pályairányú, hanem a csatorna metszetében folyamatosan keresztirányú is, amelyet a spirál mentén, több helyen bevezetett pótvíz is segít. A mozgásban lévő szemcsék lefelé haladva rendeződnek, a nagy sűrűségű szemcsék (meddő) a tengelyhez közelebb, a könnyű szemcsék (szén) a tengelytől távolabbi körpályán (legkisebb sugarú pályán a piritszemcsék) mozognak. A rendeződött anyagrészt a spirálba helyenként kialakított, állítható „legyezők” segítségével, kivezető nyílásokba elvezetik, ill. a csatorna alján, különböző sugáron mozgó anyagrészeket szétválasztják. Egy-egy spirál 10–12 menetű, de ezeket általában nem egyenként, hanem egységekbe összeépítve (kötegekben) építik be közös feladással és víz (pótvíz)-adagolással. Gyakori az is hogy a spirálok sorba kapcsolva üzemelnek, ezzel a szétválasztás élessége javítható.

A spirálok mozgó alkatrész nélkül üzemelő, nagyon egyszerűen kezelhető, alacsony üzemeltetési költséggel működő, viszonylag kis helyigényű berendezések. Egy, 1 m átmérőjű spirállal feldolgozható anyag mennyisége (spiráloszlop feldolgozó képessége) 0,1–2 mm-es feladás esetén, 2,5 t/h. A spirál dúsítók ma már általánosan beépültek a modern szénélőkészítő üzemek technológiai rendszerébe, a finom szén (0,5–3 mm) és részben az iszapszén (0,5–0,1 mm) dúsítására. A finom szén dúsítási rendszerébe általában kombinált alkalmazás az elterjedt, amit a később bemutatott technológiai sémák is igazolnak (l. később 6.10–6.13. ábra).

### Szénflotálás

A flotálás a mechanikai eljárás technika egyik legszélesebben alkalmazott szétválasztási eljárása. A szilárd diszperz alkotók flotációs szétválasztásának alapja a felületük módosításával tetszőleges irányban szabályozható határfelületi tulajdonságainak, nedvesíthetőségének eltérése. A szabályozott adszorpció, adhézió, függőleges transzport stb. mikrofolyamatok eredményeképpen a háromfázisú diszperz keverékrendszer egy vagy több kiválasztott, hidrofóbbá tett, szilárd alkotója megtapad a gáz (levegő) buborékokon és azokkal a reaktor (flotáló cella) felszínére szállítódik. A reaktor felszínéről a kiflotált komponens(ek) habtermékként túlfolyással, vagy mechanikusan eltávolíthatók, ezzel együtt a rendszer többi szilárd alkotójától is elválaszthatók.

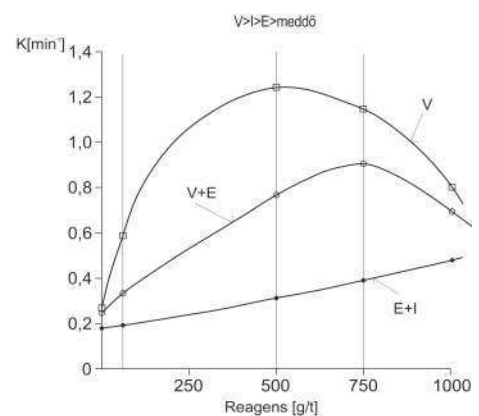
A fosszilis szenek természetes nedvesíthetősége, azaz hidrofobitása, ill. hidrofilitása a szénülési fok függvénye, a fiatalabb korú szenek nem rendelkeznek határszöggel, ami a nedvesíthetőség mutatója, és nem is hidrofobizálhatók, így nem flotálhatók. A meddő ásványok, mint a kvarc, agyagásványok, csillámok stb. természetes hidrofílek. Az idősebb, kokszolható szenek rendelkeznek természetes határszöggel. A természetes hidrofobitás az ipari eljárás megvalósításához azonban önmagában nem elegendő. Az ún. gyűjtőreagensek segítségével irányítottan – a nem-poláros felületen végbemenő adszorpció révén – a hidrofobitás mértéke növelhető nem-poláros szerves reagensekkel. Iparilag a kokszolható szenek <0,5(<0,2) mm-es iszapfrakcióját flotálják, miközben a durvább frakciókat gravitációs eljárásokkal, ill. berendezésekkel dúsítják. Az iszap frakció a kibányászott kokszolható szenek mintegy negyedét teszi ki.

Hazánkban rendszerváltozás előtt Pécsen működött, a liász korú szenek előkészítésére, Világbanki finanszírozásban létesített, szénflotálómű. Az alkalmazott technológia egy alap- és két tisztító flotálásból állt, így a kokszolható szénkoncentrátum hamutartalma <11% volt. Az alkalmazott reagens kombinált gyűjtő- és habképző, ún. BKI reagens volt (70% gázolaj, 20% petróleum, 10% amil-alkohol, amely a víz-levegő fázishatáron adszorbeál és biztosítja a megfelelő stabil habképzést), fajlagos felhasználása 1600–1800 g/t volt. A flotáló berendezések a KHD típusú német mechanikus önbeszívó cellákból álló cellasorok voltak.

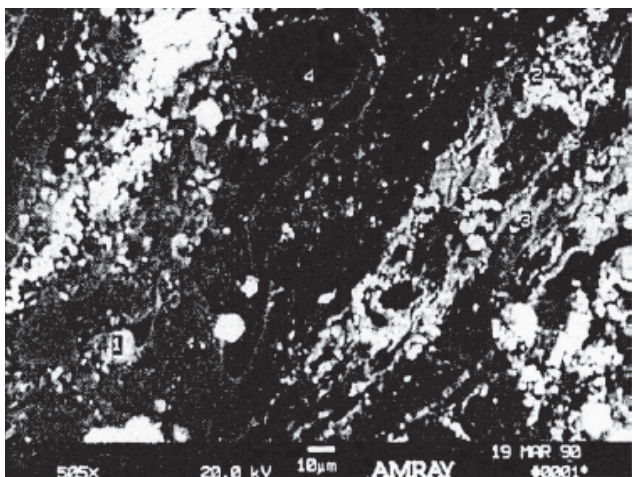
A szénflotálás határfoka és költsége sok paramétertől függ: szénülési fok, szénrészecskék felületi oxidáltsága, szén feltártsága, petrográfiai összetétel. A mecseki szénben a vitrit flotalhatósága jóval nagyobb, mint az exinité és az inertinité, ezt a flotalódási hajlammal jellemzett flotalhatósági sorrend is mutatja (6.7. ábra). A szén kéntartalmának eltávolítására a flotálás akkor alkalmas, ha a kén zöme a szerves pirithoz kötött. A szerves kén sem flotalással, sem gravitációs, ill. mágneses szétválasztási eljárással nem távolítható el. A szénben lévő kén flotációs eltávolítása (hasonlóan a mágneses, vagy gravitációs eljárással történő leválasztáshoz) mecseki szénből nehéz feladat, mivel nagyon finom összenövésben fordul elő a szerves mátrixszal (PETHŐ et al. 1984, 1985, 1986, 1987) (6.8. ábra).

A szénflotálás határfoka és költségei a szerves és szervesetlen (ásványi) komponensek szemcseösszetételétől függ talán a legnagyobb mértékben. Minél finomabb a szemcseösszetétel és minél nagyobb az ultrafinom agyagásványok aránya, annál nehezebb a flotálás. Különösen releváns ez az ultratiszta szén előállításánál (BOKÁNYI 1990, 1994, BOKÁNYI, CSÓKE 2003).

A szénflotálás fejlesztése elsősorban a berendezések terén jelentkezik. A hagyományos mechanikus önbeszívó cellák által előállított légbuborékok méreteloszlása szimmetrikus normális eloszlást követ. Kíváncos azonban a balra eltoltt aszimmetrikus eloszlás: a nagyon finom buborékok tömege egyformán biztosítja az ultrafinom és a durvább szemcsék kiflotálódását.



6.7. ábra. Mecseki szénpetrográfiai alkotóinak flotalhatósága (BOKÁNYI 1993)



6.8. ábra. Mecseki szén SEM felvétele (BOKÁNYI 1993)

1. Kvarc, 2. pirit, 3. pala, 4. ásványos anyag

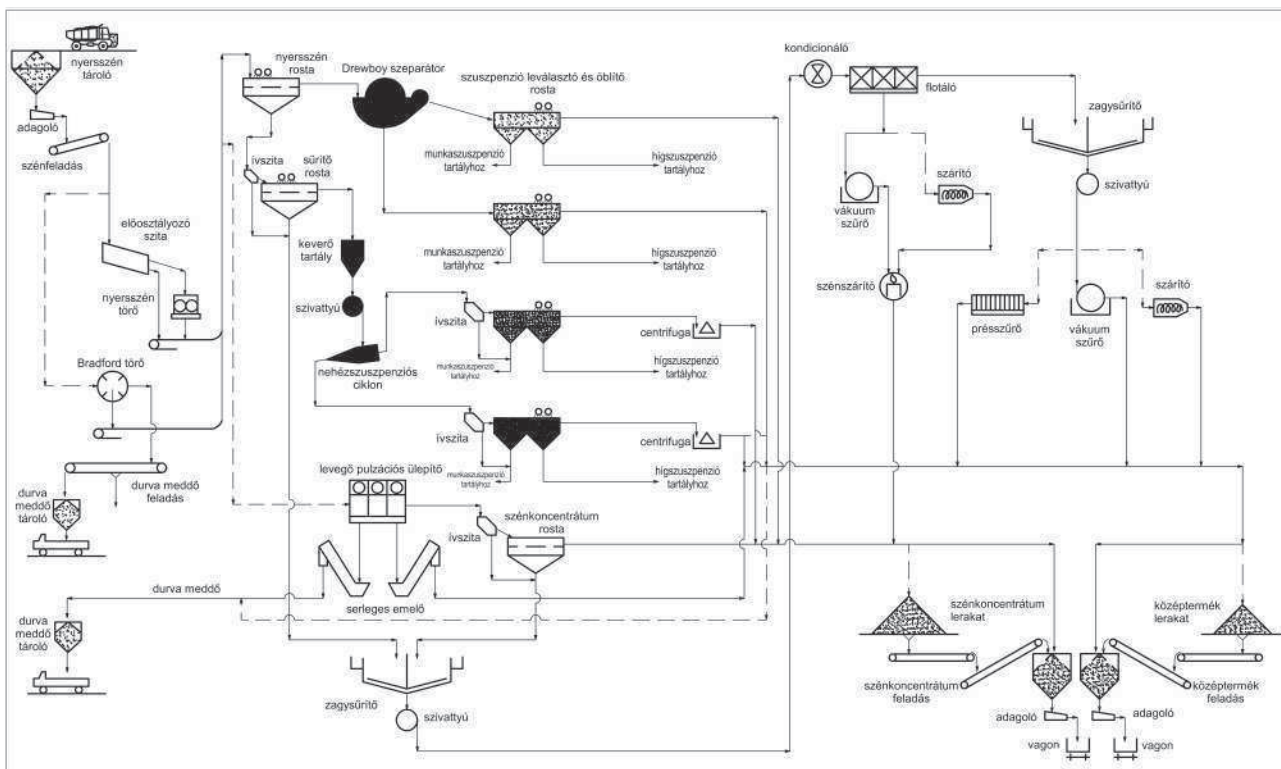
regáló–flokuláló reagensek kifejlesztése. Ide tartozik még a szénrészecskéket hidrofób–flokuláló olajagglomeráció és flokkuláció is: nagyobb hidrofób aggregátumok könnyebben flotálódnak ki és könnyebb a víztelenítésük. Ugyanakkor a reagensek fajlagos fogyasztása is sokkal nagyobb.

A flotációs technológia újragondolása is sikerekkel kecsegtet, egyrészt a durvább és a finomabb, eltérő flotálhatósági hajlamú feladórész külön-külön flotálása, másrészt a gravitációs műveletek beiktatása a flotációs ciklusba.

## Szénélőkészítési technológiák

### „State of the art” technológiák

A szénélőkészítés teljes technológiai rendszere a darabos, az apró, a finom és az iszapszén feldolgozását is magába foglalja. A (6.9. ábra) egy teljes szénélőkészítési rendszer egyszerűsített sémáját mutatja be. A durva meddő részleges száraz leválasztását egy Bradford törővel (Rotary Breaker) lehet megoldani. Az osztályozást (technológiai frakcióra bontás)

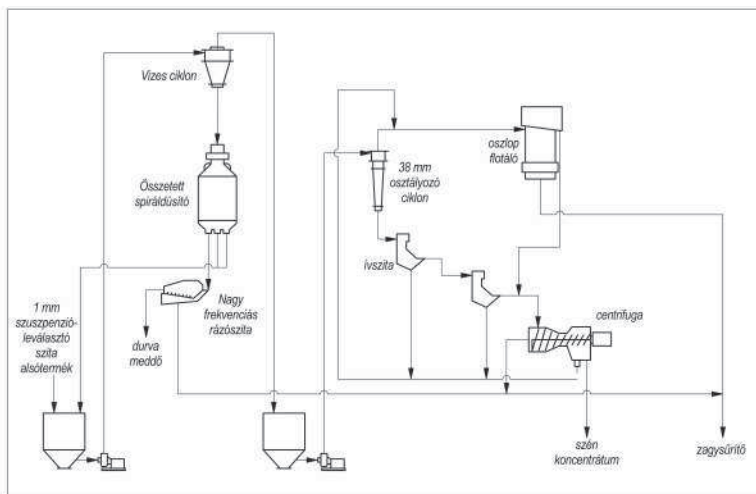


6.9. ábra. Nedves szénélőkészítés teljes technológiai rendszerének sémája

követően a darabos szén dúsítását statikus nehézsuszpenziós- (Drewboy szeparátor) és/vagy levegő pulzációs ülepítő (pl. BATAC ülepítő) berendezéssel lehet megvalósítani. Az apró szén dúsítására nehézsuszpenziós ciklon, és/vagy ülepítő berendezés alkalmazható. Az iszapszén dúsítását flotálással valósítják meg. A korábbi gyakorlatban a flotálásra feladott anyag szemcsemérete <0,5 mm volt, a mai korszerű előkészítő üzemekben inkább már <0,1(0,2) mm és a 3–0,1(0,15) mm közötti finom és iszapszén mérettartomány dúsítására spirálokat alkalmaznak. A spirál dúsítók ma már általánosan beépültek a modern szénélőkészítő üzemek technológiá rendszerébe a finom szén (0,5–3 mm) és részben az iszapszén (0,5–0,1 mm) dúsítására is.

A finom és iszapszén dúsítására általában kombinált technológiát alkalmaznak, 3 esetleg 1 mm-ig nehézközeget szétválasztást, vagy ülepítést, míg a 3(1) mm alatti tartományban gravitációs dúsításként a spirál alkalmazása, továbbá a flotálás az elterjedt. A napjainkban nagy jelentőséggel bíró finom és iszapszén dúsítási gyakorlatát a következő technológiai sémák mutatják be 1. később 10–13. ábra). A finom és iszapszén dúsításának elsősorban azért van kiemelt jelentősége, mert jelentősen megnőtt a kitermelt aknaszénben a mennyisége. Az is tény azonban, hogy ebben a szemcseméret-tartományban már biztos, hogy „feltárt” (döntően tiszta szén és tiszta meddő) szemcsék vannak a feladásban, így a szétválasztással tisztább, jobb minőségű koncentrátum állítható elő, s meddőt is kisebb éghetőanyag-vesztéssel lehet leválasztani.

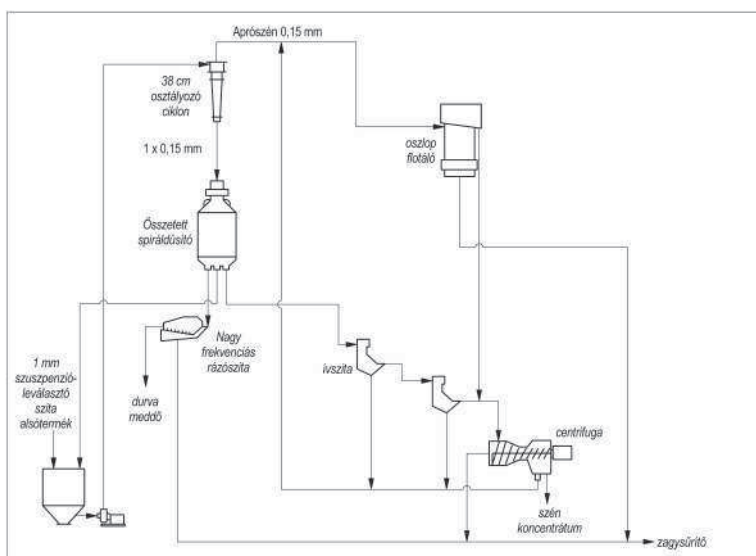
A 6.10. ábra kokszzszen (feketekőszén) 1 mm alatti frakciójának dúsítási sémáját mutatja be. Az ábrán látható, vizes ciklon-spiráldúsító flotálás dúsítási rendszerrel, a tiszta szén közel 100%-a kinyerhető. A feladótartályból az 1 mm alatti szilárd anyagot tartalmazó zagy feladásra kerül egy vizes ciklonra, az alsó terméket (középtermék) spirálon dúsítják, míg a felső termék finom (0,1 mm alatti) részét oszlopflotálással tisztítják tovább. A WOC berendezésen viszonylag alacsony elválasztási sűrűséget állítanak be ( $\rho_{50} \sim 1,4 \text{ kg/dm}^3$ ) ennek következtében az alsó termék, még jelentős mennyiségben tartalmazhat szenet, ezért további szétválasztásra spirál dúsítóra kerül, ahol,  $\rho_{50} \sim 1,8 \text{ kg/dm}^3$  elválasztási sűrűség mellett a „tisza” durva meddő leválasztása történik meg. A spirálon kinyert szentes terméket visszajuttatják a vizes ciklonra, ezzel növelve a tiszta szén kinyerésének lehetőségét. A kinyert szénkoncentrátumot ívszítán és centrifugán víztelenítik.



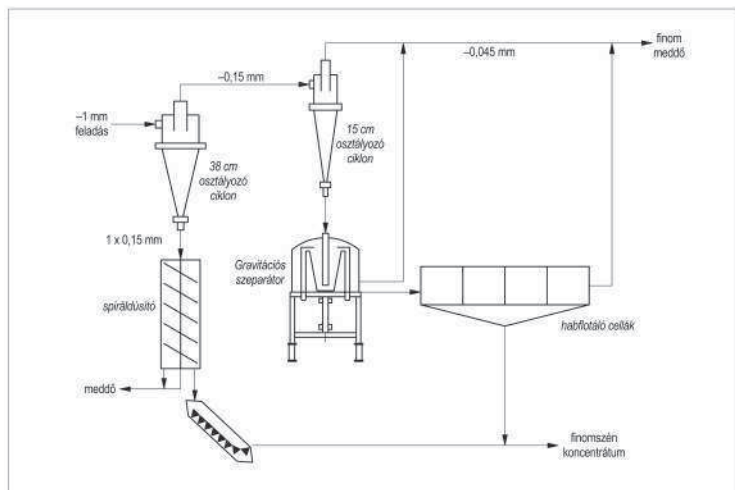
6.10. ábra. Aprószén-iszapszén dúsítási sémája vizes ciklon-spiráldúsító-flotálás dúsítási rendszerrel (HONAKER 2007)

Az 1 mm alatti rész (nyerszén) dúsítására az USA-ban gyakorlatban is alkalmazott megoldást mutatja a 6.11. ábra. Az előkészítőműbe feldolgozásra kerülő évi 636 Mt nyerszén 12–15%-a 1 mm alatti (kb. 75–95 Mt/év), ami a darabos, apró és finom frakciók nedves osztályozása, kezelése során az iszapaltanító szitákról kerül le. A bemutatott technológiai rendszer szerint az adagoló tartályból a <1 mm-es szemcséket tartalmazó zagy, osztályozó ciklonra kerül, a felső termékként leválasztott <0,15 mm-es szemcséket tartalmazó rész flotálásra, a ciklon alsó termék (0,15–1 mm) spiráldúsítóra kerül. A spirálon az elválasztási sűrűség  $\rho_{50} \sim 1,8 \text{ kg/dm}^3$ , a gyakorlatban elért szétválasztási élesség  $E_p=0,15\text{--}0,18$ . A spirálról kikerülő szénkoncentrátum ívszítán és a flotálási koncentrátummal együtt centrifugán kerül víztelenítésre.

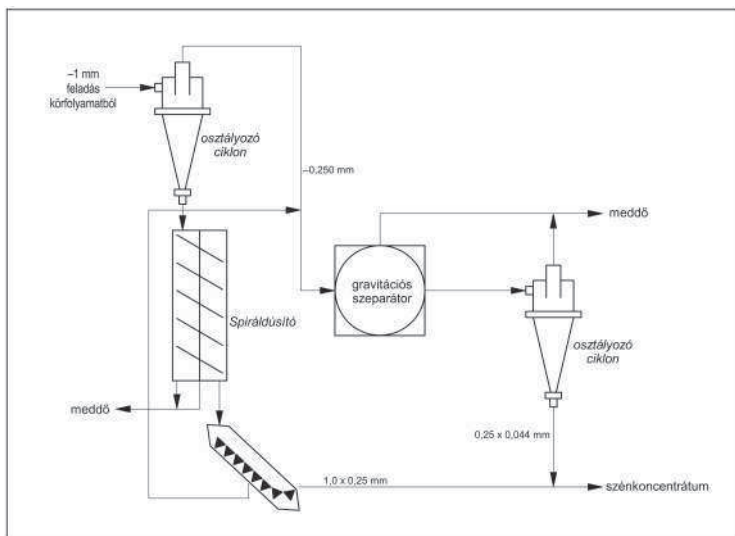
A feketekőszének kohászati célú hasznosítása (kokszyártás) esetén, s hasonlóan a vegyipari célú felhasználásnál is, a hamutartalom mellett kiemelt jelentősége van a kén-tartalomnak is. Különösen azokban a szénben, ahol a kén jelentős részét a pirit hordozza (piritkén), ennek csökkentése szénélőkészítési eljárásokkal részben megoldható. A problémát csak az jelenti, ha a pirit mérete a szénben döntően 0,045 mm alatti („ultrafinom”), tehát a leválasztás eredményesen csak e méret alatt



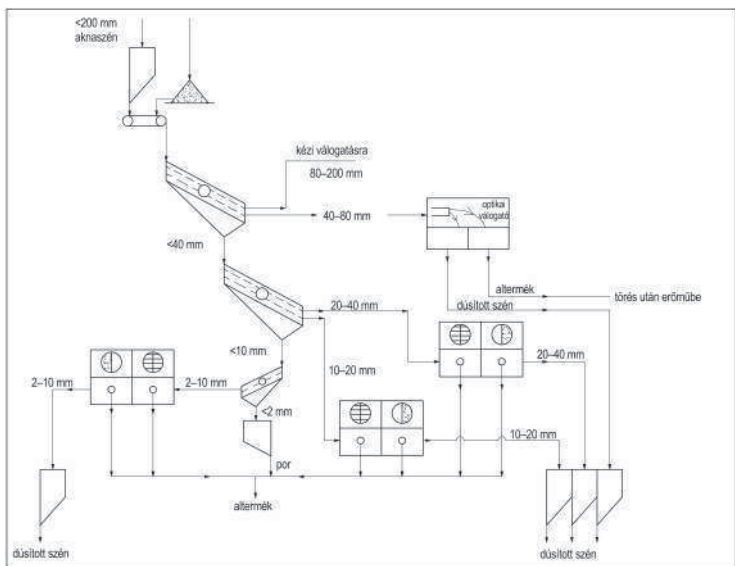
6.11. ábra. Aprószén-iszapszén dúsítási sémája az Egyesült Államok szénbányászati gyakorlatában (HONAKER 2007)



6.12. ábra. Apró szén – iszapszén dúsítási sémája gravitációs dúsítás spiráldúsítás és flotálás kapcsolt alkalmazásával (HONAKER 2007)



6.13. ábra. Apró szén – iszapszén dúsítási sémája gravitációs és spiráldúsítás alkalmazásával (HONAKER 2007)



6.14. ábra. Száraz szénelőkészítési technológiai rendszerének elvi sémája

valósítható meg. A pirit eltávolítására a flotálás, a nagy gradiensű mágneses szétválasztás (HGMS) és a sűrűség szerinti szétválasztás (BOKÁNYI et al. 1986) alkalmazható. A szénelőkészítésben ezen a területen is jelentős fejlesztések indultak.

A korábban is alkalmazott flotálás és HGMS eljárás mellett az „ultrafinom” anyagok szétválasztására kifejlesztett speciális spirál (Ultrafine Spiral Concentrator) és centrifugális dúsítók (Falcon szeparátor, Knelson koncentrátor) alkalmazása került a szénelőkészítésben. Ezek a fejlesztések szintén az USA szénbányászatában jelentek meg.

Nagy tisztaságú szénkoncentrátum előállítására alkalmas különleges gravitációs dúsítás és flotálás kapcsolt alkalmazását mutatja a 6.12. ábra. A <1 mm-es szilárd szemcséket tartalmazó zagyot előbb osztályozó ciklonnal ~0,15 mm-nél szétválasztják. A 0,15–1 mm közötti részt spirálon dúsítják leválasztva a meddőt és a pirit egy részét. A <0,15 mm-es szemcséket tartalmazó zagyot hidrociklonon ismét osztályozzák, ~0,045 mm-nél szétválasztják. A „durva” termék (0,15–0,045 mm) különleges gravitációs szeparátorra kerül (pl. Knelson koncentrátor), ahol leválasztják a piritet és részben a meddőt. Az itt keletkezett „előkoncentrátum” kerül flotálásra. Ezzel a technológiával „nagy tisztaságú” szénkoncentrátum állítható elő. Hasonló célra és hasonló megfontolások alapján felépült technológiai rendszert mutat be a 6.13. ábra is, azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben csak spirál és különleges gravitációs berendezés alkalmazására kerül sor.

### Száraz szénelőkészítési technológiák

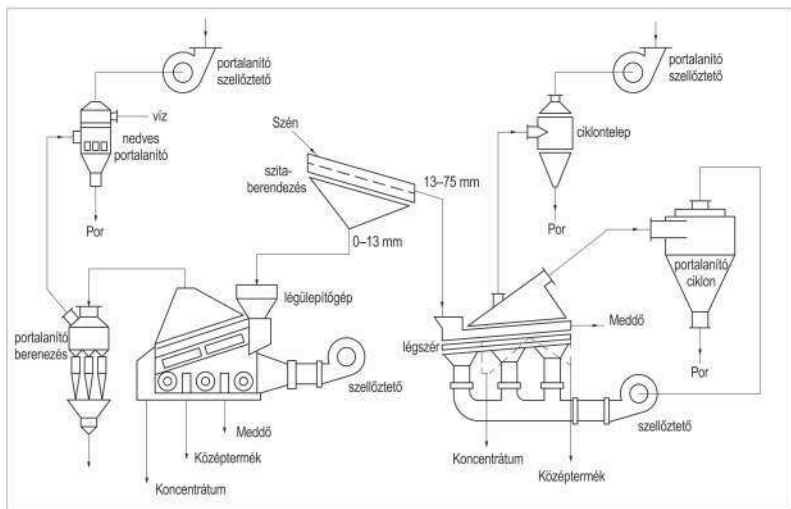
A 200 (150) mm feletti durva meddő leválasztását szinte minden esetben (még a későbbi nedves eljárások alkalmazása esetén is) a szén és a meddő eltérő szilárdsági tulajdonságait kihasználva Bradford törő (l. 6.9. ábra) beépítésével oldják meg. A száraz szénelőkészítés 0–200(150) mm-es mérettartományban csak különböző dúsítási eljárások együttes alkalmazásával valósítható meg. Minden esetben szükséges több technológiai szemcseosztály, alosztály előállítása, ezek külön, esetenként eltérő eljárással való dúsítása.

A 6.14. ábrán bemutatott rendszer szerint a 200 mm maximális szemcseméretű aknaszén (vagy a Bradford törőből kikerülő anyag) 80–200 mm-es frakcióját kézi válogatással (ma már nagyon ritkán alkalmazzák), a 40–80 mm-es frakciót gépi válogatással dúsítják. A 2–40 mm-es szemcseméretű részt méretfrakciókra bontva légyülepítővel vagy dúsító, száraz áramkészülék

alkalmazásával dolgozzák fel. A 2 mm alatti rész szétválasztására száraz szénélőkészítés során általában nem kerül sor.

Mint ahogy azt a 6.15. ábra mutatja, a különböző technológiai szemcseosztályok más-más száraz szétválasztási eljárásokkal is feldolgozhatók. Ebben az esetben a <13 mm-es (2–13 mm) osztályt a légülepítővel, míg a 13–75 mm-est a légszérrel dúsítják. Az ábra részben mutatja a kapcsolódó légtechnikai, porleválasztó rendszert is.

Fontos kiemelni, hogy minden próbálkozás ellenére a száraz dúsítás kevésbé elterjedt, részben környezetvédelmi, de leginkább technológiai (gyenge szétválasztási paraméterek) miatt (BŐHM, BOKÁNYI 2002).



**6.15. ábra.** Száraz széndúsítás légszér és légülepítő alkalmazásával

## A szénelőkészítés kutatás–fejlesztési irányai

A szénélőkészítésben a kutatást, a technológiai és berendezés-fejlesztést alapvetően meghatározza az aknaszén szemcseméretének (szemcseösszetételének) jelentős megváltozása, a finom szén mennyiségének jelentős növekedése, ill. a környezetvédelmi előírások folyamatos szigorítása (kéntelenítés, hatékony meddőleválasztás, biztonságos meddő-elhelyezés, vízkezelés, zárt vízgazdálkodás, korszerű légtechnikai berendezések stb.). Jelentős a folyamatos költségcsökkentési, hatékonyságnövelési kényszer is. Fontos törekvés továbbá a szénélőkészítő rendszerek, üzemek folyamatos minőség-ellenőrzése, üzemszabályozása, automatizálása és az éghetőrész-veszteség csökkentése.

Intenzív kutatásokat generálnak a szénfelhasználás új irányjai (vegyipari felhasználás) által támasztott minőségi követelmények (szemcseméret, hamutartalom, kéntartalom), a finomszén dúsítási koncentrátumok víztelenítési eljárásainak fejlesztése. Jellemző fejlesztési irányok a különleges gravitációs eljárások fejlesztése, a flotáló berendezések és reagensek fejlesztése, a fajlagos teljesítmény növelése, a víztelenítési eljárások és berendezések, valamint a zagy/meddőkezelési technológiák fejlesztése.

## Magyarország szénélőkészítési gyakorlata

### *A hazai szénélőkészítés célkitűzései*

Magyarországon a nagyüzemi szénbányászat az 1950-es években indult jelentős fejlődésnek. A hazai szénbányászat kezdeti időszakában, mint ahogy a világban mindenhol, a döntően kézi, „szelektív” termelés miatt a kitermelt, viszonylag jó minőségű szén előkészítésére nem volt szükség, vagy legfeljebb száraz osztályozás, kézi válogatás jelentette a szén-előkészítést.

Az ötvenes éveket követően, az iparosítás okozta igénynövekedés miatt is, megindult a szénbányászatban a nagyarányú mechanizáció, a gépesítés és ennek következtében a kitermelt aknaszén (nyersszén) minőségének jelentős romlása következett be. A hamutartalom 10–15, akár 20%-al is növekedett (azonos bányában, azonos széntelep gépesített kitermelésekor), ennek megfelelően a fűtőérték jelentősen csökkent. Bár az energetikai célú felhasználású szének esetében látszólag kevésbé jelentett ez problémát (gyenge minőségű szének elégetésére alkalmas alacsony hatásfokú kazánok működése az erőművekben), de a lakossági és egyéb ipari (kohászat) felhasználás esetén egyre nagyobb igény jelentkezett a kitermelt szén értékesítése, felhasználása előtti előkészítésre, a meddő részleges vagy teljes leválasztására.

A hatvanas években intenzíven folytak a szenek dúsíthatóságának megítélésére, a dúsítási technológiák kidolgozására irányuló laboratóriumi vizsgálatok, félüzemi és üzemi kísérletek, amelyek alapján megkezdték a hazai szénelőkészítő üzemek tervezését, létesítését és üzembe helyezését. Előbb a liász korú feketeszenek, később az eocén, miocén barnaszenek dúsítása, a lignitek előkészítése (nemesítése) került előtérbe. A tervezéseket megalapozó vizsgálatok döntően a Központi Bányászati Fejlesztési Intézetben (KBFI), valamint a Nehézipari Műszaki Egyetem (később Miskolci Egyetem) Érc- és Szénelőkészítési Tanszékén (ma Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet) folytak (NME Ásványelőkészítési Tanszék 1982a, b, c, 1985, 1986, 1987a, b, c, 1988). A laboratóriumi és félüzemi vizsgálatok alapján kidolgozott technológiák és az előkészítő üzemek tényleges tervezése a Bányászati Tervező Intézetben (BÁTI), később a Tatabányai Szénbányák Ásványelőkészítési és Vízkezelési Fővállalkozás (ÁVF) részlegénél, ill. a Tatabányai Szénbányák Tervezőirodáján folyt.

A korábbi vizsgálatokról az elvégzett kísérletekről nagyszámú jelentés, tervdokumentáció, a működés tapasztalatait összefoglaló és értékelő anyag áll rendelkezésre, elsősorban a Miskolci Egyetemen, tekintettel arra, hogy a KBFI és a korábbi intézetek, ill. üzemek több évtizede bezárásra, felszámolásra kerültek, s a dokumentációk jelentős része feltehetően megsemmisült.

A hazai szénelőfordulások dúsíthatóságának megítélésére korábban végzett vizsgálatok, a tervezéseket megalapozó kísérletek elérhető és rendelkezésre álló nagyszámú adatának részletes összegzése, feldolgozása, elemzése és újbóli értékelése nem indokolt, mivel az akkor vizsgált szénelőfordulások (bányaüzemek, telepek) ma már nem érhetők el, s a 25–50 éves adatok értékelése téves következtetések lehetőségét is magában hordozza. Indokolt ugyanakkor a korábban működő szénelőkészítő üzemek bemutatása, az eredmények, tapasztalatok összegzése és a jövőre vonatkozó javaslatok megfogalmazása annak szem előtt tartásával, hogy a kitermelési helyek változása mellett, a felhasználási igények (kémiai felhasználás, szénelgázosítás, metanol előállítás stb.) is jelentősen megváltoztak.

### *A hazai szénelőkészítés fejlődése*

A szénelőkészítés helyzetét alapvetően, a szénbányászat termelési kultúrája és termelési struktúrája mellett döntően a felhasználás igényei, a hasznosítás módja határozza meg. Magyarországon 1970-ig, a kohászati célokra felhasznált liász korú szén kivételével, a szénelőkészítés szinte kizárólag a kereskedelmi szénosztályok előállítására irányuló osztályozásból és esetenként a kockadarabos szén kézi válogatásából, a lignitek „nemesítéséből” a porszen darabosításából állt.

A nagyteljesítményű nagy termeléskoncentrációjú bányák kialakulásával az Eocén és a Liász programok elindításával szükségszerűvé vált a hazai szénelőkészítési kultúra fejlesztése is. Ebben az időben a bányák termelésének minősége jelentősen romlott és az aknaszén előkészítés nélkül gyakorlatilag értékesíthetetlené vált. Ennek hatására 1975–90 között sorra létesítették az új szénelőkészítő műveket, ahol az osztályozás mellett már száraz, vagy nedves dústításra is sor került.

Elsőként Tatabányán indult meg egy nedves szénelőkészítő mű tervezése és építése, tekintettel arra, hogy 1972–77 között a medencében kitermelt nyersszén fűtőértéke 11%-kal csökkent. 1980-ban kezdte meg működését az 500 t/óra kapacitású kéttermékes nehézsuszpenziós szénmosó eredeti elképzelés szerint a 8–200 mm -es szemcsetartományra. A rendszert később átalakították és a finomszén (0,5–20 mm) előkészítésére alkalmas kéttermékes nehézsuszpenziós ciklonos dústító részleggel tervezték kiegészíteni a névleges kapacitás 615 t/óra történő növelésével. Az 1990-es évek végén, elsősorban alapanyaghiány miatt az üzem még pár évig kapacitásának 10–20%-ával üzemelt, majd ezt követően leállították és leszerelték.

1984-ben létesült 900 t/óra kapacitással a Borsodi Szénelőkészítőmű a 20–200 mm szemcseméretű nyersszén háromtermékes nehézsuszpenziós dústítására. Az üzem a 90-es évek végén már csak kb. 50 t/óra tényleges kapacitással üzemelt. Az ezredfordulón a térség bányái bezártak, az előkészítő üzemet leállították, leszerelték és lebontották.

1988-ban kezdte meg a termelést a Nógrádi Szénbányák területén létesített kéttermékes nehézsuszpenziós szénmosó, ami azonban a medence bányászatának megszüntetésével 1991-ben termelését beszüntette, az üzemet leszerelték.

Az Oroszlányi- és az Ajkai-medencében termelt szén sajátosságait figyelembe véve a nedves szénelőkészítő helyett száraz széndústító létesítését határozták el. 1980–86 között létesült az oroszlányi száraz szénelőkészítő üzem a 40 mm-nél kisebb szemcseméretű rész légülepítőkkal való dústítására. A dústító később kiegészült a 40–80 mm-es frakció feldolgozására alkalmas optikai válogató részleggel, amit azonban a nem megfelelő működés miatt rövid idő múlva leállítottak. A régió bányászatának megszűnésével az üzemet leszerelték. Az Ajkán létesített száraz dústító mű is leépítésre került.

A Liász program keretében teljes rekonstrukciót hajtottak végre a dunaujvárosi szénflotálóban is, de az új üzem gyakorlatilag nem is kezdte meg működését. Szintén a Liász program keretében Pécsen, 900 000 t/év kokszzszen-koncentrátum előállítására létesítettek egy új központi széndústító üzemet, ahol mindhárom technológiai szemcseosztály (20–200 mm, 0,8–20 mm és a 0,8 mm alatti) dústítására sor került volna. Az 1990-ben elkészült üzem végleges üzemeltetésére a kísérleti üzemelést követően nem is került sor, hanem leállították és leszerelték a berendezéseket, az alkatrészeket részben értékesítették.

Az 1990-es években, elsősorban a lakossági igények kielégítésére, a Borsodi Szénbányáknál Lyukóbányán és a Dorogi Szénbányáknál száraz áramkészülékekkel üzemelő, kis kapacitású előkészítőművek üzembe helyezésére került sor. Ezekkel a berendezésekkel a 10–40 mm mérettartomány (technológiai méretfrakciókra bontva) dústítását (meddőleválasztást / tiszta szén leválasztás) lehetett megvalósítani.

1980–90 között megvalósult szénelőkészítés-fejlesztési program kertében, az aprószén és porszen háztartási hasznosítása érdekében Dorogon évi 1 000 000 t kapacitású brikettgyárat létesítettek és a korábban már üzemelő nagymányoki, várpalotai és tatabányai brikettgyárak korszerűsítése is megindult. Az akkori tervek szerint a teljes brikettgyártó kapacitás az országban 2,5–3,0 millió tonnára bővült volna.

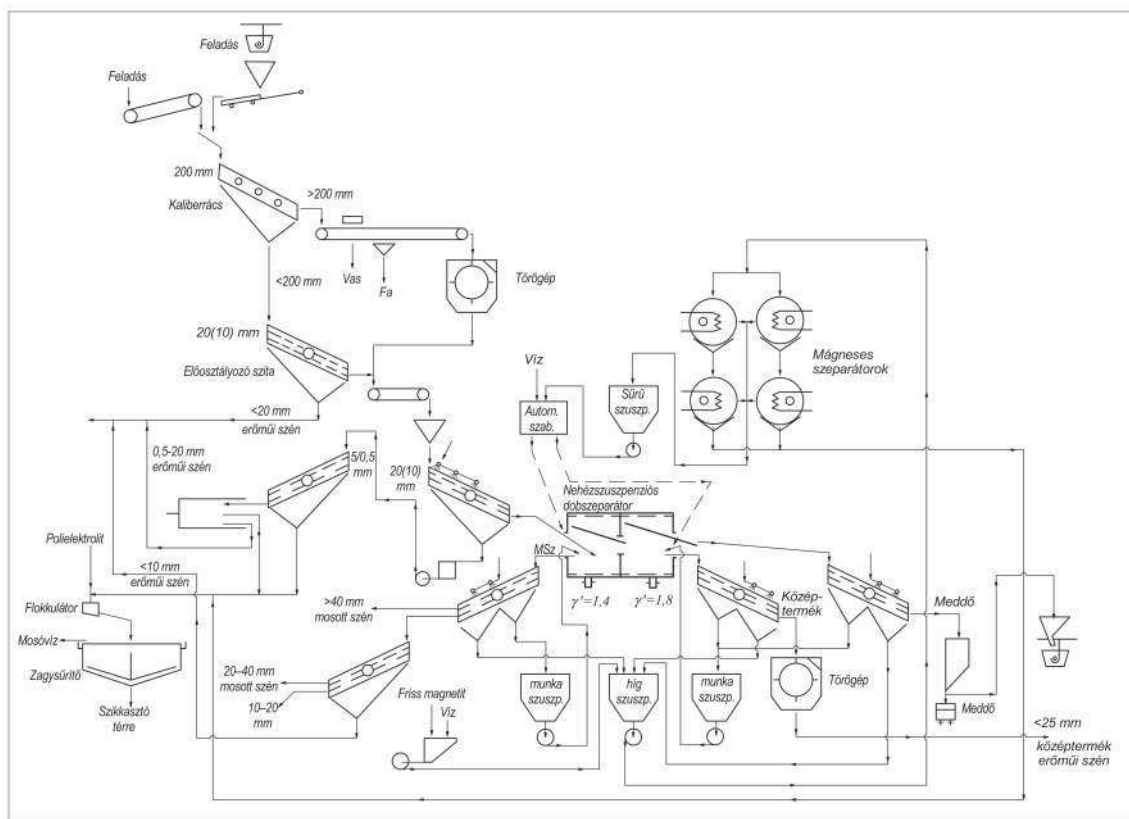
A program szerint Magyarországon kb. 10 millió t/év szén-előkészítési (dústítás-darabosítás) kapacitás létesítését tervezték, ez a korábbi hazai széntermelést figyelembe véve (csúcs kb. 32 Mt/év) a teljes kitermelés kb. 1/3-át tette ki. Ezek a téves prognózisokra alapozott fejlesztések, beruházások annak ellenére indultak és valósultak meg, hogy az energiafelhasználás forrásszerkezete közben jelentősen megváltozott, az igények is csökkentek. A lakossági szénfelhasználás, az

országos gázhálózat-építési programok, az eltérített energiaárak miatt is, drasztikusan lecsökkent. Az energetikai (erőműi) szénigény is jelentősen csökkent, döntően gazdasági (rossz hatásfokú szén-erőművek) és a szigorodó környezetvédelmi szabályok miatt.

Jelenleg Magyarországon már nem üzemel nedves széndúsító üzem. A hazai mélyművelésű szénbányászat megszűnésével, a bányák bezárásával a szénelőkészítő üzemek is felszámolásra kerültek. Néhány kisebb külszíni szénkitermelést kivéve, csak a Mátrai Erőmű Zrt-hez tartozó Bükkábrányi Bányüzemben üzemel lakossági igények kiszolgálását biztosító száraz osztályozó mű, ahol a kitermelt lignit (egy részének) előkészítése, osztályozása folyik.

### A borsodi (miocén korú) szén előkészítése

A Borsodi-medencében lévő miocén korú szenek kitermelése és értékesítése nagy múltra tekint vissza. Korábban a bányaművelés módja, technikája nem igényelte a kitermelt szén komolyabb előkészítését, legfeljebb osztályozásra és kézi válogatásra került sor. Az 1960–70-es években azonban (a gépesített frontfejtések elterjedése következtében) az aknaszén minőségromlása következett be és igény jelentkezett szénelőkészítő üzem létesítésére, amelyre 1980–84 között a Berentei Központi Szénosztályozó rekonstrukciója keretében került sor. A KBFI által elvégzett alap- és technológiai vizsgálatok alapján a tervezést a Tatabányai Szénbányák Tervező Iroda készítette, a tényleges megvalósítást, a kivitelezést döntően a Tatabányai Szénbányák Vállalat Ásványelőkészítési és Vízkezelési Fővállalkozás végezte, ill. részben irányította. A 900 t/óra kapacitású, nehézsuszpenziós dobszeparátorokkal működő, nedves szénelőkészítő üzem egyszerűsített technológiai törzsfáját a 6.16. ábra mutatja.



6.16. ábra. A borsodi szénelőkészítő mű egyszerűsített technológiai törzsfája (NME Ásványelőkészítési Tanszék 1983)

A vasúton, közúton és kötélpályán beérkező aknaszén, tároló/homogenizáló bunkerekből került az előosztályozóra. A 200 mm-nél nagyobb méretű részt röplítő törőkkel méret alá aprították. A 200 mm alatti anyagból szitákkal, előbb szárazon, majd nedvesen választották le a 10 mm (kezdetben 20 mm) alatti szemcséket. A 10–200 mm közötti méretfrakció dúsítása, sűrűség szerinti szétválasztása, a háromtermekes nehézsuszpenziós WEMCO dobszeparátorokban (2 db WEMCO kb. 300 t/óra kapacitású dobszeparátor) történt. A két különböző sűrűségű, magnetites szuszpenzióval üzemelő berendezésben, előbb 1,4 kg/dm<sup>3</sup> (1,6 kg/dm<sup>3</sup>) szuszpenzió-sűrűség mellett választották le a „tisztá” szenet, majd a dob másik részében 1,8 kg/dm<sup>3</sup> sűrűségű szuszpenziót alkalmazva a „tisztá” meddőt. Az 1,4(1,6)–1,8 kg/dm<sup>3</sup> sűrűségű termék víztelenítés és aprítást követően, a korábban szárazon és nedvesen leválasztott 10(20) mm alatti résszel együtt jutott az erőműbe. A dúsítás során nyert 1,4(1,6) kg/dm<sup>3</sup> sűrűségnél kisebb sűrűségű szénkoncentrátum víztelenítést és kereskedelmi osztályokra történő

**6.8. táblázat.** Borsodi szénelőkészítőmű „tájékoztató jellegű” mennyiségi és minőségi paraméterei (NME Ásványelőkészítési Tanszék 1988a)

Termék	m [%]	A <sup>d</sup> [%]
20 mm-nél történő leválasztás		
Leválasztott aprószén/porszén (<20 mm)	46	40
Dúsításra feladott (>20 mm)	54	31
– Mosott szén (<1,6 kg/dm <sup>3</sup> )	35	13
– Középtermék (Kt) (1,6–1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	11	50
– Meddő (>1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	8	86
Energetikai szén (apró+por+Kt)	57	42
10 mm-nél történő leválasztás		
Leválasztott aprószén/porszén (<10 mm)	27	41
Dúsításra feladott (>10 mm)	73	31
– Mosott szén (<1,6 kg/dm <sup>3</sup> )	46	14
– Középtermék (Kt) (1,6–1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	16	50
– Meddő (>1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	10	85
Energetikai szén (apró+por+Kt)	43	44

alapján) mennyiségi és minőségi paramétereit a 6.8. táblázat tartalmazza. A táblázatban közreadott adatok (m tömeghányad, A<sup>d</sup> száraz hamutartalom) működés teljes időszakában természetesen kisebb-nagyobb mértékben ingadoztak.

Az előkészítőmű üzembe helyezésétől kezdődően problémát jelentett az apró szén dúsításának hiánya. Bár a 20(10) mm alatti rész és a dúsítás során leválasztott középtermék erőműbe került, a 40–45% hamutartalom mind az energetikai határfok, mind a gazdaságosság tekintetében jelentős problémákat vetett fel. Ezek csökkentése, részbeni megszüntetése érdekében vizsgálatok folytak a 20(10) mm alatti szemcsefrakció (aprószén–porszén) dúsítására, a „tisza” meddő leválasztásának megoldására. Az 1 mm alatti (iszap-) szemcsék hidrociklonnal történő előzetes leválasztását követően a dúsítási vizsgálatok két irányban folytak. Egyik irány nehézsuszpenziós ciklon alkalmazása 1,8 kg/dm<sup>3</sup> magnetites szuszpenzióval. A másik irány kétlépcsős technológia alkalmazását jelentette, ahol első lépcsőben saját leves ciklonnal (elválasztási sűrűség kb. 1,4 kg/dm<sup>3</sup>) a „tisza szén” leválasztása történt meg, majd ezt követően a középtermék jellegű alsó termék egy nehézsuszpenziós ciklon (1,8 kg/dm<sup>3</sup> magnetites szuszpenzióval) alkalmazásával került továbbdúsításra. Az elvégzett laboratóriumi és félüzemi szintű kísérletek eredményei alapján a finom szén dúsítása során elérhető, várható, eredményeket a 6.9. táblázat foglalja össze.

A borsodi (berentei) szénelőkészítőmű működésének értékelésével kapcsolatban a következő megállapítások születtek. Az üzem tervezése, létesítése, a berendezések kiválasztása nem volt megfelelően átgondolt, inkább a Tatabányán már működő rendszert adaptálták (ÁVF által megvásárolt WEMCO dob beépítése). A két nagyteljesítményű (300 t/óra) WEMCO dob az üzem működését rugalmatlanná tette. A változó kereslet, az ingadozó bányabeli beszállítások miatt jelentkező kisebb kapacitásigény esetén is fenn kellett tartani a teljes szuszpenzióáramot, ami jelentős többletköltséget generált. A nyersszénben lévő meddő (márga, agyag stb.) tulajdonságai miatt a szuszpenzió erősen szennyeződött, rontva ezzel a szétválasztás élességét és növelve a szuszpenzió- (magnetit-) veszteséget. A fajlagos magnetitvesztesség 12–15 kg/t volt, míg a korszerű üzemekben legfeljebb 0,1–0,2 kg/t. Ez ugyancsak jelentősen növelte a költségeket. Az apró, finom és porszén (a teljes aknászén 30–50%-a) dúsítása nem valósult meg, így az energetikai szén hasznosíthatósága (40–45% hamutartalom) is nehézségeket jelentett. Már az 1 mm alatti (iszap-) rész leválasztása is jelentős minőségjavulást (5–10% hamutartalom-csökkenés) eredményezett volna az energetikai szénnél (6.9. táblázat). A beruházás elkészült, mire megvalósult, addigra csökkent a szén iránti kereslet, megindult a bányák felszámolása, bezárása, így jelentős gazdasági és szakmai veszteség keletkezett.

**6.9. táblázat.** A borsodi apró–finom szén dúsítása során várható eredmények (NME Ásványelőkészítési Tanszék 1987a)

Termék	m [%]	A <sup>d</sup> [%]
Nehézsuszpenziós ciklon		
Feladás 0–20 mm	100	47,5
Leválasztott iszap (<1 mm)	25	79
Dúsításra feladott (1–20 mm)	75	37
– Dúsított szén (<1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	55	22
– Meddő (>1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	20	79,5
Sajátleves ciklon + nehézsuszpenziós ciklon		
Feladás 0–20mm	100	47,5
Leválasztott iszap (<1 mm)	25	79
Dúsításra feladott (1–20 mm)	75	37
– Sajátleves ciklon koncentrátum	25	15
– Nehézsuszpenziós ciklon koncentrátum (<1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	30	27
– Meddő (>1,8 kg/dm <sup>3</sup> )	20	79,5

szétválasztást követően került értékesítésre. A leválasztott „tisza” meddőt (>1,8 kg/dm<sup>3</sup> sűrűségű rész) aprítás után zagytározóba szállították.

A szénelőkészítő üzem tervezett technológiai paramétereit (szemcseméret, elválasztási sűrűség) az üzemeltetés tapasztalatai alapján, kereskedelmi és gazdasági okok miatt megváltoztatták. A dúsításra kerülő rész alsó szemcsemérete a tervezett 20 mm-ről 10 mm-re csökkent, míg a „tisza” szén leválasztásánál az elválasztási sűrűséget, a tervezett és kezdetben alkalmazott 1,4 kg/dm<sup>3</sup> sűrűségről 1,6 kg/dm<sup>3</sup> értékre növelték. Ezekkel a változásokkal a döntően lakossági felhasználásra értékesíthető mosott szén (szénkoncentrátum) mennyisége megnőtt (kb. 15%-al), a minőség kismértékű (kb. 2%-os) romlása mellett, míg az energetikai hasznosításra erőműbe átadott „energetikai szén” mennyisége csökkent a minőség romlása mellett.

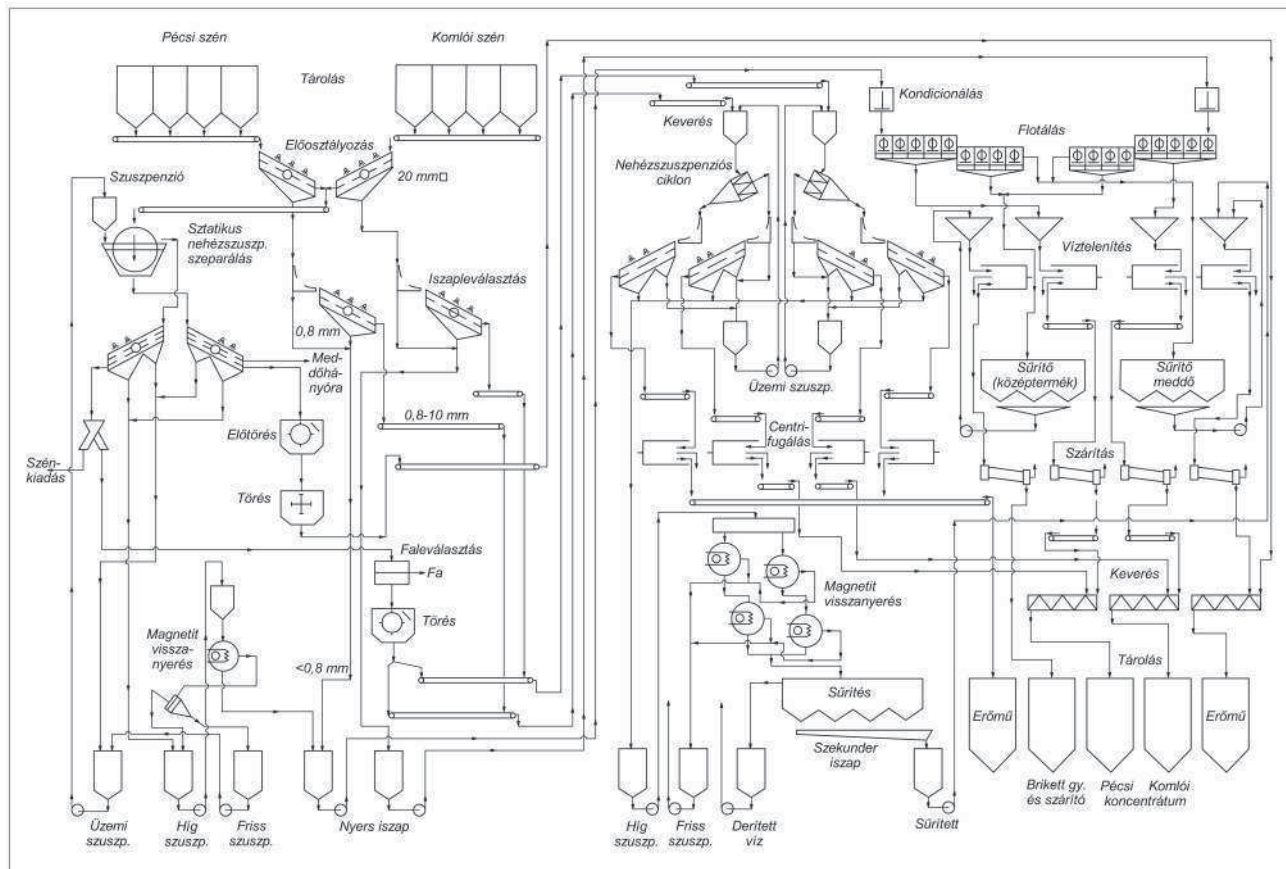
A borsodi szénelőkészítő üzem „tájékoztató jellegű” (több, különböző időszakból származó mérés és adatközlés

### A mecseki (líász) szén előkészítése

A több mint kétszáz éves múlta visszatekintő mecseki szénbányászatban, a gépesített széndúsítás bevezetésétől kezdve nedves eljárásokat (ülepítés, csatornamosás) alkalmaztak (kivéve egy rövid ideig Komlót). A Dunagőzhajózási Társaság (DGT) valamennyi üzemében már működött előkészítő berendezés. 1914-ben adták át a már központosított Pécsújhegyi Szénelőkészítő Művet, ahol az akkori

kornak megfelelő, legkorszerűbb eljárásokat alkalmazták. A folyamatos korszerűsítések és fejlesztések mellett működő Pécsi (Pécsújhegyi) Szénelőkészítő legutóbbi bővítését és rekonstrukcióját a ún. Liász program keretében tervezték megvalósítani. A fejlesztés alapvető célja, a hazai vaskohászat számára, jó minőségű kokszszén-koncentrátum előállítása.

A tervezett és 1982-ben megindult fejlesztések megvalósítását követően, a tervek szerint, az előkészítőmű évi 900 kt kokszszén-koncentrátumot állított volna elő, a térségben kitermelni tervezett kb. 3,4 Mt nyersszénből. Az üzem technológiai és kiviteli terveit a KBFI készítette. Az üzem tervezett kapacitása 700 t/óra, a nyersszén részben a pécsi (300 t/óra), részben a komlói (400 t/óra) területről tervezték beszállítani. A tervezett pécsi szénelőkészítő mű egyszerűsített technológiai sémáját a 6.17. ábra mutatja.



**6.17. ábra.** A tervezett pécsi szénelőkészítő mű egyszerűsített technológiai sémája (NME Ásványelőkészítési Tanszék 1983)

A beérkező nyersszén 20 mm feletti részéből, 1,7 kg/dm<sup>3</sup> elválasztási sűrűségénél, nehézkes statikus kádakban (Drewboy szeparátorok) leválasztották a „tisztá” meddőt (hamutartalom 75–85%), az úszó termékként keletkező előkoncentrátumot 20 mm alá aprították. A 20 mm alatti anyagrészt (az előosztályozón leválasztott és a tört előkoncentrátum) 0,8 mm-nél osztályozták. A 0,8–20 mm frakciót nehézsuszpenziós ciklonokkal dúsították (elválasztási sűrűség a pécsi szén esetében 1,5 kg/dm<sup>3</sup> a komló szén esetében 1,45 kg/dm<sup>3</sup>). A ciklon felsőterméke a kokszzszen-koncentrátum (pécsi szén esetén 11%, komló szén esetén 10% hamutartalom), az alsó terméket víztelenítés után az erőműben hasznosították. A 0,8 mm alatti iszapszén flotálásra került. A flotálás habterméke (10–11% hamutartalom) kokszzén koncentrátumként, a középtermék (kb. 30% hamutartalom) brikett-alapanyagként, az 55–60% hamutartalmú flotálási meddő erőműben került hasznosításra. A szénelőkészítő mű becsült mennyiségi és minőségi paramétereit, a tervezési és a próbaüzem időszakának adatai alapján a 6.10. táblázat foglalja össze.

A hazai kokszszén-koncentrátum iránti igény teljes megszűnésének következtében a szénélőkészítő mű folyamatban lévő beruházása leállt, az üzembe helyezésre nem került sor, csak rövid ideig próbaüzemben működött. A szénkitermelés megszűnése, a bányák bezárása miatt a dúsító üzemet leállították, a berendezéseket leszerelték és értékesítették. Fel kell hívni arra a figyelmet, hogy a komlói és a pécsi területről érkező nyersszéneket a szénélőkészítés során mindvégig külön kezelték, (még külön is

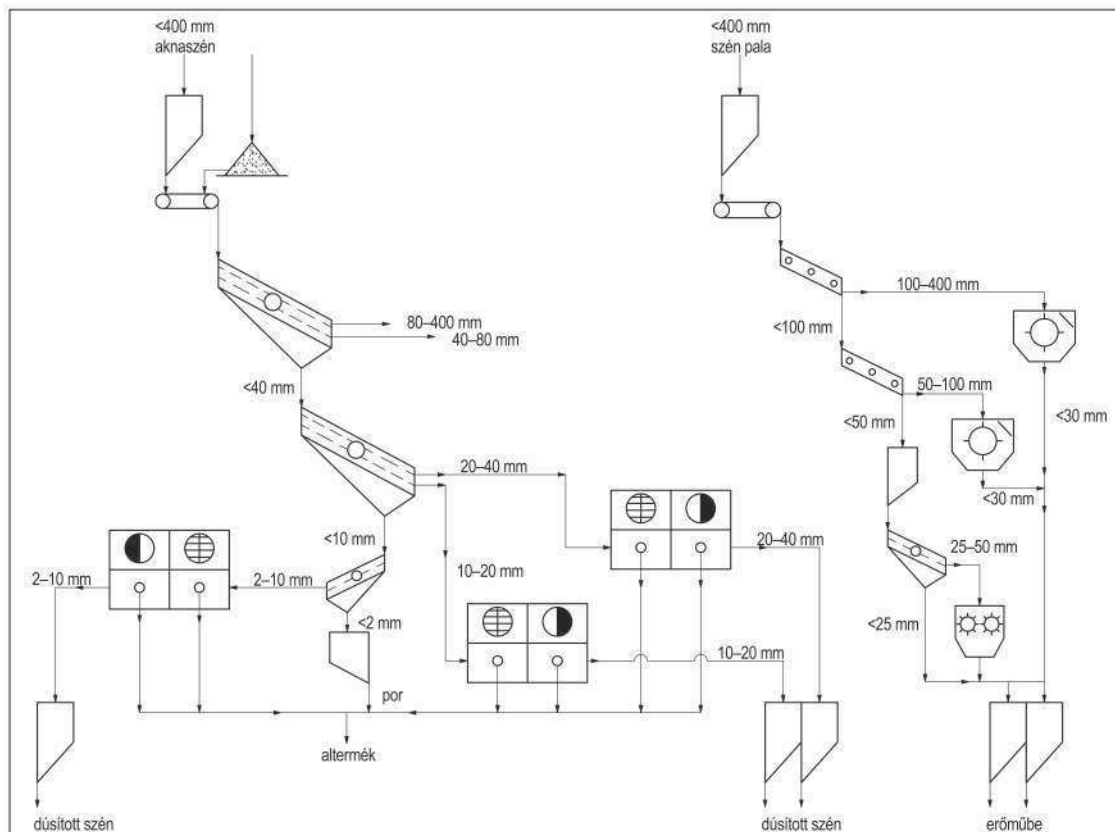
**6.10. táblázat.** A pécsi szélelőkészítő mű becsült mennyiségi és minőségi adatai

Termék	m [%]	A <sup>d</sup> [%]
Kokszszén koncentrátum	24,5	10,4
Lakossági értékesítés (20 mm feletti)	2	24
Brikett alapanyag	5,5	30
Energetikai hasznosítás (erőmű)	58	59
Meddő	10	~ 80
Feladás	100	~ 47



### Az eocén szenek előkészítése

1980–86 között létesült az oroszlányi száraz szélélőkészítő műben csak a 40 mm-nél kisebb szemcseméretű rész dúsítására került sor méretfrakciókra bontva, Martiny-féle légülepítőkkal. A 40 mm feletti termék részben kereskedelmi frakciókra bontva lakossági felhasználásra került értékesítésre. A rendszer egy időben kiegészült a 40–80 mm-es frakció feldolgozására alkalmas gépi optikai válogató (SORTEX) részleggel is, amit azonban a nem megfelelő működés miatt rövid idő múlva leállítottak. Az Oroszlányi Szénbányánál működő száraz szélélőkészítő mű egyszerűsített törzsfáját a 6.19. ábra mutatja. Az ábrán látható, hogy külön rendszer üzemelt a kizárólag energetikai célra termelt, pala-szén feldolgozására. A szélélőkészítő üzem működése, a térség bányászatának felszámolásával megszűnt, a létesítményeket leszerelték és lebontották.



**6.19. ábra.** Az oroszlányi szénélőkészítő egyszerűsített törzsfája (NME Ásványlőkészítési Tanszék 1983)

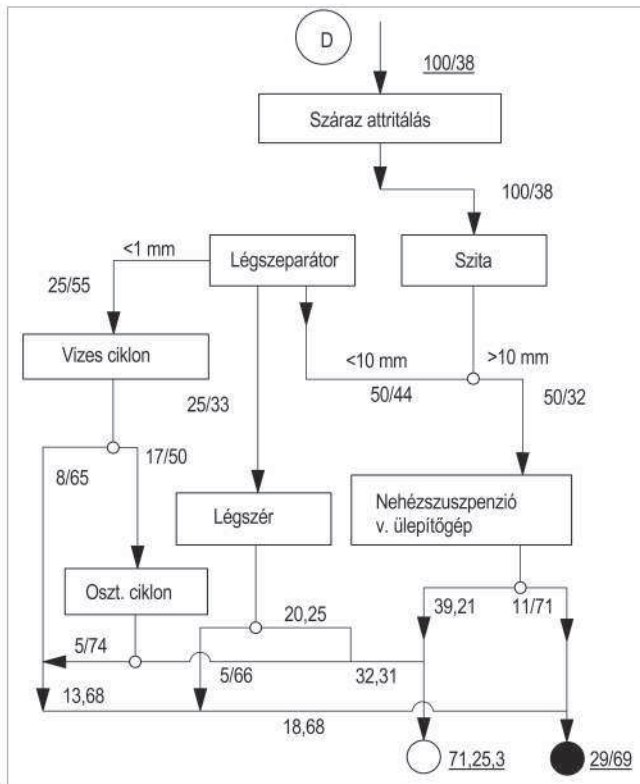
Tatabányán 1980-ban kezdte meg működését a szénelőkészítő. Az 500 t/óra kapacitású kéttermékes nehézsuszpenziós szénmosó eredeti elképzelés szerint a 8–200 mm -es szemcsetartomány dúsítására létesült. A rendszert később átalakították és a finomszén (0,5–20 mm) előkészítésére alkalmas kéttermékes nehézsuszpenziós ciklonos részleggel történő kiegészítését tervezték, a névleges kapacitás 615 t/órára történő növelésével. Ez a fejlesztés már nem valósult meg mivel az üzem, már a beindítást követően is, elsősorban alapanyaghiány miatt kapacitásának csak 10–20%-val üzemelt.

A szénélőkészítő egyszerűsített technológiai sémáját a 6.20. ábra mutatja. Az ábrán az apró szén (20 mm alatti) dúsítására tervezett rendszer is látható. A kezdetben 8–200 mm-es később 20–200 mm-es feladással üzemeltetett kéttérmekecs WEMCO dobban a „tisztza” meddó leválasztását kívánták megvalósítani. Az elválasztási sűrűség 1,8 kg/dm<sup>3</sup> volt. Sajnos ez az üzem sem működött tartósan, rövid idő alatt bezárták és leszerelték.

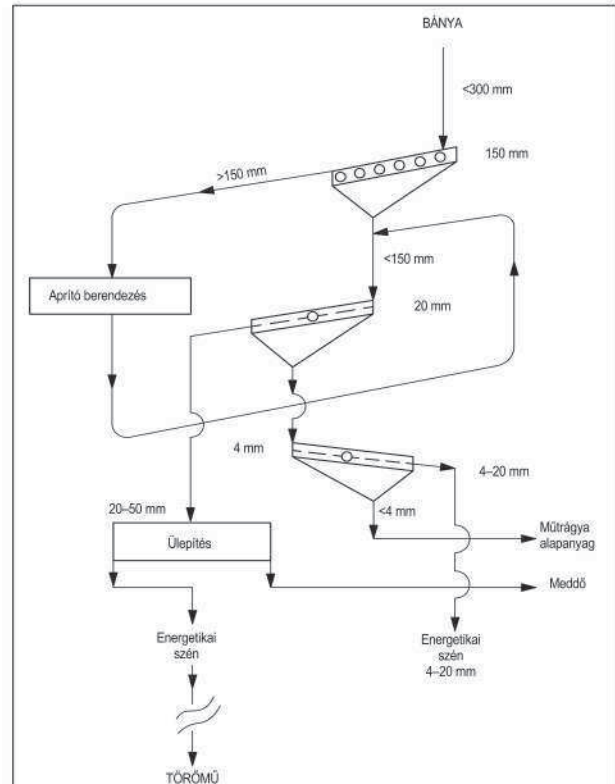
*A mátra-, bükkaljai lignitek dúsítási vizsgálatai*

A hazai, főleg a visontai lignitek vizsgálatával, az előkészítési technológiák kidolgozásával a KBFI, a Miskolci Egyetem Ásványelőkészítési Tanszéke, valamint a Mátraaljai Szénbányák szakemberei folytattak több évtizeden keresztül intenzív munkát. A laboratóriumi és félüzemi vizsgálatok mellett, üzemi kísérletekre is sor került a Pécsújhegyi Szén-előkészítőműben, valamint a németországi KHD Humboldt Wedag cégnél. A dúsítási vizsgálatok mind a száraz, mind a nedves eljárásokra kiterjedtek, a következők szerint. A száraz dúsítási technológiák között szerepelt a szelektív aprítás, osztályozás, a száraz attritálás, a száraz üleptítés és a légszérelés. A nedves dúsítási technológiák körében vizsgálták az

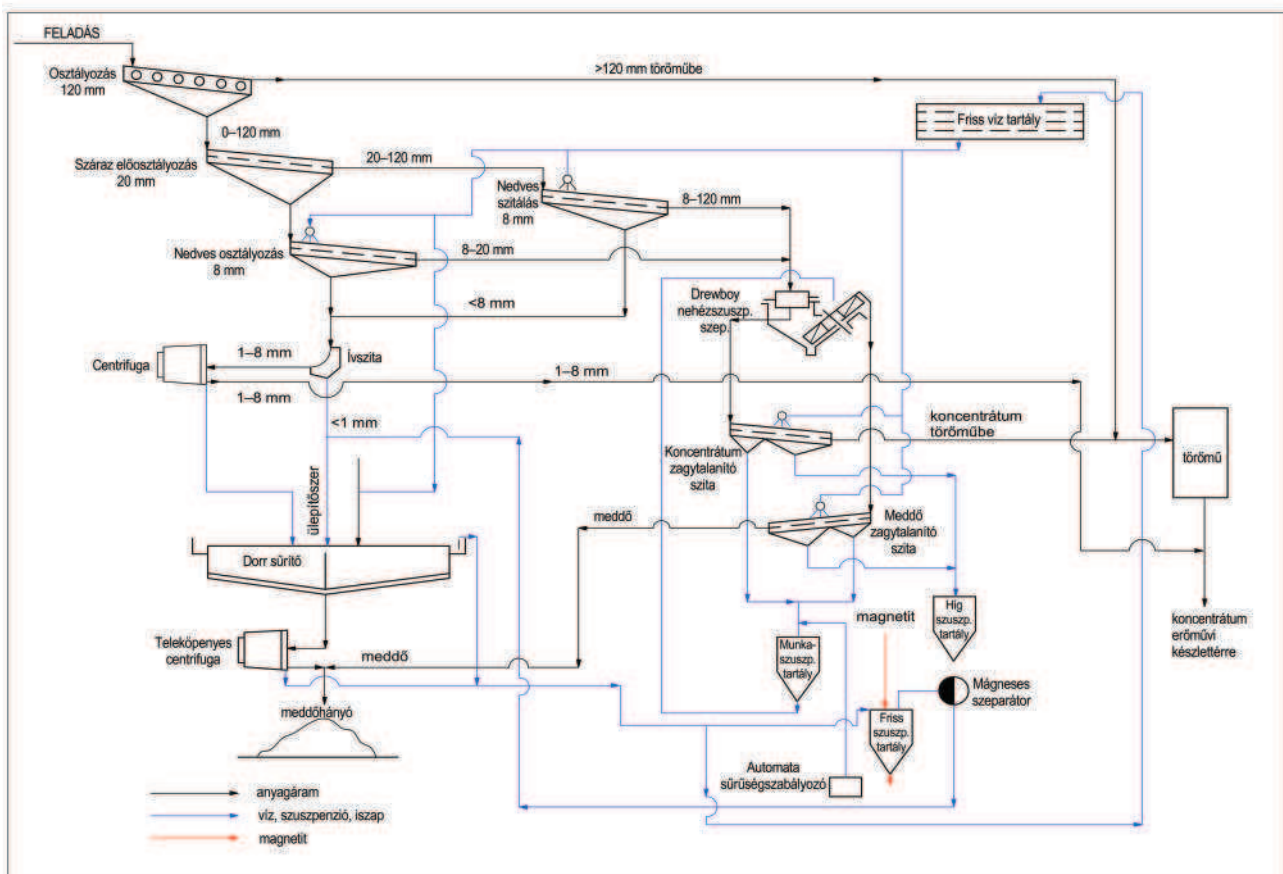




**6.22. ábra.** Kombinált (száraz és nedves) dúsítási technológia javaslat lignitek dúsítására (NME Ásványelőkészítési Tanszék 1988b)



**6.23. ábra.** Ülepítő gépes technológia lignitek dúsítására (NME Ásvány-előkészítési Tanszék 1988b)



**6.24. ábra.** A KBFI által lignitek dúsítására kidolgozott „optimális” technológia sémája (NME Ásványelőkészítési Tanszék 1988b)

maximális szemcseméretű, kb. 38% hamutartalmú nyerslignit 20–150 mm-es frakcióját előosztályozást és törést követően a nedvesülepítő-gépre vezetik, ahol a „tisztá” meddőt (70–75% hamutartalommal) leválasztják. A 20 mm alatti anyagból a 4 mm-nél kisebb részt („termék”) leválasztják, ami mezőgazdasági célra hasznosítható. A 4–20 mm-es dúsítás nélküli frakció, az ülepítés koncentrátumával együtt energetikai célra kerül felhasználásra. Az energetikai szén tömegkihozatala kb. 75%, hamutartalma kb. 30%. A kalorikus kihozatalt 90% körül becsülték. A korábbi tanulmányok szerint a visontai (valószínűsíthetően a bükkábrányi is) lignit ülepítő gépben jól dúsítható (1,5–1,6 kg/dm<sup>3</sup> sűrűség között a Bird száma alacsony).

A laboratóriumi, félüzemi és üzemi kísérletek eredményei alapján a KBFI elkészítette a lignitek optimálisnak ítélt előkészítési technológiáját, amit a 6.24. ábra mutat. E technológia kidolgozásának az volt az előzménye, hogy a Mecseki Szénbányánál a Pécsújhegyi mosóban, 40 mm alá aprított lignitmintával kísérleteket végeztek. A 20–40 mm-es frakciót Drewboy kádban 1,55 kg/dm<sup>3</sup> sűrűségnél szétválasztották. A <20 mm-es frakciót 1 mm-nél osztályozták. Az 1–20 mm-es részt nehézsuszpenziós ciklonban 1,45 kg/dm<sup>3</sup> elválasztási sűrűség alkalmazásával dúsították. A nehézsuszpenziós berendezésekkel igen éles ( $E_p = 0,015$ ) szétválasztást sikerült elérni.

Az optimálisnak ítélt dúsítási technológia-javaslat szerint, a kísérletektől eltérően a lignitet előzetesen mégsem aprítják. A >120 mm-es durva terméket dúsítás nélkül a törőműbe vezetik, tehát közvetlenül energetikai szénként javasolják hasznosítani. A <120 mm-es méretfrakciót 20 mm-nél szárazon, a <20 mm-es részt 8 mm-nél nedvesen osztályozzák, a Drewboy kádra a 8–120 mm-es szitaosztály kerül feladásra. A 8 mm alatti részből az 1 mm alatti, magas meddőtartalmú részt (por) leválasztják és a dúsítási meddővel együtt kezelik. A javasolt „optimális” technológia szerint csak a 8–120 mm frakció kerül ténylegesen dúsításra. A vizsgálatok szerint a dúsítás eredményeként az energetikai szén összes kéntartalma a nyersanyag eredeti értékéhez képest 0,3–0,4%-kal, az éghető kéntartalom 0,2–0,3 %-kal csökken.

A lignitek dúsítására végzett kísérleteket és vizsgálatokat értékelve több tanulmány is a száraz eljárásokat, (légülepítő, száraz áramkészülék, légszér) javasolja a lignitek dúsítására (különösen 20 mm alatti frakcióra). A száraz eljárásoktól, különösen a 20 mm alatti mérettartományban, csak akkor lehet elfogadható eredményt várni, ha berendezésre vezetett anyagot előzetesen portalanítják.

KÁLLAY ANDRÁS ARNOLD, KALMÁR ISTVÁN, NAGY GÁBOR,  
SZEMMELVEISZ TAMÁS, PALOTÁS ÁRPÁD BENCE

## A szénfeldolgozás lehetőségeinek alapvető irányai

A szénfeldolgozás lehetőségei két csoportba sorolhatók, az indirekt és a direkt eljárások csoportjába. A indirekt eljárások során a szenet először szintézisgázzá alakítják, majd az így keletkezett gázt hasznosítják további termékek előállítására. A direkt módszerek esetében a szén különböző típusú oldószerekben kerül feloldásra és hidrogénezésre, majd az így elkészült anyag további finomításra.

Az indirekt szénhasznosításra számos kidolgozott eljárás létezik, melyeket az évek folyamán folyamatosan fejlesztettek annak érdekében, hogy megfelelő minőségű és összetételű szintézisgázt állítsanak elő, a kiindulási anyag minőségének figyelembe vételével, a végtermékhez szükséges összetételi arányokhoz igazítva. Az elgázosítás főbb irányvonalai és a kifejlesztett módszerek részletei a szakirodalomban található kutatásokra támaszkodva kerülnek tárgyalásra.

A direkt szénhasznosítási módszer, a 20. sz. első felének cseppfolyósítási eljárásait követően, az 1980-as évek végétől, elsősorban katalizátor technológiákra alapozva, új kutatási irányokat vett. Felfutási tendenciájára tekintettel a technológia bemutatásra kerül a „Direkt szénfeldolgozási eljárások” alfejezetben, mivel azonban a szakirodalomban található adatok száma e téren jelentősen korlátozott, az itt megjelentetett eljárások elsősorban a direkt szénhasznosítási módszerekkel foglalkozó konferenciákon prezentált és az e kutatásokkal foglalkozó cégek internetes felületén megjelenített adatokra támaszkodnak.

## A szintézisgáz fogalma és ipari jelentősége

A növekvő energiaigény és energiaárak új alternatív energiaforrások felfedezését sürgetik. Ilyen megoldás lehet a szintézisgáz, amely alapanyagként szolgálhat más energiaforrások előállításához, de önmagában is számos felhasználási területen alkalmazható. Szintézisgázt sokféle célra, sokféle kiindulási anyagból és sokféle eljárással állítanak elő (GASIFEDIA SUPPORTING TECHNOLOGIES 2010). Legfontosabb kiindulási anyagai a barnaköszén, feketeköszén, földgáz és a kőolajat kísérő egyéb gázok, kőolajfrakciók, biomassza, hulladék. Nagyobb hidrogéntartalmuk miatt a földgáz és a könnyű kőolajfrakciók a legalkalmasabb alapanyagok, megindult azonban a szénelgázosítás reneszánsza is, mely napjainkban a különböző eredetű biomasszákat és hulladékok felhasználásával egészült ki. Az ipari felhasználásban legelterjedtebb elgázosító berendezésekben oxigén/levegő és víz/vízgőz keveréket használnak elgázosításra. Az így előállított gáz kémiai összetétele és fűtőértéke függ az eljárás folyamán felhasznált nyersanyag kémiai összetételétől, az elgázosító segédanyagok összetételétől, az elgázosítás körülményeitől és az alkalmazott elgázosító típusától.

Az elgázosítás folyamán keletkezett gázokat három csoportba sorolják (VAMVUKA 2010). Megkülönböztetnek alacsony ( $<10 \text{ MJ/m}^3$ ), közepes ( $10\text{--}20 \text{ MJ/m}^3$ ) és magas ( $>20 \text{ MJ/m}^3$ ) fűtőértékű gázokat. Az alacsony fűtőértékű gázokat elsősorban fűtőgázként használják, gázturbinákban és ipari kemencékben, míg a rendszerint oxigén és gőz segédanyagok felhasználásával előállított, nagyrészt szén-monoxidot és hidrogént tartalmazó magasabb fűtőértékű ún. szintézisgázokat üzemanyag gyártására vagy kémiai szintézisben hasznosítják.

A szintézisgáz általánosan elterjedt fogalom olyan gázkeverékek elnevezésére, amelyek egy jellemző szintézis összes, vagy néhány reakciókomponensét tartalmazzák. Ilyen értelemben szintézisgáz a  $\text{N}_2\text{--H}_2$  elegye az ammóniaszintézis esetében, vagy a metanol gyártás alapjául szolgáló  $\text{CO--H}_2$  gázkeverék. Szűkebb értelemben szintézisgáznak nevezik a különböző arányban, túlnyomórészt szén-monoxidot és hidrogént tartalmazó gázelegyet.

Alternatív elnevezések a  $\text{CO--H}_2$  gázelegyre eredet szerint „vízgáz” ( $\text{CO+H}_2$ , vízgőz és szén redukciójából), illetve „bontási gáz” (Spaltgas:  $\text{CO+3H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  vízgőzös bontásából), felhasználás szerint beszélhetünk pl „metanol-szintézisgárról” ( $\text{CO+2H}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$  előállítására), vagy „oxogárról” ( $\text{CO+H}_2$ , aldehidek szintézise).

A szintézis gáz gyártásának egyik fő célja, hogy gépjárművek meghajtásához és elektromos áram előállításához alkalmas gázt állítsanak elő. A vegyipar az alapvető ammónia- és metanolszintézisen kívül jelentős mennyiségű szintézisgázt használ fel a hidrogéngyártásra, Fischer–Tropsch és más vegyipari szintézisek céljából, mint például az oxoszintézis vagy az ecetsavgyártás. A különböző technológiai eljárások során keletkező szintézisgázok azonban arra is alkalmasak, hogy egyes folyamatok hőigényét is biztosítsák. A metanolt ma már szinte kizárólag szintézisgázból állítják elő. A metanol közvetlenül is felhasználható, de számos petrokémiai termék nyersanyaga is.

A szintézisgáz a jövő petrokémiai nyersanyaga, nemcsak az esetleg kimerülő, vagy korlátozottan elérhető szénhidrogénforrások alternatívájaként, hanem azért is, mert a metántól a biomasszáig minden széntartalmú anyagból előállítható, így alkalmas értéktelen vagy környezetre ártalmas anyagok ártalmatlanítására is.

Az Egyesült Államok Nemzetközi Energiatechnológiai Laboratóriuma (US NETL) által 2010-ben készített adatbázis a világ szintézisgáz-termeléséről tájékoztat (GASIFICATION SYSTEMS 2010). Ekkor a világon 70 817 MWth hőenergia származott 144 működő elgázosító üzeméből, összesen 412 elgázosítóból. Ezt követően 11 üzem épült 17 elgázosítóval és 37 üzem volt tervezési stádiumban 76 elgázosítóval. 2016-ra a világ szintézisgáz-termelő kapacitása elérte a 122 106 MWth-t 192 üzemmel és 505 gázosító reaktorról. Elgázosító üzemek jelenleg 29 országban vannak, amelynek 37%-a az Ázsia/Ausztrália régióban található. 2016-ban a teljes tervezett szintézisgáz-kapacitás 63%-a Észak Amerikát érintette. A szén 2016-ban is megtartotta vezető szerepét az elgázosítandó alapanyagok sorában. A szén részaránya 51%, az olaj alapanyagé 25%, a földgázé 20%. A megépült 11 üzem mind szénbázisú. A tervezett kapacitások 70%-a is szénelgázosító.

A szintézisgázból előállítható piacképes termékek területén a vegyipar vezet (45%), ezt követik a közlekedés folyékony tüzelőanyagai (38%), az energiaipar (11%) és a gáz tüzelőanyagok (6%). 2016-ra a legnagyobb növekedés (38%) az energiaiparban várható. A szintézisgázgyártás helyzetét és fejlesztéseit (2010–2016 között) a világban összefoglalóan mutatja be a 7.1. táblázat, ugyanezen időszak kínai piacon bekövetkezett változásait később tárgyaljuk.

7.1. táblázat. Szintézisgáz kapacitások a világban (Gasification Systems 2010)

	Üzemelő 2010	Megvalósítás alatt 2010	Tervezett 2011–2016	Összesen
Szén				
Szintézisgáz kapacitás (MW <sub>th</sub> )	36,315	10,857	28,376	75,548
Elgázosítók	201	17	58	276
Üzemek	53	11	29	93
Kőolaj				
Szintézisgáz kapacitás (MW <sub>th</sub> )	17,938			17,938
Elgázosítók	138			138
Üzemek	56			56
Gáz				
Szintézisgáz kapacitás (MW <sub>th</sub> )	15,281			15,281
Elgázosítók	59			59
Üzemek	23			23
Petrokoksz				
Szintézisgáz kapacitás (MW <sub>th</sub> )	0,991		12,027	13,018
Elgázosítók	5		16	21
Üzemek	3		6	9
Biomassza/Hulladék				
Szintézisgáz kapacitás (MW <sub>th</sub> )	0,373		0,029	0,402
Elgázosítók	9		2	11
Üzemek	9		2	11
Teljes				
Szintézisgáz kapacitás (MW <sub>th</sub> )	70,898	10,857	40,432	122,187
elgázosító	412	17	76	505
üzem	144	11	37	192

Az elgázosítás optimális módszerének és berendezésének kiválasztása a rendelkezésre álló szén minőségén, előállítási költségén, kémiai és fizikai összetételén (nedvességtartalom, fűtőérték, illóanyag tartalom stb.), a szintézisgázzal szemben támasztott követelményeken, illetve a beruházás kapacitásán és költségvetésén múlik (COLLOT 2006, REZAIYAN, CHEREMISINOFF 2005, ORDORICA-GARCIA *et al.* 2009).

Az elgázosítás bonyolult kémiai folyamat, mely alatt heterogén és homogén reakciók is lejátszódnak (LIU *et al.* 2009).

A homogén gázfázisban lejátszódó reakciók folyamata viszonylag egyszerűen levezethető, mivel nagy része kémiai egyensúlyban van az adott elgázosító berendezésben létrejövő nyomáson és hőmérsékleten. A gáz- és szilárd fázis között, azaz heterogén fázisban végbemenő reakciók levezetése azonban ennél jóval bonyolultabb, mivel a lejátszódó kémiai folyamatokban a hőcsere és a tömegtranszfer is jelentős szerepet kap. A mélyebb megértéshez elengedhetetlen az elgázosítás kémiájának rövid áttekintése.

## Az elgázosítás kémiai folyamatai

### Termokémiai eljárások

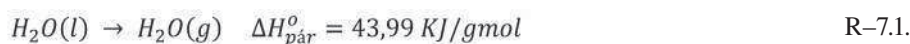
A termokémiai átalakítási folyamatok célja, hogy a szenet, biomasszát vagy hulladékot folyadék vagy gáz halmazállapotú termékkel alakítsák át. A résztermékek, mint amilyen a szintézisgáz vagy a bioolaj egyedi eljárásokon mennek keresztül, hogy a gázolajhoz, benzinhoz vagy más motorhajtó anyagokhoz hasonló üzemanyagot állítsanak elő. A két leggyakoribb termokémiai eljárás az elgázosítás és a pirolízis. Az elgázosítás során hőt és bizonyos mennyiségű oxigént használnak fel arra, hogy a fenti alapanyagokat szintézisgázzá alakítsák. Az elgázosítás fő nehézségei, megoldandó problémái a reaktor megbízható üzemeltetése, a folyékony üzemanyagok előállításához szükséges katalizátorok fejlesztése és a gáztisztítási technológiák finomítása.

*Pirolízis* során a tüzelőanyagokat, a teljes elégetéshez elegendő levegő hiányában, 450–600 °C-ra hevítik. Ilyen körülmények között a szerves anyagok, az atomok gyors mozgásának következtében szétesnek. A folyamat során szerves gőzök, gázok és faszén keletkezik. A szerves gőzök kondenzációjával nagy energiatartalmú olajok nyerhetők, valamint a pirolízis során keletkező gázok is jól hasznosíthatók energiaforrásként. A szerves anyagok pirolízise során a szerves anyagokból a következő termékek keletkeznek: pirolízis gáz, folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz), szilárd végtermék (pirolízis koks). Pirolízissel elsősorban biomasszákból és szerves hulladékból állítanak elő szintézisgázt. A tüzelőanyagok pirolízise lejátszódhat egy különálló technológiai rendszerben is (elsősorban hulladékégetésnél), de részét képezi az elgázosítási technológiának is (fa- és szénelgázosítás).

A tüzelőanyagok *gázosítása* zárt térben, nagy hőmérsékleten történik, így pl. szénből és szilárd biomasszából éghető gáz nyerhető. A keletkező gázkeverék alkotói: CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, metán, vízgőz, nitrogén, valamint kevés szén, hamu és kátrány. Elgázosításnál a tüzelőanyagok hőbontása min. 800–950 °C hőmérsékleten történik. Az elgázosítás segédanyagok – levegő, oxigén, vízgőz – segítségével megy végbe, célja a lehető legnagyobb gázkihozatal, az elgázosításhoz szükséges energiát pedig a szerves anyagok parciális égetése biztosítja. A keletkező gáztermék döntően hidrogént és szén-monoxidot tartalmaz, fűtőértéke a pirolízisgáz fűtőértékénél kisebb. Az elgázosítás előnye, hogy kisebb a tisztítandó gázmennyiség, a magas hőmérsékleten a nagymolekulájú szénhidrogének, főként az ártalmas klórtartalmú vegyületek lebomlanak, üvegszerű salakgranulátum előállítása esetén pedig a nehézfémek kötésbe kerülnek, így a szilárd maradékok másodlagos környezetszennyező hatása kisebb, s maga a keletkező gáztermék is tisztább. A keletkező gáz tisztítására a komplex tisztítási eljárások alkalmazhatók.

### Az elgázosítás kémiai reakciói

Az elgázosítás első lépésében a nedvességtartalom eltávolítása megy végbe, mely magas nedvességtartalom esetén hőigénye (R–7.1) folyamán csökkentheti az elgázosítás hatásfokát, ugyanakkor, felhasználható gázosító segédanyagként (BELL et al. 2011).



A szénfajtákat nedvességtartalom alapján két csoportba sorolják: (1) a gyenge minőségű szenek nagy nedvességtartalommal rendelkeznek (akár 35 m/m%), ezek közé tartoznak a lignit, barnaszén, félbitumenes szenek, (2) a jó minőségű szenek nedvességtartalma alacsony (<5 m/m%), ezek közé tartoznak a bitumenes szenek. A szárítás hőmérséklet-tartománya ~100–150 °C, mélyreható kémiai átalakulás ekkor nem következik be.

*Pirolízis* alatt a tüzelőanyagok oxigén hiányában történő termikus bomlását értjük. A pirolízis háromféle termék – szilárd, folyékony és gázfázis – felszabadulásával jár. A keletkező termékek arányát a tüzelőanyagok kémiai összetétele és a működési feltételek befolyásolják. A pirolízis során keletkező gáz fűtőértéke kisebb 3,5–8,9 MJ/m<sup>3</sup>. A pirolízis hőmérséklet szempontjából három különböző szakaszra osztható (VAMVUKA 2010). Az első szakasz lassan lejátszódó és ~300 °C hőmérséklet alatt megy végbe. Viszonylag kevés mennyiségű illóanyag (vízen kívül) távozik a szénből és az elsődleges termékek közé a CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O és H<sub>2</sub>S tartozik (LIU et al. 2009). A második szakasz egy gyors folyamat, ~350–550 °C hőmérséklet között játszódik le és az illékony összetevők mintegy 75%-a felszabadul. Elsődleges termékek között szerepelnek a könnyű szénhidrogének, és szerves anyagok. A harmadik fázis ~550 °C hőmérséklet felett játszódik le, ez az úgynevezett másodlagos illósítás, a szén (char) tulajdonképpeni elgázosítása, melyben az elsődleges termékek a H<sub>2</sub> és a nem kondenzálható gázok (CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>).

A hő hatására először a szénben jelenlevő nagyobb szerves csoportok alifás kötése szakadnak fel. A pirolízis folyamán a szénhidrogének csoportja az elbomlott alifás szerkezetekből, a CO, CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>O az oxigént tartalmazó funkcionális csoportok felbomlásából, a hidrogén pedig az aromás vegyületek kondenzációs reakcióiból származik (XU *et al.* 1987, CALKINS *et al.* 1984). A szerves csoportok gőznyomása egy bizonyos méret alatt viszonylag alacsonnyá válik, ami megakadályozza elpárolgásukat. Ezek alkotják a szénkátrányt (illóanyag, mely légköri nyomáson és hőmérsékleten kondenzálódik), a nagyobb csoportokról leszakadó oldalláncok pedig a szénhidrogéngázokat (BELL *et al.* 2011, SHINN 1984, XU *et al.* 1990).

A pirolízis folyamata jelentős mértékben függ a felhasznált szén típusától és az elgázosító berendezés működtetési feltételeitől, mint a nyomás, hőmérséklet, fűtési sebesség (LIU *et al.* 2009). E feltételek közrejátszanak az illóanyaghozamban, a szén (char) végső szerkezetében, végső soron a heterogén fázisban végbemenő reakciókban. A kiváló illóanyag mennyisége enyhe növekedést mutat az elgázosítás felfűtési sebességének növekedésével, illetve magasabb végső hőmérséklet elérésével (VAMVUKA 2010, ZENGH 2005). A szén szemcseméretének csökkenése ugyancsak együtt jár az illóanyaghozam növekedésével, mivel a nagyobb méretű szemcsék lassabb felmelegedése kevesebb illóanyag kibocsátással jár.

A nyomás növelése az illóanyag hozamának csökkenésével jár, viszont ebben az esetben a szintézisgáz nagyobb mennyiségben tartalmaz könnyű gázokat melyek a krakkolási reakciók következtében keletkeznek. A szénből pirolíziskor kiváló illóanyag mennyisége, a száraz és hamumentes tömegre számolva, elérheti akár a 70%-ot is, de 40–50% mennyiség a jellemzőbb (LIU *et al.* 2009). Ez a mennyiség, függ a szén minőségétől. Jó minőségű szenek, mint az antracit, sokkal kevesebb illóanyagot tartalmaznak. Átlagosan, légköri nyomáson végbement pirolízis esetén a keletkező szénkátrány átlag molekulatömege ~350 atomtömeg egység.

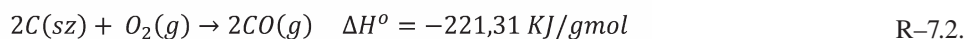
Az illóanyagból származó szénkátrány mennyisége ugyancsak nagymértékben függ a szén minőségétől (SQUIR *et al.* 1986, SOLOMON *et al.* 1984) Gyenge minőségű szén általában sokkal kisebb arányú szénkátrányt tartalmaz, mint a jó minőségű bitumenes szén. Nyomás növelése esetén a nagy molekulatömegű vegyületek gőznyomása nem lesz elegendően magas a párologáshoz, így az illóanyag kisebb arányban tartalmaz szénkátrányt és a szénkátrány átlagos molekulatömege is csökken. Mivel a gyengébb minőségű szenek eredendően is kisebb arányban tartalmaznak szénkátrányt, ezért esetükben a nyomás növelése nincs jelentős hatással a teljes illóanyaghozamra.

A pirolízist követően 1000–1555 °C-os (egyres technológiáknál ennél nagyobb) hőmérsékleten az illóanyagok exoterm oxidációs reakciói mennek végbe gázfázisban, melyek jelentősen megnövelik a végtermékében lévő szintézisgázok hőmérsékletét (LIU *et al.* 2009). Ezek az égési reakciók, különösen magas illóanyag-tartalmú szén esetén, az alacsony oxigén/szén arálynak köszönhetően nem mennek teljesen végbe és extra füstképződéssel járnak, ezért sok esetben az elgázosítók újrakeringetőkké vannak felszerelve. Az újrakeringetett füstgázok nagy részben szén-dioxidot, gőzt és (levegős elgázosítók esetében) nitrogént tartalmazhatnak, mely mérsékli a hőmérsékletet, ugyanakkor egyes oxigénes elgázosítók esetén a füstgázokban jelentős mennyiségű szén-monoxid és hidrogén jelenhet meg, melynek oxigénnel való reakciói tovább növelik a hőmérsékletet. Ezek a reakciók homogén gázfázisban mennek végbe, ezért nem lép fel fázisok közötti tömegtranszport-korlátozás, de jelen van a gázfázisban lévő éghető gázok és oxigén keveredése következtében keletkezett ellenállás. A gázfázisban végbemenő oxidációs reakciók ezzel együtt is az elgázosítás leggyorsabban végbemenő reakciói (7.2. táblázat).

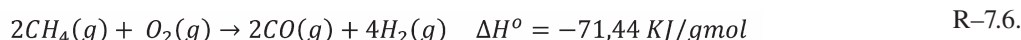
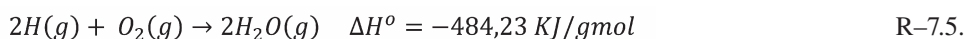
7.2. táblázat. A gázosítás során lejátszódó legfontosabb kémiai reakciók

Reakcióegyenlet			Megnevezés	$\Delta H_0$ (kJ/mol)	Egyensúlyi állandó	
					800 °C	1300 °C
Oxigénnel végbemenő (exoterm hőtermelő) reakciók						
1	$2C+O_2\rightarrow 2CO$			-246,3	$1,4\times 10^{18}$	$1,5\times 10^{16}$
2	$C+O_2\rightarrow CO_2$			-406,4	$1,8\times 10^{17}$	$1,5\times 10^{13}$
3	$2CO+O_2\rightarrow 2CO_2$			-567,3	$2,4\times 10^{14}$	$5,0\times 10^9$
4	$2H_2+O_2\rightarrow 2H_2O$			-482,2	$2,2\times 10^{16}$	$4,5\times 10^{10}$
5	$2CH_4+O_2\rightarrow 2CO+4H_2$			-71,44		
6	$CH_4+2O_2\rightarrow CO_2+2H_2O$			-801,1	$9,0\times 10^{31}$	$4,0\times 10^{26}$
Gőzzel lejátszódó reakciók						
7	$C+H_2O\rightleftharpoons CO+H_2$	gőzgázosítási reakció		+118,4	8,0	$1,0\times 10^3$
8	$CO+H_2O\rightleftharpoons CO_2+H_2$	vízgáz reakció (CO konverzió)		-42,3	1,0	$3,3\times 10^{-1}$
9	$CH_4+H_2O\rightleftharpoons CO+3H_2$	metán reformálás		+206,2		
10	$2C+2H_2O\rightleftharpoons CH_4+CO_2$	közvetlen metanizálás		-11,3		
Egyéb lejátszódó reakciók						
11	$C+CO_2\rightleftharpoons 2CO$	Boudouard reakció		+160,9	7,7	$3,0\times 10^3$
12	$C+2H_2\rightarrow CH_4$	metanálás		-87,4	$4,7\times 10^{-2}$	$1,8\times 10^{-3}$
13	$CO+3H_2\rightleftharpoons CH_4+H_2O$			-205,8	$5,9\times 10^{-3}$	$1,8\times 10^{-6}$
14	$2CO+2H_2\rightleftharpoons CH_4+CO_2$			-248,4	$6,2\times 10^{-3}$	$6,0\times 10^{-7}$

A reakciókhoz szükséges oxigén levegő vagy tiszta oxigén formájában kerül az elgázosítóba, s reagál a szilárd fázisban levő szénrel szén-monoxidot és szén-dioxidot képezve (BELL et al. 2011).

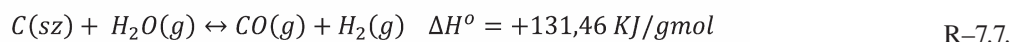


Az oxigén ugyancsak reagál a gázfázisban lévő anyagokkal.

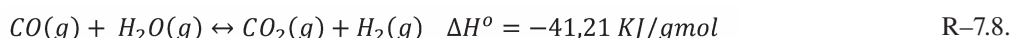


A végbemenő oxidációs reakciók exotermek, jelentős hő termelnek, mely elegendő az endoterm reakciók végbemenetéhez. Mivel az elgázosítás oxigénszegény környezetben megy végbe, az oxigén elhasználódik, mielőtt a teljes szén mennyiség átalakulna.

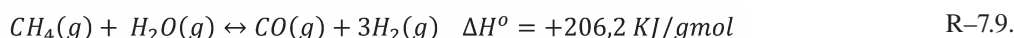
A szén égési reakción kívül a gőz reakciójának a szénrel van jelentős szerepe az elgázosítás során, mely *gőzgázosítási* reakcióként is ismeretes.



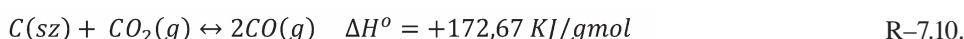
A *vízgáz reakciónak* fontos szerepe van az elgázosítóban jelenlevő szén-dioxid és hidrogén arányának szabályozásában, mely spontán módon megy végbe a magas hőmérséklet következtében.



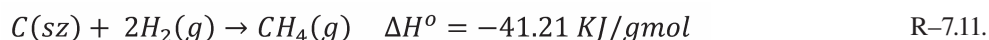
Az endoterm *metán reformálási* reakció, a fölgázból való szintézisgáz katalizált előállítására jellemző, de a magas hőmérséklet következtében az szén elgázosítása során is szerepet kap.



Az elgázosítás folyamán, még két fontos reakció játszik szerepet melyek a szilárdfázisú szén (char) és az elgázosítás folyamán termelődött szén-dioxid és a hidrogén között megy végbe. Az egyik a *Boudouard* reakció mely a szén-dioxid redukciója.



Habár a reakció reverzibilis, a fordított Boudouard reakció nagyságrendekkel lassabb és ugyanakkor a reakció végterméke által is gátolt. A másik fontos szerepet játszó reakció, a hidrogénből és szénből való metán képződése, amely *metanálási* reakcióként is ismert.



Növeli a szintézisgáz fűtőértékét, de a reakció nagyon lassú és sebessége csak nagy nyomás és katalizátor jelenlétében növelhető. A szintézisgázban a metánon kívül más szénhidrogéngáz, az elgázosítóban lévő magas hőmérséklet következtében, nem szerepel jelentős mennyiségben.

Az elgázosítóban végbemennek még egyéb reakciók is. Ilyenek a szénben jelenlevő kén, klór és egyéb szennyeződések közötti reakciók, melyek elkerülhetetlen melléktermékek az elgázosítás során. Ezen végtermékek figyelembevétele fontos, a szintézisgáz végső felhasználásának (pl. katalizátor inhibitorok) és a környezetszennyezési normák betartásának szempontjából is. A leggyakoribb összetevők a  $H_2S$ ,  $NH_3$ ,  $NO_2$ .

#### Az elgázosítási reakciók termodinamikai egyensúlya

Egy reakció végbemenetelét adott hőmérsékleten és nyomáson a kémiai egyensúly határozza meg (LIU et al. 2009). Egyszerű reakciók esetén az egyensúlyi állandó révén meghatározható a termékek egyensúlyi koncentrációja, az a

koncentráció, amikor időegység alatt ugyanannyi termék és kiinduló anyag keletkezik. Az egyensúlyi állandó a Gibbs szabad energiából számolható ki

$$\Delta G^o = -RT \ln K \quad \text{Egy-7.1.}$$

ahol,  $\Delta G^o$ , a keletkezési Gibbs szabad energiából számolt, termék és a reagens közötti különbség, 1 bar nyomáson. Ennek alapján például a vízgáz reakcióban (R-7.8.) az előre irányuló reakció sebessége ( $v_1$ ), arányos a kiindulási anyagok (CO és  $H_2O$ ) részleges nyomásával,

$$r_1 = k_1 p_{CO} p_{H_2O} \quad \text{Egy-7.2.}$$

míg az ellentétes irányú reakció sebessége a végtermékek részleges nyomásával,

$$r_2 = k_2 p_{CO_2} p_{H_2} \quad \text{Egy-7.3.}$$

ahol  $k_1$  és  $k_2$  a hőmérséklet függvényében változó *reakciósebességi állandók*, míg  $p$  a gázkomponensek *parciális nyomása*. Egyensúly esetén az ellentétes irányú reakciók sebessége egyenlő és az egyensúlyi állandó a kiinduló anyag és a termék részleges nyomásának arányával fejezhető ki,

$$K_p = \frac{k_1}{k_2} = \frac{p_{CO} p_{H_2O}}{p_{CO_2} p_{H_2}} \quad \text{Egy-7.4.}$$

ahol  $K_p$  a hőmérsékletfüggő *egyensúlyi állandó*. Az egyenletek hasonló módon felírhatók a Boudouard reakcióra (R-7.10.),

$$K_p = \frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}} \quad \text{Egy-7.5.}$$

a gőzgázosítási reakcióra (R-7.7.),

$$K_p = \frac{p_{CO} p_{H_2}}{p_{H_2O}} \quad \text{Egy-7.6.}$$

és a metanálási reakcióra (R-7.11.)

$$K_p = \frac{p_{CO} p_{H_2}^3}{p_{CH_4} p_{H_2O}} \quad \text{Egy-7.7.}$$

s az egyensúlyi állandók a hőmérséklet függvényében meghatározhatók (7.2. táblázat).

A nyomás hatását az egyensúlyi molarányra a következő képlettel lehet kifejezni

$$K_p = \frac{y_{CO} P_{tel} y_{H_2}^3 P_{tel}^3}{y_{CH_4} P_{tel} y_{H_2O} P_{tel}} = \frac{y_{CO} y_{H_2}^3}{y_{CH_4} y_{H_2O}} P_{tel}^2 \quad \text{Egy-7.8.}$$

ahol  $P_{tel}$  a teljes nyomás. Mivel az egyensúlyi állandó a  $\Delta G^o$ -ból 1 bar nyomáson kerül kiszámításra, értéke nem függ a nyomástól. Ebből következik, hogy a nyomás változásával a kiinduló anyagok és termékek molaránya változik. A vízgáz reakció esetében például a nyomás növekedésével kevesebb CO és  $H_2$  fog termelődni.

Az egyensúlyi állandók alapján történő megközelítés egyes reakciók esetében jó közelítést ad, ha azonban a teljes folyamatban szerepelnek egymással versenyben lévő reakciók (közös kiinduló anyag), más megközelítést kell használnunk. A kémiai egyensúly általánosan a Gibbs szabad energiája minimumával határozható meg,

$$dG = 0 \quad \text{Egy-7.9.}$$

ahol  $G$  a rendszer Gibbs szabad energiája ( $G = \sum_i G_i$  minden egyes  $i$  esetében) és  $G$  az entalpia  $H$ , a hőmérséklet  $T$  és az entrópia  $S$  függvényében kerül meghatározásra.

$$G = H - TS \quad \text{Egy-7.10.}$$

A kémiai egyensúly kiszámítására számítógépi programok születtek, melyek a rendszer minden egyes elemére

vonatkoztatva atomi egyensúllyal kombinált Gibbs szabad energia minimalizálást végeznek (LIU et al. 2009, BELL et al. 2011). Mivel a végső elért termodinamikai egyensúly nem függ a megtett úttól, a programok irreális mechanizmuson keresztül érik el a termodinamikai egyensúlyt, azaz hipotetikus elgázosítóban a szén elemekre bontják, majd összekeverik a bevitt víz és oxigén elemeivel, ebből számolva ki a végső egyensúlyi állapotot. Mivel reális körülmények között nem teljes az elgázosítás és a keletkező szlak és hamu is tartalmaz kevés, de ebből a szempontból jelentős mennyiségű szén, ráadásul a folyamatot más tényezők is befolyásolják, az eredményeket a jobb megközelítés érdekében empirikus eredményekkel összevetve fejlesztik.

Ilyen megközelítéssel végzett modellezést mutat be LIU et al. (2009) 4.7 ábrája, ahol 1 bar nyomáson 1:1 molarányban volt jelen gőz és szén (C), beleértve a szilárd halmazállapotban lévő szén is ( $C_{(s)}$ ). A modellezés tanúsága szerint 1200 °K hőmérsékleten, egyensúlyi állapotban, a  $C_{(s)}$  és a metán is jelen van még a rendszerben. További hőmérsékletnövelés hatására a  $C_{(s)}$  átalakul szén-monoxiddá a víz pedig hidrogénné. Hasonló tendenciát mutat a  $C_{(s)}$  és a CO keletkezési molaránya is, ahol a nyomás hatását is vizsgálták (LIU et al. 2009 4.8 ábrája). A nyomás növekedésével a kiinduló  $C_{(s)}$  csak magasabb hőmérsékleten alakul át teljesen szén-monoxiddá, amiből az következik, hogy a szén teljes átalakuláshoz, magasabb nyomáson magasabb hőmérséklet szükséges.

Elgázosítás folyamán, a szintézisgáz optimális fűtőértékének elérése érdekében oxigént és gőzt is bevisznek a rendszerbe. Az optimális bevitel aránya meghatározható a szintézisgáz normál körülmények közötti fűtőértékének kiszámításával („hideggáz fűtőérték”). A hideggáz hatásfoka ezután kiszámolható a hideggáz fűtőértékének és a még nem reagált szén fűtőértékének arányában, az alkotók egyensúlyi koncentrációjából, attól függően, hogy milyen gőz/szén és  $O_2$ /szén arány van az elgázosítóban (LIU et al. 2009 4.9 ábrája).

A teljes oxidációs reakciók, mint a szén égése, a szén-monoxid további oxidációja exoterm reakciók és nagy mennyiségű hőt termelnek, viszont a létrejövő gázoknak nincs további fűtőértéke (BELL et al. 2011). A Boudouard és a gőzgázosítási reakciók endoterm reakciók, mely során a létrejövő gázok fűtőértéke magasabb, mint a reagensüké. Ezek alapján, a szintézisgáz fűtőértékének a növelése olyan reakció körülmények között érhető el, mely ezeket az endoterm reakciókat favorizálja.

Mivel a Boudouard és a gőzgázosítási reakció is hőt igényel, a szükséges hő termelésére exoterm reakciókra van szükség. Mivel az összes lejátszódó oxidációs reakció exoterm, ezért a hőmérséklet növelését az oxigénbevitel növelésével lehet elérni. Túlzott oxigénbevitel esetén azonban a folyamat az égés irányába tolódik és a létrejövő szintézisgázok fűtőértéke alacsony lesz. Amíg az elgázosítóban oxigénbevittel az oxidációs reakciók révén növelhető a hőmérséklet, addig gőzbevittel, az endoterm gőzgázosítási reakció révén csökkenthető a hőmérséklet. Tehát a kívánt hatásfok elérése érdekében szükség van az gőz/oxigén arányának és  $(O_2+H_2O)$ /szén optimális arányának a megtalálására.

A megfelelő  $O_2/H_2O$ /szén aránya függ az elgázosító berendezés felépítésétől is. Egy állóágyas BG Lurgi elgázosítóban (l. később), Illinois No.6-os jelzésű, bitumenes szén gázosítottak el (BELL et al. 2011). Az oxigén és a gőz az elgázosító alján, a szén az elgázosító berendezés tetején került betáplálásra. Az elgázosító aljáról felszálló forró gázok felfűtik az elgázosító tetején betöltött szenet, elindítva a szén szárítását és illóanyagok kiválását, ennek köszönhetően a kilépő gázok hőmérséklete viszonylag alacsony 537 °C-ra hűl le. Az energiatakarékos tervezésnek köszönhetően a szükséges oxigénbevitel 0,54 m/m%, míg a szükséges víz mennyiség 0,40 m/m% volt a száraz szén tömegéhez viszonyítva. A szükséges víz 81 %-át tette ki a gőzbevitel, a fennmaradó részt pedig a szén nedvességtartalmából származott.

Ugyanezen szén (Illinois No.6) az elgázosításához, jelentősen eltérő mennyiségű víz- és oxigénbevételre volt szükség a Shell által tervezett magas hőmérsékleten működő elgázosítóban melyben együttes adagolásban kerül be gőz/oxigén/szén (entrained flow) (BELL et al. 2011). Az elgázosítóban felső adagolással kerülnek be a szén és az elgázosító ágensek, a szintézis gáz és a szlak pedig az elgázosító alján távozik. A kilépő szintézisgáz hőmérséklete jóval magasabb 1427 °C, az állóágyas BGL elgázosítóból kilépő szintézisgázhoz képest. A magas üzemi hőmérséklet viszonylag magas 0,83 m/m% oxigénbevitt igényel, a szükséges víz mennyisége viszont jóval alacsonyabb 0,16 m/m%, melyből 67% a gőzbevitelből, a fennmaradó pedig a szén nedvességtartalmából származott.

Az eltérő eredmények magyarázhatók, ha figyelembe vesszük az egyes alkotóelemek molarányát, mivel az elgázosítás folyamán a  $H_2O$  és az  $O_2$  egyaránt oxigénforrásként van jelen. A felhasznált vízből és oxigénből tehát az atomi O és C aránya összevethető. Ez az arány 0,9669 a BGL gázosító esetében, míg 1,015 a Shell által tervezett elgázosító esetében. Ebből arra lehet következtetni, hogy habár a két elgázosító különböző tervezésű és nagyban eltérő hőmérséklet tartományban működnek, az oxigén szükségletük megközelítő, csak a szükséges oxigén bevitelének forrásában térnek el. A Shell által tervezett elgázosítóban nagyobb mennyiségű oxigénbevitel szükséges, mivel magasabb hőmérséklettartományban működik.

Egyes elgázosítóknál a vízbevitel igénye magasabb az elgázosításhoz szükséges vízbevitelhez képest, ilyen esetekben az oxigén bevitelét is emelni kell, a többletben lévő vízmennyiség hőmérsékletének az elgázosítási hőmérsékletre való emeléséhez.

### *Fontosabb elgázosítási reakciók reakciókinetikai viszonyai*

A petrokémiai reaktorok esetében az optimális körülmények tervezése többnyire mérhető reakció vizsgálatán alapul (BELL et al. 2011). Elgázosító berendezések esetében ez nem lehetséges, mivel a folyamat nem egyetlen reakció sebességétől függ. Új elgázosító rendszerek ezért többnyire a már ismert rendszerekre alapozva készülnek, s optimális működési

körülményeiket megépítésük után empirikus módon határozzák meg. A kereskedelmi forgalomban kapható elgázosítók tervezése éppen ezért általában több évtizeden keresztül folyik, melyeket általában nagy berendezéseken tesztelnek, mivel a folyamat komplexitásának következtében a kicsinyített méretarányban készült elgázosítóban végzett kísérletek gyakran nem reprezentálják kellőképpen a nagyméretű elgázosítóban végbemenő folyamatokat.

Az elgázosítás kinetikájának tanulmányozása két részre osztható, a reakciók sebességére és mechanizmusára, valamint a reakciók sebességét befolyásoló tényezőkre (LIU *et al.* 2009). Elgázosítás során a lejátszódó kémiai reakciók mellett a fizikai tényezők is komoly hatással vannak a folyamatok sebességére és arányára.

Az oxidálási reakciók és az illékony összetevők elpárologtatása gyorsan végbemenő folyamatok, az elgázosítás végső sebességét, a rendszerben lejátszódó folyamatok leglassúbb reakciói fogják meghatározni (BELL *et al.* 2011, ORDORICA-GARCIA *et al.* 2009, LIU *et al.* 2009). Ezek közé tartozik a hidrogénezési reakció, mely során, a metanolszintézisre használt szintézisgáz nem kívánatos mellékterméke, a metán keletkezik, de a reakció jelentős mértékben csak nagyon magas hőmérsékleten és katalizátor jelenlétében megy végbe. A lassan végbemenő reakciók közé tartozik még a Boudouard és a gőzgázosítási reakció is. Mindkét reakció heterogén fázisban megy végbe, ezért a kémiai reakció sebessége mellett a fizikai folyamatok is nagyon fontos szerepet játszanak a reakció végbementében.

A fizikai folyamat 7 különböző lépésre bontható le: 1. a gázfázisú reagens diffúziója a szilárd felülethez, 2. a gáz diffúziója a szilárd felületről a belső felületekre a pórusokon keresztül, 3. a gáz adszorpciója a szilárd felületen, 4. reakció a gáz- és a szilárd fázis között, 5. a reakciótermék deszorpciója a szilárd felületről, 6. a termék diffúziója a belső felületről a külső felületre, 7. a termék diffúziója a szilárd felületről a gázfázisba. A folyamat sebességét a leglassúbb lépés határozza meg. Például ~1000 °C hőmérséklet alatt a negyedik lépés a meghatározó, ennél magasabb hőmérsékleten, az első és a második lépés kezd átvenni ezt a szerepet (BELL *et al.* 2011, LIU *et al.* 2009, ORDORICA-GARCIA *et al.* 2009).

Az Boudouard reakció két lépésre bontható fel, az első lépésben a CO<sub>2</sub> felbomlik és a keletkező CO egy oxidált felületi komplexet képez a szénrel a szén egy aktív felületén (C<sub>af</sub>),



a második lépésben a felületről egy újabb szén-monoxid szabadul fel, aktív szénfelületet hagyva maga után (LIU *et al.* 2009).



A második reakció fordított irányú reakciója lassú az előrehaladó reakcióhoz képest, így irreverzibilis reakciónak tekinthető. A reakció sebességhatározó lépése a C(O) komplex deszorpciója a szén felületéről, így a reakciósebesség kifejezhető a Langmuir–Hinshelwood mechanizmussal

$$R = \frac{k_1 p_{CO_2}}{1 + \frac{k_1}{k_2} p_{CO_2} + \frac{k_2}{k_3} p_{CO}} \quad \text{Egy-7.11.}$$

ahol  $p$  az alkotóra vonatkozó parciális nyomás,  $k_1$ ,  $k_2$  és  $k_3$  pedig az egyes reakciók reakciósebességi állandója. A C/CO<sub>2</sub> reakciósebessége függ a CO és CO<sub>2</sub> parciális nyomásától és szén-monoxid jelenlétében korlátozott.

A gőzgázosítási reakció is két lépésre bontható, az elsőben a vízmolekula disszociál a szén szabad aktív felületén H<sub>2</sub> és C(O) komplexet létrehozva,



a második lépés pedig a C(O) deszorpciója a szén felületéről ismét egy szabad aktív szénfelületet hagyva hátra.



A reakció sebességhatározó lépése ismét a C(O) komplex deszorpciója a szén felületéről, ennek alapján a reakciósebesség az előzőhöz hasonlóan írható fel.

$$R = \frac{k_4 p_{H_2O}}{1 + \frac{k_4}{k_6} p_{H_2O} + \frac{k_5}{k_6} p_{H_2}} \quad \text{Egy-7.12.}$$

A gőzgázosítási reakcióhoz az ún. hidrogén-inhibíciós modellben egy harmadik reakció is társul, melyben hidrogén C(H)<sub>2</sub> komplex jön létre,



ami megakadályozza az első reakció reverzibilitását, így a reakciósebesség a következőképpen módosul.

$$R = \frac{k_4 p_{H_2O}}{1 + \frac{k_4}{k_6} p_{H_2O} + \frac{k_7}{k_8} p_{H_2}} \quad \text{Egy-7.13.}$$

Egy másik hidrogén-inhibíciós modell szerint, a C(H) komplex, a H<sub>2</sub> disszociációs kemisztrópció útján alakul ki,



és a reakciósebesség a következőképpen alakul.

$$R = \frac{k_4 p_{H_2O}}{1 + \frac{k_4}{k_6} p_{H_2O} + \frac{k_9}{k_{10}} p_{H_2}^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Egy-7.17.}$$

Az előbbiekből látható, hogy a reakciósebesség a szén átalakulásával lineárisan csökken, vagyis az elgázosítás folyamán a szén (char) reakciója közel elsőrendű, s reaktivitása közel konstans. A hidrogén jelenléte csökkenti az elgázosítás kezdeti sebességét, melynek következménye a szén reaktivitásának fokozatos csökkenése az átalakulás mértékével.

A gőzgázosítási reakció második lépésében (R-7.15.) az előrehaladó reakcióban keletkező CO gátolhatja a C(O) deszorpciót, s a C(O) komplexszel történő további reakció szén-dioxidot eredményez aktív szabad szén(C<sub>af</sub>) felületet képződése közben.



A reakciósebesség a hidrogén felbomlásával összesítve a következőképpen írható fel,

$$R = \frac{k_4 p_{H_2O} + k_{11} p_{CO_2}}{1 + \frac{k_4}{k_6} p_{H_2O} + \frac{k_5}{k_6} p_{H_2} + \frac{k_{12}}{k_{11}} p_{CO}} \quad \text{Egy-7.15.}$$

ahol a CO<sub>2</sub> és a H<sub>2</sub> is gátolja a gőzgázosítási reakciót.

A felületi oxidok bomlási reakciójának megismerése érdekében részlegesen elgázosított szénmintákon végeztek hőmérséklet-szabályozott deszorpció mérést (BELL et al. 2011, OHTSUKA et al. 1995). A szénminták a hőmérsékletét 0,17 °C/sec-al emelve az idő és a hőmérséklet függvényében mérték a szén-monoxid deszorpcióját. A deszorpció csúcsértékek mindkét reakcióból származó minta esetében megközelítőleg ugyanabban a tartományban jelentkeztek, ami arra enged következtetni, hogy mindkét reakció ugyanazon aktív szabad szénfelületen megy végbe. Az elgázosítás folyamata alatt azonban, mikor a két reakció egyszerre megy végbe, az elgázosítás sebességét nem a reakciók sebességének összege adja, mivel a CO<sub>2</sub> jelenléte gátolja a gőzgázosítási reakciót.

$$R_{CO_2+H_2O} = R_{CO_2} + R_{H_2O} \left( 1 - \frac{\frac{k_1}{k_3} p_{CO_2}}{1 + \frac{k_1}{k_3} p_{CO_2}} \right) \quad \text{Egy-7.16.}$$

A víz adszorpcióját gátolja a már adszorbeált szén-dioxid jelenléte, ennek következtében a gőzgázosítási reakció sebessége csökken. A gőzgázosítás gyorsabb reakció, így nem befolyásolja jelentősen a szén-dioxid elgázosítási reakcióját.

A *hőmérséklet* reakciósebességre gyakorolt hatása az Arrhenius-egyenletben kifejezett reakciósebességi állandóval írható le

$$r = A * \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad \text{Egy-7.17.}$$

ahol, E<sub>a</sub> az aktiválási energia, R az egyetemes gázállandó, T az abszolút hőmérséklet, A pedig a preexponenciális állandó, amely a reakciósebesség és a hőmérséklet közötti empirikus összefüggés. Az elgázosítás során valamennyi végbemenő reakciólépés rendelkezik saját aktiválási energiával és minden aktiválási energiához tartozik egy preexponenciális állandó.

Az elméletileg meghatározott preexponenciális tényezők számának meghatározásában az egyes kutatások eltérő eredményeket kaptak, a gyakorlatban azonban rendszerint egyetlen aktiválási energiát közölnek, szénmintától és elgázosítási módszertől függően 130 KJ/mol és 250 KJ/mol közötti értékekről számolnak be (BELL *et al.* 2011, ROBERTS, HARRIS 2000).

Az elgázosítás folyamatának lehetséges gyorsítása a katalizált elgázosítás, melyhez átmeneti fémeket, ill. alkáli- és alkáli földfémek sóit szokták alkalmazni. A alkáli és alkáli földfémek tözegek elgázosításra gyakorolt hatását vizsgálva azt állapították, meg, hogy a katalizálás mértéke nő az alkáli fém atomtömegével (KAPTEIJN *et al.* 1986, LEVENDIS *et al.* 1989, BELL *et al.* 2011):



míg a második csoportban lévő alkáli földfémek esetében, változó eredményeket kaptak



A katalizátorok esetében, kimutatták, hogy nagyon kis hatással voltak az aktiválási energiára, viszont nagy hatással voltak a preexponenciális állandóra, aminek következtében a legjobb katalizátor esetén közel 600-szor nagyobb reakciósebességet mutattak ki 1000 °K elgázosítási hőmérséklet mellett. 16 különböző szénfajta esetében mutatták ki a  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  jelentős katalizáló hatását (BELL *et al.* 2011, OHTSUKA, ASAMI 1995). A katalizátor ebben az esetben sem az aktiválási energia értékére volt hatással, sokkal inkább az aktív reakciófelület mennyiségének növelése révén gyorsította a reakciót.

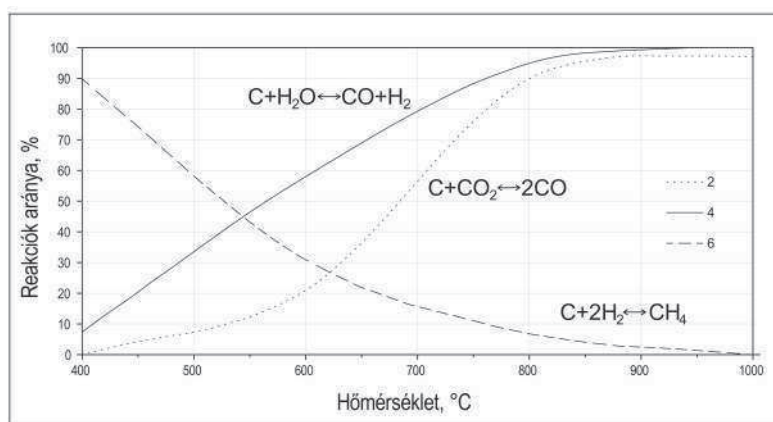
A katalizátorokat az aktív fémkomponens viselkedése alapján három csoportba sorolják (MATSUKATA *et al.* 1992). Az első csoportba tartozó fémek, a külső felületről könnyen a széntömeg belsejébe vándorolnak, ugyanakkor könnyen párolognak. Az elgázosítás előrehaladtával e katalizátor mennyisége csökken a szén felületén és nő annak belsejében, itt érve el a maximumot a folyamat során. Ide tartozik a kálium, rubídium és a cézium. A második csoportba tartozó fémek, szintén könnyen vándorolnak a széntömeg felületéről annak belsejébe, ugyanakkor nehezen is párolognak. Az elgázosítás kezdetén ezek mennyisége is csökken a külső felületen, de folyamat előrehaladtával újra növekedni kezd, míg eléri az eredetileg bevitt mennyiséget. Ide tartozik a nátrium és a stroncium. A harmadik csoportba tartozó katalizátorok nem vándorolnak a széntömeg belsejébe és nehezen is párolognak, így az elgázosítás folyamata alatt állandó mennyiségben vannak jelen a széntömeg felületén. Ide tartozik a kalcium.

Nem párologó katalizátorok hátránya, hogy a hamuval együtt távoznak a rendszerből, ami hamumentes szén gázosításával elkerülhető, más szén esetén azonban sem a hamutól való elválasztása sem hulladékként való kezelése nem gazdaságos. Ha a katalizátor vízben oldódó, egy része visszanyerhető a kilépő gázok kondenzálásával, ugyanakkor lerakódásokat képezhet a hőcserélő felületeken és egy része elvész a szénben található ásványokkal reagálva. Félbitumenes vagy gyengébb minőségű szenek esetében a természetes fémlerakódások is katalizáló hatással lehetnek. A költségeket és a katalizátor használatának előnyeit, ill. hátrányait figyelembe véve a katalizált elgázosítás csak ritka esetben jelent gazdaságos megoldást.

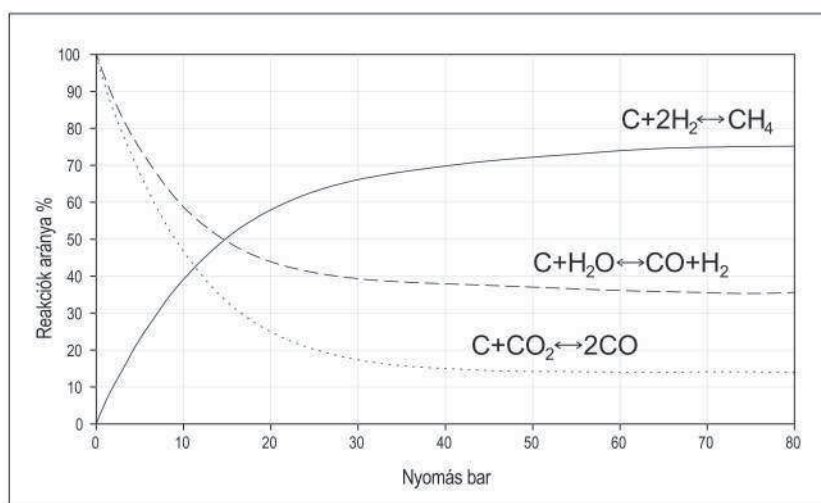
### A nyomás és hőmérséklet hatása a szintézisgáz összetételére

A szintézisgáz összetételét befolyásolja a kiindulási anyag, a technológia és az üzemelési paraméterek. A reakciók lefolyása és a reakciótermékek összetétele függ a bejuttatott elgázosító közegtől (levegő, oxigén, gőz), az elgázosítandó anyag (szén, biomassza, hulladék) minőségétől, a hőmérséklettől és a nyomástól valamint az egyes zónákban való tartózkodási időtől, amit alapvetően az elgázosító konstrukciója határoz meg. Szén ellenáramban történő levegős elgázosításánál fellépő legfontosabb reakciók hőmérséklet- és nyomásfüggését mutatják a 7.1 és 7.2 ábrák (VAJDA 1981, SZEMMELVEISZ *et al.* 2012).

Az ábrákból látható, hogy a nyomás növelése kedvez a nagy fűtőértékű metán képződésének, ezért a nyomás alatti elgázosítókkal elsősorban 16–18 MJ/m<sup>3</sup> fűtőértékű ún. városi gázt állítottak elő, majd a technika fejlődésével szintetikus földgáz (35–38 MJ/m<sup>3</sup>) előállítása is lehetővé vált. Állandó nyomáson a hőmérséklet növelése viszont a CO és H<sub>2</sub> képződésnek kedvez, amely



7.1. ábra. A hőmérséklet hatása a főbb reakciókra szén elgázosításakor (p=1 bar)



7.2. ábra. A nyomás hatása a főbb reakciókra szén elgázosításakor (T=700 °C)

kis fűtőértékű (5–15 MJ/m<sup>3</sup>), kevésbé szennyezett ún. tiszta gáz. Ez utóbbi szintézisgáz képezi a metanolgyártás alapanyagát is. Az elgázosító rendszerek a szén égéséhez elméletileg szükséges oxigén mennyiségének tipikusan 25–40%-át használják fel (OLA 2005).

A szintézisgáz összetétele az elgázosítandó anyag függvényében is változó. A 7.3. táblázat egy szén és egy biomassza karbonforrásból keletkezett szintézisgáz-összetételét mutatja be pirolízis alapú gázosításnál (SYNERGY 2010). A szintézisgázzal szemben támasztott követelmények függenek attól is, hogy mi a felhasználás célja. Erről tájékoztat a 7.4. táblázat (GASIFIPEDIA 2011).

7.3. táblázat. Szintézisgáz összetétel a kiindulási alapanyag függvényében

Gázalkotók, tf%	Szén	Biomassza
CO	39,2	20–30
H <sub>2</sub>	23,7	30–40
H <sub>2</sub> O	23,0	5,5–6,6
CO <sub>2</sub>	10,3	15–20
CH <sub>4</sub>	1,5	10–15
H <sub>2</sub> S	0,7	–
Ar	0,8	–
N <sub>2</sub>	0,7	0,7–1,1
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	–	0,8–1,2

7.4. táblázat. A szintézis gázzal szemben támasztott követelmények a felhasználási cél szerint (Gasifipedia 2011)

Követelmény	Szintetikus üzemanyag FT benzín	Metanol	Hidrogén	Fűtőgáz	
				Kazán	Gázturbína
H <sub>2</sub> /CO	0,6 <sup>a</sup>	~2,0	Magas	Elhanyagolható	Elhanyagolható
CO <sub>2</sub>	Alacsony	Alacsony <sup>c</sup>	Nem jelentős <sup>b</sup>	Nem kritikus	Nem kritikus
Szénhidrogének	Alacsony <sup>d</sup>	Alacsony <sup>d</sup>	Alacsony <sup>d</sup>	Magas	Magas
N <sub>2</sub>	Alacsony	Alacsony	Alacsony	Megjegyzés <sup>e</sup>	Megjegyzés <sup>e</sup>
H <sub>2</sub> O	Alacsony	Alacsony	Magas <sup>f</sup>	Alacsony	Megjegyzés <sup>g</sup>
Szennyezők	<1 ppm kén Kevés szemcsés szennyező	<1 ppm kén Kevés szemcsés szennyező	<1 ppm kén Kevés szemcsés szennyező	Megjegyzés <sup>k</sup>	Kevés szemcsés szennyező Kis mennyiségben fémek
Nyomás, bar	~20–30	~50 (folyadék fázis) ~140 (gőz fázis)	~28	Alacsony	~400
Hőmérséklet, °C	200–300 <sup>j</sup> 300–400	100–200	100–200	250	500–600

a) Függ a katalizátor típusától. Vas katalizátor esetén a feltüntetett érték a megfelelő, kobalt katalizátor esetén ez 2,0.

b) Vízgáz reakció során CO-ból és vízből H<sub>2</sub> és CO<sub>2</sub> állítható elő; a szintézisgázban lévő CO<sub>2</sub> mennyiségét egy időben el lehet távolítani a víz-gáz reakció során képződő CO<sub>2</sub>-dal.

c) Kis mennyiségű CO<sub>2</sub> elfogadható, ha a H<sub>2</sub>/CO arány 2,0 feletti; ha előfordul felesleges H<sub>2</sub>, a CO<sub>2</sub> metanollá alakítja.

d) A hatékonyság növelése érdekében a metán és nagyobb szénatom számú szénhidrogéneket vissza kell keringetni a rendszerbe, a rendszer hatékonyságát jellemzi.

e) A nitrogén csökkenti a fűtőértéket, de a mennyisége elhanyagolható a szintézisgáz mellett, a rendszer hatékonyságát jellemzi.

f) A víz elengedhetetlen a víz-gáz reakcióhoz.

g) A viszonylag nagy mennyiségű víz megengedhető; néha vízgőzt adagolnak az égetés során a hőmérséklet csökkentése érdekében, ezzel befolyásolható az NOx képződés.

h) Míg a H<sub>2</sub>/CO és a szennyezők szintje nem találkozik, a fűtőértékkel nincs probléma.

i) A hatékonyság javul a fűtőérték növelésével.

j) Függ a katalizátor típusától; vas katalizátor jellemzően magasabb hőmérsékleten üzemel, mint a kobalt katalizátor.

k) Kis mennyiségű szennyezés megengedhető.

## Elgázosítási technológiák alaptípusai

Az elgázosítók kivitelezését és a felhasznált tüzelőanyag (szén, biomassza, hulladék) típusát alapul véve különféle elgázosítók léteznek. A tüzelőanyag tulajdonságai, mint pl. a felszín, méret, forma továbbá a nedvességtartalom, illóanyag- és karbontartalom hatással vannak az elgázosítás folyamatára.

A hőbontás alaptípusai az eljárás hőmérsékletviszonyai alapján a következők: 1. kis- és közepes hőmérsékletű eljárások (450–600 °C), 2. nagyhőmérsékletű eljárások (800–1200 °C), 3. nagyhőmérsékletű olvasztásos eljárások (>1200 °C). A hagyományos eljárásoktól eltérően a plazmatechnológia 4000–7000 °C hőmérséklet-tartományban üzemel (GARY 2010). A hőbontás során döntöke a kémiai átalakulás reakciófeltételei. Ide tartoznak a hőmérséklet, a felfűtési idő és a reakcióidő, továbbá a szemcse-, ill. darabnagyság és az átkeveredés mértéke, hatékonysága. A végtermék összetételének és részarányának alapvető meghatározója a hőmérséklet. A hőátadástól függ a felfűtési sebesség, amely szintén hat a termékek összetételére.

A *gáz–szilárd anyag reaktorok* alapvető csoportosítása a szilárd anyag mozgási mechanizmusa szerint történik. Állóágyas reaktorokban az ömlesztett szilárd anyagot nem a reakciógázok, hanem a nehézségi erő, ill. mechanikus alkatrészek mozgatják. Az örvényágyas (fluidágyas) reaktorok esetén a reakciógázok nagyobb áramlási sebessége miatt az ömlesztett anyag fluidizált állapotba kerül. A szállóporos reaktorokban a reakciógáz a lisztfinomságúra (>100 µm) őrölt anyagot pneumatikusan hordja ki. A reaktorba beadagolt elgázosítandó anyag és a szintézisgázok egymáshoz viszonyított áramlási iránya szerint ugyanakkor megkülönböztetünk egyen-, ellen- és keresztáramú, ill. ikertüzelésű eljárásokat. Az áramlási irány lényeges a gáztisztítás bonyolultsága szempontjából.

A reaktorok a fűtési mód szerint két csoportra oszthatók. A fűtés történhet közvetett módon reaktorfalon keresztül, vagy cirkulációs közeg segítségével, ill. történhet közvetlenül. A közvetett fűtésű reaktorokban a pirolízis és a hőenergiát szolgáltató parciális égés közös térben megy végbe. A reaktorfalon keresztüli hőközlés egyrészt rossz hatásfokú, másrészt az ilyen reaktorok érzékenyek a tűzálló falazat minőségére, viszont egyszerű üzemeltetésűek és jól szabályozhatók. A cirkulációs közegű hőátadás jó hatásfokú, de bonyolultabb az üzemeltetése. A legjobb hőátadási viszonyok a közvetlen fűtési módszerrel érhetők el, viszont ilyenkor megnő a gáztermékek szén-dioxid-, víz- és nitrogén-oxid-tartalma és körülményesebb a folyamatszabályozás is.

Jelentős hatást gyakorol az előállított gázra a felhasznált oxidáló közeg. Levegővel üzemeltetett gázfejlesztő berendezés kis fűtőértékű gázt termel. Ez tisztítás után felhasználható ipari fűtőközegként, gázturbinában, fűtőanyagelemben. Ekkor a reakcióhőmérséklet 900–1100 °C nagyságrendű. Az ilyen rendszerben előállított gáz fűtőértéke a földgáz fűtőértékének 10–20%-a, vagyis 4–6 MJ/Nm<sup>3</sup>. Nitrogéntartalma 60% is lehet. A levegővel üzemeltetett gázfejlesztő energetikai hatásfoka általában kedvezőbb, mint a tiszta oxigént felhasználó változaté. Gyakorlati felhasználása azonban nehezebb, mert a felhasznált levegő csökkenti a berendezésben a hőmérsékletet és az elgázosítási sebességet.

Az oxigén gázfejlesztőben előállított gáz fűtőértéke átlagban 10–18 MJ/m<sup>3</sup>. A reakcióhőmérséklet 1000–1400 °C. Vízgőzadagolással oxigén juttatható a rendszerbe, és növelhető a gázban a hidrogén mennyisége. Az előállított gáz az előzőekhez hasonlóan használható fel, azonban földgáz helyettesítésére és szintézisgáz termelésre is alkalmas. Ilyen esetben az oxigén előállítása teszi a folyamatot energetikailag kedvezőtlenné.

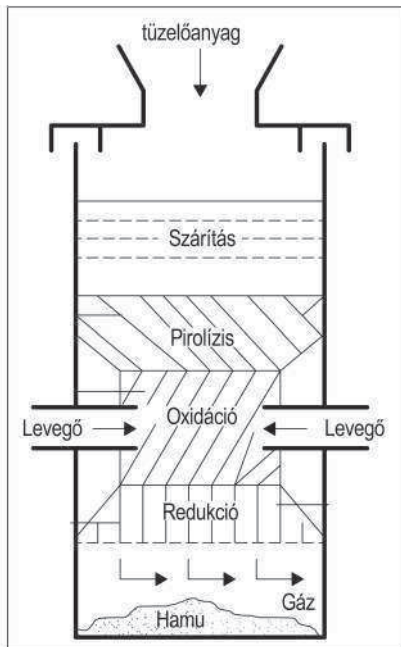
Harmadik lehetőség a nagy hőmérsékletű termikus elgázosítás (pirolízis), levegő vagy oxigén adagolása nélkül. Ekkor a szénhidrogén-molekulák krakkolása következtében gázmolekulák képződnek. A kapott gáz fűtőértéke 12–23 MJ/m<sup>3</sup>. Ebben az esetben a 800–900 °C nagyságrendű hőmérséklet eléréséhez hőcserélőt vagy szilárd fűtőanyagot használnak fel. Ennek az eljárásnak az a jelentősége, hogy nagyobb fűtőértékű gáz állítható elő, mint a két előző esetben, mivel gyakorlatilag nincs nitrogén. Egyidejűleg a kátrány kedvező krakkolását is lehetővé teszi.

A jellemzően magas hamutartalmú hazai szenek szempontjából fontos kérdés a technológiák salakkezelése is. A hamu lágyuláspontja alatt üzemelő eljárásokban az éghetetlen maradék szilárd állapotban gyűlik össze és kerül eltávolításra, míg a hamu folyósodása fölötti hőmérsékleten üzemelő eljárások esetén megoldható az olvadt salak lecsapolása. Meghatározott energia/hővesztesség mellett mindkét megoldás lehetőséget biztosít a hamutartalom biztonságos kezelésére, problémát elsősorban azok az esetek jelentenek, ahol az üzemhőmérséklet-tartománya legalább időszakosan átfedésben van a hamulágyulás és folyósodás közötti hőmérséklet-tartománnyal („no go” zóna). Az e tartományban ragacsossá váló hamu akadályozza az anyagmozgatást, végső esetben tönkre teheti a berendezést. A felhasználásra tervezett széntípus hamutartalmának technológián belüli kezelése, s ezzel a szénélőkészítés költségeinek alakulása a teljes technológiai lánc rentabilitása szempontjából akár kritikus kérdés is lehet.

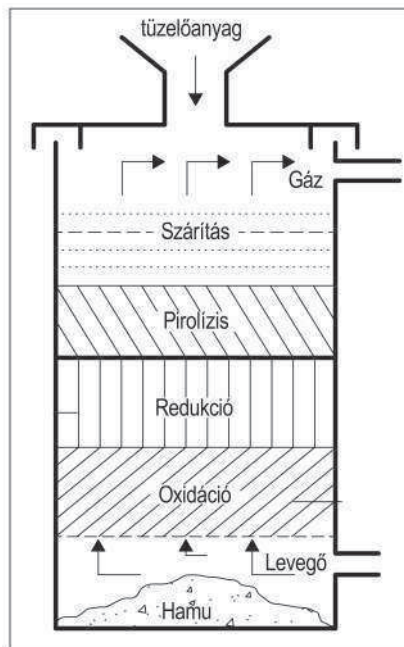
Az elgázosítókat önmagukban kevésbé használják. A komplett elgázosító rendszer egy elgázosító egységből, tisztító egységből és egy energia átalakítóból áll, amely gázégő vagy belső égésű motor lehet. A gázosítási eljárások másik kimenete a keletkező szintézisgázok vegyipari hasznosítása.

### Állóágyas elgázosítók

A 7.3. ábra az egyenáramlású állóágyas eljárás elrendezését mutatja be (GASIFIER 2012). Az elgázosítandó anyag a szárítási zónában lép be. A nedvességtartalom az alul elhelyezkedő zónákban keletkezett hő hatására elpárolog. A felfűtési sebesség mindenekelőtt a tüzelőanyag fajlagos felületétől, a betáplált anyag és a forró gázok közötti hőmérséklet-különbségtől



7.3. ábra. Nyugvó (mozgó) ágyas, egyenáramlású elrendezés elvi vázlata (Gasifier 2012)



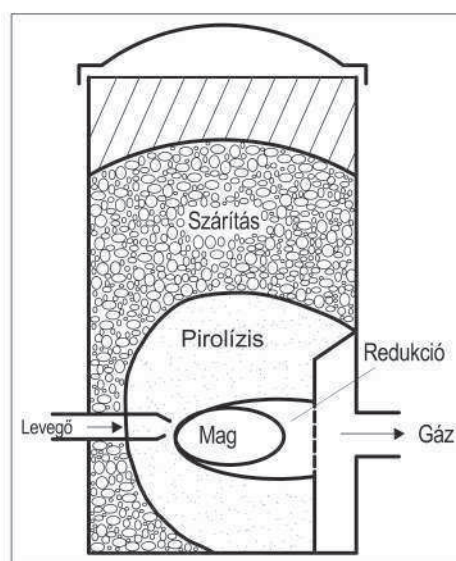
7.4. ábra. Nyugvó (mozgó) ágyas, ellenáramlású elrendezés elvi vázlata (Gasifier 2012)

zónába való érkezés előtt teljesen elfogy az oxigén. Ez a reaktortípus stabil, jó hatásfokú gázosítást biztosít, és kevés kátrány képződik. Hátránya azonban, hogy pl. biomassza esetén minimum 80%-os előzetes kiszáritást igényel. A Viking elgázosító automatizált és alapvetően kátrány nélkül üzemelő berendezés gázmotorral egybeépítve, hő és elektromos áram előállítása céljából. Alapja a kétféle elgázosítás (THE VIKING TWO STAGE GASIFIER, 2015).

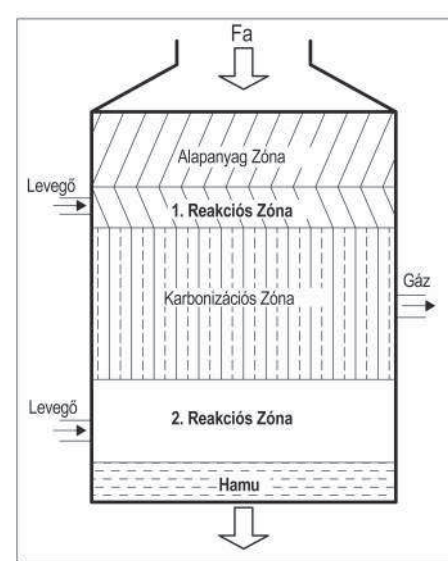
A 7.4. ábra az ellenáramlású állóágyas megoldás elrendezését tünteti fel (GASIFIER 2012). A különböző szárító, pirolízis és elgázosító zónák megegyeznek az előzővel. Különbség az oxidálószer bevezetésének módjában, ill. a gáz és tüzelőanyag egymáshoz viszonyított mozgásiránya tekintetében van. Ebben az esetben a gáz bevezetése alulról történik, és kisebb hőmérsékleten hagyja el a reaktort, mint az előző esetben. Termikus hatásfoka kedvezőbb. Ennek következtében a reaktor akár mindössze 50%-ra előszáritott tüzelőanyaggal is táplálható. Az előállított gáz fűtőértéke nagyobb, mint az előző esetben, ugyanakkor viszonylag nagy mennyiségű kátrány képződik, ami komoly utólagos tisztítást igényel.

A keresztáramú elgázosítók (7.5. ábra) elsősorban faszenet használnak. A szén alapú elgázosítók nagy (1500 °C vagy ennél nagyobb) hőmérsékletet eredményeznek az oxidációs zónában, amely tüzelőanyag problémákhoz vezethet (GASIFIER 2012). A rendszer előnye, hogy kis méretekben üzemképes, hátránya, hogy a minimális kátrány-átalakító képesség miatt igen jó minőségű (alacsony illótartalmú) szenet igényel (GASIFIER 2012).

Az egyen- és ellenáramlású elgázosítók előnyei az úgynevezett ikertüzelésű elgázosítóban egyesülnek (7.6. ábra). Az elgázosító két meghatározott reakció zónából áll. A felsőbb zónában a szárítás, alacsony hőmérsékletű szenesedés és a gázok krakolása történik, miközben a tüzelőanyag végleges elgázosítása az alacsonyabb zónában megy végbe. A gáz hőmérséklete



7.5. ábra. Keresztáramú elgázosító elvi vázlata (Gasifier 2012)



7.6. ábra. Ikertüzelésű elgázosító elvi vázlata (VALLER 2006, CHANDRAKANT 2012)

függ. Ennek a zónának a hőmérséklete 70–200 °C-ot érhet el. A pirolízis zónában következik be a szárító zónából érkező anyag termikus lebontása, a pirolízis termékek részleges oxidációjából származó energia hatására. Ennek a zónának a hőmérséklete 350–500 °C érhet el. A száraz anyag mennyisége 50–90%. Az oxidáló zónában az illékony pirolízis termékeket rendkívül exoterm reakciók oxidálják. Ennek hatására a zsugorító zónában a hőmérséklet gyorsan 1000–1100 °C-ra emelkedik. A fejlődő hő a szárítás, a pirolízis és az elgázosítás hőigényét fedezi. A reaktornak ezen a részén kialakított toroknak nagy jelentősége van, mert ez biztosítja az egyenletes hőmérséklet-eloszlást, és így lehetővé válik a kátrány megfelelő krakolódása. Végül a redukáló zónában megy végbe a krakolódás.

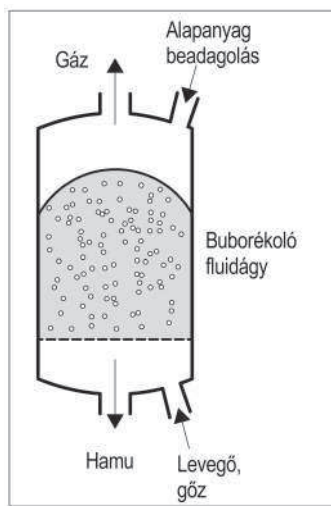
Mivel az illékony termékek oxidációja igen gyors, még a pirolízis

460–520 °C. A teljes folyamat 30 mbar alatti nyomáson játszódik le. Az ikerüzelésű elgázosító meglehetősen tiszta gázt termel (VALLER 2006, CHANDRAKANT 2012).

Az ellenáramlású és egyenáramlású elgázosítókkal szembeni kétségtelen előnyeik ellenére a keresztáramú elgázosítók nem tökéletes típusok, hátrányuk elsősorban a nagy gázhőmérséklet és a nagy gázáramlási sebesség. Az ellen- és egyenáramlású elgázosítóktól eltérően a keresztáramú elgázosítóknak a hamutároló, a tüzelési és a redukciós zóna nem különül el. Ez behatárolja az üzemeltetésre használható tüzelőanyag típusát, ilyenek pl. a fa, faszén és a szén. Beindítási ideje (5–10 perc) jóval rövidebb, mint az ellen- és egyenáramlású egységeké. A keresztáramú elgázosítóknak jelentkező relatíve nagyobb hőmérséklet (1200 °C felett) hatással van a gázösszetételre. A keresztáramú elgázosítók száraz levegőbefúvással és száraz tüzelőanyaggal üzemelnek jól (GASIFIER 2012).

### Fluidágyas elgázosítók

Szén és biomassza gázosítására két fluidizációs típus létezik: a buborékolató mozgást és a cirkuláló mozgást végző változat. A fluidréteg semleges szilárd részecskékből, általában alumínium-oxidból áll. A szénpor vagy biomassza ebben a rétegben lép reakcióba a vízgőzzel és oxigénnel vagy a levegővel. A levegő keresztüláramlik az ágyon, olyan sebességgel, hogy ezeket a szilárd részecskéket lebegő állapotban tartsa. Az ágyat kívülről fűtik és a megfelelő hőmérséklet elérése után vezetnek be az elgázosítandó anyagot a reaktor alján, ennek részecskéi hamar összekeverednek az ágy anyagával és felmelegszenek az ágy hőmérsékletére.



7.7. ábra. Buborékoló fluidizációs gázosítás elve (KOPELIOVICH 2013)

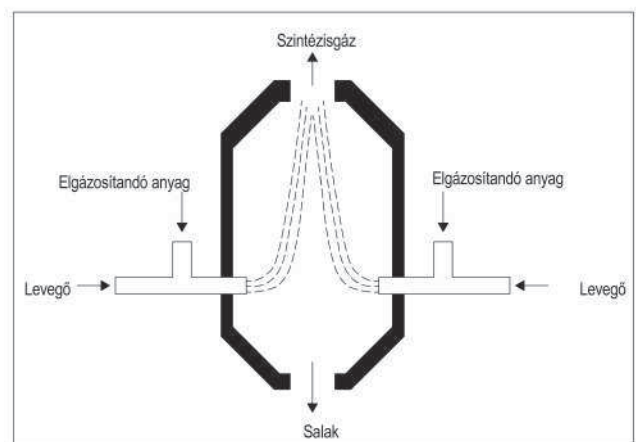
Az ún. buborékoló fluidizációs reaktor elvét és a 7.7. ábra mutatja (KOPELIOVICH 2013). Ezen eljárás hatására a tüzelőanyag nagyon gyorsan pirolizál, viszonylag nagy mennyiségű gáznevet komponens keletkezik (BOISEN 2010). A gázfázisban további gázképződés és kátrányátalakító reakciók követik egymást. A legtöbb rendszer fel van szerelve egy belső vagy külső ciklonnal. Az eljárás nagy előnye, hogy biztosítja a képződő kátrány jelentős hányadának krakkolását. 800–1000 °C hőmérséklet és 25–35 bar nyomás elérésére van lehetőség. Ebben az esetben max. 20%-os nedvességtartalmú tüzelőanyag is beadagolható. Az ágyhőmérséklet valamivel kisebb, mint a kb. 1200 °C-os, fix- (mozgó-) ágyas rendszereké.

Leggyakrabban a cirkuláló fluidizációs eljárást használják. A reaktor tetején levő ciklon lehetővé teszi, hogy azokat a részecskéket, amelyek nem vettek részt a reakcióban visszatáplálják. A LT-CFB eljárás (kis hőmérsékletű cirkulációs fluidágy) egy 500 kW teljesítményű elgázosító a nagy alkálitartalmú, nehéz tüzelőanyagok elgázosítására. Sikeresen üzemel több mint 12% hamutartalmú szalmával és különböző szerves alapanyaggal is (JESPER *et al.* 2012).

Az ikerágyas fluidizációs gázosítók két különálló fluidizációs kamrát működtetnek abból a célból, hogy elkerüljék a gázosítási termékek keveredését, így nagy tisztaságú szintézisgázt kapnak (KARIN 2007). Elsősorban biomassza elgázosítása céljából fejlesztették ki, de szénpor elgázosítására is alkalmazható. Az elgázosítandó tüzelőanyag belép a buborékoló fluid ágyba, amely gőzt használ mind fluidizáló mind elgázosító anyagként. Az ágyanyag rendszerint kvarc, amely a gázosítási zóna és az égési kamra között cirkulál. Az égési kamra egy gyors fluidizációs egység. A forró ágyanyag elhagyva az égési teret, egy nagy hatásfokú ciklonba kerül. Hogy a szitézisgáz elkerülje a keveredést a füstgázzal, az ágyanyag egy fordulón keresztül lép be a gázosítóba. Az eljárás tehát a kigázosítás és hőtermelés szétválasztásán alapul. Az anyagot betáplálják a pirolízis reaktorba, ahol a forró ásványi anyag hőhordozó közeggel érintkezve megtörténik a kigázosítás. A keletkező pirolízis kokszt a hőhordozó közegből leválasztják. A lehűlt hőhordozót a pirolízis kokszt elégetésekor keletkező gázzal előmelegítik (TIGABWA *et al.* 2012). Az égési kamrából kikerülő ágyanyag fedezi az endotermikus gázosítási reakciók energiaszükségletét.

### Szállóporos elgázosítók

A 7.8. ábrán bemutatott szállóporos elgázosító típusnál az elgázosítandó anyag és a levegő folyamatosan nagy nyomással (20–70 bar) áramlik be az elgázosítóba. A hőmérséklet >1000 °C. A berendezés szintézisgáz termelő képessége nagy, de a távozó gáz nagy hőmérséklete miatt annak hűtése szükséges, amely ronthatja a termikus hatásfokot, ha nincs lehetőség hőhasznosításra (LINGHONG *et al.* 2010).



7.8. ábra. Levegőbefúvós gázosító működési elve (LINGHONG *et al.* 2010)

A rossz minőségű tüzelőanyagok (pl. szén) elgázosítására porított állapotban, iszap formájában alkalmas berendezést is kifejlesztettek (HELMHOLTZ, 2011). Az oxigén a gőzzel (a szuszpenzió nedvességtartalmával) parciálisan oxidálja az elgázosítandó anyagot nagy nyomáson (70–80 bar) és hőmérsékleten (1700 K). Ezzel az eljárással nagy hamutartalmú szenet, biomasszát, hulladékot és olajokat egyaránt el lehet gázosítani.

### Az elgázosító alaptípusok összehasonlítása

A szénelgázosítás piacát alapvetően a szállóporos technológiák uralták el. A fluidágyas technológia előnyei lehetnek, a jobb a hőátadás, az alacsonyabb előkészítési költségek és a könnyebb üzemeltetés. A nyugvó vagy mozgó ágyas megoldás előnye, hogy lehetőség van nedvesebb alapanyag betáplálására és a nehézfémek a nem kilúgozható szilárd visszamaradó hamuban leköthetők. A reaktor típusán kívül másik fontos paraméter a gázosítási folyamat szempontjából a felhasznált oxidáló közeg.

Az elgázosítási technológiák egy része iparilag kiforrott és elterjedt, másik része kísérleti stádiumban van. Az elgázosítási technológiák egyik termékeként kapott szintézisgáz további hasznosítását meghatározza a tisztítás utáni

**7.5. táblázat.** Gázosító alaptípusok néhány jellemzőjének összehasonlítása (Ola 2005)

Főbb jellemzők	Fix/mozgó ágyas	Fluid ágyas	Befúvásos
Gáz kilépési hőmérséklete	alacsony (425–600 °C)	közepes (700–1050 °C)	magas (1250–1600 °C)
Oxidáló anyag felhasználás	alacsony	közepes	magas
Hamu állapota	száraz hamu vagy salak	száraz hamu vagy zsugorítmány	salak
Szén mérete	6–50 mm	6–10 mm	>100 µm

termékgáz összetétele, elsősorban a  $H_2/CO$  arány. Metanolgyártásnál ennek az aránya ~2. A legfőbb gázosítási alaptípusok néhány technológiai jellemzőjét foglalja össze a 7.5. táblázat (OLA 2005). A következőkben azokkal az eljárásokkal foglalkozunk, amelyek a világ valamely pontján már üzemszerű alkalmazást nyertek.

## Állóágyas elgázosítási eljárások

### Hagyományos gázgenerátor

A szén elgázosítása a generátorgáz gyártás ismert technológiáján keresztül hosszú évtizedek óta megoldott. Az első generátorokat a nagyolvasztó mintájára készítették. A közönséges generátor egy függőleges akna, amelyben alulról vezetik be az elgázosító közeget a lefelé haladó szénnel szemben. A közönséges gázgenerátort ma már nem használják, de napjainkban a szén elgázosításának előtérbe kerülése és az elgázosítás folyamatának megismerése szempontjából célszerű a működését megismerni.

Az elgázosításra használt gázgenerátor kezdetben samott bélésű volt, később hűtőköpenyes függőleges akna, amit szénnel töltenek fel. Az elgázosítás folyamata két szakaszra bontható. Az első a fizikai természetű anyagcsere, amely a heterogén reakciókhoz szükséges levegő (oxigén) és vízgőz odavezetéséből és a keletkezett gázalakú termék elvezetéséből áll. Ennek alapján a gázosítást befolyásoló tényezők a hőmérséklet mellett, az anyagoszlop eloszlásától és a nyomástól függő áramlási sebesség, illetve a tartózkodási idő. A második rész kémiai jellegű, ahol a reakciósebesség a hőmérséklettől és a gázosításban résztvevő anyagok koncentrációjától függ (FARKAS, NAGY 1985).

A szénnel reakcióba lépő közeg (levegő, oxigén, vízgőz) átáramlik az izzó szénrétegen. A felül elhelyezkedő friss szenet az alsóbb rétegekből felfelé áramló forró gáz szárítja. A száraz szén lejjebb csúszva már melegebb gázokkal találkozik és lepárlódik. A lepárlási zónából lejjebb haladva az izzó szén a felfelé haladó szén-dioxidot redukálja, az elégetlen karbon a lejjebb elhelyezkedő égési zónában az oxigénnel elég. Ezalatt az izzó salak lehűl, miközben előmelegíti az elgázosító közeget (VAJDA 1981).

A gázgenerátorok fejlesztésében nagy szerepe volt a magyar származású Kerpely Antalnak, aki az automatikus salakeltávolítást oldotta meg egy excentrikusan elhelyezett forgó rostéllyal. Összesülő barnaszéneknel alkalmazható rostélyszerkezetet Koller Károly fejlesztette tovább. Az általa kikísérletezett megoldás lényege egy központosan elhelyezett gombaszerű rostélyfej, marószerűen kiképzett fenéklappal ellátva, így az összesülő széneknel is állandó lazítást és egyenletes levegőelosztást biztosított.

A hagyományos generátorokban történő elgázosításra csaknem minden fajtájú és minőségű szén alkalmas, de döntő szerepe van a hamu- és nedvességtartalomnak, a hamu olvadáspontjának és a szén szem nagyságának. A szén a felső rétegben kiszárad majd lepárlódik, ezért az illótartalom is befolyásolja a gázösszetételt. Az oxidációs zónában keletkező  $CO_2$  redukciója annál tökéletesebb, minél nagyobb a redukációs szakasz hőmérséklete és minél hosszabb a tartózkodási idő.

Túl nagy víztartalom, vagy sok vízgőz bekeverése lehűti a gázfejlesztő redukációs és gázosítási szakaszát. Vízgőz bekeverésnél a szén minősége szerint elegendő, ha minden kg szénhez 100–150 g vízgőzt kevernek a levegőhöz (FARKAS 1981).

Kínában még működnek ilyen elgázosítók UGI (United Gas Improvement Company) elnevezéssel, de az 1980-as évektől már a fejlettebb technológiákat alkalmazzák. Az UGI elgázosítók alapanyagként jó minőségű feketeköszentet használnak, a berendezés alsó része vízhűtéses acéllemezéből, felső része tűzálló anyagból készült. Atmoszférikus nyomáson üzemel, alacsony elgázosítási hatások és nagy energiafelhasználás mellett. Elgázosító közeg levegő és gőz vagy oxigénnel dúsított levegő és gőz.

### Lurgi technológia

Legnagyobb múltú (1930) a Lurgi technológia, amely bevezetése óta több fejlődési fokozaton ment keresztül. A Lurgi generátort olyan össze nem sülő szemcsés tüzelőanyag elgázosítására fejlesztették ki, amely szemcsemérete 3–30 mm közé esik. Elgázosító közeg oxigén és gőz. A nagy nyomás (20–30 bar) miatt a keletkezett szintézisgáz metántartalommal is rendelkezik. Az eljárás teljesítménye növelhető a reaktorátmérő növelésével (általában 5 m), a nyomás növelésével (kb.: 50–100 barig növelhető), az  $O_2/H_2$  arány 1:1 értékre csökkentésével.

A Sasol-Lurgi elgázosító egy nyomás alatt üzemelő és száraz hamu végterméket eredményező állóágyas elgázosító, mely elsősorban darabos szén feldolgozását végzi. A berendezés forgótányéros rostéllyal üzemel. Az oxigénhez képest nagyarányú gőz úgy szabályozza az elgázosítás hőmérsékletét, hogy a hamu ne olvadjon meg. A reaktor alsó része 600–900 °C-os, a teteje 540–600 °C-os. A viszonylag alacsony hőmérséklet miatt több elgázosítandó szénre van szükség. A kátrány- és olajkondenzációt a vízhűtéses reaktorköpeny akadályozza meg (GASIFICATION IN DETAIL 2012). 40% hamutartalmú szén gázosítására is alkalmas kis oxigénfelhasználás mellett. A termék gáz  $H_2/CO_2$  aránya 1,7–2 között változik.

A szenet atmoszférikus nyomáson adagolják a bunkerbe. A mikor a bunker megtelt, kinyitják az alján lévő elzárót és a szén beesik a zsilipkamrába. Ezután bezárják a bunker szelepét és a szén zsilipkamrát nyomás alá helyezik, addig, amíg el nem éri 20–35 bar-t. A zsilipkamra alján lévő szelepet megnyitva az elgázosítandó szén bekerül a reaktorba. A szénágyba oxigént és gőzt vezetnek. A termék gáz és a szén folyamatosan ellenáramban mozog, aminek következtében a szén egyenletesen szárad. A szintézisgáz és a kátrány a reaktorból kilépve egy hűtőrendszerbe kerül. Egy jellemző Sasol Lurgi gázösszetétel:  $H_2$ –38%, CO–22%,  $CO_2$ –28%,  $CH_4$ –12%.

### BG Lurgi technológia

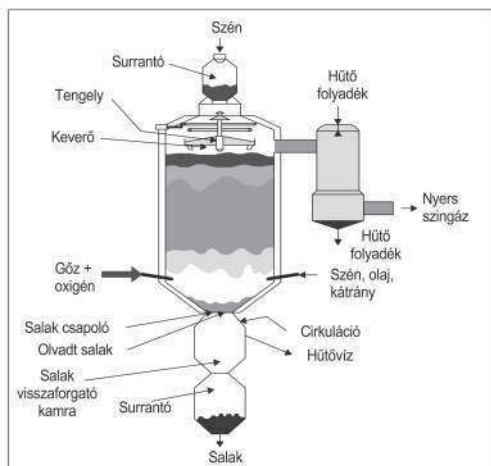
A British Gas Lurgi (BGL) technológia nagyobb hőmérsékleten és kisebb gőz/oxigén arány mellett üzemelő állóágyas rendszer (WILLIAMS, OLSCHAR 2010). A nagyobb hőmérséklet azt eredményezi, hogy a hamu megolvad, és olvadt salak képződik belőle, amely így lecsapolható. A szintézisgáz kilépési hőmérséklete kb. 566 °C. A British Gas Lurgi (BGL) technológia fontos előnye, hogy oxigénes technológia, alkalmas különböző minőségű szén és hulladék együttes elgázosítására, brikettálva porszenet is tud fogadni, alacsony a gáz kilépési hőmérséklete, jó a rendszer hatásfoka, alacsony az oxigén- és gőzfogyasztása, rugalmasan változtatható a terhelése és a keletkező gáz  $CO/H_2$  aránya. Környezetvédelmi szempontból kedvező, hogy az eljárásban alacsony olvadáspontú salak képződik, nem képződik szálló hamu és alacsony a nyers termék gáz  $CO_2$  tartalma. A 7.6. táblázatban egy tipikus BGL technológia termék gáza látható. Egy Lurgi elgázosító (BGL) elvi rajza és technológiai zónái láthatók a 7.9. ábrán (GARY 2010). A 7.7. táblázat két Lurgi technológia gázösszetételét és fajlagos adatait hasonlítja össze (HIGMANN, BURGT 2008).

7.6. táblázat. Lurgi-gáz összetétel (BGL) (Gasification 2012)

Komponensek	Mennyiség, tf %
Hidrogén	30, 8
Szén-monoxid	57,2
Metán	6,2
Szén-dioxid	4,9
Egyéb szénhidrogének	0,4
Nem éghető	0,5

7.7. táblázat. Sasol-Lurgi és a BGL technológia összehasonlítása (HIGMANN, BURGT 2008)

	Sasol-Lurgi	British Gas - Lurgi (BGL)
Szingáz alkotók (száraz)		
$CO_2$ (tf%)	30,89	3,46
CO (tf%)	15,18	54,96
$H_2$ (tf%)	42,15	31,54
$CH_4$ (tf%)	8,64	4,54
CnHm (tf%)	0,79	0,48
$N_2$ (tf%)	0,68	3,35
$H_2S+COS$ (tf%)	1,31	1,31
$NH_3$ (tf%)	0,36	0,36
Beadagolt komponensek/ 1000 Nm <sup>3</sup> CO+H <sub>2</sub>		
Szén (kg)	750	520
Gőz (kg)	1930	200
Oxigén Nm <sup>3</sup>	280	230



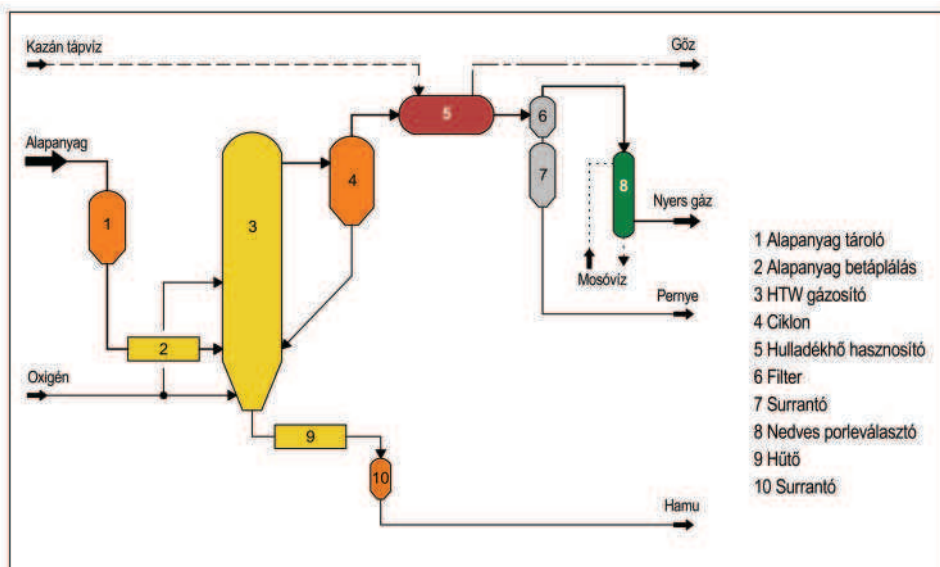
7.9. ábra. Lurgi salakos elgázosító (BGL) anyagáramlása és elgázosító zónái (GARY 2010)

## Fluidágyas elgázosító eljárások

### Winkler generátor (HTW)

A fluidágyas Winkler generátort aprószemcsés tüzelőanyagok, elsősorban szenek, elgázosítása céljából fejlesztette ki Fritz Winkler, Németországban. A termék-gáz nagy szénportartalmának csökkentése és az energetikai hatások javítása céljából a további fejlesztések a nyomás és hőmérséklet növelésének irányába mutattak. 1970-ben a ThissenKrupp Uhde a Rheinische Braunkohlenwerke AG-val együtt tovább fejlesztették az elgázosítási technológiát High Temperature Winkler (HTW) néven (HIGMANN, BURGT 2008).

Az elgázosítási folyamat 1,5–27 bar nyomás alatt zajlik, a gázosítási hőmérséklet 700–950 °C (a hamu olvadáspontja alatt), karbonkonverzió hatásfoka >95%, az elgázosítás reagensai oxigén, oxigén-vízgőz vagy levegő, a gázsebesség: kb. 5 m/s. A gázosítás folyamatát összefoglalóan szemlélteti a 7.10. ábra (HIGMANN, BURGT 2008). A keletkezett szintézisgáz



7.10. ábra. Winkler (HTW) gázosítási technológia folyamat ábrája (Gasification Technologies. ThissenKrupp Uhde 2015)

összetételéről az elgázosító reagens fajtájától függően a 7.8. táblázat tájékoztat (GASIFICATION TECHNOLOGIES THISENKRUPP UHDE 2015). Egy 10 bar nyomáson üzemelő Winkler technológiai rendszerben, óránként 25 t 0,1–6 mm szemcseméretű száraz lignit gázosítható el és óránként 34 000 m<sup>3</sup> szintézisgáz keletkezik. A gázosító átmérője 2,75 m. Gázosító közegek oxigén és gőz (REZENBRINK, WISCHNEWSKI 2012). A kb. napi 800 000 m<sup>3</sup> szintézis gázból 300 t/nap metanol állítható elő (ADLOCH et al. 2000).

### HRL technológia (IDGCC)

A HRL (The Herman Research Laboratory of the State Electricity Commission of Victoria, 1998) fluidágyas technológiát speciálisan nagy nedvességtartalmú barnaszének elgázosítása céljából fejlesztették ki. A gázosító egy szárító egységgel van összekapcsolva, hogy a 60–67% nedvességtartalmú szén viszonylag szárazon kerüljön a rendszerbe. A szárított szén nedvességtartalma kb. 5–10%, amely ciklonon keresztül lép be a gázosítóba. Szárító közegeként a gázosítóból kilépő forró szintézisgázt használják, amely a szénbeadagolás helyén keveredik a szénnel. A szintézisgáz 200–250 °C-on hagyja el a szárító zónát és a szilárd részecskék eltávolítása céljából belép egy szűrő rendszerbe. 25 barra komprimált levegőt vezetnek be a gázosítóba (JOHNSON 2011, HIGMANN, BURGT 2008). Az eljárást IDGCC (Integrated Drying Gasification Combined Cycle) technológiának is nevezik.

Az elgázosító működési hőmérséklete a szén olvadási pontja alatt van, kb. 900 °C. Az el nem gázosodott karbon és hamu a gázosító és a szűrőrendszer alján távozik. A fejlesztések során az 50 kg/h szárazszén-adagolású atmoszférikus

7.8. táblázat. Winkler gázosító termék-gáza (Gasification 2015)

Nyersgáz komponensek	Oxigén + gőz	Levegő
	Alacsony hamutartalmú lignit	Magas hamutartalmú lignit
CO (tf%)	29,4	20,0
H <sub>2</sub> (tf%)	29,5	15,0
CO <sub>2</sub> (tf%)	18,8	7,1
CH <sub>4</sub> (tf%)	4,0	1,7
N <sub>2</sub> +Ar (tf%)	0,5	46,5
H <sub>2</sub> O (tf%)	17,5	8,5
H <sub>2</sub> S (ppm)	1000	1000
NH <sub>3</sub> (ppm)	1500	750

**7.9. táblázat.** HRL technológia szingáz összetétele (JOHNSON 2011)

Gázösszetétel	tf%
CO	15,0
H <sub>2</sub>	13,5
CH <sub>4</sub>	2,2
CO <sub>2</sub>	9,0
H <sub>2</sub> O	25,0
N <sub>2</sub> +Ar	34,7
Egyéb, nyomokban lévő gázok	0,6
Fűtőérték, MJ/kg	4,0

gázosítótól a 10 t/h szénfelhasználású 25 bar nyomású egységig jutottak el. Egy 50% nedvességtartalmú és 5% hamutartalmú szénből keletkező szintézisgáz összetételét mutatja be a 7.9. táblázat.

### U-gáz technológia (GTI)

A technológiát az amerikai Gáztechnológiai Intézet (Gas Technology Institute GTI-USA) fejlesztette több mint 30 éve, kis és közepes fűtőértékű szintézisgáz előállítása céljából (GAZZANI *et al.* 2013). 2007-től az eredetileg szén elgázosítására alkalmazott technológiát szén-biomassza keverék gázosítására is használják. Jelenleg az ideális keverési arány 60% szén és 40% biomassa. Az eljárás előnye a többi vezető technológiával szemben, hogy eredményesen gázosít el szén-hulladékot, nagy hamutartalmú szenet és lignitet is. Az elgázosítandó tüzelőanyag

reakcióba lép a gőzzel és oxigénnel/levegővel a tüzelőanyag fajtájától függően 850–1100 °C hőmérsékleten. A reagens anyagokat (levegő/oxigén, gőz) két helyen vezetik be a gázosítóba. Az egyik ág fluidizáló közegként is szerepel.

Az üzemi nyomás attól függően változik 3–30 bar között, hogy a képződött szintézisgázt milyen céllal hasznosítják. A karbon konverzió >95% (GASIFIPEDIA 2012, HIGMANN, BURGT 2008). Ha a működési hőmérséklet eléri, ill. meghaladja a hamu lágyulási hőmérsékletét, a kisebb hamurészecskék összetapadva nagyobb részecskéké válnak, sűrűbbek lesznek, mint a környező ágyanyag, és könnyen eltávolíthatók a fluidágy alján. A nem elsalakosodott hamu az elgázosító alján távozik a rendszerből.

### KRW technológia (GTI)

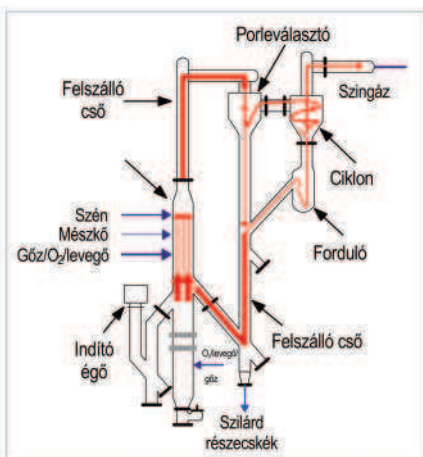
Egy nyomás alatt működő fluidágyas elgázosítási technológia, amelyet a M.W. Kellogg Company (Kellogg–Rust–Westinghouse) fejlesztett ki. A kénleválasztás céljából mészkövet is adagolnak a gázosítóba, de működik mészkőadagolás nélkül is (ZENGH, FURINSKY 2005). A gázosítás reagensanyaga gőz és oxigén/levegő, amelyet a reaktor alján adagolnak be központosan a szénrel és a mészkővel együtt. A szén hamar elgázosodik és a maradék karbon és a mészkő belép a fluidágyba, de hamar szétválnak a kalcium-szulfid nagyobb sűrűsége és eltérő fluidizációs tulajdonsága miatt. Ezek a szilárd részecskék a gázosító alján gyűlnek össze, amelyeket a visszavezetett gáz nedvességtartalma lehűt (BURTRON, HOWER 2017).

A kalcinált mészkő, a szulfidos mészkő és a hamu a berendezés alján távozik. A mészkő első lépésben kalcinálódik, CaO keletkezik, majd reagál a H<sub>2</sub>S-el és CaS keletkezik (CaO+H<sub>2</sub>S=CaS+H<sub>2</sub>O), amely tovább oxidálódik CaSO<sub>4</sub>-á (CaS+2O<sub>2</sub>=CaSO<sub>4</sub>). A termékgázt és a finom szemcséjű szénrészecskéket visszavezetik a gázosítóba. A reaktor tetején kilépő, apró szénrészecskéket is tartalmazó szintézisgáz (1000 °C) egy ciklonba kerül, majd tovább áramlik a gázosító aljába (GARY 2010, RIEGEL, KENT 2003). A nyersgázt végül hűtik (540 °C) és egy tisztítórendszerbe vezetik. Kis fűtőértékű, nagy hamu- és kéntartalmú szenek gázosítására is alkalmas.

### KBR Transport gázosító

A KBR (Kellogg Brown and Root) transport gázosítót oxigén vagy levegő befúvással üzemeltetik. Vegyipari céllal előállítandó szintézisgáz esetében az oxigénes technológiát használják. Cirkulációs *fluidizációs rendszer* égő nélkül, nem jár salakképződéssel, gyenge minőségű száraz szenek elgázosítására alkalmas. 11–18 m/s gázsebességgel üzemel. A fő egysége két részből áll, egy nagyobb átmérőjű keverő részből és egy kisebb átmérőjű ún. fejrészből. Ebben különbözik a Foster–Wheeler parciális gázosítótól, ahol ennek a szakasznak végig azonos az átmérője. A keverő részben kisebb a sebesség és nagyobb a tartózkodási idő. A reaktort egy külön gázégővel előmelegítik. A szén mérete 250–600 µm amelyet a keverőzóna felső részébe adagolnak.

Kénvisszanyerés céljából a szénrel együtt mészkövet is juttatnak a reaktorba, amely a keverőzónában az oxigénnel, gőzzel és a recirkulált

**7.11. ábra.** KBR gázosító működési vázlata (MEYER 2008)**7.10. táblázat.** Jellemző KBR szingáz összetétel (30 bar) (BREAULT 2010)

Gázalkotók, %	Lignit		Bitumenes szén	
	levegő	oxigén	levegő	oxigén
CO	18,8	37,9	13,3	25,5
CO <sub>2</sub>	11,7	21,8	13,4	28,6
H <sub>2</sub>	14,8	37,4	15,7	41,9
N <sub>2</sub>	53,2	0,1	55,6	0,1
CH <sub>4</sub>	1,6	2,9	2,0	3,9

szilárd részecskékkel találkozunk. A kisebb és nagyobb részecskék két ciklonrendszeren keresztül kerülnek vissza a reaktor keverő zónájába, majd a szintézisgáz a második ciklon után a gázhűtőbe távozik.

A gázosítás hőmérséklete 815–1065 °C, a nyomás 9,5 és 30 bar között változik. A KBR gázosító működési vázlatát a 7.11. ábra mutatja (MEYER 2008). Egy 30 bar nyomáson végzett KBR elgázosítás jellemző szintézisgáz összetételét a 7.10. táblázat mutatja (BREAULT 2010).

### *Synthane gázosító*

Egyik legrégebbi fluidágyas gázosítási technológia, nagy metántartalmú (25% is lehet) szintézisgázt állít elő. A porszenet nagy nyomású gőzzel és oxigénnel juttatják be a gázosítóba. Mielőtt a szén belép a gázosítóba egy előkészítő térben előszárítják. A fluidágy hőmérséklete 815–980 °C, a távozó gáz hőmérséklete 425–870 °C. A rendszer jellemzően 41–69 bar nyomáson üzemel, a gázsebesség: 0,1–0,2 m/s. A jellemző szárazgáz-összetétel: H<sub>2</sub>–33%, CO–10%, CH<sub>4</sub>–12%, CO<sub>2</sub>–40%, H<sub>2</sub>S–3,2%. A karbon konverzió hatásfoka kicsi, 78–80%. A kis konverziós hatásfok, valamint a nagy CH<sub>4</sub>- és CO<sub>2</sub>-tartalmú szintézisgáz miatt ez a technológia napjainkban háttérbe szorult (HIGMANN, BURGT 2008).

### *Institute of Coal Chemistry salak agglomerációs fluidágyas elgázosító (ICC–AFB)*

Az ICC birtokában lévő, hamuagglomerációval kísért fluidágyas elgázosító fejlesztése 1980-ban kezdődött. 1990-ben az eredmények alapján pilot üzem létesült, melyet 2001-ben követett az első kereskedelmi méretű (200 tonna tüzelőanyag/nap) megvalósítás. A technológia a szénfélesek széles körét (lignit, koks, antracit, soványszén, bitumenes szén) képes feldolgozni (LIU et al. 2009). A gázosítás sebessége viszonylag magas, 2–4-szer nagyobb, mint a normál nyomáson működő állóágyas generátorok esetében.

A szén 0–6 mm-es szemcsemérettel kerülhet feladásra, a szénelőkészítés mindössze aprítás, rostálás, szeparálás és szárítás lépéseire korlátozódik, így a szénelőkészítés beruházási és üzemelési költségei alacsonyok. A keletkező H<sub>2</sub>- és CO-tartalmú szintézisgáz nem tartalmaz kátrányt, olajat és alacsony a fenoltartalma is. A keletkező szennyvíz kezelése egyszerű. A technológia folyamatos üzemű, teljesen zárt, oxigén befúvatásos folyamat, melynek nincs károsanyag-kibocsátása. Az elgázosító felépítése egyszerű, működési tartománya nem támaszt magas követelményeket (1000 °C, 0,5 Mpa), így a beruházási költségek a Texaco és a Shell elgázosítók költségeihez viszonyítva akár 50%-al is alacsonyabbak lehetnek.

A kínai elgázosítási piacon 12 projekthez kapcsolódóan jelentek meg a nyomás alatti AFB reaktorok kereskedelmi méretű változatai, jellemzően ammónia, metanol, timföld, benzin, olefin és SNG előállításához kapcsolódóan.

## **Szállóporos gázosítási eljárások**

### *Koppers Totzek (KT) gázosítás*

A befúvásos eljárások egy 1940-ben kifejlesztett Koppers Totzek (KT) gázosítási technológián alapulnak (SZEMMELVEISZ 1998). 1952-től folyamatosan épültek ezek a berendezések, napjainkban továbbfejlesztett változatukkal (Siemens, Prenflo) találkozunk.

Alapanyaga porított, előszárított szén, ≤13% nedvességtartalommal. A porított szenet (átmérő: 90 μm) égőkön keresztül oxigénnel juttatják be a gázosítóba gőzadagolás mellett. Atmoszférikus nyomáson üzemel 1400–1600 °C-on, a reaktor tetején kilépő gáz hőmérséklete 900 °C. Először tűzálló falazattal készült, majd vízhűtéses falazatot alakítottak ki (HIGMANN, BURGT 2008). CO/H<sub>2</sub> arány 2–2,3 a szintézisgázban, fűtőértéke 10,3 MJ/m<sup>3</sup>. Egy jellemző gázösszetétel: CO–55,6%, H<sub>2</sub>–31,6%, N<sub>2</sub>–1,4%, CO<sub>2</sub>–11%, H<sub>2</sub>S–10,3%.

### *GE (General Electric) gázosító (Texaco)*

A GE technológia szén–víz iszapot (kb. 65% nedvesség tartalommal) adagol a befúvásos elven működő gázosítóba. Az elgázosító közeg oxigén (>95%). A reaktor tűzálló falazatú, a melléktermék salak. Az üzemi nyomás >20 bar, a hőmérséklet 1200–1500 °C. Két változata terjedt el. Egyik sugárzó hűtővel ellátott rendszer nagynyomású gőz előállítása céljából, a másik vizes medencével ellátott salakedző egységet tartalmazó technológia (STARR 2008, OLA 2005, BREAULT et al. 2010). Egy GE Texaco gázosítóból származó gázösszetétel: H<sub>2</sub>–34%, CO–50%, CO<sub>2</sub>–12%, H<sub>2</sub>S–0,3%, Ar–0,7%, NH<sub>3</sub>–0,5%, H<sub>2</sub>O–2,5%.

### *Shell gázosítási technológia*

A Shell szénelgázosítási technológia (SCGP – Shell Coal Gasification Process) a szénport nagynyomású nitrogénnel vagy recirkuláltatott szintézisgázzal juttatja a gázosítóba. Itt a szén oxigénnel keveredik 1400–1600 °C-on. Száraz adago-

lású, befűvások technológia. A különböző minőségű szeneken kívül, biomasszák és hulladékok elgázosítására is alkalmas (GRAAF 2011). Az elgázosítandó anyag jellemzői tág határok között változhat, a fűtőérték 16–40 MJ/kg, a hamutartalom: <1–40%, a kéntartalom 0,5–7%, a klórtartalom: 100–2000 ppm.

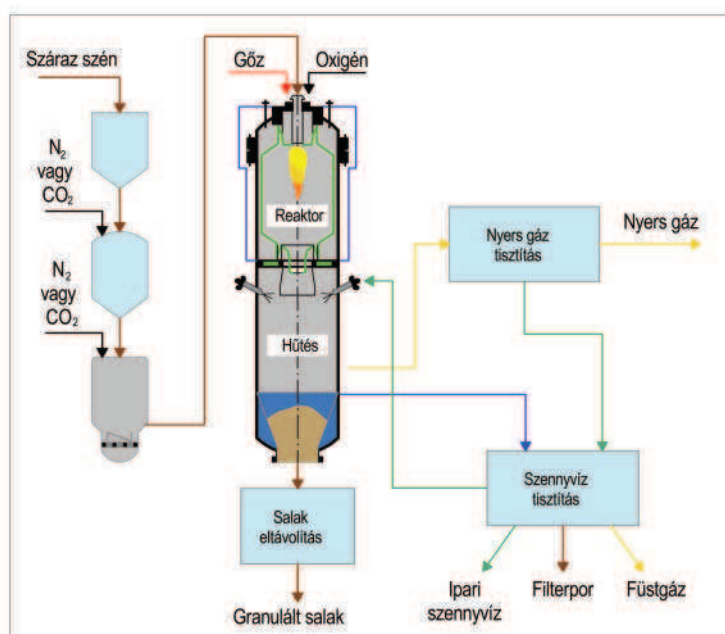
A technológia főbb jellemzői a salak végertermék, a membránfalú reaktor, a száraz adagolási rendszer, a vízhűtéses kazán és a szilárd salakeltávolítás. A membrán falú elgázosító falazata több rétegből áll. Belülről kifelé: salak- és hamuréteg, tűzálló falazat, a membránfal csövei, légréteg és acélgyűrű (GAZZANI *et al.* 2013). A technológia jellemzően 20–40 bar nyomáson, 1400–1750 °C hőmérsékleten üzemel. Az oxigén/karbon aránya  $\leq 1$ , a gőznyomás 30–130 bar, a szintézisgáz hőmérséklete a hűtő egység után: 250–350 °C.

A Shell szénelgázosító jellemző szintézisgáz összetétele a hűtő és nedves gázmosóból történő távozás után CO–50,55 tf%, H<sub>2</sub>–23,39 tf%, CO<sub>2</sub>–2,61 tf%, CH<sub>4</sub>–0,008 tf%, H<sub>2</sub>O–11,66 tf%, Ar–0,78 tf%, N<sub>2</sub>–8,04 tf%, H<sub>2</sub>S–0,157 tf%.

### Siemens technológia

A Siemens elgázosítási technológiát 1975-ben fejlesztették ki rossz minőségű szenek és hulladékok elgázosítása céljából a németországi Freibergben. Az első 200 MW-os demonstrációs berendezést 1984-ben építették meg. A technológiát GSP név alatt vezették be a piacra (Noell Group), később Future Energy név alatt vált ismertté, amíg 2006-ban a Siemens meg nem vásárolta (SCHINGNITZ, MEHLHOSE 2005). A technológia száraz adagolású oxigén és gőzbefűvások boltozati égővel üzemelő, vízhűtéses fallal rendelkező gázosító.

Az elgázosítandó anyagot porított (ritkábban iszap) formában adagolják az égőbe. A gázosítási folyamat nyomástartománya 5–30 bar, a hőmérsékleti tartomány 1400–1600 °C (SIEMENS 2007). A karbonkonverzió >99%, a keletkező szintézisgáz kátránymentes. A nagyteljesítményű gázosítók (1000 MW) három égővel üzemelnek. A reaktor rész mérete meghatározza az elgázosító teljesítményét. A Siemens technológia folyamatábráját szemlélteti a 7.12. ábra (Fuel gasification 2017). A technológia több mint 25 éve sikeresen működik számos referenciával.



7.12. ábra. Siemens gázosítás technológiai vázlat (Siemens Fuel Gasifier)

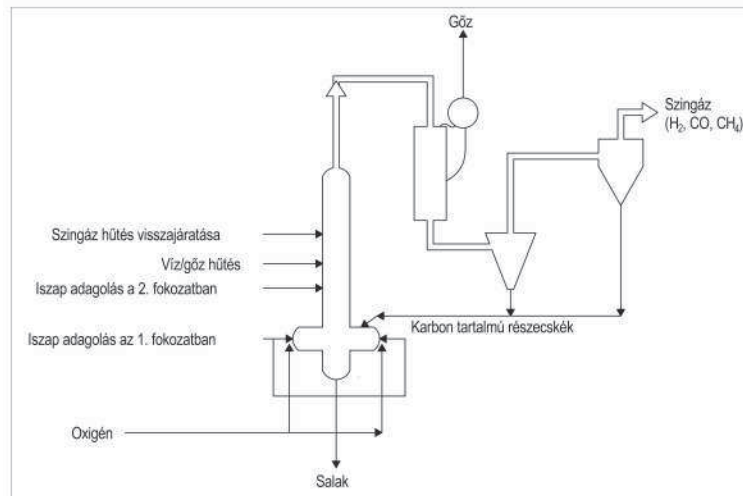
A Siemens technológia előnye, hogy az elgázosítandó beadagolt tüzelőanyag fajtája széles minőségi tartományban változhat: különböző minőségű szenek (pl. lignit nagy hamu- és illótartalommal), biomassza, hulladék. Kátránymentes szintézisgáz nyerhető a folyamat során. A beindítás és leállítás közötti idő kevesebb, mint 2 óra.

### Conoco Phillips (E-gas) technológia

A technológiát 1987–1995 fejlesztette ki a Luisiana Gasification Technology Inc. (LGTI). A technológia egy kétlépcsős befűvások gázosítási eljárás, ahol az elgázosítandó anyag 80%-át az első fokozatban viszik be az elgázosító reaktor alsó részébe szén-víz iszap formájában. Oxigénbefűvások rendszer, tűzálló falazattal és folyamatos salakeltávolítással. A technológia a szénfélések széles minőségi tartományának elgázosítására alkalmas.

A primer elgázosító tér két egymással szemben elhelyezett égővel üzemel a berendezés alsó részén. Itt a hőmérséklet 1300–1400 °C. Az alsó kiszélesedő rész után a gázok egy függőleges hengeres részbe kerülnek, ahol a szekunder gázosítási zónába porlasztják a maradék kb. 20% széniszapot. A primer zónából áramló nyers szintézisgáz endoterm reakcióba lépve a beporlasztott széniszappal, kb. 1000 °C-ra hűti a termékéget. Az első szekció salakálló tűzállóanyag bélésű. A gázosítót kb. 1000 °C-os termékéget hagyja el, amelyet hűtőrendszeren keresztül 600 °C-ra majd 40 °C-ra hűtenek (PEABODY 2005). Az el nem gázosodott szénrészecskéket visszajaratják a primer zónába.

Az 1. fokozat főbb reakciói:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ,  $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2 + \text{CO}$ ,  $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ ,  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ . A 2. fokozat reakciói:  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ ,  $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$  és elszéneseződés (endoterm folyamat). A folyamat technológiai vázlatát a 7.13. ábra szemlélteti. A szintézisgáz metántartalmát a felhasználás céljának megfelelően állítják be. Vegyipari felhasználás



7.13. ábra. Conoco Phillips technológiai vázlata (KELLER et al. 2007)

7. 11. táblázat. Conoco Phillips szénelgázosítás szintézisgázának összetétele

Gázalkotók	Széles tartomány	Közepes tartomány	Szűk tartomány
H <sub>2</sub> tf%	8–50	10–40	15–35
CO tf%	10–75	15–60	25–50
CO <sub>2</sub> tf%	1–40	5–30	7–20
H <sub>2</sub> O tf%	4–40	8–30	10–25
H <sub>2</sub> S tf%	0,001–5	0,1–2,5	0,5–2
CH <sub>4</sub> tf%	0,05–10	0,1–7,5	0,5–5
COS ppmv	100–5000	200–2500	350–1500
HCl ppmv	50–2000	100–1500	250–1000
NH <sub>3</sub> ppmv	50–2000	100–1500	250–1000
Egyéb tf%	<2,5	<2	<1

esetében kis metántartalmú gázt állítanak elő (nagyobb mennyiségű vizet/gőzt adagolnak), erőműi hasznosításnál közepes, szintetikus földgáz előállításánál nagyobb metántartalmú gáz is fejleszthető (KELLER et al. 2007). Az elgázosítás során kapott szintézisgáz összetétele tág határok között változhat, amint azt a 7.11. táblázat is szemlélteti (KYLE 2011).

### Mitsubishi Heavy Industries (MHI) technológia

Az MHI gázosítási technológia nagyon hasonló az előzőekben ismertetett Conoco Phillips gázosításhoz. Kétfokozatú befűvós gázosító, száraz adagolási rendszerrel, falazata vízhűtéses membránfal (hasonlóan a Shell és Siemens konstrukciókhoz). Olvadt salakolási technológiát alkalmaz. Az elgázosító közeg levegő, de már kifejlesztették az oxigénes technológiát is (HASIMOTO et al. 2010). Esetenként oxigénnel dúsított levegőt is használnak.

Az első fokozatban adagolják a szenet és a levegőt, itt alakul ki az oxidációs zóna. Itt az égéstermékek: CO, CO<sub>2</sub> és vízgőz. Az égési zóna nagy hőmérsékletén a szén hamutartalma megolvad. Az olvadt salak az elgázosító aljában lévő vízfürdőbe kerül. A második, redukciós zónába csak szenet adagolnak, itt az endoterm reakciók következtében kisebb a hőmérséklet, kb. 700 °C, amely a salak olvadáspontja alatt van. A redukciós zónából távozó szintézisgázt hűtőrendszerbe vezetnek ahol gőzfejlesztésre van lehetőség. A hűtőrendszer utáni ciklonból a karbonszemcséket visszajaratják az oxidációs

zónába. A levegős MHI elgázósítókat átalakítás nélkül lehet alkalmazni oxigénes rendszerként is. Egy jellemző oxigén-befúvós rendszer működési nyomása 1 Mpa, elgázósító közege oxigén, a feldolgozott szén hamutartalma 28%, nedvességtartalma 18%, a keletkezett szintézisgáz összetétele  $\text{CO}$ –48%,  $\text{H}_2$ –22%, égéshő 9,6 MJ/m<sup>3</sup> (HASIMOTO *et al.* 2010).

### *Prenflo gázosítás (Uhde)*

A Prenflo gázosítást a Krupp Uhde fejlesztette ki, amely egy száraz adagolású *befúvós* nyomás alatti technológia salak végtermékkel. A porított szenet (~100  $\mu\text{m}$ ) nagynyomású nitrogénnel viszik be a reaktorba. A gázosító alsó részében elhelyezett injektorokon keresztül lép be a rendszerbe az oxigén és a gőz. A szintézisgáz hőmérséklete a reaktorban 1350–1600 °C, amely a recirkulált szintézisgázzal kb. 800 °C-ra hűl, végül további hűtés hatására 370 °C-os lesz (CORTÉS *et al.* 2009, MILLER 2005).

Két technológiai irány létezik. A PSG (PRENFLO Steam Generation) eljárás során gőzt is fejlesztenek. A termékázt először egy hőhasznosító kazánba vezetik gőzfejlesztés céljából, majd egy szűrőrendszer és egy Venturi mosó következik. A PSG technológia esetében a gázosítás nyomása 40 bar vagy ennél nagyobb, a hőmérséklet kb. 2000 °C, a karbonkonverzió mértéke >99%. A salak lefelé áramolva vízfürdőben granulálódik. Az eljárásban képződő szintézisgáz jellemző összetétele:  $\text{CO}_2$ –2,9%,  $\text{CO}$ –59,9%,  $\text{H}_2$ –21,7%,  $\text{N}_2$ +Ar–14,4%,  $\text{CH}_4$ –0,1%,  $\text{H}_2\text{S}$ +COS–1,1%, fűtőérték 10,16 MJ/m<sup>3</sup>.

A másik eljárás a PDQ (Prenflo Direct Quench) technológia amely a PSG eljárás optimalizált változata, a keletkező szintézisgáz nagyobb hidrogénaránya miatt a szintézisgázt elsősorban a vegyipar hasznosítja. A beadagolt porszen szemcséinek kb. 80%-a kisebb méretű, mint 100  $\mu\text{m}$  és jó minőségű szén esetében 1–2% nedvességtartalommal rendelkezik. Lignit adagolásnál ez az érték 8–10%. A gázosító közeg oxigén és gőz, a gázosítás hőmérsékletén olvadt salak keletkezik. A termékázt közvetlenül a vízűtéses egységbe kerül, majd egy mosórendszeren keresztül távozik. Helyigénye kb. 30%-al kisebb mint a PSG eljárásnak. A gázosítás 40 bar vagy ennél is nagyobb nyomáson zajlik, a legmagasabb hőmérséklet 2000 °C. A reaktort és hűtőrészt elhagyó gáz hőmérséklete 200–250 °C. A karbonkonverzió hatásfoka 99%. Prenflo PDQ technológia jellemző gázösszetétele (Gasification Technologies ThissenKrupp Uhde 2015):  $\text{CO}_2$ –7%,  $\text{CO}$ –52,2%,  $\text{H}_2$ –27,7%,  $\text{N}_2$ +Ar–12,8%,  $\text{CH}_4$ –<0,1%,  $\text{H}_2\text{S}$ +COS–12 %, fűtőérték 9,9 MJ/m<sup>3</sup>.

### *ECUST gázosító*

A sanghaji East China University of Science and Technology (ECUST) 1995-ben alapított tisztaszén technológiai intézete (Institute of Clean Coal Technology) által fejlesztett eljárás a szembeállított égetőpárokkal történő szállóporos elgázosítás (OMB – opposed multi-burner) csoportjába tartozik. Ennek alaptípusát az 1930-as években alkotta meg F. Totzek a Heinrich Koppers műveknél Németországban (Koppers–Totzek generátor), és 1949-től kereskedelmi méretű változatai is elkészültek, 39 elgázósító került telepítésre összesen 13 telephelyen. Elsődleges alkalmazásuk ammónia-termeléshez szükséges  $\text{H}_2$  előállítása volt, s legtöbbjük egy szembeálló égetőpárral rendelkezett, jóllehet két indiai elgázósító már ekkor is két égetőpáros kialakítású volt, ahol az égetők 90°-os szögben álltak.

Az 1990-es években újraindult fejlesztések nyomán az ECUST tisztaszén technológiai intézetének fejlesztései nyomán a technológia jelentős mértékben megújult. Jelenleg a jóval szélesebb műszaki paraméterek mellett üzemelő eljárás alapvetően két égető- és befúvópáros kialakítású és főként szénzagyok elgázosítását végzi. A technológia alkalmazható szén-víz iszap adagolással, de esetenként működhet száraz adagolással ( $\text{N}_2$ -vel vagy  $\text{CO}_2$ -vel) is. A reaktor felső részén egymással szemben elhelyezkedő égőket találunk (4 db), majd a lefelé áramló gáz és olvadt hamu egy vízűtéses rendszerrel találkozik.

Műszaki kialakításában nagyon hasonló a PENFLO PDQ reaktorhoz. A termékázt, a hőmérséklet és nyomás nagyban függ attól, hogy száraz vagy nedves adagolású-e a gázosító. A hőmérséklet tartomány 1300–1400 °C, a nyomás 10–30 bar között változik. A szintézisgáz  $\text{CO}+\text{H}_2$  tartalma száraz adagolásnál 89–95% között változik (LIU *et al.* 2010, ZUNHONG *et al.* 2005).

### *EAGLE gázosító*

Az EAGLE (Energy Application for Gas, Liquid and Electricity) gázosító hasonlóan a Conoco Phillips (E-gas) és a MHI technológiához kétfokozatú rendszer. Befúvós gázosító, 25 bar nyomáson üzemel oxigénadagolás mellett. A gázosító alsó részébe vezetik a nagyobb mennyiségű oxigént (oxigénben gazdag zóna), az itt kialakult nagy hőmérsékleten (1600 °C) megkezdődik a hamu elsalakosodása. A gázosító felső részén kerül bevezetésre a szén második fele kevesebb oxigénnel. A hőmérséklet a szekunder zónában 1150 °C. A reaktorban a hosszabb tartózkodási idő miatt tangenciálisan tüzelnek. A szén/oxigén aránya minden esetben függ a szén jellemzőitől (WASAKA, SOTOOKA 2003, WASAKA, SUZUKI 2004, HIGMANN, BURGT 2008). A szenet gyakran nitrogénnel porlasztják a reaktorba. A technológiát 2002-től alkalmazzák üzemszerűen. A termékázt fűtőértéke kb. 10 MJ/m<sup>3</sup>, a karbonkonverzió hatásfoka >98%. Egy jellemző EAGLE szintézisgáz összetétel (WASAKA, SOTOOKA 2003):  $\text{CO}$ –53%,  $\text{H}_2$ –21%,  $\text{CO}_2$ –3%,  $\text{H}_2\text{O}$ –2%,  $\text{N}_2$ –20%, Ar–1%,  $\text{H}_2\text{S}$ –1200 ppm, COS–100 ppm.

### *China Aerospace Science and Technology nyomás alatti szállóporos elgázosító (HT-L)*

A kínai űrkutatási központ által fejlesztett, az Aerospace Technology Applications tulajdonában lévő, immár piacérett HT-L technológia szénzagyok nyomás alatti szállóporos elgázosítását végzi (THE HT-L GASIFIER, 2018). A felső adagolású technológia az űrkutatáshoz kapcsolódó motorfejlesztés energiaipari átültetésének eredményeképpen alakult ki. Az eljárás a legkülönbébb minőségű, szilárd állapotú szénfajtákkal üzemel és nagy tisztaságú,  $H_2$ - és CO-tartalmú szintézisgázt állít elő, alacsony szennyezőanyag-kibocsátás mellett.

A saját fejlesztésű eljárás legfontosabb sajátosságai a bemenő anyagokkal szembeni nagy tolerancia, a finomszemcsés őrlmények iránti igény, nyomás alatti üzemelés, vízköpenyes falazat, a gázok kvencselésére és a hamu lehűtésére használt víz visszaforgatása a szennyvízkibocsátás csökkentése érdekében, valamint az alacsony beruházási és működési költségek. A technológia 750, 1600 és 2500 tonna tüzelőanyag/nap kapacitással jelent meg a kereskedelmi szférában. Az elsősorban Kínában terjedő technológia ammónia-, metanol- és metánüzemek technológiai alapját képezi. A felépített elgázosítók paramétereiről nagyon kevés adat van közzétéve. A tervezett elgázosítók közül, még számos építés alatt vagy csak tervekben van.

### *Northwest Research Institute szénzagy-elgázosító (MCSG)*

A Northwest Research Institute of Chemical Industry (NWRICI) az 1980-as évek közepén kezdte meg a szénzagy-elgázosítás vizsgálatát, egy napi 24–35 tonnás tesztüzemmel, ahol 55, 60 és 65% szénport tartalmazó zagyok elgázosítását vizsgálták 2,6–3,4 Mpa nyomáson, 1350, 1450 és 1550 °C hőmérsékleten. A fejlesztéssel egy időben határozta el a kínai kormány az akkoriban legígéretesebb Lurgi és Texaco technológiák adaptálását. A tárgyalások során az NWRICI egy Texaco licenz birtokába jutott, ami lehetővé tette, hogy a tesztüzemi eredményeket Texaco elgázosító rendszerébe ültessék. Az így létrejött elgázosítók közül 1987 és 1996 között 9 került kereskedelmi forgalomba.

A Texaco alapú kereskedelmi elgázosítók, és a tesztüzem együttes üzemi tapasztalatai, az időközben elvégzett kutatás-fejlesztési eredményekkel kiegészülve vezettek el a NWRICI saját fejlesztésű multikomponensű szénzagy elgázosítójának (MCSG – Multi-Component Slurry Gasification) kifejlesztéséhez. A MCSG elgázosító közel 30 nagyméretű metanol-, ammónia- ill. coal-to-liquid-üzem alapját képezi. A reaktorok különböző nyomáson és különböző kapacitással üzemelnek, s a tüzelőanyagok széles körét képesek feldolgozni. Jellemzőjük az alacsony beruházási költség és a környezetvédelmi szempontból megfelelő üzemelés.

## **Olvadékágyas gázosítók**

Bár ezeket az eljárásokat a gyakorlatban elsősorban hulladékok elgázosítására fejlesztették ki, a teljesség kedvéért röviden kitérünk technológiai ismertetésükre, mert mindegyik alkalmazható szén elgázosítására is. Bármely széntípus alkalmas olvadékfürdőben történő elgázosításra, meghatározott mérettartományon belül.

Ezeknél a technológiáknál az olvadó folyékony fürdőbe porlasztják a szenet, a gőzt és az oxidáló közeget (oxigén/levegő). A szén karbontartalma, áthaladva a folyékony fürdőn, reakcióba lép az oxigénnel és a gőzzel és nagy szén-monoxid-tartalmú szintézisgáz keletkezik. Az el nem reagált karbon a fürdő felszínén lévő salakba kerül. Az olvadék nemcsak katalizálja a gázosítási reakciókat, hanem a szükséges hőt is biztosítja. Olvadékágy lehet só, salak vagy fém. A következőkben három olvadékágyas technológiát mutatunk be.

### *Rockwell International*

A technológiát 1974–78 között fejlesztette ki a Rockwell International cég Atomics International divíziója. Sófürdős technológia, a korrózió hatásoknak jól ellenálló nagy alumínium-oxid-tartalmú falazattal rendelkező berendezéssel. A hővesztesség csökkentése céljából a tűzálló falazatot egy szigetelő réteg követi. Alul négy homlokzati fűvókán keresztül áramlik be a levegő/oxigén és a szilárd beadagolandó anyag (szén+szóda). Tiszta szintézisgáz távozik a rendszerből, mert a hamu és a kén a salakban megkötődik. Attól függően, hogy mi az oxidáló közeg, kis vagy közepes fűtőértékű szintézisgáz keletkezik (SUNGGYU et al. 2007).

A szóda ( $Na_2CO_3$ ) szállító közegként szolgál, hőforrás a szén elgázosodásához, abszorbeálja a kenet és összegyűjti a hamut. A salakzónában összegyűjtött kéntartalmú vegyületek a szén oxidációjának katalizátorként hatnak. Az eljárás során

**7.12. táblázat.** Rockwell Int. gázösszetételek (SUNGGYU et al. 2007)

Főbb gázalkotók, ttf%	Oxigén gázosítás	Levegős gázosítás
CO	55	24
$H_2$	33	15
$CH_4$	2	1,7
$CO_2$	8,2	10,9
$N_2$	0,8	44

az olvadék és a távozó gáz hőmérséklete 980 °C, a nyomás: 10–30 bar, a gázsebesség 0,5–0,7 m/s. A gázosító reagens mennyiségét illetően 1 tonna szénre vonatkoztatva szükséges 3,5–4 t levegő, 0,66–0,7 t oxigén, 0,1–0,4 t gőz. Az eljárás 10%-nál kisebb nedvességtartalmú szénrel üzemel. Egy-egy jellemző gázösszetételt levegő, ill. oxigén alkalmazásával a 7.12. táblázat mutat be.

### *Saarberg/Otto gázosító*

A Saarberg/Otto technológiánál olvadt salakfűrdőben megy végbe a gázosodás folyamata. Az olvadt salakba vivőgázzal adagolják a szenet, majd másik fűvókán az oxigént és a gőzt. A reaktor kör keresztmetszetű, forgó tengelyű, három különböző szekcióból álló gázosító. Az első (alsó) szekcióban van a salakfűrdő, a második a reakció zóna és a harmadik a hűtő szekció. A gázosítás hatásfoka jelentősen függ a salakfűrdő forgásának mértékétől. A centrifugális erő következtében a keletkezett szintézisgáz szénpor és hamu részecskéket is magával ragad, ezért recirkuláltatják és a részecskék visszaperegnek a salakfűrdőbe. A termék gáz a gázhűtőn keresztül lép ki a rendszerből. A deponálódó salak egy hűtővizes egységen keresztül hagyja el a salakgyűjtőt (IGCC 2010).

A gázosítás hőmérséklete 1500–1700 °C, a kilépő gáz hőmérséklete: 815–925 °C, az üzemi nyomás 25 bar, a gázsebesség: 1,8 m/s. Egy jellemző gázösszetétel: CO<sub>2</sub>–17%, CO–41%, H<sub>2</sub>–12,4%, H<sub>2</sub>S–2,4%, H<sub>2</sub>O–21%, N<sub>2</sub>–1,5%. Az eljárás 1 tonna szénre vonatkoztatva 1 t oxigént és 0,4 t gőzt használ. Kizárólag porszénrel üzemel, nem érzékeny a szén minőségére és nedvességtartalmára.

### *Kellogg–Pullman*

Az eljárás során a gázosítási folyamat Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> olvadékban valósul meg gőz és oxigén adagolása mellett (SUNGGYU *et al.* 2007). A szódát, szenet (kb. 6–12 mm) és az előmelegített gőzt és oxigént a reaktor alján adagolják be. A szén kéntartalma a szódával reagálva szulfidot képez (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+H<sub>2</sub>S=Na<sub>2</sub>S+CO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O). A hamu összegyűlik az olvadék tetején, majd a szoda egy részével távozik a rendszerből és visszacirkuláltatják az adagoló oldal felől.

A rendszert először a Kellogg cég fejlesztette ki, működési hőmérséklete 930 °C és nyomása kb. 80 bar volt. A keletkezett gáz fűtőértéke oxigén gázosításnál kb. 12 MJ/m<sup>3</sup>. Levegő adagolás mellett kisebb fűtőértékű gáz nyerhető. A technológiát később Rummel néven fejlesztették tovább, amelynél a gázosító alján 12 fűvókán keresztül vezették be az olvadékba a szenet, gőzt és az oxigént (levegőt) atmoszférikus nyomáson. A reaktor tetején kilépő gáz fűtőértéke az oxidáló reagenstől (oxigén/levegő) függően 4,2–10 MJ/m<sup>3</sup> között változik.

### *Atgas technológia olvadt fémfűrdőben*

Ennél a technológiánál fémolvadék segítségével történik a szénelgázosítás (SUNGGYU *et al.* 2007). A porított szenet és mészkövet gőzzel injektálják az olvadt fémfűrdőbe. A gőz disszociál és a szén hőbontása következtében keletkező illékony anyagokkal reagálva hidrogén és szén-monoxid keletkezik, amelyek a szintézisgáz legfőbb alkotói. A szén kéntartalma (mind a szerves, mind a pirit formában jelenlévő) itt is a salakba kerül, CaS formában kötődik meg a mészkő hatására. A felszínhez közel porlasztják be az oxigént/levegőt a rendszerbe. A fémfűrdő lehet: pl. vas, réz. Az olvadék hőmérséklete 1200–1700 °C között van, a reaktor közel atmoszférikus nyomáson üzemel. A termék gáz általában 1450 °C-on hagyja el a rendszert. A szintézisgáz szén-monoxidban gazdag, metántartalom nélkül: CO–65%, H<sub>2</sub>–35%.

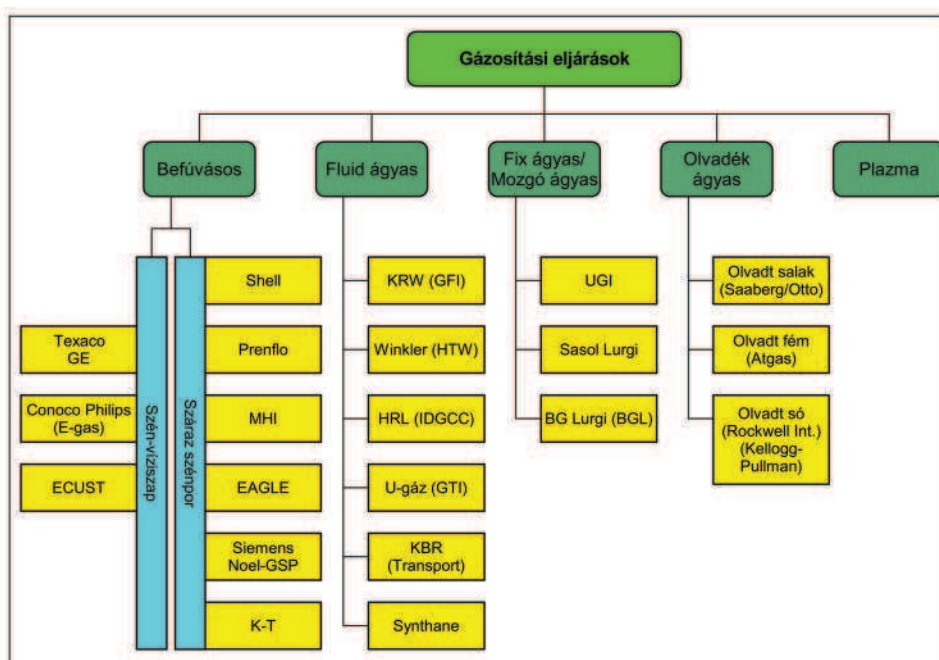
## **Plazmagázosítás**

A plazmagázosítási eljárás szintén az anyagok gyors hőbontásán alapszik parciális oxidációval, kis mennyiségű oxigén vagy levegő hozzáadása mellett. Ez a technológia villamosenergiát és ionizálandó gázt alkalmaz. A plazmasugár közelében nagy a technológiai hő (3000–5000 °C). A plazma tulajdonképpen egy ionizált gáz. Az eljárást gyakran az elgázosítás egy speciális esetének tekintik. Az atomokra történő bontással a légszennyező és fertőző anyagok kibocsátása nagymértékben csökkenthető, ill. elkerülhető (PLASMA GASIFICATION US SCIENCE AND TECHNOLOGY 2016).

A szükséges energiát plazmaégő biztosítja. A plazmaív egyenáramú feszültségforrás hatására a salakfűrdő és a plazmaégő között alakul ki. A plazmaív hőmérséklete ~20 000 °C. Ezt a technológiát elsősorban hulladékok elgázosítására fejlesztették ki, de biomasszát és szenet is adagolhatnak a reaktorba. Amikor a szén, biomassza vagy a hulladék találkozik a plazmasugárral, a tüzelőanyag alkotói a nagy hőmérsékleten disszociálnak, szintézisgáz- alkotók keletkeznek, a hamu és egyéb szerves anyagok megolvadnak és az olvadt fém és salak a gázosító alján összegyűlik. A gázosítót 900–1000 °C-os szintézisgáz hagyja el. A plazmasugár előállításához szükséges villamosenergia 2–5%-a a bemenő energiának (BELL *et al.* 2011).

## Gázosítási eljárások összehasonlítása

Az előző fejezetekben a teljesség kedvéért röviden kitértünk az olvadékágyas és a plazmatechnológiára is, de elsősorban az elterjedtebb, ill. a Magyarországon kitermelhető szénre is alkalmazható technológiákat mutattuk be. Az ismertetett eljárások egy része biomassza és hulladék elgázosítására is alkalmas. A gyenge minőségű szén elgázosítása szempontjából szóba jöhető eljárásokat (állóágyas, fluidágyas és befúvásos) a 7.14. ábra foglalja össze.



7.14. ábra. Fontosabb szénelgázosítási technológiák (SCIAZKO, CHMIELNIAK 2012)

7.13. táblázat. Állóágyas elgázosítók legfontosabb műszaki adatai

Jellemzők	SASOL Lurgi	BG Lurgi (BGL)
Falazat	vízűtéses acél	tűzállóanyag
Adagolás	száraz	száraz
Hőmérséklet, °C	600–900	1000–1500
Nyomás, bar		10–30
Szén méret, mm		6–50
Fokozat	egy	egy
Gázösszetétel %		
O <sub>2</sub>	0	0
N <sub>2</sub>	1,5 (+Ar)	3,3 (+Ar)
H <sub>2</sub>	40–52	26,4
CO	17–30	45,8
CO <sub>2</sub>	6–30	2,9
H <sub>2</sub> O	5	16,3
CH <sub>4</sub>	4,4–9	3,8
Ar		
H <sub>2</sub> S, ppm	9000	10000
SO <sub>2</sub> , ppm	0	0
COS, ppm	400	1000
Távozó gáz hőm., °C	550	540
Elgázosító közeg (O/C arány; kg/kg)	oxigén-gőz	oxigén-gőz (0,5)
Karbon konverzió, %		93–99
Fűtőérték, MJ/m <sup>3</sup>		11–12
Tartózkodási idő sec.	900–3600	30–60

A 7.13., 7.14. és 7.15. táblázatokban összefoglaltuk a gázosítási piacon leggyakrabban megtalálható, általunk ismertetett technológiák főbb műszaki adatait. A táblázatokból kihagytuk azokat az eljárásokat, amelyek ma kisebb jelentőséggel bírnak. A 7.15. ábra a főbb technológiák piaci arányát szemlélteti (SCIAZKO, CHMIELNIAK 2012).

A működő legerjedtebb gázosítási technológia a fix/mozgó ágyas (Sasol) eljárás, amely a 2010-es termelési szint 57%-át adta. Ebből a technológiából a legnagyobb gyártási potenciál Dél-Afrikában van. A 7.15. ábra alapján azonban megállapítható, hogy a fejlesztések nem ebben az irányban haladnak. A befúvásos működő eljárások közül a Shell (száraz adagolás) és a GE Texaco (szén-víz iszap) a meghatározó a szintézisgáz-termelésben (77%). Ezt követi az ECUST (15,3%) technológia. A 2010-től tervezett és épített technológiák között is a Shell gázosítás vezet (26,7%; 11,913 MW<sub>th</sub>) ezt követi az ECUST (20,8%), a PRENFLO Uhde (16,8%), a Siemens (14,7%), a Conoco Phillips E-Gas (11,3%), a GE Texaco (5,3%) és a MHI (3,7%) (SCIAZKO, CHMIELNIAK 2012). A fluidágyas technológiákat jóval kisebb arányban, de ugyancsak fejlesztik 2018-ig.

A dinamikusan fejlődő kínai piacon a tech-

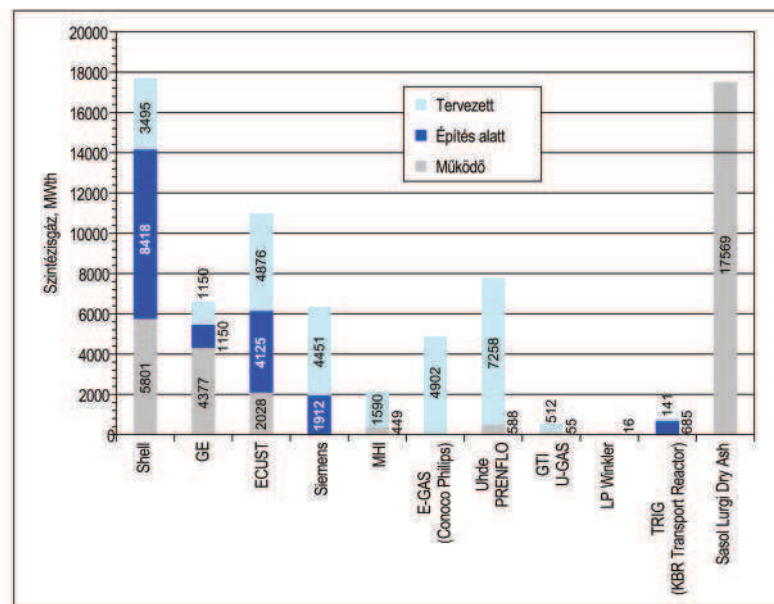
**7.14. táblázat.** Fluidágyas elgázosítók legfontosabb műszaki adatai

Jellemzők	Winkler HTV		HRL (IDGCC)	U-gáz (GTI)	KBR Transport		KRW (GTI)	
Falazat	tűzállóanyag		tűzállóanyag	tűzállóanyag	tűzállóanyag		tűzállóanyag	
Adagolás	száraz		előszárított	száraz	száraz		száraz	
Hőmérséklet °C	700–1050		900–1050	850–1100	815–1065		870–1040	
Nyomás, bar	1,5–27		22–30	3–30	9,5–18		20–30	
Szén méret, mm	1–6		<10	<10	0,25–0,6		<10	
Fokozat	egy		egy	egy	egy		egy	
Gázösszetétel, %								
O <sub>2</sub>	0		0	0	0	0	0	0
N <sub>2</sub>	0,5(+Ar)	46,5(+Ar)	34,7 (+Ar)		53,2	0,1	50-53	2
H <sub>2</sub>	<b>29,4</b>	<b>15</b>	<b>13,5</b>	<b>33,45</b>	<b>14,8</b>	<b>37,4</b>	<b>12-17</b>	<b>30</b>
CO	<b>29,4</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>24,98</b>	<b>18,8</b>	<b>37,9</b>	<b>23</b>	<b>60</b>
CO <sub>2</sub>	18,8	8,1	9,0	16,98	11,7	21,8	6,9	3
H <sub>2</sub> O	17,5	8,5	25	15,75	14,8	37,4	2	
CH <sub>4</sub>	4	1,7	2,2	7,05	1,6	2,9	0,66	5
Ar							6000	
H <sub>2</sub> S, ppm	1000	1000		0,26(+COS)			9	
SO <sub>2</sub> , ppm							0,7	
Távozó gáz hőm., °C	900–950							
Elgázosító közeg (O/C arány; kg/kg)	oxigén-gőz (0,54)	levegő-gőz	levegő	oxigén-gőz (0,6)	levegő-gőz	oxigén-gőz	levegő-gőz	oxigén-gőz (0,68)
Karbon konv. %	>95	>95	>95	>95	95–98	95–98	95	95
Fűtőérték, MJ/m <sup>3</sup>	8,3	4,9	4,1	9,4	4,5	9,8	3,8–4	12,8
Tartózkodási idő, sec.	5–100				10–100			

**7.15. táblázat.** Szállóporos elgázosítók legfontosabb műszaki adatai

Jellemzők	Winkler HTV		HRL (IDGCC)	U-gáz (GTI)	KBR Transport		KRW (GTI)	
Falazat	tűzállóanyag		tűzállóanyag	tűzállóanyag	tűzállóanyag		tűzállóanyag	
Adagolás	száraz		előszárított	száraz	száraz		száraz	
Hőmérséklet °C	700–1050		900–1050	850–1100	815–1065		870–1040	
Nyomás, bar	1,5–27		22–30	3–30	9,5–18		20–30	
Szén méret, mm	1–6		<10	<10	0,25–0,6		<10	
Fokozat	egy		egy	egy	egy		egy	
Gázösszetétel, %								
O <sub>2</sub>	0		0	0	0	0	0	0
N <sub>2</sub>	0,5(+Ar)	46,5(+Ar)	34,7 (+Ar)		53,2	0,1	50–53	2
H <sub>2</sub>	<b>29,4</b>	<b>15</b>	<b>13,5</b>	<b>33,45</b>	<b>14,8</b>	<b>37,4</b>	<b>12–17</b>	<b>30</b>
CO	<b>29,4</b>	<b>20</b>	<b>15</b>	<b>24,98</b>	<b>18,8</b>	<b>37,9</b>	<b>23</b>	<b>60</b>
CO <sub>2</sub>	18,8	8,1	9,0	16,98	11,7	21,8	6,9	3
H <sub>2</sub> O	17,5	8,5	25	15,75	14,8	37,4	2	
CH <sub>4</sub>	4	1,7	2,2	7,05	1,6	2,9	0,66	5
Ar							6000	
H <sub>2</sub> S, ppm	1000	1000		0,26(+COS)			9	
SO <sub>2</sub> , ppm							0,7	
Távozó gáz hőm., °C	900–950							
Elgázosító közeg (O/C arány; kg/kg)	oxigén–gőz (0,54)	levegő–gőz	levegő	oxigén–gőz (0,6)	levegő– gőz	oxigén– gőz	levegő– gőz	oxigén–gőz (0,68)
Karbon konv. %	>95	>95	>95	>95	95–98	95–98	95	95
Fűtőérték, MJ/m <sup>3</sup>	8,3	4,9	4,1	9,4	4,5	9,8	3,8–4	12,8
Tartózkodási idő. sec.	5–100				10–100			

nológiai szerkezet elmúlt évtizedekben kialakult trendjét a Nemzetközi Energiatechnológiai Laboratóriuma (US NETL) által készített tanulmányhoz készült adatbázis (US-CHINA ENERGY CENTER, NATIONAL RESEARCH CENTER FOR COAL AND ENERGY, WEST VIRGINIA UNIVERSITY, MORGANTOWN, WV 26506-6064 2014) alapján a 7.16. ábra foglalja össze. Szén-felhasználásra vetítve az álló és fluidágyas technológiák részaránya szinte elhanyagolható, ezzel szemben a szállóporos

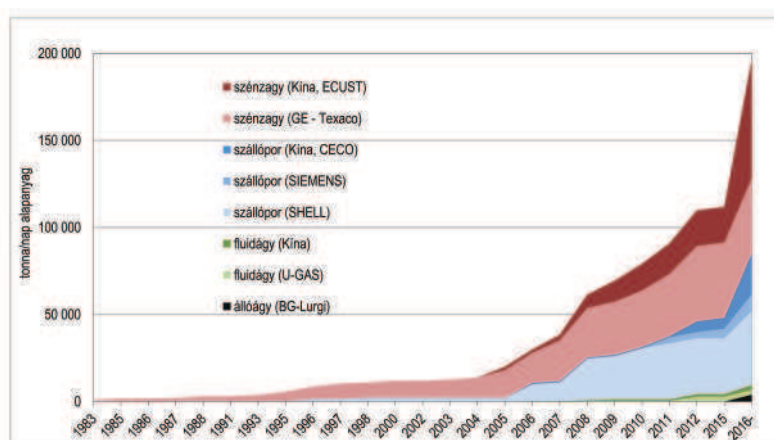


7.15. ábra. Gázosítási technológiák szintézisgáz-termelése (2010-2016) (SCIAZKO, CHMIELNIAK 2012)

technológiák dinamikusan fejlődést mutatnak, ezen belül legjelentősebb a Shell technológia, illetve az utóbbi években a kínai CECO technológia. A kínai piacon a szén-víz zagyos gázosítási technológiák (GE) vezető szerepe is egyértelmű. A kínai ECUST technológia ugrásszerű növekedést mutatva mára a vizsgált technológiák élvonalába került.

A Magyarországon kitermelhető szénvagyon nagy részét barnaszén és lignit alkotja, ezért e tanulmány elsősorban az ilyen minőségű szének elgázosítására alkalmas technológiákra koncentrál. Itt jegyezzük meg, hogy a mecseki feketeszén-nel nem folytak hazai kísérletek, feketeszénre vonatkozóan csak néhány nemzetközi vizsgálatot ismerünk (HÖLL, LOEFFLER 1991). Habár a táblázatokban bemutatott elgázosító rendszerek nagy része alkalmas a barnaszén elgázosítására, a további vizsgálatok során több szempont számbavétele szükséges. Az egyik a technológia kiforrottsága. Különösen érett technológiának tekinthetők az állóágas technológiák és intenzív fejlődés alatt állnak a befúvásos megoldások. A fluidágas elgázosítók kevésbé elterjedtek, jelenleg is fejlesztés alatt állnak.

Fontos szempont lehet a szintézisgáz további felhasználása. Az egyes technológiák jól láthatóan más és más szintézisgáz-összetételt eredményeznek (7.13., 7.14., 7.15. táblázat). A fix és mozgóágas elgázosítás esetében (pl. SASOL Lurgi) a szintézisgáz hozzávetőlegesen 2:1 arányban tartalmaz hidrogént és szén-monoxidot, ezért további hozzáadott hidrogén



7.16. ábra. Gázosítási technológiák részesedése a kínai piacon (forrás: US-CHINA ENERGY CENTER)

nélkül alkalmas lehet metanol gyártására. Ugyanezen paramétereket figyelembe véve egy befúvásos elgázosítási technológia esetében, a  $H_2:CO$  arány megfordul, az ilyen szintézisgáz további hidrogénforrást igényel.

További szempont a technológia költsége. Légköri vagy alacsony nyomáson működő technológiák beruházási költsége

alacsonyabb, fejlesztés esetén a technológiák tesztelése és méretezése könnyebben kivitelezhető. A nyomással történő hatásfoknövelés hozta létre a 20 bar feletti, több esetben 60–80 bar üzemi nyomásértékeket, a nyomás növekedésével azonban a beruházási költségek exponenciálisan nőnek.

### Direkt szénfeldolgozási eljárások

A direkt hidrogénezési eljárás célja a szén makromolekuláris szerkezetének lebontása és a cseppfolyós termék hidrogéntartalmának megnövelése. A folyamathoz magas nyomás és hőmérséklet szükséges, ezért a technológiára viszonylag nagy beruházási és működési költség jellemző. Az 1980-as éveket követően kevés közvetlen cseppfolyósítási technológiának lett folytatása. Ez alól kivétel a HTI (ma Headwaters) katalitikus kétlépcsős cseppfolyósító technológiája, a kínai Shenhua-csoport részére 2002-ben eladott licenc alapján.

#### *Headwaters katalitikus kétlépcsős cseppfolyósító eljárás*

Erre az eljárásra alapozva először 2008-ban épült meg egy 20 000 hordó per nap kapacitású demonstrációs berendezés, majd 2009 végére Belső-Mongóliában egy évi 3,45 millió tonnás kapacitású üzem, amely 1 millió tonna olajat állított elő. A következő üzemméret 2010-ben készült el, évi 6 millió tonna olaj előállítására (GEPING 2013).

A Headwaters nem kötelezettségvállalás szintű állítása szerint, a közvetlen hidrogénezés előnyei a közvetett (szén-elgázosító) eljárásokkal szemben, a 30%-kal kisebb tőkeköltés azonos méretű üzem esetében, továbbá mintegy 50%-al több cseppfolyós termék egy tonna szénre vetítve és akár 50%-al kisebb CO<sub>2</sub> kibocsátás, ami majdnem teljes egészében leválasztható (GEPING 2013). Az eljárást fele akkora vízfogyasztás, 25%-al nagyobb termikus hatásfok és kiegyensúlyozott energiamérleg jellemzi, aminek következtében nincs szükség külön energia előállítására. A Headwaters közlése szerint egy 40 000 hordó/nap (13,2 millió hordó/év) kapacitású üzem éves szénfogyasztása 8,6 millió tonna szén. A termékszerkezet 7% LPG, 30% nyersolaj és 63% dízel. A vízfogyasztás 5,16 m<sup>3</sup>/tonna nyersszén. A számított eredmények kisméretű laborkísérletekre alapozott adatok.

#### *Mikrokatalizátoros (MCL) technológia*

Az Exxon Mobile korábbi kutatóiból álló csoport legújabb fejlesztést a C2XX technológia jelenti (BAUMAN *et al.* 2018). A C2XX technológia a legkorszerűbb mikro katalizátoros (MCL) eljárás a szén közvetlen cseppfolyósítására a maximális benzin, repülőbenzin, dízelolaj, szintetikus kőolaj és/vagy vegyipari alapanyagok (olefinek és aromás vegyületek) nagy hatásfokú előállítása céljából. A tervezett az MCL a közvetett (szén-elgázosító) eljárásokhoz képest azonos szénmennyiségből háromszor annyi olaj előállítására lehet képes és a termék tonnájára vetítve 3,5–7 tonna vizet használ szemben a közvetett eljárások 11–12 tonnájával. A technológia fejlesztése jelenleg is folyik, a jelenlegi eredményeket a kis méretben végzett kísérleti adatokra és elméleti számításokra alapozták.

A szuperaktív szétosztott katalizátor miatt az MCL-nek az egyéb közvetlen eljárásokkal szemben nincs szüksége nagymennyiségű, alacsony aktivitású vasalapú katalizátorra, ill. a visszanyert oldószeráram részleges hidrogénezésére. A C2XX tanulmány alapján a külső hidrogénezési eljárásokkal szemben az MCL termikus hatásfoka 7%-kal nagyobb.

### Kapcsolódó eljárások

#### *CO konverzió – külső hidrogénforrás*

A gázosítási eljárás végterméke minden esetben a szintézisgáz, amelynek fő alkotóelemei a H<sub>2</sub>, a CO és a CO<sub>2</sub>. A szintézisgáz összetevőinek aránya nagyban függ a kiindulási alapanyagtól és a választott technológiától egyaránt. A szintézisgáz végleges H<sub>2</sub>/CO arányát a céltermék függvényében kell optimalizálni, ezt leggyakrabban a vízgáz reakción (R-7.8.) alapuló CO-konverzió biztosítja, aminek eredményeként csökken a szintézisgáz CO és nő annak H<sub>2</sub>-tartalma (ugyanakkor nő az eljárás CO<sub>2</sub> kibocsátása). Mivel a reakció exoterm, a H<sub>2</sub> képződésének az alacsony hőmérséklet kedvez. Katalizátorok nélkül a vízgáz egyensúly csak 950 °C körüli hőmérsékleten áll be megfelelő sebességgel. A konverziót éppen ezért vízgőzfeleslegben és katalizátorok (króm-oxiddal aktivált vas-oxid, kobalt-molibdén, kénérzékeny réz-oxid, ill. réz- és cink-oxid) jelenlétében hajtják végre. Nagy hőmérsékletű (pl. 1500 °C) nyersgáz esetén lehetőség van katalizátor nélküli konvertálásra.

A CO-konverzió mértékét csökkentheti, s ezzel az eljárás hatásfokát és CO<sub>2</sub> kibocsátását kedvezően befolyásolhatja a külső forrásból bevezetett H<sub>2</sub> mennyiség. Külső hidrogénforrás többféle lehet. Alacsony szénhidrogénárak mellett ideális forrás a földgáz, rendelkezésre álló olcsó/főlős villamosáram esetén lehetővé válhat elektrolitikus vízbontás, s ezzel ipari méretű hidrogén előállítás.

### *Gáztisztítás*

A gázosítást követően szükség van a keletkezett nyers szintézisgáz tisztítására, mivel a szintézisgázban jelen lévő kénvegyületek ártalmasak a metanolszintézis katalizátorára, ellehetetlenítve a katalizátoros átalakítást. A savas gázkomponensek eltávolítására fizikai és kémiai abszorpciós eljárásokat dolgoztak ki. A kémiai abszorpciós eljárások légköri nyomáson is alkalmazhatók, de elsősorban kis mennyiségű szennyeződés eltávolítására alkalmasak.

A fizikai abszorpciós eljárások azt a jelenséget használják ki, hogy a gázok oldhatósága folyadékokban a gáznyomás növekedésével, ill. a hőmérséklet csökkenésével nő. A kereskedelmileg elterjedt kéntelenítő eljárás a rectisolos (metanolban történő) mosás, ahol a forró akár 1300 °C-os szintézisgázt különböző hőcserélőkön keresztül –20 °C körüli hőmérsékletre hűtik, hogy a kénvegyületeket ki tudják vonni. Az ún. szelektív Rectisol-eljárásban először kis mennyiségű metanollal a többi savas komponensnél könnyebben oldódó kénvegyületeket oldják ki, s ezt követően kerül sor az egyéb szennyeződések (CO<sub>2</sub>) eltávolítására. Ez lényegesen megkönnyíti a további feldolgozást, így pl. a Claus-üzemben végzett kénkinyerést (FRANCK, KNOP 1986).

A hűtés költségeinek elkerülése érdekében több technológiai elképzelés is született. Fejlesztés alatt áll, kereskedelmi forgalomba azonban még nem került olyan meleg gáztisztító (kénisztító) eljárás, amely a szintézis gázt 250–600 °C-on képes megtisztítani.



FÖLDESSY JÁNOS, MÁDAI FERENC, MÁDAI VIKTOR, FUCHS PÉTER,  
\*\*\*  
TÖRÖK KÁLMÁN, BERTALAN ÉVA, MENICH ERIKA, HORVÁTH ZSOLT, FALUS GYÖRGY

## Korábbi adatok és mintavételezések áttekintése

### *A szenes összetetekhez kötődő kritikus elemek kutatásának időszerűsége*

A geokémia fejlődése során már a 20. század első felében kimutatták, hogy a szerves anyag, illetve az azt megőrző reduktív környezet a fémionok számára optimális csapdázódási helyet jelent. Ez indokolja a ritkaelemek fokozottabb dúsulását is széntelepekben. Az erre irányuló kutatások komoly hangsúlyt kaptak Oroszországban (Szovjetunióban) és Kínában. A stratégiaiul fontos ritkaelemek kutatása fél évszázaddal ezelőtt Magyarországon is intenzív volt (SZÁDECZKY-KARDOSS, FÖLDVÁRYNÉ VOGL 1955, CSALAGOVITS, VÍGHNÉ 1969), de a felmérések után a gyakorlati hasznosítás végül nem valósult meg. Az 1970-es évektől Magyarországon a szénbányászat fokozatos térvesztésre kényszerült, a 2000-es évek elejére a föld alatti szénbányászatot gyakorlatilag felszámolták.

A 21. század kezdetétől, főleg az elektronikai termékek fejlődése miatt és a megújuló energiaforrások hasznosítása érdekében új nyersanyagok (pl. lítium, indium, neodímium stb.) kerültek a figyelem középpontjába. Európában az egyre fokozódó ellátási kockázat miatt az EU 2008-ban kiadta az Nyersanyag-politikai kezdeményezéséről szóló közleményét (EU 2008), mely egy új szemléletű nyersanyag-stratégiát indított el. A nyersanyag-ellátottság az EU egyik kiemelt fontosságú stratégiai kérdésévé vált, és bekerült az EU védelmi koncepciójába is (EU 2017). E stratégia hazai megvalósítási lehetőségeihez kapcsolódott a CriticEl projekt 2012–14, ennek keretében kezdődött el a kritikus elemek hazai potenciális forrásainak értékelése archív adatok és friss mintázások alapján.

A következő évtized egyik nagy kihívása lesz az energiaellátás átalakítása. Az áttérés nem képzelhető el új nyersanyagok növekvő felhasználása nélkül. Az EU közös kutatási központja (JRC) által készített tanulmány (Moss et al. 2013) az energiaellátási és hasznosítási technológiákhoz az EU számára 2030-ra 27 kritikus elemet sorol fel. Köztük kiemelt kockázatúak egyes ritkaföldfémek (Dy, Eu, Tb, Y, Pr, Nd), a gallium és a tellúr; magas-közepes kockázatúak a grafit, Re, Hf, Ge, Pt, In; közepes kockázatúak a La, Ce, Sm, Gd, Co, Ta, Nb, V, Sn, Cr. A jelentés szerint a következő két évtizedben egyes ritkaelemekből egy nagyságrenddel nagyobb kereslet várható, mint a 2010-es évek elején.

A fent említett stratégiai fontosságú nyersanyagok közül több jelentős dúsulást mutat a hazai szenekben. Ezért a hazai szénvagyon hasznosítási lehetőségének elemzése során újra kell értékelni a széntelepekhez kötődő ritkaelem-potenciált is. Az archív és frissebb adatok alapján szeneinkben az alábbi elemek érnek el jelentős koncentrációt: Be, Ga, Ge, Ta, Nb, Sc, Hf, Zr, ritkaföldfémek. Jelen tanulmány az ezekre vonatkozó korábbi adatokat vizsgálta részletesen, az eredeti adatsorokat kivonatolva, a kritikus elemek adataira szorítkozva értékelve. Az áttekintés végén előzetes közelítést adunk arra, hogy milyen nagyságrendű gazdasági potenciállal lehet figyelembe venni a felsorolt fémek hazai előfordulásait széntelepeinkben.

### *Globális áttekintés*

A világon számos helyen mutattak ki, tártak fel, illetve bányásznak olyan kőszén, amelynek nyomelemtartalma hasznosítható, műrevaló és a szén kitermelésének gazdaságossági mutatóit javítja. A szenek fémtartalmát már a 19. század végétől kezdve hasznosították. Egyes Wyoming és Utah állambeli szenekből aranyat és ezüstöt nyertek ki (JENNEY 1903, STONE 1912). A II. világháborút követően az uránium nagy részét szénből nyerték ki mind az Egyesült Államokban, mind a Szovjetunióban (KISLYAKOV, SHCHETOCHKIN 2000). Jelenleg a Ge és az U a két fém, amelyet szénből nyernek ki (pl. SEREDIN 2006; SEREDIN, FINKELMAN 2008; AO et al. 2010), de más ritka nyomelemek (pl. REE, Au, Ag, platinafémek, Be, Sc, V, Ga, Sb, Cs, Mo, W, Re) is dúsulhatnak, és melléktermékként kitermelhetők.

A kőszén ritkaelem-dúsulásai közül globális léptékben a jelentősebb korábbi kutatási eredmények a germániumhoz,

galliumhoz, a ritkaföldfémekhez kapcsolódnak. A kőszenekhez kötődő ritkaelem-tartalom kutatására és hasznosítására az utóbbi 10 évből nagy számban találunk nemzetközi irodalmi hivatkozásokat a világ több kontinenséről. A legjelentősebb előrelépés Ázsiában történt, az orosz távol-keleten és Kínában egyes szénbányákat kifejezetten a ritkaelem-tartalom miatt termelnek az utóbbi évtizedekben: Bikin-1, Bikin-2, Specugli, Rakovka, Shkotovo az orosz távol-keleten (SEREDIN, DANILCHEVA 2001), Wulantuga, Yimin, Linchang lelőhelyek Kínában (HU *et al.* 2009; LI *et al.* 2014). Oroszországban a távol-keleti Pavlovskojé bányából származó szén hamujából az utóbbi években 21 t/év (kb. 25 M USD/év értékű) germániumot állítanak elő.

Részletes információk főleg a germániumra vonatkozóan találhatók. A germániumnak a szilíciumhoz és a szénhez egyaránt hasonló kémiai elemként litofil és organofil jellege egyaránt van. A szénben kemisorpciók módon lignin és huminsav köti meg és dúsítja (HÖLL *et al.* 2005). A szén nagy germániumtartalmára GOLDSCHMIDT hívta fel először a figyelmet az 1930-as években. A germánium kutatása az 1950-es évektől vált fontossá a diódák és tranzisztorok gyártása miatt. Később a germánium a napelemcellák, az infravörös technológiák, műanyaggyártási katalizátorok alapanyaga lett. A germánium kinyerése ma többségében cinkérc kohósításának melléktermékeként történik (FRENZEL *et al.* 2014). A cinkérc-lelőhelyek mellett ugyanakkor a nemzetközi szakirodalom jelentős germániumdús szénlelőhelyeket is számon tart, elsősorban Oroszországban és Kínában (8.1. táblázat).

8.1. táblázat. Globálisan jegyzett legnagyobb ásványvagyonnal rendelkező germánium lelőhelyek (FRENZEL *et al.* 2014)

Lelőhely	Régió	Típus	Vagyon / Készlet (Ge t)	Forrás
Pavlovskojé	Oroszország távol-kelet	barnakőszén	6000	SEREDIN, FINKELMAN (2008)
Kas-Symsk	Oroszország Ny-Szibéria	barnakőszén	6000	YEVDOKIMOV <i>et al.</i> (2002)
Red Dog	Alaska, USA	SHMS	>4000	KELLEY <i>et al.</i> (2004); KELLEY, JENNINGS (2004)
Wumuchang	Belső-Mongólia, Kína	barnakőszén	4000	SEREDIN, FINKELMAN (2008); ZHUANG <i>et al.</i> (2006)
Wulantuga	Belső-Mongólia, Kína	barnakőszén	2000	DU <i>et al.</i> (2009); ZHUANG <i>et al.</i> (2006)
Világ összes			>24 000	

Az ismert germánium ásványvagyon, illetve készlet kétharmada szenes lelőhelyekhez kötődik, ezért a széntelepeket kiemelkedően fontos germániumforrásnak tekinthetők. Bizonyos körülmények között a 10 ppm Ge koncentrációval rendelkező kőszén hamuja is hasznosításra kerül, de általában ennek többszöröse számít hasznosítható nyersanyagnak. Oroszországban az ásványvagyon-nyilvántartás az 5 ppm-nél magasabb Ge-tartalmat az erőművi szén esetében már kereskedelmileg gazdaságosan kitermelhetőnek minősíti (FRENZEL *et al.* 2014).

A globálisan elfogadható elvi számbavételi határérték (cut-off) megadásához FRENZEL *et al.* (2014) szerint három szénelőkészítési verzió alapján kell csoportosítani a termelőhelyeket: 1. eltüzelés előtt a szenet nem mossák, eltüzelés után a teljes salakmennyiséget dolgozzák fel; cut-off: 200 ppm, Ge kinyerési hatások közel 100%; 2. eltüzelés előtt a szenet mossák, eltüzelés után a teljes salakmennyiséget dolgozzák fel; cut-off: 32 ppm, Ge kinyerési hatások 33%; 3. eltüzelés előtt a szenet nem mossák, eltüzelés után a Ge-ban dúsult salakhányadot dolgozzák fel; cut-off: 8 ppm, Ge kinyerési hatások 13%. A három verzió közötti, erősen csökkenő kinyerési hatások mutatja, hogy jelentős Ge-tartalom kötődik a meddőhöz. Ezt a külföldi tapasztalatok mellett a korábbi hazai vizsgálatok is igazolták.

FRENZEL *et al.* (2014) áttekintése szerint – 127 barnakőszén- és 258 feketekőszén-lelőhely adatai alapján – a barnakőszén-lelőhelyek mintegy 17%-a, a feketekőszén-lelőhelyek mintegy 23%-a teljesíti a 8 ppm-es germánium számbavételi határértéket. A germániumtartalma miatt kitermelt orosz távol-keleti lelőhelyeken a szén Ge-tartalma 100 és 1000 ppm között változik.

Jelentősebb Ge-dúsulás ott alakulhat ki, ahol megfelelő időben – a szervesanyag felhalmozódásakor, illetve a diagenezis, esetleg epigenezis során – rendelkezésre áll megfelelő ritkaelem-, germániumforrás. Egyes szakértők szerint (GLUSKOTER 1977, ZUBOVIC 1966), a Ge a már eltemetődött mocsári üledékben csapdázódik, szerves anyaghoz kötődve. A szállítás vizes oldatokban történhet. Mások (ZUBOVIC *et al.* 1964) törmelékanyag behordódásával, majd ezekből történő kioldódással magyarázzák a dúsulás kialakulását. Az iparilag fontos germániumgazdag széntelepekben a hidrotermás dúsulás is közrejátszik a szén diagenetikus érési szakaszában (YUDOVICH, 2003, LI *et al.* 2014).

Egyazon széntelepen belül a Ge-eloszlást először ZILBERMINTS *et al.* (1936) írta le a donyec-medencei feketekőszéneken végzett vizsgálatok alapján. Megállapítása szerint a Ge-tartalom a szénréteg talpánál és fedőjénél dúsul, a vékony rétegekben a Ge-dúsulása erősebb mint a vastag rétegekben, a vékony rétegek szegélyein (talp, fedő) a Ge-dúsulás intenzívebb, mint a vastag rétegek szegélyein.

YUDOVICH (1965) megfigyelése szerint a szegélyzóna germániumdúsulásával szemben más ritkaelemek, mint B, Be, Sr, Ba, P koncentrációja a szegélyzónában csökken. RYASANOV, YUDOVICH (1974) elmélete szerint a szegélyek menti akkumuláció két folyamat eredményeként alakul(hat) ki: 1. filtráció a szervesanyag-felhalmozódás során, 2. diffúzióval történő átrendeződés a diagenezis során.

A germánium mellett sokszor más nyomelemek is dúsulnak e lelőhelyeken. Gránitaljzaton a germániummal együtt dúsul a W, Be, U, Hg, Ga, Mo, As; agyagpalaaljzaton V, Zn, B, Ag, Sb, Hg, Tl; andezitaljzaton As, Sb, Hg. A W, Mo, U, Ga, Be, Zn, V, B, As, Sb koncentrációk szintén elérik a néhány száz ppm-et, Ag, Hg, Tl dúsulása néhány ppm-ig, arany dúsulása néhány száz ppb-ig jelentkezik.

A délnyugat-kínai Linchang lelőhely a három legnagyobb szenes germánium lelőhely egyike (HU et al. 2009). A Ge-dúsulások töréses szerkezetekhez kötődnek, kiterjedésük 1 km<sup>2</sup> alatti. A Ge-tartalom néhányszor 10 ppm-től 2500 ppm-ig változik, átlagos érc tartalom 850 ppm. A germánium-érctelep kialakulását szingenetikus huminsavas komplexképződéssel magyarázzák (ZHUANG et al. 1998).

Szintén komoly erőforrásokkal kutatják a ritkaföldfémek szenekben és szénhamuban, pernyében mutatkozó dúsulásait és kinyerési lehetőségét. E téren az USA jelenleg is folyó kutatási programja idézhető. Az USA Energiaügyi Minisztériuma által koordinált és 17 millió USD összegben finanszírozott kutatások a ritkaföldfémek (ebben a programban RFF + Sc + Y) dúsulásának földtani okait, a mintázási és kimutatási módszerek tökéletesítését, a széntől való elválasztás fizikai és kémiai módszereit, a leválasztott dúsítmány elemekre történő szeparálását vizsgálják. Az első eredmények között kiemelték, hogy sikerült 2% össz RFF-tartalmat meghaladó dúsultságú előkoncentrátumot szénből előállítaniuk (NETL 2018).

A ritkaföldfémek szénrétegekhez kötődő előfordulásáról több összefoglaló cikk jelent meg az utóbbi években (DAI, FINKELMAN 2018, FINKELMAN et al. 2018, DAI et al. 2016, SEREDIN et al. 2013, SEREDIN, DAI 2012). A részletesen vizsgált, anomális REE + Y tartalommal rendelkező előfordulások az orosz távol-keleten (Pavlovka, Rakovka), illetve Észak-Kínában ismertek. Emellett jelentősebb kutatások folytak, illetve folynak az USA keleti oldalán is.

Az elemcsoport esetében a ritkaföldfémekhez az ittriumot is hozzáveszik, így a csoport átfogó nevére a REY jelölést lehet alkalmazni. Ez magába foglalja az alacsony (La, Ce, Pr, Nd, Sm), közepes (Eu, Gd, Tb, Dy) és magas (Ho, Er, Tm, Yb, Lu) rendszámú ritkaföldfémeket és az ittriumot. Az ittrium a sorban a közepesek közé sorolva, a Dy és Ho közé illeszthető be az ionrádiusz mérete alapján (DAI et al. 2016). A kereslet alapján a REY-csoporton belül elkülöníthetők a kritikus ritkaföldfémek (Nd, Eu, Tb, Dy, Y, Er) a nem kritikus (La, Ce, Pr, Nd, Sm), illetve főlegesen lévő (Ce, Ho, Tm, Yb, Lu) elemektől.

A REY csoportra nézve gazdasági szempontból már érdekesebb lehetnek azok az előfordulások, ahol a hamu REO- ( $\text{La}_2\text{O}_3 + \text{Lu}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ) tartalma eléri az 1%-ot, ami a világátlag (485 ppm) valamivel több mint hússzorosa (DAI, FINKELMAN 2018). A REY-tartalomra közölt kínai eredmények (138 ppm REY) közel kétszeresét mutatják a szénre vonatkozó közölt világátlagnak (68 ppm REY), mivel ezek az észak-kína, illetve északkelet-kína késő-permi lelőhelyeiről származnak, melyek REY koncentrációja magas (DAI et al. 2016).

A szénrétegekhez kötődő ritkaföldfém-előfordulások SEREDIN, DAI (2012) szerinti csoportosítását a 8.2 táblázat mutatja be. FINKELMAN et al. (2018) szerint a ritkaföldfémek a szenes rétegekben alapvetően ritkafém-foszfát ásványokban (monacit, xenotim, allanit, florencit, apatit), valamint cirkonban, alunitban kötődnek, de agyagásványok, illetve karbonátok is figyelembe vehetők, mint REE megkötő ásványok. A FINKELMAN et al. (2018) által közölt szekvenciális kioldási kísérletek is ezt erősítették meg. Szerves REY-vegyületeket kis hamutartalmú, alacsony szénültességű szenekben figyeltek meg.

8.2. táblázat. Szénrétegekhez kötődő RFF teleptípusok (SEREDIN, DAI 2012)

Teleptípus	REO (%)	Társult elemek	Példa
Terrigén	0,1–0,4	Al, Ga, Li, Ba, Sr	Jungar (CN), Daqingshan (CN)
Tufás (alkáli)	0,1–0,5	Nb, Ta, Zr, Hf, Ga	K-Yunan (CN)
Tufás (felzikus)	0,1–0,5	Zr, Hf, Ga	Dean (US)
Infiltrációs	0,1–1,2	U, Mo, Se, Re	Aduunchulun (MN)
Exfiltrációs, vagy hidrotermális	0,1–1,5	U-Mo-Se-Re / As-Sb- Hg Au-Ag	Rettikhovka (RU), Moxinpo (CN), Guxu (CN)

A terrigén és infiltrációs képződésű lelőhelyekben a REY-dúsulás a szénrétegekhez kötődik, viszont a tufás, illetve az exfiltrációs típusokban a szén mellett kötődhet a befoglaló kőzetekhez is (SEREDIN et al. 2013). A legjobb REY-mutatókkal rendelkező lelőhelyek általában réteg mentén dúsulnak (stratabound), bár az exfiltrációs, illetve különösen a hidrotermális dúsulás esetében ez lehet rétegmenti, de törésszerkezetekhez kötődő is. Igen jelentős (4–11% REY) koncentrációk töréses, hidrotermális szerkezetekhez kötődnek (SEREDIN et al. 2013).

Kevesebb ismerettel rendelkezünk a többi elem szenekben való eloszlásáról, viselkedéséről. HORTON, AUBREY (1950) vizsgálatai eredményeként már az 1950-es években világossá vált, hogy szenes összletekben a Be szerves kötésben van jelen. Szénlepek esetében a Be forrásaként intermedier mafikus vulkanitok törmelékese behordódását említi az irodalom (pl. SAYDAM et al. 2016) Mások kifejezetten alkáli magmás forrásra utalnak (DAI et al. 2007).

A berillium dúsulásai a hazai szenekben a piaci árak és a történeti adatokból becsült koncentrációk alapján jelentős értéket képviselhetnek, de a szakirodalomban nincs információ arról, hogy ezek kinyerése a szénből iparszerű méretekben megvalósult volna. Berillium az USA szeneiben 46 ppm átlagkoncentrációban ismert, dúsulásai 100–200 ppm tartományba

estek. Bulgáriai szenek összesített Be-adatai is ismertek, a mérési eredmények 1 és 35 ppm közötti tartománnyal, a dúsult területeken a klarkot 2,4–12,5-szeresen meghaladó értékekkel (ESKENAZY 2006).

Gallium az alumínium helyettesítőjeként ismert, a szenes agyagokban dúsulhat, a kínai kutatások szerint 60 ppm körüli a gazdaságossági határértéke (WANG *et al.* 2015), egyúttal jelezve azt is, hogy a jövőben ez a forrás az egyik jelentős alternatívája lehet a hagyományos, bauxit alapú galliumtermelésnek (QUIN *et al.* 2015). NICHOLLS (1968 in GLUSKOTER *et al.* 1977) vizsgálatai szerint a gallium, germánium és a molibdén a szenekben inkább szerves fázisokhoz kötődik. Más források szerint (DAI *et al.* 2007) a Ga az agyagásványokhoz, vagy Al-hidrátokhoz kötődik, de lehetségesnek tartják a Ga kapcsolódását szulfidásványokhoz is. Nincs adat a szenek Nb-, Ta-, Hf-, Zr-tartalmának részletes vizsgálatáról vagy értékeléséről.

### *A szenek ritkaelem-tartalmának korábbi hazai kutatásai*

Az első nyilvánosan közzétett adatok a 20. század második felétől kezdve ismertek (SZÁDECZKY-KARDOSS, FÖLDEVÁRYNÉ VOGL 1955). E munkában 226 minta alapján kiemelték a mecseki liász kőszenek kiemelkedő ritkaelem-tartalmát, egyúttal a neogén lignitek nyomelemszegénységét. GAGYI-PÁLFFY (1962) egy országos ritkaelem-kataszter felállítása keretében kiemelten foglalkozott a hazai kőszenekből kinyerhető germániummal. Említi, hogy a Ge dúsulására a legjobb lehetőséget a liász kőszenek mutatják, és közli azt, hogy a borsodi szenek elgázosításából keletkezett ún. generátorvizekből a germániumot az LKM és a Chinoin helyi üzemeiben félüzemi szinten kinyerték.

A legrégebbi mecseki adatok NAGY (1964) jelentéséből származnak. Csak germániumtartalomra ad információt. Összesen 107 adat szerepel a jelentésben, az elemzéseket a MÁFI színeképlaboratóriuma végezte. A 400 és 600 ppm értékű Ge- maximumok a fenti vizsgált képződmények közül az Északi-pikkelyben, a szászvári és nagymányoki mintákban jelentek meg. Az alábbi földtani szelvények mintáiból származnak az adatok: András-akna VII. szint I. K-i és I. D-i keresztvágat; István-akna II. szint I. K-i keresztvágat; Petőfi-akna VIII. szint, 2. K-i keresztvágat; Zobák-akna II. szint, fedőirányvágat; Szászvár, III. mélysínt, főkeresztvágat; Nagymányok, Új-akna, III. szint, 2. és 6. K-i keresztvágat.

SZÁVÁNÉ BENŐCS (1965) vezetésével készült az észak-magyarországi kőszenek ritkaelem-katasztere. Ennek alapján JUHÁSZ (1968) összefoglaló tanulmányt közölt a borsodi széntelepek nyomelemtartalmának kutatásáról. Ebben 481 minta színeképelemzését készítették el, ezek közül 159 mintát csak germániumra. A Borsodi szénmedencében részletes mintavétel és elemzési program folyt a szenek germániumtartalmának vizsgálatára (VARGA *et al.* 1972). Néhány részterület jelentős, 100 g/t Ge-koncentrációt megközelítő vagy meghaladó dúsulást mutatott (Sajókaza, Bánvölgy).

A MÁFI által vezetett országos ritkaelem-kutatási program eredményeit FÖLDEVÁRYNÉ VOGL (1967) közölte. A mecseki liász szenekre készült összegzés (8.3. táblázat) kiemelte a Be, Ge, Zr jelentős dúsulását. A mecseki liász kőszénösszetétel földtanával foglalkozó publikációban szereplő részletes nyomelemvizsgálat (CSALAGOVITS, VÍGHNÉ, 1969) egy kiemelkedően fontos összefoglalása az addig elért eredményeknek. A vizsgálat összesen 32 elemre terjedt ki, a statisztikai értékelés öt részterületet (Pécsbányatelep, Pécsszabolcs-Rücker, Pécs-Vasas, Komló-Zobák, Szászvár-Nagymányok)

vizsgált arra nézve, hogy a ritkaelemek közül melyik kötődik inkább a kőszénhez, illetve a befoglaló kőzetekhez, a felhalmozódás milyen kapcsolatban van a különböző kőszénfázisokkal.

A germánium szenekben való dúsulásáról és a kinyerési technológiákról magyar szerzőktől egy részletes monográfia is megjelent (NÁDASY, TAKÁCS 1967). Ennek 9. fejezete foglalkozik a hazai széntelepek germániumtartalmának addigi eredményeivel, döntően még SZÁDECZKY-KARDOSS, FÖLDEVÁRYNÉ VOGL (1955) adatai alapján.

8.3. táblázat. Be, Ge, Zr összesített adatok a mecseki ritkaelem kutatásból (CSALAGOVITS, VÍGHNÉ 1969)

	Be g/t	Ge g/t	Zr g/t
Maximum	6000	600	50000
Mértani átlag	307	67	1960
Átlagtól való közepes eltérés (g/t)	346	86	3601
Szórás %	112	128	183
Relatív hiba %	12	13	19

Máza-Dél–Váralja-Dél terület 1970-es évektől lemélyített nagymélységű fúrások anyagából vett 100 minta elemzése alapján KÁDAS (1985) értékelte a mecseki kőszenek nyomelemtartalmát. A kissé sajátosan kiválasztott elemegyüttesben (Hf, Pt, Pd, Re, Au, Ta, Os, Nb, Mo, Rh, La, Eu, Yb, Sc, Y, Zr) több olyan szerepel (Pd, Os, Au), melyeket más sem korábban, sem később nem vizsgált. A vizsgált elemekre csak a maximum értékeket közölte, melyek alapján a Mo, Nb, Be, Co, Zr, Pb elemek dúsulásának részletes vizsgálatát javasolta.

A MÁFI-USGS együttműködési program részeként több rövid áttekintő mintázási szakaszban vettek és elemeztettek a USGS laboratóriumában kőszénmintákat (SOMOS *et al.* 1985). Ebben független elemzési hely erősítette meg a korábban felismert dúsulások nagyságrendjét. Döntően környezetgeokémiai céllal készült KÓBOR Balázs PhD disszertációja (KÓBOR 2005), melyben a ritkaelemek széles spektrumára vonatkozóan közölt adatokat a pécsi Karolina-külfejtésben vett mintákról. A Grazi Egyetemen végzett elemzések minőségi szempontból új fejezetet jelentenek a korábbi vizsgálatokhoz képest.

A legfrissebb adatok a CriticEl program keretében kerültek publikálásra a mecseki Vasas-külfejtés, a WHE CH4 és HH10 mélyfúrások anyagát, illetve a Nagymányok Nm–30 mélyfúrás mintázása alapján. A WHE Hungary Kft-vel együttműködve 99 mintát vettek a CH4 és HH10 mélyfúrások egy-egy szakaszából (HORVÁTH 2014). Az elemzésre került

17 mintát a teljes kiválasztott szakasz azonos típusú mintáinak összevonásával állították elő. A mintákat az ALS Global elemezte ICP-MS61 és Au-TL43 módszerrel (ALS GLOBAL 2014). A Nb, Ta, Hf, Zr, RFF elemcsoportok esetében mutattak ki jelentős, a kőszén világátlagához képest nagyságrenddel nagyobb koncentrációkat. A Nagymányok Nm–30 sekélyfúrás anyagát a Calamites Kft. bocsátotta a CriticEl program rendelkezésére. A fúrásból 6 db mintát elemzett az MFGI laboratóriuma lítium metaborátos feltárást követően ICP-MS módszerrel.

### *A korábbi hazai elemzési adatok területi eloszlása*

Ritkaelem-eloszlási adatok tekintetében a legrészletesebb információk a Mecsek és Borsod területére esnek. A külföldi területekről származó megállapítások modellként szolgálnak a hazai széntelepek ritkaelem-tartalmának vizsgálatánál.

A kelet-mecseki kőszénmedence több részegységre oszlik. A részterületek közül a 2000 előtti, főleg félkvantitatív elemzési adatokat tartalmazó archív adatbázisban, mely a MÁFI és a Mecseki Szénbányák Tröszt együttműködésében az 1960- és 1970-es években készült, a következők szerepelnek: Pécs, Pécs-Szabolcs, Zobák, Kossuth-akna, Béta-akna, Szászvár. Ezek a mintavételek főként föld alatti vágatokból vett kőszén és mellékkőzet részminták.

A mecseki Karolina-külfejtésről KÓBOR (2005) kutatásai alapján rendelkezünk részletes információkkal. A Vasas külfejtést a CriticEl program során mintázták. A Pécs, Hosszúhetény területekről két mélyfúrás (WHE jellel, CH4 és EH10 mélyfúrások) néhány szakaszáról vannak minták. Szintén a CriticEl program során Máza-Dél–Váralja-Dél és Komló néhány fúrásának mintázását és elemzését is elvégezték. Végül, a MFGI a Pécsi Hőerőmű pernyetárolóin végzett mintavételeket és készített kémiai elemzéseket (TÖRÖK szerk. 2014).

A CriticEl projektben a Mecsekből elemzett különböző szenes összeletekből vett minták száma összesen 64. Ezeket különböző területekről és céllal vették, s eltérő laborokban, ill. különböző módszerekkel elemezték (MFGI – ICP MS, ALS Global – ICP MS, Miskolci Egyetem – XRF). Mindegyik mintahalmaz tartalmaz mintákat szénből és a befoglaló kőzetekből egyaránt. A mintavételt a 8.4. táblázat mutatja be.

A Borsodi-szénmedence részmedencéi a Kelet-Borsodi- és a Nyugat-Borsodi-medence. A két területrészt megközelítőleg a Darnó-vonal választja el. A részegységeken belül több külön bányaterület, illetve aknához tartozó részterület vizsgálata történt meg. Az alapadatok kutatási jelentésekben találhatók, melyekről JUHÁSZ (1968) és VARGA et al. (1972) közölt rövid összefoglalást.

A kőszénkutatási programok során korábban csak különleges esetekben vizsgálták a szén és mellékkőzetei ritkaelem-tartalmát. A korábbi spektrográfiával készített kémiai elemzések a mai pontossági és reprodukálhatósági követelményeknek már nem felelnek meg. Ennek ellenére ezeket is értékes és feldolgozható adatnak tekintettük, a dúsulási nagyságrendekre, területi eloszlásukra, korrelációs kapcsolatokra vonatkozó információként. A modernnek tekinthető (1980 utáni) geokémiai adatok száma igen kevés, területi lefedésük hézagos.

**8.4. táblázat.** A CriticEl adatbázisból vizsgált minták darabszáma az egyes mintacsoportokból és a vizsgálatot végző laboratóriumok szerint

Hely	Mintaszám	MFGI	ALS	ME
Komló	2		2	
Máza	7		7	
Nagymányok	5	5		
Szászvár	2		2	
Váralja	6		6	
Vasas	20	15	5	
Wildhorse fúrás (WHE)	22		17	5

(MFGI: MBFSZ labor; ALS: ALS Global.; ME: Miskolci Egyetem Ásványtan-Földtani Intézet).

### *A mecseki szénmedence összegyűjtött geokémiai alapadatai*

A rendelkezésre álló adatsorok az 1966–2014 közötti időszakból származnak és mind a vizsgált elemekre nézve, mind az elemzési módszerekre vonatkozóan heterogének. Az adatsorokból összesíthető átlag-, illetve maximum értékeket az 8.5. táblázat összesíti. A cellaszínekkel elemenként a felső kontinentális kéreghez (UCC) normált dúsulást tüntettük fel. Az archív adatok értékelésénél geokémiai normaként a McLENNAN (2001) által közölt, felső kontinentális kéregre vonatkoztatott átlagos koncentrációértékeket használtuk. A jelen projekt keretében kapott vizsgálati eredményeket a RUDNICK, GAO (2003) által ajánlott felső kontinentális kéreg koncentrációkhoz, valamint a KETRIS, YUDOVICH (2009) szénhamu átlagértékekhez viszonyítottuk. A felső kontinentális kéregre vonatkozó két norma adatsort a táblázat második és harmadik oszlopa tartalmazza. Ezekből látható, hogy a két adatsor normaértékei közötti különbség minimális, az összehasonlítást és interpretációt ez nem befolyásolja. A táblázatban barna háttérrel szerepelnek az UCC-hez képes 1–3-szor nagyobb, sárga alapon a 3–10-szer nagyobb, zölddel a tízszeresnél nagyobb értékek.

A legtöbb elemre a WHE minták nyújtanak eredményt, melyekben szinte a teljes ritkaelemspektrum szerepel és hasonlóan részletes – bár kevés mintából – a CriticEl projekt adatbázisa Pécs-Vasasról és a Nagymányok Nm–30 fúrásból. Szintén a CriticEl adatbázishoz tartozik még néhány adat Máza-Dél–Váralja-Dél, Komló, Szászvár Váralja területéről, amelyek a teljes RFF spektrum mellett a V, Cr, Ga, Rb, Sr, Zr, Nb, Sn, Cs, Hf, Ta, W, Th, U elemekre vonatkoznak. Szintén igen kiterjedt ritkaelemspektrumot vizsgált KÓBOR (2005), a jelentős különbség, hogy a ritkaföldfémek közül csak La és Ce (valamint Y) elemekre vonatkozó adatai voltak. A CSALAGOVITS, VÍGHÉ (1969) által vizsgált elemek köre jóval

**8.5. táblázat.** A mecseki szenes összletek ritkaleme kutatásainak összesített táblázata. A színkódok a kontinentális kéreg-beli átlagértékekhez (UCC) viszonyított dúsulást jelölik. barna: 1-3-szoros dúsulás; sárga: 3-10-szoros dúsulás; zöld: több mint 10-szoros dúsulás

	UCC koncentráció (McLENNAN 2001)	felsőkéreg átlag (RUDNICK, GAO 2003)	szénhamu világalag (KETRIS, YUDOVICH 2009)	CSALAGOVITS, VIGHÉ (1969)(ppm) hamu, átlag	SOMOS et al. (1985) (ppm) hamu átlag, liász	KÁDÁS (1983) (ppm) hamu max, Máza D-Vaalja D	Kőhór (2005) (ppm) átlag	Kőhór (2005) (ppm) maximum	CriticEI (ppm) nem WHE átlag	CriticEI nem WHE (ppm) max.	WHE (CriticEI) (ppm) átlag	WHE (ppm) max.	Pécs-Vasas MBFSZ (2018) (ppm) átlag	Székvölgy MBFSZ (2018) átlag (mg/kg)	Felsőnyárád MBFSZ (2018) átlag (mg/kg)
Li, ppm	20	24		61	89		22,33	71			55,14	117			
Be, ppm	3	2,1	9,4	308	860		47,29	131	2,81	8,5	6,71	11,9	10,5	3,3	3,4
B, ppm	15	17	335	165	180		46,34	89							
Sc, ppm	13,6	14	23	52	26,5	200	17,58	31	7,27	18,8	8,93	16,6	19	13,5	12,9
Ti/TiO <sub>2</sub> , ppm	4100	6700	7750				2500	7800			3300	5100	7700	5900	3300
V, ppm	107	97	155	210	215		33,1	86	77,86	236	50,25	119	200,3	108,1	106,8
Cr, ppm	83	92	100	340	114		40,9	101	59,62	510	45,68	84			
Mn, ppm	600		490		140		220				860,78	5110			
Co, ppm	17	17,3	32	31,8	28		10,83	32	8,55	60,3	9,21	23,6			
Ni, ppm	44	47	76	172	190		30,05	102,3	17,66	292	29,98	170	100,5	63,2	74,3
Cu, ppm	25	28	92		94		14,95	43	18,02	39,9	15,51	48,8			
Zn, ppm	71	67	140	338	103		140,42	296	88,58	153	131,79	253			
Ga, ppm	17	17,5	33	137	40		33,89	56	15,17	52,4	28,78	46,3			
Ge, ppm	1,6	1,4	15	67	30		57,54	197	0,68	1,73	0,3	0,42			
As, ppm	1,5	4,8	47				34,16	248							
Se, ppm	50						2,76	9	35,1	51,1	3,19	5			
Rb, ppm	112	84			110		46,32	112	49,21	260	116,88	234			
Sr, ppm	350	320	740		1570		98,24	302	246,08	840	234,09	540			
Y, ppm	22	21	51	170	1000		38,2	67	39,62	139	50	111	106,9	27,6	32,5
Zr, ppm	190	193	210	1960	1600	10000	744,34	1980	236,32	1080	410,23	500	1216,1	124,4	131,7
Nb, ppm	12	12	20	162	205	1000	132,22	343	42,96	180	124,54	326	206,9	17,2	19,8
Mo, ppm	1,5	1,1	14	81	92,5	150			4,4	13,4	4,69	11,7			
Pd, ppb	0,5	0,52				0,5									
Ag, ppb	50	53	610		0,3										
Cd, ppb	98	90		0,5			0,45	0,76			0,25	0,54			
In, ppb	50	56							0,15	0,2	0,11	0,24			
Sn, ppm	5,5	2,1	6,4	11					2,5	10	6,77	14,7			
Sb, ppm	0,2	0,4	6,3						0,44	0,78	1,13	2,43			
Cs, ppm	4,6	4,9			21		10,51	27,3	4,06	36,6	11,29	26,1			
Ba, ppm	550	628	940		555		267,55	579							
La, ppm	30	31	69	375	500	31,49	90	59,34	300	99,81	198,5	153,7	41,4	36	
Ce, ppm	64	63	130	720		54,03	176	113,11	560	197,81	390	288,1	87,3	77,8	
Pr, ppm	7,1	7,1	20					13,55	55,6	20,94	42,4	29,4	9,6	8,3	
Nd, ppm	26	27	67					51,16	188	72,83	142	92,3	35,6	31,3	
Sm, ppm	4,5	4,7	13		42,5			10,31	31,4	12,8	25,1	14,6	7,2	6,6	
Eu, ppm	0,88	1	2,5		5,7	80		1,51	4,83	1,33	2,12	1,8	1,4	1,4	
Gd, ppm	3,8	4	16					8,82	26,6	10,6	20,2	14,3	5,9	5,8	
Tb, ppm	0,64	0,7	2,1		7,3			1,37	4,42	1,55	3,18	2,8	1	1	
Dy, ppm	3,5	3,9	14					7,65	26,3	8,97	19,55	17,8	5,4	5,6	
Ho, ppm	0,8	0,83	4					1,48	5,12	1,72	3,7	3,9	1,1	1,2	
Er, ppm	2,3	2,3	5,5					4,07	14,4	4,96	10,5	11,4	3,1	3,4	

8.5. táblázat. folytatás

	UCC koncentráció (McLENNAN 2001)	felsőkéreg átlag (RUDNICK, GAO 2003)	szénhamu világlátlag (KETRIS, YUDOVICH 2009)	CSALAGOVITS, VÍGHNÉ (1969)(ppm) hamu, átlag	SOMOS et al. (1985) (ppm) hamu átlag, hárs	KÁDAS (1983) (ppm) hamu max, Máza D-Vaalja D	KÓBOR (2005) (ppm) átlag	KÓBOR (2005) (ppm) maximum	CriticEl (ppm) nem WHE átlag	CriticEl nem WHE (ppm) max,	WHE (CriticEl) (ppm) átlag	WHE (ppm) max,	Pécs-Vasas MBFSZ (2018) (ppm) átlag	Székvölgy MBFSZ (2018) átlag (mg/kg)	Felsőnyárad MBFSZ (2018) átlag (mg/kg)
Tm, ppm	0,33	0,3	2						0,59	2,06	0,71	1,5	1,7	0,5	0,5
Yb, ppm	2,2	1,96	6,2		25,5	100			3,73	13,35	4,68	10,1	11,1	3,1	3,4
Lu, ppm	0,32	0,31	1,2		3,3				0,54	1,89	0,7	1,47	1,8	0,5	0,6
Hf, ppm	5,8	5,3	8,3			100			5,5	27,2	11,86	35,3	24,3	3,6	3,7
Ta, ppm	1	0,9	1,7		2,1	20	0,02	0,02	2,54	15,1	7,79	22,6	10,7	1,6	1,5
W, ppm	2	1,9			2,8				3,41	78	4,98	10,1			
Re, ppb	0,4	0,2				0,1					0	0,01			
Os, ppb	0,05	0,03				5									
Au, ppb	1,8	1,5				2									
Hg ppm		0,05	0,75										0,22	0,16	0,15
Tl, ppm	0,75	0,9		5			1,45	14,6	0,48	2,76	0,72	1,65			
Pb, ppm	17	17	5,9	124	49,5		30,86	186	9,71	28	29,22	52,6			
Bi, ppb	0,13	0,16							0,46	0,73	0,35	0,65			
Th, ppm	10,7	10,5	21		77,5		13,86	31	15,87	81,7	29,62	42,9	40,5	21,6	19,1
U, ppm	2,8	2,7	16		65		3,68	8,6	7,16	49,8	10,42	30,6	28,7	9,1	22,3

korlátozottabb, a ritkaföldfémek teljesen hiányoznak belőle. Szintén gazdag elemekre nézve a SOMOS et al. (1985) vizsgálatsorozat, bár a ritkaföldfémeknek csak egy részét (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu és Y) vizsgálták.

Az adatsorok abban is eltérőek, hogy egyesek hamuból mért ritkaelem-tartalomra vonatkoznak (CSALAGOVITS, VÍGHNÉ 1969, SOMOS et al. 2005, KÁDAS 1985), míg más adatsorok szénből, illetve szenet kísérő kőzetekből (KÓBOR 2005, WHE, CriticEl). Emiatt az 8.5. táblázat színezését a hamuból mért adatokra nézve 33% hamutartalmat figyelembe véve korrigáltuk.

A táblázat elemzése alapján, az egyes adatsorok összevetéséből kitűnik, hogy a mecseki szénészletek esetében kiemelten érdemes kutatni a következő elemeket: Be, Ge, Zr, Nb, Mo, Ta. A későbbi végzett elemzések eredményei többségében megerősítik a CSALAGOVITS, VÍGHNÉ (1969) által már felismert nyersanyag-potenciált a Be, Ge, Zr fémekre. A későbbi vizsgálatok eredményei alapján ezt a kört fontos kiegészíteni a Nb- és Ta-dúsulással, valamint a RFY-potenciállal. CSALAGOVITS, VÍGHNÉ (1969) a tovább vizsgálantó elemek közé sorolta a galliumot is, azonban ennek reménybeli komolyabb potenciálját a későbbi vizsgálatok nem erősítik meg. Környezetgeokémiai szempontból említésre méltó a KÓBOR (2005) által jelzett igen nagy As- (átlagérték az UCC 20-szorosa felett), illetve szintén nagy Cd- (átlagérték az UCC 4-szerese felett), illetve nagyobb (UCC 1–4-szerese) uránkoncentráció.

Ellentmondásokat látunk a germánium eredményeit illetően. A KÓBOR (2005) által a Karolina-külfejtésből vett minták tovább erősítik a korábbi (CSALAGOVITS, VÍGHNÉ 1969, SOMOS et al. 1985) igen biztató eredményeket, melyek átlagai az UCC-t többszörösen, akár egy nagyságrenddel meghaladó koncentrációt mutattak. Ugyanakkor a CriticEl programban gyűjtött minták ezt egyáltalán nem támasztották alá. A probléma a mintaelőkészítés különbözőségében lehet. Ezt erősítik a spanyolországi IDAEA kutatóintézet által produkált eredmények, melyek az előző mintavételek elemzési duplikátum mintájaként (IDAEA 2017) születtek, a ME-IDAEA együttműködés keretében. A kiküldött négy hazai köszönminta-ból a korábbiak többszörösét elérő Ge- koncentrációértékeket kaptak. Az elemzési eredményeket a 8.6. táblázat mutatja. A megismételt vizsgálat eredményei még mindig többszörösen elmaradnak a korábbi elemzések eredményeitől, melyek közül a SOMOS et al. (1985) és a KÓBOR (2005) által végzett mérések már mai szemmel nézve is modern műszerekkel történtek.

8.6. táblázat. A germániumkoncentráció adatainak összehasonlítása

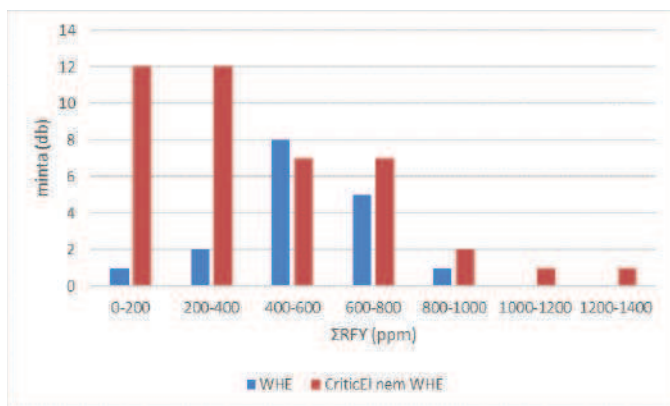
	Ge (IDAEA)	Ge (ALS)	Ge (MFGI)
CH-WH-11	1,88	0,39	
CH-WH-12	1,60	0,42	
Vasas	0,70		1,60
Nagymányok	<b>4,21</b>		0,41

(IDAEA: szekvenciális kioldás; ALS: négyavas feltárás; MFGI: lítium-metaborátos feltárás).

Hasonlóképp egységesen pozitív mindegyik elemzés a Nb-t illetően. A CSALAGOVITS, VÍGHNÉ (1969), SOMOS *et al.* (1985), HORVÁTH (2014) által mért, az UCC-hez képest 4–6-szoros dúsulást igazolta vissza a legfrissebb vizsgálat is. Emellett a WHE fúrások és KÓBOR (2005) adatai még ennél is jobb (UCC tízszerese) átlagokat adtak. A nióbiummal együtt előforduló, de egy nagyságrenddel ritkább tantál esetében vegyesebb a kép, ami az elemzési technikai lehetőségek korlátaira utal. A CriticEl vizsgálatok tantálra vonatkozó eredményei összhangban vannak a Nb-értékekkel és ezt igazolta vissza a legfrissebb MBFSZ elemzés is. KÓBOR (2005) adataiban a Ta esetében mérési hiba volt (mindegyik elemzési érték 0,02 ppm) és szintén kimutatási probléma lehetett a SOMOS *et al.* (1985) adatsor Ta-értékeivel.

Az ittriumra vonatkozó adatok már SOMOS *et al.* (1985) elemzéseiben megjelentek és a későbbi elemzések is 1,5–2-szeres többletet mutattak az UCC-hez képest. Ezt is visszaigazolta a legfrissebb MBFSZ elemzés. Hasonló potenciált (átlagértékekre nézve az UCC 2–3-szorosa) mutatnak a ritkaföldfémek, melyeknél teljes spektrummal csak a CriticEl-es adatbázisokból rendelkezünk. Ezeket az értékeket is megerősítette az MBFSZ által végzett vizsgálat. A SOMOS *et al.* (1985) által 7 RFF elemre közölt koncentrációk is ebbe a tartományba esnek.

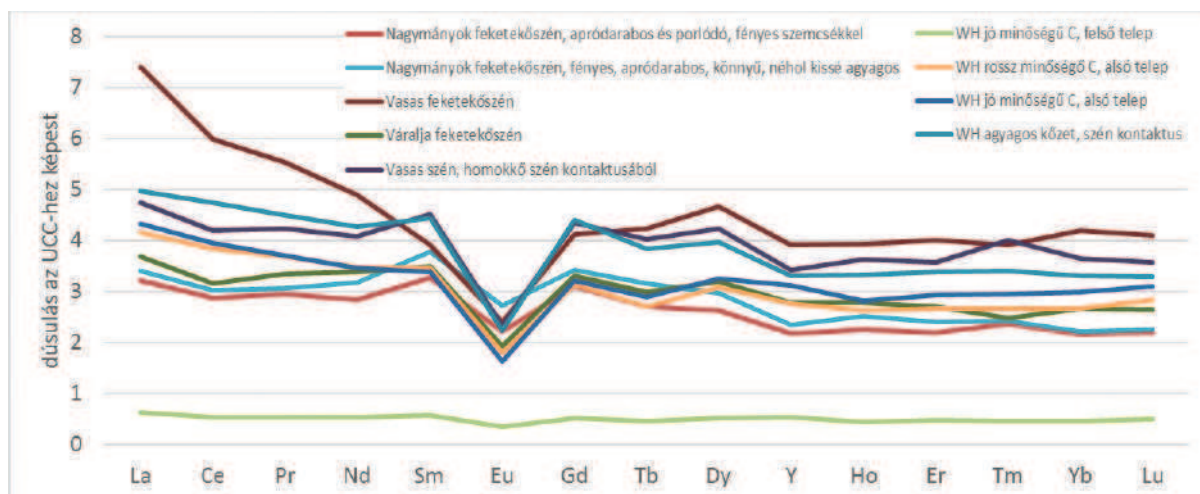
A CriticEl adatbázis két széntelepes mintacsoportjának (WHE fúrások, illetve Vasas, Nagymányok Nm–30, Komló, Máza, Váralja)  $\Sigma$ RFY értékeinek hisztogramját mutatja a 8.1. ábra. A WHE fúrás mintáiban a leggyakoribb értékek (400–800 ppm között) döntően az agyagos, rossz minőségű



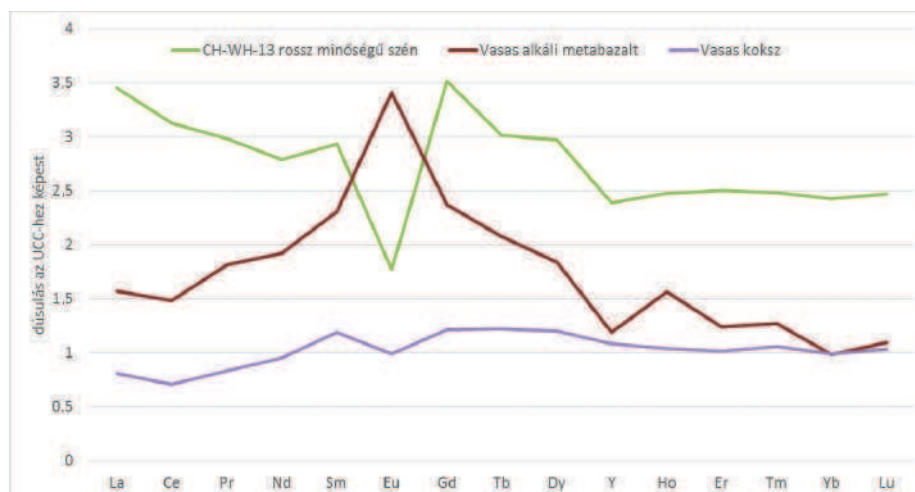
8.1. ábra. A CriticEl projektben elemzett mecseki kőszéntelepes minták össz ritkaföldfém (+Y) hisztogramja

szenekhez kötődnek. A többi CriticEl projekt keretében vett minta a területi eloszlás mellett a litológiában is változatosabb. A 400 ppm feletti értékek kőszénmintákból adódtak, míg a 0–400 ppm közötti értékek döntően a meddő kőzetekből és az alkáli metabazaltból származnak. Ezek a  $\Sigma$ RFY értékek jó egyezést mutatnak a Pécsi Hőerőmű pernyehányójának anyagán végzett vizsgálatokkal (TÖRÖK szerk. 2014), melyek 664 ppm összes RFF értéket mutattak ki.

A felső kontinentális kéregre (UCC) normált REE lefutási görbék mintázata alapján a legtöbb minta L-típusú (alacsony rendszámú RFF elemek dúsulása az UCC-hez képest) kisebb negatív Eu-anomáliával. Ez az eloszlástípus jellemzi a WildHorse minták döntő részét, a vasasi, nagymányoki feketekőszén-mintákat (8.2.



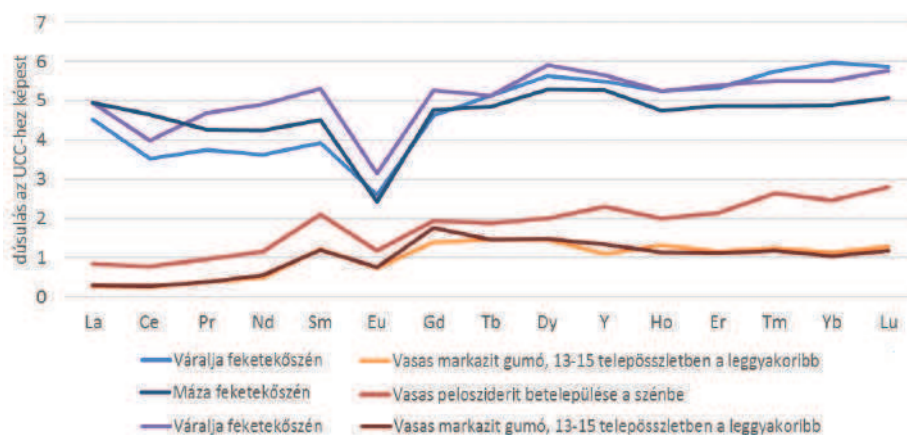
8.2. ábra. L-típusú, negatív Eu anomáliát mutató REY mintázatok a mecseki mintákból (CriticEl)



**8.3. ábra.** Három M-típusú mintázat a mecseki mintákból (CriticEI): CH-WH-13: negatív Eu anomáliát mutató, rossz minőségű szén; pozitív Eu anomáliával rendelkező alkálibazalt a vasasi külfejtésből; gyenge M-típusú anomáliát mutató kokszt a vasasi külfejtésből

ábra). A két kieső WH minta ettől csak annyiban tér el, hogy a Gd-, Tb-, Dy-értékük kissé nagyobb. Az L-típusú REY összetétel terrigén, illetve tufás lehordási területekhez kötődik (SEREDIN, DAI 2012). A CriticEI-es minták jelentős részénél a különbség a kis- és magas rendszámú csoport között igen kicsi, ez SEREDIN, DAI (2012) szerint elemzési hibát is jelezhet.

Markánsan eltérnek a vasasi alkálibazalt minták, ahol pozitív Eu-anomália jelentkezik (M-típus, közepes RFF-elemek relatív dúsulása) (8.3. ábra). A finomtörmelékes minták esetében negatív Eu-anomália nélküli gyengén jelentkező M-típus



**8.4. ábra.** H-mintázatú REY eloszlások a mecseki mintákból (CriticEI)

az általános. H-típusú mintázat csak néhány váraljai és komló-i kőszén-mintára jellemző, valamint a markazit és a pelosziderit konkreciókra (8.4. ábra).

Mivel az L-típusú eloszlás a legjellemzőbb, ez a ritkaföldfém terrigén, illetve tufigén eredetét valószínűsíti leginkább. Az alkálibazaltok benyomulásának környezetében a megváltozó jelleg hidrotermás hatást is jelezhet, ami a kőszénben is előidézi M-, illetve H-típusú mintázatok megjelenését.

A részletes elemzésre alkalmas tanulmányok – CSALAGOVITS, VÍGHNÉ (1969), KÓBOR (2005) – kitértek arra, hogy a ritkaelem-dúsulások litológiai szempontból mihez kötődnek a széntelepes összetetben. A regionális kutatások során CSALAGOVITS, VÍGHNÉ (1969) feldolgozta a nagyszámú, és több képződménycsoportra kiterjedő mintázás eredményeit. A kőszénekre és kísérő mellékkőzetekre vonatkozó

**8.7. táblázat.** A mecseki kőszéntelepes összetétel ritkaelemátlatának kőzetfajták szerinti megoszlása (g/t) (CSALAGOVITS, VÍGHNÉ 1969)

	Kőszén	Homokkő	Aleurit	Agyagkő
B	165	86	133	112
Co	31,8	12,4	14,5	28
Cr	340	48	78	113
Ga	137	55	76	111
Mo	81	3,1	11,7	14
Ni	172	38	54	100
Pb	124	60	58	55
Sn	11	7,2	13,4	13
V	210	34	104	151
Zn	338	91	145	162

**8.8. táblázat.** A mecseki alsó-liász kőszén hamujának ritkalelem-átlaga részterületenként (g/t) (CSALAGOVITS, VIGHNÉ 1969)

	Pécs-Bányatelep	Pécs-Szabolcs	Pécs-Vasas	Komló	Szászvár
B	62	500	146	57	295
Be	14	337	400	320	430
Co	35	79	23	20	32
Cr	162	240	140	510	140
Ga	780	58	73	28	52
Ge	11	53	12,4	72	82
Li	–	–	–	19	97
Mo	98	278	218	60	41
Nb	–	–	–	224	108
Ni	114	297	266	150	168
Pb	56	74	20	179	84
Sc	–	–	–	67	40
Sn	31	–	16	8,4	8,5
Tl	8,2	–	11	5,5	3,4
V	304	167	93	155	342
Zn	325	555	194	252	438
Zr	770	755	1000	1890	3920

kövek, homokkővek (8.10. táblázat). Kiemelkedően erős dúsulást mutatott ki a Be, Ge, Nb esetében, ahol az átlagértékek az UCC tízszeresét is meghaladták. Emellett gyengébb dúsulást talált a B, Sc, Zn, Ga, Y, Zr, Cs, La, Tl, Th, U elemek esetében.

Az adatbázis alapján a felsorolt ritkalelemek magasabb koncentrációval általában nem a kőszénben, hanem az agyagkövekben, aleurolitokban, és leginkább a karboargillitekben (szenes agyagokban) fordultak elő. Ez alól kivétel az

**8.9. táblázat.** Kalkofil elemek átlagértékei VÍZKELETI (2013) összesítésében

	Cu	Zn	Ag	Cd	In	Pb	Bi	Tl
Zobák	265	139		81	10	67	44	97
Pécsbánya	30	109	0,3	–	–	24	–	54

információk a 8.7. táblázatban olvashatók, a kőszénhamura kapott átlagérték területek szerinti megoszlása pedig a 8.8. táblázat adataiból rajzolódik ki. A táblázat adatai szerint a legtöbb stratégiai fontosságú elem az északi területrészekben (Komló, Szászvár) nagyobb dúsulást mutat. A korábbi pécsi és komlói alapadatokat VÍZKELETI (2013) statisztikai módszerekkel értékelte újra (8.9. táblázat). Az eredményekből a komlói területen működött, és a szenes összletet érintő erős hidrotérmális tevékenység hatására lehet következni.

KÓBOR (2005) a Karolina-külfejtésben környezet-geokémiai céllal mintázta a kőszéntelepeket és mellékközeit. A 41 mintát közettani szempontból 5 csoportra osztotta: kőszének; szénnel kevert mellékközelek (karboargillitek, karbomineritek); aleuritok; agyag-

**8.10. táblázat.** Ritkalelemek dúsulása a Karolina-külfejtés adatai alapján (KÓBOR 2005) a különböző litológiai típusokra átlagolva. A feltüntetett értékek a felső kontinentális kéreghez normált átlagok

	Be	Cs	Ce	La	Tl	Sc	Ga	Ge	Y	Zr	Nb	B	Th	U
Homokkővek	<b>11,01</b>	0,76	1,04	1,95	0,42	1,13	1,25	<b>4,28</b>	1,10	1,38	<b>3,51</b>	2,97	1,36	0,69
Kőszének	<b>8,60</b>	1,63	0,56	0,53	1,52	0,93	1,15	<b>19,20</b>	1,64	1,34	<b>4,00</b>	2,86	1,05	1,54
Karboargillitek	<b>16,71</b>	2,58	0,85	1,13	0,72	1,49	2,58	<b>70,48</b>	1,93	6,13	<b>18,58</b>	3,29	1,62	1,33
Aleurolitok	<b>26,80</b>	1,74	0,22	0,37	1,71	1,74	2,76	<b>12,85</b>	1,77	2,93	<b>10,84</b>	1,47	0,58	0,57
Agyagkővek	<b>9,05</b>	2,44	0,30	0,31	1,41	1,29	2,61	<b>14,34</b>	1,27	6,67	<b>9,86</b>	3,53	0,53	0,45

urán, az ittrium, a bór és a cézium, melyek a szénben is a karboargillitekhez hasonlóan dúsulnak. Erősen a finomtörmelék alkotókhoz (aleurolit, agyagkő, karboargillit) kötődik a Zr és a Nb, kevésbé erősen ugyanezekhez a gallium és a scandium. Erősen a karboargillithez kötődik a germánium, karboargillithez és homokkőhöz a La és Ce. Egyes elemek esetében a rétegsoron belül is mutatkoznak eltérések. A Ce és La karboargillitekben a felső telepcsoporthoz (26. telep) dúsul erősebben, míg az U és Th a 11–16 telepben.

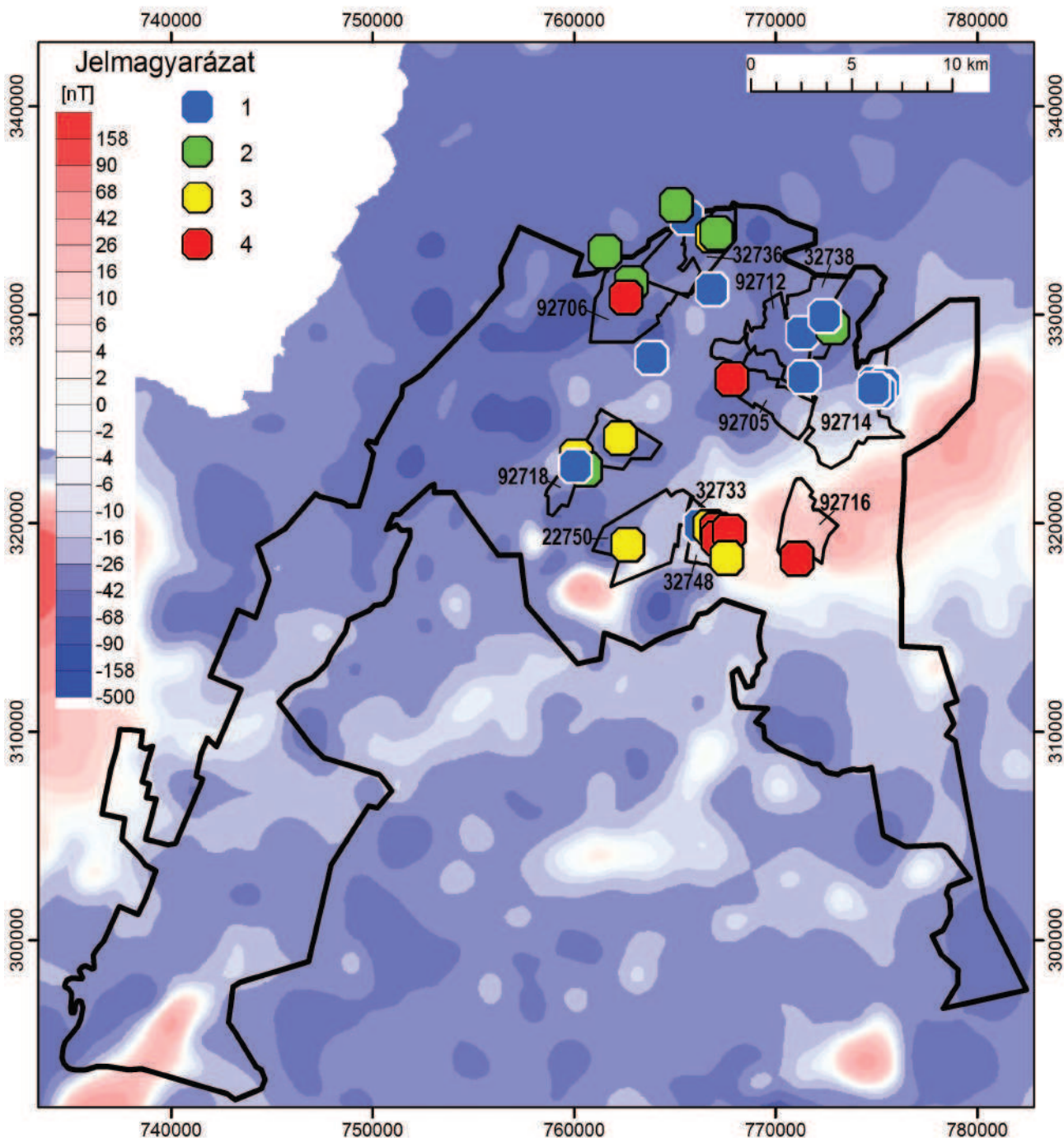
### *A Borsodi-medence összegyűjtött geokémiai alapadatai*

A Borsodi-medencéből csak a Ga- és Ge-dúsulásokra vonatkozóan vannak részletes történeti információk. SZÁVA, SZÜCS (1963) jelentésben közölt részletes adatokat a borsodi és nógrádi barnakőszének fúrási mintaanyagán végzett germánium- meghatározásokról. 189 mintát elemeztek, nedves analitikai módszerekkel, majd színképelemzéssel megismételve. A maximum germániumértékek a Bánfalva területén lévő fúrásokban jelentkeztek, 300 g/t értékkel.

A tanulmány egy sor, ma stratégiai fontosságúnak tartott kémiai elemre vonatkozóan tartalmaz információt. 3 mintában 100 ppm feletti, 1 mintában 1000 ppm feletti Be-tartalom, 212 mintában 300 ppm feletti B-tartalom, 72 mintában 300 ppm feletti V-tartalom. A legmagasabb Ge-tartalom 175 ppm volt, a legnagyobb átlagértékeket (13,3 g/t Ge) az V. telep magas hamutartalmú szenesagyag-kifejlődésében (50–70% hamu) észlelték.

KÁDÁR (2015) a területi eloszlást és a szervesanyag-tartalommal való kapcsolatot vizsgálta a SZÁVÁNÉ BENŐCS (1965)

által közölt adathalmazon. A maximumok szórtaan mutatkoztak, Bánfalva, Kondó, Sajókaza, Lyukó, Pálincás-táró/Miskolc területén. A SZÁVÁNÉ BENŐCS (1965) által irányított újabb vizsgálatok adatbázisa – 2015-ben kiegészítve 19 mintával a Farkaslyuk II. telepől – volt leginkább alkalmas arra, hogy területeloszlás-vizsgálatot végezzünk rajta. A térkép háttérül a térség mágneses anomália ( $\Delta Z$ ) térképét választottuk, az esetleges magmás hatók azonosítása érdekében. A térképen a 3.9 táblázatban felsorolt bányatelkeket különítettük el.



8.5. ábra. A Borsodi-medence V. telepének germániumértékei a háttér a mágneses anomália ( $\Delta Z$ ) térkép

Jelkulcs: 1. 0–3 ppm, 2. 3–5 ppm, 3. 5–10 ppm, 4. 10 ppm felett

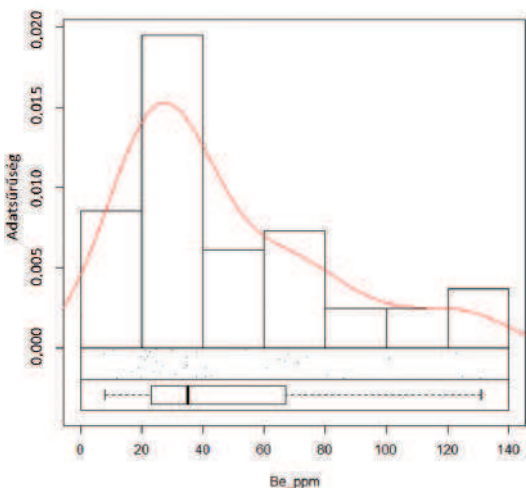
A térképen (8.5. ábra) a 3.9 táblázatban található számokkal jelölt bányatelkekhez rendelve ábrázoltuk a germániumelemzések átlagolt értékeit. A vizsgálatot minden széntelepre elvégeztük. A legbiztosabb dúsulások az V. telepben, a Kondó-É–Béke-táró környékén mutatkoztak.

## Korábbi adatok leíró statisztikai jellemzése

### Adatelőkészítés, statisztikai vizsgálatok

Ebben a fejezetben részletes, korszerű statisztikai vizsgálatnak vetettük alá azokat az adatbázisokat, amelyek erre alkalmas részletességgel rendelkeznek úgy a vizsgálati módszerek érzékenységét és megbízhatóságát, mint a mintavétel körülményeit illetően. Értékelésünk ezért egyelőre csak a mecseki területről van, a borsodi területről csak Ga- és Ge-adatokkal rendelkezünk. Vizsgálatainkhoz az „R” szabadkódú statisztikai programcsomagot használtuk.

Három archív adatbázist elemeztünk geokémiai szempontból: 1. A Pécsbánya bányáüzem IV., V., VI. szintek, Zobák, Kossuth-akna vájvégein történt mintavételezések adathalmaza az 1960-as évekből, 2. a KÓBOR (2005) által publikált adatok a Karolina-külfejtésből, 3. a CriticEl projekt (HORVÁTH 2014) adatbázisa. Az egyes adatsorokat eltérő koncepciók szerint mintázták, eltérő feltárási és elemzési módszerekkel mérték, ezáltal más megbízhatóságú eredményeket tartalmaznak. A fenti adatsorok értékelését FÖLDESSY et al. (2017) munkája részletesen tartalmazza. Itt a nagyobb elemszámú, kőzet-típusokra is tagolt és a mai pontossági elvárásoknak megfelelő – KÓBOR (2005), CriticEl (HORVÁTH 2014) – adatsorokból ismertetjük a potenciálisan továbbvizsgálatra érdemes Be, Nb, Ta, Zr, Hf és Ga statisztikai jellemzőit. A kimutatási határ alatti adatok esetében az adatérték-felezést alkalmaztuk (REIMANN et al. 2008). Ugyanarra a mintára vonatkozó több adatból a nagyobb tartottuk meg.



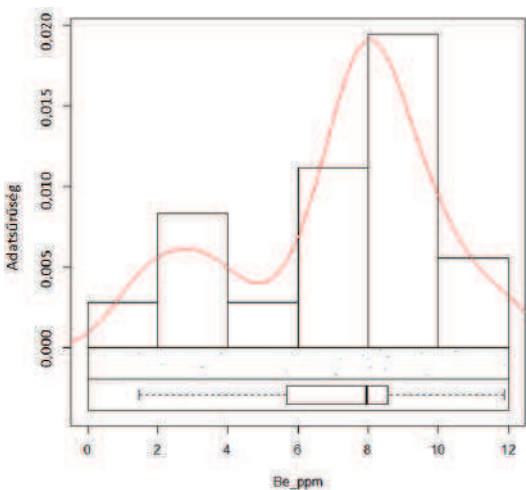
8.6. ábra. A berillium megoszlását mutató ábra a Karolina-külfejtés adathalmazából (KÓBOR 2005)

(szaggatott vonallal jelzett tartomány) túl eső elem. A kiugró értékeket a boxplot ábrásorában üres körök jelölik (l. később pl. 8.14. ábra). Az egyes adatokat a boxplot feletti sávban ábrázolt finom pontok jelentik meg. Az elemek együttes változásának jellemzéséhez az R által generált szóródási mátrix diagramot alkalmaztuk.

A geokémiai viselkedés vizsgálatához sűrűségfüggvényeket alkalmaztunk, a mintapopulációból kieső (outlier) elemek meghatározására boxplotot (TUKEY, 1977) használtunk (pl. 8.6. ábra). A vízszintes tengelyen az értéktartományok ppm-ben, a függőleges tengelyen a sűrűségfüggvény értékkészletét leíró skálabeosztás látható. A piros vonal (a sűrűségfüggvény) a minták adott, mért értéktartomány körüli sűrűsödését mutatja. Az ábra legalsó részén a Tukey-boxplot a szélsőértékek megjelenését, eloszlását jellemzi. A boxplot fekvő téglalapjában látható vastagított függőleges vonal a minták 50%-os kvantilis értékét mutatja (medián), a téglalap bal széle az első kvartilist, jobb széle a harmadik kvartilist jelzi, a téglalap hossza az interkvartilis tartomány (IQR). A 8.6. ábrán bemutatott példában a ferde eloszlást mutató adathalmaz egyetlen kieső, outlier értéket sem mutat a boxplot alkalmazása esetén, mert nincs az 1,5 IQR távolságon

### A mecseki minták kémiai-elem-tartalmának statisztikai analízise

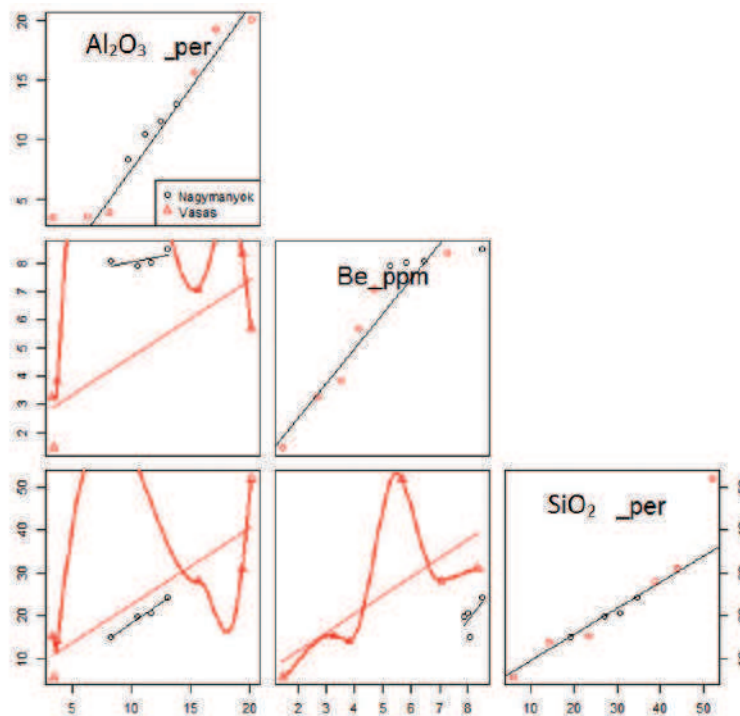
#### Berillium



8.7. ábra. A berillium (ppm) adatai, sűrűség függvénye, hisztogramja és boxplotja. CriticEl adatbázis

Berilliumra vonatkozóan a CriticEl előtti mintasorok mind igen biztató koncentrációkat mutattak, melyek a felső kéregbeli átlagot (3 ppm) egy nagyságrenddel meghaladják. Ez látható a 8.6. ábrán, a Karolina-külfejtés adathalmaza alapján (KÓBOR 2005). A ferde, felfelé elnyúló eloszlású adathalmaz mediánja 35 ppm. A CriticEl-es adatbázis kőszénmintáiban ezzel szemben a berillium-adatsor bimodális eloszlást mutat (8.7. ábra), az adathalmaz átlaga 7,1 ppm, míg a szórás 2,86 ppm. A rendelkezésre álló vasasi mintahalmaz 15 mintájából csak 6 származik szénből, az elemzésben csak ezek szerepelnek. A nagymányoki 5 minta feketekőszénből származik. Az CriticEl minták átlagértéke a Karolina-külfejtés adatainak mindössze 20%-át éri el. Az új mintavételek során lehet ellenőrizni, hogy a történeti mintákban tapasztalt lelőhelyi eltérések valóban geokémiai különbséget jelentenek, vagy csupán mintavételi, elemzési módszerbeli különbségek tükröződnek a számszerű eltérésekben.

A 8.8. ábrán a CriticEl minták  $\text{Al}_2\text{O}_3$  százalékban mért értékei, a berillium ppm-ben mért értékei és a  $\text{SiO}_2$  százalékos értékének



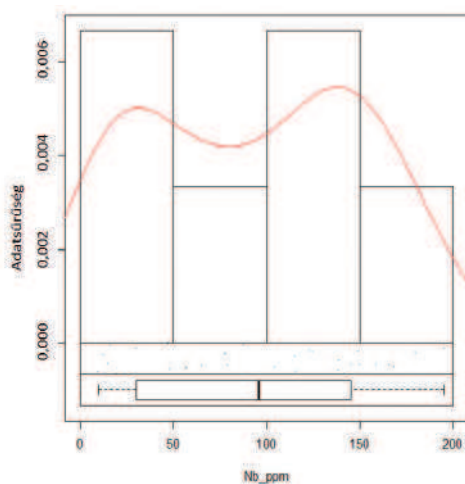
8.8. ábra. Az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%) a Be (ppm) és az  $\text{SiO}_2$  (%) lelőhelyenkénti szóródási mátrixa (adatok: CriticEl)

korrelációs szóródási plotjai láthatók. A két vizsgált területen (Vasas, Nagymányok) kevés az értékelhető berilliumadat. A nagymányoki Be-adatok minden esetben magasabbak a vasasi Be-értékeknél. A korrelációs diagramról leolvasható, hogy a vasasi mintákban a növekvő  $\text{SiO}_2$ -tartalom mellett a Be-tartalom nő, az  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalom vagy kicsi vagy nagy, de nem mozog szorosan együtt a másik két komponenssel. A nagy (15% feletti)  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -tartalmú mintákban nagyobb a Be-tartalom is. Ugyanakkor a nagymányoki mintákban mindhárom komponens együtt változik. A szóródási mátrix alapján az látszik, hogy a Be-tartalom az Al-hoz (agyagtartalom) kapcsolódik.

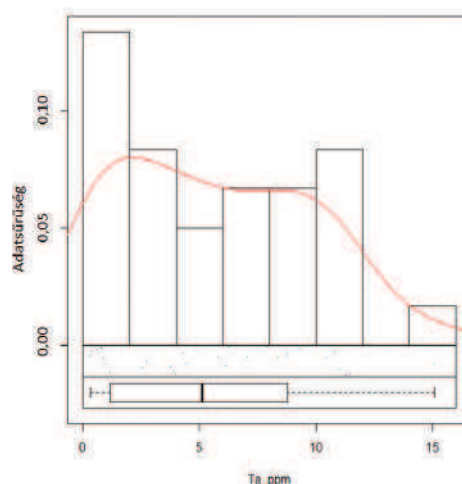
### Nióbium és tantál

A nióbbium és a tantál tipikus litofil elemek, döntően együtt fordulnak elő minden földtani környezetben. A szénekben sokszor alkáli mélységi kőzetekből, azok törmelékanyagából származhatnak (DAVIDSON, CLARKE 1996). A kínai tapasztalatok szerint (DAI et al. 2007) szén agyagokhoz való kötődésük jelentős, a kevert szerkezetű agyagásványok tartalmazhatnak 0,5–1%-ban Nb-ot és Ta-t.

Megbízható Nb- és Ta-adatokkal egyedül a CriticEl adatbázis rendelkezik. A Karolina-külfejtés adataiban a Ta-adatok hibásak. A CriticEl adatbázisban 30 adattal rendelkezünk a nióbbium és a tantál esetében. A nióbbium sűrűségfüggvénye (8.9.

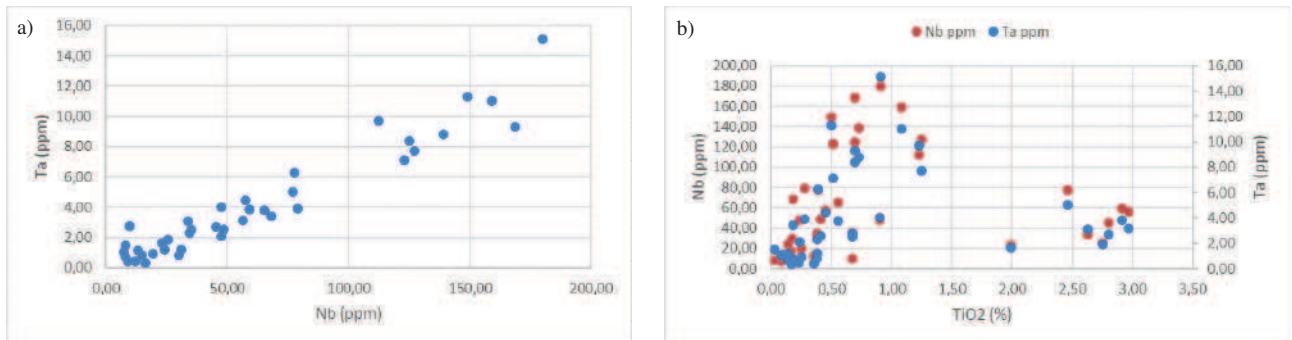


8.9. ábra. A nióbbium (ppm) adatai, sűrűség függvénye, hisztogramja és box-plotja. (adatok: CriticEl)



8.10. ábra. A tantál (ppm) adatai, sűrűség függvénye, hisztogramja és box-plotja (adatok: CriticEl)

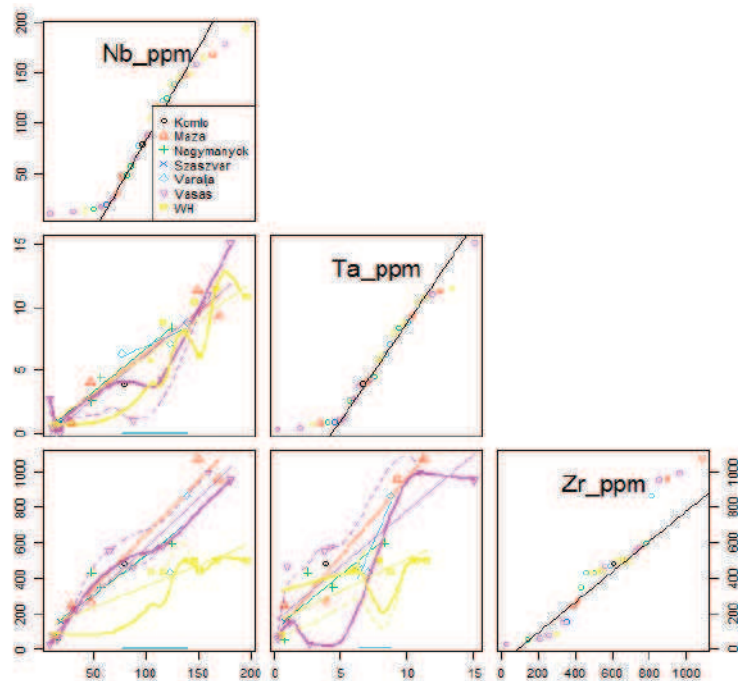
ábra) a mecseki mintákban két sűrűsödési maximumot mutat 30 és 125 ppm-nél. Az átlagos koncentráció 93 ppm, a szórás 59 ppm. A felső kontinentális kéregbeli átlaghoz (UCC: 12 ppm) képest itt komoly és több mecseki lelőhelyen egyaránt megjelenő dúsulás mutatkozik. Ezt mutatja a tantál eloszlása is, mely esetében az 1 ppm-es UCC átlagtól a minták döntő része lényegesen eltér. A mért értékek sora 0,32 ppm-től 15,1 ppm-ig terjed. Az átlagos koncentráció 5,68 ppm, 4,17-os szórással. Az



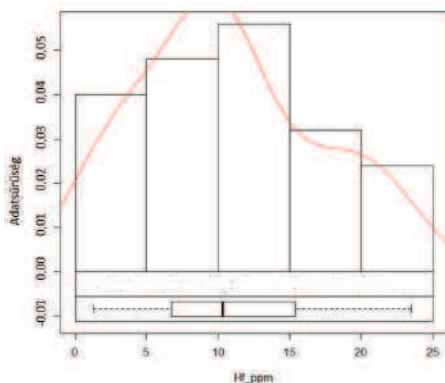
8.11. ábra. Ta-Nb összefüggés (a), illetve Ta és Nb értékek eloszlása a TiO<sub>2</sub> függvényében (b) a CriticEl-es mintahalmazban

adatrendszer a kisebb értékeknél mutat sűrűsödést (8.10. ábra). A Nb és a Ta egymással (8.11. ábra, a), a titán-oxidokkal (8.11. ábra, a, b), illetve a többi nagy mezőerősségű (HFS) elemel (Zr, Hf) (8.12 ábra) pozitívan korrelál.

A cirkónium szintén az UCC-nél 2–4-szer nagyobb dúsulást mutat a mecseki szenes összetekben, ezt a korábbi vizsgálatok mind kimutatták. A korrelációs diagram képe alapján a Nb és Zr korrelációja szoros (8.12. ábra bal alsó diagram), a Ta és a Zr korrelációja kevésbé szoros (8.12. ábra alsó sor középső diagram). Ennek oka lehet a Ta-elemzések nagyobb szórása, illetve a Zr elemzések kiugró értékei. A hét különböző lelőhelyről származó minta keveredése a diagramokon azt mutatja, hogy a Zr, Nb, Ta a mecseki kőszenes összetekben jelentős elterjedésű.



8.12. ábra. A Nb, Zr, Ta elemek korrelációs diagramja a CriticEl adatbázis alapján

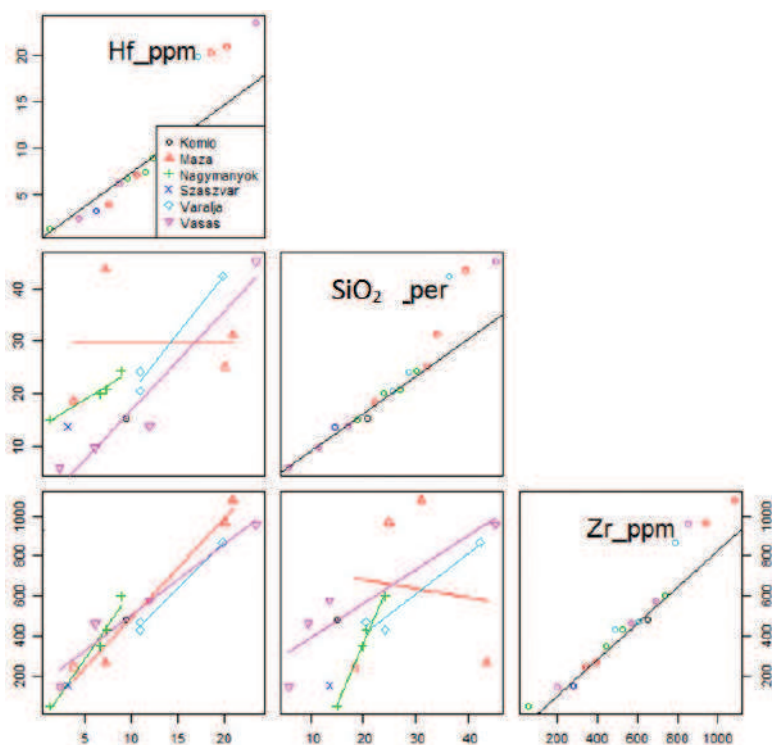


8.13. ábra. A hafnium (ppm) adatai, sűrűség függvénye, hisztogramja és box-plotja (adatok: CriticEl)

### Hafnium és cirkónium

A hafnium a szenes összetekben általában a cirkonban fordul elő (CURTIS *et al.* 1999). A Hf UCC értéke 5,8 ppm. A hafniumot hordozó cirkon törmelékként jut a szenes összetekbe (FINKELMAN 1993). A szenekben általában detritális forrásból származó cirkon szolgáltatja a Zr-tartalmat (FINKELMAN 1993).

A hafnium esetében a CriticEl adatbázisban 25 adattal rendelkezünk. Az értékek 1,29 ppm-től 23,5 ppm-ig terjednek. A medián 10,7 ppm, a szórás 6,30. Az adatrendszer széthúzódó, ennek ellenére a középső értékeknél sűrűsödő. A 8.13. ábrán látható, markánsan ferde, bimodális, kiugró érték nélküli eloszlás az UCC-nél többnyire 2–4-szer magasabb Hf-koncentrációt mutat. Az adatok legnagyobb része 6,74 és 15,40 ppm között mozog. A sűrűség függvény maximumai 9,10 és 17,5 ppm-nél mutatkoznak.



8.15. ábra. A Hf (ppm) az  $\text{SiO}_2$  (%) és a Zr (ppm) kapcsolata (adatok: CriticEl)

190 ppm, így ez az elem is jelentősen dúsul a mecseki szenes összletekben. A 454 ppm-es átlaghoz 293-es sztenderd deviáció tartozik.

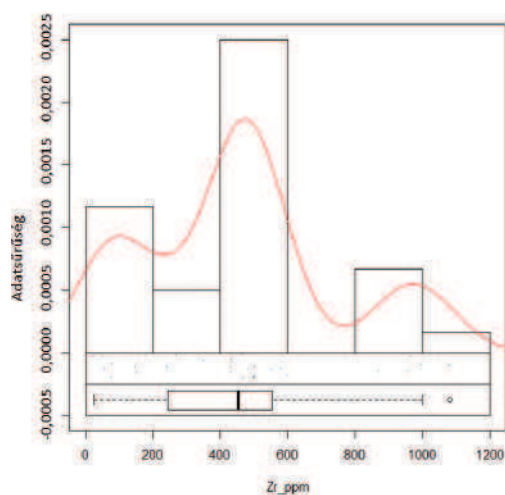
A 8.15. ábrán a Hf az  $\text{SiO}_2$  és a Zr kapcsolatát láthatjuk. A Zr pozitívan és szorosan korrelál a hafniummal minden vizsgált lelőhelyen (bal alsó diagram). Az együttváltozás mértéke is közel azonos, közel 45 fokos egyenes szakaszokat találunk. A minták által reprezentált adatértékkészletek lelőhelyenként eltérőek. A mért Zr–Hf-értékek leginkább a mázai és a vasasi területen húzódnak szét, ahol nagyobb a minták litológiai változatossága. A  $\text{SiO}_2$  korrelációja mindkét vizsgált elemmel két sűrűsödést mutat. Ennek oka lehet, hogy a mintahalmazokban cirkongazdagabb és -szegényebb típusú (törmelékes vs. szenes) kőzetek is szerepelnek.

### Gallium

Az CriticEl adatbázis 30 db galliumértéket tartalmaz, az összes mintázott területről rendelkezünk adattal. A mért értékek 4,23 ppm-től 46,50 ppm-ig terjednek. A medián 23,06 ppm, a szórás 12,40.

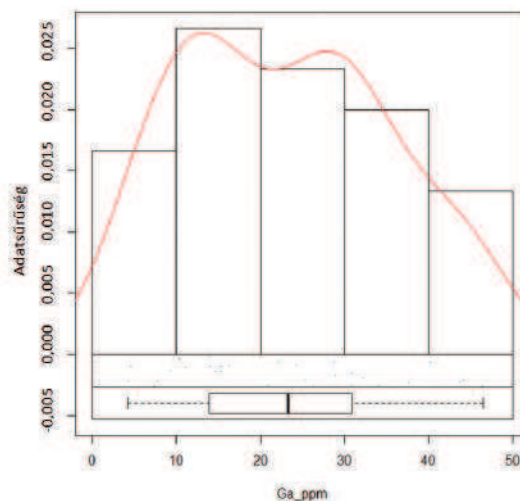
A Ga sűrűségfüggvénye (8.16. ábra) enyhén bimodális, egyenletes normál eloszláshoz közelít. Az adatok fő tömege 13,92 és 30,90 ppm közé esik. A sűrűségfüggvény egyik (jelentősebb) maximuma 13 ppm-nél, míg a kisebb, lokális maximum 27 ppm-nél található. A felső kontinentális kéreg világátalaga 17,00 ppm. Ez alapján a CriticEl adatbázis galliumdúsulása csak kissé haladja meg az UCC átlagot. Ez érdemben nem tér el a korábbi vizsgálatok (CSALAGOVITS, VÍGHÉ 1969, SOMOS et al. 1985, KÓBOR 2005) eredményétől.

A 8.17. ábrán látható, pozitív korrelációt mutató alumínium–gallium-kapcsolat az agyagásványokhoz, földpátokhoz és szerves Al-komplexekhez való erős kapcsolódást (FINKELMAN 1993) támasztja alá. A gallium az agyagásványokban izomorf módon Al-helyettesítőként jelenhet meg. Gyengébb a kapcsolat a Si–Ga-rendszerben (jobb szélső oszlop, középső sor), ennek oka a Si-hordozó fázisok sokfélesége, amelyekkel nem kapcsolódik Ga. A nagymányoki szénmintáknál éppen ellentétes, negatív korreláció figyelhető meg, úgy a  $\text{SiO}_2$ , mint az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kapcsolatában. Itt inkább a szerves anyaghoz kötődik a Ga erre utal az izzítási veszteséggel mutatott pozitív korrelációja is.

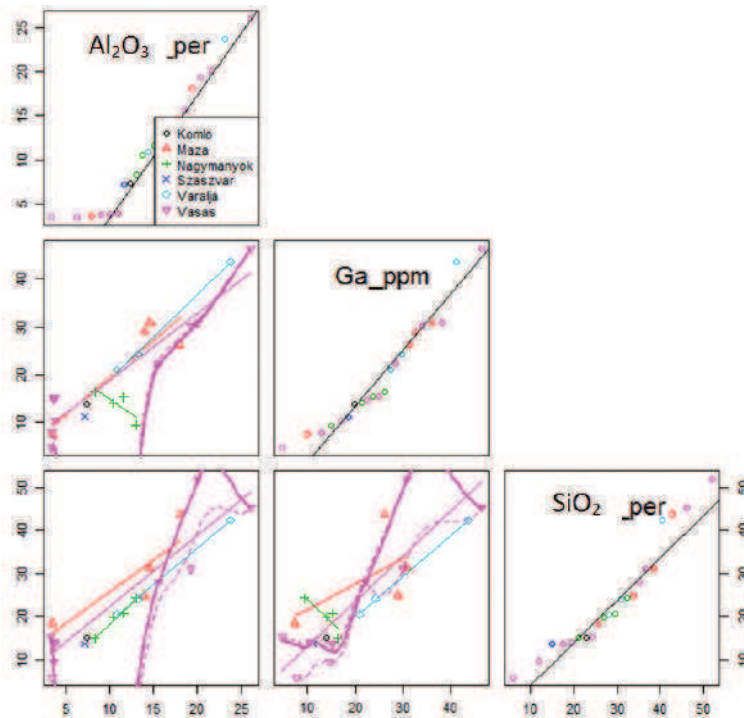


8.14. ábra. A cirkónium (ppm) adatai, sűrűség függvénye, hisztogramja, adatai véletlenszerűen eltolva az y tengely mentén, és box-plotja

A 8.14. ábrán a cirkónium trimodális, 1 db kiugró értéket tartalmazó adathalmazát láthatjuk (a kiugró érték: 1080 ppm). Az adatrendszer 30 mért értéket tartalmaz. A sűrűségfüggvény maximumai 100, 475 és 998 ppm-nél találhatóak. Az adatok nagy többsége 250 és 539 ppm közé esik. A cirkónium UCC-értéke



8.16. ábra. A gallium (ppm) adatai, sűrűség függvénye, hisztogramja és box-plot-ja (adatok: CriticEl)



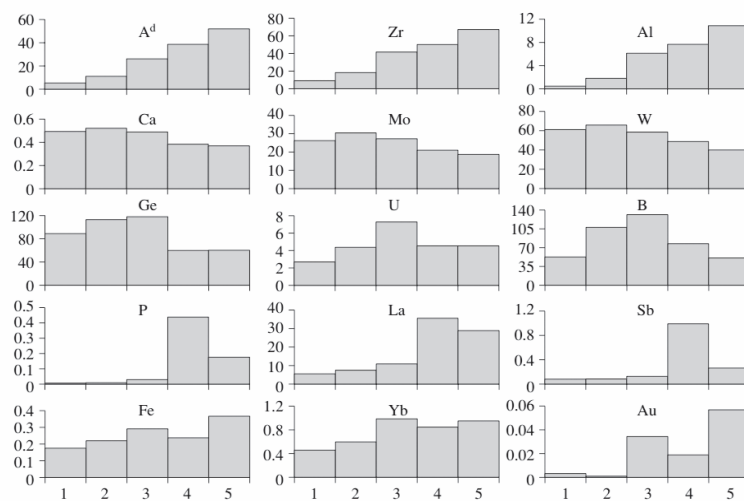
8.17. ábra. Az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%) a Ga (ppm) és az  $\text{SiO}_2$  (%) kapcsolata (adatok: CriticEl)

#### *A szénhez kötődő ritkaelemek geokémiai, ásványtani kapcsolata*

A szenes összletekben megjelenő ritkaelemek ásványtani jellemzőire kevés adat van. A ritkaelemek dúsulhatnak önálló ásványként törmelék formájában az üledékbe kerülve, vagy epigén módon, a kőszenekbe utólag belépett – pl. hidrotermális – ásványtársulásként, dúsulhatnak a szerves anyaghoz kapcsolatosan, s felhalmozódhatnak agyagásvány, illetve más adszorpcióképes ásványi szemcse felületén.

A Ge-koncentráció adszorpció útján történt kialakulására utal SHPIRT (1977) megfigyelése, mely szerint a Ge-tartalom a növekvő hamutartalommal arányos. Erre utaló kísérleti eredményt mutattak ki Ge-gazdag dél-afrikai szenekből (KUNSTMANN, HAMMERSMA 1955). Hasonló eredményt kaptak ritkaföldfémek kioldhatóságára jura korú jakut kőszén esetében is, ahol a kielégülő szénrétegekből a RFF-tartalom 80–90%-a, a Sc-tartalom 85–90%-a volt kioldható sósavval (YUDOVICH 2003).

SEREDIN *et al.* (2006) vizsgálatai szerint a Luzanovka-árok Ge-gazdag szénének sűrűség szerinti szétválasztása azt mutatta, hogy a Ge, W, B dúsulása enyhe maximumot az 1,45–1,53 és 1,53–1,64  $\text{g/cm}^3$  sűrűségű frakciókban, míg a La, Yb a nagyobb sűrűségű (1,53, vagy 1,64 feletti) frakciókban mutat. Ez arra utal, hogy a Ge, W, B a szerves anyaghoz kötődik inkább, míg a ritkaföldfémek a szilikátos törmelékekhez (8.18. ábra).



8.18. ábra. Hamutartalom (Ad) és ritkaelem tartalom sűrűség szerinti megoszlása a Luzanovka-árok Ge-gazdag szénében (SEREDIN *et al.* 2006)

KÓBOR (2005) 5 minta – 2 kőszén (mattszén és fénylő palaszén), 2 szenes agyag (karboargillit) és 1 piritdús (>50 tf% pirit) szenes agyag – elemzését közölte. Három sűrűségfrakciót vizsgált: 1,35 g/cm<sup>3</sup> alatt; 1,35–2,8 között; 2,8 felett. Az 1,35 g/cm<sup>3</sup>-es határt azért húzta meg, mert alatta „biztosan szerves anyagot frakcionált”, a 2,8 g/cm<sup>3</sup> pedig az elfogadott nehézasvány frakció alsó határa.

Az 1,35–2,8 g/cm<sup>3</sup> frakcióba az allotigén törmelékes kőzetalkotók (kvarc, erősen mállott földpátok) és autigén agyag-ásványok (kaolinit, illitfélék, szmektitfélék, illit–szmektit kevert szerkezetű ásványok) és kevés karbonát került. E frakcióban a nyomelem-felhalmozódás szempontjából nagy az illit, szmektit és illit–szmektit szerkezetű agyagásványok jelentősége magas kationcserélő kapacitásuk miatt. Torzító hatásként jegyzi meg, hogy az ilyen környezetben gyakran képződő gélpirit képes bevonni agyagásvány-, illetve szerves szemcséket, ezáltal a 2,8 g/cm<sup>3</sup> fölötti frakciót dúsítva egyes ritkalemekkel.

Az általunk kiválasztott ritkalemek KÓBOR (2005) ezen adatai alapján a berillium és szkandium döntően a szerves anyaghoz adszorbeálódva dúsul. A Zr a törmelékes cirkonhoz kötődik, a szenes agyagmintákban a mért összes Zr-tartalom közel négyszerese a kőszénben mért értéknek. Hasonló mintázatot mutat a nióbium, ami alapján ez is döntően nehézasványokban dúsul. A gallium és germánium megjelenése hasonló egymáshoz. Kőszénben mindkettő az 1,35–2,8 g/cm<sup>3</sup> sűrűségű, könnyű frakcióban dúsul.

Egy közelmúltban futó amerikai kutatási programban (EKMANN 2012) az USA összes széntelepéről készített adatbázis alapján fő RFF-hordozó ásvánként a törmelékes eredetű monacit dúsulását nevezték meg. A ritkaföldfémek mecseki előfordulásában a komlói szénben Ce–RFF karbonátásványt, synchisitet azonosítottak (SZAKÁLL et al. 2003).

### A dúsulások potenciális gazdasági értéke

A jelenlegi ismeretek a vizsgált területek ritkalelem-tartalmáról elégtelenek ahhoz, hogy részletes gazdasági számításokat lehessen végezni a kombinált ásványvagyon hasznosítására (kőszén plusz ritkalelem) vonatkozóan. Ehhez részletes nyersanyagkutatásra és a kitermelési és feldolgozási technológia ismeretére lesz szükség. Bizonyos előzetes megállapításokra azonban már a jelenlegi adatok is lehetőséget adnak.

A korai adatokra (SZÁDECZKY-KARDOSS, FÖLDVÁRINÉ VOGL 1955) alapozva GAGYI-PÁLFFY (1962) végzett előzetes vagyonbecslést a kőszénből kinyerhető germánium földtani vagyonára, melynek részleteit az 8.11. táblázat tartalmazza. Ez ma már legfeljebb tájékoztató adatként fogadható el.

**8.11. táblázat.** Kőszénből kinyerhető germánium földtani vagyonára vonatkozó előzetes becslés az 5 g/t feletti átlagkoncentrációjú előfordulásokban (GAGYI-PÁLFFY 1962)

Terület	Mintaszám	Átlagos Ge tartalom (g/t)	Szénkészletek (millió t)		Ge tartalom a szénben (t)	
			földtani	távlati	földtani készlet	távlati készletben
Komló	112	15	455	575	6825	8620
Pécs	10	10	314.8	1015	3148	10150
Diósgyőr	7	5	138.9		695	
Összesen:	266				11224	19462

Egy tájékoztató jellegű előzetes becsléssel azt jelezhetjük előre, hogy a szén tonnánkénti potenciális értékét mennyivel képes növelni a szénhez, illetve mellékkőzethez kötődő ritkalelem-tartalom értéke. A becsléshez a ritkalelem-koncentráció adatait és az elemek piaci árát használtuk fel. Mivel az egyes ritkalemek leválasztási technológiája eltérő lehet, ezért a ritkalemek potenciális hozzáadott értékét külön-külön becsüljük, nem összegezzük.

**8.12. táblázat.** Aktuális nyersanyagárak a forrás megjelölésével

Nyersanyag	Mértékegység	Közölt azonnali ár 2017október	3 éves átlagár	Adat forrása	Ár típusa
Feketekőszén	USD/t	45	55	infomine.com	thermal coal CAPP
Be fém	USD/kg	862		Shanghai Metals market	
Ga fém	USD/kg	140–160		Metallbulletin	szabadpiaci ár
Ga fém	USD/kg		179	Kaiser research online	99,99% Kína 3 éves átlag
Ge fém	USD/kg	1150–1250		Metallbulletin	FOB Rotterdam
Ge fém	USD/kg		1850	kitco.com	3 éves átlag
Hf fém	USD/kg	1917	1750	kitco.com	Zr <0,2%
Nb fém	USD/kg	79		Shanghai Metals market	
Sc fém	USD/kg	15 000		mineralprices.com	
Sc-oxid (Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	USD/kg	2000		Texas Mineral Resources Corp.	
Ta érc	USD/kg	124	180	infomine.com	Tantalite ore
Zr fém	USD/kg	24		Shanghai Metals market	sponge 99%
Zirconium érc	USD/t	1000–1050		Metalbulletin	FOB Europe

Az értékelésbe a bevezetésben szereplő ritkafémeket vontuk be. A kőszén árának meghatározásához az infomine.com portálon közölt CAPP minőségű erőművi szén árát vettük figyelembe, amit 2017. október végén 45 USD/t körüli értékben adtak meg. Az egyes ritkafémek árát illetően többféle nyílt hozzáférésű adatbázison néztük a 2017. október végi aktuális árakat (8.12. táblázat).

Fontos megjegyezni, hogy a ritkafémek piaci árának ingadozása a többi nyersanyaghoz képest is gyors és jelentős. Ezt alátámasztandó néhány ritkafém (Ga, Ge, Hf, In, Rh, Eu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Pr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Te<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) árának ingadozására vonatkozó adatot a <http://www.kitco.com/strategic-metals/> honlapon lehet találni.

A fenti árak alapján összesítettük, hogy az egyes fémek 1 ppm koncentráció értéke hány USD-t ad hozzá a szén értékéhez (8.13. táblázat). Viszonyításként az adott elem üledékekre vonatkoztatott átlagos gyakoriságát (Klark érték) is

**8.13. táblázat.** A gazdasági potenciál számításához használt szén egyenérték cut-off értékek az egyes vizsgált ritkafémekre

	Be	Ga	Ge	Hf	Nb	Sc	Ta ore	Zr
Klark érték	1,00	18,0	1,50	4,0	15,0	14,0	2,50	170,0
1 ppm fém (USD)	0,9	0,2	1,20	1,0	0,1	15,0	0,1	0,01

feltüntetettük. A továbbiakban ezen értékek felhasználásával vizsgáljuk, hogy az egyes rendelkezésre álló adatbázisokból milyen mértékben következtethetünk a ritkafémekben rejlő gazdasági potenciálra.

### A Karolina-külfejtés minősítése

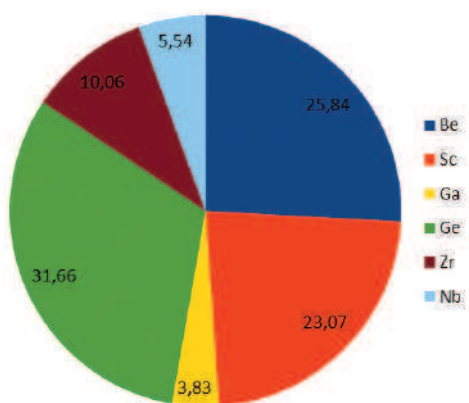
Az összesen 41 mintából álló adatsorban (KÓBOR 2005) van adat a Be, Sc, Ga, Ge, Zr és Nb elemekre. Tantálra vonatkozó adatot is közöl, de az mindegyik minta esetében 0,02 ppm, így nem tekinthető relevánsnak. A minták litológia szerinti csoportosításban vannak megjelenítve, a mecseki szenes összlet összesített rétegsorának (NÉMEDI VARGA 1995, NAGY Elemér 1969a) megfelelő szenes szintek megjelölésével. Elkülönítve szerepelnek a homokkővek (6 minta), kőszének (13 minta), szenes agyagok és más közbetelepülések („karboargillitek, karbomineritek” 14 minta), aleuritok (4 minta), agyagkővek (4 minta).

A leginkább biztató eredmények germániumra vonatkoznak. A szenes agyagokból származó mintákban a germánium értéke mindenhol eléri a szén értékének kétszeresét. Emellett a szénből származó mintáknál is eléri a 2/3., 6., 7/8., 11., 12. számú telepeknél legalább a szénérték felét. A rétegsorban feljebb a szenekben a koncentráció csökken. A 25. telep agyagkövei szintén említésre méltók. Meg kell említeni, hogy a 9. és 10. telep között húzódik a vastag tufitszint, illetve a 11–12. és 13–14. telepek között egy vékony tufitszint, melyhez tartozó vulkanizmus hatással lehetett az alsóbb telepek (13–14 alatti) hidrotermális germánium-felhalmozódására.

A szenes agyagok a germánium mellett fontosak Zr- és Nb-tartalom szempontjából is. Ezekre nézve a mért koncentrációkra becsült értékek gyakran eléri a szénérték felét. A szenekben viszont a Zr- és Nb-tartalom értéke sehol nem éri el a szénérték negyedét.

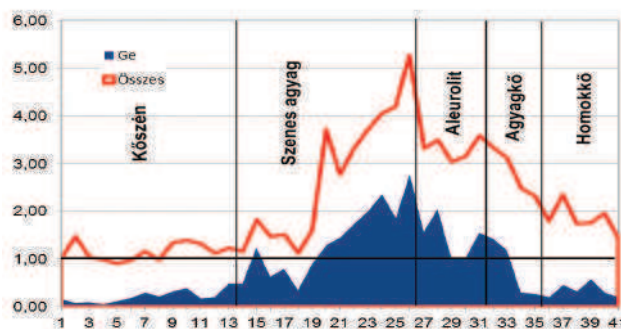
Kiemelendő a Be-tartalom, elsősorban a szenes agyagokhoz kötődve. A berillium értéke több széntelep (12., 16/17., 23., 26.) fektüjében, illetve fedőjében meghaladja a szénértéket. A Be a szénben is dúsul a 12. és e feletti széntelepek mintáiban. Emellett komolyabb Be-dúsulást mutatnak a fekvő aleuritok. A Ga egy minta esetében sem éri el a 0,25-ös szénértéket.

Fémértékre átszámolva legnagyobb gazdasági potenciált itt a szenes agyagok Ge-tartalma hordoz, ez mindegyik mért minta esetében tonnánként 80–120 USD feletti értéket jelent. A 13. sz. telep alatti szeneknél is meghaladja a Ge-érték a 40 USD-t. A legreménytelibb Ge-nyersanyagot a szenes agyagok jelentik. A Be, Sc, Ge kőzetekben kimutatható koncentrációihoz tartozó értékek összege az értékelt ritkafémek összeségének kb. 80%-át teszi ki (8.19. ábra). Nem szerepelnek ebben az összesítésben a hafnium és a ritkaföldfémek.



**8.19. ábra.** A stratégiai fontosságú fémek százalékos aránya a Karolina-külfejtés mintáiban KÓBOR (2005) alapján

A 8.20. ábra a szenes összletek ritkafémek értékének, és a Máza-Váralja-Dél esetére becsült föld alatti széntermelés bányászati önköltsége arányában



**8.20. ábra.** A Karolina-külfejtés mintáiban a stratégiai fontosságú fémek tonnánkénti értékének összege a földalatti széntermelés becsült fajlagos költségének arányában

ségének (66 EUR/tonna, Calamites Kft. szóbeli közlés) arányát mutatja. A kék görbe csak a germániumot, a piros görbe germánium és az összes itt becsült ritkaelem (Ge+Ga+Be+Zr+Sc+Nb) adatait ábrázolja közettípusok szerint a Karolina-külfejtés mintái alapján. A diagram szerint a ritkaelemek nem a szénnek minősített anyagokban, hanem azok környezetében található más közettípusokban (elsősorban szenes agyagokban) dúsulnak. Ezekben a kőzetekben a szén becsült termelési költségének 4–5-szörösét is eléri a ritkaelemek összértéke, melynek 32%-át a germánium adja.

A Hf és a RFF értékét itt nem tekintve, a Karolina-külfejtés képződményeinek ritkaelem-tartalmában a fő piaci értékhozóznak a Ge-, Be-, Sc-dúsulásokat tekinthetjük (81%), míg a Zr, Nb, Ga mintegy 19%-ot képvisel.

### CriticEl minták összesítése

A kapott eredmények a kezdeti modell alapján várt Be-, Ge-dúsulást nem igazolták, de jelentős Nb-, Ta-, Hf-, Zr- és RFF-dúsulást mutattak, főként alkálilazalt-szilik kontaktusa közelében. A ritkaföldfémek dúsulása ebben az adatsorban a RFF+Sc+Y összesítés szerint átlagosan 466 ppm, ami a feketekőszének átlagos értékéhez (76 ppm) képest 6-szoros dúsulást jelent.

A klarkot többszörösen meghaladó értéket a Hf, Zr, Ga, Nb és Ta elemekre kaptak szinte mindegyik mintacsoport esetében, a világtálag kétszeresét kapták a Sc esetében. A szénegyenértékre történő átszámítással a szkandiumra, nióbiumra és hafniumra kaptunk jelentősebb potenciált. A Ge esetében a kőszén világtálagának harmadát, negyedét érték el az újvizsgálatra szoruló elemzési értékek. A legjobb potenciált a WHE minták adták.

A szénhez kötődő ritkaföldfémek gazdaságossági vizsgálatához SEREDIN, DAI (2012) két indexet generált: 1.  $REY_{def,rel}$  a kritikus ritkaföldfémek százalékos részaránya a teljes RFY-tartalomhoz képest, 2.  $C_{outl}$  a  $REY_{def,rel}$  érték és a hasonló módon kiszámított fölöslegben lévő RFY-hányad aránya

$$C_{outl} = \frac{(Nd + Eu + Tb + Dy + Er + Y) / \sum RFY}{(Ce + Ho + Tm + Yb + Lu) / \sum RFY}$$

E két index alapján elkülöníthető három kategória (8.14. táblázat). A magyar adatsorok közül teljeskörű RFY-adatokkal csak a CriticEl adatbázisból rendelkezünk. A SEREDIN, DAI (2012) féle gazdaságossági index ( $C_{outl}$ ) alapján kritikus ritkaföldfémek csak 12 minta esetében kerülnek 1,0 fölé, ezek közül a két legjobb adat (2,28; 2,51) markazitmintából származik, további egy jó egy pelosziderit-konkrécióból. Az 1,0 körüli indexű minták közül három alkálilazaltból, kettő bazaltkontaktusról származik. A kiszámított  $REY_{def,rel}$  és  $C_{outl}$  értékek alapján a mecseki minták az ígéretesnek minősíthetőség határán vannak. Az 59 mintából 41 minta  $C_{outl}$  értéke van 0,7 felett (ígéretes kategória alsó határa), de az 1,0-t már csak a fentebb említett kivételek érik el.

Ugyanakkor a teljes RFF+Y-összegek a világtálag szén RFF-értékhez (68 ppm) képest nagyon jók. Az 59 CriticEl mintából összesen 5 szén- és agyagosszénminta  $\sum RFY$  értéke több lelőhelyről haladja meg a 800 ppm-et, további 27 minta esik 400 és 800 ppm közé. Gyenge (200 ppm alatt) értékek döntően a vasasi alkálilazaltokból, szenet kísérő kőzetekből származnak.

**8.14. táblázat.** Szénhez kötődő ritkaföldfémek gazdaságossági kategóriái SEREDIN, DAI (2012) indexei alapján

	$REY_{def,rel}$ (%)	$C_{outl}$
Kis potenciál	<26	<0,7
Közepes potenciál	30–51	0,7–1,9
Nagy potenciál	>60	>2,4

### Borsodi-medence

Az összehasonlíthatóság érdekében a borsodi barnakőszén esetében a mecseki értékeléshez hasonló módszert, azonos szénarat választottunk, bár a 45 USD/t szénár itt irreálisan magas. Innen az 1960-as években végzett országos ritkafémkataszterből (SZÁVÁNÉ BENŐCS 1965) származó adatok álltak rendelkezésre fúrásokból, illetve bányaszelvényezésből, több telepből. Ritkaelemekből csak gallium- és germánium-értékek vannak.

A 780 darab archív galliumelemzésből mindössze 22 éri el a 0,25-ös szénegyenértéket, további értékelésétől eltekintettünk. Germánium esetében a 780 germániumelemzésből 11 haladta meg a 45 USD/t szénegyenértéket (38 ppm Ge). Legmagasabb értékek (40–162 ppm) többnyire az V. telepből vett mintákból származtak (Kondó K–161 fúrás, Bánfalva Bf–66 fúrás, Szuhakálló Szelesakna, Sajókaza Sk–227 fúrás, Tervtáró, Sajókápolna Skp–139 fúrás, Nagybarca Nb–99 fúrás).

A borsodi V. telep potenciális értékét már az 1960-as években írt tanulmányokban is kiemelték (SZÁVÁNÉ BENŐCS 1965, NÁDASY, TAKÁCS 1967). Az 1967-ben készült vizsgálat eredményeit a 8.15.

**8.15. táblázat.** A Borsodi V. telep Ge-tartalmának változása a nagy Ge koncentrációjú rétegek vastagságával

Bánya	Szelvény vastagsága, cm	GeO <sub>2</sub> -koncentráció, g/t	
		eredeti	organikus
Feketevölgy	590	3,5	8,6
Szelesakna	160	13,5	28,0
Ormos	450	3,2	7,2
Sajókaza	205	2,1	5
Sajókaza	195	2,9	7,8
Bánfalva	240	6,7	15,5
Tervtáró	100	11,8	37,5

táblázat foglalja össze. Ez alapján a Szeles-akna és a Tervtáró érheti el a mai 0,5 szénegyenértéket (22,5 USD/tonna).

## Szénhamuminták geokémiai vizsgálata

### Alkalmazott analitikai technikák

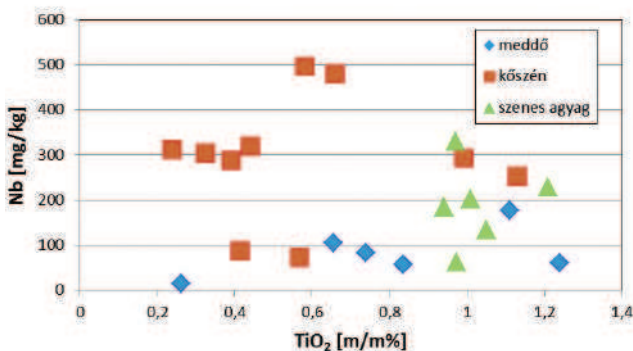
Három helyszínen, Pécs-Vasas PannonPower külfejtés VI. telepcsoportból, Kazár-Székvölgy felhagyott külfejtésben, a III. telepből és a II. telepnyomból, ill. Felsőnyárád külfejtés, az V. telepből, valamint annak fedőjéből és feküjéből vettünk rétegsor szerinti átlagmintákat a meddőből és a kőszenes rétegekből is. A begyűjtött és porított minták feltárása lítium-metaborátos ömlesztéssel történt. A feloldott ömledéket ICP optikai emissziós spektrometriával (Jobin Yvon Ultima 2C;) mértük a fő elemekre, illetve ICP MS-sel (ICP Perkin Elmer-SCIEX ELAN DRC II ICP-tömegspektrométer,) nyom-elemekre. A szenes minták esetében mindig a szénhamuból nyert adatokat vettük figyelembe.

### A pécs-vasasi minták geokémiai vizsgálata

#### Főelem-geokémia

Az  $\text{SiO}_2$  mennyisége természetesen a törmelékes üledékes meddőben a legnagyobb. Az eredeti kőzetlemezekben a nagy  $+\text{H}_2\text{O}$ -tartalom és az alacsony  $\text{SiO}_2$ -tartalom jelzi a kőszenes rétegeket. A főelemek tekintetében a leginkább szembetűnő a magas  $+\text{H}_2\text{O}$ -tartalom, amely ez esetben természetesen nem csak a 110 °C felett kiizzított vizet, hanem az elégett szerves anyag mennyiségét is magában foglalja. A mintákban az  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mennyisége az agyagosság mértékét is mutatja. A nagy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -koncentrációt mutató minták több agyagásványt hordoznak. A legtöbb minta vastartalma 6 m/m% alatt van, de egyes mintákban jelentős mennyiségű  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -ot is kimutattunk, egészen 54,3 m/m%-ig. A 10% feletti tartalmú minták általában a meddőt képviselik, de egy-két esetben kőszénhamuban is előfordult. A nagy vastartalom nem feltétlen piritkiválás eredménye, hiszen a S mennyisége messze elmarad ettől (max. 4,2 m/m%). A vas nagy része limonit-goethit formájában lehet jelen a mintákban. A kén mennyisége 13 mintában a kimutató határ alatt van, legnagyobb koncentrációját a meddőben mértük. A legnagyobb kén-tartalmú mecseki szenes minta a 006-os volt 2,08 m/m%-kal.

Az alkáliák közül a  $\text{Na}_2\text{O}$  többnyire kimutató határ alatt van, a  $\text{K}_2\text{O}$  viszont szinte minden mintában jól kimutatható mennyiségben van jelen. Ez azt mutatja, hogy a meddő és a szén igen kevés plagioklászttal tartalmaz, viszont a kálföldpát, és főleg a jelentősebb mennyiségű muszkovit (illit) jelenléte a viszonylag magas kálium- és a helyenként kifejezetten magas alumíniumkoncentráció miatt erősen valószínűsíthető.



8.21. ábra. A pécs-vasasi minták  $\text{TiO}_2$ -Nb diagramja

A  $\text{TiO}_2$ -tartalom a szemes agyagokban 1 m/m% körül van (0,94–1,21 m/m%), a kőszénben és a meddőben erősen változó, rendre 0,24–1,13 és 0,26–1,24 m/m% (8.21. ábra). A  $\text{TiO}_2$  dúsulása a földkéreg átlagához képest a szemes agyagokban 1,4–1,8-szoros, míg a kőszénben és a meddőben rendre 0,35–1,69, és 0,39–1,85-szörös. A szénhamuhoz képest valamivel kevesebb.

A karbonátok mennyiségét a  $\text{CO}_2$  mutatja. A legtöbb minta nem tartalmaz mérhető mennyiségű karbonátásványt, de néhány esetben kimutatható volt viszonylag nagyobb mennyiségű karbonát jelenléte. Karbonátot min-

dig a meddőben találtunk, a magasabb kalcium- és magnéziumtartalmú mintákban. A nagyobb karbonáttartalommal jellemezhető minták sok vasat is tartalmaznak, bár nem minden nagy vastartalmú minta karbonátos is egyben.

#### Nyomelemvizsgálatok

A nyomelemek közül a Hg AAS-sel, a Be, Ni, Sc, V, Zr, ICP-OES-sel, az Y+RFF, valamint a Zr, Nb, Ta, Hf, Th, U pedig ICP-MS-sel került elemzésre. Az elemzési eredmények lelőhelyi átlagait, illetve azok összehasonlítását a felső földkéreg átlagával (RUDNICK, GAO 2003) és a szénhamu világátlagával (KETRIS, YUDOVICH 2009) a 8.16. táblázatban közöljük.

A legnagyobb kén-tartalmú minta tartalmazza messze a legtöbb Hg-t (1,06 mg/kg). Ez valószínűleg nem véletlen, hiszen az USA-ban végzett elemzések tanúsága szerint a szénben kötött higany legjelentősebb része piritben található. Ezen kívül szerves higanyvegyületek, szulfidok és szelenidek, valamint elemi formában is előfordul. (TEWALT *et al.* 2001). A többi minta jelentősen kisebb Hg-koncentrációt mutat (0,055–0,325 mg/kg). Elemzéseink átlaga 0,22 mg/kg. Összehasonlításként a USGS összefoglalójában az Egyesült Államokban bányászott szenek átlagos Hg-tartalma 0,07–0,24 mg/kg között van (TEWALT *et al.* 2001).

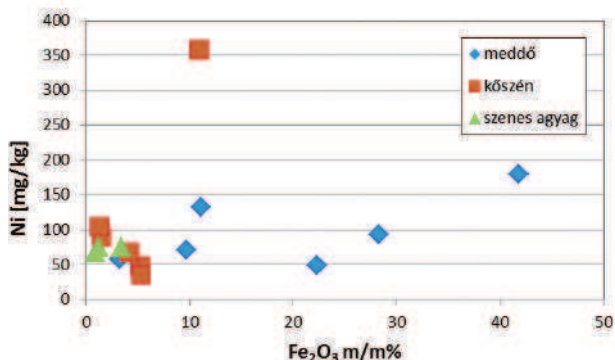
**8.16. táblázat.** A lelőhelyi átlagértékek és azok viszonya a felső földkéreg (RUDNICK, GAO 2003), illetve a szénhamu világtáblához (KETRIS, YUDOVICH 2009) képest

	Pécs-Vasas átlag (mg/kg)	Székvölgy átlag (mg/kg)	Felsőnyárád átlag (mg/kg)	Felső kéreg átlag mg/kg	Szénhamu világtáblag (mg/kg)	Pécs-Vasas dúsulás (a felső kéreg átlagára normálva)	Pécs-Vasas dúsulás (szénhamu világtáblagra normálva)	Székvölgy dúsulás (a felső kéreg átlagára normálva)	Székvölgy dúsulás (szénhamu világtáblagra normálva)	Felsőnyárád dúsulás (a felső kéreg átlagára normálva)	Felsőnyárád dúsulás (szénhamu világtáblagra normálva)
TiO <sub>2</sub>	7700,0	5900,0	3300,0	6700	7750	1,1	1,0	0,9	0,8	0,5	0,4
Hg	0,22	0,16	0,15	0,05	0,75	4,4	0,3	3,2	0,2	3,0	0,2
Be	10,5	3,3	3,4	2,1	9,4	5,0	1,1	1,6	0,4	1,6	0,4
Sc	19,0	13,5	12,9	14	23	1,4	0,8	1,0	0,6	0,9	0,6
V	200,3	108,1	106,8	97	155	2,1	1,3	1,1	0,7	1,1	0,7
Ni	100,5	63,2	74,3	47	76	2,1	1,3	1,3	0,8	1,6	1,0
Y	106,9	27,6	32,5	21	51	5,1	2,1	1,3	0,5	1,5	0,6
Zr	1216,1	124,4	131,7	193	210	6,3	5,8	0,6	0,6	0,7	0,6
Nb	206,9	17,2	19,8	12	20	17,2	10,3	1,4	0,9	1,6	1,0
La	153,7	41,4	36,0	31	69	5,0	2,2	1,3	0,6	1,2	0,5
Ce	288,1	87,3	77,8	63	130	4,6	2,2	1,4	0,7	1,2	0,6
Pr	29,4	9,6	8,3	7,1	20	4,1	1,5	1,4	0,5	1,2	0,4
Nd	92,3	35,6	31,3	27	67	3,4	1,4	1,3	0,5	1,2	0,5
Sm	14,6	7,2	6,6	4,7	13	3,1	1,1	1,5	0,6	1,4	0,5
Eu	1,8	1,4	1,4	1	2,5	1,8	0,7	1,4	0,6	1,4	0,6
Gd	14,3	5,9	5,8	4	16	3,6	0,9	1,5	0,4	1,4	0,4
Tb	2,8	1,0	1,0	0,7	2,1	4,0	1,3	1,4	0,5	1,4	0,5
Dy	17,8	5,4	5,6	3,9	14	4,6	1,3	1,4	0,4	1,4	0,4
Ho	3,9	1,1	1,2	0,83	4	4,7	1,0	1,3	0,3	1,4	0,3
Er	11,4	3,1	3,4	2,3	5,5	5,0	2,1	1,3	0,6	1,5	0,6
Tm	1,7	0,5	0,5	0,3	2	5,7	0,9	1,6	0,2	1,7	0,3
Yb	11,1	3,1	3,4	2	6,2	5,6	1,8	1,5	0,5	1,7	0,6
Lu	1,8	0,5	0,6	0,31	1,2	5,7	1,5	1,6	0,4	1,8	0,5
RFF+Y	751,7	230,9	215,4	169,14	403,5	4,4	1,9	1,4	0,6	1,3	0,5
Hf	24,3	3,6	3,7	5,3	8,3	4,6	2,9	0,7	0,4	0,7	0,4
Ta	10,7	1,6	1,5	0,9	1,7	11,9	6,3	1,8	0,9	1,7	0,9
Th	40,5	21,6	19,1	10,5	21	3,9	1,9	2,1	1,0	1,8	0,9
U	28,7	9,1	22,3	2,7	16	10,6	1,8	3,4	0,6	8,3	1,4

A mecseki szénhamuban a Be koncentrációja 2,2–25,4 mg/kg közé esik, a mérések átlaga: 10,52 mg/kg. Összehasonlításképpen a Be felső földkéregbeli átlagos koncentrációja RUDNICK, GAO (2003) szerint 2,1 mg/kg. (A nevezett szerzők szerinti felső földkéreg átlagadatait használjuk egész munkánk során összehasonlításként.) A bulgáriai lignitekben  $2,6 \pm 0,8$  mg/kg a barnaszénekben  $8,2 \pm 3,3$  mg/kg, a feketeszénekben  $3 \pm 1,2$  mg/kg az antracitokban pedig  $19 \pm 9$  mg/kg átlagos értékeket mértek (ESKENAZY 2006). Az összehasonlításból kitűnik, hogy a mecseki szénhamuban a felső kéreg átlagához és a bulgáriai szenekhez képest gyengén dúsul a Be, bár ezek az értékek az ipari hasznosításhoz szükségesektől messze elmaradnak. A Be esetében az USA-beli kitermelési határérték 0,6–1 m/m% Be-érték körül van a Utah állambeli

Topaz Spor-hegységben található külfejtéses bertrandit ( $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$ ) bányában (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/beryllium/myb1-2013-beryl.pdf>).

A nikkelfelső kéregbeli átlagos koncentrációja 47 mg/kg. A mintáinkban mért nikkelfelső mennyisége 7 minta esetében az alsó mérési határ, illetve a kimutatási határ alá esik. A többi mintában 35,8–358 mg/kg közötti értékeket mértünk. A mérések átlaga 100,5 mg/kg. A nikkeltartalom legkisebb és legnagyobb értékét a kőszénben veszi fel. A meddőben és a szenes agyagban a nikkelfelső- és a vastartalom között pozitív korreláció látszik, bár az elemzések száma kevés a határozott

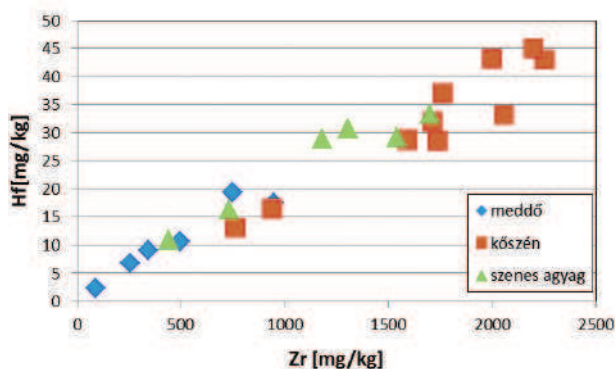


8.22. ábra. A Ni- és a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -tartalom közötti összefüggés a pécs-vasasi mintákban

széntelepekben. A felső határ már a hasznosíthatóságot súrolja, bár a Sc kereskedelme a világpiacra rendkívül kis mértékű.

A vanádium koncentrációja a vizsgált mintákban 60–479 mg/kg között van, ami a felső földkéreg átlagának 0,62–4,94-szerese. A vanádium felső földkéregbeli átlaga 97 mg/kg. A vanádium a szénben előforduló ásványokban (pl. muszkovit), illetve szerves kötésben is előfordul (LIU et al. 2016). Ez utóbbit mutatja, hogy a legnagyobb vanádiumkoncentrációkat kivétel nélkül a kőszén rétegekben mértük.

A cirkónium mennyisége 87,5 és 2250 mg/kg között változik, átlagosan 1216 mg/kg. A felső kéreg átlaga szerint a dúsulás 0,45–11,66-szoros, a szénhamu világátlagához képest pedig 0,42–10,71-szeres. Az átlagértéket tekintve a dúsulás 6,3, illetve 5,8-szoros. TÖRÖK szerk. (2014) a pécsi erőmű salakhányóiról vett minták elemzése során 617–803 mg/kg közötti értékeket mért, az elemzések átlaga 703 mg/kg. A 12 salakminta elemzési eredményei között nagyon kis különbség volt, ami azt mutatja, hogy a salakhányón vett minták viszonylag jó átlagmintának tekinthetők a nem illő elemek esetében. A hafnium mennyisége 2,32–45,1 mg/kg között van, átlagban 24,3 mg/kg, ami a felső kéreg átlagának 0,44–8,5, illetve a szénhamu világátlagának 0,28–5,4-szerese. A cirkónium és a hafnium szoros geokémiai rokonsága miatt egy kőzetben általában a cirkóniumot hordozó cirkon rejtje a hafniumot. A



8.23. ábra. A Zr- és a Hf-koncentráció összefüggése a pécs-vasasi mintákban

geokémiailag rokon, a kőzetekben többnyire a titánásványok hordozzák. A 8.21. ábrán azonban ez a korreláció a Ti és Nb között nem látszik, mint pl. a Zr és Hf esetében. Ennek magyarázata, hogy egyes alkálimagmás kőzetekben, vagy karbonátokban önálló ásványfázisban is előfordul a nióbbium és a tantál is. Ha olyan lepusztulási környezet volt a szén körül, akkor ezek a Nb- és Ta-ásványok is lepusztulhattak és a korrelációt rontják. Tovább ronthatja a korrelációt, hogy mind a Ti, mind pedig a Nb előfordulhat szerves kötésben is, különösen a Ti (SWAINE 1990).

A vizsgált hamuminták ritkaföldfém+itrium (RFF+Y)-tartalma viszonylag tág határok között mozog (211–1453 mg/kg). Ezek az értékek az elemcsoportra számolt felső földkéreg átlagához (169,14 mg/kg) képest minden mintában 1,25–8,59-szeres dúsulást mutatnak. A minták elemzési átlaga 752 mg/kg, ami nagyon közel áll a korábban elemzett pécsi erőmű salakjának átlagához, ami 665 mg/kg (TÖRÖK szerk. 2014). Az akkor elemzett 12 mintában az elemzések szórása természetesen jóval kisebb.

A tórium koncentrációja (13,4–75,7 mg/kg, átlagosan 40,5 mg/kg) minden esetben a felső kéreg átlaga fölött van, a dúsulás mértéke 1,27–7,2 közötti. A Th mennyisége a meddőben és a kőszénben egyaránt jó pozitív korrelációt mutat a

kijelentéshez (8.22. ábra). A Ni-koncentráció nagy szóródása azt mutathatja, hogy a kőszénben a Ni nem csak a vashoz kapcsolódva, hanem szerves kötésben is jelen lehet. Ezt számos tanulmány megerősíti (pl. HARVEY et al. 1983; SWAINE 1990).

A szkandium koncentrációja a mintákban 9,64–35,5 mg/kg-ig terjed, az átlag 18,95 mg/kg, ami kevéssel a felső földkéregbeli átlag (14 mg/kg) fölött van. A szénhamuban tapasztalt világátlag (KETRIS, YUDOVICH 2009) magasabb, 23 mg/kg. A szkandium mennyiségét észak-ázsiai szenekben vizsgálta ARBUZOV et al (2014) és eredményeiből azt a következtetést vonták le, hogy a Sc mennyisége a mellékkőzettől, az onnan való lehordástól függ. A Sc-koncentrációja igen tág határok között (9,5–150 mg/kg) változott a megvizsgált

széntelepekben. A felső határ már a hasznosíthatóságot súrolja, bár a Sc kereskedelme a világpiacra rendkívül kis mértékű. A vanádium koncentrációja a vizsgált mintákban 60–479 mg/kg között van, ami a felső földkéreg átlagának 0,62–4,94-szerese. A vanádium felső földkéregbeli átlaga 97 mg/kg. A vanádium a szénben előforduló ásványokban (pl. muszkovit), illetve szerves kötésben is előfordul (LIU et al. 2016). Ez utóbbit mutatja, hogy a legnagyobb vanádiumkoncentrációkat kivétel nélkül a kőszén rétegekben mértük. A cirkónium mennyisége 87,5 és 2250 mg/kg között változik, átlagosan 1216 mg/kg. A felső kéreg átlaga szerint a dúsulás 0,45–11,66-szoros, a szénhamu világátlagához képest pedig 0,42–10,71-szeres. Az átlagértéket tekintve a dúsulás 6,3, illetve 5,8-szoros. TÖRÖK szerk. (2014) a pécsi erőmű salakhányóiról vett minták elemzése során 617–803 mg/kg közötti értékeket mért, az elemzések átlaga 703 mg/kg. A 12 salakminta elemzési eredményei között nagyon kis különbség volt, ami azt mutatja, hogy a salakhányón vett minták viszonylag jó átlagmintának tekinthetők a nem illő elemek esetében. A hafnium mennyisége 2,32–45,1 mg/kg között van, átlagban 24,3 mg/kg, ami a felső kéreg átlagának 0,44–8,5, illetve a szénhamu világátlagának 0,28–5,4-szerese. A cirkónium és a hafnium szoros geokémiai rokonsága miatt egy kőzetben általában a cirkóniumot hordozó cirkon rejtje a hafniumot. A 8.23. ábra jól szemlélteti ezt az összefüggést, valamint azt, hogy egyik elem sem dúsul külön szerves formában a szénben.

A nióbbium mennyisége tág határok, 15–496 mg/kg között változik, átlagosan 207 mg/kg. Ezek az értékek meghaladják a felső kéreg átlagát és egy kivétellel a szénhamu világátlagát is (1,25–41, illetve 0,75–24,8). A tantál kisebb földkéregbeli gyakoriságának megfelelően egy nagyságrenddel kisebb mennyiségben fordul elő. Az elemzések eredményei 1,78 és 22,8 mg/kg közé esnek, melyek átlaga 10,74 mg/kg. Ezek minden esetben meghaladják a felső földkéreg átlagát és a szénhamu világátlagát is. A nióbbium és a tantál a titánnal

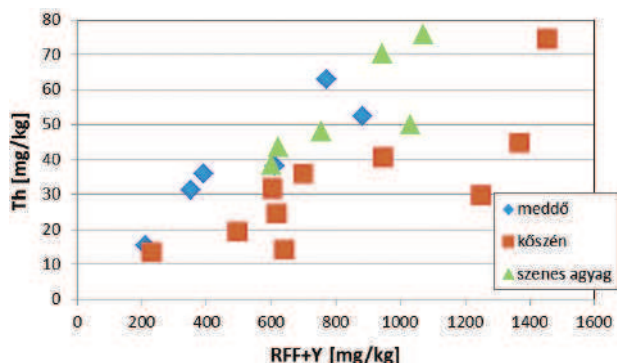
geokémiailag rokon, a kőzetekben többnyire a titánásványok hordozzák. A 8.21. ábrán azonban ez a korreláció a Ti és Nb között nem látszik, mint pl. a Zr és Hf esetében. Ennek magyarázata, hogy egyes alkálimagmás kőzetekben, vagy karbonátokban önálló ásványfázisban is előfordul a nióbbium és a tantál is. Ha olyan lepusztulási környezet volt a szén körül, akkor ezek a Nb- és Ta-ásványok is lepusztulhattak és a korrelációt rontják. Tovább ronthatja a korrelációt, hogy mind a Ti, mind pedig a Nb előfordulhat szerves kötésben is, különösen a Ti (SWAINE 1990).

A vizsgált hamuminták ritkaföldfém+itrium (RFF+Y)-tartalma viszonylag tág határok között mozog (211–1453 mg/kg). Ezek az értékek az elemcsoportra számolt felső földkéreg átlagához (169,14 mg/kg) képest minden mintában 1,25–8,59-szeres dúsulást mutatnak. A minták elemzési átlaga 752 mg/kg, ami nagyon közel áll a korábban elemzett pécsi erőmű salakjának átlagához, ami 665 mg/kg (TÖRÖK szerk. 2014). Az akkor elemzett 12 mintában az elemzések szórása természetesen jóval kisebb.

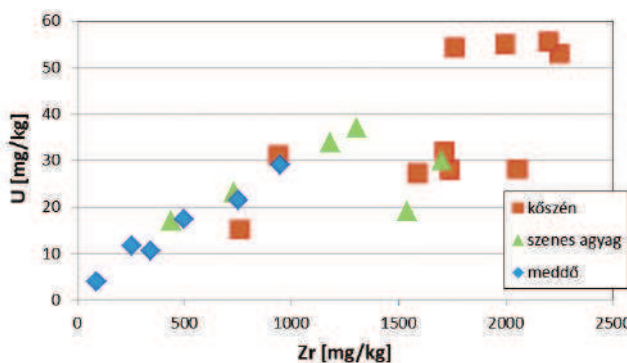
A tórium koncentrációja (13,4–75,7 mg/kg, átlagosan 40,5 mg/kg) minden esetben a felső kéreg átlaga fölött van, a dúsulás mértéke 1,27–7,2 közötti. A Th mennyisége a meddőben és a kőszénben egyaránt jó pozitív korrelációt mutat a

ritkaföldfémek+yttrium mennyiségével (8.24. ábra). Ez azt mutatja, hogy a tóriumot ugyanaz az ásvány hordozza, mint a ritkaföldfémeket. Ez az ásvány legnagyobb valószínűség szerint a monacit, mely mindig hordoz tóriumot is. A 8.24. ábrán látható diagram érdekessége, hogy a meddő és a szénésagyag-mintákban hasonló RFF+Y-tartalomra általában magasabb Th jut.

Az urán koncentrációja (3,82–55,6 mg/kg, átlagban 28,7 mg/kg) minden esetben meghaladja a felső kéreg átlagát 1,4–20,6-szorosan. A 8.25. ábrán a Zr és az U közötti összefüggést mutatjuk be, ugyanis a kőzetekben általában az U-t a cirkon rejti. Jól látszik a meddő és a szénésagyag, valamint a szén egy részén, hogy a Zr és az U között pozitív korreláció van, azaz nem történt utólagos U-dúsulás. A trendből alacsonyabb U-tartalommal kieső néhány minta két egységben található a rétegsorban egymástól távolabb.

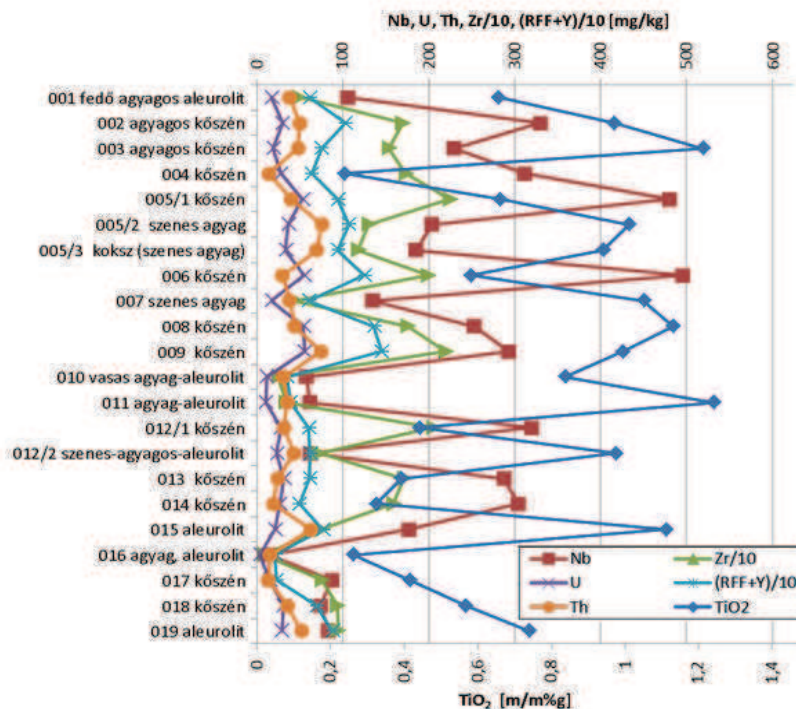


8.24. ábra. Az összes ritkaföldfém + ittrium (RFF+Y) és a Th koncentráció összefüggése a pécs-vasasi mintákban.



8.25. ábra. A Zr- és az U-koncentráció összefüggése a pécs-vasasi mintákban

A 8.26. ábrán a fontosabb nyomelemek változását mutatjuk a rétegsorban felülről lefelé. A cirkónium és a RFF+Y mennyiségét osztottuk 10-zel, hogy a kisebb mennyiségben levő nyomelemek változásait is szemléltetni tudjuk a diagramon. A rétegsorban meghatározott irányban nem látszanak trendszerű változások. Érdekesség azonban, hogy a Zr és a Nb mindig azonos irányban változnak. Korábban is rámutattunk, hogy az egymással geokémiaileg rokon Ti és Nb nem feltétlen mozognak együtt. Ebben a diagramban ez nagyon szépen látszik, hogy hol együtt mozognak, hol pedig egymással ellentétesen. Ahol együtt mozognak, ott valószínűleg valamilyen titánásvány rejti a Nb-ot, ahol nem, ott pedig jelentős mennyiség egyik, vagy mindkét elemből szerves kötésben lehet. A Th és RFF+Y kettős sem mindig mozog együtt, ami felveti annak lehetőségét, hogy valamelyik esetleg megkötődhet a szerves anyagon.

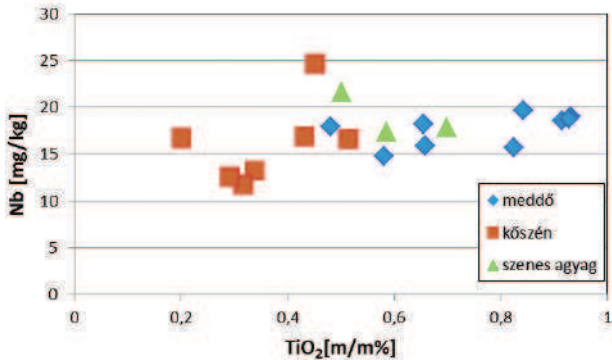


8.26. ábra. A legfontosabb nyomelemek változásai a pécs-vasasi külfejtésben mintázott rétegsorban. A minták számozása a rétegsor tetején kezdődik 001-gyel

## A kazár-széküvölgyi minták geokémiai vizsgálata

### Főelem-geokémia

A nagy  $+H_2O$ - és az alacsony  $SiO_2$ -tartalom jelzi egyes mintákban a szerves anyag jelenlétét, bár ez jelentősen a pécs-vasasi minták értékei alatt marad. A nagy  $Al_2O_3$ -koncentrációt mutató minták több agyagásványt tartalmazhatnak. A  $Fe_2O_3$ -tartalom viszonylag szűk tartományban változik (3,22–5,31 m/m%), a pécs-vasasi mintákkal ellentétben itt nem találunk



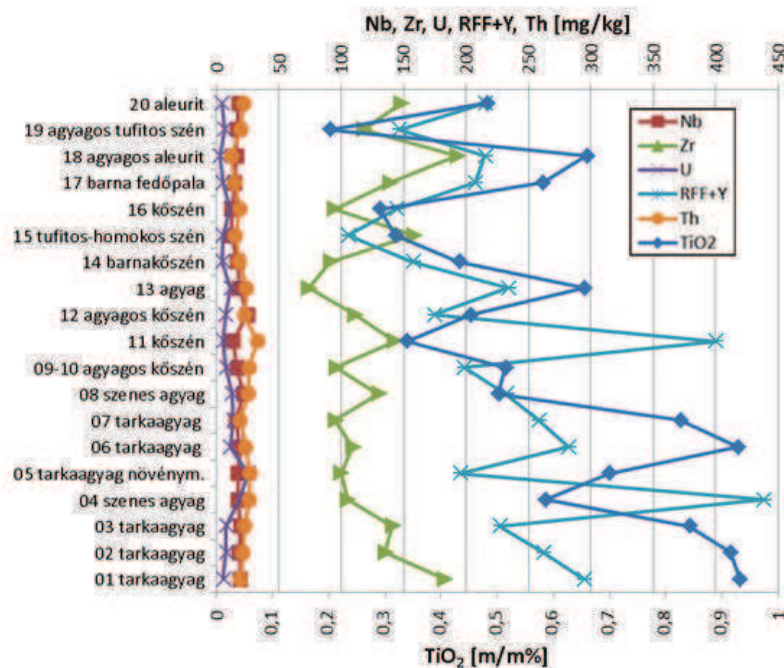
8.27. ábra. A  $TiO_2$ - és a Nb-tartalom összefüggése a kazár-széküvölgyi mintákban

2001). A felső földkéreg átlagát általában meghaladja (0,88–4,12-szeresen), viszont a szénhamuban tapasztalt világátlag (0,75 mg/kg) alatt marad.

Összességében a kazár-széküvölgyi mintákban mért nyomelem-koncentrációkról elmondható, hogy az átlagos értékek általában csak kevéssel haladják meg a felső földkéreg átlagát, kivétel a Th és az U (2,1-szeres és 3,4-szeres dúsulással). A szénhamu világátlagával számolva pedig egyik vizsgált elem átlagos dúsulása sem haladja meg az 1-et.

Mivel a nyomelemek koncentrációja lényegesen kevesebb, mint a pécs-vasasi mintákban és az átlagtól nem jelentősen eltérőek ezért ebben az esetben a részletes tárgyalástól eltekintünk. Az elemzések átlagértékeit a 8.16. táblázatban közzétük a felső kéregátlagokra és a szénhamu világátlagára normált értékekkel együtt.

A 8.28. ábrán a fontosabb nyomelemek változását mutatjuk a rétegsorban alulról felfelé. Ha összehasonlítjuk a diagramot a pécs-vasasi minták diagramjával, szembetűnő a Nb, Zr, RFF+Y jóval kisebb mennyisége. A Ti- és a RFF+Y-tartalom, bár erős kilengésekkel, de nagyvonalakban a rétegsorban alulról felfelé csökkenő trendet mutat. A cirkónium kisebb kilengésekkel tál alakú eloszlást mutat, azaz a rétegsor alján és tetején mutat nagyobb mennyiséget.

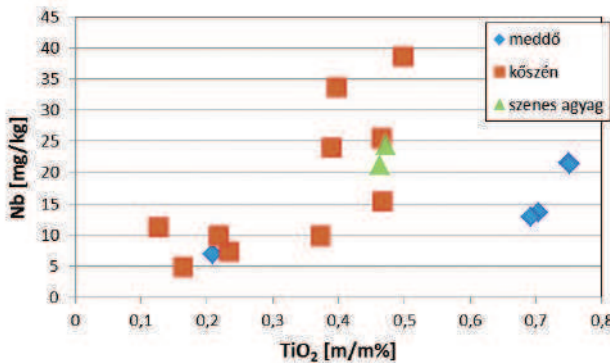
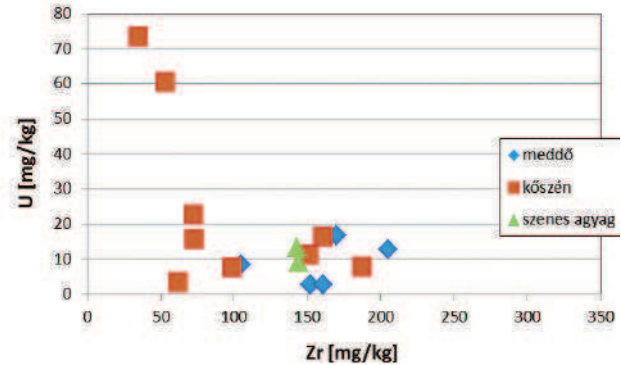


8.28. ábra. A legfontosabb nyomelemek változásai a kazár-széküvölgyi felhagyott külfejtésben mintázott rétegsorban. A minták számozása a rétegsor alján kezdődik 01-gyel

## A felsőnyárádi minták geokémiai vizsgálata

## Főelem-geokémia

A két fedő, egy fekü és két közkő minta kivételével jelentős széntartalmú mintákat elemeztünk a felsőnyárádi külszíni fejtésből. A jelentős széntartalmat a nagy  $+H_2O$ - és az alacsony  $SiO_2$ -tartalom mutatja. Az alumínium koncentrációja erősen változó, a kálium mennyisége viszont jóval kevesebb, mint a székelyvári mintákban. Ez azt mutathatja, hogy a törmeléken üledékes meddő és a szénese rétegek kevesebb muszkovitot és illitet tartalmazhatnak. A két meddő fedő minta magas  $CaO$ -,  $MgO$ - és  $CO_2$ -koncentrációja a minták jelentős karbonáttartalmára mutat. Ebben a csoportban találhatóak a legmagasabb kénkoncentrációval jellemezhető minták (maximálisan 10,8 m/m%  $SO_3$ -ban kifejezve).

8.29. ábra. A  $TiO_2$ - és Nb-tartalom összefüggése a felsőnyárádi mintákban

8.30. ábra. A Zr- és az U-koncentráció összefüggése a felsőnyárádi mintákban

A  $TiO_2$  mennyisége a mintákban 0,13–0,75 m/m% között változik. A legnagyobb értékeket a meddőben mértük, a legkisebbeket a szénese rétegekben (8.29. ábra).

## Nyomelem-geokémia

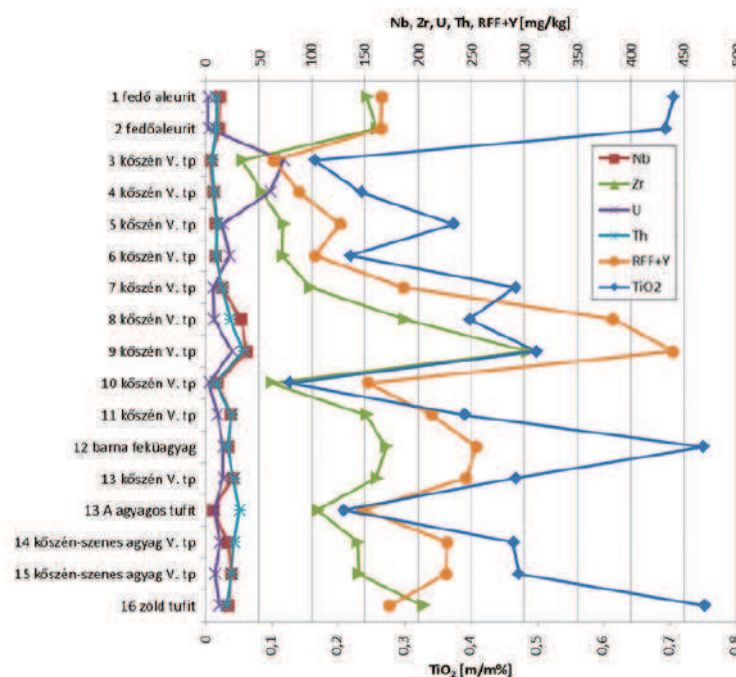
A Hg koncentrációja 0,079 és 0,361 közé esik, ami egy kicsit nagyobb, mint a székelyvári mintákban, azonban az átlagértékek hasonlóak. A felső földkéreg átlagát minden esetben meghaladja (1,58–7,22-szeresen).

A nyomelemek átlagértékei nagyon hasonlítanak a székelyvári átlagokra, azaz a legtöbb elem átlaga kevéssel a felsőkéreg átlaga fölött és az urán kivételével mindegyik elem átlaga a szénhamu világátlag alatt van.

Érdekesség, hogy két felsőnyárádi szénmintában mértük a legnagyobb uránkonzentrációt, 60,4 és 73,5 mg/kg-ot. A 8.30. ábra jól szemlélteti, hogy a minták urántartalma nagyrészt pozitív korrelációt mutat a Zr-mal, de két kis Zr-tartalmú kőszénmintában anomálishan feldúsul az urán. Minden valószínűség szerint utólagos fluidumokból a szerves anyag redukáló hatása miatt lokálisan kivált uránról lehet szó. Ez a dúsulás az V. telep tetejéről vett két kőszénmintát jellemzi.

Mivel a nyomelemek koncentrációja ebben az esetben is lényegesen kisebb, mint a pécs-vasasi mintákban és az átlagtól nem jelentősen eltérőek ezért itt a részletes tárgyalástól eltekintünk. Az elemzések átlagértékeit a 8.16. táblázatban közöltük a felső-kéreg-átlagokra és a szénhamu világátlagaira normált értékekkel együtt.

A rétegoszlopban fentről lefelé haladva a  $TiO_2$  legnagyobb értékeit a fedőben a feküben és az egyik közkőrétegben éri el (8.31. ábra). Az U az V. telep legfelső részén mutatja a maximumot és egy kisebb helyi maximumot mutat ott, ahol a legnagyobb RFF+Y-, Nb- és Zr-értékeket mértük egy kőszénrétegben a rétegsor közepe táján. A fekü zöld tufit kivé-



8.31. ábra. A legfontosabb nyomelemek változásai a felsőnyárádi külfejtésben mintázott rétegsorban. A minták számozása a rétegsor tetején kezdődik 1-gyel

telével a Zr és a ritkaföldfémek hasonló lefutást mutatnak. Ehhez a lefutáshoz többé-kevésbé csatlakozik a Nb és a Th is.

### *A szénhamu-vizsgálatok eredményei nemzetközi összehasonlításban*

Fontos megjegyeznünk, hogy a kutatás keretében elvégzett elemzésekből messzemenő következtetések nem vonhatók le azok kis száma miatt. Az viszont mindenképpen megjegyzendő, hogy főleg a mecseki szénekben a Ti és Zr mennyisége a leginkább figyelemre méltó, de mindenképpen további kutatásokra érdemes dúsulásokat tapasztaltunk Nb, Ta és a RFF+Y esetében is. A másik két lelőhelyen nem jelölhető ki olyan nyomelem, amely jelentősebb dúsulást mutatna és potenciálisan kitermelhető lenne.

Az iparban használatos Ti és Zr nagy részét nehézasványos homokokból termelik. Az összehasonlítás kedvéért néhány lelőhely nehézasványadataiból hozzávetőlegesen kiszámoltuk, hogy az ott alkalmazott 1% nehézasvány cutoff mellett a kimutatott homokkészletek milyen Ti- és Zr-tartalmat mutattak.

Iluka, Eucla-medence: a homokban átlagosan 3,9% nehézasvány van. A 3,9% nehézasványnak 27%-a ilmenit ( $0,526\% \text{ TiO}_2$ ), 50%-a cirkon ( $0,975\% \text{ Zr}$ ), és 4%-a rutil ( $0,156\% \text{ TiO}_2$ ), azaz összesen  $0,68 \text{ m/m}\%$   $\text{TiO}_2$  és  $0,975 \text{ m/m}\%$   $\text{Zr}$ . Iluka, Perth-medence: a homokban átlagosan 6,5% nehézasvány van, melynek 60%-a ilmenit, 9%-a cirkon, 4%-a rutil. Ez kb.  $2,3 \text{ m/m}\%$   $\text{TiO}_2$ -t és  $0,29 \text{ m/m}\%$   $\text{Zr}$ -t jelent. Iluka, Atlantic seaboard A homokban átlagosan 5,1% nehézasványt mutattak ki, melynek 47%-a ilmenit, 26%-a cirkon, és 4%-a rutil, ami  $1,5 \text{ m/m}\%$   $\text{TiO}_2$ - és  $0,663 \text{ m/m}\%$   $\text{Zr}$ -tartalmat jelent. <http://iluka.com/docs/default-source/asx-releases/updated-mineral-resource-ore-reserve-statement.pdf?sfvrsn=4>

Astron Ltd. Ausztrália Jackson Deposit: 4,8% nehézasvány (cutoff 1%), A nehézasványok 19%-a cirkon, 9%-a rutil, 32%-a ilmenit, 17%-a leukoxén, amely összesen kb.  $1,8 \text{ m/m}\%$   $\text{TiO}_2$ - és  $0,46 \text{ m/m}\%$   $\text{Zr}$ -koncentrációt jelent az egész homokra nézve. Astron Ltd. Ausztrália Donald Deposit: 4,9% nehézasványt tartalmaz a homok, ennek 18%-a cirkon, 8%-a rutil, 32%-a ilmenit, és 19%-a leukoxén, amely összesen kb.  $1,9 \text{ m/m}\%$   $\text{TiO}_2$ -nak és  $0,44\%$   $\text{Zr}$ -nak felel meg. <http://www.astronlimited.com.au/getattachment/0a0baa31-84f5-47b7-bfcd-fd69788f2f99/Donald-Mineral-Sands-Project-Resource-Update-April.aspx>

Bár ezek az értékek mind meghaladják a poécs-vasasi szénben mért átlagokat, de fontos szem előtt tartanunk, hogy az általunk példának hozott lelőhelyeken a Ti és Zr önmagában gazdaságosan kitermelhető. A Ti-hoz és a Zr-hoz hasonlóan a Nb, Ta és a ritkaföldfémekre is hozunk az összehasonlítás kedvéért ipari vágási határadatokat. POHL (2011) alapján a Ta vágási határértékei általában minimum 300–1000 mg/kg körül vannak, de többesemes értelepeknél ennél némileg alacsonyabbat is alkalmazhatnak. Ahol oxidos formában adták meg a vágási határt, ott átszámoltuk elemi formába, hogy összehasonlíthatók legyenek az adatok a tanulmányban közöltekkel.

Az Elk Creek Nb–RFF lelőhelyen Nebraskában, melyet a Quantum Rare Earth Developments Corp. kutat, a készleteket  $0,4 \text{ m/m}\%$   $\text{Nb}_2\text{O}_5$  vágási határon számolták (ez  $0,28 \text{ m/m}\%$ , azaz 2800 mg/kg Nb), melyben a  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ -tartalom  $0,63 \text{ m/m}\%$  (Nb-ra számolva  $0,44 \text{ m/m}\%$ , azaz 4400 mg/kg) (<https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/niobium/myb1-2011-niobi.pdf>, <http://niocorp.com/index.php/elkcreekniobium>).

A Lynas Corporation Ltd. éves jelentése alapján a Mount Weld Nb–Ta–RFF+Y–P–Ti-ércesedés esetében a következő vágási határértékeket alkalmazták az egyes oxidokra (oxidsoportokra):  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ : 240–370 mg/kg (Ta: 197–303 mg/kg),  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ : 1,06–1,4 m/m% (Nb: 0,74–0,98 m/m%); összes RFF-oxid: 1,14–1,65 m/m% (kb. 0,99–1,4 m/m% RFF),  $\text{ZrO}_2$ : 0,3–0,32 m/m% (0,22–0,23 m/m% Zr), (<https://www.lynascorp.com/PublishingImages/Pages/Mt-Weld-Resources-and-Reserves/ASX%20Announcement%20-%20Ore%20Reserves%20and%20Resources%20FINAL%20051015.pdf>).

Ausztrália, Toongi Nb-lelőhely, 20 kilométerre délre Dubbo városától, New South Wales (NSW) államban. A számolt készletek  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ -tartalma  $0,46 \text{ m/m}\%$ , azaz  $0,322 \text{ m/m}\%$  Nb. Ugyancsak Ausztráliában a Brockman-Hastings lelőhely több elemre, JORC Code szerint meghatározott készleteiben 0,89%  $\text{ZrO}_2$ -, 0,36%  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ -, 0,018%  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ -tartalom található. ( $0,65 \text{ m/m}\%$  Zr,  $0,252 \text{ m/m}\%$  Nb,  $0,015 \text{ m/m}\%$  Ta)  $1500 \text{ mg/kg}$   $\text{Nb}_2\text{O}_5$  ( $1050 \text{ mg/kg}$  Nb) vágási határ mellett (<http://www.ga.gov.au/data-pubs/data-and-publications-search/publications/aimr/niobium#heading-1>).

A fentiekben közölt vágási határértékektől a tanulmányban közölt koncentrációadatok a Nb, Ta, és a ritkaföldfémek esetében egy, vagy két nagyságrenddel elmaradnak, de ha a dúsult elemek közül több is leválasztható ugyanazzal a technológiával, akkor már esetleg komolyabb hozzáadott értéket képviselhetnek. Ehhez a további kutatások során meg kell határozni, hogy a nagyobb dúsulásban előforduló elemek a szerves anyaghoz, vagy esetleg nehézasványokhoz kötődnek-e. Fontos lenne továbbá a lehetséges leválasztási technológiák és az azok által biztosított kitermelési százalékok meghatározása is.

Az itt közölt eredmények nem extrapolálhatóak a többi szénmedencére. Javasolható tehát az eredmények ismeretében, hogy hasonló vizsgálatok készüljenek az ország szenes meddőire és az erőművi salakokrara, hogy biztonsággal meg tudjuk határozni a potenciális nyomelemek körét egy-egy szénmedencére.

### A szenek kritikuselem-tartalmának kutatási perspektívái

A hazai szénterületek közül az archív adatokat két képződménycsoportra vizsgálatuk: A kelet-mecseki jura korú feketekőszenes összletre és a Borsodi-medence miocén korú barnaszénttartalmú képződménysorára. Emellett a tanulmány bemutatja a projekt során nyert új eredményeket a három kiválasztott széntelepes összletekből: Pécs-Vasas külfejtés VI. telepcsoport; Kazár-Székvölgy felhagyott külfejtés III. telep és II. telepnym; Felsőnyárad külfejtés V. telep, valamint annak fedője és fekéje. Fontos megjegyeznünk, hogy a jelen kutatás keretében elvégzett elemzésekben messzemenő következtetések nem vonhatók le azok kis száma miatt, illetve azért, mert a laterális változások vizsgálatára ezekből nem volt lehetőség.

A szenes összletekhez kötött ritkaelemek hazai kutatásának története az 1950-es évekre nyúlik vissza. Kiterjedt kutatások folytak az 1960-as és 1970-es években a mecseki és borsodi medencékben a germániumtartalom eloszlásának vizsgálatára. A mai követelményeknek is megfelelő analitikai érzékenységgű, kisszámú elemzés először az 1980-as évek közepén, majd több kisebb mintázási szakaszban született.

A történeti adatsorokhoz tartozó mintavételek és kémiai elemzések igen változó módszerekkel történtek, az egyes adatsorok közötti részletes összehasonlításra nem alkalmasak. A megbízható elemzések száma nagyon kevés, kis kiterjedésű részterületekre szorítkoznak.

A mecseki kőszenes összlet képződményeiben számos ritkaelem dúsulását a korábbi vizsgálatok már kimutatták. A mecseki kőszén értékes ritkaelem-tartalma a Be, Hf, Nb, Ta, Zr és ritka földfémek különböző arányú feldúsulásaiént jelentkezik. Ezek közül a  $\text{TiO}_2$  és a Zr kimutatott koncentrációi érik el a tizedszázalékos tartományt.

Az archív, de modern módszerekkel készült elemzések többsége sem készült a nagy szervesanyag-tartalmú kőzetek vizsgálatára legalkalmasabb módszerekkel. Jelenleg is fennálló probléma még a Ge és a Ga elemzési megbízhatóságának biztosítása. A jelen projekt keretében elvégzendő Ge-mérések az előkészítési eljárás összetettsége miatt még nem állnak rendelkezésre.

Területi eloszlásban a Keleti-Mecsekben a korábbi vélemények szerint az Északi-pikkely, illetve a medence északi peremének területe (Komló, Máza, Váralja) ritkaföldfém-potenciál szempontból jelentősebb, mint a déli területrészek (Pécs, Vasas, Hosszúhetény). A mi értékelésünkhöz felhasznált modern adatokból markáns különbség nem szűrhető le a két részterület között.

A Borsodi-medence képződményeiről nagyságrenddel kevesebb archív adat van. Ezek alapján a képződményekben a Ge jelentkezik potenciálisan hasznosítható ritkaelemként. A területi eloszlás szerint Kondó, a Tervtáró, Sajókaza és Szuhakálló-Szeles-akna terület jelölhető ki lehetséges vizsgálati célnak. A jelen projekt keretében végzett elemzések is azt mutatják, hogy a nógrádi és borsodi két lelőhelyen nem jelölhető ki olyan nyomelem, amely jelentősebb dúsulást mutatna és potenciálisan kitermelhető lenne. A germániumtartalomra vonatkozó adatokkal egyelőre innen sem rendelkezünk.

A szenes összletekhez kötődő ritkaelem-tartalom gazdaságossági vizsgálatánál fontos szempont, hogy ezek az elemek – akár közvetlenül a szénhez, akár a szénmeddőhöz kötődve – melléktermékként kerülnének kitermelésre, így hozzáadott értékükkel növelhetik a kitermelésre kerülő szén értékét. A gazdaságosság szempontjából az archív adatsorok közül mintaterületként a mecseki Karolina- külfejtés mutatkozott a legjobbnak.

Jelen projekt eddigi eredményei a mecseki kőszenes összlet esetében részben megerősítették a korábbi kutatások eredményeit a következő kritikus elemekre nézve: Hf, Nb, Ta, Zr és ritkaföldfémek. Tekintettel az EU nyersanyag-stratégiájára és a ritkafémkeresletben látható globális jövőbeli trendekre, a hazai kőszénösszletek ritkafém-potenciáljának továbbkutatását mindenképp javasoljuk. Ezeket két irányban célszerű tervezni: (1) További mintázással és mérésekkel, melyek kiterjednek a meddő kőzettípusok, az erőművi salak és pernye részletes vizsgálatára is, és; (2) A perspektivikusnak minősített elemek kinyerhetőségének vizsgálatával.



MAKÁDI MARIANNA

## A szénbányászati meddő hasznosításának gazdasági indokai

A bányászati meddők a bányászati tevékenység melléktermékének tekinthetők, ugyanakkor tartalmazhatnak olyan anyagokat, összetevőket, melyek más területen még hasznosíthatók lehetnek. Az addig csak hulladéknak tekintett anyag értékesítésével egyrészt javítható a rentabilitás, másrészt környezetvédelmi szempontból kedvező lehet e hulladék hasznosítása.

Az ezirányú tevékenység megfelel az Európai Unió körkörös gazdálkodási irányelvének is, mely részleteiben az Európai Bizottság COM(2015) 614 számú rendeletében található meg. A rendelet célja, hogy a termékek, alapanyagok és erőforrások felhasználása során a hulladékok mennyisége minimálisra csökkenjen és ezáltal a körkörös gazdálkodás hozzájáruljon a fenntartható, karbonszegény, erőforrás-hatékony és versenyképes gazdaság kialakításához.

Ebbe a folyamatba illeszthető a szénbányászati meddők mezőgazdasági hasznosítási lehetőségeinek feltárása, a hasznosítás lehetőségeinek gazdaságossági és környezetvédelmi szempontú elemzése is. A mezőgazdasági gyakorlatban elsősorban a lignit felhasználási lehetőségeivel kapcsolatban vannak eredmények, tapasztalatok, az alábbiakban főként ezeket mutatjuk be. A Borsodi-medence és a Mecsek jelenleg vizsgálat alatt álló meddő anyagainak felhasználásánál hasonló hatások várhatók, a vizsgálatot az indokolja, hogy meddők eltérő szervesanyag- és agyagásvány-tartalma miatt meddónként eltérő intenzitással számolhatunk.

## A lignit talajjavító anyagként történő hasznosítása

A talajjavító anyagok a talajok kedvezőtlen tulajdonságainak megváltoztatására, illetve a kedvező tulajdonságok fenntartására szolgáló, iparilag előállított anyagok. Részben ebbe a körbe sorolhatók a bányászati melléktermékek, de több közülük ásványi trágyaként vagy talajkondicionáló anyagként is használható. A lignit, illetve a lignites meddő elsősorban talajjavító anyagként hasznosítható magas szervesanyag-tartalma és esetenként jelentős  $\text{CaCO}_3$ -tartalma miatt, de a meddőben felhalmozott 15–20% agyagtartalom is kedvező hatású a kolloidszegény homoktalajokra. A meddőhányók a talajra/környezetre veszélyes anyagokat is tartalmazhatnak, ide tartozik pl. a magas kéntartalom.

Talajjavító anyagként többféle talaj tulajdonságaira gyakorolhat hatást. Növeli a talaj szervesanyag-tartalmát, mivel nagy mennyiségben tartalmaz a talajok termékenysége szempontjából is fontos humusz- és fulvosavakat, melyek jelenlétükkel hozzájárulnak a talajt érő környezeti stresszhatások, pl. a nehézfémterhelés káros hatásainak csökkentéséhez. Talajba keverve növeli a talaj kationcsere-kapacitását, befolyásolja a növényi tápanyagok hasznosulását, az elemek geokémiai körforgását, sós/szikes talajokon csökkenti a sóstressz mértékét.

E folyamatok erősen köthetők a szervesanyag-tartalomhoz, ezért a lignites meddő felhasználása elsősorban a könnyű mechanikai összetételű homoktalajokon ajánlható. Talajjavítóanyagként felhasználható őrleményként, ebben az esetben a lignit szemcseméretének csökkenésével a részecskék fajlagos felülete egyre nő (CHABBI et al. 2006), ami növeli az adszorpciós folyamatok intenzitását. Emellett a lignitből különböző feldolgozott anyagok is készíthetők.

## A lignit hasznosítása őrleményként

A lignit szervesanyagának minősége a lignit korától függ, mely a lignit szén/nitrogén (C/N) arányát is meghatározza. A C/N-arány nagyon fontos tényezője a mikrobiológiai bonthatóságnak. Minél fiatalabb korú a lignit, azaz a szénülési folyamatnak minél inkább az elején tart, annál kisebb a C/N-aránya. A 40–50 C/N-arányú lignitek általában fiatal képződmények (<15 millió év), a szénülési folyamat elején tartanak, ezért a mikrobák számára jól bonthatók (CHABBI et al. 2006). Ez a bontás azonban

mindig hosszabb időt vesz igénybe, mint a friss növényi maradványok bontása, mert bár a lignit növényi eredetű anyag, de a szénülés folyamata során nehezen bontható, pl. aromás szerkezetű komponensek épülnek fel benne.

A lignit mikrobiális degradációjának első lépése a kis molekulású szerves anyag képződése, aminek egy részét maguk a lebontást végző mikrobák is hasznosítják szénforrásként. Egy 16 millió éves, 60 C/N-arányú lignit mineralizációs rátája 150 nap inkubáció után redukzív körülmények között  $6,5 \mu\text{g lignit CO}_2\text{-C/nap/g lignit-C}$ , míg oxidatív körülmények között  $33 \mu\text{g lignit CO}_2\text{-C/nap/g lignit-C}$  volt (CHABBI et al. 2006). Vagyis egy helyesen művelt, nem tömődött, jól szellőző talajban a lebontása nem gátolt. Lignitet és friss szerves anyagot tartalmazó erdőtalajban végzett dekompozíciós kísérletekben RUMPEL, KÖGEL-KNABNER (2002) megállapították, hogy a lignit jelentősége mint a mikrobák szénforrása az idő előrehaladtával egyre csökkent. A lignitkezelés hatására általában nőtt a talajok alifás és aromás szénvegyületeinek mennyisége (KWIATKOWSKA et al. 2008), köztük elsősorban a karboxil-C és a fenolos-C vegyületek (FETTWEIS et al. 2005).

A szénülés késői fázisában lévő, tág (94) C/N-arányú lignittel kezelt talajban nem nőtt a C-mineralizáció mértéke (ROBERTSON, MORGAN 1995). A lignit erősen szénült szerves anyagának mikrobiális bontásához szükség van könnyen bontható szerves anyag jelenlétére a talajban (kometabolizáció) (WILLMANN, FAKOUSSA 1997). A részecskemérettel kapcsolatban megállapítható, hogy minél kisebb méretű frakciót keverünk a talajba, a lignit / lignites meddő szervesanyag-tartalmának bomlása annál gyorsabban megy végbe.

Fontos kérdés a lignit hatása a talaj kationcsere-kapacitására. A kationcsere-kapacitás (CEC) megadja, hogy adott tömegű talaj vagy egyéb anyag meghatározott pH-n mennyi kationt tud megkötni kicserélhető formában, Coulomb-erővel. A lignit kationcsere-kapacitása  $20\text{--}70 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  (WONG et al. 1996), ami magasabb érték, mint a bioszén átlagosan  $20\text{--}35 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  értéke (GUNDALE, DELUCA 2007). A talajok kationcsere-kapacitása a talajkolloidokhoz (agyagfrakció és a szervesanyagok) kapcsolódó tulajdonság: a kolloidok felszínének negatív töltéshelyei elsősorban pozitív töltésű kationokat,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$  és  $\text{H}_3\text{O}^+$  ionokat adszorbeálnak. Az adszorbeált kationok minősége hat a talajszervezetre is, ezért pl. várhatóan a meddő  $\text{CaCO}_3$ -tartalma is kedvezően befolyásolja a talaj szerkezetét. A homok textúrájú talajok kationcsere-kapacitása általában  $5 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  alatt van, míg az agyag textúrájú talajoknál ez az érték  $30 \text{ cmol}^+/\text{kg}$  fölötti. Az értékekből látható, hogy a homoktalajok ezen tulajdonsága mindenképpen javításra szorul, a lignit / lignites bányameddő talajba keverése ennek a paraméternek a javulását is biztosítja.

A lignit a műtrágyák hasznosulását is befolyásolja. Kukorica kultúrában N-műtrágyával (urea) együtt adagolva a lignitet, a kontroll N-szükségletéhez képest savanyú talajon  $10\text{--}20\%$ -kal, lúgos kémhatású talajon  $30\text{--}50\%$ -kal kevesebb N-re volt szükség a kontrollkukorica termésmennyiségének eléréséhez (VAN VUUREN, CLAASSENS, 2009).

A talaj szerves és ásványi kolloidjai alkalmasak a toxikus nehézfémek megkötésére, csökkentve azok felvehetőségét. A humuszsavak elsősorban a 2 és 3 vegyértékű fémionokkal képeznek kelátkomplexet (CSATHÓ 1994). A lignit humin- és fulvosav-tartalma alkalmas a toxikus elemek immobilizációjára adszorpcióval vagy komplexképzéssel (VADÁSZ 1997). A bányameddő  $\text{CaCO}_3$ -tartalma és 7 fölötti pH-ja a kémhatás növelésével csökkenti a toxikus elemek oldhatóságát, ezáltal a felvehetőségét.

Magas sótartalmú talajokon a sóstressz mértékének csökkentésére alkalmasnak találták a lignitkezelést tenyészedényes kísérletben, NaCl-dal beállított különböző sókoncentrációk esetében. FARHANGI-ABRIZ, NIKPOUR-RAHIDABAD (2017) eredményei szerint iszapos vályog fizikai féleségű,  $6,8 \text{ pH}$ -jú talajhoz  $0, 50, 75$  és  $100 \text{ g lignit/kg}$  talajmennyiségben adott lignit esetében a növényekben a sókoncentráció növekedése okozta magasabb  $\text{Na}^+$  koncentrációt a  $75$  és  $100 \text{ g/kg}$  kezelések csökkentették, míg a csökkenő  $\text{K}^+$  koncentrációt növelték, ezáltal a sejtek kedvezőbb  $\text{K}^+/\text{Na}^+$  arányát eredményezték a szója teszt növényben. Emellett emelték a sós talajokon a növényi sejtek  $\text{Ca}^{2+}$ - és  $\text{Mg}^{2+}$ -ion tartalmát is. A lignitkezelés hatására mindhárom sókoncentrációjú talaj kémhatása néhány tized pH-egységgel nőtt a kontrollhoz képest, valamint a sós talajok kationcsere-kapacitása is nőtt a lignitkezelések hatására.

Szikes talajon a lignitpor ( $1,7 \text{ t/ha}$ ) hatását a szikesek általánosan elterjedt javítóanyagának, a gipsznek a hatásához hasonlítva kiderült, hogy bár a talaj kémiai tulajdonságait a gipsz hatásosabban javította, viszont a teszt növények fejlődésére kedvezőbb hatású volt a lignitpor, valószínűleg a huminsavtartalma miatt (HERKE, HARMATI 1965).

### *A lignit felhasználása feldolgozott anyagként*

A lignit nem csak eredeti formájában használható talajjavítóanyagként. A lignit hamu is alkalmas a degradált talajok javítására (MACIEJEWSKA, KWIATKOWSKA 1998). Talajhoz adva csökkenti a talaj hidrolitos aciditását és kicserélhető alumíniumion tartalmát, növeli az adszorpció kapacitást, a szerves széntartalmat. A lignithamu is csak nehezen bontható a talaj mikrobaközössége számára. Ezt bizonyítja, hogy míg a biogén eredetű szerves anyag maximum 50 év alatt teljesen elbomlik, addig a pirolízissel létrehozott szerves anyag tartózkodási ideje jóval hosszabb (SCHMIDT et al. 2011).

A lignitből készülő termékek másik vonala, amikor a lignit huminsavtartalmát vonják ki, melynek pozitív hatását már igazolták magas sótartalmú talajon (FONG et al. 2006), trópusi talajokon (TAHIRE et al. 2011), hidropóniás termesztésben (SHAFEEK et al. 2014). Tenyészedényben, vályogos homok és iszap fizikai féleségű talajokon  $6,2 \text{ g}$  és  $12,4 \text{ g}$  huminsavat adva  $5 \text{ kg}$  talajhoz, mindkét dózis kedvezően befolyásolta a kationok, a szerves széntartalom és a dehidrogenáz aktivitását. Mindez a kedvező hatás a kezelés idejétől 3 évig folyamatosan mérhető volt (CIARKOWSKA et al. 2007).

### A kihelyezésre javasolt talajok mechanikai összetétele, javítandó tulajdonságai

Magyarország területe talajtani szempontból nagyon változatos. Ennek előnye, hogy a mezőgazdasági termelés diverzifikált, sokszínű, hátránya azonban, hogy elsősorban a növénytermesztés számára gyengébb minőségű talajok is találhatóak az ország területén. Magyarország kedvező földrajzi helyzetét jelzi, hogy az ország teljes területének (9,3 millió ha) majdnem 90%-a alkalmas termőterületnek. Termőterületeink talajai általában szennyezőanyagoktól mentesek, így jó minőségű, egészséges növények előállítására alkalmasak. A termőterület, ezen belül mind a mezőgazdasági terület, mind a szántóterület mérete azonban 1990 óta folyamatosan csökken (9.1. táblázat). A termőterületen belül a mezőgazdasági terület részaránya is folyamatosan csökken, 2017-ben 72,6% volt, szemben az 1990-ben mért 78,6%-kal. Ez a 6%-nyi csökkenés 558 000 ha terület kiesését jelenti a mezőgazdasági termelés alól.

A talajok multifunkcionalitását, ezáltal a termékenységét, több tényező veszélyezteti, melyek a következők (VÁRALLYAY 2004):

- *nagy homoktartalom*: Magyarország összterületének 8,0%-a. Ennek következménye a kis ásványi- és szerveskolloid-tartalom, aminek következtében rossz a talajok vízháztartása, érzékenyek a savanyodásra, a szél- és vízerózióra, valamint gyenge a tápanyagszolgáltató képességük;

- *savanyú kémhatás*: Magyarország összterületének 12,8%-a. Következménye az alumíniumtoxicitás fellépése, gyenge tápanyagszolgáltató képesség a tápanyagfixáció és immobilizáció nem megfelelő volta miatt,

- *szikesedés a talaj felső, illetve mélyebb rétegeiben*: Magyarország összterületének 8,1 és 2,6%-a. Elsődleges következménye a szélsőséges vízgazdálkodás, ami további kedvezőtlen változásokat idéz elő,

- *nagy agyagtartalom*: Magyarország összterületének 6,8%-a. Ebben az esetben is szélsőségesé válik a talajok vízgazdálkodása,

- *lápodosódás, mocsarasodás, időszakos felszíni vízborítás*: Magyarország összterületének 1,7%-a,

- *víz- és szélérozió*: Magyarország összterületének 15,6%-a. Jelentős szervesanyag- és tápanyag-vesztést eredményez,

- *sekély termőréteg*: Magyarország összterületének 2,3%-a.

A lignit és lignitmeddő, ill. a potenciális borsodi és mecseki bányaterületek meddőinek elsődleges célterületeit a nagy homoktartalmú területek jelenthetik (9.1. ábra), ami mintegy 700 000 ha területet jelent. Ezen a területen elsősorban az anyag szervesanyag- és agyagtartalma hasznosítható talajjavításra, alkalmazásától a könnyű mechanikai összetételű talajokon a vízháztartás, a tápanyagtartalom, kémhatás, kationcsere kapacitás, mikrobiális aktivitás javulása várható, melyek a talaj termékenységét alapvetően befolyásolják.

A meddőben lévő jelentős  $\text{CaCO}_3$ -tartalom ugyanakkor alkalmas lehet a savanyú talajok javítására. Kisebb jelentőséggel a szikes talajok javításában is lehet szerepe a lignitnek és a lignites meddőnek, ha a kémhatása pH 8,2 fölött van, illetve magas a kén-tartalma.

**9.1. táblázat.** A szántóterület, a mezőgazdasági terület és a termőterület nagyságának változása Magyarországon 1990–2017 között (Forrás: www.ksh.hu)

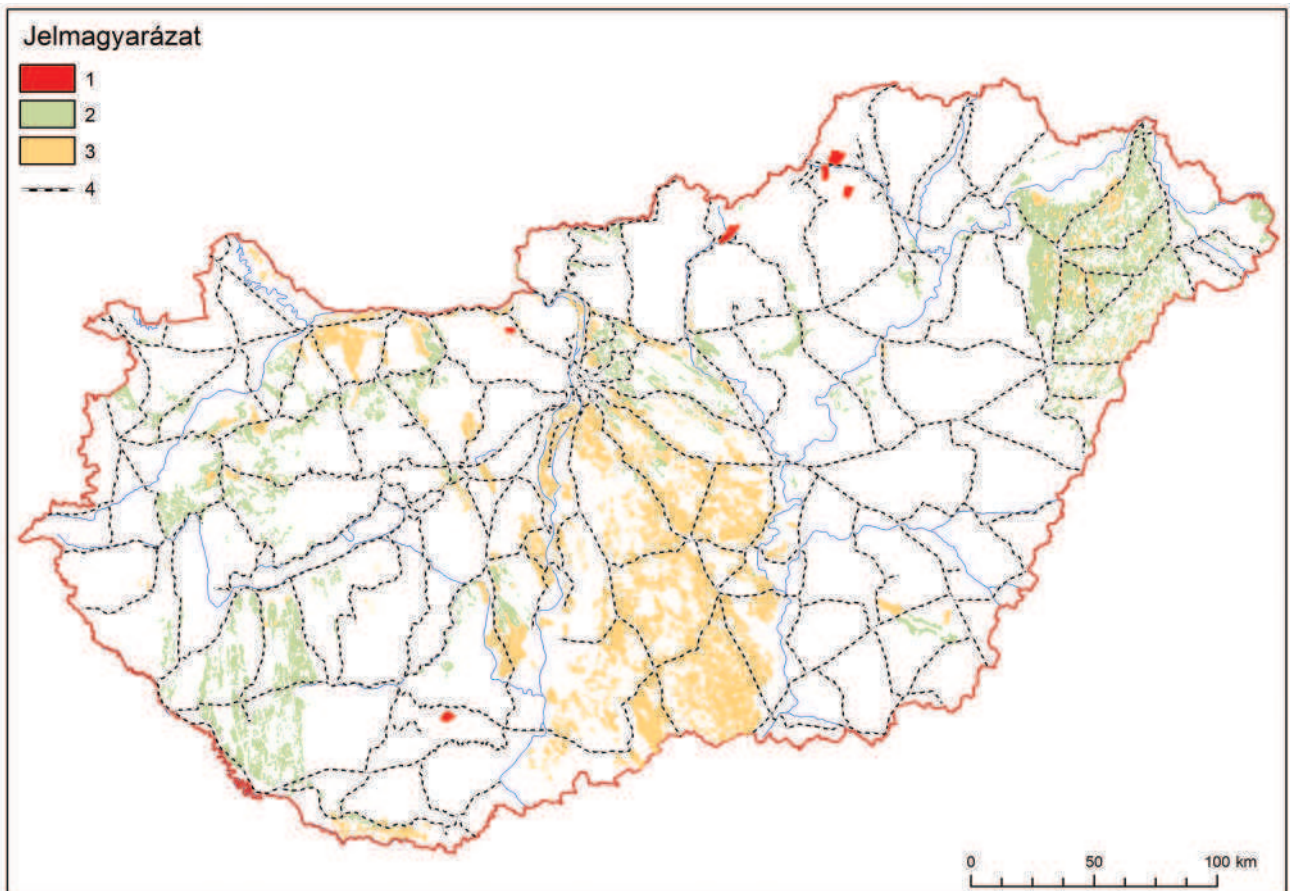
Év	Szántóterület (ezer ha)	Mezőgazdasági terület (ezer ha)	Termőterület (ezer ha)
1990	4712,8	6473,2	8235,8
1991	4714,2	6459,7	8227,5
1992	4706,9	6135,7	7914,9
1993	4712,5	6129,1	7960,5
1994	4714,4	6122,0	7956,5
1995	4715,9	6179,3	8010,5
1996	4712,7	6184,4	8017,1
1997	4710,8	6194,6	8035,6
1998	4709,5	6192,7	8036,0
1999	4708,8	6186,3	8035,1
2000	4499,8	5853,9	7715,5
2001	4516,1	5865,3	7731,2
2002	4515,5	5867,3	7748,2
2003	4515,5	5864,7	7762,4
2004	4510,3	5863,8	7782,3
2005	4513,2	5854,8	7787,1
2006	4509,6	5808,9	7755,0
2007	4506,1	5807,1	7751,8
2008	4502,8	5789,7	7774,8
2009	4501,6	5783,3	7783,0
2010	4322,1	5342,7	7356,4
2011	4322,3	5337,2	7360,3
2012	4323,6	5338,0	7368,0
2013	4325,7	5340,0	7375,9
2014	4331,3	5346,3	7386,4
2015	4331,7	5346,4	7387,6
2016	4332,4	5349,0	7376,2
2017	4334,3	5352,3	7370,6

Mezőgazdasági terület = szántó+konyhakert+ gyümölcsös+ szőlő+gyep. Termőterület = mezőgazdasági terület+erdő+nádas+halastó.

### Hulladékok és melléktermékek talajra történő kijuttatásának jogszabályi háttere

A növénytermesztés során különböző anyagokat juttatunk a talajba a termékenység fenntartása/növelése céljából. Ezek egy része a földművelés kialakulása óta felhasznált anyagok, pl. trágya, növényi maradványok. A növényi és állati eredetű szerves anyag felhasználásával készült komposztok, valamint az egyre hangsúlyosabb zöldtrágyázás természetes eredetű anyagokat használnak fel. Azonban az állati trágyák és komposztok is csak meghatározott feltételek mellett használhatók, hiszen jelentős tápanyagtartalmuk lehet. A kijuttatott mennyiségüket ezért a tápanyagtartalom alapján célszerű meghatározni. Felhasználásuk nem igényel hatósági engedélyt, azonban a táblaszintű tápanyag-gazdálkodási tervben szerepelni kell az így kijuttatott tápanyagmennyiséget.

Az ipari termelés során előállított műtrágyák és egyéb terménynövelő anyagok mezőgazdasági felhasználása engedélyhez kötött tevékenység. Talajjavítási vagy tápanyag-utánpótlási céllal bármilyen anyag talajra/talajba történő kihelyezéséhez eseti vagy terméknyilvánítás esetén, 10 évre megadott, korlátozásmentes felhasználási engedély szükséges. A



9.1. ábra. Kőszénbányászati meddővel javítható hazai talajtípusok elterjedési térképe

Jelmagyarázat: 1. potenciális bányahelyek, 2. elsődlegesen javítható talajok (gyengén vagy erősen savanyú homokos, vagy homokos vályog talajok), 3. másodlagosan javítható talajok (felszíntől karbonátos vagy felszíntől karbonátos, szikes homokos vagy homokos vályog talajok), 4. vasútvonal

különböző anyagok mezőgazdasági felhasználása optimális esetben talajvizsgálatok eredményeire alapozva történik, melynek során a táblaszintű, a talaj alapvető fizikai és kémiai tulajdonságait meghatározó vizsgálati eredményeknek megfelelően történik a kijuttatható anyagmennyiség meghatározása. Természetesen a felhasználandó anyag rendeletekben meghatározott paramétereit is ismerni kell.

A nem mezőgazdasági eredetű, nem veszélyes hulladékok termőföldön történő felhasználását a 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet szabályozza. A felhasználás általános kritériumai a következők: (1) a hulladék nem tartalmazhat nem bomló, talajidegen anyagokat; (2) a kijuttatható dózist a legnagyobb arányban található tápelemtartalom alapján kell meghatározni; (3) a szennyezőanyagok kijuttatható mennyiségét az 50/2001. (IV. 3.) kormányrendelet, 10/2000. (VI. 2.) KöM–EüM–FVM–KHVM együttes rendelet jogszabály alapján kell meghatározni; (4) állati eredetű hulladék vagy annak kezelt végtermékei hasznosítása esetén a 71/2003. (VI. 27.) FVM rendeletben foglaltakat kell alkalmazni.

A hulladékok és melléktermékek mezőgazdasági felhasználásának a gazdálkodók szempontjából a legegyszerűbb módja, ha az anyag tulajdonosa a 36/2006. (V.18.) FVM rendelet szerint az anyag összetétele és felhasználási célja szerinti legmegfelelőbb kategória szerint a tulajdonos/gyártó engedélyezteteti az anyagot, mint termésművelő anyag. Ebben az esetben a tulajdonos/gyártó garantálja a termék minőségét (pl. szervesanyag-tartalom legalább 20%), így az egyszerűen felhasználható a mezőgazdaságban. Ebben az esetben az anyag engedélyeztetésének költségét (vizsgálatok elvégzése, engedélyokirat beszerzése) a tulajdonos/gyártó fizeti. Ha a földterületet bevonták az Agrár-Környezetgazdálkodási Programba (AKG), akkor minden anyag felhasználását fel kell tüntetni a táblaszintű tápanyag-gazdálkodási tervben.

A lignit önálló anyagként szerepel a 36/2006. (V.18.) FVM rendeletben a talajjavító-anyagok kategóriájában.

Eseti engedélykérelem esetén a földtulajdonos/földhasználó fizeti a kihelyezés engedélyezésének költségét, mely a 90/2008. (VII.18.) FVM rendelet szerint történik. Ennek a költségigénye és a szükséges utánajárás azonban gyakran eltántorítja a gazdálkodókat az ilyen típusú anyagok felhasználásától. Ezért pl. a termékként nem engedélyezett szennyvíziszap komposztok esetében sok szennyvíztisztító telep átvállalja a gazdálkodóktól az eseti felhasználási engedély beszerzésének költségét, ami viszont a nyereséget gyakran csökkenti. Az ilyen típusú anyagok mezőgazdasági felhasználásához talajtani szakvélemény készítése szükséges, mely a kezelendő terület talajtani vizsgálati eredményein és a felhasználandó anyag minőségi paraméterein alapszik, a már említett 90/2008. (VII.18.) FVM rendeletben foglaltak szerint.

A szénbányászati meddő mezőgazdasági felhasználását tehát mindenképpen meg kell előznie a meddők részletes, a fenti rendeletek szerinti minőségi vizsgálatának, és felhasználásukat a javítandó területek talajtípusának megfelelően kell megtervezni.

### A meddők mezőgazdasági hasznosíthatósága a vizsgálati eredmények alapján

A vizsgált minták három csoportba oszthatók. (1) Egy jelenlegi borsodi meddőhányó (Rudolf) anyagából vett minták, (2) egy borsodi (Felsőnyárád) és (3) egy mecseki (Pécs-Vasas) külfejtés falából, a szénrétegek közötti meddő-betelepülésből vett minták. A minták mezőgazdasági hasznosíthatóságának elemzése a 36/2006. (V. 18.) FVM rendeletben megadott minőségi követelmények, valamint a 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet alapján történt. A 2006-os FVM rendelet a terméshozzávaló anyagokra vonatkozó szigorúbb minőségi követelményekkel. Figyelembe véve, hogy a vizsgált szénbányászati meddők szervesanyag-tartalma viszonylag alacsony (max. 25,3% a vizsgált mintákban), a meddők anyagát a talajjavító-anyag kategóriára vonatkozó követelmények szerint célszerű értékelni.

A meddőhányóról vett minták jelentős agyagtartalommal rendelkeznek (9.2. táblázat), így a mezőgazdasági felhasználásukat erre célszerű alapozni. A röntgendiffrakciós vizsgálatok alapján szmektit, illit, kaolinit, csillám alkotja különböző arányban az agyagfrakciót, melyek közül a duzzadó agyagásványoknak (elsősorban a szmektitek) a homoktalajok vízgazdálkodása szempontjából is kiemelt jelentősége lehet. Azonban az egyes rétegek között nagy a variabilitás, 10,9–24,0 % között mozognak a mért értékek. Így nehéz állandó minőséget garantálni, ami a terméké nyilvánításhoz elengedhetetlen.

A meddők kémhatása rendszerint a semleges-gyengén lúgos kategóriába esik, így felhasználásukat a savanyú homoktalajokra célszerű koncentrálni. Szervesanyag-tartalmuk 10% körüli, ami nem elegendő ahhoz, hogy szervesanyag-tartalom növelésére alkalmas készítményként kerüljenek engedélyeztetésre. Azonban a szerves anyag és az agyagásvány

9.2. táblázat. A vizsgált meddők alap kémiai paraméterei

		Agyag (%/m)	pH	Össz só (%/m)	Szerves- anyag (%/m)	Összes N (%/m)	Összes P (%/m)	Összes K (%/m)
Régi meddőhányó, Borsod	Rudolf-3103: 2,0–3,0 m	10,9	6,87	2,43	10,30	0,18	0,018	0,054
	Rudolf-3203: 2,0–3,0 m	21,2	7,48	2,50	8,81	0,07	0,040	0,032
	Rudolf-3204: 3,0–4,0 m	14,8	7,43	1,93	10,10	0,10	0,020	0,046
	Rudolf-3403: 2,0–3,0 m	15,9	6,93	2,78	12,50	0,09	0,019	0,066
	Rudolf-3404: 3,0–4,0 m	14,0	6,98	2,64	14,20	0,14	0,020	0,071
	Rudolf-3405: 4,0–5,0 m	24,0	7,28	2,08	10,10	0,13	0,053	0,062
	Rudolf-3406: 5,0–5,8 m	16,6	7,03	2,88	10,70	0,06	0,033	0,054
Szénrétegek közötti meddő betelepülés anyaga	Mecsek 20170928 007	82	2,86	0,49	17,80	0,28	<0,02	0,09
	Mecsek 20170928 011	78	8,26	0,16	11,40	0,19	<0,02	0,116
	Mecsek 20170928 015	66	7,80	0,07	25,30	0,15	0,029	0,087
	Borsod 20170928 2	46	8,84	0,07	5,00	0,06	0,044	0,137
	Borsod 20170928 12	63	3,23	2,15	32,90	0,21	<0,02	0,079
	Borsod 20170928 17	63	9,55	0,16	3,90	<0,05	<0,02	0,137

együtt jelenléte a mezőgazdasági felhasználás szempontjából kedvező. Az összes só-tartalom a talajba való kijuttatáshoz megfelelő. N- és P-tartalma igen alacsony, K-tartalma valamivel jobb, valószínűleg a jelenlévő agyagásványok K-tartalma következtében. A széntartalmú anyagoknál a kén-tartalom, mint szennyezőanyag, is fontos a talajra történő kihelyezésnél, ennek vizsgálata később mindenképpen szükséges. Valószínűsíthető azonban, hogy a szervesanyag-tartalom csökkentésével a kén-tartalom is alacsony lesz.

A talajra való kijuttatás előtt a toxikuselem-tartalmat is mérni kell. A vizsgált mintákban mért értékek és a 36/2008. (V. 18.) FVM rendeletben megadott határértékek a 9.3. táblázatban láthatók. A toxikus elemek koncentrációja egyenletesebb a mintákban, mint az általános kémiai paraméterek értékei, ill. az agyagtartalom. Azonban meddőhányó As-tartalma több, mint kétszerese a talajjavító anyagokra vonatkozó határértéknek, így ennek a meddőnek az anyaga ezen a módon biztosan nem hasznosítható. Ha a magas As-tartalom a szerves anyaghoz kapcsolódik, akkor a szénelőkészítés során a szervesanyag-tartalom, hatékony szétválasztása egyben az arzéntartalom szempontjából is pozitív.

A bányafalon a szénrétegek közötti meddő-betelepülésből vett borsodi minták paraméterei (9.2. táblázat) nagyon válto-

9.3. táblázat. A talajjavító anyagokra vonatkozó toxikus elem határértékek

		As (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Se (mg/kg)
Régi meddőhányó, Borsod	Rudolf-3103: 2,0–3,0 m	24,70	<0,02	5,16	5,28	5,68	<0,06	11,20	4,56	0,45
	Rudolf-3203: 2,0–3,0 m	20,10	<0,02	5,45	5,79	7,27	<0,06	13,10	5,29	0,53
	Rudolf-3204: 3,0–4,0 m	22,90	<0,02	5,17	5,22	5,26	<0,06	10,90	4,19	<0,4
	Rudolf-3403: 2,0–3,0 m	23,90	<0,02	5,55	5,84	8,50	<0,06	13,00	5,80	0,52
	Rudolf-3404: 3,0–4,0 m	25,00	<0,02	6,13	6,20	9,40	<0,06	15,70	5,58	0,51
	Rudolf-3405: 4,0–5,0 m	18,20	<0,02	6,49	8,69	13,90	<0,06	19,90	6,47	0,55
	Rudolf-3406: 5,0–5,8 m	24,50	<0,02	6,87	6,96	12,30	<0,06	17,20	6,57	0,85
Szénrétegek közötti meddő betelepülés anyaga	Mecsek 20170928 007	8,88	<0,02	1,71	9,24	9,24	<0,06	9,00	24,30	0,88
	Mecsek 20170928 011	5,34	<0,02	14,90	7,85	14,70	<0,06	23,70	36,30	0,87
	Mecsek 20170928 015	5,22	<0,02	17,10	10,30	5,68	<0,06	31,30	24,40	1,13
	Borsod 20170928 2	7,37	<0,02	8,98	18,10	7,98	<0,06	29,90	4,18	<0,4
	Borsod 20170928 12	561,00	0,83	12,80	11,80	15,00	<0,06	42,20	4,71	1,81
	Borsod 20170928 17	13,60	<0,02	4,95	7,35	6,17	<0,06	9,81	11,60	1,38
Határérték (36/2008. (V. 18.) FVM rendelet)		10	2	50	100	100	1	50	100	5

zékonyak: két minta agyagtartalma 2–3-szorosa a meddőhányói minták agyagtartalmának, viszont a szervesanyag-tartalma csak 5% körül van. Ezzel párhuzamosan az As-tartalom is jelentősen kisebb a régi meddőben mért értéknél, de még mindig csak 10 mg/kg körüli érték, ami adott esetben meghaladhatja a határértéket. N- és P-tartalma nagyon csekély, az agyagfrakció növekedésével azonban a K-tartalma is nő, ennek növények általi felvehetősége azonban kérdéses. A harmadik minta jelentősen eltér: kémhatása erősen savanyú (pH 3,23), szervesanyag-tartalma jelentős (32,9%), amihez viszonylag magas nitrogén-tartalom is járul. A mecseki részminták között szintén van egy erősen eltérő minta, hasonló eredménnyel.

A borsodi mintákban ráadásul az As-koncentráció is határérték körül van (9.3. táblázat), sőt az 561 mg/kg-os értékű minta arra utal, hogy egyenetlen eloszlásban arzénrel szennyezett rétegek/gócok jelentkeznek, ami a mezőgazdasági felhasználás lehetőségét erősen megkérdőjelezi. A magas borsodi As-koncentrációkkal szemben a mecseki bányafal meddő rétegéből vett minták As-tartalma csak a határérték fele körüli érték, és a többi toxikus elem koncentrációja sem haladja meg a rendeletben megadott határértékeket. Az agyagtartalom is ezekben a mintákban a legmagasabb, amihez még viszonylag magas, bár heterogén mennyiségi eloszlású (11,4–25,3 mg/kg) szervesanyag-tartalom is társul. Az egyik mintában mért erősen savanyú kémhatás oka feltehetően a pirit bomlása. Ezek a pontszerű betelepülések nem biztosítják az egységes minőséget, így a mecseki bányameddő anyaga is csak tételenkénti ellenőrzés és vizsgálat mellett lehet alkalmas a biztonságos mezőgazdasági hasznosításra, a 90/2008. (VII. 18.) FVM rendelet szerint.

A részminták vizsgálati eredményei alapján mezőgazdasági felhasználásra a mecseki meddők anyaga tűnik alkalmasabbnak. Azonban a felhasználás előtt szükséges az erősen savanyú meddőanyagok elkülönítése. Ha ez megoldható, akkor is inkább a 90/2008. (VII. 18.) FVM rendeletben leírt, a nem mezőgazdasági eredetű, nem veszélyes hulladékokra vonatkozó előírások vonatkoznak rá, a talajvédelmi hatóság eseti engedélyével. Ebben az esetben a kijuttatási engedély 5 évre szól, mely azonban mindig csak a rendeletben megadott táblákra érvényes. A kijuttatható mennyiséget talajvédelmi tervben kell rögzíteni.

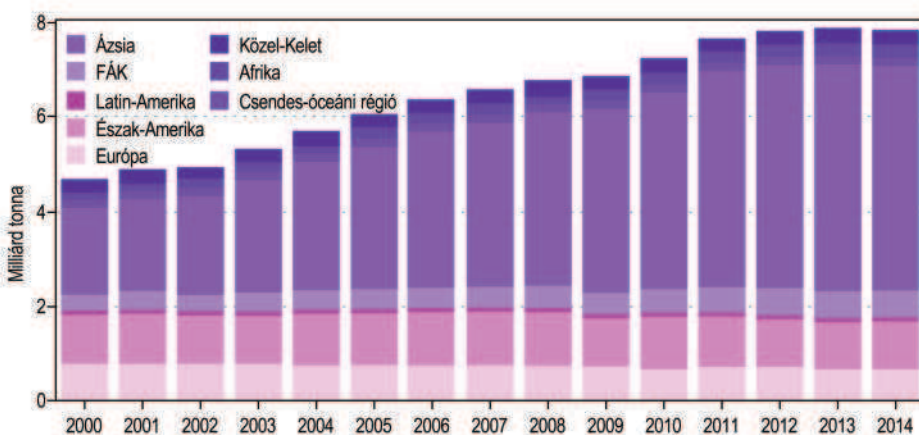
A borsodi részmintáknál a kémhatás mellett az As-tartalom is problémát jelent, és a vizsgálati eredmények alapján a két paraméter, valamint a szervesanyag-tartalom összefügg egymással. Semleges körüli pH esetén is lehet azonban magas As-tartalom. Ha az As-tartalmat vesszük alapul, és a megengedett 0,5 kg/ha/év kijuttatható As-mennyiséggel számolunk, akkor körülbelül 20 t/ha mennyiség juttatható ki évente. A kijuttatást nem célszerű évente ismételni, a gyakoriság megállapítására hosszabb távú vizsgálatok szükségesek. A kihelyezendő mennyiség megállapításánál érdemes majd figyelembe venni korábbi tapasztalatainkat, amikor 40–50% montmorillonit tartalmú bentonit 20–30 t/ha dózisban történő kihelyezésénél már vízfelvételi problémákat tapasztaltunk a növényeknél a montmorillonit erős vízmegkötő képessége miatt. Bentonit és szerves anyag együttes kihelyezése ezt a problémát jelentősen csökkentette, tehát a magas agyagtartalmú meddők esetében is fontos lehet az egyéb szerves anyaggal együtt történő hasznosítás.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a szénbányászati meddők anyaga heterogén, ami a mezőgazdasági felhasználást megnehezíti. A borsodi térségben komoly probléma a meddők arzéntartalma, mely megfelelő szénelőkészítési folyamattal jelentős mértékben, akár határérték alá is csökkenthető. A mecseki bányameddő toxikuselem-tartalma megfelel a határértékeknek, valamint igen magas agyagtartalma mellett még szerves anyagot is tartalmaz. Mindkét területen előfordulnak azonban erősen savanyú minták is, melyek talajjavításra nem alkalmasak. A termőföldön történő hasznosítást minden esetben részletes vizsgálatnak kell megelőznie, hogy egy esetleges környezetszennyezés megelőzhető legyen. A mezőgazdasági alkalmazás biztonságosságát nagyban növelné, ha a szénelőkészítési műveletek során elkülöníthető lenne a mezőgazdasági felhasználásra nem alkalmas meddő.

KALMÁR ISTVÁN, HÁMORNÉ VIDÓ MÁRIA

## A szénhasznosítás stratégiai szempontjai

A nyersanyagok és energiahordozók a világban nem egyenletesen oszlanak el. A nagy kőolaj- és földgázkészletek többnyire az Európai Unió (EU) kívül találhatók, a szénkészletek térbeli eloszlása ezzel szemben jóval egyenletesebb, s jelentős része politikailag stabil térségekben fordul elő. Az Európai Unió a világ negyedik legnagyobb szénfelhasználójaként Kína, India és az Egyesült Államok után a teljes primer energiafelhasználásban 26,4%-kal veszi ki a részét (Euracoal 2017). A világ kőszéntermelése az elmúlt 20 évben 60%-kal nőtt (10.1 ábra) és hasonló további növekedés várható a következő 25–30 évben. A nemzetközi elemzések a növekvő energiafelhasználás diverzifikált energiamixében szinttartást és enyhe növekedést vetítenek elő (EURACOAL 2017).



10.1. ábra. A világ kőszéntermelésének alakulása az ezredforduló után (Forrás: Global Energy Statistical Yearbook 2015)

A kőszén és lignit földtani készlete globálisan 17 449 Mt szénegyenérték (Gtce), amelyek mintegy 1,2%-át termelték ki eddig. A kitermelhető készletek nagysága 705 Gtce, amely jelentősebb, mint a kőolaj és földgáz még akkor is, ha a nem hagyományos szénhidrogénkészleteket is figyelembe vesszük (BGR 2015). Bizonyított, hogy a kitermelhető kőszénkészletek a nem megújuló energiaforrások több mint felét adják amellelt, hogy földrajzi eloszlásuk kedvezőbb, mint a kőolajé és a földgázé. A világ jelenlegi éves kőszén- és lignitkitermelése 7709 Mt, ebből a lignittermelés 807 Mt, utóbbi 49%-át az EU-28 országok, különös tekintettel Németországra adja (BGR 2015). A kitermelt kőszén és lignit felhasználása jellemzően energiahordozóként valósul meg, vegyipari hasznosítása a legtöbb országban nem jellemző vagy csak korlátozott mértékű.

A nagy kockázatok és tőkeigény ellenére az ásványi nyersanyagok kitermelése minden ország stratégiai fontosságú, kiemelt jelentőségű ipari alaptervekenysége. A fejlettebb országok, így az EU is nagy hangsúlyt fektetnek az alapanyag és energiahordozók kitermelésére, mivel az egyes erőforrások külföldről történő bevonása nyomán az energiagazdálkodás hatalmi, politikai és biztonságpolitikai kérdéssé vált. A fejlett infrastruktúra és technológia fenntartásának biztosítására az EU 2010-től összeállítja a kritikus nyersanyagok listáját, amelyet időszakosan felülvizsgál, és amelybe 2014-től a

széntermékek közül a grafit és a kokszolható feketeszen is bele tartozik (COM/2014/0297,2014). Egy esetleges nyomásgyakorlás szempontjából lényeges szempont, hogy míg a szénhidrogének tulajdonjogának a monopolizáltsági foka 80% feletti, addig a szén esetében ez 40% alatti (IEA WEO 2017). A szén hosszú távú létjogosultsága a nagyvilágban pillanatnyilag megkérdőjelezhetetlennek tűnik, a birtoklás pedig politikai tényezővé vált.

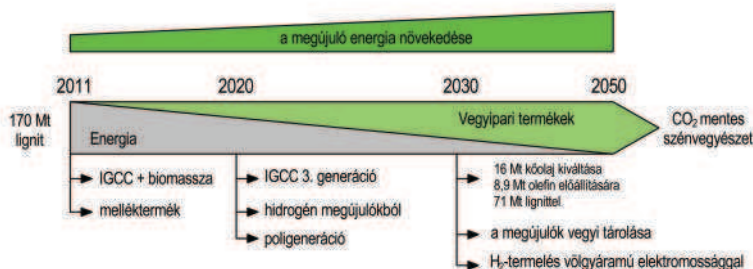
A földgáz és kőolaj alapú energiatermelés és vegyipari alapanyag-, termék-előállítás ugyan jelentősen kisebb beruházási igényt jelent (kb. 40%-a szénelapúnak), viszont a nyersanyag ma már háromszor annyiba kerül, mint 20 évvel ezelőtt. A szénhidrogének esetében a nyersanyag ára, míg a szén esetében a beruházási költség határozza meg a végtermék árát (BASF IBI PROJEKT LEUNA, <https://www.unternehmen-region.de/de/5751.php>). A széntechnológiák fejlődése azonban folyamatosan csökkenti az egységnyi termékre jutó beruházási költséget (IEA WEO 2017).

A biztonság megteremtése a határokon belüli ásványi nyersanyagok megkutatása és a bányászat fejlesztése nélkül nem lehetséges, hiszen az ipari fejlesztést a nyersanyag- és energiaellátás biztonsága alapvetően befolyásolja. Ha az EU nem tud versenyképes olcsó és biztonságos nyersanyag- és energiaforrásokhoz jutni, gazdasága egyre jobban leszakad, vagy függővé válik. Az EU törekvései között éppen ezért kiemelt szerepet kapott az energia- és nyersanyagfüggetlenség csökkentése (COM/2014/0297,2014).

A szénhidrogének (olaj, gáz) használati aránya jelentősen meghaladja a szenek (kőszén + lignit) készleteinek kihasználási arányát (Zöld könyv: Európai Stratégia az energiaellátás fenntarthatóságáért, versenyképességéért és biztonságáért (SEC/20006/[317])). A készlethasználat „átlagos” aránya a kőolaj esetében 135%, a földgáznál 118%, a szenek esetében pedig „csupán” 50% (EURACOAL 2017). Ezen adatok tükrében a fosszilis energiahordozó-készletek ellátási prognózisai kőolajból 30–40–50 éves, földgázból 50–60–80–(100) éves, szénből viszont az ipari készleteknél világátlagban 130–150 éves, egyes területeken 200–300 éves ellátottságról szólnak (BGR 2015).

Hazánk nyilvántartott szén- és lignitvagyonra mintegy 10 Mrd tonna, a vonalas infrastruktúra és épületek biztonsági pilléreinek elhagyásával 8,6 Mrd tonna. Ez hatalmas mennyiség, mely hosszú időre alapját képezheti szénre épülő hazai gazdaságfejlesztéseknek. A jövőkép kialakítása során azonban a természeti adottságok mellett számításba kell venni a fosszilis energiahordozók alkalmazásának a helyi környezetre és a klímaváltozásra gyakorolt hatását, a gazdaságosság kérdését, valamint a társadalmi pl. munkaerőpiaci kérdéseket is.

A szénbányászat és szénfeldolgozás környezetvédelmi hatásainak és gazdaságosságának megtérülése alapvetően a szén felhasználásának módjától függ. Az utóbbi évek világpiaci tendenciái alapján a szénhasznosítás jövője nem a hagyományos



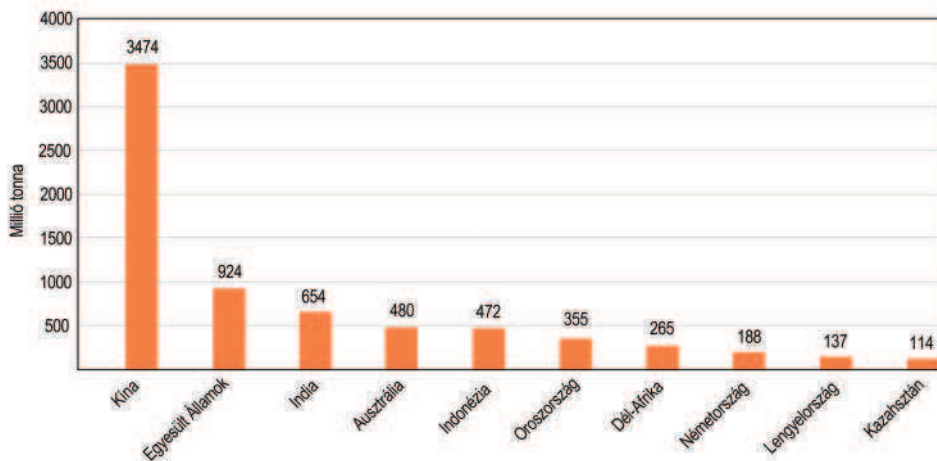
10.2. ábra. A szénalkalmazás mérföldkövei németországi lignitfelhasználásában (forrás: MEYER 2011)

energiatermelés, sokkal inkább az ún. tiszta széntechnológiák körébe tartozó vegyipari alkalmazások (10.2. ábra). A szén közvetlen cseppfolyósítása vagy közvetett elgázosítása a szennyezőanyag-kibocsátás csökkentése mellett, lehetőséget biztosít a klímavédelmi szempontból meghatározó megújuló energiák gazdasági integrációjára, a keletkező szén-dioxid csapdázására, illetve újrahasznosítására, valamint a térségben keletkező a bányászati, mezőgazdasági és lakossági hulladék korszerű hasznosítására. Ráadásul a szén-cseppfolyósítás, ill. a több terméket előállító ún. „poligenerációs eljárások” a hagyományos energetikai szénhasznosítás bevételeinek rendre másfél, ill. kétszeresét eredményezhetik (IEA CCC 132 report).

### A szén, mint fosszilis nyersanyag és energiahordozó jelenlegi és jövőbeni szerepe

A kőszén napjainkban a világ primer energiatermelésének 22,9%-át adja. A részesedés egyes országokban az átlagnál lényegesen magasabb lehet pl. Németország 43%, Csehország 60%, Lengyelország 80%, Görögország 85% feletti (EURACOAL 2017). A kőszén részaránya a villamosenergia-termelésben 40,8% (BP 2016), a világ vezető ipari hatalmának (USA) villamosenergia-szerkezetében a kőszén aránya 47%, a hazai energiamixben jelenleg 14%, míg az EU villamosenergia-termelésében 29,2% (BP 2016). Jól láthatóan a szén meghatározó szerepe a globális primerenergia felhasználásban a következő években nem csökken, az előrejelzések szerint enyhe növekedés várható (EURACOAL 2017).

A világ kőszéntermelésének 60%-os növekedése a századforduló óta különösen 2000 és 2012 között mutatott kiugró változást (10.1. ábra), amikor a világ széntermelése több mint 80%-kal nőtt. Az éves kitermelés 2012-re 8 Mrd tonna körül megállt. Ez átlagosan 6% feletti növekedésnek felelt meg. A felgyorsult növekedés döntő hányada a fejlődő országok fokozódó kitermelésének eredménye volt. Az 1990–2005 közötti és a 2008-as tényadatokat, továbbá a 2020. és 2030. évi prognózis-adatokat értékelve látható, hogy a négy évtized során az egyes energiahordozó-fajták használati arányai számottevő mértékben nem változtak/változnak, közel átlagos értékek (COUCH 2008). A tíz vezető kőszéntermelő ország állandósult arányban a világtermelés kb. 90%-át adja (Global Energy Statistical Yearbook 2015, 10.3. ábra). Európa 600 millió tonna feletti saját kitermelés mellett több mint 200 millió tonna szenet importált 2014-ben, így fogyasztása nagyjából megegyezett az USA-val (IEA 2017).



10.3. ábra. A tíz vezető kőszéntermelő részesedése a kitermelésből (Forrás: Global Energy Statistical Yearbook 2015)

Hazánkban a tervgazdálkodás évtizedeinek intenzív szénbányászata után az 1970-es évek második fele és az 1980-as évek a kőszén szerepének leértékelődését eredményezte, amikor a kitermelés a korábbi mintegy 30 Mt éves ütemről 22–25 Mt-ra csökkent (1.1 ábra). A rendszerváltást követően meginduló bányabezárások eredményeképpen 1994-re mintegy 15 Mt-ra, az ezredforduló után, 2005-re pedig 10 Mt-ra (az 1930-as évek szintjére) zsugorodott. Jelenleg a hazai széntermelés túlnyomó részét évi 8–9 Mt kitermeléssel a külfejtéses lignitbányászat adja.

### A szénfelhasználás komplex terve a körkörös gazdaság és értéklánc szerint

Stratégiai fontosságú a helyi természeti erőforrások hasznosítása, amely nemzeti és európai geopolitikai stabilitást, a nyersanyagok értéknövelt feldolgozását hozza magával és jelentős infrastruktúrafejlesztést, munkahelyteremtést jelent a nyersanyag-hasznosítással foglalkozó régióknak. Ebben az összefüggésben a kőszén, mint ásványi nyersanyag napjainkban átértékelődik és energiahordozó helyett, egyre inkább nyersanyagként vesz részt az értékláncban. Ahhoz azonban, hogy a kőszén fenntartható módon tudjuk hasznosítani, bizonyos feltételeket teljesíteni kell. A szén anyagában való hasznosítása a megfelelő technológiák alkalmazásával jól integrálja az egyéb nyersanyag és energiaforrásainkat, s a megfelelő technológiák fokozatos bevezetésével jelentősen lecsökken az ország nyersanyag és energiaimportra való ráutaltsága.

Napjainkig a szénkészletek hagyományos energetikai és vas- és acélipari felhasználása és szerepe a technológiai értéklánc mentén végzett, kutatási, kitermelési, előkészítési, feldolgozási és hulladékkezelési fázisok több évszázados fejlesztésével jutott el a jelenlegi szintre. A szén piaci értéke a villamos- és hőenergia-termelés során jóval alacsonyabb, mintha azt anyagában történő átalakítással hasznosítanánk, amelylyel egy magasabb technológiai és piaci értéket hozunk létre. A környezetvédelmi, klímapolitikai és gazdasági feltételeknek megfelelő szénfelhasználás érdekében, a tervezési és innovációs tevékenységet új irányokban kell megvizsgálni, elindítani és végrehajtani. Így hazai feketeszen és lignit („barnakőszén”) bázisra alapozva, a ráépülő iparágakkal és egyéb másodlagos nyersanyag-hasznosításokkal együtt lehetővé válik a körkörös gazdaságon alapuló régiófejlesztés, az európai irányoknak megfelelően (10.4. ábra).

A szén anyagában való hasznosítása, a szénvegyészet, nem erőműi égetéssel történő korszerű, környezetbarát, komplex, világszerte elfogadott haszno-



10.4. ábra. A körkörös gazdaság elméleti diagramja (Forrás: [http://www.acceleratio.eu/wp-content/uploads/2014/10/1383260\\_586-Circular-economy.jpg](http://www.acceleratio.eu/wp-content/uploads/2014/10/1383260_586-Circular-economy.jpg))

sítási módszer. A szénnel együtt kitermelt és a széndúsítás során keletkező meddő számos hasznos nyersanyagot, pl. az Európai Unió listáján (COM/2014/0297 2014) kritikusan elérhetőnek minősített anyagokat is tartalmaz, amelyekhez a kinyerési technológiák meghatározása további kutatást kíván. A módszer komplexitása és a befektetések megtérülése a szén, a ritkaföldfémek és egyéb másodlagos nyersanyagok, mint pl. építőipari, talajjavító anyagok, valamint hulladékok, biomassa, a megújuló és a nukleáris völgyenergia együttes hasznosításán alapul.

Az egyes termelési folyamatokban a végtermék mellett képződő másodlagos nyersanyagok vagy további feldolgozásra kerülnek, vagy hulladéknak tekintjük őket és kezelésükről, ártalmatlanításukról gondoskodnunk kell. Minél nagyobb a gyártástechnológia határfoka nyersanyag- és energiahasznosítási szempontból, annál kisebb mértékben kell igénybe vennünk a természeti erőforrásokat és kisebb környezeti lábnyommal számolhatunk. Mindez igaz a melléktermékek minél nagyobb arányú és szélesebb körű hasznosítására is. A komplex vizsgálatok célja annak megállapítása, hogy a kőszéntelep és az azt beágyazó, szükségképpen kitermelésre kerülő mellékkőzetek milyen tulajdonsággal rendelkeznek, további hasznosításra alkalmasak-e, és ha másodlagosan hasznosítható nyersanyagokat is tartalmaznak, azok az értéklánc folyamatában kinyerhetők-e, ill. ha igen, melyik fázisban.

A potenciális lehetőség nem feltétlenül jelenti azt, hogy a megfelelő technológia a hasznosítás számára rendelkezésre áll. Egy adott technológia egyes elemei gyakran megtalálhatók a világ különböző részein, de a helyi igényeknek megfelelő teljes lánc csak helyi adottságokra illesztve alakítható ki. Vannak olyan kérdések, amelyeket megoldottnak tekintünk, pedig ezeket időnként részletesen újra kell elemezni. Következzen itt néhány a szénfeldolgozás szempontjából kritikus példa.

(1) A megújuló energia hasznosítása során a teljes energiaciklus töredékét hasznosítani képes villamosenergia-termelés áll a középpontban, és ott van ezen energia tárolásának nagy kérdése. A szennyvíziszap és a hígtrágya szárítása során jóval nagyobb hányad lenne hasznosítható. Az erőművek is jelentős hulladékhőt termelnek. A paksi atomerőmű 6000 MW<sub>e</sub>-os teljesítményéből mintegy 3600 MW<sub>e</sub> hőteljesítmény kerül hulladékhőként a környezetbe. (2) A kibocsátott széndioxid hasznanyaggá alakítható, ami már ma is gazdaságos lehet a vegyiparban és az építőanyag-gyártásban más anyagok helyettesítése révén, és korlátlan lehetőséget biztosít a hidrogén alkalmazásának, a hidrogén tárolásának atmoszférikus nyomáson. (3) Az állati trágya vagy változatlanul, vagy bioelgázosítás után kerül ki a földekre. Ez évszázadokon át működő folyamat volt, és mindenki természetesnek veszi, de amikor az állattartásban kiterjedten alkalmazzák az ösztrogéneket és antibiotikumokat, akkor a kijuttatás előtt ezen anyagok teljes körű lebontásáról (pl. hőkezeléssel) is gondoskodni kellene.

A körkörös gazdaságban az értéklánc mentén a teljes folyamat csak pozitív anyag- és energia-egyensúly mérleg mellett lehet működőképes, ezért meg kell tervezni a rendszerszintű energiaellátás módját, a megújuló és hulladékenergia hasznosításának bevonásával, valamint a technológiák által kibocsátott szén-dioxid befogásával és a metanolgazdaság (OLÁH et al. 2007) alapjain megvalósuló energiatárolás és újrahasonosítás segítségével. A körkörös gazdaság szemléletében megvalósuló kutatás-fejlesztések és innovációk negatív károsanyag-kibocsátással működő, szénalapokra épülő gazdaságot hozhatnak létre a hazai természeti erőforrások segítségével. Ez a koncepció európai és világ szinten is új és egyedülálló kezdeményezés. A hatékony és környezettudatos felhasználási fejlesztéshez elengedhetetlen az elérhető legjobb technológiák megismerése, és fejlődésének nyomon követése.

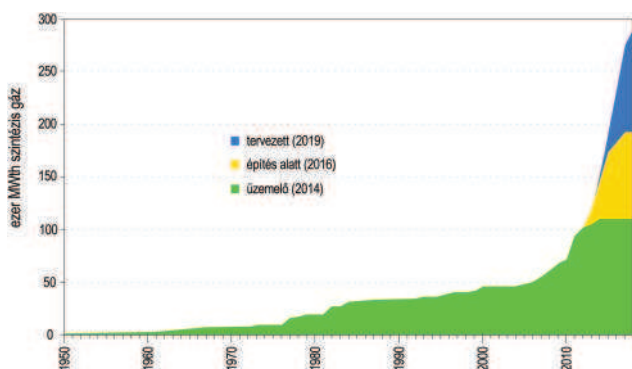
### A szénelgázosítási (indirekt átalakítási) technológiák fejlődése

A fa és a szén elgázosítására az első kísérletek a 17. században kezdődtek. A 18. század végétől kezdték alkalmazni a szénből előállított gázt világításra, aminek a szerepét majd 100 évre rá az elektromos világítás vette át a 19. és a 20. század fordulóján. A két világháború a szén és a fa elgázosítása területén felgyorsította a fejlődést és a gáz közvetlen gépkocsi üzemanyagként való alkalmazása mellett megjelentek a szintézisgázt, üzemanyagot és vegyipari alapanyagot előállító, katalizátorok bázisán működő rendszerek.

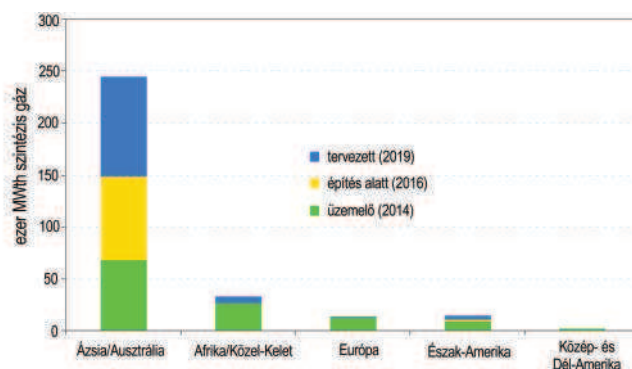
A II. világháború után az olcsó szénhidrogének megjelenésével és hozzáférhetőségével a fejlesztések leálltak alig épült szén hasznosító berendezés. Ez alól kivétel az olajembargó által sújtott Dél-Afrika volt, ahol a szénalapú üzemanyag-gyártás fennmaradt. A szénből előállított szintetikus városi gáz szerepe a fűtés területén az 1970-es évekig tartott. A szén ismételt alkalmazási lehetőségeinek a számbavételét, a további fejlesztéseket az 1970-es évek olajválsága indította el. Az elgázosítók fejlesztésének nagy lökést adott a biomassa és a hulladék hasznosítása is.

A szén vegyipari alapanyagként, fűtő- és üzemanyagként való hasznosításának komoly hagyománya és tudományos háttere volt Magyarországon is. 1960 körül még 250 klasszikus szénelgázosító működött hazánkban, mintegy évi 1,5 millió tonna szén átalakítását végezve. Ebben a gáz készítéséhez a már akkor is elavult konstrukcióba felülről táplálták be a darabos szenet, amely atmoszférikus nyomáson, ellenáramban érintkezett a levegő/gőz keverékkel. Az 1970-es évek olajválsága nyomán megindult fejlesztésekhez kapcsolódóan hazánkban is részletes kutatások folytak, s több áttekintés (MAGYAR SZÉNHIIDROGÉNIPARI KUTATÓ-FEJLESZTŐ INTÉZET 1979, TAKÁCS 1980, FRANCK, KNOP 1986), ill. célirányos tanulmány (HÖLL, LOEFFLER 1991, TAKÁCS 1989) is készült a szénvegyészet akkori állásáról és lehetőségeiről.

Az utóbbi két évtizedben a szén vegyipari alkalmazása dinamikus fejlődésen ment keresztül (10.5. ábra), s a szénelgázosítás összteljesítményében is alapvető átrendeződés következett be, elsősorban a távol-keleti régió javára (10.6.



10.5. ábra. A világ szintézisgáz-kapacitásának alakulása 1950-től napjainkig (forrás: www.globalsyngas.org)



10.6. ábra. A világ szintézisgáz-kapacitásának megoszlása régiók szerint (forrás: www.globalsyngas.org)

ábra). A változásokat egyértelműen Kína idézte elő, ahol 1997-ben kezdték adaptálni és tovább kutatni a világban létező technológiákat (MILLS 2006). 2007-ben épültek az első kísérleti berendezések, 2013-ban pedig az első nagyberendezések, amelyek immár 3–4 éves üzemi tapasztalatokat és továbbfejlesztési irányokat is megalapoznak (US–CHINA ENERGY CENTER 2014). A technológiák között a korai fejlődés motorját képező állóágas eljárásokat mára kiszorították a magas nyomáson és hőmérsékleten üzemelő szállóporos eljárások. A német, ill. amerikai technológiák (GE–Texaco, Shell, Siemens) 2007-re – rendszerint 50%-ban kínai vegyesvállalatok révén – elterjedtek Kínában (8.16. ábra). A 2007-től megjelentek a fluidágas és szállóporos eljárások versenyképes kínai alternatívái is. Ezzel párhuzamosan, mindkét területen zajlottak japán fejlesztések is. Kínában jelenleg évente kb. 125 millió tonna szén kerül közvetett vagy közvetlen módon átalakításra, hidrogénezésre, további évi 165 millió tonna kapacitás van épülőben és a cél a teljes éves kitermelés felének (2 mrd tonna) ilyen módon való alkalmazása (IEA WEO 2017). A tiszta széntechnológiák kínai sikerében szerepe lehetett annak, hogy a földgáz itt jelentősen drágább (320 USD/1000m<sup>3</sup>), mint Európában (180 USD), vagy az Egyesült Államokban (105 USD). Kína jelenleg a világ széntermelésének felét (kb. 4 mrd tonna) adja ezen felül kb. 200 millió tonna szenet importál.

Japánban hagyományosan (NEDO 1960-óta), újabban környezetvédelmi megfontolások alapján is, előnyben részesítik a tiszta széntechnológiákat, amihez kapcsolódik a technológia exportja is. Ebbe a trendbe illeszkedik Dél-Korea, s újabban India és Indonézia. Az Egyesült Államok is jelentős olcsón kitermelhető szénkészlettel rendelkezik, s ott is kialakult a szénvegyészetet kutató infrastruktúra. Európában hagyományosan a német, illetve az orosz és lengyel intézmények foglalkoznak szénvegyészettel, de Olaszországban (Sotacarbo), Belgiumban és Nagy-Britanniában is vannak kutatóhelyek és konzulensek.

### A szén-cseppfolyósítás (direkt átalakítás) fejlődése

A közvetlen szén-cseppfolyósítás első változata a Bergius–Pier-technológia ahol 190–350 bar nyomáson és 400–500 °C hőmérsékleten kerül sor a szén szerkezetét a hidrogén töri fel, „közvetlen” módon eredményezve cseppfolyós és gáznemű szénhidrogének keletkezését. Az energetikai hatásfok ~58%. A technológia nagyobb mértékben az 1930-as és 1940-es években Németországban, majd az NDK-ban került alkalmazásra. Az előállított szénhidrogéneket ezután finomító technológiák segítségével üzemanyaggá alakították. A későbbiekben a közvetlen szén-cseppfolyósítást az NSZK-ban 1981–87 között a szén/olaj üzemből Bottropban folytatták (RAG/VEBA, Kohleöl). A berendezés évi 73 000 tonna kapacitással üzemelt, s célja elsősorban az eredetileg Németországban kifejlesztett módszer technológiai ismereteinek fenntartása volt (FRANCK, KNOP 1986).

Az első időszakban ún. *egylépcsős technológiákat* fejlesztettek, ahol a szén cseppfolyósítását egy lépésben valósították meg. Ezek a technológiák a desztillátumok feljavításához hidrogénkezelő reaktorokat rendeltek. E technológiákat az 1960-as években fejlesztették ki, és mára legtöbbjük nem működik. A főbb technológiafejlesztők: H-Coal (HRI, USA), Exxon donor solvent (Exxon, USA), SRC-1 and II (Gulf Oil, USA), Conoco zinc chloride (Conoco, USA), Kohleöl (Ruhrkohle, Germany), NEDOL (NEDO, Japan) (COUCH 2008).

A *kétlépcsős technológiákat* a korai 70-es évek olajembargója során fejlesztették ki. A kétlépcsős cseppfolyósító technológia alapja az a felismerés, hogy az átalakulás két lépcsőben történik. Az első lépcsőben a szén oldható állapotba kerül nagy molekulásúllal, de az átlagos összetétel ekkor még alig tér el az eredeti széntől. A második lépcsőben a feloldott termékek alacsonyabb forráspontú folyékony anyagokká alakulnak alacsonyabb többatomos tartalommal. A technológiákat több államban is fejlesztették az 1970-es és 1980-as években, váltakozó sikerrel. Néhány példa a technológiákra és fejlesztőkre: Catalytic two-stage liquefaction (US DOE and HTI, USA), Liquid solvent extraction (British Coal

Corporation, UK), Brown coal liquefaction (NEDO, Japan), Consol synthetic fuel (Consol, USA), Lummus (Lummus, USA), Chevron coal liquefaction (Chevron, USA), Kerr-McGee (Kerr-McGee, USA), Mitsubishi Solvolysis (Mitsubishi Heavy Industries, Japan), Amoco (Amoco, USA) (COUCH 2008, ZHENYU 2010).

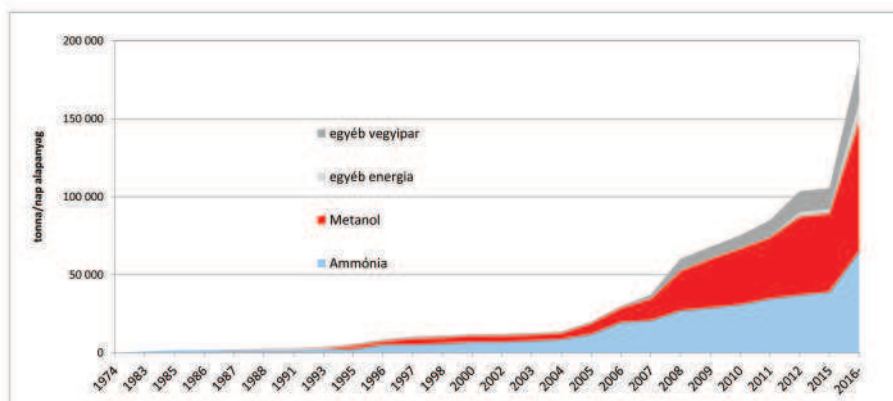
Az 1980-as éveket követően a közvetlen cseppfolyósításnak csak a kitüntetetten perspektivikus eljárásai fejlődtek tovább (MANTRIPRAGADA, RUBIN 2011). A kínai Shenhua csoport Headwaters katalitikus kétféle cseppfolyósító technológiáját és a C2XX birtokában lévő Exxon Mobile mikrokatalizátoros szén-cseppfolyósító eljárást (MCL – Micro Catalytic Liquefaction) a kötet másik tanulmánya (KÁLLAY et al. jelen kötet) bemutatta. A direkt hidrogénezéshez rendelhető további fejlesztési elképzelések között megemlíthető a Batelle biológiai eredetű oldószeres alkalmazása (CHAUHAN 2016), amely szükségtelenné teszi a direkt cseppfolyósítási folyamatban felmerülő oldószer-regenerálást, s lehetővé teszi a működési nyomás csökkentését 30 bar-ra, csökkenve egyúttal a beruházási költséget. A technológia jelenleg napi 1 tonnás kapacitású kísérleti üzemnél tart (WORLD PROPOSED GASIFICATION PLANT DATABASE 2014, GASIFICATION TECHNOLOGIES COUNCIL RESOURCE CENTER 2014). A Thermaquica fejlesztő cég által végzett OHD (Oxidative Hydrothermal Dissolution) eljárás célja nem a szokásos vegyipari termékek előállítása, hanem talajjavításra alkalmas fulvosav gyártása 200–370 °C magas hőmérsékletű vizes kioldással (ANDERSON et al. 2010). Az alkalmazási próbák Ausztráliában folynak (THERMAQUATICA, GREENPOWER ENERGY LTD. 2015). Az ausztrál Verso Energy és a Ciris Energy Wyoming mellett végzett terepi kísérlete anaerob baktériumokkal termeltet metánt, in situ felszín alatti szénforrásból, vagy akár szén-dioxidból. Az eljárás laborkísérletek szintjéig jutott (SMITH 2010, STRAPOC et al. 2011, WAWRIK et al. 2012).

### A szintézisgáz feldolgozásának vegyipari lehetőségei

A szintézisgázt vegyipari termékekkel alakító eljárások területén alapvetően két út létezik. Ezek eredményeként lehetőség van üzemanyagok, szintetikus földgáz (SNG) és vegyipari alapanyagok (ammónia, karbamid, hidrogén, metanol) előállítására, amelyeket azután különféle végtermékké dolgoznak fel (pl. festékek és lakkok, műanyagok, műtrágyák).

Az egyik lehetséges szintézisút a szén elgázosítása után alkalmazott Fischer–Tropsch (F–T) technológia. A F–T technológia során a szintézisgázból vas- vagy kobaltkatalizátor alkalmazásával különböző lánchosszúságú szénhidrogének kerülnek előállításra (FRANCK, KNOP 1986). E technológia alkalmazása esetén mindig egy előre meghatározott termékpaletta keletkezik pl. cseppfolyós petróleumgáz (LPG), nafta (nyersbenzin), benzin, dízelolaj, kerozin és kemény paraffinok (viaszok). A reakció körülményeinek meghatározásával és az alkalmazott katalizátorok kiválasztásával irányítható, hogy a szintézis során mi legyen a vezértermék. A F–T üzemnek nagy a környezetvédelmi lábnyoma és magas a beruházási és üzemeltetési költsége. A szén-dioxid kibocsátás meghaladja a 700 kg CO<sub>2</sub>/hordó olajértéket, a tőkeköltés egy 50 000 hordó/nap üzemre számolva 4 mrd USD, ahol a beruházás 75%-a az elgázosításhoz kapcsolódik (KANEKO et al. 2012). Nagyobb termelő berendezések léteznek Dél-Afrikában, Kínában, Katarban és Malajziában. Az USA-ban egy nagyberendezés (SASOL) tervezés alatt áll (WORLD PROPOSED GASIFICATION PLANT DATABASE 2014).

A másik lehetséges szintézisút a metanolon át vezet. Ennek során az első lépésben a szintézisgázból egy réz-/cinkkatalizátoron metanolt állítanak elő, amely nyersanyaga a benzin szintézisének (Methanol To Gazolin – MTG technológia), illetve az olefinek (etilén/propilén) előállításának (Methanol To Olefin – MTO technológia) (ZAIDI, PANT 2004). Az eljárásokat eredetileg az Exxon-Mobile és az UOP (Universal Oil Products) fejlesztette ki. Legújabbban az MTO/MTG technológiákat kínai szállítók is kínálják, részben nyugati technológiai cégekkel alakított fejlesztési partnerség keretében (Sinopec, Lurgi, Total). A kínai szén-elgázosítási piac termékszerkezetében az energiatermeléssel szemben egyértelműen a vegyipari alkalmazás dominál, ezen belül az ammónia mellett 2005-től felfejlődött a metanoltermelés (10.7. ábra) (US-CHINA ENERGY CENTER 2014).



10.7. ábra. A szén-elgázosítás termék szerinti alakulása Kínában (t/nap alapanyag) (forrás: US-China Energy Center)

A szén anyagában való hasznosításának néhány igen nagy hozzáadott értéket jelentő jövőbeni alkalmazása is körvonalazódik. (1) Magas minőségű szintetikus grafit előállítása a nukleáris és vegyipar, az energiatermelés és más területeken megvalósuló alkalmazások, pl. Li-ion akkumulátorok számára (NATURAL & SYNTHETIC GRAPHITE, NEW REPORT WITH FORECASTS 2026, 2017). (2) Szénszálak előállítása, amelyek könnyebbek és erősebbek, mint az acél, jobb a vezetőképességük, mint az alumíniumé vagy a rézé, hőállóak, nincs hőtágulásuk és nem korrodálnak. A jelenleginél szélesebb körű alkalmazás akadály a magas ár. A kőolajból származó előanyag áránál a szénből előállított termék ára kedvezőbb lehet. Ma a legfinomabb szénszál szénkátrány alapanyagú (CARBON FIBER EDUCATION CENTER).

### A szén-dioxid-feldolgozás követelménye és lehetőségei

A szén vegyipari alkalmazása során a szénhidrogén alapú technológiákkal szemben jóval nagyobb mértékben keletkezik szén-dioxid, a klímavédelmi elvárások teljesítése miatt a szén-dioxid kezelése így döntő jelentőséggel bír. Első lépés a szén-dioxid leválasztása. Az villamos erőművek esetében 2 alapvető irányzat figyelhető meg. Az égetés előtti leválasztás azaz a levegőbontás, illetve az égetés után a füstgázból való leválasztás. A füstgázból való leválasztás területén többnyire az aminokkal való mosás terjedt el, ami az erőmű hatásfokát akár 10%-kal is csökkenti (ROCHELLE 2009, HUSEBYEA 2012).

A leválasztott szén-dioxid mint nyersanyag hasznosítására egy sor technológia áll rendelkezésre (SANTOS 2006). A kereskedelmileg legjobban hasznosított megoldás az olaj és gázkitermeléshez kapcsolódó szén-dioxid-besajtolás a lelőhely nyomásának fokozása érdekében. Az Egyesült Államokban az erőművektől újabban szén-dioxid-szállító csővezetéseket építenek ki az olaj- és gázmezőkhöz. Az EU széles körben javasolta a szén-dioxid föld alatti eltárolását. Erre vonatkozóan működő példa Norvégiában a tenger alatti gázmezők nyomásának fokozása a parton álló erőmű leválasztott szén-dioxidjával, s hasonló beruházást Angliában is terveznek (CARBON CAPTURE AND STORAGE, NORVEGIAN & PETROLEUM 2018).

Ismert eljárás az OLÁH György által kidolgozott eljárás, a szén-dioxid alapanyagként való hasznosítására, amelyet ipari méretben Izlandon valósítottak meg a gejzírekben feltörő szén-dioxid és az olcsó geotermikus energiával megtermelt hidrogén kombinációjára (THE WORLD'S FIRST "NEGATIVE EMISSIONS" PLANT HAS BEGUN OPERATION – TURNING CARBON DIOXIDE INTO STONE 2017). Az eljáráshoz  $\text{TiO}_2$  katalizátoron kívül 573 °C hőmérsékletre és 50 bar nyomásra van szükség. Előre haladott laborkísérletek vannak, arra vonatkozóan, hogy a nyomást és hőmérsékletet csökkenteni lehessen, valamint olcsóbb katalizátorokat lehessen alkalmazni.

Meg kell még említeni a biológiai szén-dioxid-megkötést, pl. algák segítségével, a keletkező biomasszát pedig talajjavításra vagy fűtőanyagként hasznosítják (STRAPOC et al. 2011, WAWRIK et al. 2012). A jelenleg aktuális vegyi–biológiai kutatási irányok között érdekességgéppen megemlíthető a BASF kísérleti berendezése, melyben műszálat állít elő szén-dioxid nyersanyagból.

### Köszönetnyilvánítás

Az itt bemutatott eredmények számos közreműködő segítségével valósulhattak meg. Külön köszönet illeti Professzor Meyer BERND (IEC Bergakademie Freiberg) tanszékvezető és Christopher HIGMANN (Higmann Consulting) urakat, akik konkrét kérdések megválaszolásával és a tanulmányhoz nélkülözhetetlen ábrák rendelkezésre bocsátásával nagyban segítették a végső forma létrejöttét. Ugyancsak köszönet illeti Serge PERINEAUX (World CTX) urat, aki inspirációt adott és számos szakmai kapcsolat megteremtésében működött közre. SZIRMAY Endre az útkeresés során adott nélkülözhetetlen tanácsokat, CSÖRGE Tibor sok háttérmunkával és szakmai megfontolással, PÁTZAY György BME tanszékvezető folyamatos biztatással és iránymutatással állt az ügy mellett, DEMÉNY Krisztina az ábrák elkészítésében nyújtott segítséget. Családtagjaink pedig türelmesen viselték, hogy a szabadidő jelentős részét e munkának szenteltük.



- ÁDÁM L. 2006a: A Sajó menti kőszéntelepes összlet szekvencia sztratigráfiai vizsgálata, kora, ösföldrajzi viszonyai. – *Kézirat*, doktori értekezés tézisei, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Földtudományi Doktori Iskola, Földtan–Geofizika doktori program, 125 p.
- ÁDÁM L. 2006b: A Darnó-öv hatása a borsodi széntelepes összletre. – *Földtani Közlöny* 136 (1), pp. 25–36.
- ADLHOCH, W., SATO, H., WOLFF, J. 2000: High-Temperature Winkler Gasification of Municipal Solid Waste. – Gasification Technologies Conference San Francisco, California, USA October 8–11, 2000. [http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasification/pdfs/5-ASADAL\\_BOARD\\_bbs02.pdf](http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasification/pdfs/5-ASADAL_BOARD_bbs02.pdf) (access date 2012.10.05).
- AIBEL, F. 1950: Újabb elgondolások a karsztvíz-kérdéssel kapcsolatban. – *Hidrológiai Közlöny* 30, pp. 406–414.
- ALBERT, A., RÉTFALVI, T., HOFMANN, T., HÁMOR-VIDÓ, M. 2009: Chromatographic identification of the Taxodiecea fossil trees in the Bükkalja lignite formation, Bükkábrány open cast mine, Hungary. – *8<sup>th</sup> Balaton Symposium on High-Performance Separation Methods – September 2–4, 2009, Siófok, Hungary, Abstract and Posters*.
- ALBU I., BRAUN L., SZALAY I. 1985: Az Aggtelek–Rudabányai-hegység geofizikai előkutatása. – *Ann. Report Eötvös L. Geophys. Inst.* 1984, pp. 29–33.
- ALFÖLDI, L. 1959: Abrázios diszkordancia nyomai a Sajó-völgyi barnakőszéntelepek fedőjében. – *Földtani Közlöny* 89, 125–132.
- ALFÖLDI, L. 1973: A budapesti hévizek és a Gerecse „aljai” barnaszén bányászat vízföldtani kapcsolatának kérdései. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 106, pp. 831–832.
- ALFÖLDI, L., KAPOLYI, L. (szerk.) 2007: *Bányászati karsztvízszint-süllyesztés a Dunántúli-középhegységben*. – MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 139 p.
- ALFÖLDI L., BALOGH K., RADÓCZ Gy., RÓNAI A. 1975: *Magyarázó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához, M-34-XXXIII. Miskolc*. – MÁFI Kiadv., Budapest, pp. 184–190, 224–225.
- ALS Global 2014: <https://www.alsglobal.com>
- ANDERSON, K. B., CRELLING, J. C., HUGGETT, W. W. 2010: PCT/US2010/023886 Process for the dissolution of coal, biomass and other organic solids in superheated water. – PCT/US2010/023886 USA szabadalom.
- ANDREÁNSZKY G. 1954: Mangrovépafrány a hazai alsó-oligocénből. (Mangrove-fern in Hungary from the Oligocène). – *Botanikai Közlemények* 44 (1–2), pp. 135–139.
- ANDREÁNSZKY G., SONKODINÉ KOVÁCS É. 1955: A hazai fiatalabb harmadidőszaki flórák tagolódása és ökológiája. – *A MÁFI Évk.* 44, pp. 1–326 p.
- AO WEIHUA, WEN-HUI HUANG, HUAN WAN, LEI SUN, YANYING MA, XIUYI TANG, LONGPENG CUI 2010: Ge in Coal and Coal-Ge deposits in China. 2<sup>nd</sup> China Energy Scientist Forum. – [https://www.researchgate.net/publication/278370234\\_Ge\\_in\\_Coal\\_and\\_Coal-Ge\\_deposits\\_in\\_China](https://www.researchgate.net/publication/278370234_Ge_in_Coal_and_Coal-Ge_deposits_in_China)
- ARBUZOV, S. I., VOLOSTNOV, A. V. MASHEN'KIN, V. S., MEZHIBOR, A. M. 2014: Scandium in the coals of Northern Asia (Siberia, the Russian Far East, Mongolia, and Kazakhstan). – *Russian Geology and Geophysics* 55, pp. 1306–1315
- BABICS, A. 1958: A pécsi kőszénbányászat fejlődéstörténetének főbb vonásai. – *Bányászati Lapok* 91 (8–9), pp. 635–642.
- BABICS A., FEJÉR L. 1972: Bányászati nyersanyagelőfordulások és a bányászati tevékenység történetének vázlata az észak-mecseki bányavidéken. – In: RÜZSÁS L. (szerk.): *Az észak-mecseki bányavidék regionális vizsgálata*. – Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 17–33.
- BÁLDI T. 1976: Sajóvelezd 49. sz. fúrás (faunalista és értékelés). – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, 7 p.
- BÁLDI T. 1998: Magyarország epikontinentális oligocén képződményeinek rétegtana. – In: BÉRCZI I., JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana*. – A Mol Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, pp. 419–436.
- BÁLDINÉ BEKE M. 2003: A dunántúli eocén kőszénösszletek fedőképződményeinek rétegtana és paleoökológiája nannoplankton alapján. – *Földtani Közlöny* 133 (3), pp. 325–343.
- BALKAY B., BALOGH K., IMREH L., KILÉNYI T. 1956: A Pécs-komlói feketekőszén vonulat (Mecsekhegység) szerkezeti vázlata. – *MÁFI Évi Jel.* 1954-ről, pp. 11–21.
- BALLA Z. 1980: Fáciesváltozások és magmás jelenségek kapcsolata mélytörésekkel a geoszinklinálisok tana és lemeztektonikai elmélete szemszögből. – *Kézirat*, Mecsekérc Zrt. Adattár, J-4006.
- BÁNHEGYI M. 2001: A bányarobbanások lokalizálására alkalmazott módszerek áttekintése. – SZIRTES B. (szerk.): *Búcsúzik a mecseki szénbányászat emlékkiadvány*. Komló, pp. 245–251.

- BÁNKI I., TÓTH Á. 1996: A pilisi szénbányászat. In: FALLER G., KUN B., ZSÁMBOKI L., BENKE I. (szerk.): *A magyar bányászat évezredes története II.* – Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesület Kiadványa, Budapest, pp. 380–410.
- Bányászati Egyesülés 1990: Dorogi Szénbányák Alagúti mezőkapcsolás alapozó tanulmánya. – In: *Az Északdunántúli barnaszénbányászat termelés-szerkezetátalakítási programjavaslata*. Tatabánya – Dorogi Szénbányák 1. melléklet 1990. augusztus 15 p.
- BARABÁS A., BARANYI I., JÁMBOR Á., SZABÓ J., SZÉNÁS Gy. 1964: A Mecsek és Villányi-hegység harmadkor előtti alaphegység térképe. – *MÁELGI Évkönyve 1964* (A Mecsek- és a Villányi-hegység geofizikai kutatásának eredményei).
- BARBACKA, M., PÜSPÖKI, Z., BODOR, E., FORGÁCS, Z., HÁMOR-VIDÓ, M., PACYNA, G., MCINTOSH, R. W. 2015: Palaeotopography related plant succession stages in a coal forming deltaic succession in early Jurassic in Hungary. – *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 440, pp. 579–593.
- BARICZÁNÉ SZABÓ SZ., NÉMETH L. 2014: Környezeti hatásvizsgálati dokumentáció Máza-Dél-Váralja-Dél mélyművelésű szénbánya projekt. – *Kézirat*, Calamites Kft., Pécs, 79 p.
- BARTKÓ L. 1952: A Salgótarjáni barnaköszén-medence ÉNy-i részének földtani viszonyai. – *MÁFI Évi Jel.* 1948. évről, pp. 101–109.
- BARTKÓ L. 1961: Az észak-magyarországi kőszéntelepek kora. – *Földtani Közöny* 91 (2), pp. 143–146.
- BARTKÓ L. 1962: A nógrádi barnaköszénterület földtani vizsgálata. – *Kézirat*, kandidátusi értekezés, 138 p.
- BARTKÓ L., HEGEDŰS Gy., KÓKAY J. 1966a: A kőszén. – In: JANTSKY B. (szerk.): *Ásványtelepeink földtana. Nyersanyagelőhelyeink.* – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, pp. 49–87.
- BARTKÓ L., LÁNG S., SZÜCS L., BALOGH K. 1966b: *Magyarázó Magyarország 1:200 000-es földtani térképsorozatához. M-34-XXXII. Salgótarján.* – MÁFI kiadv., Budapest, 155 p.
- Batac, Romjig 2011: *Jigging Technology.* – MBE COAL & Minerals Tecnology GMBH (Germany), 27 p.
- BAUMAN, R. F., MAA, P., ZACZEPIŃSK, S. 2018: C2XX Making Carbon Green. – <http://www.c2xx.com/> (access date 2018.02.27).
- BECHTEL, A., HÁMOR-VIDÓ, M., SACHSENHOFER, R. F., REISENBACHER, D., GRATZER, R., PÜTTMANN, W. 2007: The middle Eocene Márkus-hegy sub-bituminous coal (Hungary): Paleoenvironmental implications from petrographical and geochemical studies. – *International Journal of Coal Geology* 72 (1), pp. 33–52.
- BELL, D. A., TOWLER, B. F., FAN, M. 2011: Chapter 3 – Gasification Fundamentals. – In: BELL, D., TOWLER, B., FAN M. (szerk.): *Coal Gasification and its Applications*. Boston: William Andrew Publishing, pp. 35–71.
- BELLA L.-né, VARGA I.-né 1981: Ásványi szenek klasszifikációjának alapkérdései. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 114 (1), pp. 33–37.
- BELLA L.-né, SZÜCS I., TAKÁCS P. 1965: 3-VIII-64-3/6. számú kutatási zárójelentés. Laboratóriumi kutatások faszénpótló xilitkokszt előállítására. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.7394.
- BELLA L.-né, KOVÁTSITS M.-né, TAKÁCS J.-né, VARGA I.-né, TAKÁCS P. 1980: Kutatási részjelentés „Toronyi lignitterület részletes fázisú kutatása, széntekológiai vizsgálat”. – *Kézirat*, KBFI-MÁFGBA, Budapest.
- BELLÁNÉ PELSŐCZI M. 1992: Szénközetek. – In: BALOGH K. (szerk.): *Szedimentológia III.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 219–264.
- BENCE G., BERNHARDT B., BIHARI D., BÁLINT CS., CSÁSZÁR G., GYALOG L., HAAS J., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., KAISER M., KÉRI J., KÓKAY J., KONDA J., LELKESNÉ FELVÁRI Gy., MAJOROS Gy., PEREGI Zs., RAINCSÁK Gy., SOLTÍ G., TÓTH Á., TÓTH Gy. 1990: *A Bakony hegység földtani képződményei, Magyarázó a Bakony hegység fedetlen földtani térképéhez, 1:50 000.* – A MÁFI kiadv., Budapest 119 p.
- BÉRCZINÉ MAKK A. 1998: Az Alföld és a Tokaji-hegység triász és jura képződményeinek rétegtana (Triassic and Jurassic stratigraphy of the Great Hungarian Plain and of the Tokaj Mts.). – In: BÉRCZI I., JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana.* Mol Rt. – MÁFI kiadv., Budapest, pp. 281–298.
- BERNHARDT B. 1985: *Mór-Bodajk. Magyarázó a Bakony hegység 20 000-es térképsorozatához.* – MÁFI kiadvány, Budapest, 103 p.
- BERNHARDT B., INCZE SZ. 1998: Az északkelet-dunántúli oligocén képződmények litosztratiográfiai tagolása. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest
- BERNHARDT B., PEREGI Zs. 1983: *Bodajk, fedetlen földtani térkép. A Bakony hegység földtani térképe, 20 000-es sorozat.* – MÁFI kiadvány, Budapest.
- BERTALAN-BALOGI M., SZEDERKÉNYI T. 1989: Jelentés a hazai barnakőszén komplex szénközöttani, széngeokémiai, továbbá technológiai telepminősítő vizsgálata témakörben végzett vizsgálatokról. Részjelentés. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest T.18075.
- BEUDANT, F. S. 1822: *Voyage minéralogique et géologique en Hongrie pendant l'année 1818. II.* – Paris, pp. 512–564.
- BGR (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe – Federal Institute for Geosciences and natural resources) 2015: *Energy Study 2015.* – Reserves, resources and availability of energy Resources. – Hannover, Germany, 172. p.
- BÍRÓ J. 2003: A mecseki szénbányák metánfelszabadulási adatainak függvényszemléletű vizsgálata (II. Rész). – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 136, pp. 93–100.
- BÍRÓ J., PÁL I. 2003: A mecseki szénbányák metánfelszabadulási adatainak függvényszemléletű vizsgálata (I. Rész. A zobáki metánfelszabadulási adatok elemzése). – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 135, pp. 1–11.
- BOHN-HAVAS M., NAGYMAROSY A. 1985: Fossil Nannoplankton and Molluscs from the Ottnangian of the Borsod Basin (N Hungary) – *RCMNS Symp. Sept. 1985. Budapest, Abstract*, pp. 112–115.
- BOHNÉ HAVAS M. 1970: A Keleti-Mecsek torton Mollusca faunája. – *MÁFI Évk.* 53 (4), pp. 947–1161.
- BOHNÉ HAVAS M., VAJK H. 1999: A Hazai eocén és miocén medencék barnakőszeneinek szénközöttani és szén-geokémiai összehasonlító vizsgálata (a dorogi és a borsodi medence néhány jellegzetes telepének példáján). Az F.015989 sz. OTKA kutatás zárójelentése. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, ad.sz. 1375–1378.
- BOISEN, A. 2010: Low Temperature Gasification. – DONG Energy, [http://www.ieabcc.nl/workshops/task32\\_Copenhagen/10%20DONG.pdf](http://www.ieabcc.nl/workshops/task32_Copenhagen/10%20DONG.pdf) (access date 07.10.2010).
- BOKÁNYI, L. 1990: The Determination of the Parameters of Coal Flotation Based on Partial Floatability. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry, series A-mining* 46, pp. 85–129.
- BOKÁNYI L. 1993: A szénflotálás kinetikai modellezése reális parciális flotálhatóság alapján. – *Kézirat*, Kandidátusi értekezés 1993. Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet, 120 p. + mellékletek.
- BOKÁNYI, L. 1994: Kinetic Model for Flotation Systems with Particle Interaction. – In: BLASCHKE, W. S. (ed.): *New trends in coal preparation technologies and equipment. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Coal Preparation Congress. Cracow, Lengyelország, 1994. május 23–27. Amsterdam: Gordon and Breach, 1996.* pp. 731–736. (ISBN: 2-88449-139-2)

- BOKÁNYI, L., CSÓKE, B. 2003: Preparation of clean coal by flotation following ultra fine liberation. – *Applied Energy* 74, pp. 349–358.
- BOKÁNYI L., PETHŐ SZ., TOMPOS E., BÖHM J. 1986: Feketeszenek előkészítése. – In: OMBKE A Bányamérnöki Kar kutatási eredményei, 1983–1986. – *A Miskolcon, 1986. jún. 4–5-én a magyar műszaki felsőoktatás 250 éves jubileumára rendezett konferencia előadásai. Miskolc, Nehézipari Műszaki Egyetem, 1986. június 04–05.* pp. 54–61. (ISBN:963 661 072 X)
- BÓNA J. 1963: A mecseki liász feketekőszéntelepek távol-azonosítására irányuló palynológiai vizsgálatok – *Földtani Közlöny* 93 (1), pp. 15–23.
- BÓNA, J. 1966: Spores de Lycopodiacees dans le charbon liassique du Mecsek. – *Acta Botanica Acad. Sci. Hung.* 12, pp. 27–32.
- BÓNA J. 1969: Palinológia. In: A mecsek hegység alsó-liász kőszénösszlete. Földtan. – *MÁFI Évk.* 51 (2), pp. 623–707.
- BÓNA J. 1983a: A mecseki felsőtriász és alsóliász palinológiai vizsgálata. – *Öslénytani Viták* 29, pp. 47–57.
- BÓNA J. 1983b: Máza-Dél-Váralja-Déli feketekőszén-összlet pollenvizsgálati eredményei. – *Földtani Kutatás* 26 (2–3), pp. 73–80.
- BÓNA J. 1984: Adatok a mecseki felső-triász és alsó-liász palinológiai szintezéséhez. – *MÁFI Évi. Jel.* 1982-ről, pp. 203–216.
- BÓNA J., RUMLINÉ SZENTAI M. 1966: A mátraaljai lignitkutató fúrások palynológiai eredményei – *Földtani Közlöny* 96, pp. 421–426.
- BORAI Á. 1959: A hidasi barnakőszénbánya néhány alapvető termelési kérdése – *Pécsi Műsz. Szemle* 4 (2), pp. 9–13.
- BORBÉLY S., JUHÁSZ A. 1971: A Borsodi Szénbányák bányavizeinek külszíni hasznosítási lehetőségei. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 104, pp. 466–469.
- BÖCKER, T., HÖRISZTI, Gy. 1992: A Dunántúli-középhegység fő-karsztvízszintjének előrejelzése 1992–2010 közötti időszakra. – *Hidrológiai Közlöny* 72 (5–6), pp. 345–360.
- BÖCKH J. 1875–78: A Bakony déli részének földtani viszonyai. II. rész – *MKFI Évk.* 3, pp. 1–155.
- BÖCKH J. 1876: Pécs város környékének földtani és vízi viszonyai – *MKFI Évk.* 4 (4), pp. 129–287, 151–328.
- BÖHM J., BOKÁNYI L. 2002: Száraz szénelőkészítési eljárások. Rövid szakmai összefoglaló tanulmány. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet
- BÖLE K., HERMANN Gy. (szerk.) 1975: Bemutatjuk a Várpalota Szénbányákat. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 108, pp. 497–507.
- BP 2016: *Bp Staticsical Review of World Energy 2016*. – BP (British Petroleum) Plc., London, UK, 44 p.
- BRAUN L., KÓNYA A., TIMÁR Z. 1985: A Mecsek és a Villányi-hegység környékének geofizikai vizsgálata. – *MÁELGI 1984. évi jelentése* pp. 53–56.
- BRAUN, L., PETROVICS, I., SZALAY, I. 1989: A Szuha-völgye és a Darnó-öv reflexiók szerkezetkutatása. – *Ann. Report Eötvös L. Geophys. Inst.* 1987, pp. 39–44.
- BREAULT, R. 2010: Gasification Processes Old and New: A Basic Review of the Major Technologies. – *Energies* 2010 (3), pp. 216–240.
- BUDAI T., CSÁSZÁR G., CSILLAG G., FODOR L., KERCSMÁR Zs., SÁSDI L., SELMECZI I. 2008B: Fejlődéstörténet. – In: BUDAI T., FODOR L. (szerk.): *A Vértes hegység földtana. Magyarország tájegységi térképsorozata. Magyarász a Vértes hegység földtani térképéhez (1: 500 000)*. – MÁFI Kiadv. Budapest, pp. 212–213.
- BUDAI T., FODOR L. (szerk.), CSÁSZÁR G., CSILLAG G., GÁL N., KERCSMÁR Zs. KORDOS L., PÁLFALVI S., SELMECZI I. 2008: *A Vértes hegység földtana. Magyarász a Vértes hegység földtani térképéhez (1:50 000)*. – MÁFI kiadv., Budapest, Magyarország tájegységi térképsorozata, 368 p.
- BURT, F. O., MILLS, C. 1984. Gravity Concentration Technology. – *Developments in Mineral Processing* 5. – Elsevier, 605 p.
- BURTRON, H. D., HOWER, J. 2017: Coal Technology for Power, Liquid Fuels, and Chemicals. – In: KENT, J. A., BOMMARAJU, T. V., BARNICKI, S. D. (eds): *Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology*. – Springer International Publishing, DOI: 10.1007/978-3-319-52287-6\_3.
- CALKINS, W. H., HAGAMAN, E., ZELDES, H. 1984: Coal flash pyrolysis: 1. An indication of the olefin precursors in coal by CP/MAS <sup>13</sup>C n.m.r. spectroscopy. – *Fuel* 63, pp. 1113–1118.
- Carbon Capture and Storage, Norwegian & Petroleum 2018: <https://www.norskpetrolium.no/en/environment-and-technology/carbon-capture-and-storage/>
- Carbon fiber education center: <http://zoltek.com/carbon-fiber/how-is-carbon-fiber-made/>
- CHABBI, A., RUMPEL, C., GROOTES, P. M., GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A., DELAUNE, R. D., GONZALEZ-VILA, F., NIXDORF, B., HÜTTL, R. F. 2006: Lignite degradation and mineralization in lignite-containing mine sediment as revealed by <sup>14</sup>C activity measurements and molecular analysis. – *Organic Geochemistry* 37, pp. 957–976.
- CHANDRAKANT, T. 2012: Biomass Gasification – Technology and Utilisation. – <http://www.scribd.com/doc/55220630/12/Twin-fire-gas-producer0> (access date 2015.03.27).
- CHAUHAN S. 2016: Scale-up of Batelle's direct Coal to Liquids (CTL) Process for jet fuel using biomass derived solvents. – *33<sup>rd</sup> International Pittsburgh Coal Conference, Cape Town, South-Africa*, p. 4812.
- CIARKOWSKA, K., SOLEK-PODWIKAA, K., FILIPEK-MAZURB, B., TABAK, T. 2017: Comparative effects of lignite-derived humic acids and FYM on soil properties and vegetable yield. – *Geoderma* 303, pp. 85–92.
- COLLOT, A. G. 2006: Matching gasification technologies to coal properties. – *International Journal of Coal Geology* 65, pp. 191–212.
- COM/2014/0297 2014: A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának az EU számára kritikus fontosságú nyersanyagok jegyzékének felülvizsgálatáról és a nyersanyag-politikai kezdeményezés végrehajtásáról. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:52014DC0297>
- CORNIDES, I. 1970: Néhány megjegyzés ásványvizeink széndioxid-tartalma eredetének kérdéséhez <sup>13</sup>C izotópelemzések alapján. – *Hidrológiai Közlöny* 50 (11), pp. 520–523.
- CORNIDES, I., SÜLT, T. 1970: A Tribes-aknai CO<sub>2</sub> gázelőfordulás kutatásának újabb megállapításai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 103 (12), pp. 817–824.
- CORTÉS, C. G., TZIMAS, E., PETEVES, S. D. 2009: Technologies for Coal based Hydrogen and Electricity Co-production Power Plants with CO<sub>2</sub> Capture. – Institute for Energy EUR 23661 EN.
- COUCH, G. R. 2008: *Coal to liquids*. – International Energy Agency (IEA) Clean Coal Centre, London, CCC/132, 114 p.
- CURTIS, A. P., KOLKER, A., WILLETT, J. C., MROCZKOWSKI S. J., FINKELMAN R. B., TAYLOR K. C., DULONG F. T., BULLOCK J. H. 1999: Preliminary Report on the International Energy Agency. Mode of Occurrence Inter-laboratory Comparison: Phase I. USGS Results. – *USGS Open File Report* 99–160.
- CSALAGOVITS I., VÍGHNE F. M. 1969: A meddőkőzetek és a kőszén nyomelemei. – *Ann. Inst. Geol. Publ. Hung.* 51, pp. 518–574.

- CSÁSZÁR G. 1984: Ajka pótlása érdekében a prognózistól az előkutatási jelentésig. – *Földtani Kutatás* 27 (3), p. 1.
- CSÁSZÁR G. (szerk.) 1997: *Basic Lithostratigraphic Units of Hungary (Charts and short descriptions)*. – Magyarország litosztratiográfiai alap-egységei (Táblázatok és rövid leírások). – MÁFI kiadv., Budapest, 114 p.
- CSÁSZÁR G., GÓCZÁN F. 1988: a bakonyi felső-kréta kőszénkutatás és kőszénlápvizsgálat. – *MÁFI Évi Jel.* 1986-ról, pp. 155–177.
- CSÁSZÁR G., CSEREKLEI E., GYALOG L. (szerk.) 1985: *A Bakony-hegység fedett földtani térképe. 1: 50 000*. – MÁFI kiadv., Budapest.
- CSÁSZÁR G., BERNHARDT B., KÓKAY J., BÁLINT Cs. 1990: Hasznosítható nyersanyagok: A) Éghető ásványi nyersanyagok. – In: BENCE G., BERNHARDT B., BIHARI D., BÁLINT Cs., CSÁSZÁR G., GYALOG L., HAAS J., HORVÁTH I., JÁMBOR Á., KAISER M., KÉRI J., KÓKAY J., KONDA J., LELKESNÉ FELVÁRY Gy., MAJOROS Gy., PEREGI Zs., RAINCSÁK Gy., SOLTÍ G., TÓTH Á., TÓTH Gy.: *A Bakony hegység földtani képződményei. Magyarázó a Bakony hegység fedetlen földtani térképéhez 1: 50 000*. – MÁFI Kiadv., Budapest, pp. 84–87.
- CSATHÓ P. 1994: *A környezet nehézfém-szennyezettsége és az agrártermelés. Tematikus szakirodalmi szemle*. – MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest, Akaprint, pp. 63–81.
- CSEPREGHY MEZNERICS I. 1949: A salgótarján-vidéki középső-miocén képződmények őslénytani vizsgálata. – *MÁFI Évi Jel.* 1949-ről, pp. 59–60.
- CSEPREGHY MEZNERICS I. 1950: A hidasi tortonai fauna. – *MÁFI Évk.* 39 (2), pp. 129–287.
- CSICS GY. 1988: Búcsú a tatabányai (tatai) szénmedencétől. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 121 (10), pp. 712–721.
- CSILLING L. 1963: A perspektivikus lignitkutatás fő kérdései a Mátra és Bükkalján. – *Földtani Kutatás* 6 (4), pp. 20–24.
- CSIRIK, Gy., BARÁTOSSY, K., BUDAI, T., JÁMBOR, Á., KNAUER, J., MÜLLER, P., NÁDOR, A., PELIKÁN, P., PENTELENYI, L., RADÓCZ, Gy., RAINCSÁK, Gy., SIMON, A. 2000: Magyarország ásványi nyersanyagai (átdolgozott változat). 2.1.1.2.2. Szilárd ásványi nyersanyagok potenciáljának felmérése. Jelentés a 2000. évben elvégzett feladatokról. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.20022.
- CSONTOS L. 1998: *Szerkezeti földtan*. – Egyetemi jegyzet, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 208 p.
- CSONTOS, L., NAGYMAROSY, A. 1998: The Mid-hungarian line: a zone of repeated tectonic inversions. – *Tectonophysics* 297, pp. 51–71.
- DAI, SH., FINKELMAN, R. B. 2018: Coal as a promising source of critical elements: Progress and future prospects. – *International Journal of Coal Geology* 186, pp. 155–164.
- DAI, SH., ZHOU, Y., REN, D., WANG, X., LI, D., ZHAO, L. 2007: Geochemistry and mineralogy of the Late Permian coals from the Songzao Coalfield, Chongqing, southwestern China. – *Sci. China Ser D, Earth Sci.* 50 (5), pp. 678–688.
- DAI, SH., GRAHAM, I. T., WARD, C. R. 2016: A review of anomalous rare earth elements and yttrium in coal. – *International Journal of Coal Geology* 159, pp. 82–95.
- DANK V. 1953: A herend-szentgáli barnakőszén-medence. – *Földtani Közöny* 83, pp. 13–23.
- DANKÓ Zs. 2002: Az eocén bányák vízvédelmi tapasztalatainak alkalmazása a Mátyás-hegyi akna vízvédelmében. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 135 (3), pp. 256–264.
- DARÁNYI F. 1957: Adatok az Ajka környéki kréta kifejlődéshez. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 90 (4–5), pp. 253–256.
- DARLING, P. 2011: *SME Mining Engineering Handbook I–II*. 3<sup>rd</sup> Edition. – Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, 1912 p.
- DÁVID, Á., PÜSPÖKI, Z., KÓNYA, P., VINCZE, L., KOZÁK, M., MCINTOSH, R. W. 2006: Sedimentology, paleoichnology and sequence stratigraphy of a Karpatian sandy facies (Salgótarján Lignite Formation, N Hungary). – *Geologica Carpathica* 57, pp. 279–294.
- DAVIDSON, R. M., CLARKE, L. B. 1996: Trace Elements in Coal. – *IEA Research Paper* 21.
- DEÁK J., GODA L., HÁRS F. 1982: A Dubicsány-Sajóvölgy barnakőszén terület előzetes fázisú kutatási zárójelentésének összefoglaló adatai. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T. 13096
- DIESSEL F. K. C. 1992: *Coal-Bearing depositional systems*. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 721 p.
- DIESSEL, C. F. K. 1986: On the correlation between coal facies and depositional environments. – In: *Advances in the Study of the Sydney Basin, Proc. 20<sup>th</sup> Symp., Univ. Newcastle*. pp. 19–22.
- DTI (Department of Trade and Industry) 2001: Coal Preparation Cleaner Coal Technology Programme. – *Technology Status Report* 015.
- DU, G., ZHUANG, X., QUEROL, X., IZQUIERDO, M., ALASTUEY, A., MORENO, T., FONT, O. 2009: Ge distribution in the Wulantuga high-germanium coal deposit in the Shengli coalfield, Inner Mongolia, northeastern China. – *International Journal of Coal Geology* 78, pp. 16–26
- DUDKO A., BENCE G., SELMECZI I. 1992: Miocén medencék kialakulása a Dunántúli-középhegység DNY-i részén. – *MÁFI Évi Jelentés* 1990-ről, pp. 107–124.
- DZSIDA J. 1937: Szén-savkitörések a salgótarjáni medencében. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 70, pp. 457–464.
- EDELSTEIN M. 1937: Az ajkai szén szénközettani vizsgálata. – *Földtani Közöny* 67, pp. 109–131.
- EKMANN, J. M. 2012: Rare Earth Elements in Coal Deposits – a Prospectivity Analysis. – *Poster Session, AAPG Eastern Section Meeting, Cleveland, Ohio, Sept. 22–26, 2012*.
- ELEK I. 1963: Szénközettani vizsgálatok az Ózdi barnakőszén-medencéből. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, ad.sz. 1.18.0003.
- ELEK I. 1964: Sajókaza-Felsőnyárad környéki barnakőszén-telepek összehasonlítása szénközettani vizsgálatok alapján. – MÁFGBA, Budapest.
- ELEK I. 1977: Észak és Nyugat-magyarországi lignitterületek szénközettani tulajdonságai és az azokból levonható technológiai következtetések. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, T.7034.
- ELEK I. 1984: Ajka Ármin-bánya-i minták szénközettani vizsgálata. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.13872.
- ELEK I. 1987: Sajómercsé-II. barnakőszénkutatás szénközettani vizsgálata. Uppony 16. és 17. sz. fúrás anyagainak szénközettani összehasonlítása. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.14354.
- ELEK I. 1988: A borsodi láprekonstrukciós vizsgálatok szénközettani értékelése. Lyukóbánya IV. telep 4 szelvényének vizsgálata. – MÁFGBA, Budapest.
- ELLIS, S., SCHREURS, G., PANIEN, M. 2004: Comparison between analogue and numerical models of thrust wedge development. – *Journal of Structural Geology* 26, pp. 1659–1675.
- ELSTON, D. P., LANTOS M., HÁMOR T. 1990: Az Alföld pannóniai (s.l.) képződményeinek magnetosztratiográfiája. – *MÁFI Évi Jel.* 1988. évről, I., pp. 109–134.

- ÉRSEK E. 1996: A nógrádi szénmedence. – In: BENKE I., REMÉNYI V. (szerk.): *A Magyar bányászat évezredes története II.* – Orsz. Magy. Bány. Koh. Egyesület, Budapest, pp. 337–380.
- ESKENAZY, G. M. 2006: Geochemistry of beryllium in Bulgarian coals. – *International Journal of Coal Geology* 66 (4), pp. 305–315.
- Euracoal (European Association for Coal and Lignite) 2017: Coal Industry across Europe; 6th edition with insights. – Euracoal, Brussels, Belgium, 80 p.
- Európai Bizottság 2017: Vitaanyag az európai védelem jövőjéről. COM (2017) 315. – [https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/reflection-paper-defence\\_hu.pdf](https://ec.europa.eu/commission/sites/beta-political/files/reflection-paper-defence_hu.pdf)
- Európai Unió 2008: A Bizottság Közleménye az Európai Parlamentnek és a Tanácsnak – Nyersanyag-politikai kezdeményezés: az Európai gazdasági növekedés és foglalkoztatás kritikus szükségleteinek kielégítése. – <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008DC0699&from=hu>
- FALLER J. 1930: A vértessomlyói szénbányászat. – *Tatatóvárosi Híradó* 1930 (10–14).
- FALLER J. 1931: *Az Unió Bányászati és Ipari Rt. várpalotai szénbányászatának ismertetése.* – Gold Nyomda, Várpalota, 23 p.
- FALLER J. 1957: Hetven éves a várpalotai szénbányászat. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 90 (2), pp. 142–143.
- FANCSIK, T., FÖLDESSY J., SZERENCSESNÉ M. É., DINSDALE, CH. 2013: Útmutató a felszín alatti szénelgázosítás magyarországi bevezetéséhez. – *Kézirat*, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Miskolci Egyetem, Golder Associates (Magyarország) Zrt., Wildhorse Energy, Budapest. 137 p.
- FARHANGI-ABRIZ S., NIKPOUR-RASHIDABAD, N. 2017: Effect of lignite on alleviation of salt toxicity in soybean (*Glycine max* L.) plants. – *Plant Physiology and Biochemistry* 120, pp. 186–193.
- FARKAS O.-né, NAGY G. 1985: *Tüzeléstan.* – Tankönyvkiadó, Budapest, 459 p.
- FETTWEIS, U., BENS, O., HÜTTL, R. F. 2005: Accumulation and properties of soil organic carbon at reclaimed sites in the Lusatian lignite mining district afforested with *Pinus* sp. – *Geoderma* 129 (1–2), pp. 81–91.
- FINKELMAN, R. B. 1993: Trace and Minor Elements in Coal. – In: ENGEL, M., MACKO, S. A. (eds): *Organic Geochemistry: principles and applications.* Springer, pp. 593–607.
- FINKELMAN, R. B., PALMER, C. A., WANG, P. 2018: Quantification of the modes of occurrence of 42 elements in coal. – *International Journal of Coal Geology* 185, pp. 138–160.
- FODOR B. 2007a: Magyarország szénhezkötött metánvagyona. – *Földtani Közöny* 136 (4), pp. 465–487.
- FODOR B. 2007b: A magyarországi széntelepek metánvagyona. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 140 (3), pp. 2–9.
- FODOR, L., MAGYARI, Á., KÁZMÉR, M., FOGARASI, A. 1992: Gravity-flow dominated sedimentation on the Buda paleoslope (Hungary): Record of Late Eocene continental escape of the Bakony Unit. – *Geologische Rundschau* 81 (3), pp. 695–716.
- FODOR, L., CSILLAG, G., NÉMETH, K., BUDAI, T., CSERNY, T., MARTIN, U., BREZSNYÁNSZKY, K., DEWEY, J. 2005a: Tectonic development, morphotectonics and volcanism of the Transdanubian Range: a field guide. – *Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary* 204, pp. 59–86.
- FODOR, L., RADÓCZ, Gy., SZTANÓ, O., KOROKNAI, B., CSONTOS, L., HARANGI, SZ. 2005b: Post-Conference Excursion: Tectonics, Sedimentation and Magmatism along the Darnó Zone. – *GeoLines* 19, pp. 142–162.
- FODOR L., CSILLAG G., LANTOS Z., BUDAI T., KERCSMÁR Zs., SELMECZI I. 2008: *A Vértessomlyói szénbányászati terület földtani térképe 1:50 000.* – MÁFI Kiadv., Budapest.
- FOETTERLE, F. 1852: Mitteilung der Lagerungsverhältnisse der Kohlenformation bei Fünfkirchen. – *Jahrb. d. k. k. Geol. R. A.* 3, pp. 142–143.
- FONG, S. S., SENG, L., CHONG, W. N., ASING, J., FAIZAL, M., NOR, MD, SATIRAWATY, A., PAUZAN, M. 2006: Characterization of the coal derived humic acids from Mukah, Sarawak as soil conditioner. – *Journal of the Brazilian Chemical Society* 17 (3), pp. 582–587.
- FORGÁCH, F., SÜTŐ, J., TORJÁK, T. 1981: A Kőerdőtető és környékének széndioxid előfordulása, valamint annak gazdasági hasznosítása. – *Kézirat*, tanulmányterv, Nógrádi Szénbányák, Tiribesi Aknaüzem. MÁFGBA, Budapest, 20 p.
- FORGÁCS Z., PÜSPÖKI Z., SOÓS NÉ KABLÁR J. 2011a: A Mecseki Kőszén Formáció szekvenciasztratigráfiai tagolása. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 144 (2), pp. 6–11.
- FORGÁCS Z., PÜSPÖKI Z., SOÓS NÉ KABLÁR J., JÁGER L., MCINTOSH R. W., KOVÁCS Z., KOVÁCS Zs., KOZÁK M., VERBŐCI J., KOVÁCS E. 2011b: Szerkezeti rekonstrukció Máza–Váralja–Dél területén. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 144 (3), pp. 2–8.
- FORGÁCS Z., PÜSPÖKI Z., SOÓS NÉ KABLÁR J., JÁGER L., KOVÁCS Z., KOVÁCS Zs. 2011c: A készletszámítás gyakorlati megvalósítása a Máza–Váralja–Déli feketekőszén területén. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 144 (5), pp. 2–6.
- FORGÓ L., MOLDAVAY L., STREFANOVITS P., WEIN Gy. 1965: *Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához. L-34-XIII. Pécs.* – MÁFI kiadv., Budapest, 196 p.
- FÖLDESSY J., MÁDAI F., MÁDAI V., FUCHS P. 2017: Kritikus elemek kinyerési és hasznosítási lehetőségeinek vizsgálata a meglévő adatok és mintavételezés alapján (belső részjelentés). – *Kézirat*, Miskolci Egyetem Földtan-Teleptani Tanszék.
- FÖLDI M. 1966: A hidasi terület földtani felépítése. – *MÁFI Évi Jel.* 1964. évről, pp. 93–111.
- FÖLDVÁRY NÉ VOGL M. 1967: Az országos területi ritkafém kutatás 1966. évi eredményei. – *A MÁFI Évi Jel.* 1966. évről, pp. 291–314.
- FÖLDVÁRY NÉ VOGL M. 1968: A ritkafém kutatás 1966. évi eredményei. – *MÁFI Évi Jel.* 1966. évről, pp. 291–314.
- FRANK, H. G., KNOP A. 1986: *A szénfeldolgozás kémiai technológiája.* (A magyar változatot szerkesztette TAKÁCS P.). – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 322 p.
- FRENZEL, M., KETRIS, M., GUTZMER, J. 2014: On the geological availability of germanium. – *Mineralium Deposita* 49, pp. 471–486.
- FÜLÖP J. 1984: *Az ásványi nyersanyagok története Magyarországon.* – Műszaki Könyvkiadó Budapest 179 p.
- GAÁL Cs.-né, VÁRHEGYI P. 1984: Tardona-K. barnakőszén előfordulás földtani kutatási jelentése, részletes fázis. I. kötet. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, KFH 5242.
- GAÁL Cs.-né, GODA L., JUHÁSZ A., DEÁK J., VÁRHEGYI P. 1987: Dubicsány–Sajóvölgye részletes fázisú kutatásainak összefoglaló és vagyonszámtáji jelentése (1987. jan. 1-i állapot). – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, ad.sz. 6558/1, 351 p.
- GAGYI-PÁLFFY A. (szerk) 1962: A járulékos és nyomelemek kutatásának helyzete Magyarországon (Tájékoztató kataszter). KGST Színesfémkohászati Bizottság, Nehézsínes és Ritkafémtermelési Albizottság, Budapest. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, V.Mn.27.

- GAGYI PÁLFFY A. 1985. Szénbányák létesítési lehetőségeit összefoglaló ismertető. – *Kézirat*, KBFI Budapest, 60 p.
- GARY, C.Y. 2010: Minicipal Solid Waste to Energy Conversion Processes Economic, Technical and Renewable Comparisons. – <http://www.scribd.com/doc/53919148/37/Lurgi-Dry-Ash-Gasi%EF%AC%81er-and-British-Gas-Lurgi-Gasi%EF%AC%81er> (access date 2015.03.27).
- Gasification in Detail 2012: – Types of Gasifiers – Fixed (Moving) Bed Gasifiers. – [http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/4-gasifiers/4-1-1-1\\_lurgi.html](http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/4-gasifiers/4-1-1-1_lurgi.html) (access date 2012.06.07).
- Gasification Systems 2010: Worldwide Gasification Database. – <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/world-database/index.html> (access date 2010.06.25).
- Gasification Technologies Council Resource Center World Gasification Database: Retrieved 24 June 2014. – <https://www.globalsyngas.org/database1/search.aspx>
- Gasification Technologies ThissenKrupp Uhde 2015: – [http://www.uhde.eu/fileadmin/documents/brochures/gasification\\_technologies.pdf](http://www.uhde.eu/fileadmin/documents/brochures/gasification_technologies.pdf) (access date 2015.07.11).
- Gasifier 2012: Mechanical Engineers References. – <http://kyawzin-mm.blogspot.hu/2012/07/v-behaviorurldefaultvmlo.html> (access date 2018.01.07).
- Gasifipedia 2010: Supporting Technologies, 2010 Worldwide Gasification Database. – <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/5-support/index.html> (access date 2010.06.25).
- Gasifipedia 2012: Gasification in Detail – Types of Gasifiers – Fluidized Bed Gasifiers. – [http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/4-gasifiers/4-1-3\\_fluidizedbed.html](http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasifipedia/4-gasifiers/4-1-3_fluidizedbed.html) (access date 2012.04.22).
- GAZZANI, M., MANZOLINI, G., MACCHI, E., GHONIEM, A. F. 2013: Reduced order modeling of the Shell–Prenflo entrained flow gasifier. – *Fuel* 104, pp. 822–837.
- GEPIG, S. 2013: Shenhua's DCL Project: Technical Innovation and Latest Developments. – <http://cornerstonemag.net/shenhua-dcl-project-technical-innovation-and-latest-developments/> (access date 2018.02.27).
- GERBER P. 1977: A Dunántúli Gyűjtőerőmű szénbázisával kapcsolatos földtani és vízföldtani kutatási, valamint bányaföldtani feladatok a tatabányai szénbányáknál. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 110 (12), pp. 832–835.
- GERBER P. 1978: A Tatabánya-Nagygyháza-Mány terület földtan-teleptani viszonyai – *Földtani Közöny* 108 (1), pp. 18–28.
- GERBER P. 1987: Vértessomló környékének földtana a barnaköszén-kutatások tükrében. – *Földtani Kutatás* 30 (4), pp. 45–53.
- GIDAI L. 1968: A felderítő barnaköszénkutatás helyzete és lehetőségei a Dunántúli-középhegység ÉK-i részén. – *MÁFI Évi Jel.* 1966-ról, pp. 125–134.
- GIDAI L. 1971a: A Vértessomló és a Buda–Pilis hegységek közötti infraoligocén (Telegrdi Roth) küszöb. – *MÁFI Évi Jel.* 1969. évről, pp. 115–120.
- GIDAI L. 1971b: Az ÉK-dunántúli eocén rétegtani kérdései. – *Földtani Közöny* 101, pp. 396–405.
- GIDAI L. 1973: Jelentés a várgesztesi területen végzett eocén barnaköszén felderítő kutatásról. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.4227.
- GIDAI L. 1974: Jelentés a Vértessomló–Kapturpusztai területen 1972–1973-ban végzett barnaköszénkutatásról. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.5097.
- GIDAI L. 1983: A Mogyorósbánya–Szarkáspuszta környéki oligocén köszéntelegek prognózisa. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.12322.
- GIDAI L. 1985: Az oligocén képződmények rétegtani viszonyai a Dorogi-medence nyugati részén. – *Földtani Közöny* 115, pp. 369–384.
- GIDAI L. 1986: A Vértessomló–Majkpuszta–Oroszlány környéki oligocén barnaköszéntelegek kutatásának lehetőségei. – *Bányászati és Kohászati Lapok* 119 (2), pp. 90–98.
- GLUSKOTER, H. J., RUCH, R. R., MILLER, W. G., CAHILL, R. A., DREHER, G. B., KUHN, J. K., 1977: Trace elements in coal: occurrence and distribution: III. – *State Geol. Surv. Circ.* 499, 154 p.
- GÓCZÁN F. 1656: A komlói liász feketeköszéntelegek azonosítására irányuló pollenanalitikai (palynológiai) vizsgálatok. – *MÁFI Évk.* 45 (1), pp. 135–212.
- GÓCZÁN F. 1961: A Déli-Bakony senon képződményeinek palinológiája. – *MÁFI Évk.* 49 (3), pp. 633–642.
- GÓCZÁN F. 1965: A bakonyi felsőkréta vegetáció fejlődéstörténeti vázlata. – *MÁFI Évi Jel.* 1963 évről, pp. 221–231.
- GÓCZÁN, F., SIEGEL-FARKAS, Á., MÓRA-CZABALAY, L., RIMANÓCZI, Á., VICZIÁN, I., RÁKOSI, L., CSALAGOVITS, I., PARTÉNYI, Z. 1986: Ajka Coal Formation, Biostratigraphy and Geohistory. – *Acta Geologica Hungarica* 29, pp. 221–231.
- GOMBOS A. 2001: A bányatüzeveszélyek megelőzésében alkalmazott eljárások. – In: SZIRTES B. (szerk.): *Búcsúzik a mecseki szénbányászat emlékkiadvány.* Komló, pp. 265–276.
- GONDOS Gy., SCHULTHEISZ Z. 1959: Adatok az ajkai felsőkréta-kori szénmedence ismeretéhez I. – *A Veszprémi Vegy. Egy. Közl.* 3, pp. 99–132.
- GÖRCS N. L. 2014: Domborzati és vízrajzi változások az Észak-mecseki-bányavidéken, különös tekintettel az aláfejtés hatásaira. – *Kézirat*, PhD értekezés, PTE TTK, 139 p.
- GRAAF, J. D. 2011: Shell Coal Gasification Technology. – [http://w3.wtb.tue.nl/fileadmin/wtb/ct-pdfs/Energy\\_from\\_Biomass/Lecture\\_2011\\_gastcollege\\_Shell.pdf](http://w3.wtb.tue.nl/fileadmin/wtb/ct-pdfs/Energy_from_Biomass/Lecture_2011_gastcollege_Shell.pdf) (access date 2012.07.09).
- GREGUSS P. 1949: Az ajkai felsőkréta korú barnaköszén fuzitárványának meghatározása. – *Földtani Közöny* 79 (1–2), pp. 394–406.
- GRÓNAY I.-né, ELEK I. 1988: 271.014.07 KBFI sz. kutatási jelentés. Bakony északi terület fúrásaiból származó eocén és oligocén korú kőszének szénközöttani vizsgálata. (Bakonycsérnye 13, 15, Csetény 60, Súr 50, Szápár 45). – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.14829.
- GROSSZ Á. 1969: A hidas terület köszénföldtani vizsgálata. – *Kézirat*, Kandidátusi értekezés tézisei.
- GUNDALE, M. J., DELUCA, T. H. 2007: Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. – *Biology and Fertility of Soils* 43, pp. 303–311.
- GUTTMANN Gy. 1988: A földtani kutatások Dorog térségében. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 121 (9), pp. 590–596.
- GYALOG L. (szerk.) 1996: A földtani térképek jelkulcsa és a rétegtani egységek rövid leírása. – *A MÁFI Alkalmi Kiadványa* 187, Budapest, 172 p.
- GYALOG L., BUDAI T. (szerk.) 2004: Javaslatok Magyarország földtani képződményeinek litosztratigráfiai tagolására. – *MÁFI Évi Jel.* 2002. évről, pp. 195–232.
- GYALOG L., CSÁSZÁR G. (szerk.) 1990: *A Bakony-hegység fedetlen földtani térképe. 1: 50 000.* – MÁFI kiadv., Budapest.

- HAAS J., BUDAI T. 2014: A Dunántúli-középhegység felső-triász képződményeinek rétegtani és fácieskérdései: Régi problémák újragondolása újabb ismeretek alapján. – *Földtani Közlöny* 144 (2), pp. 125–141.
- HAAS J., JOCHANÉ EDELÉNYI E., CSÁSZÁR G., PARTÉNYI Z. 1986: A bakonyi senon köszénösszlet képződési körülményei. – *MÁFI Évi Jel.* 1984. évről, pp. 343–352.
- HAAS, J., HÁMOR, G., KÖRPÁS, L. 1999: Geological setting and tectonic evolution of Hungary. – *Geologica Hungarica series Geologica* 24, pp. 179–196.
- HAAS J., BUDAI T. (szerk.), CSONTOS L., FODOR L., KONRÁD Gy., KOROKNAI B. 2014: *Magyarország prekainozoos medencealjának földtana. Magyarázó „Magyarország pre-kainozoos földtani térképéhez” (1: 500 000).* – Magyar Földtani és Geofizikai Intézet, Budapest, 71 p.
- HABLY, L., 1985. Early Miocene plant fossils from Ipolytarnóc, N. Hungary. – *Geologica Hungarica. Series Palaeontologica* 45, pp. 77–255.
- HABLY, L., 1992: Early and late Miocene Floras from the Iharosberény-I and Tiszapalkonya-I Boreholes. – *Fragmenta Mineralogica et Palaeontologica* 15, pp. 7–40.
- HAHN Gy. 1987. Heves megye lignit- és ércbányászati lehetőségei. – *Földrajzi Közlemények* 35(111) (3–4), pp. 143–154.
- HAHN Gy., HUDÁK É., LOBODA Z. 1998: Az Észak-magyarországi-középhegység ásványi nyersanyagai és bányászata. – *Földrajzi Értesítő* 57 (3), pp. 317–358.
- HÁMOR G. 1958: A hidasi barnaköszénterület. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest.
- HÁMOR G. 1966: Újabb adatok a Mecsek hegység földtani szerkezetföldtani felépítéshez. – *MÁFI Évi Jel.* 1964. évről, pp. 193–208.
- HÁMOR G. 1971: A kelet-mecseki miocén. – *MÁFI Évk.*, 53 (1), 484 p.
- HÁMOR G. 1985: A Nógrád–Cserhádi kutatási terület földtani viszonyai. – *Geologica Hungarica series Geologica* 22, 307 p.
- HÁMOR G. 1997: *A Kárpát-medence miocén ősföldrajzi és fácies térképei. Magyarország Földtani Atlasza 19.* – MÁFI Kiadv., Budapest.
- HÁMOR G. 1998: A magyarországi miocén rétegtana. – In: BÉRCZI I., JÁMBOR Á. (szerk.): *Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana.* A Mol Rt. és a MÁFI kiadványa, Budapest, pp. 437–452.
- HÁMOR G., OROSZNÉ HAJÓS, M. RAVASZNÉ BARANYAI, L. 1965: A K-i Mecsek miocénjének hasznosítható nyersanyagai. – *MÁFI Évi Jel.* 1963. évről, pp. 53–68.
- HÁMOR T. 1988: Üledékes piritek genetikája és fáciesanalízis a Tiszapalkonya-I. sz. fúrás felsőpannoniai képződményeinek vizsgálata alapján. – *MÁFI. Évi Jel.* 1986. évről, pp. 165–174.
- HÁMOR T. 1991a: Az anoxikus üledékképződés és a korai diagenézis vizsgálata stabil izotóp mérések alkalmazásával. – *Kézirat*, a 259. sz. OTKA kutatás zárójelentése, Budapest, 34 p.
- HÁMOR T. 1991b: A Szirák-2. sz. fúrás földtani eredményei. – *MÁFI Évi Jel.* 1989. évről, pp. 78–93.
- HÁMOR T. 1994: The occurrences and morphology of sedimentary pyrite. – *Acta Geologica Hungarica* 37 (1–2), pp. 39–67.
- HÁMOR, T. 1996: S, O, C isotopic signatures of the Late Miocene Pannonian Lake. – *Acta Geologica Hungarica* 39, Suppl. p. 68.
- HÁMOR T., HERTELENDI E. 1991: Az üledékes vasszulfidok 34S értéke és az üledékek koradiagenetikus fejlődése közötti kapcsolat. – *Földtani Közlöny* 121, pp. 133–151.
- HÁMOR-VIDÓ, M. 1992: Reconstruction of peat-forming environments on Miocene brown coal sequences (N-Hungary). – *Acta Geologica Hungarica* 35 (2), 165–175.
- HÁMOR-VIDÓ M. 1993a: A coal-petrological study of brown coal seam Farkaslyuk II in West Borsod County, North Hungary. – *MÁFI Évi Jel.* 1991-ről, pp. 321–332.
- HÁMOR-VIDÓ M. 1993b: Borsodi kőszéntelepek szénközettani jellemzése. – In: NÉMEDI VARGA Z. (ed.): *Észak-magyarországi földtani kutatások újabb eredményei.* – Miskolci Egyetem kiadványa, Miskolc, 12 p.
- HÁMORNÉ VIDÓ, M. 1994: A Salgótarjáni Barnaköszén Formáció szénközettana a Borsodi medencében. – *Kézirat*, Doktori értekezés, Miskolci Egyetem, Miskolc 125 p.
- HÁMOR-VIDÓ, M. 2004: Coal facies studies in Hungary: a historical review. – *International Journal of Coal Geology* 58, pp. 91–97.
- HÁMORNÉ VIDÓ M. 2013: Széntelepek. – In: PÁL-MOLNÁR E., BIRÓ L. (szerk.): *Szilárd ásványi nyersanyagok Magyarországon.* GeoLitera, Szeged, pp. 155–181.
- HÁMORNÉ VIDÓ, M. 2015: A Mecseki Köszén Formáció új telepazonosítása. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 148 (3), 15–19.
- HÁMOR-VIDÓ M., HÁMOR T. 2006: Sulphur and carbon isotopic composition of power supply coals in the Pannonian Basin, Hungary. – *International Journal of Coal Geology* 73 (3–4), pp. 425–447.
- HÁMOR-VIDÓ M., HERTELENDI E. 1996: The effects of early diagenesis on organic stable isotope ratio changes and maceral composition of Miocene lignites in N-Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* 39. Suppl., 1996 (Isotope Workshop III), pp. 69–70.
- HÁMORNÉ VIDÓ, M., MEZEI, Á. 2004: Field trip to the Visonta open-pit mine of Mátra Power Station Company and Eger. – *Filed trip guide to the 56<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology, ICCP 12–18<sup>th</sup> September, Budapest.* 9 p.
- HÁMOR-VIDÓ, M., ZAJSTAVA, L., IVANOVA, A., PÁPAY, L. 2003: Comparative assessment of peat-forming environments on Late Miocene–Pliocene lignites in Hungary and Ukraine. – *Abstract book of the 55<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology, 5–12<sup>th</sup> August 2003, Utrecht, The Netherlands*, p. 25.
- HÁMOR-VIDÓ, M., HOFMANN, T., ALBERT, L. 2010: In situ preservation and paleoenvironmental assessment of Taxodiaceae fossil trees in the Bükkalja Lignite Formation, Bükkábrány open cast mine, Hungary. – *International Journal of Coal Geology* 81, pp. 203–211.
- HÁMORNÉ VIDÓ, M., PÜSPÖKI, Z., ZILAHÍ-SEBESS, L. 2013: A Nógrádi-szénmedencében végzett módszertani kutatások legújabb eredményei (Recent results of new exploration methodologies in the Nógrád Coal Basin). – *MFGI Évi Jel.* 2012–2013, pp. 141–158.
- HANTKEN M. 1861: Geológiai tanulmányok Buda és Tata között. – *Mathematikai és Természettudományi Közlemények* 1, pp. 214–278.
- HANTKEN M. 1865: Az Új-szöny-pesti Duna s az Új-szöny-Fehérvár-budai vasút befogta területnek földtani leírása. – *Mathematikai és Természettudományi Közlemények* 3, pp. 384–441.
- HANTKEN M. 1867: Az ajkai köszénösszlet geológiai viszonyai. – *Magyarhoni Földtani Társulat munkálatai*, III., p. 98.
- HANTKEN M. 1871: Az esztergomi barnaszénterület földtani viszonyai. – *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* 1 (1), pp. 3–140.
- HANTKEN M. 1978: *A Magyar Korona Országainak széntelepei és szénbányászata.* – Légrády Testvérek, MÁFI Gyak. kiadv., Budapest, 351 p.
- HARASZTY Á. 1953: Petőfibánya barnaszeneinek mikroszkópos vizsgálata. – *MTA Biol. Oszt. Közl.* 2 (2–3), pp. 245–254.

- HARSÁNYI A., DARÁNYI F. 1967: A fedő- és feküvízvesztély vizsgálata a várpalotai szénmedence déli részén. – *BKI Közl.* 11 (1–2), pp. 65–72.
- HARVEY, R. D., CAHILL, R. A., CHOU, C. L., STEELE, J. D. 1983: Mineral matter and trace elements in the Herrin and Springfield coals, Illinois Basin coal field. – *Illinois State Geological Survey Contract/Grant Report*, 162 p.
- HASANKHOEI, A. R., BANISI, S., MOZAFARI, P. 2014: Designing a spiral splitter at the Zarad coal Washing Plant Indian. – *Journal Sci. Res.* 1 (2), pp. 151–156.
- HASHIMOTO, T., SAKAMOTO, K., OTA, K. 2010: Development of Coal Gasification System for Producing Chemical Synthesis Source Gas. – *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review* 47 (4), pp. 27–32.
- HEGEDÜS E. 1984: Jelentés a Felsőnyárad és Dubicsány térségében végzett reflexiós szeizmus és elektromágneses mérésekről. – *Kézirat*, MÁELGI Jelentés, MÁFGBA, Budapest, 16 p.
- Helmholtz Virtual Institute for Gasification Technology. – <http://www.hvigastech.org/24.php> (access date 2011.02.14).
- HERKE, S., HARMATI, I. 1965: Amelioration and utilization of alkali soils of the Solonchak and Solonchak-Solonetz types in the region between the rivers Danube and Tisza. – *Agrokémia és Talajtan* 14 (Supplementum), pp. 313–322.
- HERMANN, L., DIANISKA, L., VERBÓCI, J. 1982: Curved ray algebraic reconstruction technique applied in mining geophysics. – *Geophysical Transactions* 28, pp. 33–46.
- HERMESZ M. 1984a: A Nógrádi Szénbányák földtani kutatási és termelési lehetőségei – *BKL, Bányászat* 117, pp. 652–654.
- HERMESZ M. 1984b: Barnaköszén-kutatás Nógrádi Szénbányák területén. – *Földtani Kutatás* 27, pp. 25–26.
- HERTLE, L. 1873: Die Kohlenablagerungen bei Fünfkirchen in Ungarn. – *Zeitschr. des Ber. und Hüttenm. Ver. für Kärnten*, Klagenfurt 5, pp. 25–85, 84–89.
- HETÉNYI R. HÁMOR G. FÖLDI M. NAGY I., NAGY E. BILIK I. 1982: *A Keleti-Mecsek földtani térképe (M = 1:25 000)*. – MÁFI kiadv., Budapest.
- HIGMANN, C., BURGT, M. 2008: *Gasification*. – Elsevier Inc., 391 p. (ISBN: 9780750677073)
- HOFMANN K. 1871: A buda-kovácsi hegység földtani viszonyai. – *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* 1, pp. 199–275.
- HOFMANN K. 1872–1876: *Kéziratos mecseki földtani térképek 1:28 000*. – MBFSZ Térképtár, Budapest.
- HOFMANN K. 1876: Aufnahmenbericht. – *Verh. d. k. k. Geol. R. A. Wien*, 1876 (1), 22–23.
- HOFMANN K. 1907: Adatok a Pécsi-hegység geológiájához. – *Földtani Közöny* 37, pp. 111–116.
- HONAKER, R. Q. 2007: Innovative gravity-based Technologies and circuits for fine Coal cleaning. – *Workshop on Coal Beneficiation and Utilization of Reyejcs; Innovatives Policies and Best Practices, Ranchi India, August 22–24*.
- HORSFALL, D. W. 1980: A general review of coal preparation in South Africa. – *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy* 1980 (August), pp. 257–268.
- HORTON, L., AUBREY, K. V. 1950: The distribution of minor elements in vitrain: Three vitrains from the Barnsley seam: London. – *Journal of the Society of Chemical Industry* 69 suppl. (1), pp. S41–S48.
- HORVÁTH M., NAGYMAROSY A. 1979: A Rzehakiás rétegek és a Garábi Slir koráról nannoplankton és foraminifera vizsgálatok alapján. – *Földtani Közöny* 109, pp. 211–229.
- HORVÁTH R. 2014: Mecseki széntelepekhez kötődő ritkaföldfém anomáliák. – *CriticEl Monográfia sorozat 5. SZAKÁLL S. (szerk.): Ritkaföldfémek magyarországi földtani képződményekben*. Miskolc, pp. 162–171.
- HORVÁTH R., HÁMORNÉ VIDÓ M. 2016: Esettanulmányok kréta, eocén és miocén korú hazai barnaköszének hasznosítási lehetőségére, mint fosszilis tüzelőanyag és nyomelem forrás. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 149 (4), pp. 9–15.
- HORVÁTH Z., SÁRI K., FODOR B. 2016: A nemzetközi ásványvagyon-osztályozási keretrendszer és a szilárd ásványi nyersanyagok kutatási jelentéseire vonatkozó szabványok áttekintése. – *Földtani Közöny* 146 (2), pp. 107–120.
- HÖLL, S., LOEFFLER J. 1991. Methanol and other chemicals from Mecsek Coal for Licencia Budapest/Ungarn. – *Kézirat*, KBFI Kft. Adattára 46 p.
- HÖLL, R., KLING, M., SCHROLL, E. 2007: Metallogenesis of germanium – A review. – *Ore Geology Reviews* 30 (3), pp. 145–180.
- HU, R. Z., QI, HW, ZHOU, M. F., SU, W. C., BI, X. W., PENG, J. T., ZHONG, H. 2009: Geological and geochemical constraints on the origin of the giant Lincang coal seam-hosted germanium deposit, Yunnan, SW China: A review. – *Ore Geology Reviews* 36, pp. 221–234.
- HUSEBYE, J., BRUNSVOLD, A. L., ROUSSANALY, S., ZHANG, X. 2012: Techno Economic Evaluation of Amine based CO<sub>2</sub> Capture: Impact of CO<sub>2</sub> Concentration and Steam Supply. – *Energy Procedia* 23, pp. 381–390.
- HUSZÁR J.-né 1996: Palota várának és Várpalota lignitbányászatának rövid története. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 129, pp. 508–512.
- IDAEA 2017: Ge-koncentráció meghatározása szekvenciális kioldással 4 mecseki kőszenes mintából. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem Földtan–Teleptani Tanszék, 5 p.
- IEA WEO 2017: Wold Energy Outlook 2017. – International Energy Agency (IEA), London. – <http://www.worldenergyoutlook.org/weo2017/>, 760 p.
- IGCC 2010: IGCC State-of-the-art report a part of EU-FP7. Low Emission Gas Turbine Technology for Hydrogen-rich Syngas. H2-IGCC Sub Project, Norway. – [http://www.h2-igcc.eu/Pdf/State-of-the-art%20IGCC%20\\_2010-04-29.pdf](http://www.h2-igcc.eu/Pdf/State-of-the-art%20IGCC%20_2010-04-29.pdf). (access date 2017.10.11).
- IHAROSNÉ LACZÓ I. 1961: A Dorogi-medence oligocén barnaköszén-telepeinek köszenkőzettani vizsgálata. – *MÁFI Évi Jel.* 1961-ről, pp. 393–405.
- IHAROSNÉ LACZÓ I. 1963: A Dél-Dorogi-medence középső-eocén barnaköszéntelepeinek szénkőzettani vizsgálata. – *Földtani Közöny* 93 (3), 341–350.
- IHAROSNÉ LACZÓ I. 1964: A Dorgi-medence alsó eocén barnaköszén-telepeinek szénkőzettani vizsgálata. – *MÁFI Évi Jel.* 1963-ról, pp. 107–115.
- IHAROSNÉ LACZÓ I. 1966: A dorogi paleogén barnaköszéntelepek szénkőzettani vizsgálatának gyakorlati vonatkozásai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 99 (3), pp. 161–164.
- IHAROSNÉ LACZÓ I. 1969: A Dunántúli-középhegység eocén barnaköszéneinek összehasonlító szénkőzettani vizsgálata. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.2590.
- IHAROSNÉ LACZÓ I. 1973: A Dorogi-medence barnaköszéntelepeinek szénkőzettani vizsgálata. – *MÁFI Évk.* 55 (4), pp. 743–796.
- IHAROSNÉ LACZÓ I. 1980: A Máza–15 sz. fúrás felső triász és liász összletének vitrintreflexió értékei és földtani jelentősége. – *MÁFI Évi Jel.* 1978-ról, pp. 319–330.

- ISTVÁNFALVI M. 1979: A Mecseki Szénbányák vízgazdálkodása. – *Hidrológiai Tájékoztató* 19 (1), pp. 25–26.
- IVANOVA, A., SYABRYAJ, S., ZAITSEVA, L., HÁMOR-VIDÓ, M. 2004a: Palynological and petrographical reconstruction of peat accumulation in the Trans-Carpathians and in the Pannonian Basin at Ilnitsa and Visonta coalfields. – In: HÁMOR-VIDÓ, M. (ed.): *56<sup>th</sup> Annual Meeting of the International Committee for Coal and Organic Petrology: „Environmental management implications of organic facies studies” 12–18/09/2004, Abstract Book*. – MÁFI 202. Alkalmi Kiadv., Budapest, pp. 55–57.
- IVANOVA, A., ZAITSEVA, L., HÁMOR-VIDÓ, M., PÁPAY, L. 2004b: Peat-forming environments of lignites (examples of the Ilnitsa and Visonta occurrences). Jakist vugilia iak pokaznik umov torfonakoplennia (na prikladi rodovisch Ilnitsa ta Visonta). – *Geologitseskij Journal*, Kiev 2004, (3), pp. 46–51.
- JAKUCS P., MADAI L., RADÓCZ Gy., SZOKOLAI Gy. 1982: *A Cserhát-Mátra-Bükkalji lignitterület áttekintő térképe, 1979, földtani változat*. – MÁFI kiadv., Budapest.
- JAKUCSNÉ NEUBRANDT E. 1949: Óriásnövesű Pyrgulifera-faj Ajkáról. – *Földtani Közöny* 79 (1–4), pp. 119–125.
- JASKÓ S. 1957: Mogyorósbánya község környékének bányaföldtani leírása. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T 576.
- JASKÓ S. 1985: A Mátra és a Bükk déli tövének áttekintő szerkezetföldtana. – In: CSILLING L., JAKUS P., JASKÓ S., MADAI L., RADÓCZ Gy., SZOKOLAI Gy.: *Magyarázó a Cserhát-Mátra-Bükkalji lignitterület áttekintő gazdaságföldtani térképeihez (1:200 000) Függelék*. – MÁFI kiadv., Budapest, pp. 79–104.
- JASKÓ S. 1989: A Darnó-vonal környékének felső-miocén tektonikája. – *MÁFI Évi Jel.* 1987. évről, pp. 395–409.
- JASKÓ S. 1991: A Cserhát-Mátra-Bükkalji lignitterület tektonikai határvonalai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 124 (7–8), pp. 378–383.
- JÁVOR A. 1941: A sajóvölgyi szénterület délkeleti részének települési viszonyai bányászati vonatkozásban. – *Kézirat*, Doktori értekezés, Rötting-Romwalter Nyomda Rt. Kiadv., Sopron, 51 p.
- JENEINÉ JAMBRIK R. 1985: A Sajómerce-II. barnaköszén-terület hidrogeológiai viszonyai. – *Földtani Kutatás* 28 (3), pp. 21–30.
- JENEINÉ JAMBRIK R. 1986: Ajka II. barnaköszén-terület kiegészítő földtani vizsgálata. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, AK.91.
- JENEINÉ JAMBRIK, R. 1987: A vadnai külfejtés barnaköszén-terület hidrogeológiai viszonyai. – *Földtani Kutatás* 30 (1–2), pp. 53–58.
- JENEINÉ JAMBRIK, R. 1989: A dubicsányi barnaköszén-terület vízföldtani viszonyai. – *Földtani Kutatás* 32 (4), pp. 41–48.
- JENEINÉ JAMBRIK, R., TÖRÖ Gy.-né 1990a: Edelény IV. akna vízföldtani viszonyai. – *Földtani Kutatás* 33 (4), pp. 25–36.
- JENEINÉ JAMBRIK, R., TÖRÖ Gy.-né 1990b: A „borsodi ásványvíz” eredetéről. – *Földtani Kutatás* 33 (4), pp. 37–44.
- JENNEY, W. P. 1903: The chemistry of ore deposition. – *Am. Inst. Miner. Eng. Trans.* 33, pp. 445–498.
- JESPER, A., THOMSEN, T. P., HENRIKSEN, U., CLAUSEN, L. R. 2012: Biomass gasification cogeneration a review of state of the art technology and near future perspectives. Elsevier Inc. – *Applied Thermal Engineering* (2012) 1e11. – <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135943111100737X>
- JICINSKÝ, J. 1931: *Die Pécser Steinkohlenbergwerke der Ersten Donau-Dampfschiffahrts-Gesellschaft 1852–1931*. – Universitäts-Buchdruckerei „Dunántúl”. Pécs (Fünfkirchen), pp. 22–61.
- JOCHA-EDELÉNYI, E. 1988: History of evolution of the Upper Cretaceous basin in the Bakony Mts at the time of formation of the terrestrial Csehbánya Formation. – *Acta Geologica Hungarica* 30 (1–2), pp. 19–31.
- JOCHÁNE EDELÉNYI E. 1996: Ajkai Köszén Formáció. – In: CSÁSZÁR G. (szerk.): *Magyarország litosztratigráfiai alapegységei. Kréta*. – MÁFI Kiadv., pp. 64–66.
- JOHNSON, T. R. 2011: Future Options for Brown Coal based Electricity Generation – the Role of IDGCC 2011. HRL Developments Pty Ltd. – [http://www.ccsd.biz/publications/files/TA/TA%2076%20Lower%20cost%20gasification\\_web%20final.pdf](http://www.ccsd.biz/publications/files/TA/TA%2076%20Lower%20cost%20gasification_web%20final.pdf) (access date 2015.11.07).
- JUHÁSZ A. 1961: A borsodi szénmedence keleti részének földtani ismertetése. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 94 (9), pp. 619–634.
- JUHÁSZ A. 1965: A kelet-borsodi helvéri barnaköszéntelepek szénközöttani vizsgálata. – *Földtani Közöny* 95 (1), pp. 71–78.
- JUHÁSZ A. 1968: A keletborsodi széntelepek nyomelem vizsgálatai. – *Bányászati és Kohászati Lapok Bányászat* 101 (4), pp. 209–213.
- JUHÁSZ A. 1970: A Borsodi-medence keleti részén a helvéri barnaköszéntelepek szénközöttani, településtani vizsgálata. – *Földtani Közöny* 100 (3), pp. 293–306.
- JUHÁSZ A. 1984: Barnaköszénkutatás eredményei a borsodi köszénmedencében. – *Földtani Kutatás* 27 (4), pp. 27–29.
- JUHÁSZ A. 1988: A Nyugat-borsodi medence köszéntelepei képződési körülményei a lépövekben. – *Földtani Közöny* 118 (2), pp. 125–145.
- JUHÁSZ A., SÍNYEI L., SZEPESY A.: 1984: Putnok bővítés részletes fázisú földtani kutatási zárójelentés. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, KFH/5073 I–III.
- JUHÁSZ Gy. 1992: A pannóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet. – *Földtani Közöny* 122 (2), 133–165.
- KÁDÁR B. 2015: A kelet-borsodi barnaköszének germánium tartalmának újvizsgálata. – *Kézirat*, Diplomamunka, Miskolci Egyetem Ásványtani-Földtani Intézet, 50 p.
- KÁDÁS M. 1985: A mecseki feketeköszén nyomelem vizsgálatának újabb eredményei. – *Földtani Kutatás* 26, pp. 81–82.
- KALKREUTH, W. D., MARCHIONI, D. L., CALDER, J. H., LAMBERSON, M. N., NAYLOR, R. D., PAUL, J., 1991: The relationship between coal petrography and depositional environments from selected coal basins in Canada. – *International Journal of Coal Geology* 19, pp. 21–76.
- KANEKO, T., DERBYSHIRE, F., MAKINO, E., GRAY, D., TAMURA, M., LI, K. 2012: “Coal Liquefaction”. *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*. – Weinheim: Wiley-VCH., London, 576 p.
- KAPTEIJN, F., PORRE, H., MOULIJN J. A. 1986: CO<sub>2</sub> gasification of activated carbon catalyzed by earth alkaline elements. – *AIChE Journal* 32, pp. 691–695.
- KARIN, B. 2007: Twin-Bed Gasification Concepts for Bio-SNG Production. – <http://www.chemeng.lth.se/exjobb/E450.pdf> (access date 2018.01.20).
- KASSAI F. 1948: Paleogén szénbányászatunk, a karsztvíz és a védekezés módjai. – *Hidrológiai Közöny* 28 (1–4), pp. 4–62.
- KÁZMÉR, M. 2008: The Miocene Bükkábrány Fossil Forest in Hungary – field observations and project outline. – In: GALÁCZ, A. (ed.): *125<sup>th</sup> Anniversary of the Department of Palaeontology at Budapest University*. – *Hantkeniana* 6, pp. 229–244.

- KELLER A., BRETON D., CHANCELOR, W., GRAHAM, P. 2007: ConocoPhillips, Houston, Texas. Customizing Syngas Specifications with E-Gas™ Technology Gasifier. – <http://www.arnoldkeller.com/GTC07.pdf> (access date 2017.06.11).
- KELLEY, K. D., LEACH, D. L., JOHNSON, C. A., CLARK, J. L., FAYEK, M., SLACK, J. F., ANDERSON, V. M., AYUSO, R. A., RIDLEY, W. I. 2004: Textural, Compositional, and Sulfur Isotope Variations of Sulfide Minerals in the Red Dog Zn–Pb–Ag Deposits, Brooks Range, Alaska: Implications for Ore Formation. – *Economic Geology* 99, pp. 1509–1532.
- KELLY, E. G., SPOTTISWOOD, D. J. 1982: *Introduction to Mineral Processing*. – Wiley – Interscience Publication, 491 p.
- KERCSMÁR Zs. 2005a: A Tatabányai Eocén Medence földtani felépítésének és fejlődéstörténetének újabb kutatási eredményei, üledék-földtani és tektono-szedimentológiai vizsgálatok alapján. – *Kézirat*, Doktori disszertáció, Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar, Őslénytani Tanszék, 173 p.
- KERCSMÁR Zs. 2005b: Középső-eocén karbonátos üledékképződési környezetek és egymásra épülésük a Tatabányai-medence DK-i peremén. – *MÁFI Évi Jel.* 2004-ről, pp. 215–235.
- KERCSMÁR Zs. 2010: A É-i Gerecse eocén rétegsora a legújabb kutatások tükrében. – *EMT 12. Bányászati–Kohászati és Földtani Konferencia kiadványa, Nagyenyed 2010. április 8–11.*, pp. 148–153.
- KERCSMÁR Zs., FODOR L. 2005: Syn-sedimentary deformations in the Eocene Tatabánya Basin, Central Hungary. – 3<sup>rd</sup> Meeting of the Central European Tectonics Studies Group, Felsőtárkány, Hungary, April 14–17, 2005. – *Geolines* 19, pp. 60–61.
- KERCSMÁR, Zs., FODOR, L., PÁLFALVI, S. 2006: Tectonic control and basin evolution of the Northern Transdanubian Eocene Basins (Vértes Hills, Central Hungary). – *Proceedings of the 4<sup>th</sup> Meeting of the Central European Tectonic Studies Group, Zakopane, Poland, April 19–22, 2006.* – *Geolines* 20, pp. 64–66.
- KERCSMÁR Zs., PÁLFALVI S., LESS Gy., KORDOS L. 2008: Eocén. – In: BUDAI T., FODOR L. (eds): *A Vértes hegység földtana, Magyarország tájegységi térképsorozata, Magyarázó a Vértes földtani térképéhez*. – MÁFI kiadv., pp. 58–79.
- KERCSMÁR Zs., PÁLFALVI S., FODOR L., LESS Gy., BUDAI T., KORDOS L. 2009: A Vértes hegység eocén képződményei. – *EMT, XI. Bányászati, Kohászati és Földtani Konferencia Kiadványa*, pp. 159–161.
- KERCSMÁR Zs., FODOR L., LESS Gy., PÁLFALVI S., BUDAI T. 2011: Eocén rétegsorok és medencefejlődés a Vértes és a Gerecse hegység területén. – *Kirándulásvezető, Földtani kirándulás az MTA Szedimentológiai Bizottsága, az MFT Budapesti Területi Szervezete és az MTA Magyar Rétegtani Bizottság Eocén Rétegtani Albizottsága szervezésében, 2011. október 7–8*, 32 p.
- KERCSMÁR Zs. (szerk.), BUDAI T., FÜRI J., GULÁCSI Z., PÜSPÖKI Z., SELMECZI I., SZENTPÉTERY I. 2012: A magyarországi kőszénterületek földtani jellemzése. – *Kézirat*, Adattári jelentés, MÁFGBA, Budapest T 23111, 114 p.
- KÉRI J. 1964: A dél-nógrádi barnaköszén-terület újabb kutatási eredményei. – *Földtani Közlöny* 94, pp. 466–472.
- KÉRI J. 1966: A mátraverebéli kutatás eredményei. – *Földtani Kutatás* 9, pp. 7–11.
- KERTAI Gy. 1967: A magyarországi szénhidrogén és szénkutatás feladatai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 100 (1), 2pp. 0–25.
- KETRIS, M. P., YUDOVICH, Y. E. 2009: Estimations of Clarks for carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals. – *International Journal of Coal Geology* 78, pp. 135–148.
- KISLYAKOV, YA. M., SHCHETOKHIN, V. N. 2000: *Hydrogen ore formation*. – Geoinformmark, Moscow, 608 p. (oroszul).
- KISS A. 2010: Az Északi-Bakony szerkezetalakulása. – *Kézirat*, Doktori értekezés, ELTE TTK, Budapest, 120 p.
- KISS E. Z. 1963: A hidasi barnaköszénterület mélyfúrásgeofizikai kutatása. – *Magyar Geofizika* 4 (1–2), pp. 70–74.
- KISS J. 1995: A mecseki gázlecsapolás történeti áttekintése és afürölukas gázfeltárás lehetőségével kapcsolatos kutatások. In: NÉMEDI VARGA Z. (ed.): *A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. – Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből VII.*, Miskolci Egyetem, pp. 317–330.
- KISS P., BOMBICZ J. 2015: „Tardona-szén” kutatási terület földtani zárójelentés. – *Kézirat*, Miskolc, 28 p.
- KISSNÉ MEZEI Á., MADAI L. 2001: Ásványvagyon-gazdálkodás a visontai és bükkábrányi bányaterületeken. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 134 (6), pp. 428–437.
- KLEB B. 1973: A mecseki pannon földtana. – *MÁFI Évk.* 53 (3), pp. 750–943.
- KLEIDORFER F. 1898: *Pécs vidéke ásványzenet tartalmazó liász egysége* (Ford.: LISTHAUER, A.). – OMBKE kiadv., Selmezbánya.
- KLESPLITZ J. 1968: Adatok Jókai-bánya hidrogeológiájához. – *Földtani Kutatás* 11 (2), pp. 24–35.
- KLESPLITZ J. 1971: Az ajkai barnaköszén medence Jókai Bánya területének bányaföldtani viszonyai. – *Földtani Kutatás* 14 (1–2), pp. 6–14.
- KNAUER J., KOPEK G. 1982: *Dudar. Magyarázó a Bakony hegység földtani térképsorozatához*. – MÁFI kiadvány, Budapest, 59 p.
- KÓBOR B. 2005: A liász kőszénes összlet radiológiai, geokémiai jellemzői és környezet-radiológiai hatásai Pécsbányatelep környékén. – *Kézirat*, PhD értekezés, Szegedi Egyetem 90 p.
- KÓKAY J. 1956: Hegységszerkezeti mozgások Várpalota környékén. – *Földtani Közlöny* 86 (1), pp. 17–29.
- KÓKAY J. 1966: A herend-márkói barnaköszénterület földtani és őslénytani vizsgálata. – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 36, 149 p.
- KÓKAY J. 1967: A Bakony-hegység felsőtortonai képződményei. – *Földtani Közlöny* 97 (1), pp. 74–90.
- KÓKAY, J. 1973: Die Entwicklung der Bántapusztaer Schichtengruppe, M2b–c(d). In: SENEŠ, J. (ed): *Chronostratigraphie und Neostatotypen. Miozän der zentralen Paratethys Bd. III. M2 Ottmangien*. – Verlag der Slowakischen Akademie der Wissenschaften, Bratislava, pp. 85–88.
- KÓKAY, J. 1985: Central and Eastern Paratethyan Interrelations in the Light of Late Badenian Salinity Conditions. – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 48, pp. 7–95.
- KÓKAY J. 1987: A várpalotai bádeni képződmények rétegtani tagolása és ősföldrajzi rekonstrukciója. – *MÁFI Évi Jel.* 1985-ről, pp. 235–241.
- KÓKAY, J. 1991: Stratigraphische Revision der unter- und mittelmiozänen Bildungen des Beckens von Várpalota (Bakony-Gebirge). – In: LOBITZER, H., CSÁSZÁR G. (eds): *Jubiläumsschrift 20 Jahre geologische Zusammenarbeit Österreich–Ungarn*. (A 20 éves Magyar–Osztrák földtani együttműködés jubileumi kötete) I., Wien, pp. 101–108.
- KÓKAY J. 1992: Felső-bádeni lagúna-képződmények Pusztamiskéről (Ny-i Bakony). – *MÁFI Évi Jel.* 1990-ről, pp. 169–191.
- KÓKAY J. 1996a: A várpalotai neogén medence tektonikai összefoglalója. – *Földtani Közlöny* 126 (4), pp. 417–445.
- KÓKAY J. 1996b: Dunántúli bádeni szelvények összehasonlító rétegtani elemzése és az eusztatikus tengerszint ingadozások. – *Földtani Közlöny* 126 (1), pp. 97–115.
- KOPEK G. 1961: A Bakony hegység felsőkréta kőszéntelepesséjének ősföldrajzi és hegységszerkezeti vázlata. – *Földtani Közlöny* 91, pp. 413–420.

- KOPEK G. 1964: Kifejlődési különbségek okai a Délnyugati- és Északkeleti-Bakony eocén képződményeiben. – *MÁFI évi Jel.* 1961. évről (1), pp. 295–305.
- KOPEK G. 1969: Összefüggések a távlati köszénkutatás és a Dunántúli-középhegység eocénjének faciológiai és fejlődéstörténeti kérdései között. – *MÁFI évi Jel.* 1967. évről, pp. 45–54.
- KOPEK G. 1980: A Bakony hegység ÉK-i részének eocénje. – *MÁFI Évk.* 58 (1), pp. 91–103.
- KOPELOVICH, D. 2013: Combustion, pyrolysis and gasification of scrap tires. – [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=combustion\\_pyrolysis\\_and\\_gasification\\_of\\_scrap\\_tires](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=combustion_pyrolysis_and_gasification_of_scrap_tires)
- KORECZNÉ LAKY I., 1985: A Kelet-Borsodi medence ottanangi képződményeinek foraminifera vizsgálata. – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 48, pp. 180–237.
- KORPÁS L. 1981: A Dunántúli-középhegység oligocén–alsó-miocén képződményei. – *MÁFI Évk.* 64, 140 p.
- KOVÁCS E. 1964: A hidasi terület barnaköszén-telepeinek vastagsági és minőségi változékonysága. – *Földtani Kutatás* 7 (4), pp. 11–17.
- KOVÁCS, F. 1975: A gázkitörések várható intenzitásának változása a művelési mélység függvényében. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 108 (8), pp. 516–523.
- KOVÁCS, F. 1989: A szénelőfordulások várható tektonikai paramétereiről. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 122 (7), pp. 425–431.
- KOVÁCS F. JAMBRIK R. 1997: A vízszint süllyedés okozta felszín-süllyedés észlelési eredményei a Visontai külfejtéses bányáüzemben. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 130 (2), pp. 102–108.
- KOVÁCS F., KISSNÉ MEZEI Á. 2013: A Mátra-Bükkaljai-i külfejtésekben emelt vizek ivóvíz célú hasznosítási lehetőségei. – KÚTFŐ Projekt, TÁMOP 4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0049. Miskolc.
- KOVÁCS G., TELBISZ T. 2013: Tektonikus és fluvialis hatások a Kőszegi-hegység és a Rába közti dombvidék kialakulásában. – *Földtani Közlöny* 143, pp. 157–176.
- KOVÁCS Z., BARTÓK Á., KOCZKA ZS., LELESZ M., PUMMER T., VINCELLÉR D., PÜSPÖKI Z., LENDVAY P., HÁMORNÉ VIDÓ M. 2012: A Hidasi-medence földtani rekonstrukciójának térinformatikai feldolgozása. – *Térinformatikai konferencia és szakkiállítás – Az elmélet és a gyakorlat találkozása a térinformatikában III., Debrecen, 2012. május 24–25.*, 468. p.
- KOVATSITS M.-né, BELLA L.-né 1976: 23-26/74 sz. kutatási zárójelentés. Nyugat-dunántúli lignit technológiai jellegű minősítő vizsgálata BKI. – *Kézirat, MÁFGBA*, Budapest, T.6038.
- KOVATSITS M.-né, WOLF Gy. 1980: *A hazai kereskedelmi széntermékek minőségi katasztere.* – Központi Bány Fejl. Int. Magy. Szénbány. Trószki Kiadv., Budapest–Tatabánya, 449 p.
- KOZMA K., TAMAGA F. 1998: Befejezte termelését az ajkai szénmedence Padrag bányáüzeme. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 131 (4), p. 314.
- KÖVI J. 1961: Ózdvidéki Szénmedence bányaföldtani viszonyai. Putnok, 1961. – *Kézirat, MÁFGBA*, Budapest, 98 p.
- KUNSTMANN, F. H., HAMMERSMA, J. C. 1955: The occurrence of germanium in South African coal and derived products. – *J. Chem. Metall. Min. Soc. S. Africa* 56, pp. 11–22.
- KWIATKOWSKA, J., PROVENZANO, M. R., SENESI, N. 2008: Long term effects of a brown coal-based amendment on the properties of soil humic acids. – *Geoderma* 148 (2), pp. 200–205.
- KYLE, S. 2011: Patent WO 2011/08795 A1, Producing Low Methane Syngas from a Two- Stage Gasifier. – <http://www.sumobrain.com/patents/wipo/Producing-low-methane-syngas-from/WO201108795A1.pdf>. (access date 2018.01.21).
- LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J., BAKER, C. E., FODOR, B., GOMBÁR, G. 2002: Coalbed gas in the Mecsek Basin, Hungary. Coalbed methane resources potential in Hungary. – *A Coalbed Methane Workshop. September 23–26, 2002, Budapest-Pécs, Hungary.* MÁFGBA, Budapest.
- LANDIS, E. R., ROHRBACHER, T. J., BAKER, C. E., FODOR, B., GOMBÁR, G. 2003: Coalbed Gas in the Mecsek Basin, Hungary. – *International Journal of Coal Geology* 54, pp. 41–55.
- LASSAN J. 1966: A Tribes-aknai CO<sub>2</sub> gázkitörések. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 99 (2), pp. 73–95.
- LASSAN J. 1984: Kányás akna déli, szén-dioxidgáz-veszélyes bányamezejének bányaművelésével kapcsolatos gondolatok (Mátraverebély, Kányás, Vizslás, Nagybatony, Tiribes). – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 117 (3), pp. 145–153.
- LASSAN J. 1986: Visszatekintés a 125 éves nógrádi nagyüzemi szénbányászat műszaki történetére. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 119 (12), pp. 802–808.
- LATRÁN B., GODA L., SOMSICH L.-né 1981: Tardona–Peres barnaköszén előfordulás előzetes fázisú összefoglaló jelentése, I. kötet szöveg, mellékletek. – *Kézirat, MÁFGBA KFH 1371/I/A.*
- LENKEI T. 1943: A tatai langyos források 1941. és 1942. évi hozam és hőmérséklet mérése. – *Hidrológiai Közlöny* 23, pp. 7–12.
- LESS Gy., FRIJIA G. 2016: Új koradatok a Központi-Paratethysből Sr-izotópvizsgálatok alapján. – *A Magyarhoni Földtani Társulat Földtudományi Vándorgyűlése és Kiállítása, Sárospatak, 2016. augusztus 24–27.* 57 p.
- LESS, Gy., FRIJIA, G., FILIPESCU, S., HOLCOVÁ, K., MANDIC, O., SZTANÓ, O. 2015: New Sr-isotope stratigraphy (SIS) age-data from the Central Paratethys. – In: GÜLLI E., PILLER W. E. (eds): Abstracts 2<sup>nd</sup> International Congress on Stratigraphy STRATI 2015, 19–23 July 2015, Graz, Austria. *Berichte des Institutes für Erdwissenschaften Karl-Franzens-Universität Graz* 21, p. 223.
- LEVENDIS, Y. A., NAM, S. W., LOWENBERG, M., FLAGAN, R. C., GAVALAS, G. R. 1989: Catalysis of the combustion of synthetic char particles by various forms of calcium additives. – *Energy & Fuels* 3, pp. 28–37.
- LI, J., ZHUANG, X., QUEROL, X., FONT, O., IZQUIERDO, M., WANG, ZH. 2014: New data on mineralogy and geochemistry of high-Ge coals in the Yimin coalfield, Inner Mongolia, China. – *International Journal of Coal Geology* 125, pp. 10–21.
- LINGHONG, Z., XU, C., CHAMPAGNE, P. 2010: Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. – *Elsevier Energy Conversion and Management*, 51 (5), pp. 969–982.
- LIU, K., CUI, Z., FLETCHER, T. H. 2009: Coal Gasification. – In: LIU, K., SONG, C., SUBRAMANI, V. (eds): *Hydrogen and Syngas Production and Purification Technologies*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 156–218.
- LIU, K., SONG, C., SUBRAMANI, V. 2010: *Hydrogen and Syngas Production*. – John Wiley & Sons, Inc., 522 p. (ISBN: 9780471719755)
- LIU, Y., LIU, G., QU, Q., QI, C., SUN, R., LIU, H. 2017: Geochemistry of vanadium (V) in Chinese coals. – *Environmental Geochemistry and Health* 39 (5), pp. 967–986. DOI10.1007/s10653-016-9877-2.

- LOHRMANN E. 1983: A dudari eocén korú szénmedence jelene és távlati fejlesztésének lehetőségei. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 116 (5), pp. 289–299.
- MACIEJEWSKA A., KWIATKOWSKA, J. 1998: The impact of fertilizer obtained from lignite on physical and chemical soil properties. – *Zesz. Probl. Postep. Nauk. Rol.* 455, pp. 9–16 (in Polish).
- MADAI L. 1977: A magyarországi lignitkutatás helyzete és eredményei. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 110 (3), pp. 197–199.
- MADAI L., SZOKOLAI Gy. 1999: Az Észak-magyarországi lignitkutatások múltja, jelene és jövője. – *Földtani Kutatás* 36 (1), pp. 1–7.
- Magyar Szénhidrogénipari Kutató-Fejlesztő Intézet 1979: Motorhajtóanyag előállítása szénbázison. – *Kézirat*, OKGT–MOL adattár. 193 p.
- MAGYAR, I. 2013: Geological background. – In: HABLY, L. (ed.) The Late Miocene Flora of Hungary. – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 59, pp. 10–14.
- MAGYAR, I., HABLY, L. 1994: Stratigraphic position of late Neogene palaeobotanical sites in Hungary: Miocene or Pliocene? – *Acta Palaeobotanica* 34 (2), pp. 195–203.
- MAGYAR, I., SZTANÓ, O. 2008: Is there a Messinian unconformity in the Central Paratethys? – *Stratigraphy* 5, pp. 245–255.
- MAJOROS P., PAPRIKA D., TORMA Z. 2014: Földtani kutatási zárójelentés Mecsek-Kelet (szénelőfordulás) – metán elnevezésű kutatási jogadomány keretében végzett adatgyűjtési, felszíni fúrásos kutatás, fúrási geofizikai és felszíni geofizikai kutatási tevékenységről (2008–2014). – *Kézirat*, Wildhorse UCG Kft., MÁFGBA, Budapest, T.23193 RD.
- MAJZON L. 1951: Szentgál és Herend környékének földtani viszonyai. – *MÁFI Évi Jel.* 1945–47-ről, pp. 247–252.
- MAJZON L. 1957: A magyarországi oligocén mikropaleontológiai rétegtana. – *Kézirat*, Akadémiai doktori értekezés, MBFSZ könyvtára, Budapest, 271 p.
- MAKRAI L., KESZÉY T., GAGYI PÁLFFY A., FEKETE S., FAUR Gy., KESSERŰ Zs., KOVÁCS J., ÁCS E., BEKE I., JELINEK G., LANTOS M.-né, SZILÁGYI G. 1985: A herendi lignitkölfejtés részletes kutatási zárójelentése és készletszámítása. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T. 13354, I–II.
- MÁNDY A., ZSÁMBOKI L. 1996: A borsodi szénmedence bányászata – In: BENKE I., REMÉNYI V. (szerk.): *A magyar szénbányászat története II. kötet*. – Orsz. Magy. Bány. Koh. Egyesület, Budapest, pp. 19–46.
- MANTRI PRAGADA, H., RUBIN, E. 2011: Techno-economic evaluation of coal-to-liquids (CTL) plants with carbon capture and sequestration. – *Energy Policy* 39 (5), pp. 2808–2816.
- MARKÓ L. 1998: Balinkabánya földtani és vízföldtani viszonyai, szénvagyon. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 131 (1), pp. 23–30.
- MATSUKATA, M., KIKUCHI, E., MORITA, Y. 1992: A new classification of alkali and alkaline earth catalysts for gasification of carbon. – *Fuel* 71, pp. 819–823.
- MCLENNAN, S. M. 2001: Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. – <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1029/2000GC000109>
- MEINHARDT V. 1953: Ajka és Űrkút hidrológiai viszonyai a szénbányászat szempontjából. – *Hidrológiai Közöny* 33 (5–6), pp. 207–211.
- MÉSZÁROS J. 1982: Nagyméretű vízszintes eltolódás a Bakony Ny-i részén és szerepe a nyersanyagkutatásban. – *MÁFI Évi Jel.* 1980-ról, pp. 517–526.
- MÉSZÁROS J. (szerk.) 1982: A Bakony és a Balatonfelvidék tektonikai térképe. A MÁFI, ELGI és BKV térképeinek felhasználásával, M=1:100 000. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest.
- MÉSZÁROS J. 1983: A bakonyi vízszintes eltolódások szerkezeti és gazdaságföldtani jelentősége. – *MÁFI Évi Jel.* 1981-ről, pp. 485–502.
- MÉSZÁROS J., TÓTH I. 1981: Vízszintes eltolódások Ajka térségében és gyakorlati jelentőségük. – *Általános Földtani Szemle* 16, pp. 25–34.
- Methane Master Kft. 1994: Kutatási jelentés a mecseki kőszénelőforduláshoz kötött metángáz külszínről, fűrőlyukkal történő lecsapolásának technológiai kutatására és gazdaságos kitermelés paramétereinek meghatározására. (Report on the coalbed methane researches to determine economic drainage exploration technologies from surface drilling. Technical report.) – *Kézirat*, MÁFGBA, Pécs, 203 p.
- MEYER, B. 2008: Gasification of Biomass Waste and Coal. – [http://www.topsoe.com/sitecore/shell/Applications/~/\\_media/PDF%20files/Topsoe\\_Catalysis\\_Forum/2008/Meyer.ashx](http://www.topsoe.com/sitecore/shell/Applications/~/_media/PDF%20files/Topsoe_Catalysis_Forum/2008/Meyer.ashx) (access date 2012.08.24).
- MEYER, B. 2012: European Coal Round Table From Mining to Refining. – Innovative concepts for making the most of coal. Brüsszel, 2011. május 31.
- MILLER, B. 2005: *Coal Energy Systems*. – Elsevier Academic Press, 544 p. (ISBN: 0-12-497451-1)
- MILLS, S. J. 2006: *Coal gasification and IGCC in Europe*. – International Energy Agency (IEA) Clean Coal Centre and New Energy and Industrial Development Organization (NEDO, Japan), London, CCC/113, 37 p.
- MOLNÁR J. 1964: A nyugat-magyarországi lignitletelek kialakulásának szerkezeti összefüggése. – *Földtani Kutatás* 7 (2–3), pp. 28–30.
- MOSS, R. L., TZIMAS, E., WILLIS, P., ARENDORF, J., TERCERO ESPINOZA, L. 2013: Critical Metals in the Path towards the Decarbonisation of the EU Energy Sector. – JRC Scientific and Policy Reports. <https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/JRC-report-Critical-Metals-Energy-Sector.pdf>
- MURATA, T., ISHIDA, T. 2012: Preparation and Transportation of Coal. – *Coal, Oil Shale, Naturale Bitumen, Heavy Oil and Peat* 1, 27 p.
- NÁDASY Z., TAKÁCS P. 1967: A germánium előállítása a szénfeldolgozás termékeiből. Akadémiai Kiadó Budapest, 143 p.
- NAGY Elemér 1964: A mecseki liász kőszénösszlet alapszelvényeinek germánium adatai. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, T.3083.
- NAGY Elemér 1969a: Rétegtan. – *MÁFI Évk.* 51 (2), pp. 261–287.
- NAGY Elemér 1969b: Ösföldrajz. – In: NAGY Elemér (szerk.) A Mecsek hegység alsó-liász kőszénösszlete. Földtan. – *MÁFI Évk.* 51 (2), pp. 289–317.
- NAGY Elemér (szerk.) 1971: A Mecsek hegység alsóliász kőszénösszlete. Teleptan. – *MÁFI Évk.* 51 (3), 209 p.
- NAGY Elemér, FORGÓ L. 1967: *A Keleti-Mecsek feketekőszén összletének prognózistérképe (M=1:50 000)*. – MÁFI kiadv. Budapest.
- NAGY Eszter 1985: A magyarországi neogén sporomorphái. (Sporomorphs of the Neogene in Hungary.) – *Geologica Hungarica series Palaeontologica* 47, 471 p.
- NAGY G., KECSKEMÉTI T., KECSKEMÉTI NÉ KÖRMENDY A. 1968: A Pilis hegység és a Dunántúli középhegység eocén képződményeinek kapcsolata. – *MÁFI Évi Jel.* 1966. évről, pp. 95–104.

- NAGY L-né 1958: A mátraaljai felső-pannóniai kori barnaköszén palinológiai vizsgálata – *MÁFI Évk.* 47 (1), 353 p.
- NAGY L-né 1969: A Mecsek hegység miocén rétegeinek palinológiai vizsgálata. – *MÁFI Évk.* 52 (2), pp. 231–254.
- NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY (NETL) 2018: Success: rees from coal-based materials. – <https://www.netl.doe.gov/research/coal/rare-earth-elements/success>
- Natural & synthetic graphite, new report with forecasts to 2026, 2017: <https://im-mining.com/2017/06/13/natural-synthetic-graphite-new-report-forecasts-2026/>
- NÉMEDI VARGA Z. 1967: A Hosszúhetényi feketeköszén terület földtani és hegységszerkezeti viszonyai. – *NME Közl.* 15, pp. 11–34.
- NÉMEDI VARGA Z. 1969: Geofizika. Karotázsvizsgálatok kiértékelése. – In: NAGY Elemér (szerk.): A Mecsek hegység alsóliász köszénösszlete. Földtan. – *MÁFI Évk.* 51 (2), pp. 593–621.
- NÉMEDI VARGA Z. 1971a: Pécsi feketeköszénterület. – In: NAGY Elemér (szerk.): A Mecsek hegység alsóliász köszénösszlete. Teleptan. – *MÁFI Évk.* 51 (3), pp. 103–152.
- NÉMEDI VARGA Z. 1971b: A Szászvár–Máza–Váralja–Nagymányok D-i feketeköszén-terület. – In: NAGY Elemér (szerk.): A Mecsek hegység alsóliász köszénösszlete. Teleptan. – *MÁFI Évk.* 51 (3), pp. 152–162.
- NÉMEDI VARGA Z. szerk. (1979): „Máza-Dél” – „Váralja-Dél”-i feketeköszén-terület földtani kutatási jelentése. – *Kézirat*, NME Földtan-Teleptani Tsz., Szm. 263-V-20/1978. sz. kutatási-fejlesztési munka. I–VIII. kötet. Miskolc, KFH Adattár.
- NÉMEDI VARGA Z. 1983a: A Mecsek hegység szerkezetalakulása az alpi hegységképződési ciklusban. – *MÁFI Évi Jel.* 1981-ről, pp. 467–484.
- NÉMEDI VARGA Z. 1983b: Die synorogene Inkohlung der unterliassischen Steinkohlenflöze im Mecsek-Gebirge. – *Publications of the Technical University for Heavy Industry. Series A. Mining* 38 (1–2), pp. 89–97.
- NÉMEDI VARGA Z. 1984: A Mecsek hegységi feketeköszénterületek fűrésos kutatásának áttekintése. – In: ZSÁMBOKI L. (szerk.): *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből.* II. – NME kiadv., Miskolc, pp. 51–82.
- NÉMEDI VARGA Z. 1995: A Máza-Dél–Váralja-Dél-i feketeköszén-terület. – In: NÉMEDI VARGA Z. (szerk.): *A Mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana.* – Miskolc, pp. 171–192.
- NÉMEDI VARGA (szerk.) 1995: A mecseki feketeköszén kutatása és bányaföldtana. – In: ZSÁMBOKI L. (szerk.): *Közlemények a magyarországi ásványi nyersanyagok történetéből.* VII., Miskolc, pp. 39–64.
- NÉMEDI VARGA Z. 1998: A Mecsek és a Villányi egység jura képződményeinek rétegtana. – In: BÉRCZI I., JÁMBOR, Á. (szerk.): Magyarország geológiai képződményeinek rétegtana. Mol–MÁFI kiadvány, Budapest, pp. 319–336.
- NÉMEDI VARGA Z. 2010: *Köszénföldtan.* – Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Ásványtani és Földtani Intézet, Bíbor Kiadó, Miskolc, 245 p.
- NICHOLLS, G. D. 1968: The geochemistry of coal-bearing strata. – In: MURCHISON, D., WESTOLL, T. S. (eds): *Coal and Coal-bearing Strata.* – American edition, New York, American Elsevier, pp. 269–307.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1982a: Mecseki szenek kéntelenítése, finomszén-előkészítés. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyag-előkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1982b: Jóminőségű mecseki koks-szén koncentrátum gazdaságos előállítása I–II. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1982c: Szénelőkészítési technológiák fejlődésének értékelése, hazai szénelőkészítés helyzete és fejlesztési irányelvei. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1983: A hazai szénelőkészítés helyzete, javaslatok a hazai energiagazdálkodás és szénelőkészítés fejlesztésére. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1985: Nyers lignit apríthatóságának és különböző szemcseméretű lignittermek előállításának lehetőségének vizsgálata. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1986: Pécsi iszapszén-flotálás intenzifikálása. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1987a: Berentei aprószén dúsítása. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1987b: A K-Fuel eljárásához szükséges jó minőségű lignit laboratóriumi előkészítési vizsgálatai I–II. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1987c: Lignit előkészítési vizsgálatok. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1988a: Berentei Szénelőkészítőmű vizsgálata; I–II. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NME Ásványelőkészítési Tanszék 1988b: Lignitek száraz előkészítési technológiájának optimalizálása. – *Kézirat*, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
- NOSZKY J. 1912: A salgótarjáni szénterület földtani viszonyai. – *Földtani Közöny* 40, pp. 68–69.
- NOSZKY J. ifj. 1952: A Komló-környéki szénterület földtani viszonyai. – *MÁFI Évi Jel.* 1948-ról, pp. 65–76.
- NOSZKY J. ifj. 1953: A Mecsekhegység ÉK-i szegélyének földtani vázlata. – *MÁFI Évi Jel.* 1950-ről, pp. 145–151.
- NYERS J. 2001: Gázkitörések megelőzésére alkalmazott lokális védekezési eljárások. – In: SZIRTES B. (szerk.): *Búcsúzik a mecseki szénbányászat emlékkiadvány.* Komló, pp. 227–234.
- ÓDOR L. 1969: Jelentés a Balinka II. terület eocén barnaköszénösszletén végzett geokémiai vizsgálatokról – *MÁFI Évi Jel.* 1967. évről, 315–343.
- OHTSUKA, Y., ASAMI, K. 1995: Steam Gasification of Coals with Calcium Hydroxide. – *Energy & Fuels* 9, pp. 1038–1042.
- OLA, M. 2005: An Overview of Coal based Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) Technology September 2005. – MIT LFEE 2005-002 WP [http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE\\_2005-002\\_WP.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE_2005-002_WP.pdf)
- OLÁH Gy. GOEPPERT, A., SURYA PRAKASH, G. K. 2007: *Kőolaj és földgáz után a metanolgazdaság.* – Better Kiadó, Budapest 370 p.
- ORDORICA-GARCIA, J. G., ELKAMEL, A., DOUGLAS, P. L., CROISSET, E. 2009: Clean-Coal Technology: Gasification Pathway. – In: KUTZ, M., ELKAMEL, A. (eds): *Environmentally Conscious Fossil Energy Production.* John Wiley & Sons, Inc., pp. 243–276.
- PAÁL Á.-né 1956a: A komlói liász köszéntelepek átlagmintáinak közzéközzétani vizsgálata. – *MÁFI Évk.* 45 (1), pp. 213–226.

- PAÁL Á.-né 1956b: A Máza V. sz. kőszénkutató-fúrás kőszénközettani feldolgozása. – *MÁFI Évi Jel.* 1955–1956-ról, pp. 281–297.
- PAÁL Á.-né 1962: Az ajkai kréta kőszéntelepek kőszénközettani vizsgálatának eredményei. – *MÁFI Évk.* 49 (4), pp. 871–938.
- PAÁL Á.-né 1964: A Pécs környéki liász feketekőszén optikai vizsgálatának lehetőségei. – *MÁFI Évi Jel.* 1961-ről (1), pp. 61–80.
- PAÁL Á.-né 1965a: A szervesanyag-bomlás és ásványosodás kapcsolatai. – *MÁFI Évi Jel.* 1965-ről, pp. 69–131.
- PAÁL Á.-né 1965b: Tőzegdolomit-képződés a komlói kőszénben. – *Földtani Közöny* 86 (1), 122–125.
- PAÁL Á.-né 1969: Szénközettan. – In: NAGY Elemér (szerk.): A Mecsek hegység, Jura időszak. – *MÁFI Évk.* 51 (2), pp. 407–515.
- PÁLFALVI, S., FODOR, L., KERCSMÁR, ZS., BÁLDI-BEKE, M., KOLLÁNYI, K., LESS, GY. 2006: Sedimentation pattern, tectonic control, and basin evolution of the northern Transdanubian Eocene basins (Vértes Hills, central Hungary). – European Geosciences Union General Assembly 2006 Vienna, Austria, 02–07 April 2006, SSP26 Cenozoic basin evolution and uplift of the Eastern Alps and the Pannonian Basin. *Geophysical Research Abstracts* 8, 08384, Sref-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-08384.
- PÁLFALVY I. 1952: Alsó-pliocén növénymaradványok Rózsaszentmárton környékéről. – *MÁFI Évi Jel.* 1949. évről, pp. 63–66.
- PÁLFALVY I., RÁKOSI L. 1979: A visontai lignittelepek összlet növénymaradványai. – *MÁFI Évi Jel.* 1977. évről, pp. 44–66.
- PALFY, J., MUNDIL, R., RENNE, P. R., BERNOR, R. L., KORDOS, L., GASPARIK, M., 2007: U–Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the Miocene fossil track site at Ipolytarnóc (Hungary) and its implications. – *Earth Planet. Sci. Lett.* 258, pp. 160–174.
- PALLA Gy., SZEMEREY H. 1982: Mizserfa II. részletes fázisú barnakőszénkutatás összefoglaló földtani jelentése és készletszámítása. – *Kézirat*, MÁFGBA Adattár, Budapest, KFH 5071.
- PANTÓ Gy., PÓKA T., LANTAI Cs. 1989: Jelentés a hazai barnakőszén komplex szénközettani, széngeokémiai, továbbá technológiai telepminősítő vizsgálata témakörben végzett vizsgálatokról. – *Kézirat*, MÁFGBA T.18075.
- PÁPAY L. 1993: Distribution of sulphur in Transdanubian (Hungary) and Middle European brown coals. – *Acta Geologica Hungarica* 36 (2), pp. 241–249.
- PÁPAY L., 1996: Néhány hazai olajpala oldható szerves anyagának jellemzése, olajpaláink és barnakőszénünk kénmegoszlása. – *Kézirat*, PhD. értekezés, József Attila Tud. Egy. Ásványtani és Geokémiai Tsz., Szeged, 66 p.
- PAPP K. 1915: *A Magyar Birodalom vasérc és kőszén készlete*. – MKFI kiadv., Budapest, 964 p.
- Peabody 2005: Peabody Energy and ArcLight Capital Explore Sites for Major Coal-To-Natural-Gas Project. Green Car Congress. – [http://www.greencarcongress.com/2005/11/peabody\\_energy\\_.html](http://www.greencarcongress.com/2005/11/peabody_energy_.html) (access date 2005.11.02).
- PERA F., TÓTH P., MAKRAI I., SZENTAI Gy. 1987: Az Ajka–II. szénterület kutatása. – *Bányászati Kohászati Lapok, Bányászat* 120, pp. 229–238.
- PETERS, K. F. 1859: Geologische Studien aus Ungarn, 2. Die Umgebung von Visegrád, Gran, Totis und Zsámbék. – *Jahrbuch der K. u. K. Geologischen Reichsanstalt* 10, pp. 483–521.
- PETERS, K. F. 1861: Die Miozän Lokalität Hidas bei Fünfkirchen in Ungarn. – *Sitzungsb. D.k. Akad. D. Wiss. Wien* 44, p. 589.
- PETERS, K. F. 1862: Über den Lias von Fünfkirchen. – *Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wiss. Mat.-Nat. Kl. Wien* 46 (6), pp. 241–293.
- PETHŐ SZ., BOKÁNYI L., BÖHM J., TOMPOS E. 1984: A mecseki kőszén pirittelenítési lehetőségei gravitációs dúsítási eljárásokkal. – *Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei Bányászat* 35, pp. 219–231.
- PETHŐ SZ., BOKÁNYI L., BÖHM J., TOMPOS E. 1985: A mecseki feketeszen pirittelenítési lehetőségének vizsgálata. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 118, pp. 431–436.
- PETHŐ SZ., BOKÁNYI L., BÖHM J., TOMPOS E. 1986: Hazai kőszén-pirittelenítési lehetősége flotációs eljárással. – *Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, Bányászat* 35, pp. 87–105.
- PETHŐ, SZ., BOKÁNYI, L., BÖHM, J., TOMPOS, E. 1987: Möglichkeiten zur Entpiritisierung ungarischer Steinkohlen. – *Glückauf-Forschungshefte* 48, pp. 204–207.
- PETROVICS, I., SZALAY, I. 1992: Reflection surveys in the Ózd–Putnok basin. – *Ann. Report Eötvös L. Geophys. Inst.* 1990, pp. 20–27.
- Plasma Gasification US Science and Technology. – <http://www.usstcorp.com/technology.html> (access date 2016.08.11).
- PLESZKÁTS T., SZALAY I., GYURKÓ P., SCHÖNVISZKY L. 1986: Összefoglaló jelentés a Nógrád-cserháti medencében 1981–1985 között végzett geofizikai előkutatásról (Kányás DNY-i terület). – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, 25 p.
- POGÁCSÁS, Gy., JÁMBOR, Á., MATTICK, R. E., ELSTON, D. P., HÁMOR, T., LAKATOS, L., LANTOS, M., SIMON, E., VAKARCS, G., VÁRKONYI, L., VÁRNAI, P. 1990: Chronostratigraphic relations of Neogene formations of the Great Hungarian Plain based on interpretation of seismic and paleomagnetic data. – *Int. Geol. Rev.* 32 (5), pp. 449–467.
- POGÁCSÁS, Gy., JÁMBOR, Á., MATTICK, R. L., ELSTON, D.P., HÁMOR, T., LAKATOS, L., LANTOS, M., SIMON, E., VAKARCS, G., VÁRKONYI, L., VÁRNAI, P. 1989: A nagyalföldi neogén képződmények kronosztatográfiai viszonyai szeizmikus és paleomágneses adatok összevetése alapján – *Magyar Geofizika* 30 (2–3), pp. 41–62.
- POHL, W. L. 2011: Economic Geology, Principles and Practice: Metals, Minerals, Coal and Hydrocarbons – an Introduction to Formation and Sustainable Exploitation of Mineral Deposits. – <http://www.walter-pohl.com/sample.html>.
- POROS, Zs., MACHEL, H. G., MINDSZENTY, A., MOLNÁR, F. 2013: Cryogenic powderization of Triassic dolostones in the Buda Hills, Hungary. – *International Journal of Earth Sciences* 102, pp. 1513–1539.
- POSAMENTIER, H. W., ALLEN, G. P. 1999: Siliciclastic sequence stratigraphy – concepts and applications. – *SEPM* 7, 204 p.
- Producing Low Methane Syngas from a Two- Stage Gasifier. <http://www.sumobrain.com/patents/wipo/Producing-low-methane-syngas-from/WO2011087951A1.pdf>
- PUSZTAFAJVI J. 2011: Máza-Dél-Váralja-Dél kutatási területére tervezett szénbánya fő bányaveszélyeiről és a védekezési eljárásokról. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 144 (3) pp. 8–12.
- PÜSPÖKI Z. 2001: Szekvencia sztratográfiai vizsgálatok a kelet-borsodi medence déli részén (Tardonai-dombság). – *Földtani Közöny* 131, pp. 361–384.
- PÜSPÖKI Z. (szerk.) 2009: Máza-Váralja-Dél feketekőszén-kutatás. Földtani kutatási zárójelentés I–III köt. – *Kézirat*, Calamites Kft., Debrecen Egyetem, Pécs–Debrecen 219 p.
- PÜSPÖKI Z. 2011: A Máza-Váralja-Dél feketekőszén telepek összlet kutatási menete. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 144 (2), pp. 2–5.
- PÜSPÖKI Z. (szerk.) 2017: Integrált szénmedence vizsgálatok. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, 41 p.
- PÜSPÖKI Z., GYURICZA Gy. 2014: Dubicsány kőszén koncesszióra javasolt terület komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentése. – *Kézirat*, MÁFGBA, p. 147.

- PÜSPÖKI Z., GYURICZA Gy. szerk. 2016: Dorog észak kőszén koncesszióra javasolt terület komplex érzékenységi és terhelhetőségi vizsgálati jelentése. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, 193 p.
- PÜSPÖKI, Z., TÓTH-MAKK, Á., KOZÁK, M., DÁVID, Á., MCINTOSH, R.W., BUDAY, T., DEMETER, G., KISS, JA., TEREBSI, P. M., BARTA, K., CSORDÁS, Cs., KISS, JU. 2009: Truncated higher order sequences as responses to compressive intraplate tectonic events superimposed on eustatic sea-level rise. – *Sedimentary Geology* 219, pp. 208–236.
- PÜSPÖKI, Z., FORGÁCS, Z., KOVÁCS, Z., KOVÁCS, E., SOÓS-KABLÁR, J., JÁGER, L., PUSZTAFALVI, J., KOVÁCS, Z., DEMETER, G., MCINTOSH, R. W., BUDAY, T., KOZÁK, M., VERBŐCZI J. 2012: Stratigraphy and deformation history of the Jurassic coal bearing series in the Eastern Mecsek (Hungary). – *International Journal of Coal Geology* 102, pp. 35–51.
- PÜSPÖKI Z., HÁMORNÉ VIDÓ M., SÁRI K., SZEILER R., FANCSIK T. 2016: Szénvagyonunk nyilvántartásának lehetőségei és hiányosságai. – *Földtani Közlöny* 146 (2), pp. 155–162.
- PÜSPÖKI, Z., HÁMOR-VIDÓ, M., PUMMER, T., SÁRI, K., LENDVAY, P., SELMECZI, I., DETZKY, G., GÚTHY, T., KISS, J., KOVÁCS, Zs., PRAKFAI, P., MCINTOSH, R.W., BUDAY-BÓDI, E., BÁLDI, K., MARKOS, G. 2017: A sequence stratigraphic investigation of a Miocene formation supported by coal seam quality parameters – Central Paratethys, N-Hungary. – *International Journal of Coal Geology* 179, pp. 196–210.
- QIN, SH., SUN, Y., LI, Y., WANG, J., ZHAO, C., GAO, K. 2015: Coal deposits as promising alternative sources for gallium. – *Earth-Science Reviews* 150, pp. 95–101.
- RADNAINÉ GYÖNGYÖS Zs. 1990: A mecseki széntelepek elektronmikroszkópos morfológiai vizsgálata a gázkitörésveszélyes szénszerkezet megállapítására. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 123 (7–8), pp. 436–439.
- RADNÓTI E. 1954: A keletborsodi barnakőszén-medence vízföldtani kérdései. – *MÁFI Évi Jel.* 1953. évről (I), pp. 325–329.
- RADÓCZ Gy. 1964: A nyugalmi vízszint szerepe a mátraaljai földes-fás barnakőszéntelepek azonosításában. – *Hidrológiai Közlöny* 44 (1), pp. 511–513.
- RADÓCZ Gy. 1966a: *A Bükkhegység környéki banakőszénösszetétel átfogó prognózistérképe (M=1:100 000)*. – MÁFI Kiadv., Budapest.
- RADÓCZ Gy. 1966b: borsodi-medence helvét összletének banakőszénprognózisa. – *MÁFI Évi Jel.* 1964. évről, pp. 495–501.
- RADÓCZ Gy. 1985: Magyarország kőszénelőfordulásai. – *MÁFI Évi Jel.* 1983-ról, pp. 63–74.
- RADÓCZ Gy. 1987: Újabb Rzehakiás (Oncophorás) rétegek a Ny-borsodi medence kőszénösszetételéből. – *Kézirat*, Országos Földtani és Geofizikai Adattár 17 p.
- RADÓCZ Gy. 2010: Salgótarjáni Barnakőszén Formáció. – *Kézirat*, Magyar Rétegtani Bizottság, Miocén Albizottság, MÁFGBA, Budapest.
- RÁKOSI L. 1960: Kőszéneseedett autochton fatörzs a dorogi barnakőszén medencében. – *Földtani Közlöny* 90 (4), pp. 459–461.
- RÁKOSI L. 1978: A magyarországi eocén mangrove palinológiai adatai. – *MÁFI Évi Jel.* 1976. évről, pp. 357–374.
- RÁKOSI L. 1979: A Dunántúli-középhegység eocén képződményeinek biozónái palinológiai vizsgálatok alapján. – *MÁFI Évi Jel.* 1977. évről, pp. 241–256.
- RÁKOSI L. 1985: Előzetes jelentés a Bokod III. – Márkushegy-Ny. Eocén barnakőszén területén mélyített fúrások palinológiai vizsgálatáról. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T13566, 26 p.
- RÁSKY K. 1958: Fosszilis növények a salgótarjáni kőszénfeküdből. – *Földtani Közlöny* 89 (1), pp. 131–135.
- REIMANN, C., FILZMOSER, P., GARRETT, R., DUTTER, R. 2008: *Statistical Data Analysis Explained: Applied Environmental Statistics with R*. – John Wiley & Sons, Ltd., 362 p.
- REZAIYAN, R., CHEREMISINOFF, N. P. 2005: *Gasification Technologies: A Primer for Engineers and Scientists*. – Taylor and Francis CRC Press, 360 p.
- REZENBRINK, W., WISCHNEWSKI, R. 2012: High Temperature Winkler Gasification. A Full Developed Process for Methanol and Electricity Production. – <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/gasification/pdfs/GTC9808P.pdf> (access date 2015.02.12).
- RIEGEL, E. R., KENT, J. A. 2003: *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry*. – Springer 1288 p.
- ROBERTS, D. G., HARRIS D. J. 2000: Char gasification with O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, and H<sub>2</sub>O: Effects of pressure on intrinsic reaction kinetics. – *Energy & Fuels* 14, pp. 483–489.
- ROBERTSON, F. A., MORGAN, W. C. 1995: Mineralization of C and N in organic materials as affected by the duration of composting. – *Australian Journal of Soil Research* 33, pp. 511–524.
- ROCHELLE, G. T. 2009: Amine Scrubbing for CO<sub>2</sub> Capture. – *Science* 325 (5948), pp. 1652–1654.
- ROTH F., HOFFMANN R. 1911: Jelentés a Szászvár déli területről. – *Kézirat*, MÁFGBA, M.IV.8.
- ROZLOZSNIK P. 1923: Adatok Ajka vidékének geológiájához. – *MKFI Évi Jel.* az 1920–1923. évről, pp. 82–88.
- ROZLOZSNIK P. 1925: Földtani jegyzetek az Esztergom-vidéki paleogén medence nyugati részéről. – *MKFI Évi Jel.* 1920. évről, pp. 555–571.
- ROZLOZSNIK, P. 1928: *Führer in Ajka-Csingervölgy (Führer zu den Studienreisen der Paläontologischen Gesellschaft)*. – MKFI Gyak. kiadv., pp. 33–41.
- ROZLOZSNIK P. 1930: Adatok a Budaköváci hegység őharmadkori rétegeinek ismereteihez. – *MKFI Évi Jel.* az 1925–1928-as évről, pp. 65–85.
- ROZLOZSNIK P., SCHRÉTER Z., TELEGDY ROTH K. 1922: *Az Esztergom-vidéki szénterület bányaföldtani viszonyai*. – MKFI Alkalmi Kiadványa, Budapest, 128 p.
- RUDMAN, I. 2015: *The Coal Plant of the 21<sup>st</sup> Century – A Contractors View*. – LTA Process Engineering LTD 10 p.
- RUDNICK, R. L., GAO, S. 2003: Composition of the continental crust. – *Treatise on Geochemistry* (3), pp. 1–64.
- RUMPEL, C., KÖGEL-KNABNER, I. 2002: The role of lignite in the carbon cycle of lignite-containing mine soils: evidence from carbon mineralization and humic acid extractions. – *Organic Geochemistry* 33, pp. 393–399.
- RYASANOV, I. V., YUDOVICH, YA. E. 1974: On the diffusion theory of trace element enrichment in marginal zones of coal beds. – *Lithol. I Polezn. Iskop. [Lithol. Miner. Resour.]*, (4), pp. 64–75.
- SACHSENHOFER, R. F., TOMSCHEY, O. 1992: Gosau-type coals of Austria and Hungary – a preliminary geochemical comparison. – *Acta Geologica Hungarica* 35 (1), pp. 49–57.
- SANTOS S. 2006: Developments in Carbon Capture Technologies for Power Generation: Update to Various International Activities. – *IEA Greenhouse Gas R&D Programme, JRC JRC-integration & enlargement workshop on the role of fossil fuel power generation technologies in the future European Energy system*, 23–24<sup>th</sup> Nov. 2006, Petten, The Netherlands, CD-ROM.
- SAS E. 1972: A Gerecse hegység DK-i előterének szénelőfordulásai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 105 (2), pp. 114–119.

- SAYDAM EKER, C., AKPINAR, I., SIPAHI, F., YAPICI, E. 2016: Concentrations of elements in Lias coals from the eastern Black Sea Region, NE-Turkey. *Energy Sources Part A – Recovery Utilization and Environmental Effects* 38 (11), pp. 1643–1652.
- SCHINGNITZ, M., MEHLHOSE, F. 2005: The GSP-PROCESS Entrained-Flow Gasification of Different Types of Coal. Future Energy GmbH. – [http://www.iea-coal.org.uk/publishor/system/component\\_view.asp?LogDocId=81306&PhyDocId=5695](http://www.iea-coal.org.uk/publishor/system/component_view.asp?LogDocId=81306&PhyDocId=5695) (access date 2014.07.05).
- SCHMIDT, M. W. I., TORN, M. S., ABIVEN, S., DITTMAR, T., GUGGENBERGER, G., JAN-SENS, I. A., KLEBER, M., KÖGEL-KNABNER, I., LEHMANN, J., MANNING, D. A. C., NANNIPIERI, P., RASSE, D. P., WEINER, S., TRUMBORE, S. E. 2011: Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. – *Nature* 478 (7367), pp. 49–56.
- SCHMIEDER A., SZILÁGYI G. 1988: A Dunántúli-középhegység fő karsztrendszerének terhelése és terhelhetősége. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 121 (Klnsz. 2), pp. 72–89.
- SCHRÉTER Z. 1929: A borsod-hevesi szén és lignitterületek bányaföldtani leírása. – *Magyar Királyi Földtani Intézet alkalmi kiadványa*, pp. 5–390.
- SCHRÉTER Z. 1933: A kiskéri barnaszénterület földtani viszonyai. – *MÁFI Évi Jel.* 1929–32, pp. 285–300.
- SCHRÉTER Z. 1940: Nagybátöny környéke. – *Magyar Tájak Földtani leírása* 2, Budapest, 154 p.
- SCIAZKO, M., CHMIELNIAK, T. 2012: Cost Estimates of Coal Gasification for Chemicals and Motor Fuels, Gasification for Practical Applications. – YONGSEUNG, Y. (ed.): InTech, DOI: 10.5772/48556. – <https://mts.intechopen.com/books/gasification-for-practical-applications/cost-estimates-of-coal-gasification-for-chemicals-and-motor-fuels>
- SEBE, K. 2017: From post-rift phase to basin inversion – late-stage tectonic evolution of the Mecsek–Villány area, SW Hungary. Abstract, in: KÖVÉR SZ., FODOR L. (eds): 15<sup>th</sup> Meeting of the Central European Tectonic Studies Group (CETeG). Zánka, 5–8th April, 2017, Abstract Book. *Acta Mineralogica-Petrographica Field Guide Series* 32, p. 36.
- SELMECZI I. 1987: Keleti-Paratethys kapcsolatot bizonyító puhatestű fajok a hidasi barnaköszén medence miocén képződményeiből. – *Földtani Közöny* 117, pp. 71–78.
- SELMECZI I. 2015: Középső-miocén. – In: KERCSMÁR Zs. (szerk.): *Magyarország felszíni képződményeinek földtana. Magyar-ország földtani térképéhez (1:500 000)*. MFGI kiadványa, Budapest, pp. 35–41.
- SELMECZI I. (in print): Oligocén. – In: BUDAI T. (szerk.): *A Gerecse hegység földtana. Magyarország tájegységi térképsorozata*. – Magyar Bányászati és Földtani Szolgálat, Budapest.
- SELMECZI I., FODOR L. 2008: Csatkai Formáció. – In: BUDAI T., FODOR L. (szerk.): *A Vértes hegység földtana. Magyarország tájegységi térképsorozata. Magyar-ország a Vértes hegység földtani térképéhez (1: 50 000)*. – MÁFI Kiadv., Budapest, 82–85.
- SEREDIN, V. V. 2006: Germanium deposits. – In: LAVEROV, D. V., RUNDKVIST, D. V. (eds): *Large and superlarge ore deposits. vol. 3*. – IGM RAS, Moscow, pp. 707–736. (oroszul).
- SEREDIN, V. V., DAI, SH. 2012: Coal deposits as potential alternative sources for lanthanides and yttrium. A review article. – *International Journal of Coal Geology* 94, pp. 67–93.
- SEREDIN, V. V., DANILCHEVA, J. 2001: Coal-Hosted Ge Deposits of the Russian Far East, in Mineral Deposits at the Beginning of the 21<sup>st</sup> Century. – *Lisse: Swets Zeitlinger Publ.*, 2001, pp. 89–92.
- SEREDIN, V. V., FINKELMAN, R. B. 2008: Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types. – *International Journal of Coal Geology* 76, pp. 253–289.
- SEREDIN, V. V., DANILCHEVA, YU. A., MAGAZINA, L. O., SHAROVA, I. G. 2006: Ge-Bearing Coals of the Luzanovka Graben, Pavlovka Brown Coal Deposit, Southern Primorye. – *Lithology and Mineral Resources* 41 (3), pp. 280–301.
- SEREDIN, V. V., DAI, SH., SUN, Y., CHEKRYZHOV, I. YU. 2013: Coal deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies. – *Applied Geochemistry* 31, pp. 1–11.
- SHAFEEK, M. R., HELMY, Y. I., SHOKR, M. M. B. 2014: Response of hot pepper (*Capsicum annum* L.) to nitrogen fertilizer and humic acid levels under sandy soil conditions in plastic house. – *Journal of Applied Sciences Research* 9 (6), pp. 3674–3680.
- SHINN, J. H. 1984: From coal to single-stage and two-stage products: A reactive model of coal structure. – *Fuel* 63, pp. 1187–1196.
- SHPIRT, M. YA. 1977: *Physical-chemical principles of the germanium ores processing*. – Metallurgizdat (Metallurgy Publ. House), Moscow, 267 p.
- SIEGLNÉ FARKAS Á. 1988: Az Ajkai Köszén Formáció palinosztratigráfiája és fejlődéstörténete. – *MÁFI Évi Jel.* az 1986. évről, pp. 179–209.
- Siemens 2007: Siemens to Supply Coal Gasification Technology to Shenhua Group for DME Project; Shenhua Expanding Direct Coal Liquefaction Plant. – [http://www.greencarcongress.com/2007/01/siemens\\_to\\_supp.html](http://www.greencarcongress.com/2007/01/siemens_to_supp.html) (access date 2018.01.17).
- Siemens Fuel Gasifier: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/power-generation/fuel-gasifier/#content=Scope%20of%20Supply%20>
- SIMONICS P. 1959: A Salgótarján vidéki miocén barnaköszén palinológiai vizsgálata. – *Földtani Közöny* 89 (1), pp. 71–84.
- SINGLETON, J. D. 2013: Development and Evaluation of Dense Media Cyclone for the Southern African Mineral and Coal Industries. – Final Research report, University of the Witwatersrand, 53 p.
- SIPOSS Z. 1964: A Dorogi-medence oligocén képződményeinek kifejlődési típusai. – *MÁFI Évi Jel.* 1961. évről (1), pp. 355–367.
- SMITH I.M. 2010: *Microbial methane from carbon dioxide in coal beds*. – International Energy Agency (IEA) Clean Coal Centre, London, CCC/174, 25 p.
- SOLOMON, P. R., KING H. H. 1984: Tar evolution from coal and model polymers: Theory and experiments. – *Fuel* 63, pp. 1302–1311.
- SÓLYOM F. 1953: Az Észak-Vértes és a Déli-Gerecse földtani felvétele. – *MÁFI Évi Jel.* 1950. évről, pp. 221–231.
- SÓLYOM F. 1972: A tatabányai szénbányák területén végzett újabb földtani kutatások. I. – *A Tatabányai Szénbányák Műsz.-Közzgazd. Közl.* 4, pp. 168–174.
- SOMOS L. 1982: Ásványi nyersanyagtelepek számítógépes rendszere. I. Szilárd halmazállapotú ásványi nyersanyagok. – *Kézirat*, Magyar Állami Földtani Intézet Gazdaságföldtani Osztályának kiadványa, 84 p.
- SOMOS, L., ZUBOVIC, P., SIMON, F. O. 1985: Geochemical analyses of 12 Hungarian coal samples. – *Geophysical Transactions* 31, pp. 191–203.
- SOÓS L. 1964: Melanozerinit köszénkémiai és szénközettani vizsgálata. – *Köszén és kőolaj anyagismereti monográfia sorozat. 2*. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 73 p.

- SQUIR, K. R., SOLOMON, P. R., CARANGELO, R. M., DiTARANTO, M. B. 1986: Tar evolution from coal and model polymers: 2. The effects of aromatic ring sizes and donatable hydrogens. – *Fuel* 65, pp. 833–843.
- STACH, E. 1951: *Atlas für Angewandte Steinkohlenpetrographie*. – Deutsch. Kohlenbergbau-Leitung in Verbind. mit dem Amt für Bodenforschung. Verlag Glückauf G.M.B.H. Essen, Essen, 330 p.
- STARR, F. 2008: Claverton Group Conference Paper – October 2008. Introduction IGCC Based Power Plants for Carbon Capture and Storage. – <http://www.claverton-energy.com/integrated-gasification-combined-cycle-for-carbon-capture-storage.html> (access date 2018.01.11).
- STAUB M. 1878: Adalékok a Mecsek-hegység fosszilis flórájához. (ismertetés az 1878. feb. 6-án elhangzott előadásról.). – *Földtani Közlöny* 8 (3–4), pp. 101–102.
- STONE, R. W. 1912: Coal near the Black Hills Wyoming – South Dakota. – *US Geol Survey Bulletin* 499, pp. 1–66.
- STRAPOC, D., MASTALERZ, M. K., DAWSON, K., MACALADY, J., CALLAGHAN, A. V., WAWRIK, B. 2011: Biogeochemistry of Microbial Coal-Bed Methane. – *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 39, pp. 617–656.
- STRAUSZ L. 1942: adatok Baranya geológiájához. – *Földtani Közlöny* 72, pp. 4–12, 181–192, 270–271.
- STRAUSZ L. 1952: A Dunántúl délkeleti részének földtani felépítése. – *Földrajzi Értesítő* 1 (2), 219–236.
- STUR, D. 1874: Neueste ausbeute an foss. Pflanzern in d. Umgegend von Fünfkirchen. – *Verh. d. k. k. Geol. R. A. Wien* (9), pp. 197–198.
- SUNGGYU, L., JAMES, G., SPEIGHT SUDARSHAN, LOYALKA, K. 2007: *Handbook of Alternative Fuel Technology*. – Taylor & Francis Group, LLC, 712 p. (ISBN-13: 978-0-8247-4069-6)
- SÜTÖ-SZENTAI, M. 2000: A Ra–I. jelű minták szervesvázú mikroplankton és sporomorphavizsgálata. – *Kézirat*, Komló, Természettudományi Múzeum 12 p.
- SWAINE D. J. 1990: *Trace elements in coal*. – Butterworth&Co Publishers, 286 p.
- SYNERGY 2010: Kőszénrel és/vagy hulladékkal üzemeltetni tervezett TCG-WUC energiatermelő rendszer működtetése. – <http://mmk.hu/wp-content/uploads/2010/08/12.-mell%C3%A9klet.pdf> (access date 2011.02.27).
- SZABADOS G. 2011: A szén- és gázkiterő veszélyeztetettség földtani okai és a kiterőések megelőzése a mélyművelésű bányászatban. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 144 (2), pp. 12–18.
- SZÁDECZKY-KARDOSS, E. 1939: Über Karstkohlenarten und die Frage ihrer Schwefelanreicherung. – *Soproni Közlemények* 11, p. 194.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1940: A szénközettan a bányászat szolgálatában. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 73, p. 85.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1946: Új elegyrészek neogénkorú barnakőszeneinkből. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat*, 79, p. 29.
- SZÁDECZKY-KARDOSS, E. 1947a: Botanical interpretation of some new coal-components detected in Hungarian Tertiary brown.coals. – *Erdészeti Kísérletek* 46 (1–4), 213–217.
- SZÁDECZKY-KARDOSS, E. 1947b: Kohlenpetrographische Untersuchungen an ungarländischen miozän Braunkohlen, insbesondere an denen des Borsoder Beckens. – *Műsz. Egyet. Bánya- és Kohómérnöki Oszt. Közl.*, Sopron, 16, pp. 176–193.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1947c: Szénközettani vizsgálatok hazai miocénkorú barnaszeneiken. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 80, pp. 139–143.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E. 1956: A Dél-mecseki liász kőszén származása az új kollektív vizsgálatok tükrében. – *MÁFI. Évk.* 45, pp. 315–357.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E., FÖLDVÁRYNÉ VOGL M. 1955: Geokémiai vizsgálatok magyarországi kőszén hamuin. – *Földtani Közlöny* 85 (1), pp. 7–43.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E., SOÓS L. 1959: Szénközettani vizsgálatok felsőnyárádi és homokterenyi miocén barnakőszén fúrásmintáin. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, J323.
- SZÁDECZKY-KARDOSS E., SOÓS, L. 1964: Barnakőszén szénközettani gyorselemzése és a lópöves rendszer. – *Kőszén és kőolaj anyagismereti monográfia sorozat. I.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 69 p.
- SZAKÁLL, S., NAGY, G., SAJÓ, I. E. 2003: Synchysite-(Ce) from the Komló coal deposit, Mecsek Mts., South Hungary. – *Acta Mineralogica-Petrographica, Abstract Series* 1, p. 100.
- SZÁVA J., SZÜCS Z. 1963: Adatszolgáltatás az északmagyarországi szén minták germánium tartalmáról. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, ÉMO.17467.
- SZÁVÁNÉ BENŐCS K. 1965: Északmagyarországi széntelepek ritkafém katasztere. BKI 1-23-62-102. sz. kutatási jelentés. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, T.3225.
- SZÉKELY L. 1948: Az esztergomi szénmedence gyakorlati karsztvíz problémái. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 81, pp. 129–134.
- SZEMMELVEISZ T.-né 1998: *Energiahordozók*. – Miskolci Egyetem, Kohómérnöki Kar, Tüzeléstani Tanszék, 255 p.
- SZEMMELVEISZ T.-né, PALOTÁS Á. B., SZÜCS I. 2012: Biomasszáknak energetikai hasznosításának lehetőségei elgázosítással és pirolízissel. – *XIX. Főenergetikai és Innovációs Szeminárium. – Visegrád 2012. 05 10.*
- SZÉNÁS Gy. 1964a: A földmágneses módszer alkalmazásának elvi alapjai. – *MÁELGI Évkönyve* 1964 (A Mecsek és a Villányi-hegység geofizikai kutatásának eredményei).
- SZÉNÁS Gy. 1964b: A földmágnesség függőleges térerősségének anomáliatérképe ( $\Delta Z$  térkép). – *MÁELGI Évkönyve* 1964 (A Mecsek és a Villányi-hegység geofizikai kutatásának eredményei).
- SZENTE I. 1993: Benthosz társulások változásai egy kora jura delta sorozatban (A Mecseki Kőszén Formáció Pécsbányánál). – *Öslénytani Viték* 39, pp. 13–23.
- SZENTES F. 1968: *Magyarázó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához. L-34-I. Tatabánya*. – MÁFI Kiadv. Budapest, 158 p.
- SZENTIRMAI I. 1962: Földtani és kőszénföldtani vizsgálatok a nagybányai Katalin II. lejtős aknában. – *Földtani Közlöny* 92, pp. 69–80.
- SZENTIRMAI I. 1965: A nagybányai barnakőszén-terület bányaföldtani viszonyai. – *Földtani Kutatás* 8, pp. 17–25.
- SZENTIVÁNYI F. 1964: Az oroszláni barnakőszén-medence bányaföldtani és hidrogeológiai viszonyai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 97 (4), pp. 236–245.
- SZEPESSY A., DEÁK J. 1977: Sajómerce II. barnaszentérszék előzetes fázisú kutatási zárójelentése és 1977. I. 1-i helyzet szerinti készlet-számítása. Borsodi Szénbányák Igazgatósága, 1977. május. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, KFH 3295/I-II.
- SZEPESSY A., SINYEI I. 1987: Sajómerce II. kutatási terület I–II–III. telepi tektonikai és talpszintvonalas térképei. – *Kézirat*, Miskolci Bányakapitányság Adattára,

- SZILÁGYI T. (szerk.) 1985: Összefoglaló jelentés a Máza-Dél-Váralja-Dél feketekőszén terület felderítő fázisú kutatásáról és készlet-számításáról. – *Kézirat*, Magyar Állami Földtani, Geofizikai és Bányászati Adattár, Budapest, T-13821.
- SZIRTES L. (ed.) 1977: A gázkitörés-veszélyességének földtörténeti modelljéről. In: PAPP J., KOVÁCS F., SZABÓ I., KISS J., BENCZE I., NYERS J., SZIRTES B.: *A Mecseki Szénbányák 1973–1974. évi küzdelme a váratlan szén- és gázkitörések ellen*. – Műszaki Könyvkiadó, Budapest, pp. 82–91.
- SZIRTES L. 1969: A szén- és gázkitörések elleni védekezés fejlődése. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 102 (9), pp. 577–586.
- SZIRTES L. 1973: A széntelepek gázkitörés-veszélyességének földtani vonatkozásai. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 106 (2), pp. 73–78.
- SZOKOLAY GY. 1984: Lignitkutatási eredmények a Mátra–Bükkalján. – *Földtani Kutatás* 27 (4), pp. 31–35.
- SZÓTS E. 1948: Az Északi Bakony eocén képződményei. – *Földtani Közöny* 78, pp. 39–59.
- SZÓTS E. 1952a: Jelentés a nyugati Vértes eocén képződményeinek rétegtani viszonyairól – *MÁFI Évi Jel.* 1948. évről, pp. 47–56.
- SZÓTS E. 1952b: Jelentés a nagykovácsi és pilisvörösvári medence eocén képződményeinek rétegtani viszonyairól. – *MÁFI Évi Jel.* 1948. évről, pp. 39–44.
- SZÓTS E. 1953: Adatok az Esztergomi-medence középső-eocén képződményeinek rétegtani viszonyáról. – *MÁFI Évi Jel.* 1949. évről, pp. 21–23.
- SZÓTS E. 1956: Magyarország eocén (paleogén) képződményei. – *Geologica Hungarica series Geologica* 9, 320 p.
- SZTANÓ O. 1998: Az Esztergomi-medence oligocén képződményeinek integrált sztratigráfiai vizsgálata: I. Alapelvek. – *Földtani Közöny* 128 (2–3), pp. 437–453.
- SZTANÓ O., TARI G. 1993: Early Miocene basin evolution in Northern Hungary: Tectonics and Eustasy. – *Tectonophysics* 226, pp. 485–502.
- SZÜCS I. 2001: A bányászati geofizika szerepe a mecseki szénbányászat biztonsági és földtani döntéseinek szolgálatában. – In: SZIRTES B. (szerk.): *Bücsúzik a mecseki szénbányászat emlékkiadvány*. Komló, pp. 235–243.
- SZÜCS J. 1988: A dorogi bányászat karsztvíz emelésének környezeti hatása. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 121 (9), pp. 609–620.
- SZÜCS J., GYARMATI Gy., JAKAB L., KOSZTOLÁNYI L.-né, PUCHNER F., LAPOS J., GUTMANN Gy. 1980: Borókás XII/a akna részletes fázisú kutatási zárójelentése. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest, T.10338, 140 p.
- TAAGER H. 1936: A Bakony regionális geológiája I. – *Geologica Hungarica series Geologica* 6, 128 p.
- TAHIR, M. M., KHURSHID, M., KHAN, M. Z., ABBASI, M. K., KAZMI, M. H. 2011: Lignite-derived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. – *Pedosphere* 21, pp. 124–131.
- TAKÁCS P. 1980: A szén mint vegyipari nyersanyag. – *Műszaki Gazdasági Tájékoztató* 21 (4), pp. 439–463.
- TAKÁCS, P. 1989: A sajtóvölgyi és az oroszlányi barnakőszén, valamint az észak-magyarországi lignit szénkémiai és technológiai minősítése. – A hazai lignitek és barnaszén elgázosításával kapcsolatban a KBFI-ben végzett tanulmányi munkák összefoglaló értékelése. – *Kézirat*, MÁFGBA Budapest, T.18302.
- TARI, G. 1992: Late Neogene transpression in the Northern Thrust Zone, Mecsek Mts., Hungary. – *Ann. Univ. Sci. Budapest R. Eötvös Nom., Ser. Geol.* 29, pp. 165–187.
- TARI, G., HORVÁTH, F., RUMPLER, J., 1992. Styles of extension in the Pannonian Basin. – *Tectonophysics* 208, pp. 203–219.
- TARI, G. BALDI, T. BALDI-BEKE, M. 1993: Paleogene retroarc flexural basin beneath the Neogene Panonian Basin: a geodynamic model. – *Tectonophysics* 266, pp. 433–455.
- TARJÁN G. 1949: Haza szénbányászatunk előkészítési minőségi kérdései. – *Mérnöki Továbbképző intézet kiadványai, Bányászat* 19, Egyetemi Nyomda, Budapest, 23 p.
- The world's first "negative emissions" plant has begun operation—turning carbon dioxide into stone 2017: <https://qz.com/1100221/the-worlds-first-negative-emissions-plant-has-opened-in-iceland-turning-carbon-dioxide-into-stone/>
- Thermaquatica, Greenpower Energy Ltd. 2015: Conversion of Australian coals. – <http://www.greenpowerenergy.com.au/wp-content/uploads/Thermaquatica-Greenpower.pdf>
- TELEGDI ROTH K. 1924: A várpalotai lignitterület. – *Földtani Közöny* 54, pp. 38–45.
- TELEGDI ROTH K. 1925: A tokod-dorogi és a tatabányai barnaszénmedencék között elterülő vidék és a móri árok környéke. – *MKFI Évi Jel.* 1922–23-ról, pp. 69–81.
- TELEGDI ROTH K. 1927: Infraoligocén denudáció nyomai a Dunántúli-középhegység északnyugati peremén. – *Földtani Közöny* 57, pp. 32–41.
- TELEGDI ROTH, K. 1928: Führer im Kohlengebiet Pécs (Mecsek Gebirge). In: *Führer zu d. Studienreisen der Pal. Ges. bei Gelegenheit d. Paläontologentages in Budapest*. – MKFI Gyak. kiadv. Budapest, pp. 67–76.
- TEWALT, S. J., BRAGG, L. J., FINKELMAN, R. B. 2001: Mercury in U.S. Coal – Abundance, Distribution and Modes of Occurrence. – USGS Fact Sheet FS-095-01 September <https://pubs.usgs.gov/fs/fs095-01/fs095-01.pdf>
- The HT-L Gasifier 2018: A Pressurized, Down-Flow, Entrained Reactor. – <http://www.spacechina.com> (access date 2018.02.15).
- The Viking Two stage Gasifier 2015: [http://www.mek.dtu.dk/InstTest/MEKTEST/Forskning/Tema\\_artikler/Termiske%20Energisystemer/The\\_Viking\\_Two\\_stage\\_Gasifier.aspx](http://www.mek.dtu.dk/InstTest/MEKTEST/Forskning/Tema_artikler/Termiske%20Energisystemer/The_Viking_Two_stage_Gasifier.aspx) (access date 2015.01.27).
- TIGABWA Y. A., MURNI, M. A., YUSUP, S., INAYAT, A., KHAN, Z. 2012: Mathematical and computational approaches for design of biomass gasification for hydrogen production: A review. – Elsevier. *Renewable and Sustainable Energy* 16 (4), pp.2304–2315.
- TILES J. 1932a: A vértessomlyói barnakőszénbányászat I. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 4, pp. 69–74.
- TILES J. 1932b: A vértessomlyói barnakőszénbányászat II. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 6, pp. 117–123.
- TOMSCHEY, O. 1990: Trace elements in the Ajka–II Upper Cretaceous coal basin, Transdanubia, Hungary. – *Acta Geologica Hungarica* 33 (1–2), pp. 121–135.
- TÓTH Gy. 2011: „Tardona-szén” kutatási terület földtani zárójelentés. – *Kézirat*, Karbolith Bt. Miskolc p. 31.
- TÓTH J., LAKATOS I., LAKATOSNÉ SZABÓ J. 1991: A metán-szén kitérőrek potenciálgát modellje. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 124 (9–10), pp. 487–491.
- TÓTH M. 2002: Mikor fakadnak újra a Tatai Források? – *Vízügyi Közlemények* 84 (2), pp. 194–213.

- TÖRÖK, K. (szerk.) 2014: 7/2013 Magyarország érc- és ritkaföldfém potenciáljának felmérése, érces területek koncessziós előkészítése. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest. T.23121.
- TUKEY, J. W. 1977: *Exploratory data analysis*. – Reading, PA: Addison-Wesley.
- TURCSÁNYI M. 1988: Bányanyitási lehetőségek a Dorogi Szénbányák területén. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 121, pp. 597–602.
- UN-ECE 1956: International classification of hard coals by type. – Economic Commission for Europe, Committee on sustainable energy (Geneva), United Nations, Geneva, N.Y., 1956, 55 p.
- UN-ECE 1988: International codification system for medium and high rank coals. – Economic Commission for Europe, United Nations (Geneva), United Nations, New York, N.Y., 1988 (Document/ECE/COAL/115), 26 p.
- UN-ECE 1998: International classification of in-seam coals. – Economic Commission for Europe, Committee on sustainable energy (Geneva), United Nations, New York, N.Y., 1998 (Document/ ENERGY/1998/19) 41 p.
- UN-ECE 2002: Low rank coal utilization international codification system. – Economic Commission for Europe, Committee on sustainable energy (Geneva), United Nations, New York, N.Y., (Document/ ECE/ENERGY/50), 61 p.
- US-China Energy Center, National Research Center for Coal and Energy, West Virginia University, Morgantown, WV 26506-6064 2014: Coal Gasification in China – A Study Report 146 p.
- U.S.G.S. (U.S. Geological Survey) 2009: Estimation of Coal-Cleaning-Cost. Chapter G: The National Coal Resource Assessment Overview. – USGS Professional Paper 1625-F, 9 p.
- U.S.G.S. Mineral yearbook Beryllium (advance release). – <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/beryllium/myb1-2013-beryl.pdf>
- VADÁSZ E. 1910–1916: *Mecseki kéziratos földtani térképek 1:25 000 méretarányban*. – MBFSZ Térképtár, Budapest.
- VADÁSZ E. 1935: A Mecsekhegység. – *Magyar Tájak Földtani Leírása I.* (Melléklet: Mecsek hegység földtani térképe. M=1:75 000) – Stádium Sajtó Váll. R.T., Budapest, 180 p.
- VADÁSZ E. 1940: *Köszénföldtani tanulmányok*. – M. Kir. Földtani Intézet gyakorlati, alkalmi és népszerű kiadványai, Budapest, 121 p.
- VADÁSZ E. 1952: *Köszénföldtan*. – Akadémia Kiadó, Budapest, 180 p.
- VAKARCS G., HARDENBOL, J., ABREU, V. S., VAIL, P. R., VÁRNAI, P., TARI, G. 1998: Oligocene – Middle Miocene depositional sequences of the Central Paratethys and their correlation with regional stages. – *SEPM Special Publication* 60, pp. 209–231.
- VADÁSZ J. 1997: *Huminsavak és fulvosavak a növényi életfolyamatokban*. – PRI-KOMP Kft., Veszprém, pp. 28–33.
- VAJDA Gy 1981: *Energetika II.* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 414 p.
- VALLER K. 2006: Különböző összetételű biogázok földgázzal történő együtt-égetésének környezetkímélő lehetősége. – Miskolci Egyetem, Tüzeléstan Tanszék.
- VAMVUKA, D. 2010. Overview of Solid Fuels Combustion Technologies. – In: LACKNER, M., WINTER, F., AGARWAL, A. K. (szerk.): *Handbook of Combustion*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- VÁRALLYAY Gy. 2004: Talaj az agro-ökoszisztémák alapeleme. – *Agro-21 Füzetek* 37, pp. 33–49.
- VARGA A. 1978: A márkushegyi bányatelepítés jellemző adatai, a kivitelezés jelenlegi helyzete és a további feladatok. – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 111 (3), 169 p.
- VARGA I., BELLA L., SZÁVÁNÉ BENŐCS K. 1972: A nyomelemek dúsulásának vizsgálata hazai kőszénben. – *Bányászati és Kohászati Lapok* 105, pp. 391–407.
- VARGA I.-né 1985: Borsodi barnakőszén szénközettani vizsgálata. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest. J510.
- VARGA I.-né, ELEK I. ZSEBEHÁZI Gy. 1986: 271.024.6 KBFI sz. kutatási jelentés. Oroszlányi-medence és az ÉK-i bakonyi fűrészekből származó eocén kőszén szénközettani vizsgálata. – *Kézirat*, MÁFGBA, Budapest. T.17387.
- VARGA J. 1932: Barnaszénkátránybenzin kéntelenítése hidrogénnel. – *Ásványolaj* 2, p. 4.
- VARGA J., SZÜCS M. 1952: Hazai szén oldószeres feltárása. – *Magyar Kémiai Folyóirat* 58, p. 178.
- VARGA, E., HORVÁTH, Z. 1986: Coal petrographical characterization of the Mecsek bituminous coal basin, with special reference to the contact metamorphism of coal seams. – *International Journal of Coal Geology* 6, pp. 381–391.
- VARGA, J., MAKRAY, I. 1931: Katalytische Druckhydrierung eines Braunkohlenfeer-Crackbenzins. – *Brennstoff-Chemie* 12, p. 389.
- VARRÓ T. 1979: A Borsodi Szénbányák bányavízvédelmi problémáinak rövid ismertetése. – *Földtani Közöny* 109, pp. 421–427.
- VASS, D., MILLICKA, J., PERESZLÉNYI, M., ELECKO, M. 2005: Lower Miocene coal measures buried by the Krupinská planina Plateau volcanics (southern Slovakia). – *Bulletin of Geosciences* 80 (1), pp. 105 <http://www.l.icheme.org/gasification2010/pdfs/bglgasificationandrewwilliams.pdf> (access date 2015.07.25).
- VERBÓCI J. 2008: Hozzászólások dr. FODOR Béla „A szénhez kötött metán hasznosítási lehetőségei Magyarországon” című cikkéhez (BKL Bányászat 2007/3. szám). – *Bányászati és Kohászati Lapok, Bányászat* 141 (2), pp. 37–40.
- WILLMANN, G., FAKOUSSA, R. M. 1997: Biological bleaching of water soluble coal macromolecules by a basidiomycete strain. – *Applied Microbiology and Biotechnology* 47, pp. 95–101.
- WONG, A. S., STALNAKER, N. D., LAFFERTY, C. J., ROBERTSON, J. D., KUHR, J. H. 1996: The ion exchange properties of low rank coals on actinides and other heavy metals. – *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* 211, 133-FUEL.
- WORLD PROPOSED GASIFICATION PLANT DATABASE - NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY. JUNE 2014. Retrieved 30 June 2014, US Dep. Energy, link: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasification-plant-databases>
- XU, W.-C., TOMITA, A. 1987: Effect of coal type on the flash pyrolysis of various coals. – *Fuel* 66, pp. 627–631.
- XU, W.-C., TOMITA, A. 1990: Effective Utilization of Coal via Flash Pyrolysis. – *Iron and Steel Institute of Japan (ISIJ) International* 30, pp. 687–698.
- YEVDOKIMOV, A. I., YEKHANIN, A. G., KUZMIN, V. I., OZYORSKIY, A. YU. 2002: New data on the germanium content of Mesozoic lignites in the basin of the river Kas (in Russian). In: *The geology of coal deposits*. 12<sup>th</sup> Edn. Uralsk Gos. Gorno-Geol. Akad., Yekaterinburg, pp. 181–187.
- YUDOVICH, Y. E. 1965: Distribution of the elements in column of the coal beds. – *Mater. k 9-mu sovesch. rabotn. labor. geol. organiz. [Proc. of the 9<sup>th</sup> Workshop of the geol. laboratory workers]*. Vyp. 7 [Issue 7]: Uglechim. sect. [Coal-chem. section]. Leningrad, Nedra [“Entrails of Earth” Pub. House], pp. 134–142.

- YUDOVICH, Y. E. 2003: Notes on the marginal enrichment of Germanium in coal beds. – *International Journal of Coal Geology* 56, pp. 223–232.
- ZAIDI, H. A., PANT, K. K. 2004: Catalytic conversion of methanol to gasoline range hydrocarbons – *Catalysis Today* 96 (3), pp. 155–160.
- ZAITSEVA, L., IVANOVA, A., HÁMOR-VIDÓ, M. 2004: Coal petrographical characteristics of Neogene lignite formations in Ukraine and Hungary (examples from the Ilitsa and Visonta coal fields). Porivnialna harakteristica petrografitsnovo skladu burovo bugillia neogenovih buglesnosnih formatij Ukraiini ta Ugorshini (na prikladi rodovis Ilitsa ta Visonta). – *Geologitseskij Journal*, Kiev (2), pp. 73–79.
- ZAMBÓ J. 1985: *A bányaművelés alapjai*. – Akadémiai Kiadó, Budapest, 162 p.
- ZENGH, D. 2005. Effect of Pressure on Coal Pyrolysis at heating rates and char combustion. – *Department of Chemical Engineering*. Brigham Young University, 221 p.
- ZENGH, L., FURINSKY, E. 2005: Comparison of Shell, Texaco, BGL and KRW gasifiers as part of IGCC plant computer simulations. – *Energy Conversion and Management* 46, pp. 1767–1779.
- ZHENYU, L., SHIDONG, S., YONGWANG, L. 2010: Coal liquefaction technologies – Development in China and challenges in chemical reaction engineering. – *Chemical Engineering Science* 66 (1), pp. 12–17.
- ZHUANG, H., LU, J., FU, J., LIU, J. 1998: Lincang superlarge germanium deposit in Yunnan province, China: sedimentation, diagenesis, hydrothermal process and mineralization. – *J. China Univ. Geosci.* 9, pp. 129–136. (in Chinese with English abstract).
- ZHUANG, X., QUEROL, X., ALASTUEY, A., JUAN, R., PLANA, F., LOPEZ-SOLER, A., DU, G., MARTYNOV, V. V. 2006: Geochemistry and mineralogy of the Cretaceous Wulantuga high-germanium coal deposit in Shengli coal field, Inner Mongolia, Northeastern China. – *International Journal of Coal Geology* 66, pp. 119–136.
- ZILBERMINTS, V. A., RUSANOV, A. K., KOSRYKIN, V. M. 1936: *On the question of Ge-presence in fossil coals*. – Acad. V.I. Vernadsky–k 50-letiyu nauchnoi deyatel'nosti [up to 50-anniversary of his science activity], vol. 1. AN SSSR [Acad. Sci. USSR], Moscow, pp. 169–190.
- ZIPSER, K. A. 1817: Versuch eines topographisch-mineralogischen. – *Handbuches von Ungarn*. – Ödenburg, 440 p.
- ZUBOVIC, P. 1966: Physiochemical properties of certain minor elements as controlling factors of their distribution in coal. – In: GOULD, R. F. (ed): *Coal science*. Washington, D. C., American Chemical Society Publications, *Advances in Chemistry Series* (55), pp. 221–246.
- ZUBOVIC, P., STADNICHENKO, T., SHEFFEY, N. B. 1964: Distribution of minor elements in coal beds of the Eastern Interior region. – *U.S. Geological Survey Bulletin* 1117-B, 41 p.
- ZUNHONG, Y, XIN, G., FUCHEN, W. 2005: *Coal Gasification Technology in China: Application and Development*. – Research Institute of Clean Coal Technology, East China University of Science and Technology, Shanghai, 2005 (access date 2008.01.26). – [http://gcep.stanford.edu/pdfs/wR5MezrJ2SJ6Nffl5sb5Jg/9\\_china\\_wangfuchen.pdf](http://gcep.stanford.edu/pdfs/wR5MezrJ2SJ6Nffl5sb5Jg/9_china_wangfuchen.pdf)



A hazai szénvagyon gazdaságos és környezetkímélő hasznosításának alapfeltétele a korszerű műszaki eljárások adaptációja a bányászatban és a korszerű tiszta széntechnológiai eljárások megjelenése a hazai energetikai és vegyipari szektorban. A tiszta széntechnológiák az utóbbi évtizedben jelentős fejlődést mutatnak, a beépített és megtervezett kapacitások látványos növekedése ezt jól tükrözi. Az energiatermelés és vegyipar mellett továbbra is fontos szerepe lehet a kokszolható feketeszénnek, mely az Európai Unió meghatározása szerint napjainkban is stratégiai, kritikus nyersanyag.

A szektor válságból való kiemelkedése naprakész szakismereteket követel. A földtani vagyon, a kitermelési lehetőségek és szénminőségi paraméterek pontos ismerete nélkül a legígéretesebb befektetői érdeklődés is készületlenül érheti a hazai intézményrendszert.

A kötet célja a hazai földtani és szénminőségi adatok országos áttekintése és a perspektivikus szénelőfordulások azonosítása, valamint a világban ismert feldolgozási és hasznosítási technológiák részletes bemutatása. A közölt tanulmányok szakmai alapot adhatnak a szénbányászati szektorral kapcsolatos álláspontok megfogalmazásához, a stratégiai tervezéshez, illetve a szakterületi programokkal (földtani kutatás, bányászat, szénelőkészítés, feldolgozás) szemben támasztott követelmények meghatározásához egyaránt.