

KÍSÉRLETI ÉS NUMERIKUS FESZÜLTSEGANALÍZIS

A TÖRÉSMECHANIKA ÉS AZ ANYAGVIZSGÁLAT TÖRTÉNETE

TÓTH LÁSZLÓ

Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet

PETER ROSSMANITH

University of Vienna (Austria)

Készült: a TEMPUS S_JEP_11271 projekt támogatásával

Miskolc
- 1999 -

Kiadja a Miskolci Egyetem

A kiadásért felelős: *Dr. Tóth László*

Műszaki szerkesztő: *Dr. Tóth László*

Példányszám: 40

Készült Colitó fóliáról az MSZ 5601-59 és 5602-55 szabványok szerint

Miskolci Egyetem Sokszorosító Üzeme

A sokszorosításért felelős: *Kovács Tiborné*

TB. - '99- - ME

A levonat sokszorosításba leadva: 1999. június 15.

ELŐSZÓ

Minden történelmi korszak fejlődésének megvan a maga hajtóereje. Míg a XIX. században a tudomány előrehaladását egyértelműen a vasúti közlekedés robbanásszerű elterjedése hatotta át (évente átlagosan 10.000 km hosszágban építettek új vasútvonalakat), addig jelen korunkban a mikroelektronika adta lehetőségek szőtték át a mindennapjainkat, így a műszaki életünket is, szolgáltatva annak fejlődéséhez szükséges hajtóerőt. E két periódus fejlődésének sajátosságai természetesen megmutatkoztak a társadalmi struktúra formálódásában is. Az elmúlt században kialakult a nagyüzemi munkásság, megvalósult a tőke koncentrációja és létrejött a reál - dominánsan a műszaki - tudomány művelőinek népes tábora. Ez utóbbiak kivívták maguknak a széles társadalmi elismertséget, hisz tevékenységük közvetlenül hozzájárult a társadalom látható fejlődéséhez. Napjaink sajátossága az *információs társadalom* kialakulása, amelyben a mikroelektronikai elemek fejlődése átszövi a mindennapi életünk, tevékenységünk lehetőségeit. A műszaki életben ez többek között a számítástechnika robbanásszerű elterjedését, a diagnosztikai vizsgálatok eszközparkjának átalakulását, az anyagok viselkedésének, tulajdonságainak mélyebb megismerését szolgáló anyagvizsgálati módszerek, eszközök létrejöttét eredményezte. A fejlődés ütemét jól tükrözi az, hogy mindez az utóbbi 20 évben következett be (pl. a számítógépek mikroprocesszorainak műveleti sebessége 1978-1998 periódusban 3 nagyságrendet változott!).

A nagy értékű műszaki létesítményeket, szerkezeteket (hidakat, erőműveket, gáz-olajfeldolgozó rendszereket, vegyipari üzemeket, tranzit energiaszállító vezetékeket, repülőgépeket, hajókat, stb.) 15-50 éves üzemeltetésre tervezik az adott periódusban érvényben levő szabványok, műszaki irányelvek figyelembevételével. Ezekben pedig az azt megelőző néhány év ismeretszintje, technológiai színvonala testesedik meg. A mikroelektronika által diktált fejlődési ütem lehetővé teszi azt, hogy a nagy értékű szerkezetek, létesítmények üzemeltethetőségi feltételeit, maradék élettartamát egyre nagyobb megbízhatósággal becsüljük, azaz integritását egyre kisebb kockázattal ítéljük meg.

Az előzőkből adódóan kialakult egy új, diszciplína, a „*szerkezetek integritása*”, vagy „*szerkezetintegritás*” fogalma és létrejött intézményrendszere szerte a világon. A döntően mérnöki ismereteket integráló tudományterület feladata annak eldöntése, hogy egy adott szerkezet, létesítmény milyen feltételek mellett üzemeltethető a továbbiakban, ill. mennyi a maradék élettartama és ez milyen módon menedzselhető. Ahhoz, hogy a szerkezet állapotát a lehető legnagyobb biztonsággal felmérhessük - ebből adódóan a további üzemeltethetőség feltételeit a legkisebb kockázattal megbecsüljük - elengedhetetlen az, hogy

- *diagnosztikai vizsgálatokkal felmérjük a szerkezet állapotát,*
- *tisztázzuk a valóságos üzemi körülményekre jellemző mechanikai állapotot,*
- *megítéljük a beépített anyagok károsodásának folyamatát és mértékét az adott üzemeltetési feltételek mellett.*

Nyilvánvaló egyrészt az, hogy az előzőekben említett három fő terület (méréstechnika - mechanika - anyag) egyforma jelentőséggel bír a szerkezet integritásának megítélésében és bármelyik terület elhanyagolása, súlyának csökkentése hibás döntéshez, esetleg katasztrófához vezethet. Nyilvánvaló másrészt az, hogy minden műszaki döntésben, így az üzemeltethetőség feltételeinek megítélésében is, bizonyos kockázat rejlik, hisz a tudomány adott szintjét hasznosítjuk és a rendelkezésre álló eszközpark maga is az adott kor színvonalát képviseli. Ebből

adódóan mérlegelni kell az esetleges hibás döntés műszaki, jogi, közgazdasági és környezetvédelmi következményeit. Ezek együttes figyelembevételével viszont már kialakíthatók az ésszerű kockázatvállalás feltételei.

A szerkezetintegritás tehát egy igen komplex terület. Akik ezt művelik azoknak képesnek kell lenniük arra, hogy az üzemeltesíthetőséggel kapcsolatos problémákat teljes körűen átlássák, kiemeljék a meghatározó paramétereket, kérdéscsoportokat és alkalmasak legyenek arra, hogy az érintett tudományterületek szakembereivel érdemben szakmailag konzultálni tudjanak.

A szerkezetek integritásának, reális állapotának, maradék élettartamának megítélése mind az üzemeltetők, mind pedig a biztosítótársaságok alapvető érdeke. Az üzemeltető szempontjából a tudatos tervezés, fejlesztés megkerülhetetlen sarokpontja az üzemben levő készülékek műszaki állapota, biztonsága; a szükséges biztosítás tekintetében pedig az ésszerű kockázatvállalás, biztosítási összeg alapeleme a reális állapot ismerete. Ezek jelentőségét mérlegelve támogatta az Európai Unió a TEMPUS program keretében a „*Teaching and Education in Structural Integrity in Hungary*” címmel összeállított pályázatot, amelynek fő célkitűzése ezen új diszciplína meghonosításán kívül egyrészt a szerkezetintegritás oktatási anyagainak kidolgozása, másrészt a **Szerkezetintegritás - Biztosítási Mérnök Szakmérnöki Szak** beindítása. A négy hazai intézmény - Miskolci Egyetem, Budapesti Műszaki Egyetem, Kossuth Lajos Tudományegyetem Műszaki Kara és a Széchenyi István Műszaki Főiskola szakembereinek bevonásával elérendő célok megvalósítását nagyban segítették a következő külföldi partnereink:

- Prof. T. Varga, Bécsi Műszaki Egyetem
- Prof. H. P. Rossmann, Bécsi Műszaki Egyetem, e füzet társszerzője
- Dr. J. Blauel, Fraunhofer Institut für Werkstoffmechanik
- Prof. S. Reale, Università Degli Studi di Firenze
- Prof. G. Pluinage, University of Metz
- Dr. S. Crutzen, Joint Research Centre, European Commission

Miskolc, 1999. Június 15.

Tóth László

egyetemi tanár
a projekt koordinátora

Tartalomjegyzék

ELŐSZÓ	1
Bevezetés	4
1. Tóth László:	
Az anyagvizsgálat rövid története	6
Az anyagvizsgálat fejlődését elősegítő legfontosabb események (kronológia)	36
Néhány háztartási eszköz, gép szabadalma (Kronológia)	38
2. Tóth László:	
A törésmechanika rövid története	39
3. Tóth László:	
Ludwig von Tetmajer–Tetmajer Lajos szerepe a hazai anyagvizsgálatok	50
Az Anyagvizsgálók Közlönye	57
Tetmajer Lajos portréja (dr. Péter József)	60
Tetmajer Lajos munkái az Országos Műszaki és Dokumentációs Központba	61
4. Tóth László:	
A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete alapításának 100 éves évfordulója	81
Az Anyagvizsgálók Közlönye	85
Az Anyagvizsgálók Közlönye c. lapban publikált közlemények adatai	91
5. Peter Rossmannith:	
Törésmechanika és anyagvizsgálat: A XX. Századelfelejtett úttörői	101
7. Peter Rossmannith:	
Joseph A. Kies és a feszültségintenzitási tényező a törésmechanikában	126
7. Peter Rossmannith:	
G.R. IRWIN – A törésmechanika atyja. Rövid életrajz	136

Bevezetés

A berendezések, szerkezetek, gépalkatrészek jelentős részét ma is folyáshatárra méretezik. Az anyag és energiatakarékosság, a szerkezetekkel szemben támasztott egyre növekvő követelmények arra készítetik a tervezőket és gyártókat, hogy az észszerű kockázat vállaláson belül növeljék a terhelhetőséget. Más megfogalmazásban ez azt jelenti, hogy csökkentik a biztonsági tényező értékét, amely a tervezés, a gyártás és az üzemeltetés során jelentkező, és a tervezéskor figyelembe nem vehető kedvezőtlen hatások ellensúlyozását szolgálja. Ennek érzékeltetésére tekintsük át az egyes területeken jelentkező problémákat.

A tervezéskor bizonytalanságot jelent a szerkezet tényleges mechanikai állapota és a számításhoz felhasznált modell közötti eltérés. Ez a hiba egyszerű szerkezeti kialakítások esetében nem jelentős, de a bonyolultabb részek, keresztmetszet változások, elágazások, nyomástartó edények csőcsonkjai esetében, stb. már számottevő; a ma használatos alak- és formatényezőkkal csak pontatlanul közelíthető.

A feszültségi és alakváltozási állapot tisztázatlanságán kívül bizonytalanságot jelent az anyag, ill. a használatos anyagjellemzők pontos ismeretének hiánya. Általánosan használt az anyagminőséghez kötődő legkisebb folyáshatár alkalmazása, amelynél a beépített anyag folyáshatára általában nagyobb. Ugyanakkor ez a megközelítés nem veszi figyelembe a ma még szükségszerűen meglevő, megengedett anyagfolytonossági hibákat.

A tervezéskor nem, vagy csak korlátozottan lehet figyelembe venni bizonyos, gyártás közben jelentkező hatásokat. Nevezetesen a technológiai művelet közben keletkező, de még megengedhető hibákat, pl. hegesztett kötések hibái, ill. a megmunkálás következtében létrejövő maradó feszültségeket.

A normál üzemeltetés során is adódnak olyan járulékos terhelések, amelyek a tervezéskor fel sem merültek, ill. vannak olyanok, amelyek a tervező számára ismertek, de számszerűsítésük nehézkes és így nehezen vehetők figyelembe. Példaként említhetők a hőmérsékletváltozásokból, a szellőzésekből, az indítási és leállási folyamatok tranzienstársaiból, stb. származó járulékos terhelések.

Az előzők alapján egyértelmű, hogy a folyáshatárra végzett helyes méretezés mellett is számolni kell a szerkezeti elemek, alkatrészek egyes helyeinek túlterhelésével, amelyek a szívós anyagok képlékeny alakváltozását okozzák. Ez a hatás egyszeri, statikus terhelés esetén a feszültségcsúcsok leépülését, a feszültségek átrendeződését, és ezeken keresztül a teherbíró-képesség növekedését eredményezheti. Ezt a lehetséges kedvező hatást a mai konstruktőrök tudatosan ki is használják. Abban az esetben, ha a kedvezőtlen hatások többször ismétlődnek, a feszültséggyűjtő helyeken a képlékeny alakváltozások is ismétlődnek, ami végül is viszonylag kis számú igénybevétel után repedések kialakulásához, majd töréshez vezethet. Ezért kell foglalkozni a folyáshatár körüli ismétlődő igénybevétellel terhelt szerkezeti elemek, alkatrészek méretezési, ellenőrzési kérdéseivel is.

Jelen „*A törésmechanika és az anyagvizsgálat története*” c. füzet igyekszik támpontokat adni annak megismeréséhez, hogy miképpen alakultak ki a mai ismereteink a mechanika, anyagvizsgálat területén és ebben milyen szerepet játszottak a közép-európai

szakemberek. Bölcs elődeink joggal szokták emlegetni, hogy aki a múltat nem ismeri, nem értheti meg igazán a jelent és esélye sincs a jövő tudatos formálására. Kissé finomabban fogalmazva úgy is mondhatjuk, hogy “nézz a múltba és meglátod a jövőt!” Most, a XXI. század küszöbén ha visszatekintünk leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a XIX. évszázad a *mérnökök* százada, a XX. a *fizikusoké* volt, ha pedig előretekintünk, akkor nyugodtan mondhatjuk, hogy a XXI. század meghatározó tudományterülete a *biológia* lesz. E fejlődési tendencia teljes mértékben összhangban van azzal, hogy a természet megismerésének “méret- skáláján” egyre a kisebb és kisebb méretek felé, az egyre bonyolultabb és bonyolultabb rendszerek irányába haladunk. Így a mérnökök magával a mérnöki szerkezetek, alkatrészek tervezésével foglalkoztak, amelyek mérete a néhány mm-től a néhány száz méterig terjedt, a fizikusok már az atomi skáláig törekedtek a jelenségek megismerésére, a biológusok az élővilágban lejátszódó folyamatok törvényszerűségeinek megismerését tűzték ki célul. Ehhez természetesen egyre kisebb és kisebb méretű *érzékelőkre* van szükség, hisz a megismerés folyamatát (az érzékelés - elvont gondolkozással prognosztizálás, elmélet felállítása – az elmélet által prognosztizált események, jelenségek kísérleti ellenőrzése) döntően meghatározzák a rendelkezésre álló érzékelési lehetőségek.

Minden társadalmi kor fejlődésének megvolt és meglesz a maga hajtóereje, azaz az a terület, amelynek hatása döntően kisugárzódik az adott kor gazdasági-társadalmi jelenségeinek formálódására. Ennek megfelelően az ipari forradalom megindulásától, az 1800-as évek elejétől kissé önkényesen a *gőzgép, a gépkocsi, a repülés, a távközlés és informatika, információtechnológia korszakairól* beszélhetünk. Ha meggondoljuk e felsoroltak mindegyike olyan címszó, amelyhez kapcsolódó tevékenységek át-, megátírták a gazdasági és társadalmi élet minden területét.

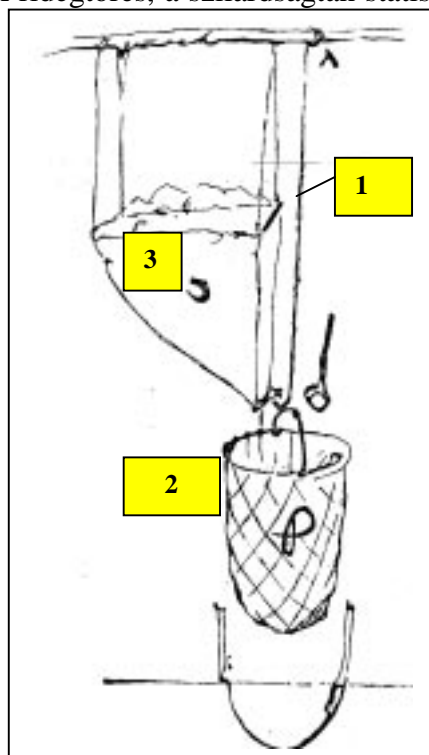
A mérnöki tudományok kialakulása, jelentőségének társadalmi tudatosodása és a különböző tudományterületeinek igen rohamos fejlődése az ipari forradalom kezdetéhez köthető. Ezt a periódust joggal nevezhetjük a “gőzgép korának” hisz feltalálása és széleskörű bevezetése forradalmasította a közlekedés minden ágát (vasúti és vízi), megteremtette a nagyüzemi gyártás erőforrás feltételeit (a korábban elképzelhetetlen teljesítményű hajtóműveket), létrehozva ezzel új gyártási kultúrát és ennek mindenfajta társadalmi vetületét, vonzatát is (bérmunkás, mérnök, stb.). E kor fejlődésének ütemét jellemezze csupán egyetlen adat: az 1825-ben megindult vasúti közlekedés a századforduló idején már 800.000 km hosszúságú sínpályán folytatódott. Ez azt jelenti, hogy évente több mint 10.000 km (!) hosszúságban nőtt a vasútvonalak összes hossza. Gondoljuk meg ennek anyag és munkaerő igényét! Jelen füzet e kor alaposabb megismeréséhez kíván adalékokkal szolgálni.

Mint minden új kezdeményezésnek, e füzetnek is nyilvánvalóan meglesznek a maga hiányosságai és a jövőben számos területen kiegészítésre, szorul. Ezt nagyban segítené az, ha a Tisztelt Olvasók észrevételeiket, javasolataikat a szerzőknek vagy a projekt vezetőjének eljuttatnák. A TEMPUS program nyújtotta támogatás lehető legjobb kihasználása érdekében az elkészült tananyagokat INTERNET-en is közreadjuk (<http://www.bzlogi.hu/tempus.html>) annak érdekében, hogy a szerkezetintegritás diszciplínája hazánkban minél gyorsabban és minél szélesebb körben elfogadásra és elterjedésre találjon.

1. Középkortól az 1700-as évek végéig

Gyakran hangoztatott mondás: „**Aki a múltat igazán nem ismeri, a jelent sem értheti meg, és nem is értékelheti**”. Így van ez a tudomány bármely területén, beleértve az anyagvizsgálatot is. Természetes igény volt már az ókorban is az anyagok felhasználás szempontjából legfontosabb tulajdonságainak megismerése. Ez nyilvánvalóan nem jelentett mást, mint a tapasztalatok halmazát. Mégis azt kell mondani, hogy ez önmagában egy meghatározott tudást, ismeretet jelentett a maga korában. Ugyancsak természetesnek tekinthető, hogy a megismerést nem csupán és nem alapvetően az ember lényegéből fakadó kíváncsiság hajtja, hanem a külső motiváció legalább annyira erős (a korszaktól függően még erősebb is). A szisztematikus anyagvizsgálatok megindulásának időszakában a belső emberi motiváció még lényegesen erősebb volt. Gondoljunk csupán **LEONARDO DA VINCI (1452. április 15. – 1519. május 2.)** klasszikus szakító kísérletére (kb. 1495-ben), amelyet az anyagvizsgálattal, az anyagok tulajdonságainak megismerésével, a szilárdságtan történetével foglalkozó számos publikáció szívesen idéz^{1,2,3,4}. A 2. ábrán feltüntetett elrendezés szerint a huzalra egy kosarat erősítenek, amelybe a felső „tartályból” addig engedik a homokot, ameddig a huzal el nem szakad. A huzal teherbírása így egyértelműen meghatározható. A világ egyik legismertebb, legértékesebb festményét, a Louvre Múzeum féltve őrzött kincsét a Mona Lisa-t alkotó Leonardo da Vinci zsenialitása^{5,6} e területen nem e kísérlet elvégzésében rejlett, hanem annak felismerése, hogy a huzal hosszának növekedésével a teherbírás csökken. A ridegtörés, a szilárdságtan statisztikai elméletének ismeretében (amelyet a svéd W. Weibull

1939-ben ismertet) ez ma már kézenfekvő, hisz az un. „leggyengébb láncszem” – amely a töréshez vezet – a térfogat növekedésével egyre nagyobb valószínűséggel fordul elő.



2. ábra Leonardo da Vinci szakító kísérlete

- | | |
|----|----------------------------------|
| 1. | vizsgált huzal |
| 2. | kosár, amelybe a homokot engedik |
| 3. | a homokot tartalmazó tartály |

A középkor másik géniuszának, **GALILEO GALILEI-**

¹ G. Krankenhagen, H. Laube: Werkstoffprüfung, Von Explosionen, Brüchen und Prüfungen. Deutsches Museum, 1983.

² G.R.Irwin: Structural Aspects of Brittle Fracture. Applied Materials Research, Vol.3.No.2. 1964. April. p.65-81.

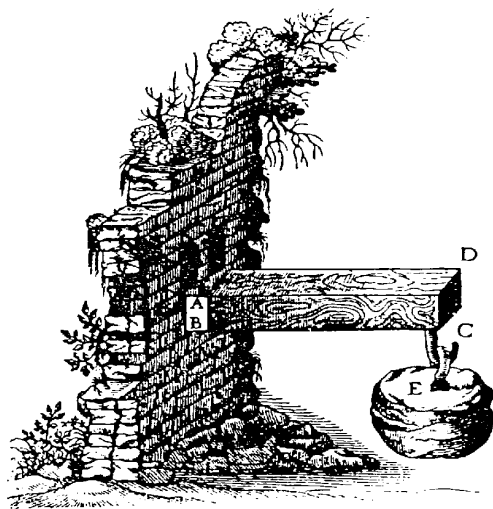
³ H. Sigwart: Aus der Geschichte der Werkstoffprüfung und Festigkeitslehre. Deutscher Verband für Materialprüfung. 1986

⁴ H. Sigwart: Frühe Wegbreiter der Werkstoffprüfung und Festigkeitslehre. Ferrum. 1985.No.56.p.26-28.

⁵ R. Friedenthal: Leonardo, Életrajz Képekben. Gondolat, Budapest. 1975.

⁶ H. Maschat: Leonardo da Vinci und die Konstituierung der modernen Maschinenelemente. Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift. 1990, Heft 10. p.478-483.

nek (1564. február 5. – 1641. december 29. illetve az időszámítási különbségek miatt 1642. január 8.) a 3. ábrán látható képe ugyancsak a sokat idézett munkák egyike⁷.



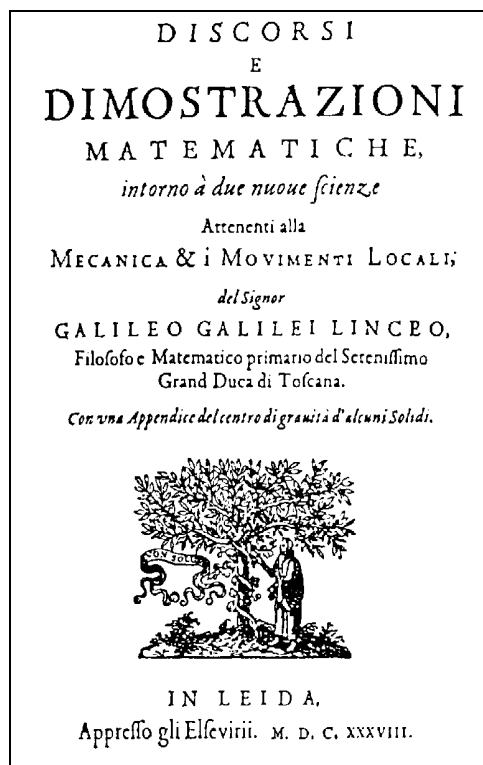
3. ábra Galileo Galilei vizsgálata a befogott tartók szilárdságának meghatározására

befogott gerendákat törésig terhelve keresett magyarázatára, amelyek az 1638-ban kiadott „DISCORSI E DIMOSTRAZIONI MATEMATICHE” c. munkában is megtalálhatók (4. ábra).

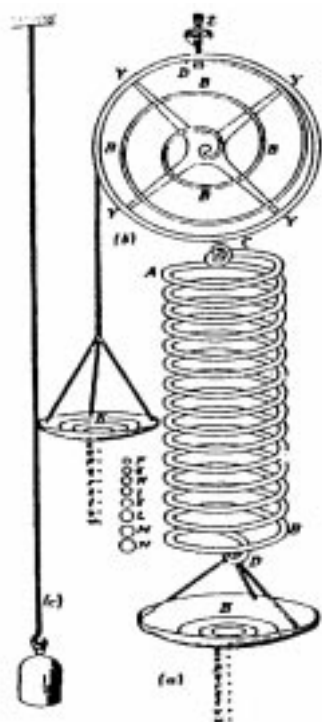
A különböző hosszúságú, keresztmetszetű kapcsolat a kísérleti eredmények

4. ábra A „Discorsi” című munka (1683) címlapja

Igaz, ezen eredmények a mai ismeretek szerint nem helytállóak, hisz feltételezte, hogy a hajlítással szembeni ellenállás a keresztmetszettel – és nem a keresztmetszeti tényezővel – arányos. Ennek ellenére azt kell mondani, hogy Galilei munkája ugyancsak alapvető volt abból a szempontból, hogy kísérleti eredmények alapján matematikai modelleket állított fel azok magyarázatára, azaz deduktív gondolkodással az általánosításra törekedett.



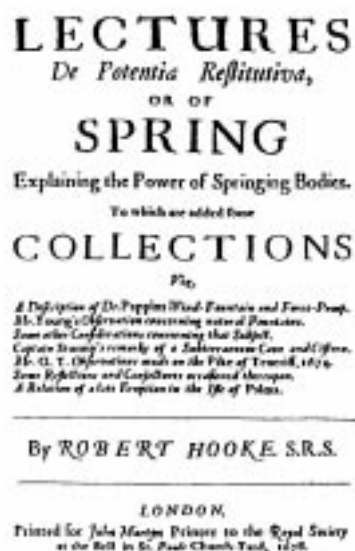
⁷ W. Ruske: 100 Jahre Materialprüfung in Berlin. BAM, Berlin, 1971.



A matematikai gondolkodásmóddal való általánosítási törekvések a Galileit követő időszak legjellegzetesebb vonulata. Ennek egyik kiemelkedő alakja **ROBERT E. HOOKE** (1635. július 18. – 1703. március 3.), aki arra a megállapításra jutott, hogy a rugók megnyúlása arányos a terheléssel és a rugók hosszával. Ezt spirál- és torziós rugó, valamint huzal vizsgálatával is igazolta (5. ábra). A Royal Society titkáráként, az 1675-ben kapott eredményeit 1678-ban az 6. ábrán látható könyvben foglalta össze.

5. ábra Robert HOOKE kísérletei huzalon, csavarrugón és spirálrugón a megnyúlás, a terhelés és az eredeti hossz közötti kapcsolat feltárására

A rugók mozgásának tanulmányozása vezetett a zsebórák megalkotásához. Az alapkérdésben – hogy mennyiben használhatók a spirálrugók a zsebórák legfőbb elemeiként, „motorjaként” – meglehetősen éles prioritási vita alakult ki több alkotó (TOMPION londoni órákészítő, TURET párizsi órákészítő) és HOOKE között.



6. ábra Robert HOOKE tapasztalatait, megállapításait összefoglaló munka címlapja (1678)

Az 1600-as évek második felének és az 1700-as éveknek meghatározó tudományos egyéniségei alapvetően a matematikai általánosítás irányába fordultak. E korszak a tudományos szervezetek megalakításának periódusa, hisz 1662-ben életre hívják Londonban a **Royal Society**-t, Párizsban az **Académie Royale des Sciences**-t 1672-ben, Berlinben pedig 1770-ben **Kurstfürstliche Sozietität der Wissenschaften**-t. Párizsban 1794. március 11-én megalakítják az anyagok szilárdságának, tulajdonságainak megismerésében meghatározó szerepet játszó, de alapvetően katonai indíttatású **L'École Polytechnique**-t.

A kor egyik kiemelkedő egyénisége **EMDE MARIOTTE** (1620-1684. május 12.) – érdekes megjegyezni, hogy a rugalmasságtan történetét igen alaposan áttekintő⁸, egy 1886-ban kiadott mű Mariotte születési dátumát „1620 (?)” formában

⁸ K. Pearson, M. A.: A History of the Theory of Elasticity and Strength of Materials. Vol.I. From Galilei to Saint-Venant, 1639-1850, Vol.II. Saint-Venant to Lord Kelvin. Cambridge: At the University Press. 1886.

jelöli. Mariotte éppen Hooke eredményeit figyelembe véve igyekszik korrigálni Galilei megállapításait azzal, hogy a rugalmas alakváltozásra is tekintettel kell lenni mielőtt a törés bekövetkezik. Igaz a hajlított tartókra vonatkozó helyes eredményt először **CHARLES AUGUSTIN COLUMB (1736-1806)** adta meg 1773-ban. Ezen korszak óriásai között van a **Bernoulli család** több tagja: Jakob (I) (1655. január 6. – 1705. augusztus 16.), a matematikus, fizikus és orvos Daniel Bernoulli (1700. február 8. – 1782. március 17.), a pétervári akadémia tagja, a mindössze 30 évet élt Jakob (II) Bernoulli (1759. október 17. - 1789. augusztus 15.), és a nehézségi gyorsulás (g) megfogalmazója Johann Bernoulli (1667. augusztus 6. – 1748. január 1.). E periódus egy újabb kiemelkedő matematikus, fizikus **óriása EULER (1707-1783)**, aki többek között részletesen foglalkozott a nyomott tartók kihajlásának kérdéseivel is. Ez a kor építészeti stílusát tekintve nem véletlen.

Ha a felhasznált szerkezeti anyagokra gondolunk, akkor nyilvánvaló, hogy a fa és a kőzetek alkalmazása jelentette a domináns szerepet. Ez egyrészt a hajó- és hídépítésből – mint stratégiai szerepből, másrészt a középkor zseniális, és napjainkig gyönyörködtetésre, és ámulatra készítő egyházi alkotásaiból következik. Ez utóbbiakat példázzák a méltán világhírű templomok, bazilikák, dómok, amelyek ezen időszakban épültek, illetve kényszerű, vagy tervezett átépítésre, modernizálásra kerültek – *Köln, Milánó, Bécs, Metz, Párizs, Budapest, Eger, Esztergom, Reims, München, Berlin, Prága. London, Padova, Moszkva, Leningrád, Kiev* és még igen hosszan lehetne sorolni a világ azon építészeti csodáit, amelyek valamilyen módon részben, vagy egészben történelmünk e periódusához kapcsolódnak⁹.

A hajóépítés pedig kifejezetten stratégiai fontosságú volt, hisz amelyik nemzet nagyobb méretű hajót épített, annak fedélzetén több ágyút helyezhetett el, következésképpen tűzereje, és ezzel győzelmi esélyei is megnöttek. A gyarmatosítás időszakában pedig, a „**tengerek ura**”-nak lenni meghatározó volt. Az 1700-as évek az angol – francia gyarmatszerzési versengésben teltek el. Az 1870 és 1914 között pedig szinte hajsza indult meg a gyarmatok újrafelosztásáért. Ezen időszakban a hozzávetőlegesen 30 millió km² gyarmatbirodalom mintegy 2/3 részén Franciaország és Anglia osztozott¹⁰, következésképpen a hajóépítések területén is igen kemény küzdelem alakult ki e két ország között mind a gyarmatok szerzésének, mind pedig újrafelosztásának időszakában.

Az 1700-as években a nagyobb hajók építésének alapfeltétele a faanyagokban rejlő szilárdsági tartalékok megismerése volt, hisz az első páncéllal kiegészülő vastestű hajót, a HMS Warriort – amely jelenleg Portsmouth-ban (Anglia) van lehorgonyozva (lásd a 7. ábrát) – csupán az 1860-as években építették. A gőz ebben az időszakban már a hajtóerőt szolgáltatta – igaz esetenként csupán kiegészítő energia forrásként a szél mellett - a hajócsavar pedig már ismert volt. Igaz ezt a hajót is – mint általában mindent – legalább két oldalról kell megítélni. Egyrészt a „páncélozás” miatt sérülékenysége csökkent, másrészt a súlyának növekedéséből adódóan manőverező képessége is csökkent.

A faanyagok teherbírásának meghatározásában jelentős előrelépést jelentett a francia **FRANCOIS BUFFON (1707. szeptember 7. – 1778. április 16.)**, aki a faanyagok sűrűsége és szilárdsága közötti kapcsolatra¹¹ a 8. ábrán látható elrendezésben végzett szisztematikus

⁹ Katedrálisok. Az európai templomépítéset százegy remekműve. Dunakönyv Kiadó. Budapest, 1993.

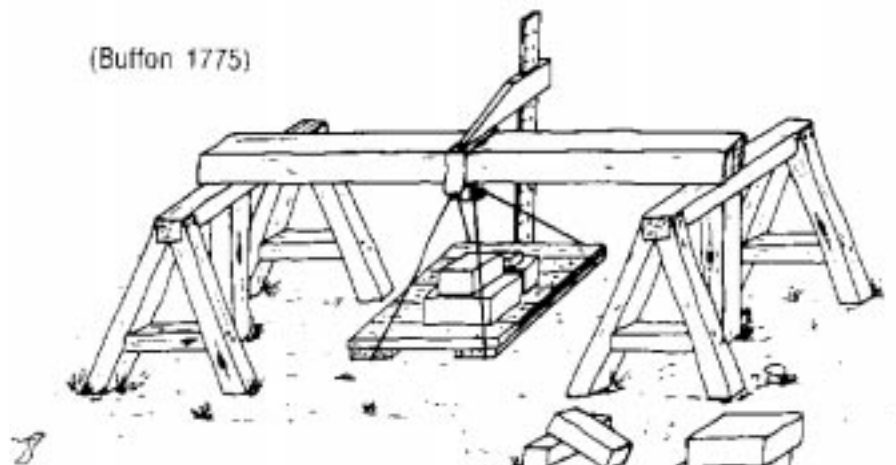
¹⁰ Egyetemes Guinness Enciklopédia. Pannon Könyvkiadó Budapest, 1992.p.433.

¹¹ **G. Pluvinaige, P. Triboulot:** Sur le Mémoire de BUFFON Intitulé Experiences sur la Force du Bois-1740. Revue Forestière Française. 1983.1.p.53-59.

vizsgálatok eredményeiből következtetett, regisztrálva az erőt (a felrakott kövek súlyát) a behajlás függvényében (9. ábra).

7. ábra Az első vastestű páncéllal kiegészülő hajó, a HMS Warrior* (Portsmouth)

Az ipari forradalom „előestéjének” kiemelkedő gondolkodói közül az anyagvizsgálathoz kapcsolódva mindenképpen ki kell emelni az 56 évet élt angol **THOMAS YOUNG (1773-1829)**, illetve az 51 éves kort megért francia **LOUIS MARIE HENRI NAVIER (1785-1836)** nevét. E nevekkal napjaink szakirodalmában is rendszeresen találkozhatunk egyrészt a Young – modulus kapcsán, másrészt alapvetően az áramlástan és a statika területén.

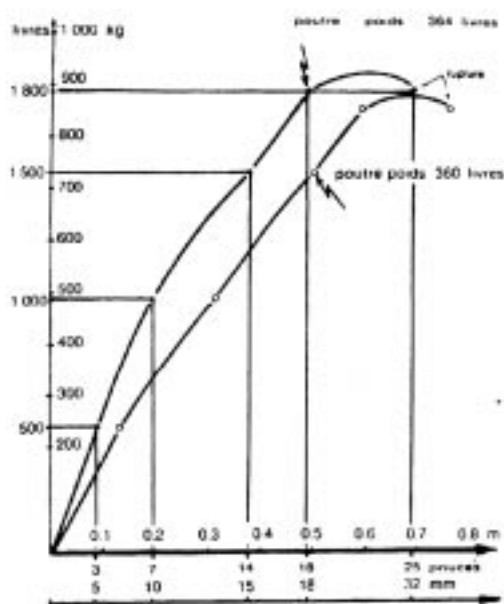


8. ábra A fagerendák szilárdságának vizsgálata

YOUNG megfigyelései szerint az azonosan terhelt, azonos keresztmetszetű anyagok megnyúlása különböző lesz. Rendszerezett megfigyeléseit **1807**-ben publikálja Londonban. Innen már csak egy lépés a keresztirányú alakváltozás definiálása. Ezt **S. DENIS POISSON**

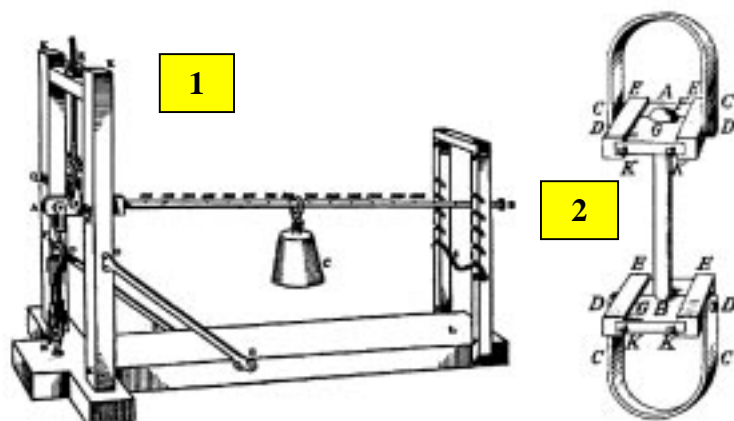
* A szerző felvétele

(1781-1840) tette meg, aki úgy vélte, hogy keresztirányú alakváltozás a hosszirányúénak 25%-a. Navier alapvető sajátossága az elmélet és a gyakorlati alkalmazás szoros összekapcsolása. Előadásainak összefoglalása halálát nem sokkal megelőzően, 1833-ban került kiadásra „**Résumé des leçons... sur l'appliication de la mécanique á l'établissement des constructions et des machines**”. E műben ismertettek nagy része az építészet, a statika területén még napjainkban is helytálló. Értékét tükrözi az a tény is, hogy az anyagok szilárdságával, a szilárdságtan történetével foglalkozó, e században íródott legidézettebb könyv külön-külön alfejezet szentel egyrészt az L'École Polytechnique-nek, másrészt Navier hivatkozott munkájának ismertetésére¹². Művének előszavában külön méltatja azt, hogy Navier munkájának harmadik kiadása rendelkezésére áll.



9. ábra. Gerendák vizsgálata során regisztrált erő-behajlás diagramok

TIMOSHENKO, - e méltán idézett könyv szerzője – a Kievi Polytechnic Institute (alapítva 1898-ban) anyagvizsgálati tanszékét (Szoprotivlenija Materialov) szervezte meg. Munkatársa, és később e tanszék vezetője G. Sz. PISARENKO monográfiában foglalta össze az 1922-ben USA-ba emigrált kiemelkedő elméleti tudású és gyakorlati alkotó szakember irigylésre méltó hosszúságú (1878-1972) életútját¹³.



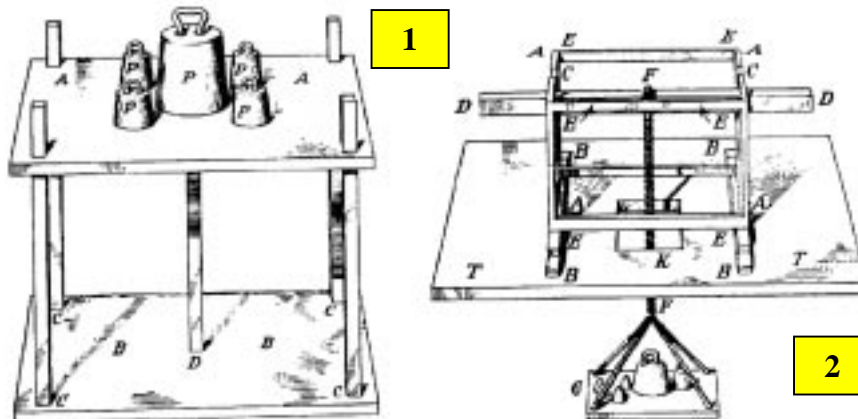
10.a. ábra Az 1700-as évek mechanikai anyagvizsgálatának eszközei

- 1 - Szakítóvizsgálat
- 2 - A próbatest befogása

¹² S. P. Timoshenko: History of Strength of Materials. McGraw-Hill Book Company, INC. 1953.

¹³ G. Sz. Pisarenko: Stepan Prokofjevich Timoshenko. Moskva. Nauka 1991.

Az igazán szisztematikus anyagvizsgálat elvégzése azonban a századfordulót megelőzően mintegy negyedszázaddal korábbra datálódik. Ez **FRANZ CARL ACHARD (1753-1821)** nevéhez fűződik, aki 906 különböző anyag szakító-, hajlító- és keménységvizsgálatát végezte el a kor adta vizsgálati technikával. Eredményeit **1788-ban** ismerteti. E korszak legfontosabb anyagi jellemzője a hajlítással, húzással, nyomással, valamint a hosszú nyomott oszlopok kihajlítással szembeni ellenállása volt. Ezek mérésére használt eljárásokat szemléltetik a 10. a és 10. b ábrák.



10.b. ábra Az
1700-as évek
mechanikai
anyagvizsgálatána
k eszközei

1 – nyomóvizsgálat
2 – hajlítóvizsgálat

2. Az ipari forradalomtól az I. világháborúig

Mint a korábbiak is érzékeltették, az anyagok tulajdonságainak megismerésével foglalkozó tudományos tevékenység centruma az 1700-as évek végéig mindenképpen az európai kontinensre – ezen belül Franciaországra és részben Németországra koncentrálódott. Ez nyomon követhető Karl PEARSON már hivatkozott 1886-ban kiadott kiváló összefoglaló munkája alapján is, hisz ennek a Galileitől Saint-Venant-ig eltelt időszaknak az eredményeiről, az 1650-1850-es időintervallumot átfogó első kötetében 1191, míg második kötetében (1850-1890-es évek eleje) 626 db irodalmi hivatkozás található. E hivatkozások nem formálisak, hanem az idézett munkák rövid kivonatait, összefoglalását tartalmazzák.

Miközben az európai kontinens döntően az elméleti képzés felé orientálódott, a maga módján elzárkózott Angliában műszaki, mérnöki tevékenység erősödött meg, amely később természetesen az elméleti megalapozottság igényét is kikényszerítette. Ennek pedig természetes következménye volt az, hogy az ipari haladás mozgatórugója az 1700-as évek végén, az 1800-as évek elején áthelyeződött Angliába. A „francia iskola” még érezteti erős hatását, hisz **AUGUSTIN CAUCHY (1789-1857)** a napjainkban is használatos mechanikai feszültség fogalmát definiálja **1822-ben**. Ennek ellenére azt kell mondanunk, hogy ebben a periódusban az európai kontinens szakemberei „lesték árgus szemekkel” az Angliában történeteket.

Ha meggondoljuk, akkor nyilvánvalónak látszik, hogy a műszaki-technikai fejlődés egyik legkönnyörtelenebb hajtóerejét a bekövetkezett káresetek szolgáltatják. Mai korszakunk

tevékenységének szerkezetét tekintve, a világ összes lakosát figyelembe véve 10^8 órára eső halálos balesetek száma hozzávetőlegesen a következő átlagos statisztikával jellemezhető¹⁴:

- Otthon 3, autóbuszon 3, vonaton 57, kerékpározás közben 96, repülőbaleset során 240, motorkerékpáron 660, vízi sport üzése során 1000, sziklamászás során 4000 fő veszíti életét,
- az ipari balesetek miatt a vegyiparban 3.5, az angol iparban 4, az acéliparban 8, a halászatban 35, a szénbányászatban 40, a vasúti szállítás kapcsán 45 fő veszíti életét.

Ezen gyakoriságok nagyságrendekkel kisebbek a profi boksolóknál tapasztalt 7000, illetve a zsokéknál regisztrált mintegy 50.000 halálos balesettel szemben. Mégis azt kell mondanunk, hogy a műszaki haladást az ipari balesetek gerjesztik, azok mozgatják, és ezen keresztül motiválják. Kétségtelen, hogy a hadiipar szerepe legalább ennyire (sőt még lényegesebben) jelentős, de a műszaki fejlesztési tevékenységben egyértelműen nem választhatók el az ipari-hadiipari káresetek. Ezt egyértelműen alátámasztják a történelmi példák.

Ezek közül csupán néhány jellegzetes esetet ragadjunk ki. **JAMES WATT (1736-1819)** gőzgépekre vonatkozó egyik meghatározó szabadalmát **1769**-ben beadva, majd **1783**-ban **MATTHEW BOULTON**-nal társulva (*1793-1784 között számos eredményt felmutatva*) megkezdődhetett¹⁵ a gőz széles körű ipari alkalmazása. Ahhoz, hogy megfelelő minőségű alkatrészeket lehessen előállítani, természetesen a megmunkálási technológiáknak is fejlődniük kellett¹⁶. Különösen a hengeres felületek előállítása kapcsán, hisz a gőzgépek dugattyúi, hengerei, egyéb alkatrészei pontos megmunkálást igényeltek. E fejlődés egyik első, de jelentős lépcsője a tisztán vasból készült eszterga, amelyet az angol **HENRY MAUDSLAY** készített **1797**-ben. A gőzgépek bányászati felhasználása mellett igazi forradalmi lépést jelentett **ROBERT FULTON** gőzhajójának megindulása (*a Hudson folyón 1807. Augusztus 9-én*). Ezt követte **GEORGE STEPHENSON (1781-1848)** első közforgalmú gőzüzemű vasútjának megtervezése, illetve üzembeállítása Stockton és Darlington között. Ünnepélyes megnyitója **1825. szeptember 27. Németországban 1835. július 12-én** Nürnberg-Fürth között adják át ünnepélyesen az első vonalat. Ezt alig 10 éves késéssel követi az első *hazai* vasútvonal megnyitása (Budapest – Vác útvonalon, **1846. július 15**). Az ipari fejlődés kikényszerítette a jobb anyagok gyártási technológiáinak kidolgozását. Ennek egyik legfőbb eredménye az acélgyártás megindulása volt (**1855. október 17-én HENRY BESSEMER** eljárás, **1864**-ben **SIEMENS-MARTIN** eljárás, amely a Siemens fivérek regeneratív tüzelési rendszerét alkalmazza acélgyártásra, **1877-1878**-ban a Thomas eljárás – **SIDNEY GLICHRIST THOMAS** – bevezetése). Gondoljuk csak meg, hogy **1870**-ben Angliában annyi öntöttvasat és acélt állítottak elő, mint a világ más országaiban összesen¹⁷. Igaz, a századfordulóra ez az arány megfordul, hisz pl. **1902**-ben, miközben az USA termelése **9 Mtonna** felett van, addig az európai termelést meghatározó Németország (**5.2 Mtonna**), Anglia (**1.8 Mtonna**) és Franciaország (**1 Mtonna**) össztermelése legalább **1 Mtonnával** kevesebb, mint az Amerikai Egyesült Államoké¹⁸.

¹⁴ Szabó M.: Mérnöktoábbképző előadás. Miskolci Egyetem 1978.

¹⁵ A gőzgép megalkotásának elve a francia **Denis Papin (1647-1712)** nevéhez fűződik, aki **1609**-ben építette az első atmoszférikus típust. Részletesebb leírás megtalálható pl. **Erik Eckermann**: Vom Dampfagen zum Auto, Motorisierung des Verkehrs. Deutsches Museum, 1989.

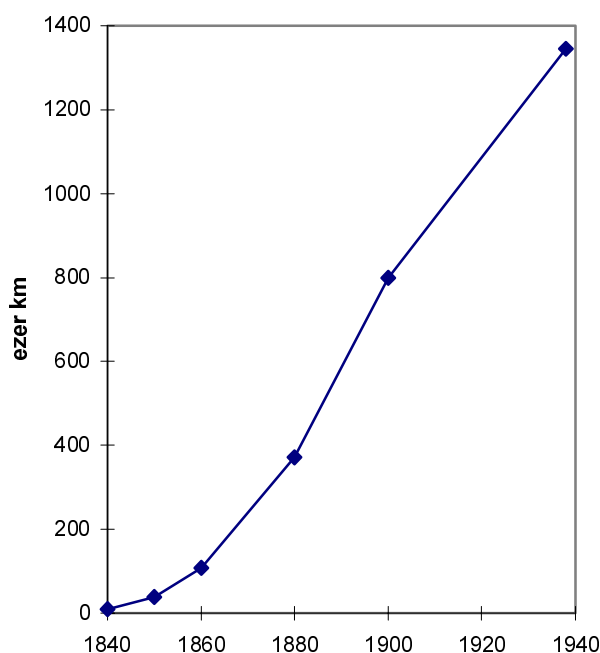
¹⁶ **K.H. Mommertz**: Bohren, Drehen und Fräsen Geschichte der Werkzeugmaschinen. Deutsches Museum. 1987.

¹⁷ **A.G.S. Josephson**: Books on the History of Industry and Industrial Arts. The John Crerar Library, 1915. January, Chicago.

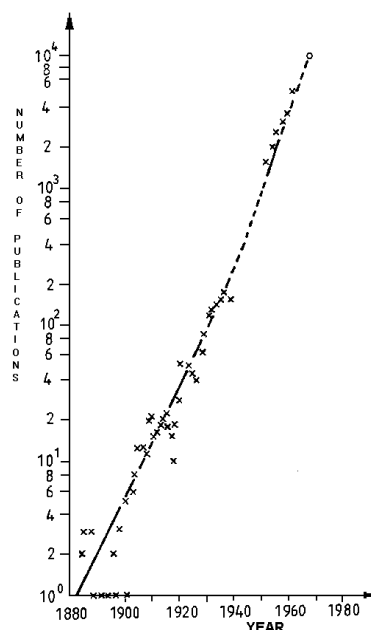
¹⁸ **H.R. Meinhold**: Henry Bessemer, Sidney Gilchrist Thomas. BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft. 1981.

Az ipari fejlődés meglódulása, az új anyagok bevezetése az előre nem várható törések sorozatát produkálták. Így **Angliában 1800-1870 között 936 kazánrobbanást** regisztráltak. Ennek következményeként *1615 haláleset és 2097 sérülés* következett be. **Németországban 1875-1905 között mintegy 500 kazánrobbanás kb. 300 halálessel** járt¹⁹. E törések természetes igényeként vetették fel az okok megismerését, és ennek birtokában a továbbiakban elkerülését szolgáló műszaki megoldások keresését.

A vasúti közlekedés robbanásszerű fejlődésével – a világ vasútvonalainak összes hossza a 11. a. ábrán látható²⁰ – egyidejűleg a jellegzetes törések egy újabb típusa, a kifáradás jelentkezett. E jelenség megismerésére tett erőfeszítéseket jól tükrözi a kifáradás témakörével foglalkozó publikációk számának növekedése (11. b. ábra).



11. a. ábra A világ vasútvonalainak összhossza



11. b. ábra A kifáradással foglalkozó publikációk száma

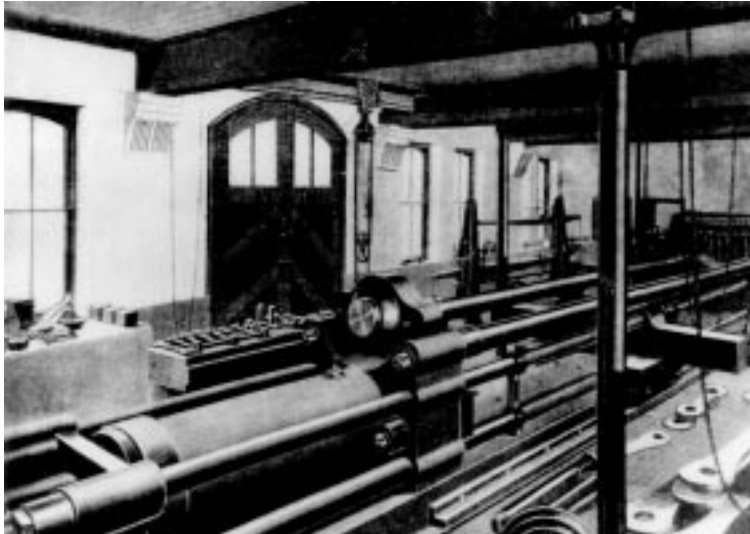
Figyelembe véve azt, hogy a kifáradás bekövetkezéséhez időre van szükség, a vasútvonalak összes hossza és a kifáradás jelenségével foglalkozó publikációk száma közötti kapcsolat egyértelmű.

Ezek a tények természetesen kihatással voltak egyrészt az anyagok tulajdonságainak kísérleti megismerésével, az anyagvizsgálattal, másrészt a viselkedést elméletileg leíró, a szilárdságtannal foglalkozó tevékenységekre. E két irány nyilvánvalóan nem különülhet el mereven egymástól, és különösen nem a kezdeti időszakban. A szervezeti felépítést tekintve azonban eltérés tapasztalható az európai kontinens és Anglia között. Mivel az ipari forradalom középpontja Anglia volt, az anyagvizsgálat területén is vezető szerepet töltött be. Az ipari háttér biztosította lehetőségekre alapozva az 1820-ban született **DAVID KIRKALDY 1858-ban** (más források szerint 1860-ban, illetve 1865-ben) **SOTHWARK**-ban (London) megnyitja az első privát anyagvizsgáló laboratóriumát. E laboratórium a kornak megfelelő technikai

¹⁹ Blumenauer H., Pusch G.: Technische Bruchmechanik. Deutsche Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig-Stuttgart 1993.

²⁰ Tóth L.: Material Testing, Vol. 1. Hardness Testing. Miskolci Egyetem 1987.

színvonalon igen jól felszerelt, hisz igen nagyteljesítményű, fekvő elrendezésű szakítógépet (300 tonna!!)²¹ és a próbamegmunkáláshoz szükséges egyéb szerszámgép is rendelkezésre állt. Ezekből adnak ízelítőt a 12. és 13. ábrák.



12. ábra Kirkaldy laboratóriumának szakítógépe

Kirkaldy irányításával az ipari megrendelések teljesítése mellett igen szisztematikus megfigyeléseket, kutatásokat folytatnak a laboratóriumban. Így pl. Kirkaldy javasolta először a **kontrakció**, mint képlékenységi mutató, a **töréskor fellépő valódi feszültség**, mint tényleges szilárdsági jellemző számítását. Elemelve a **próbatest alakjának hatását** a szilárdsági mérőszámokra azt tapasztalta, hogy a méretek növekedésével az anyag veszít képlékenységből.



13. ábra A próbatestek kimunkálására alkalmas berendezések Kirkaldy laboratóriumában

A **szakítási sebesség** növekedése („hirtelen terhelés”) ugyancsak ridegít. Az előzetes **képlékeny alakítás** hatását úgy értékeli, hogy az „konszolidálja az anyagot”, azaz az előzetes technológiai műveleteknek jelentős szerepe van. Ez az anyagok feldolgozási eljárásaiban is hasznosítható. Elemzi a **hőkezeléssel** előidézhető hatásokat. Alkalmazta a mai fogalmaink szerinti **„mélymaratást”** a képlékeny alakváltozott területek kimutatására, tanulmányozva a szakítópróbatestek viselkedését a vizsgálat folyamán. Eredményeinek egyik összefoglalója

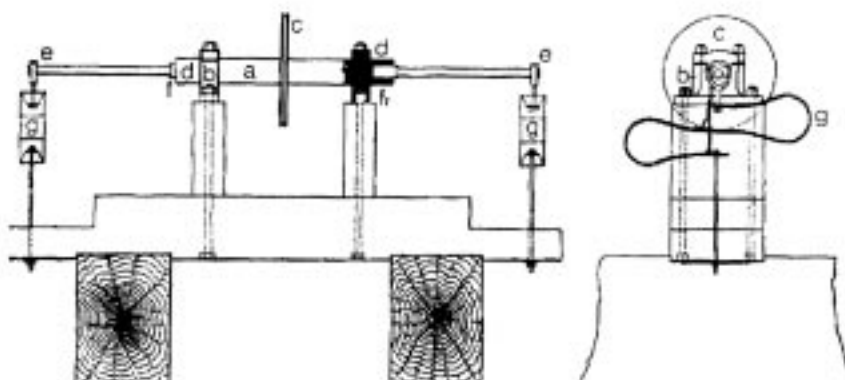
²¹ A. J. Fenner: Mechanical Testing of Materials. Tower House, George Newnes Limited. 1965.

Results of an Experimental Inquiry into the Tensile Strength and other Properties of various kinds of Wrought – Iron and Steel (1. kiadás 1862., 2. kiadás 1864., Glasgow) c. műve. A 105 oldalnyi összefoglaló részben tett megállapításait mintegy ugyanilyen terjedelemben táblázatokkal, kísérleti eredmények bemutatásával illusztrálja. A rugalmasságtan elméletét alaposan feldolgozó PEARSON is meglehetősen sokat idézi KIRKALDY munkáit. A laboratórium nemzetközi elismertségét híven tükrözi az, hogy a 14. ábrán látható bélyegzőt mindenhol elfogadták, és egy ideig a KRUPP művek is e helyen végeztette meghatározó vizsgálatait.



14. ábra A KIRKALDY laboratórium bélyegzője

A kontinensen a laboratóriumok szervezése alapvetően más rendszerben kezdődött. Egyrészt valamivel később, vagy pedig az egyetemekre, főiskolákra lapozva. Az elsőre legyen példa az „Eisenbahnreperaturwerkstatt” Frankfurtban, ahol **AUGUST WÖHLER (1819-1914)** vizsgálatainak jelentős részét végezte, mint vasúti alkalmazott. Annak ellenére, hogy a kifáradás alapjainak megteremtését mai ismereteink szerint Wöhler-nek tulajdonítjuk, és a „Wöhler Görbe”, mint fogalom szerepel szókincsünkben, a fáradással foglalkozó első közlemény nem tőle származik. A német Albert W. A. drótkötelek fáradását már 1838-ban ismertette²². A vasúti tengelyek fáradásának megismerése területén sem Wöhler volt az első, aki tapasztalatait nyilvánosságra hozta, hanem RANKIE 1843-ban²³. Wöhler első közleménye 1858-ban jelent meg²⁴, melyet egy sorozat követett (1860, 1863, 1866-67, 1870-71, stb.). Munkájának legnagyobb eredménye a szisztematikus elemzés elvégzése és megfelelő vizsgálati berendezés elkészítése volt. Az 1860-ban készített gépével teljes méretű vasúti kocsis tengelyen 15 fordulat/perc, míg a kisméretű próbatest vizsgálatára tervezett forgóhajtógató berendezésen kb. 60 fordulat/perc igénybevételei ciklussal végezhetette vizsgálatait. Az általa tervezett gép működési elvét szemlélteti a 15. ábra.



15. ábra Wöhler fárasztógépe, amely két próbatest egyidejű vizsgálatára alkalmas

- a – meghajtó tengely
- b – állvány
- c – meghajtás
- d – a próbatestek befogása
- e – a terhelés átadása
- f – a terhelés beállítására szolgáló dinamométer

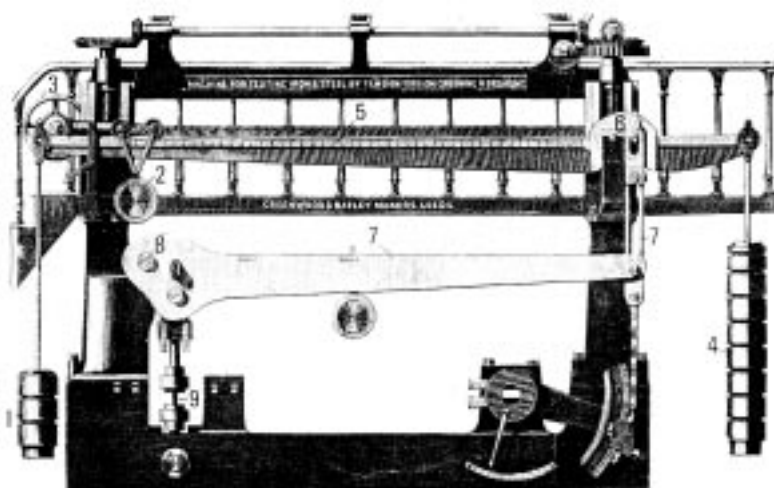
²² Albert. W.A.: Über Treiseile am Harz. Archiv für Minerologie, Geognostic, Bergbau und Hüttenkunde. Vol.10, 1838, p. 215-234

²³ Rankie, W.J.M.: On the causes of fracture of the axles of railway carriages. Min.Proc.Inst.Civ.Eng.Vol.3,Session 1843, 1842-1843.

²⁴ Wöhler, A.: Bericht über die Versuche, welche auf der Königl. Niederschleesisch-Märkischen Eisenbahn mit Apparaten zum Messen der Biegung und Verdrehung von Eisenbahnwagen-Achsen während die Fahrt, nagestellt wurden. Zeitschrift für Bauwesen. Vol.8. 1858. P.642-651.

Ezen eredmények alapján szerzett tapasztalatok, ismeretek lényegesen növelték a vasúti közlekedés biztonságát.

Ugyancsak vállalati indíttatású volt a Krupp-cég laboratóriumának létrehozása Essenben. Ennek alapja az volt, hogy 1863-ban ALFRED KRUPP egy kémiai labort rendezett be Karl GERSTENER vezetésével, miközben az 1862-ben tett angliai utazása során vásárol egy Greenwood & Batley gyártmányú univerzális anyagvizsgáló berendezést (16. ábra), amely egy 1883-ban alapított általánosabb laboratórium egyik berendezése is.



16. ábra A Krupp művek Angliából vásárolt első univerzális anyagvizsgáló gépe (1862)

Az igazi változást az egyetemek környezetében létrehozott laboratóriumok jelentették. Tekintettel arra, hogy ebben a korban meglehetősen nagy szerepet játszottak a bányászatban használt eszközök is, igen nehéz elkülöníteni az egyetemek alapításának egyértelmű célját és profilját. Műszaki alapképzési céllal 1717-ben Prágában alapítanak először egyetemet (Polytechnikum) majd a *Selmechányán* 1735-ben alapított bányaképzőt (amelyet a Miskolci Egyetem jogelődjének tekint), *Freibergben* a Bergakademie (1765), *Berlinben* a Bergakademie (1770) majd a már említett, alapvetően hadi indíttatású *párizsi École Polytechnique* (1794) után *Berlinben Bauakademie* (1799), *Bécsben* 1815. augusztus 15-én kifejezetten Politechnikum alakul. Ezután sorra alapítják az egyetemeket az európai iparban meghatározó szerepre törekvő Németországban. *Kalsruhe – 1825, München – 1827, Drezda – 1828, Stuttgart – 1829, Hannover – 1831, Braunschweig – 1835, Aachen – 1870*. E sorba a *Budapest* 1846-ban megalapított k. k. Joseph Polytechnikum²⁵, illetve a *Zürichben* 1854-ben indított műszaki képzés ékelődött be. Noha az USA-ban és Japánban is sorra nyitják meg kapuikat az egyetemek²⁶, a kor adta információáramlási lehetőségek miatt a kölcsönhatás nem érzékelhető. Európa vezető szerepe az iparban megmarad, de az 1800-as évek második felében, vagy még erősebben érzékelhetően az évszázad utolsó negyedében annak súlypontja fokozatosan Németországba helyeződik át. Ebből adódóan az anyagok tulajdonságainak megismerésére fordított erőfeszítések is ide koncentrálódnak. Ez a többnyire egyetemekhez, azok meghatározó egyéniségeihez kötött laboratóriumok létrehozásának sorozatában is tükröződik.

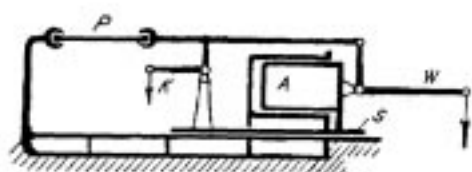
Kisebb laboratóriumok létrehozása után az első igazán jelentős előrelépést a **müncheni egyetem** Mechanikai Technológiai Laboratóriumának beindítása jelentette. Ez **JOHANN**

²⁵ Artinger I.: 100 éves a Mechanikai Technológiai Tanszék. Gép. XLI. Évf. 1989. 10. P.362-374.

²⁶ Rossmanith, H.P.: Teaching and Education in Engineering – A Brief Social History. ICF-8. Kiev, 1993. július 7-12.

BAUSCHINGER (1834-1893) nevéhez fűződik, aki ezt **1871**-ben szervezte meg, miközben 1868-tól az 1893-ban bekövetkezett haláláig az egyetem professzora volt. Munkásságát nehéz lenne túlbecsülni, így csupán a leglényegesebb motívumokat célszerű kiemelni.

- Meghonosítja az ún. finomyúlásmérést, 10^{-4} mm pontossággal méri a megnyúlást (tükrös extenzométer alkalmazásával),
- Definiálja az arányossági határt, amelyen belül az anyag rugalmasan viselkedik,
- Elemzi az ismétlődő terhelés hatását az anyagok arányossági határára,
- Definiálja a folyási határ fogalmát azon anyagokra, amelyeknél a kifejezett folyás nem észlelhető,
- Felismeri a vizsgálati módszerek, eljárások egységesítésének szükségességét, és elnöklétével nemzeti konferenciát szervez 1884-ben Münchenben (79 résztvevővel), 1886-ban Drezdában, 1890-ben Berlinben, majd az utolsót, halálát közvetlenül megelőzően 1893-ban már Bécsben,
- A Párizsi Világkiállítás során 1889-ben az „Alkalmazott Mechanika” tárgyú konferencián az általa vezetett egyik munkacsoport külön helyet kap (az anyagok tulajdonságainak vizsgálata a konferencia kiadványának 3. kötete), illetve e konferencia tapasztalatai alapján megerősödik a nemzetközi együttműködés igénye.
- Berendezései a kor vezető színvonalának megfelelőek, így az 1852-ben **LUDWIG WERDER (1808-1885)** által tervezett első 100 tonnás szakítóerőt produkáló német gyártmányú gép – amelyet 1854-ben a müncheni ipari vásáron aranyéremmel tüntettek ki – is a laboratóriumában van egyéb kisebb kapacitású gépekkel együtt (Werder Nürnbergben épített a 17. ábrán látható elveken működő berendezései a kor kedvelt nagyteljesítményű gépei, amelyek többek között megtalálhatók pl: Bécsben, Zürichben és Berlinben is).



17. ábra A WERDER típusú 100 tonnás szakítógépek működési elve

KARL von JENNY (1819. január 11. – 1893. október 9.) 1873-ban **Bécsben** Mechanikai Technológiai Intézetet alapít. Mint az egyetem professzora (1866-tól) átvéve egy 15 tonnás szakítógépet, majd 1873-ban megvásárolva egy WERDER berendezést alapvetően drótkötelek, láncok vizsgálatára rendezkedik be. E területen hatósági jogokkal rendelkezik. A mai Technische Versuchsanstalt (TFVA) elődje.

Budapesten megalakul **1874**-ben az Anyagvizsgáló Intézet a József Műegyetemen, döntően a technológiai tárgyakhoz kötve. Ezek előadói **Pilch Ágoston** és **dr. Wartha Vincze**.

ADOLF MARTENS (1850-1914) vezetésével **1884**-ben megalakul a „*Versuchsanstalt der Technischen Hochschule zu Berlin-Charlottenburg*” a 18. ábrán látható épületben.



17. ábra A berlini Mechanikai Technológiai Vizsgálóközpont épülete (1884)
(a Bundesanstalt für Materialprüfung elődje)

MARTENS szakmai tevékenysége is meglehetősen szerteágazó, nevét napjaink is őrzi. Eredményei közül mindenképpen kiemelendők a következők:

- Olyan fémmikroszkópot konstruál 1880-ban, amellyel kb. 200-szoros nagyítás érhető el. (Az első mikroszkópos vizsgálat az angol **HENRY CLIFTON SORBY (1826-1908)** nevéhez fűződik, aki a Royal Society **1864**-ben tartott ülésén ismertette megfigyeléseit, majd 1885-ben az Iron and Steel Institute konferencián megismételve annak módosított változatát 1887-ben publikálta²⁷.)
- A LEITZ céggel együttműködve elkészítik a vertikális illuminátort, amely a mikroszkópos vizsgálatot forradalmasítja. (E területen Henry le Chatelier ugyancsak meghatározó szerepet játszik. A hazai iskola megteremtése Rejtő Sándor nevéhez fűződik.)
- 1886-ban elkészíti a megnyúlást 10^{-4} mm pontossággal mérni képes tükrös nyúlásmérőt, amely a szakmai közéletben Martens-tükrös eljárásnéven honosodott meg.
- Nevéhez fűződik a karckeménység bevezetése (1890), amely az adott élességű szűrőszerszámnak a 0,01 mm szélességű karc létrehozásához szükséges erő gr -ban kifejezve.
- Új 50 tonna kapacitású szakítógépet konstruál, amelyet ugyancsak az Ausburg - Nürnberg-i Gépgyár gyárt le.
- A Karlsruhe-ban 1896. október 25-én alapított Német Anyagvizsgálók Egyesületének (Deutschen Verbandes für Materialprüfung) elnöke, illetve az 1895-ben **Ludwig von TETMAJER** által alapított Anyagvizsgálók Nemzetközi Egyesületének (Internationalen Verbandes für die Material-prüfungen der Technik – IVM – vagy a hivatalos kétnyelvűség miatt Association International d’Essais des Matériaux - AIEM) általános helyettese.

Stuttgartban ugyancsak **1884**-ben alakul anyagvizsgáló intézet **CARL von BACH (1847-1931)** vezetésével²⁸. Szakmai sikerei mellett²⁹ legfőbb érdemei között emlegeti a szakma

²⁷ A history of Metallography. The Development of Ideas on the Structure of Metals Before 1890. The University of Chicago Press, 1960.

²⁸ **Carl Julius von BACH (1847-1931)** Pionier-Gestalter-Forscher-Lehrer-Visionär. Stuttgart 1998. Herausgegeben von Friedrich Naumann. Verlag Konrad Wittwer

történelme, hogy kezdeményezője volt a németországi un. Bauschinger konferenciák elindításának. Ennek részbeni elismerése a Német Anyagvizsgálók Egyesületének titkári posztja, annak alapításakor.

A születési helye szerint magyar származású **LUDWIG von TETMAJER** (1850. július 14. – 1905. január 31.) *Zürich*-ben alapít anyagvizsgáló intézetet 1874-ben. A tartók kihajlásának problémakörében végzett tevékenysége a mai napig helytálló. Első elnöke az **Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének**, ennek *Zürichben* (1895) megrendezett első, majd a *Stockholmban* (1897) megrendezett második konferenciája után a harmadiknak *Budapest* (1901) adott otthont. E tény a nemzetközi hírneve mellett valószínűsíti szakmai diplomáciai érzékét is. Nyilvánvaló, hogy a Budapesten rendezett nemzetközi anyagvizsgáló kongresszus hatása a hazai anyagvizsgálatok területén még hosszú ideig érezhető volt. Ez mind Rejtő Sándor tevékenységén – aki ekkor a gépészmérnöki szakosztály dékánja – mind pedig a körülötte kialakuló szakmai kör működésén keresztül nyomon követhető. Az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének további konferenciáit *Brüsszelben* (1906), *Koppenhágában* (1910), majd az I. Világháborút megelőző utolsót *New York-ban* (1912) tartották.

A német anyagvizsgáló intézetek sorát *Drezdában* 1904-ben, illetve *Darmstadtban* 1907-ben gyarapították.

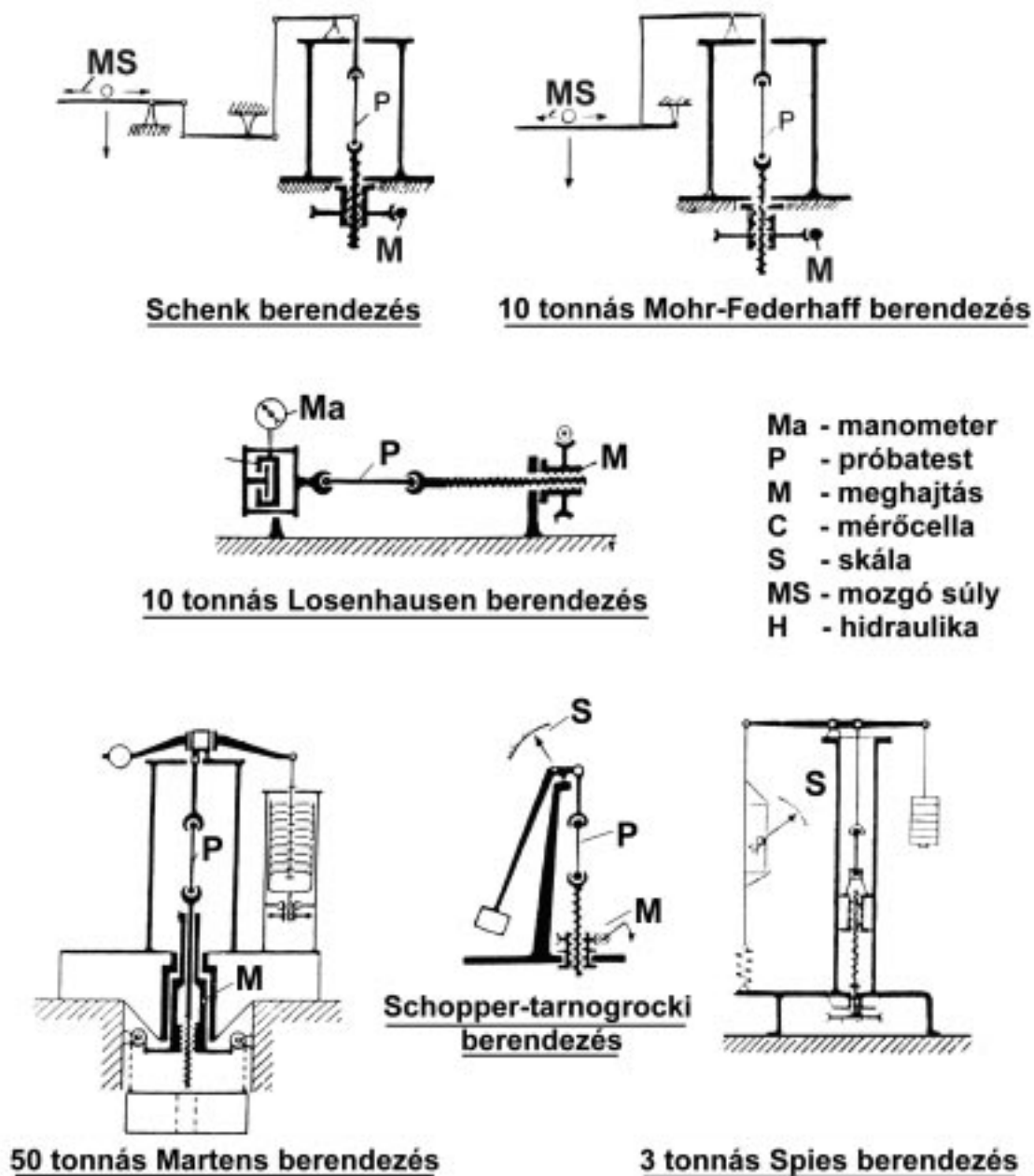
Svédországban először az ipari bázison hoznak létre anyagvizsgáló laboratóriumot, majd 1896-ban e tevékenység helyeződik át döntően a Műszaki Egyetemre (Polytechnical Institute) *Stockholmba*.

Nem szabad elfelejteni, hogy ezen intézetek meghatározó egyéniségei egyben az egyetemek vezető professzorai voltak, akik előadásaik mellett rendszeresen publikáltak, könyveket írtak. E tevékenységek ötvözése egyrészt közvetlen szakmai tapasztalatok levonását, másrészt az ismeretek átadási módjának tökéletes elsajátítását követelték meg. Ezek összessége tette lehetővé egyrészt az „iskolateremtést”, másrészt a jól működő laboratóriumok rendszerének létrehozását. Az angol „acélkirály” **Sir ROBERT HADFIELD** nem sokkal az első világháború előtt igen elismerően nyilatkozott a német laboratóriumok szervezetszervezéséről, tevékenységének színvonaláról, mintegy elismerve azt, hogy az ipari vezető szerep súlypontja áthelyeződött Németországba.

Az anyagvizsgálati technikák fejlődésének üteme az újabb és újabb berendezések megjelenésében, valamint az ezeket gyártó, a napjainkban is ismert cégek alapításában tükröződik. A már említett 100 tonnás WERDER és 50 tonnás MARTENS gép mellett egyrészt a kisebb terhelhetőségű, 1-10 tonnás (Mohr-Federhaft, Losenhausen) berendezések jelennek meg a piacon, amelyek általában mérlegkaros elven működtek, változtatható vagy mozgó súlyokkal szabályozva a mérési tartományt. Másrészt természetes igényként jelentkezik a nagyobb terhelhetőségű gépek előállítására. Így C. HOPPE 500 tonnás fekvő elrendezésű gépet konstruál, amellyel kisméretű próbatestektől kezdve, a 14 m hosszúságig képes vizsgálatokat végezni. A. BORSING Tegelben főleg csövek vizsgálatára rendezkedik be álló elrendezésű 600 tonnás gépével. Angliában 1500 tonna húzó, 3000 tonna nyomóerő kifejtésére alkalmas berendezést állítanak üzembe. Ezen berendezések működési elvei közül

²⁹ **Zweckbronner, G.:** Materialprüfung in Wechselwirkung zur technisch-industriellen Entwicklung dargestellt am Beispiel von Carl Bach. Ferrum, 1985. Nr.56. 39-42.

néhányat a 19. a és 19. b. ábrák szemléltetik. Részletesebb áttekintés egy 1935-ben publikált könyvben is található³⁰.



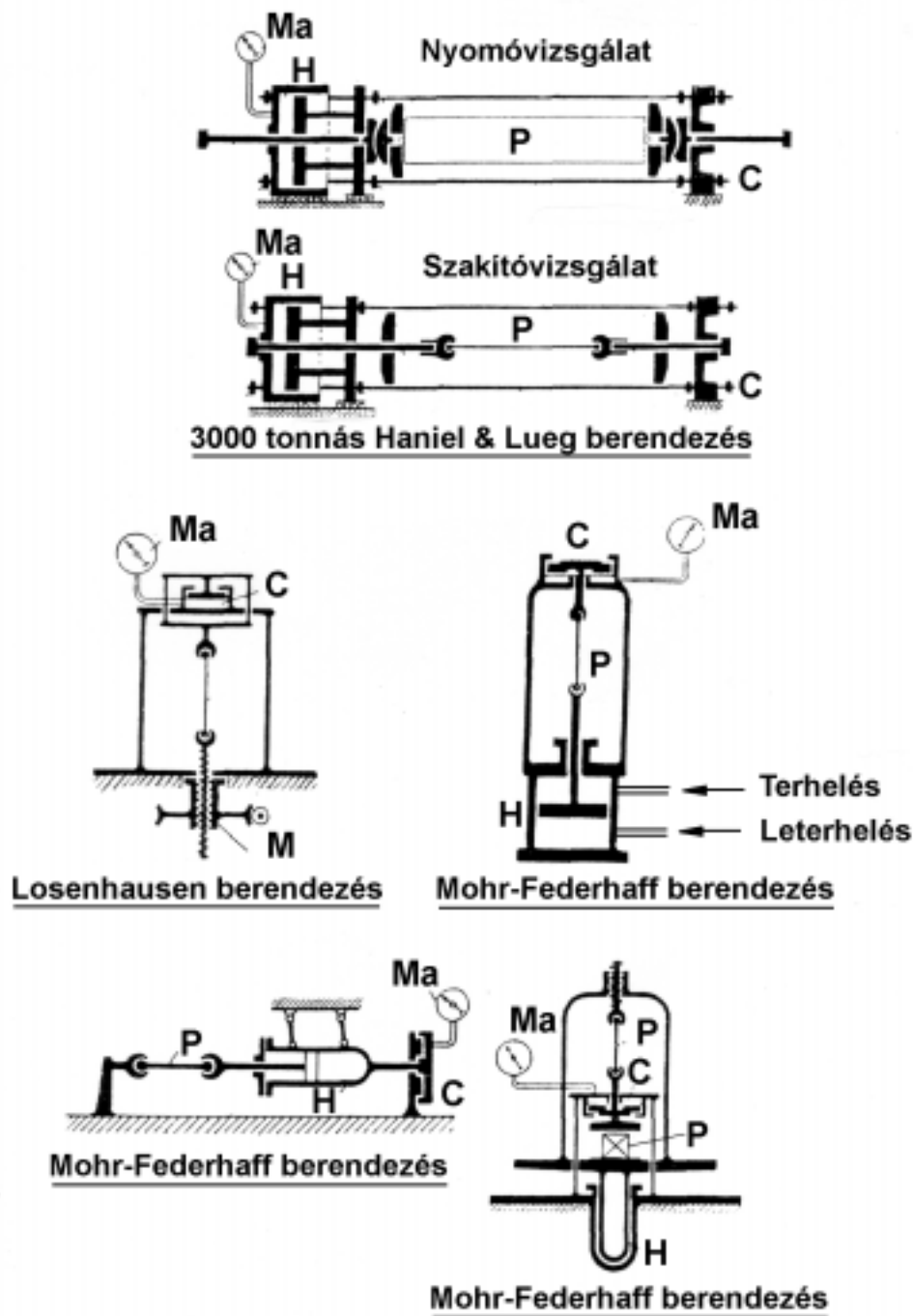
19.a. ábra. A XIX. század második felében használt anyagvizsgáló berendezések működési elvei

Ebben az időben sorra alakulnak az anyagvizsgáló berendezések gyártására szakosodott cégek, pl. *Mohr-Federhaff*, *Alfred Amsler*, *Carl Schenk* (Darmstadtban), *Schopper* (Lipcseben), *Losenhausen*, *Tinius Olsen* az USA-ban, *Riehle*, *Baldwin*, *Tarnogorocki* (Essenben, főleg huzalok, drótok vizsgálatára specializálódva). Az új anyagvizsgáló eljárások közül a svéd **JOHAN AGUST BRINELL** (1849-1925) a párizsi világkiállítás

³⁰ C. H. Gibbons: Materials Testing Machines. Pittsburg, 1935.

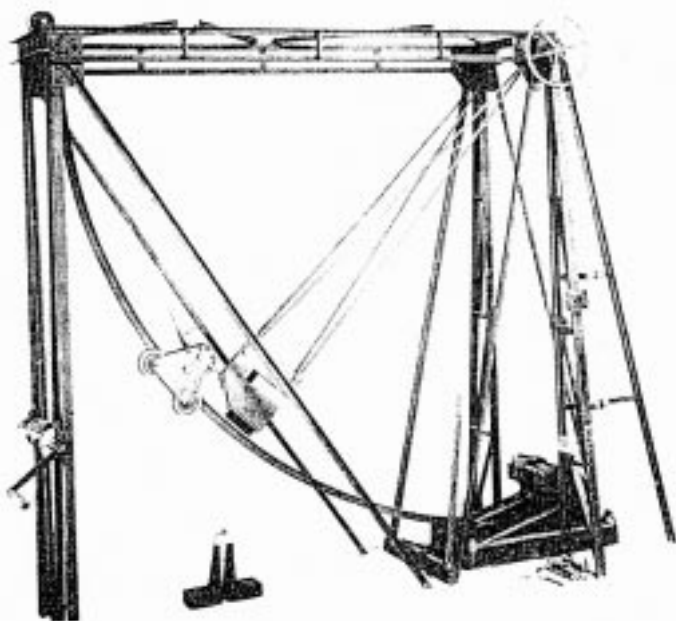
kapcsán rendezett konferencián ismerteti (1900) keménységmérési eljárását. A körültekintő, alapos vizsgálatainak érzékeltetésére külön ki kell hangsúlyozni, hogy:

- a napjainkban használt terhelési paraméterek és a golyó átmérőjének megválasztási szempontjai azonosak az általa javasoltakkal,
- a keménység és szakítószilárdság között felállított korrelációs összefüggés is tőle származik (kísérleti eredményei alapján $R_m=0,36$ HB kapcsolatot talált szénacélokra).



19.b. ábra. A XIX. század második felében használt anyagvizsgáló berendezések működési elvei (folytatás)

Ugyancsak alapvetően új eljárást, az ütvehajlító vizsgálatot javasolta a francia **GEORGE CHARPY (1865-1925)** az Anyagvizsgálók Nemzetközi Egyesületének Budapesten tartott kongresszusán³¹ (1901). Próbatestének mérete 30X30 mm, amelynek 15 mm mélységű bemetszését 4 mm átmérőjű fúróval készítették. a 160 mm hosszú próbatest töréséhez 120 mm-es támaszköz mellett 200 mkp-os ütművet használtak. Ennek egyik példányát szemlélteti a 20. ábra. A későbbiekben 75 illetve 30 mkp-os ütművek váltak általánossá, csökkenő próbatest méretek mellett. Az anyagok ridegtörési hajlamával kapcsolatos mai ismereteink szerint a nagyobb méretű próbatesteken szerzett tapasztalatok hívebben tükrözték azok várható viselkedését a szerkezetekben. Évszázadunkban az ütvizsgálatok jelentős fejlődése következett be alapvetően a dinamikus folyamatok részleteinek megismerése érdekében³². E vizsgálatokat napjainkban nem csupán acélokon, hanem műanyagokon³³ és az igen rideg keramikusan anyagokon is széles körben végzik. A Charpy vizsgálat bevezetésének centenáriuma alkalmából 2001 október 3-5. között nemzetközi konferencia kerül megszervezésre Poitiers-ben (Franciaország).



20. ábra
A Charpy által javasolt 200
mkp-os ütmű

A mechanikai anyagvizsgálatok területén egyrészt **ABRAHAM ERICHSEN 1912**-ben szabadalmaztatott mélyhúzóerővizsgálata (publikálva 1914-ben), másrészt a különböző keménységmérési eljárások megjelenése jelentett alapvető újdonságot. Ezek többnyire az egyéb eljárások hátrányainak kiküszöbölésére születtek. A keménységmérés módszereiről, azok lényegéről nyújt áttekintést a **1. táblázat**.

Az első világháborút megelőző évek azonban egy teljesen új irányzatot is megnyitottak, nevezetesen a roncsolásmentes anyagvizsgálatokat. Ennek alapja a würzburgi egyetem tanára, **WILHELM CONDRAD RÖNTGEN (1845-1923)** által 1896-ban felfedezett sugárzás, amely áthatol a fémeken is. Tekintettel arra, hogy a sugárzás jellegét, természetét a felfedezést követő időszakban nem ismerték, azt X – sugárzásnak nevezték el (az angolszász irodalom

³¹ **M.G. CHARPY:** Note sur l'essai des métaux á la flexion par choc de barreaux entaillés. Budapest. Société anonyme d'imprimerie de Pest. 1901.

³² Impact Testing of Metals. ASTM STP 466. 1970.

³³ **A. Savadori:** Impact Testing of Plastics: Present Knowledge. Polymer Testing, 1985/5. P. 209-241.

1. táblázat
A keménységmérési módszerek áttekintése

Eljárás	Név	Év	Szűrőszerszám	Keménység definiálása
Karckeménység	Barba	1640	Reszelő	Összehasonlítás
Karckeménység	Moos	1822	10 különböző keménységű anyag	Összehasonlítás
Makrokeménység	Hertz	1881	Félgömb, sík	Képlékeny nyom megjelenéséhez szükséges erő / felület
Karckeménység	Adolf Martens	1890		0,001 mm szélességű karc létrehozásához szükséges erő
Dinamikus	Martel	1895	Acél gúla	Energia / térfogat
Makrokeménység	J. A. Brinell	1900	Acélgolyó	Erő / benyomódás felület
Makrokeménység	P. Ludwik	1907	90°-os acél kúp	Erő / felület
Makrokeménység	Stanley P. Rockwell	1908	120°-os gyémánt kúp	A benyomódással fordítottan arányos
Dinamikus	A. F. Shore	1918	Acélgolyó	A rugalmas visszapattanás alapján definiálva
Karckeménység	Birbaum	1920	Gyémánt kocka	Terhelés 3 gr.
Karckeménység	Hankiss	1923	V - alakú gyémánt	Terhelés 1-150 gr.
Makrokeménység		1925	136°-os gyémánt gúla	Erő/benyomódás felülete
Dinamikus	Poldi		Acélgolyó	Összehasonlítás
Dinamikus	Kuznecov	1931	Kalapács	Csillapodás
Mikrokeménység	Lipps	1936	Vickers gúla	Terhelés 35 gr.
Mikrokeménység	Knoop, Peters, Emmerson	1393	1/7 átló arányú gyémánt gúla	Erő/benyomódás felülete
Makrokeménység	M. S. Drozd	1958	Acélgolyó	Rugalmas-képlékeny alakváltozás szétválasztása

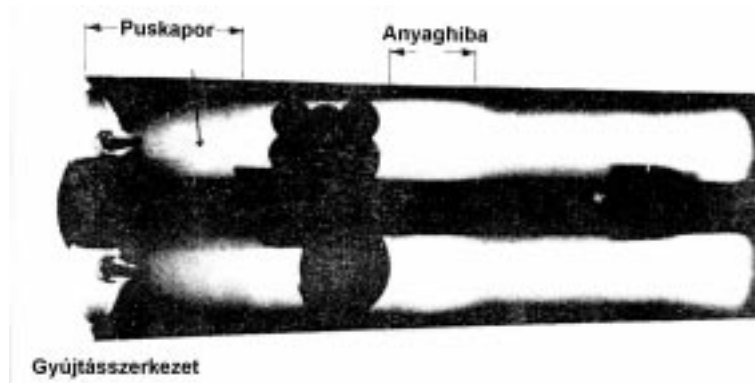
Megjegyzés: A keménységmérési eljárások sajátosságairól, történeti áttekintésről bővebb információk több munkában találhatók^{34,35,36}.

³⁴ **Krivorovich, V. K.:** Tverdost i mikrotrverdost metallov. Nauka, Moskva, 1976.

³⁵ **Borbál L.:** Keménységmérés. Anyagvizsgálók Lapja 1992/3. Melléklete.

³⁶ **Czinege I., Réti T., Sárossy Gy.:** Erő-behatolási út mérésén alapuló keménységmérési eljárások. Anyagvizsgálók Lapja. 1992/3 p.73-75.

még napjainkban is többnyire az X - Ray elnevezést használja). Az anyagvizsgálat szempontjából egykor történelmi jelentőségű felvételt a vadászfegyveréről készítette. Ezt szemlélteti a 20. ábra.



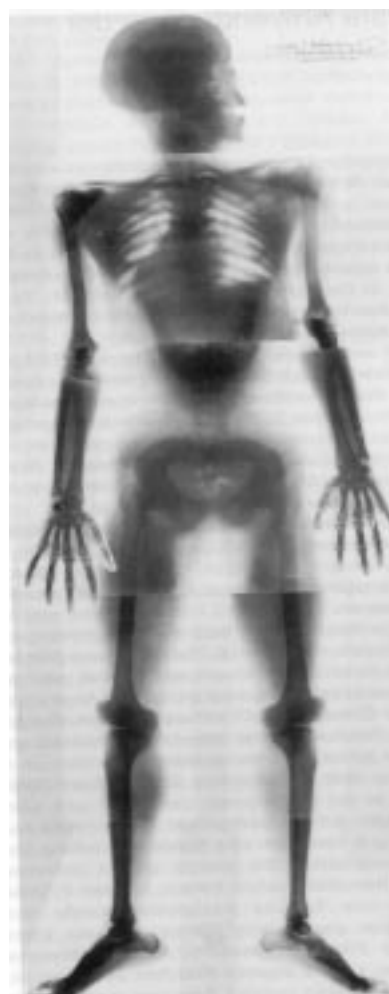
20. ábra
Röntgen vadászfegyveréről
az általa készített felvétel
(1896)

A röntgensugárzás természetének kihasználása az emberi test megismerésében azonnal megindult. Így az egyik első felvétel a feleségének kezéről készült, amelyet 21. ábra szemléltet. Az első röntgen felvétel elkészítése az emberi csontvázról sem váratott sokáig magára.



21. ábra Röntgen feleségének kezéről készített kép,
amelyen jól látszik a gyűrű.

A röntgensugárzás alapvető sajátosságainak megismerése, a hullámtermészet kísérleti bizonyítása **MAX von LAUE (1879-1960)** nevéhez fűződik. Az anyagok lehetséges felépítését elemző Bravais munkáján elindulva arra a következtetésre jutott, hogy ha a röntgensugárzás hullámtermészetű, és a Bravais által feltételezett zárt kristályrend igaz, akkor a kristályokat besugározva, azokról reflektált sugárzást kell kapni. Ezt **1912**-ben bizonyította, amellyel megalapozta az anyagszerkezettani vizsgálatok egy teljesen új 22. ábra. Az emberi testről készített első röntgen-felvétel (1896)



3. Az I. világháborútól napjainkig

Az anyagvizsgálat történetének áttekintésében talán ez a legnehezebb periódus, hisz az alapvető mechanikai vizsgálatok vagy azok elvei már léteztek, „legfeljebb” ezek modernizálására került sor, a kor adta mérés technikai feltételeknek megfelelően. E kissé sematikus egyszerűsítés mellett azonban mégis van néhány igazán „mérőföldkő” e korszakban is. Ennek ellenére azonban azt kell mondani, hogy a vizsgálatok döntő hányada az anyagok viselkedésének megismerésére irányult. Ez már az első világháborút megelőző „békebeli” időszakban jól érzékelhető. Erre egy példa, hogy Bauschinger halálát követően a helyére került **AUGUST FÖPPL (1854-1924)** a nyomóvizsgálatoknál a felületi súrlódás miatt bekövetkezett „hordósodás” kiküszöbölésére már **1900**-ban parafint alkalmaz.

Később **Siebel és Pomp 1927**-ben olyan kúpos felületű próbatestet javasol, amelynek a kúpszög tangense a súrlódási tényezővel azonos. A francia **AUGUSTIN MESNAGER** a Párizsban tartott konferencián javasolja az ún. „*valódi nyúlás*” (a pillanatnyi hosszra vonatkoztatott) fogalmának bevezetését. A már említett **CARL von BACH 1904**-ben definiálta az acélok *alsó- és felső folyási határát*, **KRÁMÁN TÓDOR 1911**-ben bizonyította, hogy hidrosztatikus nyomással az olyan rideg anyagok, mint a márvány vagy a kő is alakíthatók. A másik irányzat az anyagok teherbírásának leírására irányult, alapvetően már összetett feszültségállapot esetén. E területen anélkül, hogy a legkisebb mértékig is elmélyednénk olyan nevek szerepelnek, mint a drezdai egyetem professzora **OTTO CHRISTIAN MOHR (1835-1918)**, **BELTRAMI**, vagy **M. T. HUBER**. E kérdéscsoporttal kapcsolatos vélemények és azok fejlődésének bemutatása a már idézett **TIMOSHENKO** munka mellett más forrásokban is megtalálható^{37,3839,40}.

Az anyagok szakítás során való viselkedésének feltárásában **PAUL LUDWIG (1838-1934)** volt az első, aki azt bizonyította, hogy a sima próbatest szakadása a próbatest közepéről indul (**1928**). Igen érdekes eredményei születtek a különböző bemetszésű próbatestek szakítóvizsgálata alapján levont következtetéseiből. Vizsgálta az anyagok valódi szakadási feszültségének – amelyet még Kirkaldy javasolt – és a folyási határának arányát. Ennek alapján értelmezte az anyagok szívós – rideg átmenetét.

A világháború megkezdődésével természetesen megszakadtak mind a nemzetközi együttműködések, mind a „közös gondolkodás”. Ez csak jóval később – és akkor is a II. Világháború miatt csupán rövid időre – alakul ki újra. **Amsterdamban 1927**-ben újjáalakul az *Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezete* (Neue Internationale Verband für Materialprüfung, NIVM), amelynek elnöke a francia **AUGUSTIN MESNAGER**, titkára pedig **MIRKO ROS**. Az újjáalakult szervezet első ülésére a hagyományoknak megfelelően Zürichben került sor 1931-ben.

A roncsolásmentes anyagvizsgálatban forradalmi változást jelentett az ultrahang alkalmazása. Ez az orosz **S. J. SOKOLOV** nevéhez fűződik, aki eljárását **1929**-ben szabadalmaztatta. Ugyancsak

³⁷ Grigorjan, A.T., Progrebysskij, I.B.: Istorija Mekhaniki. Nauka, Moskva. 1972.

³⁸ Ponomarjov Sz.D.: Szilárdsági számítások a gépészetben. I. kötet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1963.

³⁹ Pattantyús Á. G.: Gépész- és villamosmérnökök kézikönyve I. és II. kötet.

⁴⁰ Ten Bosch: Gépelemek. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1957.

ilyen nagyjelentőségű volt **FRIEDRICH FÖRSTER** mágneses repedésvizsgálatának bevezetése 1937-ben. Ennek elvét **WALTER GERHARD** 1934-ben ismertette.

Mind az anyagvizsgálati technikát, mind pedig a kísérleti feszültséganalízist gyökeresen új alapra helyezte a nyúlásmérőbélyeg gyakorlati alkalmazása. Noha az elvet William Thomson (vagy ahogy jobban ismert **LORD KELVIN (1824-1907)**) már 1856-ban ismertette (vannak olyan vélemények is, hogy **CHARLES WHEASTONE (1802-1875)** már 1843-ban tisztában volt ezzel a jelenséggel), a gyakorlati alkalmazás 1939-ig váratott magára. Az elsőbbség tekintetében meglehetősen éles prioritási vita alakult ki **ARTHUR CLAUDE RUNGE** (Massachusetts Institute of Technology) és **E. E. SIMONS** (California) között. A szakirodalom általában **Runge** nevét említi, mint feltalálót⁴¹. E vitától függetlenül lehetővé vált az erő és az elmozdulás regisztrálása elektromos úton. Ez alapvetően új méréstechnikai lehetőségeket teremtett, és jelentős fejlődést indított el a mechanikai anyagvizsgálat, a kísérleti feszültséganalízis területén.

A gőzgépek, a már üzemelő benzinmotorok, az újabb kazánrobbanások, vasúti szerencsétlenségek miatt ugyancsak előtérbe került a **kúszásvizsgálat**. Az első, igaz mindössze néhány ezer órás vizsgálat eredményeit a francia **P. CHEVENARD** ismerteti 1919-ben. Ezt követi az angol **J. H. DICKENSON** kísérleti eredményeinek bemutatása 1922-ben. Honfitársa **R. W. BAILEY** egyrészt rámutat a kúszási folyamat második szakaszának, az ún. „**állandósult kúszás**”-nak mérnöki jelentőségére, másrészt 1930-ban ólomcsövek kéttengelyű terheléssel – axiális terhelés + belső nyomás – szobahőmérsékleten végzett kúszásvizsgálatának eredményeit ismerteti. **F. L. EVERETT** 1939-ben már növelt hőmérsékletű vizsgálatok eredményeiről számol be. A kúszás mellett új lendületet vett a kifáradás folyamatának megismerése.

Ebben nagy szerepet játszottak a hídépítések, később a repülőgépek megjelenése, az autózás mindennaposá válása, a minden mérnöki szerkezetben megtalálható feszültséggyűjtő helyek várható viselkedésének közelítésére alkalmas eljárások kidolgozása. E területről a svéd **A. PALMGREN** nevét mindenképpen ki kell emelni, hisz elsőként vetette fel 1924-ben a károsodások halmozódásának elméletét, és elindította a további munkát e területen. A kialakult teljesen új tudományterületet igen sokan bővítették, szélesítették (*Szerenszen, Föppl, Langer, Miner, Locati, Manson, Coffin* és még nagyon hosszan lehetne sorolni). A problémakör szerteágazóságát legegyszerűbben úgy lehetne szemléltetni, hogy egy a kifáradás jelenségét történelmileg áttekintő, igazán kiváló, 1993-ban publikált munka 554 db irodalmi hivatkozást sorol fel⁴². E közlemény azonban az orosz nyelvterületen született eredmények közül csak azokat tudja figyelembe venni, amelyek a nemzetközi szakirodalomban már kivívták a maguk helyét. Ennél pedig lényegesen több született. A kor egyik legfontosabb megállapítása az, hogy a próbatesteken végzett vizsgálatok csak kellő óvatossággal vihetők át a szerkezetek várható viselkedésének jellemzésére. Ebben az időben **ERNST GÄBNER** fogalmazta meg a „**szerkezeti szilárdság**” fogalmát úgy, hogy abban a próbatestek vizsgálata során kapott eredmények csak egyetlen paraméternek tekinthetők. Az 1941-ben így módon kifejtett, és alapvetően helyes elv tanítómesterétől, attól az **AUGUST THURM**-tól indul (1881-1957), aki elsőként alapíthatott **Anyagismereti Tanszéket** (Lehrstuhl für Werkstoffkunde) Németországban, Darmstadtban 1927-ben. A különböző szerkezetek, berendezések „szerkezeti szilárdságának” megismerése szinte forradalmasította a mechanikai anyagvizsgálatot, hisz megindultak a szerkezetvizsgálatok, szerkezetfárasztások. Ez egyben azt is jelentette, hogy a kifejezetten alap kutatás és az adott szerkezet viselkedésének megítélésére végzett vizsgálatok fokozatosan eltávolodnak helyileg

⁴¹ Starr J. E., Dorsey J., Perry C. C.: 50 Years of the Bonded Resistance Strain Gage – An American Retrospective. History of Strain Gages, Brittle Coatings and Loadcells 50-year jubilee. IMEKO XI World Congress, Texas. October 19. 1988. P.259-279

⁴² W. Schütz: Zur Geschichte der Schwingfestigkeit. Material Wissenschaften und Werkstofftechnik. 1993. P. 203-232.

egymástól. Az előbbieket az egyetemeken, kutató intézetekben kapnak helyet, míg az utóbbiak az üzemekben honosodnak meg.

Teljes új tudományterület alapozódik meg az angol **A. A. GRIFFITH (1893-1963)** 1921-ben közölt munkájával, amiben a repedést tartalmazó szilárd testek teherbírásának leírására javasol energetikai megfontolást. Igaz, ezt megelőzték azok a munkák, amelyek az igen éles bemetszés környezetében kialakuló feszültségi viszonyokat tárgyalták. Ezek közül az első **KARL WIEGHARD (1874-1923)** volt, aki 1907-ben készített publikációjában kimutatja, hogy a nagyon éles bemetszés környezetében a feszültségek a bemetszés csúcsától mért távolság hatványával és az adott pont szögkoordinátájával arányosak. **C. E. INGLIS** 1913-ban közölt munkájában – amelyet korábban a törésmechanika megalapozó cikkének tekintettek – hasonló eredményre jut. A törésmechanika fejlődéstörténetére e füzet egy másik fejezete ad áttekintést. Így most csupán a leglényegesebb elemeket emeljük ki, megjegyezve, hogy a téma iránt érdeklődők már most számos igen hasznos információhoz juthatnak néhány – de különböző szempontok szerinti történeti áttekintést tartalmazó – munkából^{43,44,45,46,47,48,49,50}.

A törésmechanika gyakorlati, mérnöki alkalmazhatóságában az egyik forradalmi lépést **GEORGE RANKINE IRWIN (1907-1998)** 1956-ban publikált cikke jelentette, amelyben bevezetésre kerül a repedés terjesztését „szolgáló erő”, a repedéshosszra vonatkoztatott energia (G). A bekövetkezett törések okainak elemzésére, az újabb törések elkerülését szolgáló módszerek kidolgozására, valamint a nagyszilárdságú anyagok alkalmazhatósági feltételeinek megismerésére ASTM Special Technical Committee alakul 1959-ben.

PAUL C. PARIS, R. E. COMEZ, W. E. ANDERSON a törésmechanikai elveket fáradásos repedés terjedési feltételeinek leírására alkalmazza 1961-ben. Kidolgozásra kerül a törési szívósság vizsgálati eljárása, amelyet **J. E. SRAWLEY** és **W. F. BROWN** 1965-ben ismertet (ASTM STP 381). A vizsgálatokra vonatkozó első szabvány 1970-ben jelenik meg (ASTM E 399).

A fázasztó-, valamint a törésmechanikai vizsgálatok technikai háttérét biztosító géppark kialakítása meglehetősen gyors iramban indult meg a hatvanas években. Ebben teljesen új irányt képviseltek a „zárt rendszerű vezérléssel” (closed-loop) rendelkező elektrohidraulikus berendezések, amelyek az 1960-as évek elején kerültek piacra⁵¹. Ez egyrészt megnövelte a lehetséges vizsgálatok körét, másrészt javította azok reprodukálhatóságát. Az atomerőművek nagyvastagságú szerkezeti elemeinek kvázisztatikus és ismétlődő terheléssel végzett vizsgálati nagyteljesítményű berendezések kialakítását igényelték. Ezen igényeket a **Material Testing Systems cég** a kezdeti pillanattól felismerte, azok kielégítésében az élre állt. Az 1966-os években készített első generációs zárt vezérlésű, kereskedelmi forgalmazású gépet a 23. ábra mutatja. A későbbiekben a nagyobb

⁴³ Fracture Mechanics Retrospective- Early Papers (1913-1965) Edited by **John E. Barson**, ASTM. 1987

⁴⁴ **S. T. Rolfe, J. M. Barsom**: Fracture and Fatigue Control in Structures. Application of Fracture Mechanics. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, 1977.

⁴⁵ **V. Weiss, S. Yukawa**: Critical Appraisal of Fracture Mechanics. ASTM STP 381. 1965.

⁴⁶ **H. P. Rossmannith**: Biographical Sketch of Prof. Dr. G. R. Irwin, ISTLI Founding Symposium, Bécs 1993. november 18-19.

⁴⁷ **Panasjuk V. V.**: An Outline of the Development of Fracture Mechanics and Strength of Materials Investigations. ICF 8, Kiev, A View from the Eastern Europe. Lviv, 1993.

⁴⁸ **Czoboly E.**: A törésmechanika fejlődése és főbb irányai. Műszaki Tudomány 1970/3-4. P. 391-412

⁴⁹ **Tóth L.**: Fémek és szerkezetek törése. Alkalmazott törésmechanika. GTE kiadvány. Budapest, 1986. II. fejezet

⁵⁰ **G. R. Irwin**: A törésmechanika fejlődése. A Technische Versuchsanstalt-on 1993. november 18-án tartott előadás, amelyről videofelvétel készült.

⁵¹ **ilan L. S., A. Braun**: Historical Perspective: The Evolution of Testing Equipment Used in Fracture Mechanics Research. ICF 8. Kiev, 1993. 14-19 June

teljesítményű, 1 és 2 MN-os berendezések (az előbbi látsz a 24. ábrán) után elkészül az igazán nagyteljesítményű 10 MN-os rezonanciafárasztó is kb. **1968**-ban. Ez a 25. ábrán látható.



23. ábra. Az első generációs zárt vezérlésű MTS rendszer

A törési szívósság kísérleti meghatározására adottak a vizsgálatok egységes végzésének a feltételei az 1970-ben elkészült ASTM szabvány révén. A törésmechanikai szemléletmód általánosítására a szemináriumok egész sorozata szerveződött. Ezek előadói között különösen az amerikai, de részben angol vezető szakemberek találhatók, így pl. **G. IRWIN, PAUL C. PARIS, H. CORTEN, A. WELLS, R. WEI**. Az előadásokat követő gyakorlati bemutatókat az MTS cég tartja. Ilyen szemináriumok szervezésére került sor egyrészt az amerikai államokban, másrészt Európában (**1967-ben Denver, Colorado, Lehigh University-Pennsylvania, 1968 - Sheffield, 1969 - Lehigh University, Delft, Lafayette-Indiana állam, Cleveland, 1970 - Stuttgart, 1971 - Stuttgart** újból). A Stuttgartban tartott első szeminárium 64 résztvevője és az előadók láthatók a 26. ábrán. A képen látható szakemberek számottevő része a törésmechanika tudományterületén napjaink meghatározó egyéniségei. A szeminárium gyakorlati bemutatója során használt MTS berendezés Freiburgba került a **Fraunhofer Institut für Wersoffmechanik** intézetbe, ahol még napjainkban is üzemel. Németországban ez volt az első MTS berendezés⁵². A szeminárium alkalmából kiadott „bizonyítvány” aláírói között a tudományterület alapítói szerepelnek (27. ábra). Az anyagvizsgáló berendezések fejlődésének új generációját jelentette a számítógéppel való összekapcsolás. Úgy tűnik, hogy erre **1964** környékén került sor George Irwin laboratóriumában, a Naval Research Laboratóriumban. Az analóg számítógépet először **PHIL MAST** használta szervohidraulikus berendezéseknél (28. ábra) arra, hogy a repedés terjedési sebességét konstans

⁵² E. Sommer: Privát közlemények, amelyek tartalmazzák a szeminárium résztvevőinek listáját is. 1993. december 6.



24. ábra Az első 1 MN-os
szervohidraulikus MTS
rendszer

értéken tartsa a plexiüvegen végzett vizsgálatait során. Az MTS cégnél az 1967-es években elindult fejlesztés eredményeként **PDP-8** mikroszámítógéppel kerültek piacra az első berendezések már 1968-ban. Az első bemutatkozás egy ASTM rendezvényen **Californiában** volt **1968. júniusában**, ahol a szakítás, kisciklusú fárasztás a random terheléssel végzett fárasztás programrendszere lett demonstrálva (29. ábra). A következő évben **Hannoverben** már a törésmechanikai szabványnak megfelelő automatikus vizsgálatra alkalmas berendezés került kiállításra. A személyi számítógépek és a digitális technika megjelenésével meglehetősen mértékben bővültek az anyagvizsgálati mérés technika lehetőségei. Ilyen „újgenerációs” berendezést mutat a 30. ábra.

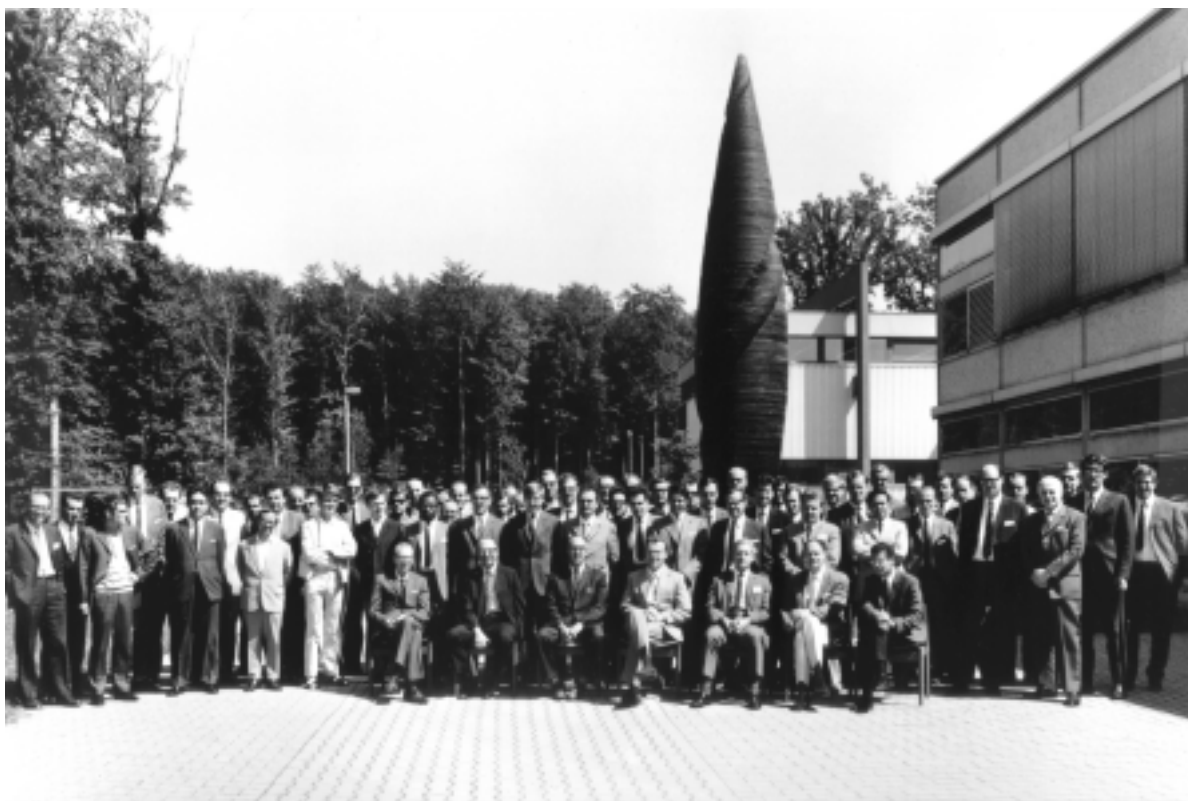
A vizsgálati technikai fejlesztésekre szükség is van, hisz újabb és újabb anyagok jelennek meg, amelyek tulajdonságainak megbízható mérése alapvető igény. Gondoljunk csak a keramikus anyag szilárdsági, alakváltozási, törési jellemzőinek meghatározása során támasztandó követelményekre, vagy az ütésálló műanyagok fejlesztésénél alkalmazandó vizsgálati technikák különbözőségére. Az egyik esetben igen lassú alakítási sebesség mellett igen kis alakváltozásokat kell mérni igen nagy hőmérsékleteken is, míg a másik esetben néhány m/sec-os ütési sebesség esetén kell elegendő adatot gyűjteni az anyag viselkedéséről, ellenállásáról. Az ilyen berendezések, mérő, regisztráló- és adatfeldolgozó eszközök megjelenése természetesen egy folyamat eredménye. A közbenső lépések bemutatására e füzet kötött keretei nem adnak lehetőséget. Az érdeklődők részletesebb információkat szerezhetnek mind a vizsgáló berendezések⁵³, mind pedig a mérés technikai

⁵³ **Erisman, T.:** Prüfmaschinen und Prüfanlagen. 1992.

megoldásokról⁵⁴, azok fejlődéséről számos összefoglaló munkában vagy azok irodalomjegyzékében.



25. ábra. Az első 10MN-os rezonancia fárasztó rendszer (Bundesanstalt für Materialprüfung, Berlin, kb. 1968)

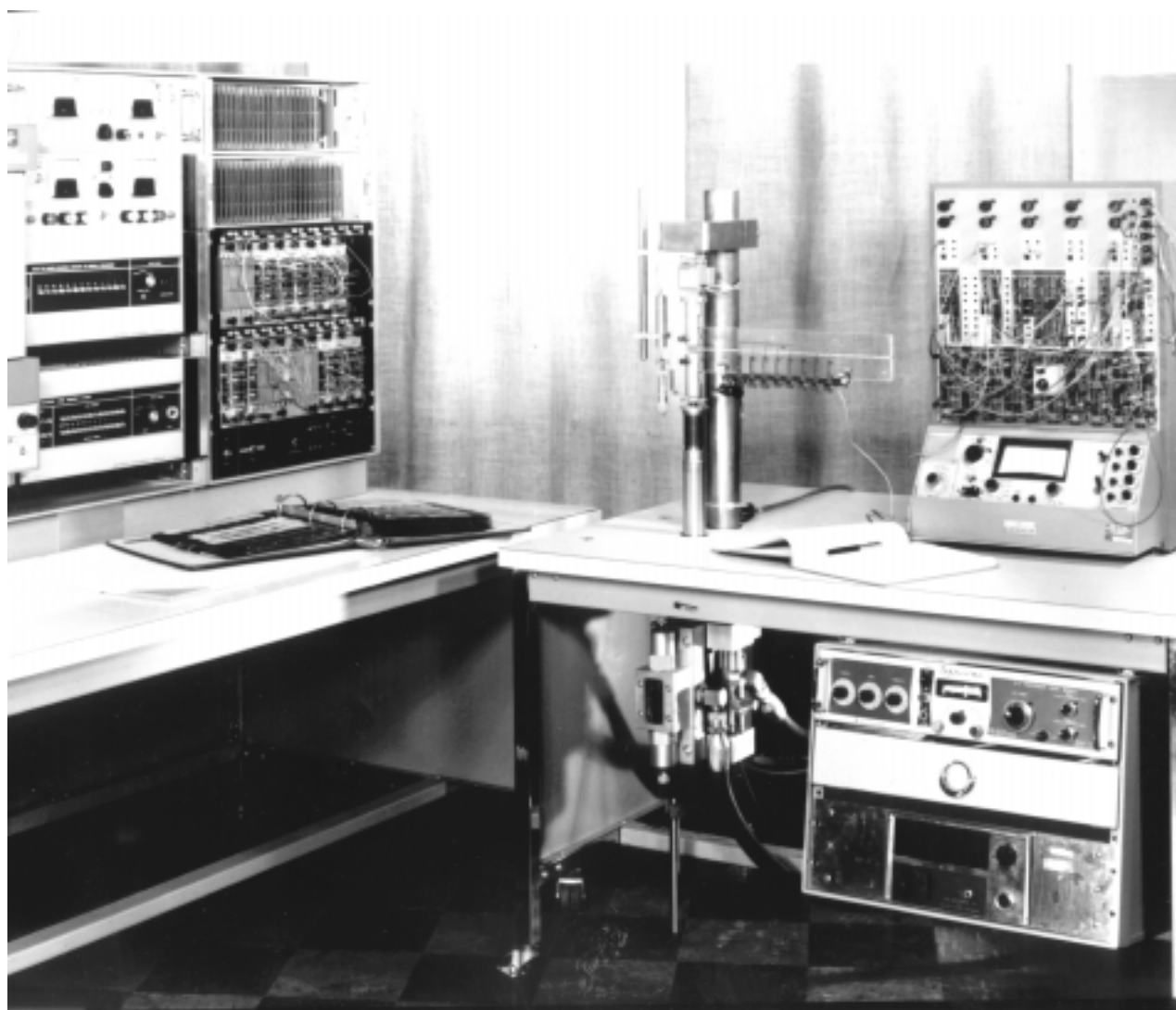


26. ábra. A Stuttgartban 1970-ben tartott törésmechanika szeminárium 64 résztvevője és előadói

⁵⁴ Rohrbach, C.: Handbuch für Experimentelle Spannungsanalyse. VDI-Verlag, Düsseldorf. 1988



27. ábra. A Stuttgartban 1970-ben tartott törésmechanika szeminárium 64 résztvevője számára kiállított látogatási bizonyítvány



28. ábra. George IRWIN laboratóriumában elkészített első, analóg számítógép vezérelt anyagvizsgáló berendezés (1964)



29. ábra. Az első PDP-8
mikroszámítógéppel összekapcsolt
anyagvizsgáló berendezés (1968)

(A képen Paul PARIS, aki a törésmechanikát elsőször
alkalmazta a fáradásos epedés terjedési körülményeinek
leírására és Fia)

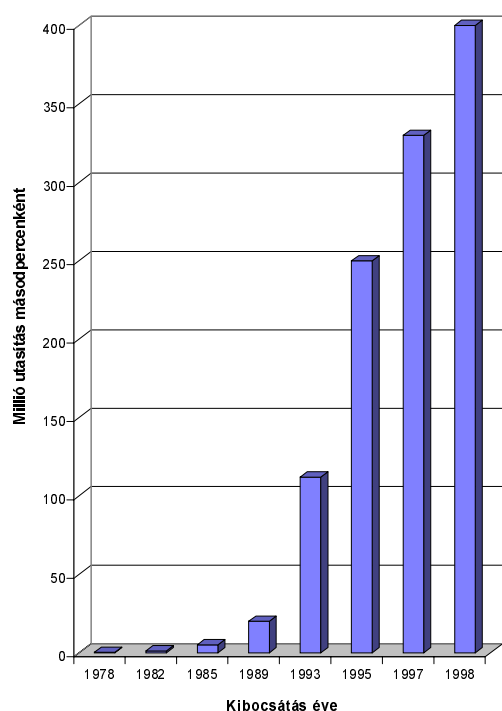


30. ábra. Napjaink digitális vezérlésű és
adatfeldolgozású anyagvizsgáló
rendszere

Összefoglalás

A történetek ismertetését csak abbahagyni, befejezni sohasem lehet. Így van ez a mérnöki tudományok fejlődését döntően meghatározó anyagvizsgálat, anyagtudomány és a tervezés alapjait biztosító mechanikával kapcsolatban is. Az említett három témakört tekintve kettő (az anyagtudomány és mechanika) mindenképpen beletartozik a *tudomány* kategóriájába, azaz olyan területnek tekinthetők, amelyek döntően meghatározzák a műszaki fejlődés lehetőségei, ütemét és ezáltal a profit termelés kereteit, azaz magának a gazdasági fejlődésnek a lehetséges határait. A termelés (a lehetséges profit előállításának) körülményeinek viszont természetesen megvannak a társadalmi vetületei. Visszatekintvén a XIX. század fejlődésére - amelynek hajtóereje mindenképpen a „közlekedés felgyorsulását” eredményező gőzgép megjelenése volt, amelyet úgy is jellemezhetünk, hogy „több mint 10.000 km/év hosszúságú új vasútvonal” megjelenése – nyilvánvalóvá válik, hogy annak a kornak a „mérnökök” tevékenysége volt döntően a meghatározója. A fejlődés eredményeképpen nem csupán a nagyméretű szerkezetek jelentek meg, hanem az egyre kisebb mérettartomány megfigyelési lehetőségei is, azaz az anyagszerkezeti sajátosságok megértése irányába is megnyíltak az utak. Ez eredményezte azt, hogy a századfordulótól kezdődően a „fizikusok” tevékenysége került előtérbe és vált a társadalmi-gazdasági fejlődés hajtóerőjévé. Az élettelen természet egyre kisebb és kisebb méretekben való „megértése” eredményezte egyrészt azt, hogy az informatika robbanásszerű fejlődésen ment keresztül és megteremtette a lehetőségét az élettelennél sokkal bonyolultabb, az élő természetben lejátszódó folyamatok egyre finomabb részleteinek megfigyelését és megismerését. Napjaink

fejlődési ütemének jellemzésére tekintsük a 31. ábrát, ahol az INTEL processzorok műveleti sebességének változás látható a PC-k megjelenésétől, 1978-tól kezdődően.



31. ábra. Az INTEL processzorok műveleti sebességének változása 1978-1998 évek közötti periódusban

Az ábra egyértelműen mutatja egyrészt az, hogy mindössze 20 év alatt három nagyságrendet változott a műveleti sebesség, másrészt előrevetíti a műszaki-gazdasági fejlődés ütemét, hisz a mikroelektronikai alkatrészek, az információ-technológia minden ága megjelenik a napjaink mindennapi életében. E fejlődés dacára sem szabad elfeledni sohasem azt, hogy minden termék valamilyen **anyagból**, valamilyen előállítási technológiával a kor adta gazdasági feltételrendszer által meghatározott finanszírozási körülmények között készül. Az anyagoknak pedig mindig vannak a felhasználás szempontjából lényeges tulajdonságai, amelyeket ellenőrizni, vizsgálni kell,

tehát az anyagvizsgálat létezni fog a jövőben is csupán az eljárásai, módszerei változnak.

A múltat tekintve az időrendi eligazodást segíti a mellékelt 1. táblázat, a műszaki fejlődés „mindennapi eredményeként” jelentkező háztartási eszközök megjelenését a „*menetes dugóhúzó*”tól az *elektromos dugóhúzóig*” tekinti át a 2. táblázat⁵⁵.

⁵⁵ GÉP. 1992/4. p.27.

1. Táblázat Az anyagvizsgálat fejlődését elősegítő legfontosabb események

1495	huzal szakítóvizsgálata	Leonardo da Va	1542-1519
1638	befogott gerendák hajlítóvizsgálata	Galileo Galilei	1564-1642
1675	a rugók megnyúlásának vizsgálata	Robert E. Hooke	1635-1703
1660	hajlított gerendák rugalmas alakváltozása	Emde Mariotte	1620-1684
1684	hajlított gerendák alakjának matematikai leírása	Jacob Bernoulli I.	1654-1705
1696	virtuális elmozdulás elvének definiálása	John Bernoulli	1667-1748
1738	variációs elv megfogalmazása	Daniel Bernoulli	1700-1782
1744	rugalmasan alakváltozó tartók alakjának leírása	Leonard Euler	1707-1783
1773	hajlított gerendák terhelhetőségének számítása	Augustin Columb	1736-1806
1775	terhelés-behajlás regisztrálása fagerendák hajlításánál	Francois Buffon	1707-1778
1781	gőzgép szabadalom	James Watt	1736-1819
1788	szisztematikus anyagvizsgálat 906 anyagon	Franz Carl Achard	1753-1821
1797	teljes egészében vasból készült eszterga	Henry Maudslay	1771-1831
1807	rugalmassági modulus definiálása	Thomas Young	1773-1829
1807	gőzhajózás kezdete (1807. október 7)	Robert Fulton	1765-1815
1822	mechanikai feszültség fogalmának definiálása	Augustin Cauchy	1789-1857
1825	rendszeres vasúti közlekedés megindulása (Stockton – Darlington,)	George Stephenson Stockton - Darlington	1781-1848
1829	keresztirányú alakváltozás definiálása ($\mu=0.25$)	S. Denis Poisson	1781-1840
1830	rendszeres személyszállító vonatok megindulása	Liverpool- Manchester, 53 km	
1835	vasúti közlekedés megindulása Németországban	Nürnberg –Fürth, 6,1 km	
1838	első publikáció a kifáradás jelenségéről	Albert W.A	1787-1846
1846	vasúti közlekedés megindulása hazánkban	Budapest – Vác, 39 km	
1852	Werder 100 tonnás szakítógépe	Ludwig Werder	1808-1885
1855	Bessemer acélgyártás megindulása	Henry Bessemer	1813-1989
1856	huzal elektromos ellenállása és a hosszának kapcsolata	Lord Kelvin	1824-1907
1858	első anyagvizsgáló laboratórium megnyitása	David Kirkaldy	1820-1897
1858	Wöhler publikációsorozatának kezdete	August Wöhler	1819-1914
1864	Simens-Martin acélgyártás megindulása	Siemens fivérek	1816-1904
1864	metallográfia vizsgálatok megindulása	Henry Clifton Sorby	1826-1908
1871	Mech. Technológiai Laboratórium Münchenben	Johann Bauschinger	1834-1893
1873	Mech. Technológiai Laboratórium Bécsben	Karl von Jenny	1819-1893
1874	Anyagvizsgáló Intézet Budapesten		
1877	Thomas acélgyártás megindulása	S. Glichirst Thomas	1850-1885
1879	Anyagvizsgáló Intézet Zürichben	Ludwig von Tetmajer	1850-1905

1880	Martens 200-szoros nagyítású mikroszkópja	Adolf Martens	1850-1914
1883	piezoelektromos jelenség felfedezése	Pierre Curie	1859-1906
1884	első Bauschinger konferencia Münchenben		
1886	Martens tükrös finomnyúlás-mérése	Adolf Martens	1850-1914
1887	maradó feszültségek mérése anyagleválasztással	N. Kalakutzky	
1895	Anyagvizsgálók Nemzetközi Egyesületének megalakítása, Zürichben	Elnök: L.Tetmajer	1850-1905
1896	Német Anyagvizsgáló Egyesület megalakulása	Elnök:A. Martens	1850-1914
1896	röntgensugárzás felfedezése	W. Conrad Röntgen	1845-1923
1897	A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének megalakulása	Elnök: Czigler Győző	1897-1904
1900	Brinell keménységmérés	Johan Agust Brinell	1849-1925
1900	valódi nyúlás fogalmának bevezetése	Augustin Mesnager	
1901	ütővizsgálat bevezetése	George Charpy	1865-1945
1904	acélok alsó- és felső folyási határa	Carl von Bach	1847-1931
1907	feszültségeloszlás éles bemetszés csúcsánál	Karl Wieghard	1874-1923
1908	Rockwell keménységmérés	Stanley P.Rockwell	
1911	háromtengelyű nyomással a márvány is képlékeny	Kármán Tódor	1881-1963
1912	mélyhúzóhatósági vizsgálat szabadalma	Abraham Erichsen	
1912	rozsdamentes acél előállítás (Krupp művek)		
1912	röntgen-finomszerkezet vizsgálat bevezetése	Max von Laue	1879-1960
1914	Anyagvizsgálók Közlönyének megjelenése	Szerkesztő: Miklósi B.	
1918	Shore keménységmérés	A.F. Shore	
1919	kúszásvizsgálatok megkezdése	P.Chevenard	
1920	repedést tartalmazó rideg anyagok szilárdsága	A.A. Griffith	1893-1963
1924	károsodások halmozódásának elmélete	A. Palmgren	
1925	Vickers keménységmérés	Smith R., Sanland G.E.	
1928	sima szakítópróbatest törése középről indul	Paul Ludwik	1838-1934
1929	az ultrahangvizsgálat szabadalmaztatása	S.J.Sokolov	
1930	kúszásvizsgálat kéttengelyű terheléssel	R.W.Bailey	
1931	maradófeszültség számítás rétegmaratása után	N.N. Davidenkov	1879-1962
1934	mágneses repedésvizsgálat elve	Walter Gerhard	
1937	automatikus repedésvizsgáló készülék	Friedrich Förster	
1939	nyúlásmérő bélyeg készítése	E.E.Simons, A.C.Ruge	
1941	"szerkezeti szilárdság" fogalmának bevezetése	Ernst Gaßner	
1944	Anyagvizsgálók Közlönyének utolsó száma		
1960	elektrohidraulikus zárt vezérlésű anyagvizsg. Berend.		
1964	analóg számítógéppel vezérelt anyagvizsg. Berend.	Phil Mast	
1967	MTS automatikus szervo-hidraulikus anyagvizsg. berend.		

2. táblázat Néhány háztartási eszköz, gép szabadalma

1792	Gázvilágítás a lakásban	W. Murdock (GB)
1795	Menetes dugóhúzó	S. Hershaw (GB)
1800	Csavarással elzárható csap	T. Grylt (GB)
1800	Egyenáramú áramforrás	A. Volta (I)
1801	Jéggel működő hűtőszekrény	F. Cheteau (F)
1802	Kávéfőzőgép (Cafeolette)	Jacob Bernoulli I.
1830	Az első ipari varrógép	B. Thimmonnier (F)
1840	Az első fényerős portréobjektív	Petzvai József (H)
1876	Forgúkefés szőnyegseprő	M. Bissel (USA)
1877	Fonográf	A. G. Bell (USA)
1879	Ammóniával működő hűtőgép	K. von Linde (D)
1879	Szénszálas izzólámpa	T. A. Edison (USA)
1882	Elektromos vasaló	H. W. Seely (USA)
1884	Töltőtoll	L. Waterman (USA)
1885	Gázharisnya gázlámpához	C. Auer (A)
1885	Grafofon „írashang” készülék	C.H.Bell (GB/USA), Tainter (USA)
1890	Elektromos vasaló német szabadalom	Zipernowsky Károly (H)
1892	Termosz, kettősfalú üvegedény	J. Dewar (USA)
1894	Rádióhullámok felhasználása információközlésre	G. Marconi (I)
1898	Mágneses, huzalos hangrögzítő, a magnatofon őse	Y. Poulsen (DK)
1899	Vízpermetes mosogatógép	Mrs. Cockram (USA)
1901	Elektromos porszívó	H.C. Booth (GB)
1901	Elektromos mosógép	A. Fischer (USA)
1901	Kétélű, vékonypengés borotva	K. Gillette (USA), W. Nickerson (USA)
1902	Légkondicionáló berendezés	W. Carrier (USA)
1905	Wolfram-szála izzólámpa	Just és Hansman (H)
1909	Tölcsér nélküli gramafon	Preszter Rezső (H)
1912	Az első használható villanyborotva	R. Cromplon (GB)
1913	Elektromos háztartási hűtőszekrény, DOMELRE	
1919	Mechanikai-optikai TV készülék, TELEHOR	Mihály Dénes (H)
1923	Vízmelegítő kanna	A. Large (GB)
1925	Működő TV készülék	J. Baird (GB), A. Karolus (D)
1927	Automata kidobós kenyérpíró	S. Sinte (USA)
1928	Villanyborotva	J. Schick (USA)
1929	Elektromos konyhai mixelógép	SUNBEAM cég (USA)
1935	Mágnesszalagos „magnetophon”	AEG cég (USA)
1938	Golyóstoll	Bíró László (H/Argentina)
1938	Gőzölös vasaló	E. Schreyer (USA)
1940	Színes TV mechanikus-elektronikus rendszer	P.C. Goldmark (H/USA)
1947	Polaroid fényképezőgép	E. Land (USA)
1948	Mikrobarázdás hanglezet	P.C. Goldmark (H/USA)
1954	Tranzisztoros rádió	REGENCY Co. (USA)
1956	Mágnesszalagos QUADRUPLEX videomagnó	A. Posiatoff (USA)
1958	Ventillátoros fűtőkészülék	B. Eck (D)
1958	Teflonbevonatú sütőtepsi	M. Grigorie (F)
1975	Eldobós, felpengés önborotva	BIC cég (F)
1975	Piacra kerül az első házi, BETAMAX rendszerű mágneskazettás videomagnó	SONY cég (J)
1978	Gázpatronos vasaló	H.E. Frecleros (GB), J.S.Bird (GB)
1983	Programozható robotporszívó	AUTOMAX cég (J)
1984	Elektromos dugóhúzó	PHILIPS cég (NL)

A törésmechanika rövid története*

Dr. Tóth László

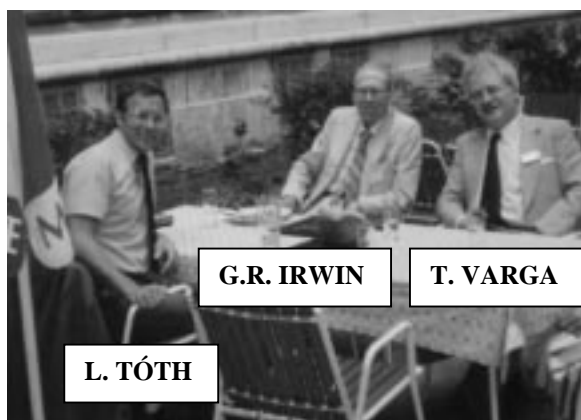
egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet

"It has been said that no man is civilized or mentally adult until he realises that the past, the present, and the future are indivisible". (Azt tartják, hogy az ember nem civilizált vagy szellemileg nem érett mindaddig, amíg tudomásul nem veszi, hogy a múlt, a jelen és jövő egy és oszthatatlan). Igaz ez a tudomány bármely területére, így a törésmechanikára nézve is. E közlemény egy rövid áttekintést kíván adni mindazon mérföldkövekről, amely lehetővé tette azt, hogy a Royal Society már 1979-ben *"Fracture Mechanics in Design and Service - Living with Defects"* címmel szervezhette meg konferenciáját.

1. BEVEZETÉS

Tudván azt, hogy a *"történetnél"* már csak a *"történelmet"* nehezebb és kockázatosabb írni nem vállalkozhatom a törésmechanika teljes részletességű történeti háttérének bemutatására. Ennek nyilvánvalóan több oka van. Az egyik, és legkézenfekvőbb az, hogy ismereteim bizonyára hiányosak. A másik okot a terjedelmi kötöttségek okozzák. Hogy mégis születőben van e rövid áttekintés, az egyrészt a kiemelt első mondat következménye, másrészt azon elhatározásé, hogy midőn az *Anyagvizsgálat rövid története* [1] című kis füzetet írtam, számos olyan anyagot gyűjtöttem össze, amelyet szívesen megosztok a tudományterület érdeklődőivel. E gondolataimat csak erősítette az, hogy az 1907-ben született **George Rankie IRWIN**-nel, a törésmechanika gyakorlati alkalmazásának "apjával" két alkalommal is hosszan beszélgethettem Bécsben (1989. júliusában és 1993. novemberében)**.



1. ábra. Az 1989. júliusában folytatott beszélgetés résztvevői (Bécs)

A technológia és műszaki élet fejlődését

* Jelen átdolgozás az "V. Országos Törésmechanikai Konferencián" elhangzott előadás alapján készült (1995. Április 3-6. P.5-15.

** G. R. IRWIN 91 éves korában, 1998. október 6.-án hunyt el, amelyről a füzet társszerzője, Prof. P. ROSSMANITH a következőképpen tájékoztatót: "He did on Friday, October 7. – 1998 – at 6,30 p.m. a very peaceful death while sleeping on his sofa. We have lost a great great man! I have never seen any person in my life that would have been such kind gentleman personally and professionally. ..."

taglaló munkák általában egy-egy korszakot átfogóan, az arra legjellemzőbb elnevezéssel illetik. Az egyik nemrégén megjelent, igen jó szellemben íródott könyv [61] a

- kőkorszakot (-időszámítás előtt 4000-ig), a
- fémkorszakot (időszámítás előtt 4000-tól a magyar honfoglalásig), a
- víz és a szél korszakát (1000-tól 1732-ig), a mechanikus mozgatású gyorsvetélős szövőszék bevezetéséig, az
- ipari forradalom korszakát (1733-1878), az izzólámpa bevezetéséig, az
- elektromosság korát (1879-1964), a számítógép megjelenéséig, az
- elektronika korát (1947-1972), és az
- informatika korát

különbözteti meg.

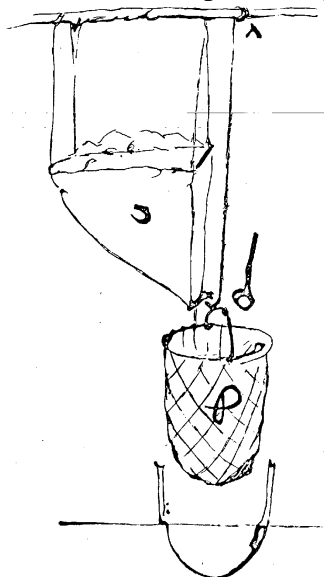
E három utóbbit az információs lehetőségek bővülése szempontjából a

- telefon kora (1860-1900), a
- rádió és a televízió kora (1900-1950), a
- számítógép kora (1951-1975), a
- személyi számítógép kora (1976-1989) és a
- multimédia kora (1990-től napjainkig)

megnevezéssel is széles körben használják.

2. A SZILÁRDSÁG MECHANIKAI TÁRGYALÁSÁNAK FEJLŐDÉSE (1500-1900)

A töréssel, annak körülményeinek vizsgálatával minden korban foglalkoztak (a kőszerszámoktól napjaink ipari és természeti problémáig pl. földrengés). Mégis azt kell mondani, hogy a



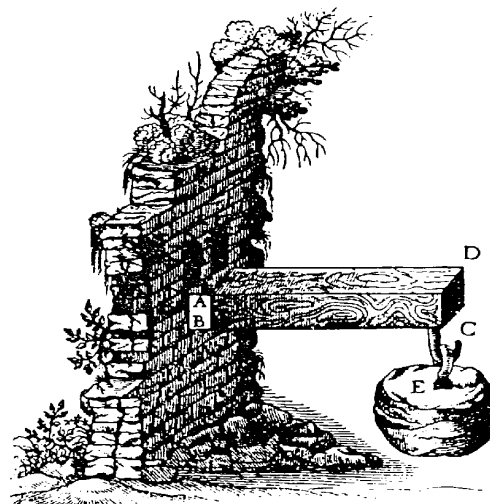
2. ábra

LEONARDO DA VINCI szakítókísérlete

1 vizsgált huzal

2 - kosár, amelybe a homokot engedik

3 - a homokot tartalmazó tartály



3. ábra

GALILEO GALILEI vizsgálata a befogott tartók szilárdságának meghatározására

szilárdság, terhelhetőség megismerése végzett első szisztematikus vizsgálatokat csupán a középkorban végezték először. Ezek közül kiemelkedő **LEONARDO DA VINCI** szakítókísérlete (2. ábra) és **Galileo GALILEI** befogott tartók szilárdságának megismerésére végzett vizsgálatai (3. ábra).

Leonardo da VINCI megállapította azt, hogy a hosszabb huzalok szilárdsága kisebb, de ennek okára nem tudott matematikai elveken nyugvó magyarázatot adni. Noha Galilei elvileg hibásan számította a különböző keresztmetszetű tartók szilárdságát, mégis Ő volt az első aki matematikai absztrakciókat alkalmazott. Ezen lépése indította el a modern mechanikai szemlélet kialakulását.

A mikroszkóp, a teleszkóp, a levegő pumpa, a víz fagyáspontjához kötött hőmérsékleti skála megalkotója, az életének egy részét Cambridge-ben eltöltött építész **Robert HOOKE** volt az, aki a rugóelmélet megalkotásával az 1660-as évek elején útjára bocsátott egy új tudományterületet, a rugalmasságtant. Az 1662. november 12.-én a Királyi Akadémia kurátorává (Curator of the Experiments for the Royal Society) választott, mindössze 27 éves Hooke e területen folytatott tevékenységének össze-foglalása, az 1678-ban kiadott könyvének címlapja látható a 4. ábrán.

LECTURES De Potentia Resistiviva, OR OF SPRING

Explaining the Power of Springing Bodies.

To which are added some

COLLECTIONS

Viz.

A Description of Dr. Pappins Wind-Fountain and Force-Pump.
Mr. Young's Observation concerning natural Fountains.
Some other Considerations concerning that Subject.
Captain Sturmy's remark of a Subterraneous Cave and Cistern.
Mr. G. V. Observations made on the Pike of Teneriff, 1674.
Some Reflections and Conjectures occasioned thereupon.
A Relation of a late Eruption in the Isle of Palma.

By ROBERT HOOKE. S.R.S.

LONDON,

Printed for John Martyn Printer to the Royal Society
at the Bell in St. Pauls Church-Yard, 1678.

4. ábra

Robert HOOKE 1678-ban megjelentett munkájának címlapja a rugók viselkedéséről

Emde MARIOTTE volt, az aki kísérleteivel bizonyította, hogy Galilei tévedett, és a hajlított tartóknál van *semleges* *szál*. Ez a munka az 1680-as évekre datálódik.

A három generáción át nyolc kiváló matematikust és fizikust adó Bernoiulli családból. **Jacob BERNOULLI** volt az, aki 1694-ben megadta a rugalmasan alakváltozó hajlított tartók *rugalmas szálának* leírására alkalmas összefüggést.

Az 1707-ben Baselban született és 1783-ban St. Petersburgban meghalt **Leonhard EULER** volt az aki a *tartók elméletét* megteremtette. Az 1757-ben írt, és 1759-ben kiadott "*Sur la force de collonnes, Mémoires d l'Académie de Berlin*" címmel megjelent munkát a szilárdságtan egyik megalapozó művének tekintik az e területtel foglalkozó történészek.

Charles Auguste COULOMB (1736-1806) bevezette a *nyírási alakváltozás* fogalmát, a *semleges* *szál* helyzetét leíró összefüggést. E munkákat a Párizsi Tudományos Akadémián publikálta 1773-ban.

Az 1773 június 13.-án született, és mindössze 24 évesen a Royal Society tagjává választott, 1795-ben Göttingenben fizikából, 1798-ban Cambridgében orvostudományokból doktorált **Thomas YOUNG** 1807-ben a "*Lectures on Natural Philosophy*" c. munkában publikálta a nevét azóta is őrző *rugalmassági modulus* definícióját. Ezzel az anyagok rugalmas viselkedésének megismerésére irányuló kutatások elméletileg is megalapozottá váltak.

Marie Henri NAVIER (1785-1836) volt az aki 1821. május 14.-én a Párizsi Tudományos Akadémián ismertette a *rugalmasságtan* általános *matematikai elméletét* majd 1826-ban az anyagok mechanikájával kapcsolatban publikálta az első könyvet "*Résumé des Lecons données á l'école des ponts et chaussées sur l'application de la Mécanique a l'établissement des*

constructions et des machines" címmel, amelyet előbb Navier (1833-ban), majd Saint-Venant dolgozott át 1864-ben.

A Párizsban 1789-ben született *Augustin CAUCHY* (1789-1857) 1822. szeptember 30.-án a Párizsi Tudományos Akadémián "*Recherches sur l'équilibre et le mouvement intérieur des corps solides ou fluides élastiques ou non-élastiques*" címmel tartott előadásában definiálja a *mechanikai feszültség* fogalmát megteremtve ezzel a mai értelemben vett szilárdságtan alapjait. A rugalmasságtan matematikai elméletének gyakorlati alkalmazása is Cauchy nevéhez fűződik, majd 1827-ben megállapítja, hogy a rugalmas alakváltozási viszonyok általános leírására két, egymástól független rugalmas anyagállandóra van szükség.

Midőssze egy évvel később, 1828. április 14.-én a francia matematikus és fizikus *Simeon Denis POISSON* (1781-1842) a Párizsi Tudományos Akadémián "*Mémoire sur l'équilibre et le mouvement des corps élastiques*" címmel tartott előadásában a rugalmasságtan általános elvét adja meg, bevezetvén a kereszt- és hosszirányú alakváltozás hányadosát kifejező anyagi paramétert, a napjainkban *Poisson számnak* nevezett fogalmat.

G. WERTHEIM (1815-1861) 1842. július 12.-én a Párizsi Tudományos Akadémián "*Recherches sur l'élasticité*" címmel tartott előadásában bevezeti a *rugalmassági határ* fogalmat.

A rugalmasságtan általános elméletének kidolgozása után két irányú fejlődés indult meg. Az egyik az elmélet gyakorlati alkalmazása, a másik pedig a terhelhetőségi határfeltételeket leíró viszonyok tisztázása. Az első területen *M. G. LAMÉ* (1795-1870) 1852-ben "*Leçons sur la theorie mathématique de l'élasticité des corps solides*" munkája a *rugalmassági jellemzők* szükséges számának tekintetében, és *SAINT-VENANT* (1797-1886) a *prizmatikus rudak csavarási feladatának* megoldásában volt alapvető. Ez utóbbi munka 1855. június 13.-án hangzott el a Párizsi Tudományos Akadémia ülésén "*Mémoires des Savants étrangers*" címmel. Később, 1870-ben a fémek képlékeny alakváltozási feltételeinek jellemzésére használható folyási kritériumot fogalmazta meg.

A terhelhetőségi határállapot tekintetében a múlt század második felében a német iskola képviselői voltak a meghatározó egyéniségek. Így a Holstein-ben született *Otto MOHR* (1835-1918) 1882-ben javasolta a napjainkban nevével fémjelzett *folyási*, avagy rideg anyagoknál a *törési kritériumot*.

Az alakváltozási és törési folyamatok természetének megismerésében igen sokat köszönhetünk *Johann BAUSCHINGERNEK* (1834-1893), aki egyben az anyagvizsgáló szakemberek periodikus találkozóit, konferenciáit is elindította.

A Lemberg-ben (Lviv-ben) született *Richard von MIESES* (1883-1953) 1913-ban adta meg a *folyási* avagy rideg anyagoknál a *törési kritériumot* (függetlenül M. T. Huebert-től aki 1904-ban publikálta elképzelését) ***.

*** M. T. HUBERT: Wlasciwa praca odkształcenia jako miara wytrzymałości materii. Przyczynek do podstaw teorii wytrzymałości. LWWO, 1904. Czasopismo Techniczne Organ Towarzystwa Politechnicznego we Lwowie. p. 38-40. 49-50., 61-62., 80-81.,

3. A SZILÁRDSÁG MECHANIKAI TÁRGYALÁSÁNAK FEJLŐDÉSE 1900-TÓL

Az ipari forradalom meglódulásával, gyakorlatilag az 1800-as évek elejétől - de később annak közepétől különösen - a mechanika és ezen belül a szilárdságtan számos gyakorlati probléma megoldását célozta. Ezek közül kétségtelenül az anyagok makroszkopikus folyási határa alatt bekövetkező törések kiküszöbölésére irányultak. Tekintettel arra, hogy a mérnöki szerkezetek minden esetben tartalmaznak feszültséggyűjtő helyeket, az itt kialakuló mechanikai viszonyok tisztázása fokozatosan előtérbe került.

Karl WEIGHARD (1874-1923) volt az első aki kimutatta, hogy nagyon *éles bemetszés* környezetében ébredő feszültségek a bemetszés csúcsától mért távolsággal arányos, valamint a bemetszés síkjával bezárt szöget kifejező függvények szorzataként számíthatók. Ez a felismerés tekinthető a törésmechanika megalapozásának^{****}.

A rugalmasságtan síkbeli feladatának általános megoldására **G. V. KOLOSOV** disszertációjában 1909-ben kidolgozott, a komplex függvények alkalmazásán nyugvó módszer teljesen új utakat nyitott a feszültséggyűjtő helyek környezetének elemzésére. E területen a konformis leképezés sajátosságaiból adódó lehetséges előnyöket kihasználva **N.I. MUSHELLISVILI** oldott meg igen sok feladatot.

Weighardtól függetlenül **INGLISH C. E.** közöl megoldást az éles bemetszések környezetében kialakuló feszültségek számítására 1913-ban. Az angolszász - és részben a kelet-európai - országok hosszú ideig e munkát tekintették a törésmechanika megalapozójának. A Bécsi Műszaki Egyetem munkatársa, H. P. ROSSMANITH az idézett Weighard cikk angol nyelvű változatának elkészítésével sokat tett annak érdekében, hogy az említett hegemonia megtört.

A törésmechanika tényleges megalapítójának mégis az angol **A. A. GRIFFITH** (1893-1963) tekinthető, aki 1920-ban közölt munkájában a *repedést* tartalmazó szilárd test teherbírásának leírására javasol *energetikai* megfontolást.

Ezt követően **H. M. WESTERGAARD** 1939-ben a repedéscsúcs környezetében kialakuló feszültségmező számítására ismertette megoldását rugalmas közeg esetén. Az I. II. és III. (repedés síkjára merőleges, azzal párhuzamos nyíró és csavaró) terhelési módokra közölt megoldások a Kolosov-féle általános megoldás részeseteinek tekinthetők.

I. N. SNEDDON 1946-ban ismertetett közleménye az egyik legátfogóbb elemzés a rugalmas közegben levő repedések környezetében kialakuló *feszültségi, alakváltozási mező* számítási módszerére. E megoldások jellegzetessége az, hogy a feszültségek tekintetében $1/\sqrt{r}$ jellegű *szingularitás* van, ahol r - a repedéscsúcstól mért távolság.

A törésmechanika második világháborút követő fejlődése ugrásszerű volt. Ezt alapvetően két dolog motiválta. Egyrészt a Liberty hajók tömeges sérülését, rideg törését előidéző okok egyre alaposabb megismerésének - és ezzel a törések kiküszöbölésének igénye, másrészt az új, nagyobb szilárdságú anyagok hadipari bevezetése kapcsán észlelt váratlan törések.

**** K. WEIGHARD munkásságának jelentőségére e füzet társszerzője, Prof. P. ROSSMANITH több közleményében hívta fel a figyelmet (An Introduction to K. Wieghardt's Historical paper. Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures. 1995/12. p. 1367-1369. Az eredeti közlemény angol nyelvű fordítása: K. Wieghardt: On Splitting and Cracking of Elastic Bodies. . Fatigue and Fracture of Engineering Materials and Structures. 1995/12. p. 1371-1406.)

Az előzőkből következően mind az elméleti, mind pedig a gyakorlati alkalmazás területén igen jelentős előrelépések történtek.

Az elméleti megfontolások alapvetően annak mérlegelésére koncentráltak, hogy miképpen szüntethető meg a feszültségmező $1/\sqrt{r}$ jellegű szingularitása a repedés csúcsának környezetében. Ennek kézenfekvő megoldása volt az, hogy a repedéscsúcs közvetlen környezetében az anyagban valamilyen feszültségeloszlást feltételeznek. A repedést tartalmazó elem egyensúlyi viszonyait így annak feltételezésével elemzik, hogy a csúcs környezetében egy, a repedés hosszától független, csak az anyagi sajátosságoktól függő feszültségeloszlás alakul ki, - mintegy egy csipeszként viselkedve. E feladat megoldására az 1950-es évek végéig nem születtek igazán átfogó elméleti munkák. Egyszerűbb és némileg formális közelítést a magyar származású **OROWAN Ede** adott 1945-ben a töretfelület röntgendiffrakciós vizsgálatával, majd **IRWIN** 1948-ban. Az igazi megoldások az említett szerzők 1955-ben, ill. 1957-ben publikált munkáiban lettek ismertetve [62, 29]. A "*Moszkvai Mechanikai Iskola*" kiemelkedő alakja **G. I. BARENBLATT** volt az első, aki 1959-ben átfogó matematikai elemzést adott ezen a téren [18, 19, 20]. Modelljének alapvető feltételezése volt, hogy a repedéscsúcs környezetében ébredő feszültségek eloszlásának jellege megegyezik az atomok közötti kötőerők eloszlásával. Noha korrekt matematikai megoldást ad mégis azt kell mondani, hogy a gyakorlatban nem alkalmazhatók eredményei. Ennek oka az, hogy a modellben szereplő anyagi jellemzők - a kohéziós szilárdság - nem mérhető mennyiségek. **V. V. PANASJUK** és **M. Ja. LEONOV**, az "*Ukrán Mechanikai Iskola*" képviselői ugyanezen évben, 1959-ben közölnek rideg anyagokra olyan modellt, amelyben szereplő anyagjellemző mérhető [33]. Az angol **D. S. DUGDALE** 1960-ban közölt, és azóta is állandóan hivatkozott munkájában [40] azzal a feltételezéssel élt, hogy a repedéscsúcs környezetében ébredő feszültségek nem haladják meg az anyag folyási határát. Ez az ún. "képlékeny ék" hossza a terhelés nagyságától, a repedés hosszától és az anyag folyási határától függ. Az ugyancsak angol **A. A. WELLS** volt az első, aki 1961-ben a repedéscsúcs szétnyílásának kritikus értékét, mint anyagjellemzőt definiálja [39] és mérésére módszert javasol.



5. ábra. A repedéscsúcsmodellek megalkotói D.S. DUGDALE és V.V. PANASJUK (a szerző felvétele, Sheffield)

Az 50-es évek második felében az USA-ban is igen nagy erővel folynak a töréshez kapcsolódó elméleti kutatások. Az európai irányzattól ez abban tér el, hogy a gyakorlati alkalmazás is igen erősen előtérbe kerül. Ekkor születik **Gorge IRWIN** számos alapvető publikációja. A sort az 1956-ban publikált "*repedés terjesztését szolgáló erő*" a **G** koncepció nyitja - George vagy feleségének Georgina név első betűjét használva jelölésnek [27]. A közlemény első mondata így hangzik "*In*

this discussion a crack extension force tendency concept will be used". Munkatársa, Joe **KIES*** - akit IRWIN így jellemzett "this terrific guy never had a PhD but was the best co-worker"- javasolta, hogy a West Coast Aircraft Company-nak, hogy az anyagok repedés terjedéssel szembeni ellenállását a $G \times E$ szorzattal jellemezzék (E - Young modulus). Ezt a javaslatot honorálták a feszültségintenzitási tényezőnek a **K** (**Kies**) jelölés bevezetésével a korábban használt **k** jelölés helyett.

Paul PARIS volt aki a *fáradásos repedés* terjedési körülményeinek leírására első alkalommal javasolta a *feszültségintenzitási tényező amplitúdóját*, a ΔK -t 1961-ben. Igaz a leadott közleményt először elutasították, így végül a University of Washington kiadványában jelent meg a napjainkban minden egyes tankönyvben használt, és a fáradásos repedés terjedésével foglalkozó publikációkban szinte nélkülözhetetlen *Paris összefüggés*. Erről az elutasításról **Paul PARIS** így írt 1982-ben

"Ironically, the paper was promptly rejected by three leading journals, whose reviewers uniformly felt that 'it is not possible that an elastic parameter such as K can account for the self-evident plasticity effects in correlating fatigue crack growth rates.'"

A törésmechanika történetében új fejezet kezdődött a törésmechanikai elveket rugalmas képlékeny anyagegyenletre kiterjesztő J-integrál fogalomrendszerének bevezetésével. Az angolszász és német nyelvterületen **J. R. RICE**-nak tulajdonított koncepciót azonban először **CHEREPANOV G. P.** publikálta 1967-ben. Annak ellenére, hogy Rice közleménye egy évvel később, 1968-ban jelent meg minden tankönyv, közlemény a Rice nevét megőrzítő **J**-integrál jelölést alkalmazza.

Újabb jelentős előrelépést a rugalmas anyagegyenletre, de általános terhelésre érvényes *alakváltozási energiasűrűség* kritériumrendszer publikálása jelentette. A **G. C. SIH** által közölt modell lényege az, hogy a repedés akkor terjed, ha egy adott térfogat-egységben (vagy felületegységben) az anyagra, és a vizsgálat feltételeire jellemző kritikus nagyságú alakváltozási energia halmozódik fel, a repedés pedig abba az irányba terjed, amelyikben az adott mezőben felhalmozott energiának minimuma van. E koncepciót a szakirodalom **SIH** nevének kezdőbetűjének megfelelően **S**-kritériumként használja.

A görög **P. S. THEOCARIS** 1982-ben javasolja azt, hogy a **SIH** által definiált térfogat- vagy felületegységet a repedéscsúcs rugalmas-képlékenyen alakváltozott zóna határán - ahol a torzulási energia konstans - kell felvenni [64]. Ez így tulajdonképpen a térfogatváltozásra, a *feszültségi tenzor első skalár invariánsára* vonatkoztatott törési kritérium. A szakirodalom ezt a modellt **T**-kritériumként használja.

Később 1987-ben a *feszültségi tenzor harmadik* (ill. 2 évvel később, 1989-ben egy újabb közleményében a *második*) skalár invariánsára alapozott törési kritériumot [65] definiál a görög **G. A. PAPADOPOULOS** **DET**-kritérium néven. Mindkét kritériumot erősen kritizálja Spyropoulos egy 1992-ben megjelent munkájában. E közlemény egyben előrevetíti napjaink feladatait is, a korrekt, a kísérletekkel igazolt, az anyag viselkedését figyelembe vevő repedésterjedési feltételeket leíró kritériumok felállításának szükségességét többtengelyű terhelésre.

* J. KIES munkásságának jelentőségét a füzet társszerzője H. P. ROSSMANITH foglalta össze.

A kvázistatikus és ismétlődő terhelésre kidolgozott törésmechanikai elveknek növelt hőmérsékleteken végbemenő kúszásos repedésterjedés körülményeinek leírására számos próbálkozás született az 1970-es évek második felében. E munkák közül **NICHOLSON** és **FORMBY** valamint **LANDES** és **BEGLEY** közleményei mellett **TAIRA** és munkatársainak közleményei kiemelkedők.

A törésmechanika fejlődésének újabb nagy lendületet adott a gyakorlati alkalmazás igénye abban az esetben, ha

- a terhelés többtengelyű és anyag rideg, ill.
- ha a terhelés egytengelyű és anyag rugalmas-képlékeny viselkedésű.

Az előbbire nézve számos kritériumrendszert fogalmaztak meg az

$$F(K_I, K_{II}, K_{III}, K_{Ic}, K_{IIc}, K_{IIIc})=0$$

törési kritérium alakjára nézve. Ezek feszültségi, alakváltozási vagy pedig energetikai megfontolásokon alapulnak.

A gyakorlati alkalmazás szempontjából lényegesebb a rugalmas képlékeny törésre vonatkozó kritériumrendszer. Ennél a legnagyobb problémát a képlékeny alakváltozás miatt jelentkező mérrethetőség figyelembe vétele jelenti. Ebből adódóan számos ún. "kettős kritériumot" dolgoztak ki a törés feltételeinek kijelölésére. Ezek összefoglalása a **D. G. H. LATZKO** által szerkesztett könyvben megtalálható, így ismertetésüktől eltekintek.

4. UTÓSZÓ

Mint ahogy azt a bevezetésben említettem "*történetnél*" csak a "*történelmet*" nehezebb és kockázatosabb írni. A terjedelmi kötöttségek miatt a "*történet*" írásnál is igen-igen nagy a kockázat. A törésmechanika fejlődését tekintve nem írhattam

- az először 1838-ban megfigyelt kifáradásról (ezt a fogalmat a "fatigue" szóval először 1853-ben Braithwaite használta [47]), annak történetéről [45-53], a magyar származású, elismerésre méltóan hosszú életű **Kármán Tódor** (1881. május 11. Budapest, 1963. május 7. Aachen) szerepéről e tudományterület fejlődésében [15, 16], a vasúti közlekedés fejlődésének és a kifáradás területén folyó kutatások kapcsolatáról,
- az ugyancsak magyar születésű **Ludwig von Tetmajer**-nek a szilárdságtan és az anyagvizsgálat fejlődésében betöltött szerepéről*,
- a hazai szakembereknek, így elsősorban a "*Budapesti Iskola*" megteremtőjének **Gillemot Lászlónak** és követőinek munkásságáról,
- az alkalmazott szilárdságtanban igen jelentős szerepet vállaló, a Kievi Műszaki Egyetemen tanszéket alapító, majd 1922-ben USA-ba emigrált, irigylésre méltó hosszú életet élt (1878. december 23. Spotovka, 1972. május 29.-én Wuppertálban meghalt,

* TETMAJER Lajos munkásságának jelentőségéről e füzetben is található adatok.

urnáját lakóhelyén Palo-Altóban helyezték el lánya kívánságára) Sz. P. Timoshenko-ról [11-13],

- a műszaki fejlődés és a törési esetek gyakorisága közötti kapcsolatról, ennek szerepéről visszahatásairól az egyes területeken folyó kutatásokra, azok irányaira,
- az egyes történeti periódusokban készített áttekintő tanulmányokról, azoknak a további publikációk témaválasztásában játszott szerepéről.

E hiányosságok egy részét igyekszem azzal pótolni, hogy az említett problémákhoz kapcsolódva számos irodalmat gyűjtöttem össze, és adtam meg az irodalomjegyzékben.

IRODALOM

- [1] Tóth L., Haase D.W., Sebek M.: Az anyagvizsgálat rövid története. MTS Tréning Centrum. Miskolc. 1994. 50p.
- [2] Czoboly E.: A törésmechanika fejlődése és jelenlegi főbb irányai. Műszaki Tudomány. 1977. 43. évf. p. 391-412.
- [3] Fracture Mechanics Retrospective: Early Classic Papers.(1913-1965). Szerk.: Barsom J. M. ASTM, 1987.
- [4] Weiss, V., Yukawa.: Critical Appraisal of Fracture Mechanics. ASTM STP 381. 1965.
- [5] Rossmanith H.P.: Biographical Sketch of Prof. Dr. G.R. Irwin. ISTLI Founding Symposium. Bécs. 1993. November 18-19.
- [6] Panasjuk V. V.: An Outline of the Development of Fracture Mechanics and Strength of Materials Investigations. ICF 8. Kiev. A View from the Eastern Europe. Lviv, 1993. p.7-48.
- [8] Tóth L.: Fémek és szerkezetek törése. Alkalmazott törésmechanika. GTE Kiadvány. Budapest. 1986. II. fejezet.
- [9] Irwin G. R.: A törésmechanika fejlődése. A Technische Versuchsanstalt-on 1993. November 18-án tartott előadás, amelyről videofelvétel készült.
- [10] Girvin H. F.: A Historical Appraisal of Mechanics. International Textbook Company. Scranton. Pennsylvania. 1948. 253p.
- [11] Timoshenko S. P.: History of Strength of Materials. Mc.Graw-Hill Book Company. Inc. 1953.
- [12] Timoshenko S. P.: Strength of Materials. D. V. Nostrand Company, Inc. 1. Kiadás 1936, 2. kiadás 1941., 3. kiadás 1956.
- [13] Timoshenko S. P.: Vospominanija. Párizs 1963., Kiev 1993. Naukova Dumka. 424 p.
- [14] Pisarenko G. Sz.: Stephan Prokofjevich Timoshenko. Moskva. Nauka. 1991. 239p.
- [15] Örvények és Repülő. Kármán Tódor élete és munkássága. Kármán Tódor, Lee Edson. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1994. 339p.
- [16] Fatigue of Aircraft Structures. Szerk. Barros W., Ripley. Pergamon Press. 1963. International Series of Monographs in Aeronautics and Astronautics.
- [17] Mekhanika v CCCP za 50 let. Szerk. Szedov, L. I., Lavrentev, M. A., Mikhajlov, G. K., Muszhelisvili H. I., Chernov, G. G. Nauka. Moszkva. 1972. Parton V. Z., Cherepanov G. P. Mekhanika Razrushenija. p.365-468.
- [18] Barenblatt G. I.: O ravnovesnykh treshhinakh, obrazujushhissja pri khrupkom razrushhenii. Obshhie predstavlenija i gipotezy. Osesimmetrichnye treshhiny. Prikladnaja Matematika i Mekhanika. 1959. Vol. 23. vyp. 3. p.434-444.

- [19] Barenblatt G. I.: O ravnovesnykh treshhinakh, obrazujushhiesja pri khrupkom razrushhenii. Prjamolinejnye treshhiny v ploskikh plastinkakh. Prikladnaja Matematika i Mekhanika. 1959. Vol. 23. vyp. 4. p.706-721.
- [20] Barenblatt G. I.: The Mathematical Theory of Equilibrium Cracks in Brittle Fracture. Prikladnaja Matematika i Tekhnicheskaja Fizika. 1961/4. p.55-129.
- [21] Wieghard K.: Über das Spalten und Zerreißen elastischer Körper. Zeitschrift für Mathematik und Physik. 55. 1-2. pp. 60-103. 1907.
- [22] Inglis C. E.: Stresses in a Plate due to the Presence of Cracks and Sharp Corners. Transactions of Naval Architects. Vol. 55. 1913. p.219-230.
- [23] Griffith A. A.: The Phenomena of Rupture and Flow in Solids. Philosophical Transactions of the Royal Society. Vol. 221. 1920.
- [24] Westergaard H. M.: Bearing Pressures and Cracks. Trans. ASME 61. A-49. 1939.
- [25] Sneddon I. N.: The Distribution of Stress in the Neighbourhood of Crack in an Elastic Solid. Proc. R. Soc. Ser. A 187, 229. 1946.
- [26] Irwin G. R.: "Fracture Dynamics". Fracturing of Metals. American Society for Metals. Cleveland. 1948. p. 147-166.
- [27] Irwin G. R.: Onset of Fast Crack Propagation in High Strength Steel and Aluminium Alloys. Sagamore Research Conference Proceedings. Vol.2. 1956. p.289-305.
- [28] Irwin G. R.: Relation of Stress Near a Crack to the Crack Extension Force. Int. Congr. Appl. Mech. Brussels. 8. 1957. p.245-251.
- [29] Irwin G. R.: Analysis of Stresses and Strains Near the End of a Crack Traversing Plate. Journ. of Applied Mechanics. Vol. 24. p.361-364.
- [30] Cherepanov G. P. On Crack Propagation in Continuum. Prikladnaja Matematika i Mekhanika. 1967. No.3. p.467-493.
- [31] Rice J. R.: A Path Independent Integral and Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks. Trans. ASME. J. Appl. Mech. 1968. 379-386.
- [32] Begley J. A., Landes J. D.: The J-Integral as a Failure Criterion. ASTM STP 514. 1972. p.1-20.
- [33] Leonov M. Ja., Panasjuk V. V.: Razvitok hajdribnishikh trishhin v tverdomu tili. Prikladnaja Mekhanika, 1959. Vol. 5. vyp. 4. p. 391-401.
- [34] Vitvickijj P. M., Panasjuk V. V., Jarema S. Ja.: Plasticheskaja deformacija v okresnosti treshhiny i kriterii razrushenija. Problemy Prochnosti. 1973/2. p.3-19.
- [35] Panasjuk V. V.: Predelnye ravnovesie khrupkikh tel s treshhinami. Kiev. Naukova Dumka. 1968. 246 p.
- [36] Panasjuk V. V.: O vaznejshikh zadachakh issledovanijj po fiziko-khimicheskijj mekhanike razrushenija. Fiziko-khimicheskaja Mekhanika Materialov. 1974/4. p.3-13.
- [37] Panasjuk V. V.: O sovremennykh problemakh mekhaniki razrushenija. Fiziko-khimicheskaja Mekhanika Materialov. 1982/2. p.7-27.
- [38] Panasjuk V. V.: Deformacionnye kriterii v mekhanike rarrushenija. Fiziko-khimicheskaja Mekhanika Materialov. 1986/1. p.7-17.
- [39] Wells A. A.: Critical Crack Opening Displacement as Fracture Criterion. Proc. of the Crack Propagation Symp. Cranfield. Vol. I. 1961. p.210-221.
- [40] Dugdale D. S.: Yielding of Steel Sheets Containing Slits. Int. Journ. of Mech. and Phys. of Solids. Vol. 8. 1960. p.100-104.
- [41] Sih G. C.: Some Basic Problems in Fracture Mechanics and New Concepts. Engineering Fracture Mechanics. Vol.5. 1973. p.229-234.
- [42] Landes J. D., Begley J. A.: Fracture Mechanics Approach to Creep Crack Growth. ASTM STP 590. 1976. p. 128-148.

- [43] Nicholson R. D., Formby C. J.: The Validity of Various Fracture Mechanics Methods at Creep Temperatures. *International Journal of Fracture*. Vol. 11, 1975. p.595-604.
- [44] Taira S., Ohtani R., Kitamara T.: Application of J-Integral to High Temperature Crack Propagation. *Trans. of the ASME* Vol. 101., 1979. p. 154-161.
- [45] Albert W. A.: Über Triebseile am Harz. *Archiv. für Minerologie, Geognostik, Bergbau und Hüttenkunde*. Vol. 10. 1838. p. 215-234.
- [46] Rankie W. J. M.: On the Causes of Fracture of the Unexpected Breakage of Journals of Railway Axles; and on the Means of Preventing such Accidents by Observing the Law of Continuity in their Construction. *Min. Proc. Inst. Civ. Eng.* Vol. 2. Session 1843, 1842-1843. p. 105-108.
- [47] Braithwaite F.: On the Fatigue and Consequent Fracture of Metals. *Min. Proc. Inst. Civ. Eng.*, Vol.13.1853-54. p. 463-475.
- [48] Wöhler A.: Bericht über die Versuche, welche auf Königlichen Niederschleesisch-Märkischen Eisenbahn mit Apparaten zum Messen der Biegung und Verdrehung von Eisenbahnwagen-Achsen während die Fahrt angestellt wurden. *Zeitschrift für Bauwesen*. Vol. 8. 1858. p. 642-651.
- [49] Smith R. A.: The Versailles Railway Accident of 1842 and the First Research into Metal Fatigue. *Proc. of 4th. International Conference on Fatigue and Fatigue Thresholds*. 15-20 July, 1990. Honolulu. Ed. by H. Kitagawa, T. Tanaka. *Materials and Component Engineering Publications Ltd. Birmingham*. Vol. IV. p. 2033-2041.
- [50] Mann J. Y.: *Bibliography on the Fatigue of Materials, Components and Structures*. 1838-1950. Pergamon Press. 291 p.
- [51] Paris P. C., Gomez R. E., Anderson W. E.: A Rational theory of Fatigue. *The Trend in Engineering*. Vol.13. No.1. 1961. p. 9-14.
- [52] Paris P. C.: Twenty Years of Reflection on Questions Involving Fatigue Crack Growth. In *Fatigue Thresholds - Fundamentals and Applications*. Edited by Bäcklund J., Blom A. F., Beevers C. J., EMAS, 1982. Warley, Birmingham. p.3-10.
- [53] Schütz W.: Zur Geschichte der Schwingfestigkeit. *Mat.-wiss. und Werkstofftechnik*. Vol. 24. 1993. p. 203-232.
- [54] Grigorjan A. T., Pogrebiysskij I. B.: *Istorija Mekhanikii*. Nauka. Moskva. 1972.
- [55] *Fatigue Crack Growth. 30 Years of Progress*. Pergamon Press.1984. Szerk. R. A. Smith.
- [56] Simonyi K.: *A fizika kultúrtörténete*. Gondolat, Budapest. 1992 539 p.
- [57] Derry T. K., Williams T. I.: *A Short History of Technology. From the Earliest Times to A.D. 1900*. Dover Publications Inc. New York.1993. 782p.
- [58] Messadié G.: *Great Inventions through History*. Chambers. 1991. 237 p.
- [59] Rolt L. T. C.: *Victorian Engineering*. Penguin Books. 1970. 300 p.
- [60] Bunch B., Hellemans A.: *The Timetables of Technology*. Simon & Schuster. 1993. 490 p.
- [61] Paturi F. R.: *A Technika Krónikája*. Officina Nova. Budapest. 1991.
- [62] Orowan E.: Energy Criteria of Fracture. *Welding Journal*. Vol. 34. 1955. p. 1575-1605.
- [63] Orowan E.: *Transactions Inst. Engrs. Shipbuild. Scotland*. 1945. p.165.
- [64] Theocaris P. S., Andrianopulos N. P.: The Mises Elastic-plastic Boundary as the Core Region Fracture Criteria. *Engineering Fracture Mechanics*. Vol. 16. 1982. p. 425-432.
- [65] Papdopulos G. A.: The Influence of Geometry of Edge-cracked Plates on Crack Initiation. *Engineering Fracture Mechanics*. Vol.26. 1987. p. 945-954.
- [66] Spyropoulos C. P.: Some Remarks on the DET.-Criterion and Caustics. *Engineering Fracture Mechanics*. Vol. 43. No. 6. p. 1053-1061.
- [67] Latzko D. G. H., Turner C. E., Landes J. D., McCabe D. E., Hellen T. K. : *Post-Yield Fracture Mechanics*. Elsevier Applied Science Publishers.
- [68] Tetmajer L.: *Die angewandte Elastizitäts- und Fetiigkeitslehre*. Franz Deuticke. 1905.

Ludwig von Tetmajer - Tetmajer Lajos szerepe a hazai anyagvizsgálatok fejlődésében*

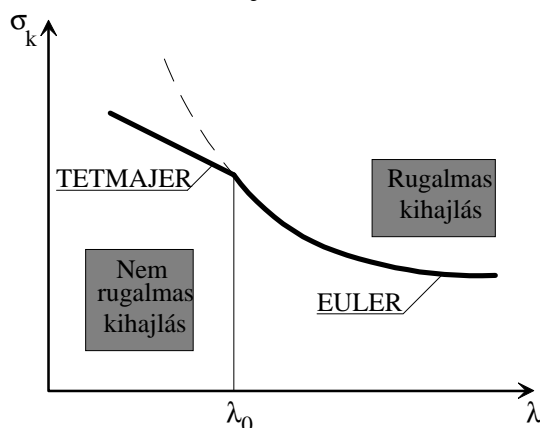
Dr. Tóth László

egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet

Bevezetés

Aki a karcsú rudak kihajlásának témaköréről hallott, annak az 1. ábra és a "Tetmajer" név azonnal eszébe jut.



1. ábra
Egyenes rudak kihajlását előidéző
feszültség (σ_k) a karcsúsági tényező (λ)
függvényében

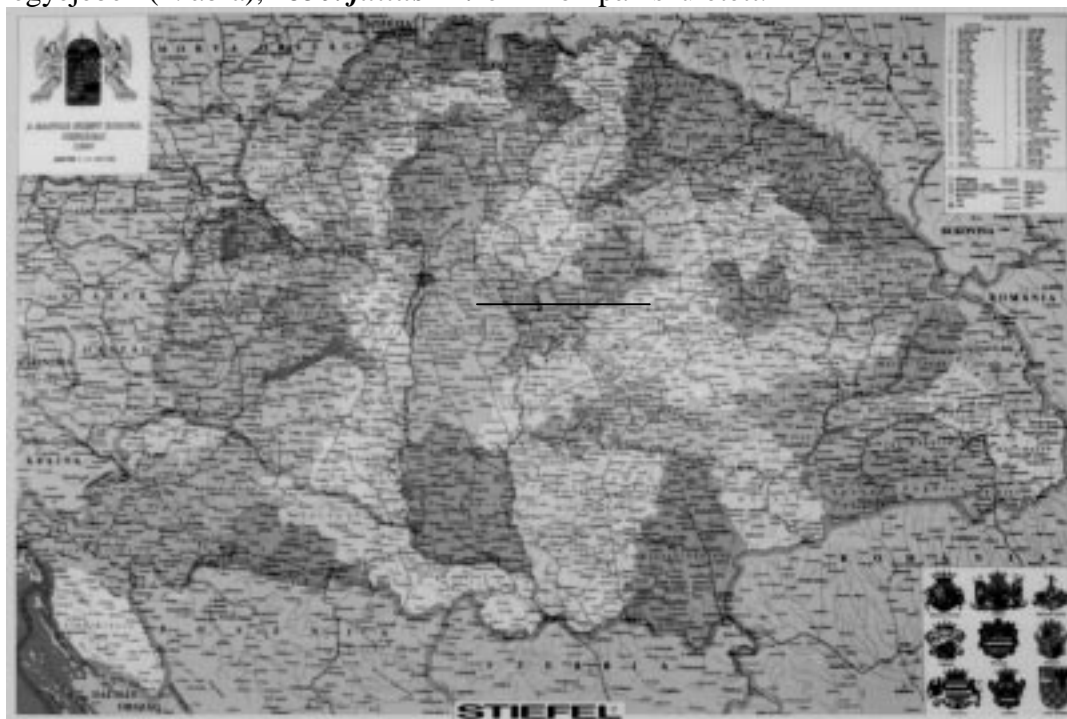
Ezek szerint a kihajlást előidéző rugalmas feszültség $\sigma_k = E\pi/\lambda^2$ összefüggéssel számítható, amelyben E - a rugalmassági (Young) modulus, λ - a karcsúsági tényező, amely a $\lambda = l_k/\sqrt{I/A}$ összefüggéssel számítható. Ez utóbbi kifejezésben l_k - a szabad kihajlási hossz, I - a másodrendű nyomaték, A - a keresztmetszet. Az előzők szerint a karcsúsági tényező csökkenésével a kihajlást előidéző feszültség hiperbolikusan növekszik. Ez az EULER-től származó megállapítás nyilvánvalóan csak egy meghatározott értékig, valamilyen λ_0 értékig igaz. Hogy meddig, és ezen érték alatt hogyan számítható a kihajlást okozó feszültség a századforduló egyik kutatási területe volt. Ha csak a híres magyar származású szakembereket tekintjük, akkor is két névnek feltétlenül eszünkbe kell jutni. Az egyik a hazánknak oly sok neves szakembert adó (Nicholas Káldor és Thomas Balogh közgazdászokat, Szilárd Leó, Hevesy György Nobel-díjas) budapesti Treford Gimnáziumot (amelynek neve akkor Minta volt) befejező, a 83 évet megélt **Kármán Tódor (1881-1963)** volt. Tanulmányait 1889-ben a

* Emlékezés az **Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének** alapítása 100 éves évfordulója alkalmából címmel rendezett konferencián elhangzott előadás alapján összeállítva. Miskolc, 1997. December 5.

kir. József Műegyetemen kezdte, 1905-től kezdődően Budapesten¹, majd később Göttingenben^{2,3} Ludwig Prandtl-nál a kihajlás témakörében folytatott tevékenységéről több publikációban számolt be⁴. Őt végül is nem az anyagvizsgálat, hanem a nevét viselő "örvények" tették halhatatlanná. E témát kutató másik "hazánkfia" **Ludwig von TETMAJER** volt, akinek nevét a kihajlással foglalkozó minden szakkönyvben megtalálhatjuk.

Tetmajer Lajos - Ludwig von TETMAJER**

De ki is volt Ludwig von TETMAJER és hogyan kapcsolódik hazánkhoz, Magyarországhoz és az anyagvizsgálathoz? Születését tekintve Miskolctól nem is oly messze kb. 100 km távolságra, a századforduló Magyarországnak Szepes megyéjében (2. ábra), **1850. július 14.-én** Krompán született.



2. ábra

A századforduló Magyarországnak megyéi

¹ Kármán T.: A kihajlás elmélete és a hosszú rudakon végzett nyomó-kísérletek. Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közleménye. XI. és XII.sz.

² Kármán T.: Die Knickfestigkeit gerade Stäbe. Physikalische Zeitschrift. Heft 9.

³ Kármán T.: Untersuchungen über Knickfestigkeit. Verein Deutscher Ingenieure. Heft 81.

⁴ Kármán T., Lee Edson: Örvények és repülők. Kármán Tódor élete és munkássága. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1994. 339 p.

** Tetmajer Lajos részletesebb életrajza megtalálható a következő munkákban:

1. **Jan Zielinski:** *Ludwig von Tetmajer Przerwa*, és ennek magyar fordításában:

2. Emlékezés az **Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének** alapítása 100 éves évfordulója alkalmából címmel rendezett konferencián elhangzott előadások kiadványa. p. Miskolc, 1997. December 5.

Ez a helység kb. azonos távolságra van Rozsnyótól és Kassától (lásd a 3. ábrát). Az **1905 január 30.**-án a Bécsi Műszaki Főiskola egyik előadótermében agyvérzést kapott és másnap hajnalban elhunyt. A mindössze 55 évet élt Tetmajer Lajos rövid élete során igen maradandót alkotott az anyagvizsgálat területén. Zürichben 1880-ban megalapította az *Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt*-ot, az EMPA elődjét, **1895. szeptember 9-11** között Zürichben rendezett nemzetközi anyagvizsgáló kongresszuson életre hívta az **Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetét** - az anyagvizsgálók első nemzetközi szervezetét. 1901-ben a *Bécsi Műszaki Főiskola professzoraként*, majd később 1904-ban *rektoraként* igen sokat tett e tudományterület fejlődéséért. A sokirányú tevékenységének részletes taglalása⁵ helyett most csak a hazai anyagvizsgálatok fejlődésében betöltött szerepét elemezzük. Ahhoz, hogy ezt megtehessek célszerű, sőt indokolt a kor ezirányú tevékenységét áttekinteni.



3. ábra

Tetmajer Lajos szülőhelye, **KROMPACH**

Az anyagvizsgálók nemzetközi és hazai szervezetének megalakulása

A múlt század második felében az ipari forradalom fontosabb vívmányainak centruma Angliából fokozatosan tevődött át a kontinensre, ahol Németország kétségtelenül a "motor" szerepét töltötte be. Ez maradéktalanul nyomon követhető az ipari termelés alakulásában, az oktatás fejlődésében, az ipari kutatások alakulásában, a kutató intézetek számában, az ipar fejlődésében. Ebből adódóan az anyagok felhasználási tulajdonságainak meghatározására, az anyagok szállítási feltételeinek egyértelmű deklarálására egyre fokozódott az igény. Ezen követelmények

⁵ Jan Zielinski: *Ludwig von Tetmajer Przerwa*

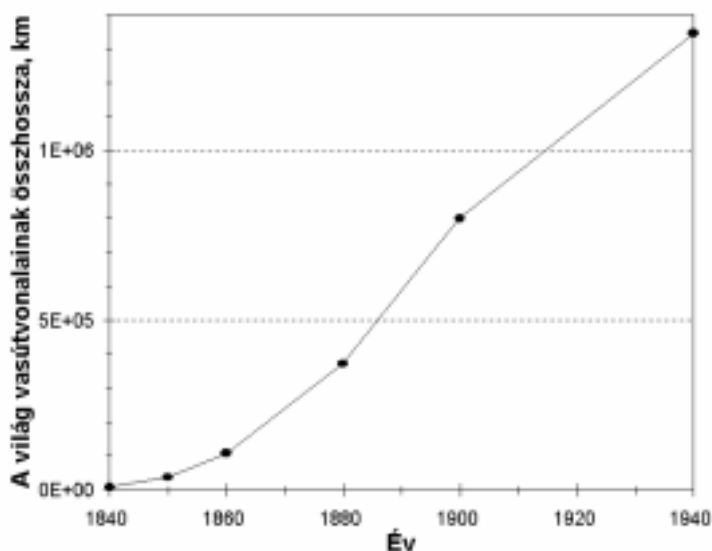
maradéktalanul csak szabványosított, azaz minden vizsgáló helyen azonos körülmények között végrehajtott vizsgálatokkal elégíthetők ki. **Johann Bauschinger** (1834-1893) a *Müncheni Műszaki Főiskola* professzora volt az, aki felismerte ennek szükségességét. Ahhoz, hogy ehhez megnyerje a szakma neves képviselőit, és tudatosítsa széles körben ennek jelentőségét, elengedhetetlenek voltak a szakmai tanácskozások, megbeszélések. Ez a törekvés indította el az ún. **Bauschinger-konferenciákat**. Ezek a következők voltak: 1884 München, 1886 Drezda, 1900 Berlin, 1903 Bécs. Bauschinger 1903-ban bekövetkezett halála felvetette a hogyan tovább kérdését. Ez oldódott meg azzal, hogy az **1895. szeptember 9-11.** között Zürichben tartott konferencia hivatalosan az **V. Kongresszus** volt, tehát a Bauschinger - konferenciákat mintegy folytatta e rendezvény, ahol megalakult az **Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezete**. A VI. Kongresszusra 1897. augusztus 23-25. között Stockholmban került sor. A Párizsba tervezett kongresszus 1899-ben a világkiállítás miatt elmaradt. A következő - **1901. szeptember 8-13.** között **Budapesten** volt. Ezen esemény természetesen igen nagy hatást gyakorolt a hazai anyagvizsgálat fejlődésére, amely a korszak dokumentumaiban is nyomon követhető.

Az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének megalakulása magával hozta a nemzeti szervezetek formálódását mindazon országokban, ahol az ipar produktuma számottevő volt, ahol az ipari termelés az ország húzó ágazata volt, ahol az export lehetősége a további fejlődést segítette. Így Németországban Karlsruhe-ban 1896. október 25.-én a *Német Anyagvizsgálók Egyesülete* (Deutscher Verband für Materialprüfung), míg kevesebb mint egy évvel később Budapesten **1897. június 16.-án** a *Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete* alakul meg a Kassán született *Rejtő Sándor* (1853. augusztus 21. Kassa - 1928. február 4. Budapest) kezdeményezésére. Érdekes és egyben elgondolkodtató e két egymástól nem több mint 60-80 km-re született szakember - *Tetmajer Lajos* és *Rejtő Sándor*- lehetséges kapcsolata és ennek szerepe a hazai anyagvizsgálat fejlődésében. Önmagában az a tény, hogy Budapest otthont adhatott a nemzetközi szervezet kongresszusának nyilvánvalóan jelentős hatással volt e tudományterület sorsának alakulására. A részletekbe menő áttekintés helyett ragadjunk ki csupán két momentumot. Az egyik legyen egy olyan vizsgálati technika meghonosodásának folyamata, amelyet a Budapesten tartott konferencián javasolt először **George CHARPY (1865-1925)**. Ez az **ütvehajlító vizsgálat**. A másik szemszög pedig legyen a szakemberek folyamatos kapcsolattartását biztosító folyóirat, az **Anyagvizsgálók Közleményének** megjelenése és "pályafutása".

Az ütvehajlító vizsgálat hazai fejlődése

A múlt század második felében a gazdasági élet fellendüléséhez igen nagymértékben hozzájárult a vasúti közlekedés, szállítás meghonosodása, elterjedése. Kissé sarkosan fogalmazva azt is mondhatjuk, hogy az országok fejlettségében, ipari kapacitásaiak felfutásában a vasútvonalak hosszának növekedése döntő szerepet játszott. Ennek oka kettős. Egyrészt maga a vasútépítés ténye, hisz ez önmagában is nagy felhasználó mind nyersanyag, mind pedig kész műszaki megoldások

(mozdonyok, kocsik, hidak, stb.) tekintetében, másrészt az is nyilvánvaló, hogy a szállítási feltételek javulásával az országok nyitottá, termékeik ismertté váltak. Ezzel megadatott annak lehetősége, hogy különböző termékek egyszerre nagy mennyiségben is szállíthatók lettek. A vasúti közlekedés fejlődését jellemezze a világ vasútvonalainak teljes hosszát bemutató 4. ábra. Az ábrán látható, hogy az addig (1825-1880) megépített mintegy 372.000 km összes hosszúsága az 1880-1900 közötti periódusban megduplázódott. Úgy is fogalmazhatunk, hogy 20 év alatt nagyobb hosszúságban került kiépítésre a vasúti hálózat, mint az azt megelőző 55 évben. A hirtelen felfutással azonban szükségszerűen együtt jártak a nem várt vasúti balesetek is. Ezek közül a legjellegzetesebbnek a sántörések és az ütésnek kitett alkatrészek nem várt törései bizonyultak. Ennek alapvető oka az volt, hogy a törések az anyagok képlékeny alakváltozása nélkül következtek be, azaz a szakítóvizsgálat során képlékenynek mutakozó anyagok ütés hatására rideggé váltak. E problémák két fontos kérdést indukáltak: egyrészt, hogyan küszöbölhetők ki e törések, másrészt, milyen vizsgálati módszerekkel minősíthetők a sínek?



4. ábra
A világ vasútvonalainak
összes hossza

Ez a tény vezette George Charpy-t, hogy a budapesti kongresszuson javaslatot tegyen az anyagok szívósságának vizsgálatára bemetszett próbatesteken, lehetővé téve ezzel a kisebb méretű próbatesteken az anyagok ütéssel szembeni ellenállásának meghatározását, és ezzel azok minősítését. Ezen kérdés korabeli jelentőségét szemléltesse az 1. táblázat, amelyben az egymást követő négy kongresszuson elhangzott előadások tematikáinak részaránya látható.

A táblázatot szemlélve két igen lényeges megállapítást tehetünk:

- a századfordulón főleg az anyagok szállítási feltételeinek definiálásával foglalkoztak a szakemberek és e kérdés súlya idővel csökkent, mivel a megegyezések szabványok formájában kikristályosodtak, és ezeket a szabványokat mind a szállítók, mind pedig a vevők elfogadták, magukra nézve kötelező érvényűnek tekintették,
- az ütővizsgálat részaránya fokozatosan növekedett.

1. táblázat

Az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének Kongresszusain
elhangozott előadások tematikáinak részaránya

TÉMA	Budapest 1901	Brüsszel 1906	Koppenhága 1909	New York 1912
Mechanika, eljárás technika	■	■		
Szállítási feltételek	■	■	■	■
Ütővizsgálat		■	■	■
Keményiségmérés		■	■	■
Metallográfia		■	■	■
Alapanyagok		■	■	■
Mágneses, elektromos mérés technika		■	■	■
Hegesztés, hegeszthetőség			■	■
Tartamszilárdsági viszonyok			■	■
Korrózió, korrózióvédelem			■	■

Ez a tény a hazai szakmai életben is nyomon követhető. **Dr. Bartel János**⁶ volt az, aki figyelmét e vizsgálati technikára fordította. Nem véletlenül tette ezt, hisz 1915-ben kinevezték a Rimamurányi-Salgótarjáni Vasmű Rt. igazgatójává és így az anyagok szívósságának megítélése számára napi problémát jelentett. Az Anyagvizsgálók Közlönyének 1915 évi (második évfolyam) első⁷ és második⁸ számában mintegy 50 oldalas közleményt publikált. Igen figyelemre méltó, ahogyan a közleményt indítja: *"Minden szerkezeti anyagot arra a sajátságára nézve kell kipróbálni, amelyre azt használat közben igénybe vesszük. Ezért a lökésnek kitett szerkezetek anyagait, mint pl. a vasúti síneket, ütéspróbával is vizsgálják. De az a körülmény, hogy olyan síneken és egyéb szerkezeti elemeken is előfordultak törések, amelyek anyaga ütéspróba alá vetve jónak mutatkozott, indokoltá tette a közönséges ütéspróba helyett érzékenyebbnek, t.i. a bemetszett rudak ütéspróbájának alkalmazását. Ennek az eljárásnak nemcsak az az előnye, hogy rendkívül érzékeny, hanem az is, hogy megengedi az anyagok minőségileg más, a gyakorlathoz közelebb álló osztályozását, mint amelyre a szakítókísérlet alkalmat ad".* Példaképpen a Zeitschrift d.V. Deutscher Ing. 1907. évfolyamának 1977. oldaláról közli a következő táblázatot.

2. táblázat

Két azonos szilárdsági és alakváltozási jellemzőjű anyag szívósságának különbsége

	Szakító szilárdság kg/mm ²	Tejes nyúlás %	Kontrakció %	Fajlagos ütőmunka mkg/cm ²
I. anyag	43.3	26.5	64	4.6
II. anyag	46.5	26.3	63	22.4

⁶Terplán Z: Bartel János. Műszaki nagyjaink. 5. kötet. GTE Kiadás, Budapest 1981. 111-136.

⁷Bartel János: A bemetszett rudak hajlító ütéspróbája. Anyagvizsgálók Közlönye. 1915/1. p.3-32.

⁸Bartel János: A bemetszett rudak hajlító ütéspróbája. Anyagvizsgálók Közlönye. 1915/2. p.33-52.

A táblázat számadataiból látható, hogy a szakítóvizsgálattal azonosnak minősített anyagok bemetszett ütőpróbáin mért szívóssága jelentősen különbözik, az eltérés mintegy ötszörös.

Ebben az időszakban komoly érdeklődés és ezzel vita is alakult ki a próbatestek kialakítása, geometriai méreteinek és a vizsgáló gép jellemzőinek tekintetében. A Koppenhágában 1909-ben tartott kongresszuson elfogadták a 30x30x160 mm-es és a jelenleg is minimális módosítással használt 10x10x53 mm (napjainkban 10x10x55 mm) méretű próbatestek használatát. A bemetszés tekintetében napjainkban már jelentős eltérés van, hisz korábban a próbatest közepéig benyúló 4 mm, illetve 4/3 mm átmérőjű furatot fogadták el. A támaszköz értéke 120 mm, illetve 40 mm volt. A bemetszés és a vizsgálat milyensége körül zajló szakmai vitákat már önmagában is jól érzékelteti az a tény, hogy a precizitásukról híres német anyagvizsgálók egyik 1961-ben kiadott lexikona⁹ a "Kerbschlagbiegeversuch" címszó alatt (p. 344-346) 27-féle próbatest típust foglal táblázatba. A vizsgáló berendezés jellemzőinek tekintetében az említett, Koppenhágában tartott kongresszus a 10 mkg, a 25 mkg, a 75 mkg és a 250 mkg energiájú Charpy-féle (ingás) ütőműveket javasolta. Bartel említett cikkeiben elemzi a mérethatas, a hőmérséklet és az ütési sebesség szerepét. Munkáját, annak részeit nyilvánvalóan már korábban is publikálta, hisz a Nemzetközi Anyagvizsgáló Szövetség Közleményei szerint¹⁰ az orosz cár védnökségével 1915. augusztus 12-17. között St. Pétervárott tartott kongresszusán a G. Charpy vezette "*Bemetszett rudak vizsgálata ütéssel*" címet viselő munkacsoport tagja volt. Érdekes, és egyben figyelemre méltó, hogy a különböző munkacsoportoknak hét magyar tagja volt.

Anélkül, hogy részletesebben elemeznénk e században az ütővizsgálat hazai alkalmazásával kapcsolatos tevékenységet azt mondhatjuk, hogy e területen sikerült a hagyományokat méltóképpen képviselni. Ez kitűnik a Gillemot László akadémikus köré csoportosult kutatók, illetve a Miskolci Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke szakembereinek munkáiból is. Példaként megemlíthető, hogy mind a hagyományos, mind pedig a vizsgálatok magasabb szintjét jelentő ú.n. műszerezett ütővizsgálatok információtartalmának vizsgálatát tekintve nemzetközi téren is elfogadott eredmények születtek. Ezek Konkoly Tibor, Rittinger János, Fehérvári Attila, Gillemot Ferenc, Tóth László és Lenkeyné Biró Gyöngyvér nevéhez fűződnek¹¹, mint ahogy az kitűnik a Miskolc-Tapolcán 1995. április 3-6 között rendezett V. Törésmechanikai Szeminárium anyagából is. A történelmi hűség megkívánja, hogy Ziaja György, valamint Vízgy György és Sárvári József törekvéseit, tevékenységét is megemlítsük, amelyet a műszerezett ütővizsgálatok meghonosítása érdekében tettek. Napjainkban az European Structural Integrity Society keretében a műszerezett ütővizsgálat témakörével, és ezen eljárás szabványosításával foglalkozó munkacsoportban hazánkat Lenkeyné Biró Gyöngyvér képviseli. A hazai tevékenység egyik nemzetközi elismertségének egyik fokmérője lehet az is, hogy a vizsgálat bevezetésének centenáriuma alkalmából szervezendő nemzetközi konferencián

⁹ Lueger Lexikon der Technik. Band 3. Werkstoffe und Werkstoffprüfung. Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart. 1961.816.p.

¹⁰ A NemzetköziAnyagvizsgáló Szövetség Közleményei. Anyagvizsgálók Közlönye. 1914. p.27-31.

¹¹ V. Törésmechanikai Szeminárium. Miskolc-Tapolca. 1995. április 3-6.

(CHARPY Centenary Conference – CCC 2001, Poitiers, Franciaország, 2001 október 3-5.) a vizsgálat fejlődéstörténetével foglalkozó szekció megszervezésére és vezetésére a konferencia szervező bizottsága felkért.

Az Anyagvizsgálók Közlönye

A pezsgő szakmai élet nyilvánvalóan kiköveteli magának az írásbeliség megjelenését is, lehetővé téve ezzel, hogy az eredmények szélesebb körű megismertetését. A lap **1914. június 25.**-én megjelent első számában az elnök, **Rejtő Sándor** erről így ír: *"Folyó évi közgyűlésünkön (XVII. rendes Közgyűlés, 1914. április 25.)¹² kifejtettem, hogy egyesületünknek szellemi kapocs létesítése céljából tudományos színvonalon álló szaklapra van szüksége, amelynek útján tagjaink a magyar tagok munkásságáról, valamint a külföldiek ez irányú tevékenységéről tájékoztatást nyernének, hogy eszmetársulás alapján a tudományt előbbre vihessék. Ez a szaklap gyakorlatban működő szaktársainkat a tudomány legújabb vívmányaiival ismertetné meg, hogy azokat a gyakorlati életbe hosszas előtanulmány nélkül átvihessék s ezzel iparunk haladását és versenyképességét előmozdítsák".* **Miklósi Kornél** a lap szerkesztője - még ugyanebben az évben ezt a feladatot Varga Bálint veszi át "hadbavonult" elődjétől^{13,14} - előszavában a következőképpen fogalmaz: *"Hazánk ipara elég nagy ahhoz, hogy az anyagvizsgálat problémáival behatóan foglalkozzunk, s mert ennek fejlődése s minden téren való érvényesülése kedvező befolyást gyakorol az iparra, azért azzal a kéréssel fordulok hazánk mérnökeihez, hogy a gyakorlati működésük folyamán talált eredményeket minél nagyobb számban engedjék át közlésre lapunknak, másrészt, hogy a külföldi irodalom újabb termékeit lapunkban ismertessék"*

A fenti idézetekből több következtetésre is juthatunk. Az egyik nyilvánvalóan az, hogy 1914.-ben már 17. közgyűlését tarthatta a Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete, amelynek megalakulása csupán két évvel követte az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének létrehozását, azaz a hazai szakemberek szinte azonnal belátták a nemzetközi szakmai szervezet és az abban végzendő tevékenység fontosságát. Ezt a munkát alapvetően Rejtő Sándor fogta össze, aki 1889. május 13.-án rendkívüli tanár kinevezést kap a kir. József Műegyetemre. A német nyelvterületen akkor általánosan elfogadott mechanikai technológiák oktatásának felfuttatásával ettől az időponttól tekinthető önálló tanszéknek a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke¹⁵. Az anyagvizsgálat hazai jelentőségét fémjelzi, hogy az akkor még egyetlen műszaki ismereteket oktató egyetem, a kir. József Műegyetem, majd Budapesti Műszaki Egyetem három volt rektora - *Rejtő Sándor, Misángyi Vilmos* és

¹² a szerző megjegyzése

¹³ lásd. az 1914. november 17.-én kelt Választmányi Ülés Jegyzőkönyvét. Anyagvizsgálók Közlönye. 1914. p. 125-128.

¹⁴ Varga Bálint: Második évfolyamunk. Anyagvizsgálók Közlönye. 1915/1. p.1-2.

¹⁵ Artinger I.: 100 éves a Mechanikai Technológiai Tanszék. Gép XLI. évf. 1989. 10. szám. p. 362-374.

Gillemot László - is szorosan kötődött az anyagvizsgálat tudományterületéhez, megteremtve ezzel e tudományterület súlyát az oktatásban is.

Az elnöki beköszöntőből levonható másik lényeges következtetés az, hogy iparunk fejlett volt hisz, mintegy kikövetelte a lap megjelenését. Az iparunk helyzetének elemzése helyett elegendő csupán, ha ma is jól ismert neveket és létesítményeket sorolunk fel, Bánki Donát (1859-1922) Pattantyús-Ábrahám Géza (1885-1956), Csonka János (1852-1939), Jendrassik György (1898-1954), Mechwart András (1834-1907), Zipernowsky Károly (1853-1942), Déri Miksa (1854-1938), Kandó Kálmán (1869-1931), Bláthy Ottó Titusz (1860-1939), a már említett és életének döntő hányadát külföldön, főképpen az USA-ban eltöltött Kármán Tódor (1881-1963), illetve Galamb József (1881-1955) és még hosszasan sorolhatnánk a napjainkban is ismerősen csengő neveket¹⁶. Hasonló felsorolást adhatnánk azon létesítményekről is, amelyekben ma is gyönyörködhetünk.

Az Anyagvizsgálók Közlönyének megindítása és fenntartása természetesen a megfelelő anyagi háttér megteremtését igényelte. E forrásokról és azok felhasználásáról rendszeresen tájékozódhattak az olvasók a lapban. A lap indításához szükséges tőke előteremtése kapcsán Rejtő Sándor így ír *"Én bennem azonban élt a hit, hogy Magyarországon a technikai tudományok tisztelete már általános és hogy az iparunk élén álló szakférfiak ismerik a tudománynak az iparra gyakorolt általános hatását és készek annak fejlődését még anyagi áldozatok árán is elősegíteni. Hitemben nem csalódtam."* Ennek megfelelően 5150 korona gyűlt össze a lap indításához.

A hányatott sorsú lapnak összesen 22 évfolyama és 116 száma jelent meg, miközben az első világháborút követően tíz évig szünetelt a kiadása (5. évfolyam 1918., 6. évfolyam 1928). A Gillemot László felelős kiadó nevével jegyzett utolsó szám 1944.-ben jelent meg, témája a kor igényeivel egyezően *"A háborús gyorsacélok"*¹⁷ volt. A közölt cikkeket áttekintve igen sok érdekes dolgot lehetne említeni azok közül, amelyek Rejtő Sándor és Miklósi Kornél a lap első számában megfogalmazott törekvéseinek helyességét igazolják. A Miskolci Egyetem volt oktatói közül a Mechanikai Technológiai Tanszék volt vezetője Zorkóczy Béla (1898-1975) hegesztés témakörben¹⁸ 1930-ban, Sályi István volt rektorunk és a Mechanika Tanszék volt vezetője pedig 1933-ban a washingtoni National Bureau of Standards-ról írt, amelynek meglátogatását az 1931-32 évekre kapott Smith Jeremiás ösztöndíj tett lehetővé számára¹⁹. Ugyancsak Sályi István publikál 1936-ban is, az 1935-ben benyújtott műszaki doktori értekezésének témaköréből,²⁰ a beton lassú alakváltozásának sajátosságairól.

¹⁶ Műszaki nagyjaink. GTE Kiadás 1-6. kötet.

¹⁷ Vietorisz József: A háborús gyorsacélokról. Anyagvizsgálók Közlönye. 1944/1. p.1-28.

¹⁸ Zorkóczy Béla: A hegesztés technológiája és korszerű alkalmazásai. Anyagvizsgálók Közlönye. 1930. p.101-136.

¹⁹ Springer István: A washingtoni National Bureau of Standards. Anyagvizsgálók Közlönye. 1933. p.160-168.

²⁰ Sályi (Springer) István: A beton lassú alakváltozása. Anyagvizsgálók Közlönye. 1936/1. 1-34.

A lap - mint említettem - a II. világháború után nem jelent meg. A hazai anyagvizsgáló szakemberek számára új lap e témakörben csupán 1991-ben jelent meg újból, az anyagvizsgáló eszközöket forgalmazó TESTOR Bt. kiadásában. A negyedévenként napvilágot látó lap első számának előszavában a kiadó vezetője, Szappanos György így ír: *"Nem öncélú publicisztikák gyűjteményét kívánjuk kiadni, hanem gyakorlati tapasztalatokat közvetíteni és feladatok vizsgálati megoldásainak sok kísérletezéssel megszerzett know-how-ját átadni. Szeretnénk írásos fóruma lenni annak, hogy megtalálják egymást az azonos feladatokkal foglalkozó kollégák"*.

Érdemes összevetni a két - az 1914-ben és a 77 évvel később megjelent - bevezetőt. Mindkettő az anyagvizsgálattal, annak gyakorlati alkalmazásával foglalkozó hazai szakembereknek kíván fórumot adni. Ezen tevékenység megindulásához pedig igen jelentősen járult hozzá TETMAJER Lajos, aki nemzetközi tevékenysége, tekintélye folytán sokat tett azért, hogy szakembereink időben felkerüljenek arra a "közös nemzetközi hajóra", amelyet anyagvizsgálatnak nevezünk.

A Tetmajerről kialakított hazai kép nem lehet teljes anélkül, hogy ne említenénk meg melyek azon munkái, amelyek az Országos Műszaki Könyvtárban ma is megtalálhatók, amelyek ma is forgathatók. Ezen munkák - többnyire könyvek címlapjainak másolatát a melléklet tartalmazza.

ELLENŐRIZVE:
1958

Mitteilungen
der Materialprüfungs-Anstalt
am schweiz. Polytechnikum in Zürich.

C 579

VIII. Heft.

11081

1972

Die Gesetze der Knickungs-
und der zusammengesetzten Druckfestigkeit
der technisch wichtigsten Baustoffe.

Bearbeitet von

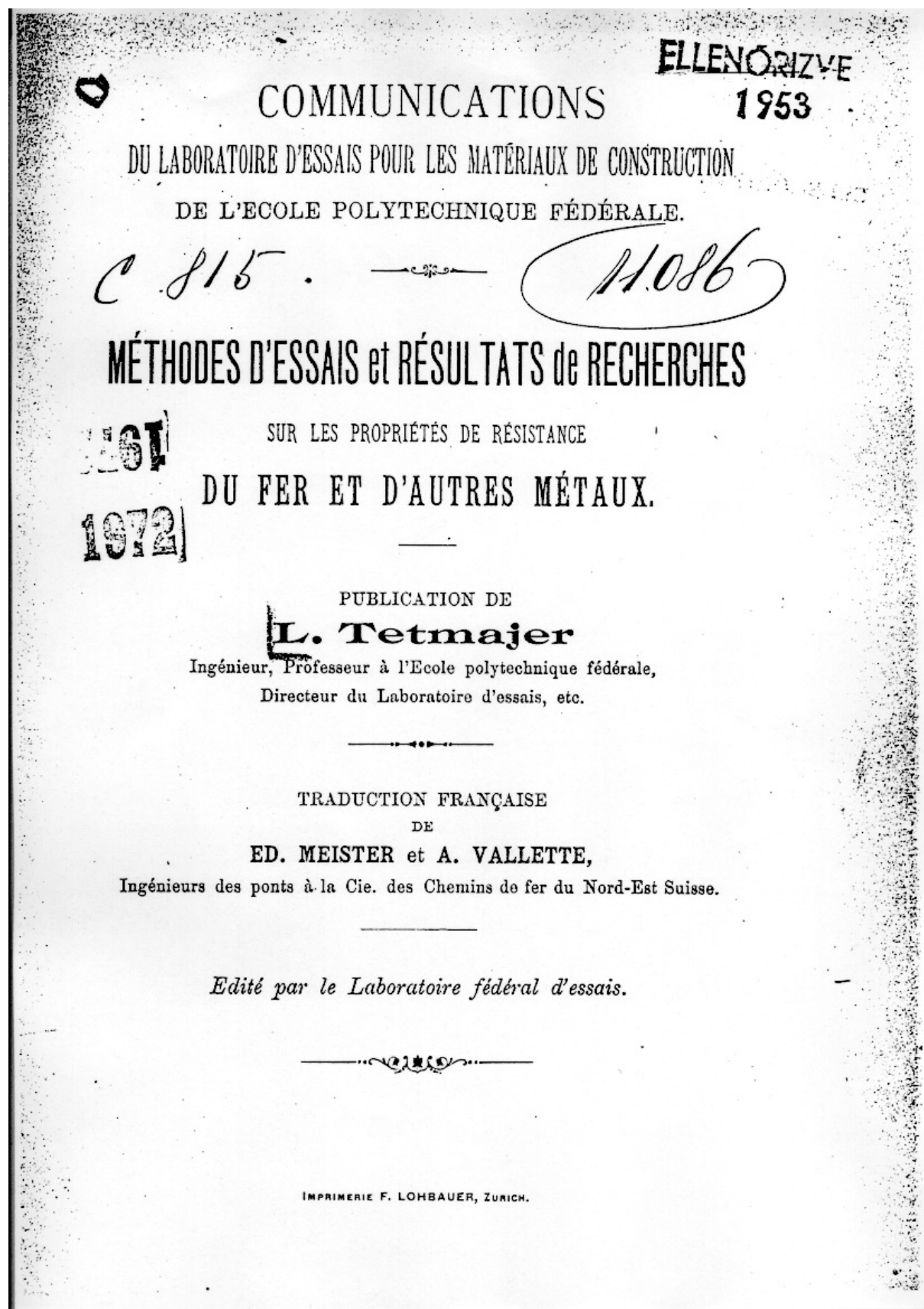
Prof. **L. Tetmajer**,
Direktor der Materialprüfungs-Anstalt.

Zweite vervollständigte Auflage.

Selbstverlag der Anstalt.

ZÜRICH

Druck von A. Markwalder, Bleicherweg 10.
1901.



C 51746

~~1055.~~

DIE ANGEWANDTE

39464

ELASTIZITÄTS- UND FESTIGKEITS-
LEHRE.

ELLENŐRIZVE
1953

AUF GRUND DER ERFAHRUNG

BEARBEITET VON

L. v. TETMAJER,

PROFESSOR DER TECHN. HOCHSCHULE WIEN,
MITGLIED DER KÖNIGL. SCHWED. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN, ETC. ETC.



ZWEITE, VOLLSTÄNDIG UMGEARBEITETE AUFLAGE.

KÖZPONTI MŰSZAKI KÖNYVTÁR

MIT 274 ABBILDUNGEN IM TEXTE UND 10 TAFELN.

KÖZPONTI MŰSZAKI KÖNYVTÁR

LEIPZIG und WIEN.
FRANZ DEUTICKE.
1904.

C. 51842.

KÖZPONTI MŰSZAKI KÖNYVTÁR

DIE ANGEWANDTE

ELASTIZITÄTS- UND FESTIGKEITS- LEHRE.

AUF GRUND DER ERFAHRUNG

BEARBEITET VON

L. v. TETMAJER,

PROFESSOR DER TECHN. HOCHSCHULE WIEN,

MITGLIED DER KÖNIGL. SCHWED. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN, ETC. ETC

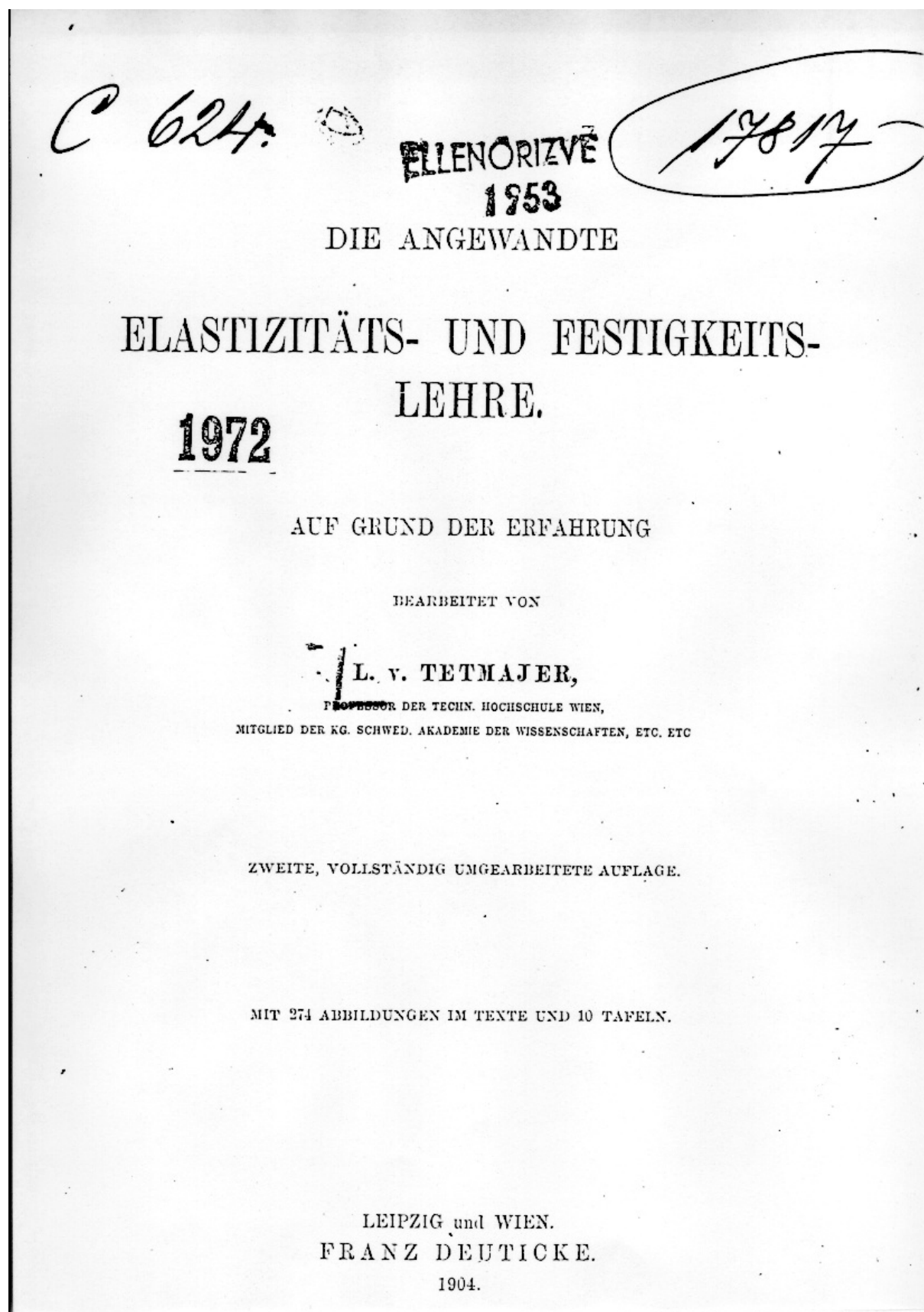
~~ZWEITE~~ VOLLSTÄNDIG UMGEBEARBEITETE AUFLAGE.

MIT 274 ABBILDUNGEN IM TEXT UND 10 TAFELN.

LEIPZIG und WIEN.
FRANZ. DEUTSCHE.
VERLAG

ELLENÖRIZVE 1953-94.

39591
ELLENÖRIZVE
27 1953
4/10



Bericht

651.497

über das

39156

Verhalten der Thomasstahlschienen

auf den

ELLENŐRIZVE
1953

schweizerischen Eisenbahnen.

Gewidmet den

Mitgliedern der kg. ung. Schienenenquete

von

Prof. L. Tetmajer.

KÖZPONTI MŰSZAKI KÖNYVTÁR

ZÜRICH

Druck von F. LOHBAUER, Rämistrasse 12.
1893.

Landesausstellungs-Ausgabe 1896.

ELLENÖRIZVE
1953

Mitteilungen
der Materialprüfungs-Anstalt
am schweiz. Polytechnikum in Zürich.

C 302

I. Heft.

11083

1972

Methoden und Resultate

der Prüfung

künstlicher und natürlicher Bausteine.

Zusammengestellt von

Prof. **L. Tetmajer**

Direktor der Materialprüfungs-Anstalt am schweiz. Polytechnikum, etc.

Dritte vervollständigte Auflage.

Selbst-Verlag der Anstalt.

ZÜRICH

Druck von F. LOHBAUER, Rämistrasse 12
1900.

C. 306

ELLENŐRIZVE
1953

2683

Mitteilungen
der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien
am eidgen. Polytechnikum in Zürich.

1972

5. Heft.

Bericht über den Neubau, die Einrichtung
und die Betriebsverhältnisse
des schweizer. Festigkeitsinstitutes.

Zusammengestellt von

L. Tetmajer

dipl. Ingenieur, Professor am eidgen. Polytechnikum, Vorsteher der Anstalt
zur Prüfung von Baumaterialien, etc.



Selbst-Verlag der eidgen. Festigkeits-Anstalt.

ZÜRICH

Druck von F. LOHBAUER, Ramistrasse 12.
1893.

BERICHT
ÜBER DIE
MÖNCHENSTEINER BRÜCKEN-KATASTROPHE.

DEM VORSTEHER DES SCHWEIZ. POST- UND EISENBAHNDEPARTEMENTS

ERSTATTET

VON DEN TECHNISCHEN EXPERTEN

PROF. RITTER UND TETMAJER.



MIT 26 TEXTEFIGUREN UND 12 TAFELN.

ZÜRICH
DRUCK VON ZÜRCHER & FERRER
1891.

C. 305

C. 52.

ELLENŐRIZVE

1913

2217

Mittheilungen

der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien
am eidgen. Polytechnikum in Zürich.

1872

4. Heft:

Methoden & Resultate

der Prüfung der

Festigkeitsverhältnisse des Eisens und anderer Metalle.

Zusammengestellt von

L. Tetmajer

Ingenieur, Professor am eidgen. Polytechnikum, Vorsteher der Anstalt
zur Prüfung von Baumaterialien, etc.



Selbst-Verlag der Eidg. Festigkeits-Anstalt.

ZÜRICH

Druck von F. Lohbauer, Rämistrasse 12.
1890.

C. 305

C. 52.

ELLENŐRIZVE

1913

2217

Mittheilungen

der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien
am eidgen. Polytechnikum in Zürich.

1912

4. Heft:

Methoden & Resultate

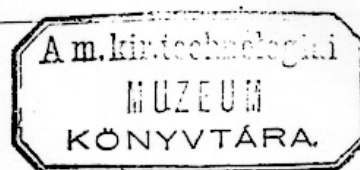
der Prüfung der

Festigkeitsverhältnisse des Eisens und anderer Metalle.

Zusammengestellt von

L. Tetmajer

Ingenieur, Professor am eidgen. Polytechnikum, Vorsteher der Anstalt
zur Prüfung von Baumaterialien, etc.



Selbst-Verlag der Eidg. Festigkeits-Anstalt.

ZÜRICH

Druck von F. Lohbauer, Rämistrasse 12.
1890.

C 5987

ELLENŐRIZVE
1963

~~1218~~

4164

1972

DIE

BAUMECHANIK.

VON

L. TETMAJER

PROFESSOR AM SCHWEIZ. POLYTECHNIKUM.

II. THEIL:

Die angewandte Elasticitäts- und Festigkeitslehre

1. Hälfte.

MIT 205 HOLZSCHNITTEN UND 5 LITHOGR. TAFELN.



ZÜRICH.

DRUCK UND VERLAG VON ZÜRCHER UND FURRER.

1889.

5/98

5704

Internationaler Verband für die Materialprüfungen der Technik.

Kongress in Stockholm 1897.

C 10269

Beitrag

zur

Lösung der Aufgabe No. 13

betreffend die

Bestimmung der Normalkonsistenz zur Aufsuchung der Mörtelfestigkeit hydraulischer Bindemittel, insbesondere Ermittlung der Bedingungen, durch welche gleiche Dichte der Zug- und Druckproben erzielt werden kann.

Der 2. Sektion des Kongresses zur Beratung vorgelegt

von

Ingenieur A. Greil,

und

Prof. L. v. Tetmajer,

Vorsteher der städtischen Materialprüfungs-
station in Wien,

Direktor der schweizerischen Materialprüfungs-
anstalt in Zürich.

✱

ASSOCIATION INTERNATIONALE POUR L'ESSAI DES MATÉRIAUX.

Congrès de Stockholm 1897.

OBSERVATIONS,

RELATIVES

A LA RÉOLUTION DU PROBLÈME N^o 13.

Détermination de la consistance normale pour la recherche de la résistance des mortiers faits avec des agglomérants hydrauliques; en particulier recherche des conditions qui permettent d'obtenir une densité égale des éprouvettes de traction et de compression.

Présenté à la deuxième section du congrès

par

Mr. A. GREIL,

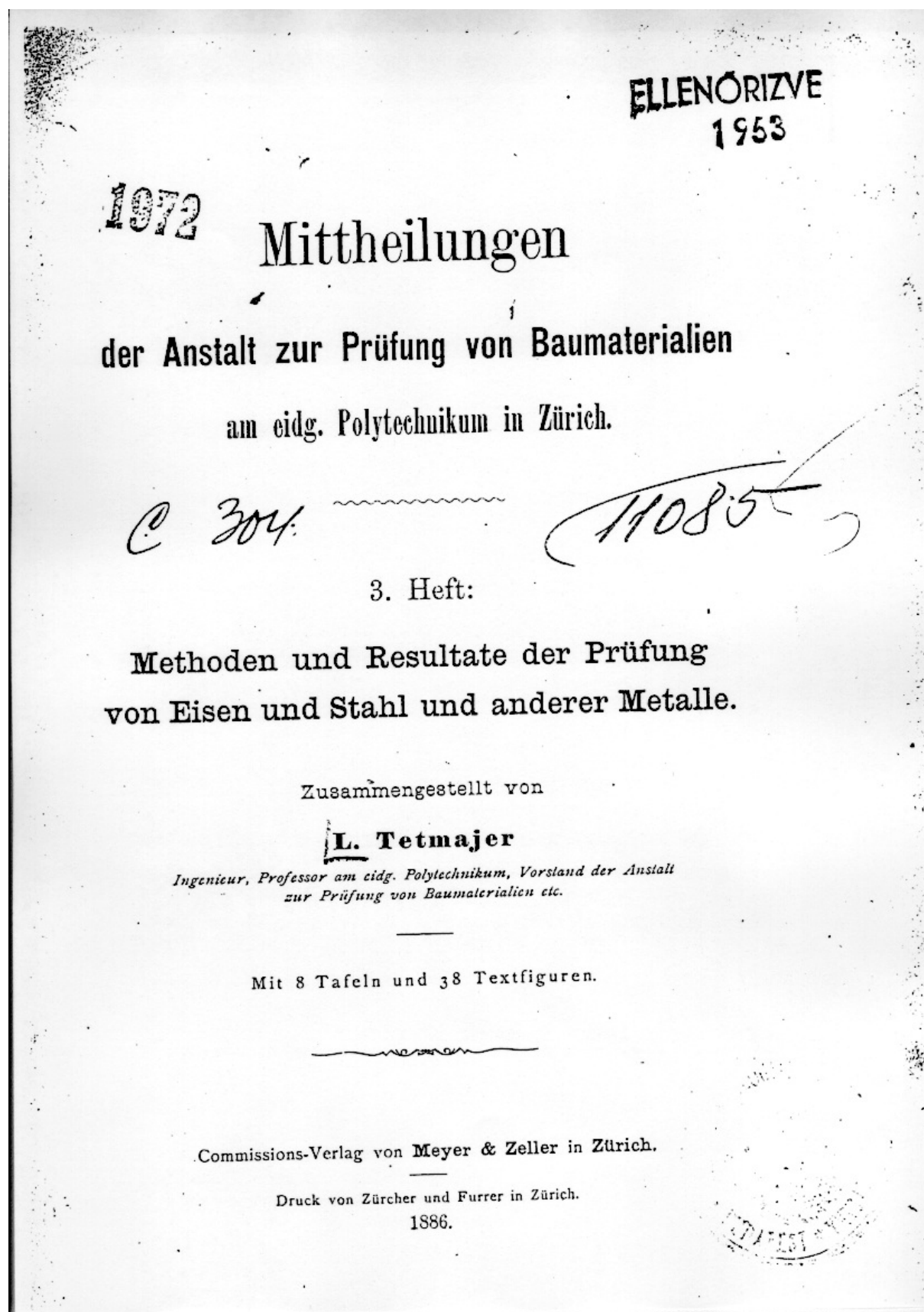
et

Mr. L. de TETMAJER,

ingénieur, chef du laboratoire d'essai municipal
à Vienne,

professeur et directeur du laboratoire fédéral
pour l'essai des matériaux à Zurich.

Typ. ZÜRCHER & FÜRNER - ZÜRICH.





C. 51881

KÖZPONTI MŰSZAKI KÖNYVTÁR

Mittheilungen

39651

der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien **ELLENÖRIZVE**
am eidg. Polytechnikum in Zürich. 1953

2. Heft:

Methoden und Resultate der Prüfung
der schweiz. Bauhölzer.

Bearbeitet von

L. Tetmajer

*Ingenieur, Professor der Bauschule, Vorstand der Anstalt zur Prüfung
von Baumaterialien am eidg. Polytechnikum etc.*

ZÜRICH.

Commissionsverlag von MEYER & ZELLER.

1884.

C. 302
~~C. 604~~

FL ENORIZVE

1963

2681

Mittheilungen

der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien
am eidg. Polytechnikum in Zürich.

1972

1. Heft:

Methoden und Resultate der Prüfung natürlicher
und künstlicher Bausteine.

Bearbeitet von

L. Tetmajer

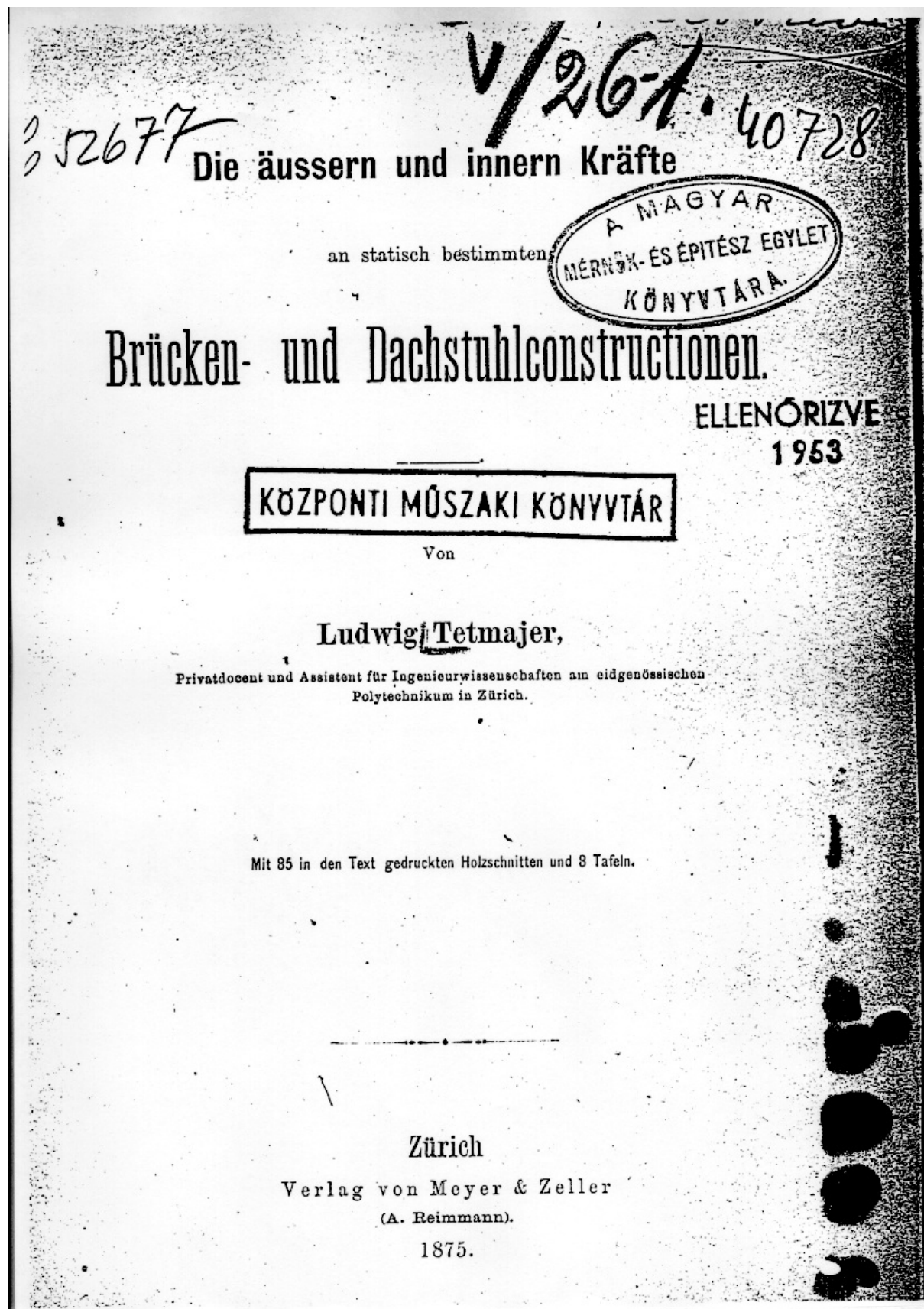
*Ingenieur, Professor der Bauschule, Vorstand der Anstalt zur Prüfung
von Baumaterialien am eidg. Polytechnikum etc.*



ZÜRICH.

Commissionsverlag von MEYER & ZELLER.

1884.





A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete alapításának 100 éves évfordulója¹

Dr. Tóth László

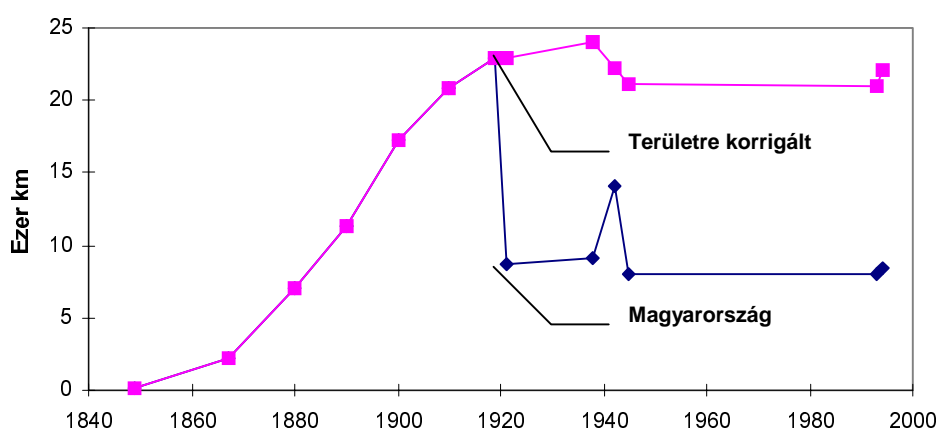
Egyetemi tanár

Miskolci Egyetem, Bay Zoltán Intézet

BEVEZETÉS

Az anyagvizsgálat olyan hosszú múltra tekint vissza, mint maga az emberiség, hisz a **MILYEN CÉLRA, MILYEN ANYAGOT** alkalmazzunk kérdése mindenkor alapvető jelentőségű volt. A válaszhoz pedig az anyagok felhasználás szempontjából leglényegesebb tulajdonságainak ismeretében juthatunk, azaz az anyagvizsgálaton keresztül. E tudományterület látványos fejlődése természetesen az ipari forradalom megindulásával és az üzemszerű termelés megszervezésével indult meg. A tömeges közlekedés elterjedésével a káresetek, a katasztrófák, törések száma és az ezzel együtt járó gazdasági veszteségek rohamosan növekedtek sokszor jelentős emberáldozatot követelve. Az előidéző okok alaposabb megismerésének igénye pedig egyre inkább előtérbe helyezte az anyagok tulajdonságainak megismerését, azok vizsgálatát.

A múlt század fejlődésének ütemét jellemezze a hazai vasúti hálózat hosszának növekedése. Az 1846. július 15.-én Pest és Vác között a Magyar Középponti Vasút Társaság által megnyitott 33.9 km hosszúságú szakasz a századfordulóra, azaz 54 év alatt 17.245 km-re gyarapodott. Ezt a fejlődést szemlélteti az 1. ábra, amelyen látható, hogy a kiegyezés előtt évente több mint 100 km, a kiegyezés után pedig évente mintegy 450 km hosszban fektettek le új vasútvonalat.

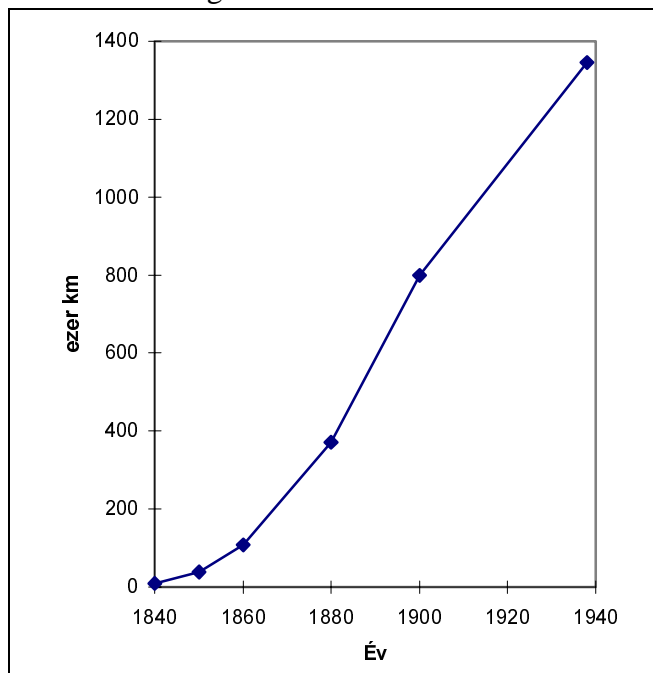


1. ábra. Magyarország vasúti hálózatának hossza

A világ vasúti hálózata is hasonló ütemben változott, azaz kb. a századfordulóig rohamosan növekedett, majd a fejlődés trendje lelassult, mint ahogy azt a 2. ábra szemlélteti. Gondoljuk csak meg, a vasúti közlekedés megindulásától, 1825. szeptember 27.-től, az angliai Stockton és Darlington között megnyitott szakasztól a századfordulóig mintegy 800.000 km hosszúságban

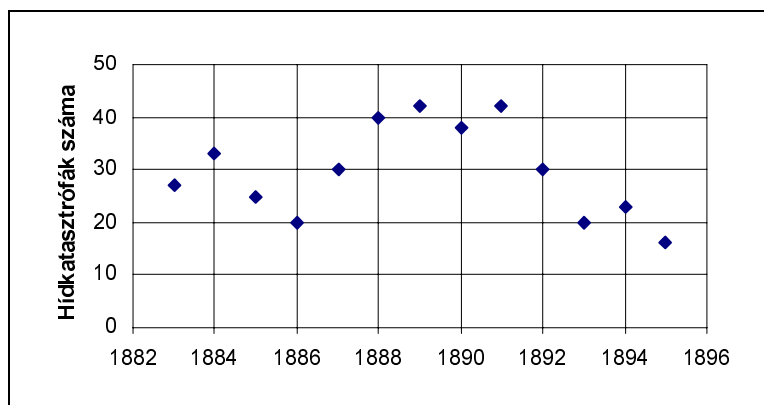
¹ EMLÉKÜLÉS A Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete alapításának 100. Évfordulója c. rendezvényen elhangzott előadás alapján összeállítva. Miskolc, 1997. Október 6.

fektették le a vasútvonalat. Ez még átlagosan is több mint 10.000 km/év vasútépítést jelent a hozzátartozó csatlakozó műtárgyakkal (hidak, állomások, stb.) együtt! A korlátozott ismeretek, az adott technológiai színvonal következtében a káresetek sorozata következett be.



2. ábra A világ vasúti hálózatának változása

Érzékeltesse ezt az Észak-amerikai vasutakon bekövetkezett hídkatasztrófák száma² alapján rajzolt 3.ábra.



3. ábra Hídkatasztrófák száma az Észak-amerikai vasutakon

Az ábrán látható, hogy évente 28 ± 8 híd szakadt le az 1878-1895 periódusban. Hasonló diagramok rajzolhatók a kazánrobbanásokkal kapcsolatban is.

Ennek jelentőségét érzékeltesse a következő adatsor:

- **Angliában** 1800-1870 között 936 kazánrobbanás 1615 emberéletet követelt,
- **Németországban** 1875-1905 között 500 kazánrobbanás kb. 300 ember életét oltotta ki.

Az ipari fejlődés felgyorsulása és ezzel együtt bekövetkezett nagyszámú káreset kivizsgálása szükségessé tette az üzemszerű anyagvizsgálat bevezetését. Ennek első látványos megnyilvánulása volt az első Anyagvizsgáló Laboratórium megnyitása Londonban, 1858-ban. E laboratórium egyik érdekessége a még ma is működőképes 400 tonnás, fekvő elrendezésű szakítógépp. Gondoljunk csak bele, az első, teljesen vasból készült esztergapadot csupán mintegy 50 évvel korábban készítették és az acélgyártás is csak később honosodott meg.

² Hídkatasztrófák az Észak-amerikai vasutakon. Magyar Mérnök- és Építészegylet Közlönye. 1897. (XXXI. Kötet, VIII. füzet) p. 363-364

A múlt század második, háborúktól mentes periódusában végbement igen nagyarányú fejlődés hajtóereje kétségtelenül a vasúti közlekedés általános térhódítása volt. Ebből adódóan az anyagvizsgálat fejlődését is alapvetően ez motiválta. A fejlődés egyes mozzanatait foglalja össze az 1. melléklet, amelyben kiemelten tüntettük fel a hazai főbb eseményeket.

1. Az anyagvizsgálat fejlődése hazánkban a nemzetközi tendenciák tükrében

A szabadságharc bukása után hazánk műszaki színvonalának emelkedését nagymértékben visszahúzta az 1867-ig tartó megtorlás. Ennek ellenére is több mint 100 km-rel bővült a hazai vasútvonalak hossza évente! A kiegyezést követően a fejlődés ugrásszerű volt. Ennek egyik látható jele volt a két műszaki folyóirat szinte egyidejű megjelenése (**Magyar Mérnök- és Építészegylet Közlönye, Bányászati és Kohászati Lapok**). Ezekben megjelent közlemények tartalmukat tekintve a kor tudományos vérkeringésébe estek. Ez jól nyomon követhető az e folyóirat lapszemléiben, tudósításaiban.

A nagytömegű anyagfelhasználás mintegy kikényszerítette egyrészt az alkalmazott anyagátvételi eljárások egységesítését (mai terminológia szerinti szabványosítást), másrészt újabb vizsgálati eljárások kidolgozását. Mindezek pedig a szakemberek együttműködését követelték meg. Ezek együttesen vezettek a különböző *laboratóriumok létrehozásához* és *szervezetek megalakításához*.

Hazánk mindkét területen az élenjáró országok csoportjába tartozott, hisz Münchenben, Bécsben és Budapesten szinte azonos időben alapítottak anyagvizsgáló laboratóriumokat. A vizsgálatok szabványosításának érdekében a német *Johann Bauschinger* által indított konferenciasorozat (München-1884, Drezda-1886, Berlin-1890, Bécs-1893) munkájába a magyar szakemberek is igen intenzíven bekapcsolódtak (döntően Nagy Dezső vezetésével). Bauschinger halálát (1893) követően a műszaki szakemberek által jól ismert **Tetmajer Lajos** vezetésével a Zürichben, szervezett konferencián (**1895 szeptember 9-11**) megalakul az *Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezete*. Ezt követően először a **Német Anyagvizsgálók Egyesülete** (1896. október 25., Karlsruhe) majd pedig a **Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete** alakul meg (**1897. június 16.**). Ez lehetővé tette, hogy hazánk az 1897 augusztus 23-25 között Stockholmban megrendezett VI. Kongresszuson már önállóan jelenhetett meg. Az egyesület elnöki tisztségét, annak megszűntéig a következő szakemberek töltötték be:

- | | |
|-------------|--|
| • 1897-1904 | Czigler Győző (műegy. tanár) |
| • 1904-1910 | Nagy Dezső (műegy. tanár) |
| • 1910-1914 | Czékus Aurél (min. tanácsos) |
| • 1914-1917 | Rejtő Sándor (műegy. tanár) |
| • 1917-1924 | Zielinski Szilárd (műegy. tanár) |
| • 1924-1927 | Gállik István (mint alelnök, államtitkár) |
| • 1927-1930 | Czakó Adolf (műegy. tanár) |
| • 1930-1934 | Zorkóczy Samu (műsz. vezérigazgató) |
| • 1934-1939 | Mihalich Győző (műegy. tanár) |
| • 1939-1942 | Quirin Leo (műegy. tanár) |
| • 1942-1944 | Misángyi Vilmos (műegy. tanár) |

Az egyesületi munka a II. világháború utolsó évében megszűnt. Ezt követő években pedig a szakmai tevékenység más szervezeti formába, az 1948. június 15.-én megalakult Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége keretében az 1949. február 19.-én létrejött Gépipari Tudományos Egyesület technológiai szakosztályába terelődött. Önálló szakmai élet csupán az 1957. július 4.-e után kezdődött újból, amikor megalakult a GTE Anyagvizsgáló Szakosztálya *Gillemot László* akadémikus elnökletével; alelnök: *Zorkóczy Béla* a Nehézipari Műszaki Egyetem tanszékvezető tanára, titkára pedig *Réti Pál*, a csepeli anyagvizsgáló osztály vezetője. Az elmúlt 50 év történéseit dr. Lehofer Kornél foglalta össze részletesen, aki 1969-1980 között a szakosztály titkára, 1980-1985 között pedig elnöke volt.

A Magyar Anyagvizsgáló Egyesület elnökeinek és tisztségviselőinek igen sokat köszönhet a szakmai életünk, függetlenül azok politikai elkötelezettségétől. Látható azonban az is, hogy az egyesületi életet döntően a fővárosban, a műegyetemen formálták, alakították mind a hazai, mind pedig a nemzetközi kapcsolatok tekintetében. Ez utóbbi sikerességét meggyőzően igazolja az, hogy az *Anyagvizsgálók VII. Nemzetközi Kongresszusát* Budapesten tartották (1901 szeptember 8-13).

A kor szakmai színvonalát, központi kérdései, azok változásának tendenciája jól nyomon követhető az elhangzott előadások témaköreinek arányából. Ezt szemlélteti az 1. táblázat.

1. táblázat

Az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének Kongresszusain elhangzott előadások tematikáinak részaránya

TÉMA	Budapest 1901	Brüsszel 1906	Koppenhága 1909	New York 1912
Mechanika, eljárástechnika	■	■		
Szállítási feltételek		■	■	
Ütővizsgálat		■	■	■
Keménységmérés		■	■	■
Metallográfia		■	■	■
Alapanyagok		■	■	■
Mágneses, elektromos méréstechnika		■	■	■
Hegesztés, hegeszthetőség		■		■
Tartamszilárdsági viszonyok			■	■
Korrózió, korrózióvédelem			■	■

Látható, hogy a századforduló meghatározó témája az anyagok szállítási feltételeinek egyértelmű definiálása, azaz a vizsgálati módszerek szabványosítása volt. E téma jelentősége a megfelelő szabványok megfogalmazása után csökkent és a további konferenciák tematikáinak súlypontja az újabb vizsgálati eljárások kidolgozása irányába mozdult el (ütővizsgálat, metallográfia, korrózió, stb). A szabványosítás szerepét egyre inkább átveszik a nemzeti szabványosítási bizottságok, amelyek sorra alakulnak meg az egyes országokban (lásd a mellékletben). Hazánk e területen is az elsők között van, hisz 1921 április 28-án megalakul a Magyar Mérnök- és Építészegylet keretében a *Magyar Ipari Szabványosító Bizottság*, amelynek *Herman Miksa* az elnöke és *Kandó Kálmán* az alelnöke. A nemzeti szabványosító bizottságok tevékenységét az „*International Federation of the National Standardising Association- ISA*” koordinálja. Hazánk e szervezetnek is tagja lesz 1934-ben. Szerepünket jól érzékelteti az a tény, hogy az ISA 1936. évi közgyűlését Budapesten tartják. Az anyagok vizsgálatához kapcsolódó magyar szabványok folyamatosan jelennek meg, amelyekről az Anyagvizsgálók Közlönye rendszeresen tájékoztat.

2. Az Anyagvizsgálók Közlönye

A pezsgő szakmai élet nyilvánvalóan kikövetelte magának az írásbeliség megjelenését is, lehetővé téve ezzel, az eredmények szélesebb körű megismertetését. Az **Anyagvizsgálók Közlönyének 1914. június 25.**-én megjelent első számában az elnök, **Rejtő Sándor** erről így ír: *"Folyó évi közgyűlésünkön (XVII. rendes Közgyűlés, 1914. április 25.)³ kifejtettem, hogy egyesületünknek szellemi kapocs létesítése céljából tudományos színvonalon álló szaklapra van szüksége, amelynek útján tagjaink a magyar tagok munkásságáról, valamint a külföldiek ez irányú tevékenységéről tájékoztatást nyernének, hogy eszmetársulás alapján a tudományt előbbre vihessék. Ez a szaklap gyakorlatban működő szaktársainkat a tudomány legújabb vívmányaival ismertetné meg, hogy azokat a gyakorlati életbe hosszas előtanulmány nélkül átvihessék s ezzel iparunk haladását és versenyképességét előmozdítsák".* **Miklósi Kornél** a lap szerkesztője - még ugyanebben az évben ezt a feladatot Varga Bálint veszi át "hadbavonult" elődjétől^{4,5} - előszavában a következőképpen fogalmaz: *"Hazánk ipara elég nagy ahhoz, hogy az anyagvizsgálat problémáival behatóan foglalkozzunk, s mert ennek fejlődése s minden téren való érvényesülése kedvező befolyást gyakorol az iparra, azért azzal a kéréssel fordulok hazánk mérnökeihez, hogy a gyakorlati működésük folyamán talált eredményeket minél nagyobb számban engedjék át közlésre lapunknak, másrészt, hogy a külföldi irodalom újabb termékeit lapunkban ismertessék"*

A fenti idézetekből több következtetésre is juthatunk. Az egyik nyilvánvalóan az, hogy 1914-ben már 17. közgyűlését tarthatta a Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete, amelynek megalakulása csupán két évvel követte az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szervezetének létrehozását, azaz a hazai szakemberek szinte azonnal belátták a nemzetközi szakmai szervezet és az abban végzendő tevékenység fontosságát. Ezt a munkát alapvetően Rejtő Sándor fogta össze, aki 1889. május 13.-án rendkívüli tanár kinevezést kap a kir. József Műegyetemre. A német nyelvterületen akkor általánosan elfogadott mechanikai technológiák oktatásának felfuttatásával ettől az időponttól tekinthető önálló tanszéknek a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszéke⁶. Az anyagvizsgálat hazai jelentőségét fémjelzi, hogy az akkor még egyetlen műszaki ismereteket oktató egyetem, a kir. József Műegyetem, majd Budapesti Műszaki Egyetem három volt rektora - **Rejtő Sándor**, **Misángyi Vilmos** és **Gillemot László** - is szorosan kötődött az anyagvizsgálat tudományterületéhez, megteremtve ezzel e tudományterület súlyát az oktatásban is.

Az elnöki beköszöntőből levonható másik lényeges következtetés az, hogy iparunk fejlett volt hisz, mintegy kikövetelte a lap megjelenését. Az iparunk helyzetének elemzése helyett elegendő csupán, ha ma is jól ismert neveket és létesítményeket sorolunk fel, **Bánki Donát** (1859-1922) **Pattantyús-Ábrahám Géza** (1885-1956), **Csonka János** (1852-1939), **Jendrassik György** (1898-1954), **Mechwart András** (1834-1907), **Zipernowsky Károly** (1853-1942), **Déri Miksa** (1854-1938), **Kandó Kálmán** (1869-1931), **Bláthy Ottó Titusz** (1860-1939), a már említett és életének döntő hányadát külföldön, főképpen az USA-ban eltöltött **Kármán Tódor** (1881-1963), illetve **Galamb József** (1881-1955) és még hosszasan sorolhatnánk a napjainkban is ismerősen csengő neveket⁷. Hasonló felsorolást adhatnánk azon létesítményekről is, amelyekben ma is gyönyörködhetünk (pl. a milleneumi földalatti, parlament épülete, múzeumok, pályaudvarok, stb).

³ a szerző megjegyzése

⁴ lásd. az 1914. november 17.-én kelt Választmányi Ülés Jegyzőkönyvét. Anyagvizsgálók Közlönye. 1914. p. 125-128.

⁵ Varga Bálint: Második évfolyamunk. Anyagvizsgálók Közlönye. 1915/1. p.1-2.

⁶ Artinger I.: 100 éves a Mechanikai Technológiai Tanszék. Gép XLI. évf. 1989. 10. szám. p. 362-374.

⁷ Műszaki nagyjaink. GTE Kiadás 1-6. kötet.

Az Anyagvizsgálók Közlönyének megindítása és fenntartása természetesen a megfelelő anyagi háttér megteremtését igényelte. E forrásokról és azok felhasználásáról rendszeresen tájékozódhattak az olvasók a lapban. A lap indításához szükséges tőke előteremtése kapcsán Rejtő Sándor így ír *"Én bennem azonban élt a hit, hogy Magyarországon a technikai tudományok tisztelete már általános és hogy az iparunk élén álló szakférfiak ismerik a tudománynak az iparra gyakorolt általános hatását és készek annak fejlődését még anyagi áldozatok árán is elősegíteni. Hitemben nem csalódtam."* Ennek megfelelően 5150 korona gyűlt össze a lap indításához.

A hányatott sorsú lapnak összesen 22 évfolyama és 116 száma jelent meg (2. táblázat), miközben az első világháborút követően tíz évig szünetelt a kiadása (5. évfolyam 1918., 6. évfolyam 1928). A *Gillemot László felelős kiadó* nevével jegyzett utolsó szám 1944.-ben jelent meg, témája a kor igényeivel egyezően *"A háborús gyors-acélok"*⁸ volt.

2.táblázat

Anyagvizsgálók Közlönyének megjelent számai

Kiadja: Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete

A lap szerkesztői feladatát a következő szakemberek látták el:

Évfolyam	Év	Számok
1	1914	1-5
2	1915	1-10
3	1916	1-10
4	1917	1-10
5	1918	1,2-9,10
6	1928	1-5
7	1929	1-3
8	1930	1-3
9	1931	1-4
10	1932	1-5
11	1933	1,2-9,10
12	1934	1-5
13	1935	1-5
14	1936	1-5
15	1937	1-5
16	1938	1-5
17	1939	1-5
18	1940	1-5
19	1941	1-5
20	1942	1-5
21	1943	1-5
22	1944	1

- 1914-1916 **Miklósi Kornél**
- 1916-1918 **Varga Bálint**
- 1918-1918 **Czakó Adolf**
- 1928-1933 **Misángyi Vilmos** (1933/1 és /2 szám)
- 1933-1939 **Czakó Miklós**
- 1939-1942 **Jáky József** (1942/4.-ig)
- 1942-1944 **Nemesdy József**

A közölt cikkeket áttekintve igen sok érdekes dolgot lehetne említeni azok közül, amelyek a *Rejtő Sándor* és *Miklósi Kornél* által a lap első számában megfogalmazott törekvéseknek a helyességét igazolják. Ezek közül néhányat az *1. mellékletben* emeltem ki. Ezen összeállítás egyes hazai tények figyelembevételével kiegészíti a jelen füzet 36-37. oldalán közöltek. Ezeket kiemeléssel hangsúlyozza. Ezeket követve igen jól érzékelhető, hogy hazánk mind az anyagvizsgálattal foglalkozó laboratóriumok, mind a szakmai szervezetek alakítása, mind a szabványosítás, mind pedig a szakmai színvonal tekintetében a világ élvonalába

tartozott. A Miskolci Egyetem volt oktatói közül a Mechanikai Technológiai Tanszék volt vezetője *Zorkóczy Béla* (1898-1975) hegesztés témakörben⁹ 1930-ban, *Sályi István* volt rektor és a Mechanikai Tanszék volt vezetője pedig 1933-ban a washingtoni National Bureau of Standards-ról írt, amelynek meglátogatását az 1931-32 évekre kapott Smith Jeremiás ösztöndíj tett lehetővé

⁸ Vietorisz József: A háborús gyorsacélokról. Anyagvizsgálók Közlönye. 1944/1. p.1-28.

⁹ Zorkóczy Béla: A hegesztés technológiája és korszerű alkalmazásai. Anyagvizsgálók Közlönye. 1930. p.101-136.

számára¹⁰. Ugyancsak Sályi István publikál 1936-ban is, az 1935-ben benyújtott műszaki doktori értekezésének témaköréből,¹¹ a beton lassú alakváltozásának sajátosságairól.

A lap - mint említettem - a II. világháború után nem jelent meg. Az anyagvizsgálathoz kapcsolódó kutatásokról, azok eredményeiről többnyire a GÉP c. folyóirat hasábjain számoltak be szakembereink. Ezekről ad rövid áttekintést dr. Lehofer Kornél a lap ezen számában. A hazai anyagvizsgáló szakemberek számára új lap e témakörben csupán 1991-ben jelent meg újból, az anyagvizsgáló eszközöket forgalmazó TESTOR Bt. kiadásában. A negyedévenként napvilágot látó lap első számának előszavában a kiadó vezetője, Szappanos György így ír: *"Nem öncélú publicisztikák gyűjteményét kívánjuk kiadni, hanem gyakorlati tapasztalatokat közvetíteni és feladatok vizsgálati megoldásainak sok kísérletezéssel megszerzett know-how-ját átadni. Szeretnénk írásos fóruma lenni annak, hogy megtalálják egymást az azonos feladatokkal foglalkozó kollégák"*.

Érdemes összevetni a két - az 1914-ben és a 77 évvel később megjelent - bevezetőt. Mindkettő az anyagvizsgálattal, annak gyakorlati alkalmazásával foglalkozó hazai szakembereknek kíván fórumot adni. Ezen tevékenység megindulásához pedig igen jelentősen járult hozzá TETMAJER Lajos, aki nemzetközi tevékenysége, tekintélye folytán sokat tett azért, hogy szakembereink időben felkerüljenek arra a "közös nemzetközi hajóra", amelyet anyagvizsgálatnak nevezünk.

1. melléklet Az anyagvizsgálat fejlődését elősegítő legfontosabb események

1495	huzal szakítóvizsgálata	Leonardo da Vinci	1542-1519
1638	befogott gerendák hajlítóvizsgálata	Galileo Galilei	1564-1642
1675	a rugók megnyúlásának vizsgálata	Robert E. Hooke	1635-1703
1660	hajlított gerendák rugalmas alakváltozása	Emde Mariotte	1620-1684
1684	hajlított gerendák alakjának matematikai leírása	Jacob Bernoulli I.	1654-1705
1696	virtuális elmozdulás elvének definiálása	John Bernoulli	1667-1748
1738	variációs elv megfogalmazása	Daniel Bernoulli	1700-1782
1744	rugalmasan alakváltozó tartók alakjának leírása	Leonard Euler	1707-1783
1773	hajlított gerendák terhelhetőségének számítása	Augustin Columb	1736-1806
1775	terhelés-behajlás regisztrálása fagerendák hajlításánál	Francois Buffon	1707-1778
1781	gőzgép szabadalom	James Watt	1736-1819
1788	szisztematikus anyagvizsgálat 906 anyagon	Franz Carl Achard	1753-1821
1797	teljes egészében vasból készült eszterga	Henry Maudslay	1771-1831
1807	rugalmassági modulus definiálása	Thomas Young	1773-1829
1807	gőzhajózás kezdete (1807. október 7)	Robert Fulton	1765-1815
1822	mechanikai feszültség fogalmának definiálása	Augustin Cauchy	1789-1857
1825	rendszeres vasúti közlekedés megindulása	George Stephenson	1781-1848
1829	keresztirányú alakváltozás definiálása ($\mu=0.25$)	S.Denis Poisson	1781-1840
1835	vasúti közlekedés megindulása Németországban		

¹⁰ Springer István: A washingtoni National Bureau of Standards. Anyagvizsgálók Közlönye. 1933. p.160-168.

¹¹ Sályi (Springer) István: A beton lassú alakváltozása. Anyagvizsgálók Közlönye. 1936/1. 1-34.

1838	első publikáció a kifáradás jelenségéről	Albert W.A	1787-1846
1846	vasúti közlekedés megindulása hazánkban		
1852	Werder 100 tonnás szakítógépe	Ludwig Werder	1808-1885
1855	Bessemer acélgyártás megindulása	Henry Bessemer	1813-1989
1856	huzal elektromos ellenállása és a hosszának kapcsolata	Lord Kelvin	1824-1907
1856	a Német Mérnökök Egyesületének alapítása	május 12., Alexisbad	
1858	első anyagvizsgáló laboratórium megnyitása	David Kirkaldy	1820-1897
1858	Wöhler publikációsorozatának kezdete	August Wöhler	1819-1914
1864	Simens-Martin acélgyártás megindulása	Siemens fivérek	1816-1904
1864	metallográfia vizsgálatok megindulása	Henry Clifton Sorby	1826-1908
1867	Magyar Mérnök- és Építészegylet Közlönye		
1868	Bányászati és Kohászati Lapok		
1871	Mech. Technológiai Laboratórium Münchenben	Johann Bauschinger	1834-1893
1873	Mech. Technológiai Laboratórium Bécsben	Karl von Jenny	1819-1893
1874	Anyagvizsgáló Intézet Budapesten	Pilch Ágoston	
1876	a Sínfej keménységének meghatározására szolgáló esési készülék és mérőeszköz¹²	Glück Bernát	
1877	Thomas acélgyártás megindulása	S. Glichirst Thomas	1850-1885
1879	Anyagvizsgáló Intézet Zürichben	Ludwig von Tetmajer	1850-1905
1880	Martens 200-szoros nagyítású mikroszkópja	Adolf Martens	1850-1914
1883	piezoelektromos jelenség felfedezése	Pierre Curie	1859-1906
1883	M. kir. Technológiai és Anyavizsgáló Intézet¹³		
1884	első Bauschinger konferencia Münchenben		
1886	Martens tükrös finomnyúlás-mérése	Adolf Martens	1850-1914
1887	maradó feszültségek mérése anyagleválasztással	N. Kalakutzky	
1889	Mechanikai Technológiai Tanszék, Budapest	Rejtő Sándor	1853-1928
1891	Cementlaboratórium Budapesten		
1894	Kísérleti Állomás (szolgáltató laboratórium)		
1895	Anyagvizsgálók Nemzetközi Egyesületének megalakítása, Zürichben	Elnök: L.Tetmajer	1850-1905
1896	Német Anyagvizsgáló Egyesület megalakulása	Elnök:A. Martens	1850-1914
1896	röntgensugárzás felfedezése	W. Conrad Röntgen	1845-1923
1897	A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének megalakulása, június 16.	Elnök: Czigler Győző	1897-1904
1900	Brinell keménységmérés	Johan Agust Brinell	1849-1925
1900	A Brinell-féle szilárdsági kísérletek¹⁴	Edvi Illés Aladár	1858-1927

¹² Magyar Mérnök és Építészegylet Közlönye 1876. p.464.

¹³ A m. kir. Technológiai és Anyagvizsgáló Intézet 50 éves jubileuma. Anyagvizsgálók Közlönye. 1933. p. 99-100.

¹⁴ Magyar Mérnök és Építészegylet Közlönye 1900. p.327-332.

1900	valódi nyúlás fogalmának bevezetése	Augustin Mesnager	
1901	ütővizsgálat bevezetése	George Charpy	1865-1945
1901	British Engineering Standard Association		
1904	acélok alsó- és felső folyási határa	Carl von Bach	1847-1931
1907	feszültségeloszlás éles bemetszés csúcsánál	Karl Wieghard	1874-1923
1908	Rockwell keménységmérés	Stanley P. Rockwell	
1910	háromtengelyű nyomással a márvány is képlékeny¹⁵	Kármán Tódor	1881-1963
1911	M. kir. Ipari Kísérleti Anyagvizsgáló Intézet (július)	Budafok, Gyár u. 15.	
1912	Székesfővárosi anyagvizsgáló állomás (cementlaboratórium kibővítése)	Soroksári u. 31.	
1912	mélyhúzzhatósági vizsgálat szabadalma	Abraham Erichsen	
1912	rozsdamentes acél előállítás (Krupp művek)		
1912	röntgen-finomszerkezet vizsgálat bevezetése	Max von Laue	1879-1960
1914	Anyagvizsgálók Közlönyének megjelenése	Szerkesztő: Miklósi B.	
1915	A bemetszett rudak hajlító ütépróbája¹⁶	Bartel János	1862-1945
1917	A Röntgensugarak alkalmazása az anyagvizsgálatban¹⁷	Kapus László	
1917	Deutsches Institut für Normenanschluss (DIN)		
1918	American Standards Association		
1918	Shore keménységmérés	A.F. Shore	
1919	kúszásvizsgálatok megkezdése	P. Chevenard	
1920	repedést tartalmazó rideg anyagok szilárdsága	A.A. Griffith	1893-1963
1921	Magyar Ipari Szabványosító Bizottság megalkulása	elnök: Herrmann Miksa	
1924	károsodások halmozódásának elmélete	A. Palmgren	
1925	Vickers keménységmérés	Smith R., Sanland E.	
1926	Association Francaise de Normalisation		
1928	sima szakítópróbatest törése középről indul	Paul Ludwik	1838-1934
1928	Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szövetségének	elnök: A. Menager	január 5.
1929	az ultrahangvizsgálat szabadalmaztatása	S.J. Sokolov	
1930	kúszásvizsgálat kéttengelyű terheléssel	R.W. Bailey	
1931	Szerkezeti vasanyagok viselkedése magasabb hőmérsékleteken állandó (statikus) terhelések alatt¹⁸	Vér Tibor	
1931	maradófeszültség számítás rétegmaratása után	N.N. Davidenkov	1879-1962
1931	Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szövetségének első kongresszusa Zürichben	szeptember 11-16.	
1932	I. Nemzetközi Hegesztéstechnikai Konferencia, Hága ¹⁹		

¹⁵ Magyar Mérnök és Építészegylet Közlönye 1910. p.212-226. (Mitől függ az anyag igénybevétele?)

¹⁶ Anyagvizsgálók Közlönye. 1915. 1.szám.p.3-28. és 1915. 2.szám 33-52.

¹⁷ Anyagvizsgálók Közlönye. 1917. 7-8. Szám. p.202-227.

¹⁸ Anyagvizsgálók Közlönye. 1931. p.179-220.

¹⁹ Beszámolót készítette: Zorkóczy Béla (Anyagvizsgálók Közlönye. 1932. p.1-37)

1934	mágneses repedésvizsgálat elve	Walter Gerhard	
1935	A fotoelaszticitás. Feszültségmeghatározás optikai úton²⁰	Vásárhelyi Dezső	
1937	automatikus repedésvizsgáló készülék	Friedrich Förster	
1939	nyúlásmérő bélyeg készítése	E.Simons, A.Ruge	
1940	Bemetszett rudak és szegecselt kötések fáradási szilárdsága²¹	Gállik István	
1941	"szerkezeti szilárdság" fogalmának bevezetése	Ernst Gaßner	
1941	A hegesztés röntgenvizsgálata²²	Gillemot László	1912-1977
1944	Anyagvizsgálók Közlönyének utolsó száma		
1960	elektrohidraulikus zárt vezérlésű anyagvizsg. berend.		
1964	analóg számítógéppel vezérelt anyagvizsg. berend.	Phil Mast	
1967	MTS automatikus szervo-hidraulikus anyagv. berend.		
1970	Az első törésmechanikai vizsgálati szabvány (E 399-70)		
1983	A fáradásos repedésterjedés vizsgálati szabványa (E647-83)		
1986	Az RS232/V24 alkalmazása az ultrahangos vizsgálatban		
1991	Anyagvizsgálók Lapja megjelenése		
1994	Az első beépített DVM diagram az ultrahangos készülékben		

Az alapvető emberi törekvéshez - a környező világunk megismeréséhez vezető egyik ösvény, az anyagvizsgálat tudományterületének szervezett formában való megjelenésének centenáriuma alkalmából kívánunk kellő emléket állítani azzal, hogy emlékülést rendezünk Miskolcon 1997. október 6.-án és ezen alkalommal a résztvevők elektronikus formában megkapják az Anyagvizsgálók Közlönye, Gép és Anyagvizsgálók Lapja c. folyóiratokban publikált közlemények bibliográfiai adatait és az ezekben való eligazodást nagymértékben segítő szoftvert. Az anyagvizsgálathoz közvetve és közvetlenül szorosan kapcsolódó hazai tevékenységet bemutató közlemények adatbázis folyamatosan bővül és a mindenkori állapot megtekinthető a következő URL címen: <http://www.bzlogi.hu/baylogi/Quality/Tempus/PRODUCT/AVI/content.htm>, ahonnan mind az adatbázis, mind pedig a kezelő szoftver letölthető.

Az anyagvizsgálathoz kapcsolódó első hazai szakmai folyóiratnak, az „Anyagvizsgálók Közlönye” c. lapnak kívánok méltó emléket állítani azáltal, hogy a benne megjelent cikkek bibliográfiai adatait a 2. mellékletben összefoglalom.

Az emlékülés később elkészülő kiadványa pedig a szakmatörténet és a jelen helyzet hű tükörképét kívánja megformálni annak érdekében, hogy a szakma jelenlegi és jövőbeli művelőinek forrásértékű művet nyújthassunk át.

2. melléklet **Az Anyagvizsgálók Közlönye c. lapban publikált közlemények adatai (1914 – 1944)**

²⁰ Anyagvizsgálók Közlönye. 1935. p.161-177.

²¹ Anyagvizsgálók Közlönye.p.1-28 és 33-62.

²² Anyagvizsgálók Közlönye. 1941. p.85-164.

Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
Rejtő Sándor	Elnöki beköszöntő	1914	1	4
Miklósi Kornél, dr.	Előszó	1914	4	
Fábry Zsigmond	A vas- és acélfajták melegkezelése	1914	5	15
M.K., dr.	A kovácsolható sárgaréz helyes összetétele	1914	15	19
	Egyesületi közlemények	1914	19	26
	A nemzetközi anyagvizsgáló szövetség közleményei	1914	27	31
	Hírek	1914	32	
Czakó Adolf	A magyar cementnormáliák átalakítása	1914	33	50
Czakó Miklós, dr.	A lágyvas- és acélfajták kritikus pontjainak meghatározása	1914	51	60
	Egyesületi élet: Nemzetközi sin-konferencia előkészítő bizottság 1934. január 18-án tartott ülése	1914	54	56
	Nagyobb mennyiségű magnéziát tartalmazó cementek viselkedése	1914	61	63
	Hírek	1914	63	64
Zhuk József, kir. főmérnök	Hazai portlandcementek újabb vizsgálati eredményeinek statisztikai összefoglalása	1914	65	85
P. Longmuir	Tanulmányok a különféle vasfajok anyagának hidegen történő alakításáról	1914	86	88
B. Talbot	Hibátlan acél előállítása az ingot oldalirányú összenyomásával, amikor belseje még folyékony	1914	88	89
közli: Gelléri Soma	A konyhasó hatása a különböző cementfajokra	1914	89	92
közli: Gelléri Soma	A portlandcement sajátsága égetésének különböző hőfokánál	1914	92	95
ismerteti: Kerékgyártó György	Ötvözetek nomenclaturája Angliában	1914	95	96
közli: Dischka Győző	Az intézet jelenlegi állapotának és első három évi működésének ismertetése	1914	97	119
	Egyesületi élet: Felhívás a Korrozíós Bizottság munkájában való részvételre	1914	104	105
	Egyesületi élet: 1934. Április 19-én tartott XXVII. rendes választmányi ülés	1914	106	108
Stead és Stedman, ismerteti: Kerékgyártó György	Melegkezelés hatása a Muntz-féle fémen	1914	120	122
O. Bauer, ismerteti: K. Lehotzky Gyula	Az ólom ridegsége	1914	122	124
	Egyesületi közlemények	1914	125	128
Gelléri Soma	A portlandcement jellemzése, különös tekintettel a hidraulikus modulra	1914	129	148
Bartus Adolf	A csepelszigeti cementkísérleti állomás	1914	149	151
közli: Zakula Milán, dr.	Az elektromos áram hatása betonra	1914	152	159
	Egyesületi élet: 1934. Május 30-án tartott XXVIII. rendes választmányi ülés	1914	169	176
	A Magyar Királyi Ipari Kísérleti és Anyagvizsgáló Intézet közleményei	1914		
Bartel János, dr.	A bemetszett rudak hajlító ütéspróbája	1915	3	32
Bartel János, dr.	A bemetszett rudak hajlító ütéspróbája	1915	33	52
Gáti Béla	A m. kir. posta kísérleti állomásának leírása	1915	53	61
ismerteti: Cz. M., dr.	Az edző hőfokok meghatározásáról	1915	62	64
Bertmann Miksa	A szikrapróba elmélete és gyakorlati alkalmazása	1915	65	69
Gáti Béla	A m. kir. posta kísérleti állomásának leírása (Befejezés)	1915	70	92
közli: ifj. Gaul Károly	A fatelítő oldatok koncentrációjának csökkenése teités közben	1915	93	96
Bertmann Miksa	A szikrapróba elmélete és gyakorlati alkalmazása (Befejezés)	1915	97	105
közli: a Szerkesztő	Példa a kilágyítás fontosságára	1915	106	108
közli: ifj. Gaul Károly	A fatelítő oldatok koncentrációjának csökkenése teités közben (Befejezés)	1915	109	114
ismerteti: K. Lehotzky Gyula	A kékmeleg állapotban igénybevételt szenvedett folytvass rideggé válása	1915	115	118
	A fényinterferencia felhasználása kis elmozdulások mérésére	1915	118	126
Név	Cím	Év	Oldal	Oldal

			(től)	(ig)
	Mikroszkópi vascsiszolatok futtatásos színezése	1915	126	128
ismerteti: Zhuk József	Betonkeverékek vizsgálati eredményei	1915	129	148
	Mikroszkópi vascsiszolatok futtatásos színezése (Befejezés)	1915	149	152
ismerteti: Cz. M., dr.	Öntödei maghomokkeverékek vizsgálata	1915	152	156
közl: S. S.	Elektromos kryptol kemence	1915	157	158
ismerteti: Cz. M., dr.	Kis széntartalmú öntöttvas-fajták előállítása	1915	158	160
Hauenschild Albert	A portlancement hydraulikus módosulásáról	1915	161	200
Gács Bertalan	A különböző rendszerű gázfejlesztők chamotte-ja	1915	201	215
ismerteti: Zhuk József	Betonkeverékek vizsgálati eredményei (folytatás)	1915	216	223
	Egyesületi közlemények	1915	224	236
Fenyő Andor	A székesfővárosi anyagvizsgáló állomás	1915	237	274
ismerteti: Cz. M., dr.	Kis széntartalmú öntöttvasak előállítása	1915	275	276
	Egyesületi közlemények	1915	276	
ismerteti: Imre László	Könnyű patronhüvelyek hadi célokra	1915	277	282
ismerteti: Zhuk József	Cementek homokfelvevőképességéről	1915	283	297
V. B., dr.	Fémeknek és némely fémötvözeteknek ecetsavban és tejsavban való oldhatósága	1915	298	
ismerteti: V. B., dr.	Vaslemez feloldódása folyékony cinkben	1915	299	301
ismerteti: ifj. Gaul Károly	Az eberswaldei fa- és cellulóza-kémiai kísérleti állomás	1915	301	303
közl: S. S.	Hordozható keménységmérő műszer	1915	304	
	Egyesületi közlemények	1915	305	308
Bartel János, dr.	A szilárdsági fogalmak Rejtő és Mohr szerint	1915	309	340
Grittner Albert	A "zúzott kő" vizsgálata	1916	1	18
Miklósi Kornél, dr.	Húzott vörösrézdrótok tulajdonságai	1916	19	30
Schartner Sándor	Adatok a kristályok szerkezetéhez	1916	31	32
Schustler József	A magyar cementnormáliák megújítása	1916	33	44
Bíró Dezső	A fa a léghajó és a repülőgép szerkesztésében	1916	45	50
	Gerstner Miklós halála	1916	63	64
	Halálozás: Nagy Dezső	1916	65	67
Révész Ármin	A portlandcementek főzöpróbája	1916	67	79
Bíró Dezső	A légi járművek szerkesztéséhez használt fontosabb fémek és ötvözetek	1916	80	91
sz.: Rejtő Sándor	Az elméleti mechanikai technológia alapelvei és a fémek technológiája	1916	92	94
	Hírek	1916	95	96
	Egyesületi közlemények, jegyzőkönyv (XIX. rendes közgyűlés)	1916	97	115
Hermann Miksa	A többirányú igénybevétel kérdéséhez	1916	116	127
	Hírek (Hadifém szállítás)	1916	128	128
Bermann Miksa	Fémek darabolása autogénnel	1916	129	135
Grittner Albert	A "dinerazit" rozsdá ellen védő festék kritikai ismertetése	1916	136	138
Hermann Miksa	A többirányú igénybevétel kérdéséhez (folytatás)	1916	139	149
O. Bauer, O. Vogel, ismerteti: Bárány Béla	Alumínium-Zink ötvözetek	1916	150	160
Rejtő Sándor	Megjegyzések Hermann Miksának Bartel János dr. közleményéről szóló bírálatára	1916	161	179
Schustler József	Egyenlő nedvességű laboratóriumi betonpróbák vízmennyiségének előre való kiszámítása	1916	180	210
	Hírek	1916	211	212
Fenyő Andor	Adatok a fővárosi kátrányos utak építéséhez	1916	213	226
Maurer Sándor	A vízvezetéki ólomcső korróziója a talajban és az ez elleni védekezés	1916	227	231
közl: Bíró Dezső	A réz és az alumínium pótlása elektromos vezetékeknél	1916	232	243
	Hírek	1916	243	244
Györki József	A kenőolajok vizsgálata és a használhatóság kérdése	1916	245	256
Bertmann Miksa	A kiizzítás hatása kisméretű szilíciumos vasöntvényekre	1916	257	260
Miklósi Kornél, dr.	A sárgaréz törékenységéről	1916	261	265
ismerteti: B.D.	Az öntöttvas korróziója	1916	266	273
közl: M.K. dr.	A világ réztermelése és fogyasztása	1916	273	174
	A metallográfia alapfogalmai	1916	274	276

Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
	Gyászjelentés: I. Ferenc József	1916	277	277
Grittner Albert	Az aszbesztcementpalák vizsgálata	1916	278	282
Prenghy Jenő	A vízvezetési ólomcsövek anyagai	1916	289	299
P.J.	Foszforszenyeződések feltűntetése hypoeutektoidos vasakon	1916	300	303
M. S.	Színrez kiválasztása rézhulladékokból	1916	303	305
Györki József	Naftalinmosó olajok vizsgálata	1916	306	306
Györki József	A szén extrakciója	1916	307	307
Pesky János	A tűzálló téglák vizsgálata	1916	309	315
Knapp Oszkár	A fajsúly szerepe a vegyi termékek vizsgálata szempontjából	1916	316	319
	A találmányi szabadalmakról szóló új törvényjavaslat	1916	320	330
Györki József	Sóoldatok hatása a portlandcementre és a nagyolvasztósalakcementre	1916	331	332
	Szerkesztők búcsúszava, halálózás	1916	339	340
Schafarzik Ferenc, dr.	A mosonmegyei Királyhida "császárkő" előfordulásáról	1917	1	10
Bárány Béla	A vízvezetési ólomcsövek korróziójának kérdéséhez	1917	11	13
	A folyasztottvas lokomotív tűzszekrények anyagának minőségéről	1917	14	16
	A vas viselkedése vízzel és vizes oldatokkal szemben a hazánkban	1917	16	18
	A vas és acél réztartalmának védőhatása a rozsdásodás ellen	1917	18	19
	Egyesületi közlemények	1917	19	31
	Könyvismertetések	1917	32	32
Misángyi V. dr.	A M. Kir. Államvasutak üzemében használt pótanyagok	1917	33	48
Beke József	Az öntött betonról	1917	48	60
Bermann Miklós	Folyasztott lermezek megmunkálása	1917	61	63
	Könyvismertetések	1917	63	64
Bresztovszky Béla, dr.	A M. Kir. Technológiai Iparmúzeum feladatai az ipari kísérletezés terén	1917	65	72
összeállította: Misángyi Vilmos, dr.	A M. Kir. Államvasutak üzemében használt pótanyagok	1917	73	85
Sajó Elemér	A próbakocka és a beépített beton kocka szilárdságának összehasonlítása	1917	85	95
	A gázok eloszlása folytvas ingotban	1917	96	96
Gállik István	A Poisson-féle tényező és a térfogatváltozás törvénye rugalmas alakváltozásoknál	1917	97	114
Kazinczy Gábor	A téglafalazat anyagainak mely tulajdonságai mértékadók a falazat szilárdságában ?	1917	115	134
	Közlemények a laboratóriumok és intézetek tevékenységéről és az anyagvizsgáló és kísérleti ügy szervezeti kérdéseiről	1917	135	140
Grittner Albert	Az aszfalt vizsgálata és alkalmazása	1917	141	163
Kazinczy Gábor	A téglafalazat anyagainak mely tulajdonságai mértékadók a falazat szilárdságában ? (Folytatás és vége.)	1917	163	184
Grittner Albert	Az aszfalt vizsgálata és alkalmazása (Folyt. és vége.)	1917	185	202
	A röntgensugarak alkalmazása az anyagvizsgálatban	1917	202	227
	Könyvismertetés	1917	227	228
Miklósi Kornél, dr.	A katonapoztő vizsgálatairól	1918	1	16
Gállik István	A rugalmas feszültségváltozás törvénye	1918	16	31
Gállik István	A rugalmas feszültségváltozás törvénye (folyt. és vége)	1918	33	50
Bermann Miksa	Hőyagmentes, tömör acéltuskó és acélöntvény előállítása	1918	50	63
	Szénkísérleti intézetek	1918	63	64
Schleicher A., dr.	A metallográfia alapfogalmai	1918	64	64
Grittner Albert	Ólomcsapágyötvözetek	1918	65	79
Bermann Miksa	Hőyagmentes, tömör acéltuskó és acélöntvény előállítása (folyt. és vége)	1918	80	85
Czakó Miklós, dr.	Ötvözött acélok hegesztése	1918	86	93
	Egy gázpalackrobbanás okai és tanulságai	1918	94	96
Zidlinski Szilárd, dr.	Tanulmány a Széchenyi-Lánchíd útburkolatainak beállott romlásokról	1918	97	118
Grittner Albert	Ólomcsapágyötvözetek (folyt. és vége)	1918	119	124
Czakó Adolf	Az iparfejlesztést szolgáló kutatókísérletezés ügye Magyarországon	1918	125	128

Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
Zidlinski Szilárd, dr.	Tanulmány a Széchenyi-Lánchíd útburkolatainak beállott romlásokról (folyt. és vége)	1918	131	148
Miklósi Kornél, dr.	A spirálfúró szilárdsági problémája	1918	149	153
Rejtő Sándor	Az elméleti mechanikai technológia alapelvei és a fémek technológiája	1918	153	154
	A beton vizsgálata a hajóépítésben	1918	153	156
	A téglafajtákra vonatkozó minőségi követelmények	1918	154	155
Gállik István, dr.	Czekélius Aurél emlékezete	1928	4	9
Czakó Adolf	Az Anyagvizsgálók 1927. évi nemzetközi kongresszusa Amszterdamban	1928	10	13
Misángyi Vilmos, dr.	A berlini Werkstofftagung 1927-ben	1928	14	18
Gállik István, dr.	A nagyobb szilárdságú szerkezeti acélok kérdésének állása Magyarországon	1928	19	37
Misángyi Vilmos, dr.	Rejtő Sándor	1928	38	40
	Az Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szövetségének 1928. január 5-i alakuló közgyűlése	1928	41	41
Kiss Jenő	A Magyar Mérnök és Építész-Egylet vasbetonszabályzatának átdolgozása	1928	42	43
Cz. A.	A német és svájci cementszabványok szerint jelenleg érvényes szilárdsági követelmények	1928	43	44
Miklósi Kornél, dr.	A Rejtő-féle mérőrugó és írószerkezet alkalmazása fémszakítógépeknél	1928	47	55
Schwertner Antal	Az úanyagok kérdése	1928	56	60
Vietorisz József	A fémek egy kristályáról	1928	61	80
Kiss Jenő	A M. Kir. Államvasutak különböző építkezéseiből beküldött portlandcementek vizsgálata	1928	81	85
	Az Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szövetségének 1928. január 5-én hozott állandó választmányi határozatai	1928	86	90
	A Német Automobilútügyi Társaság kiadványai	1928	92	92
Bresztovszky Béla, dr.	Közlemények a m. kir. József Műegyetem Műszaki Mechanikai Laboratóriumából és a vele kapcsolatos Kísérleti Állomásról	1928	95	106
Vendl Aladár, dr.	A Duna budapesti homokjának ásványai és kémiai összetétele	1928	107	120
Czakó Miklós, dr.	Az öntöttvas javításának irányai és eljárásai	1928	121	138
Csonka Pál	A csavarószilárdságról	1928	139	144
(Rotter Károly)	A szilícium-acélról	1928	155	
	Fémnemű anyagokról szóló folyóirati cikkek	1928	156	166
	Építőanyagokról szóló folyóirati cikkek	1928	162	
	Ipari és egyéb anyagokról szóló folyóirati cikkek	1928	164	
	Általános érdekű folyóirati cikkek	1928	164	
Feimer László, dr.	Adatok a fenyőfa szilárdsági és rugalmassági tulajdonságaihoz	1928	169	203
Czakó Miklós, dr.	A fémek viszkozitása magas hőfokon, meg nem olvadt állapotban	1928	204	210
Rotter Károly	A nagyszilárdságú építőacélról	1928	211	212
	A zürichi kongresszus előkészítése	1928	214	
Pogány Béla, dr.	A Röntgen-fény felhasználása az anyagvizsgálat céljaira	1928	221	236
Vér Tibor, dr.	A kifáradás mibenléte és hatása az anyag sajátságaira	1928	237	273
	Fémnemű anyagokról szóló folyóirati cikkek	1928	274	286
	Építőanyagokról szóló folyóirati cikkek	1928	281	
	Ipari és egyéb anyagokról szóló folyóirati cikkek	1928	282	
	Általános érdekű folyóirati cikkek	1928	283	
Pogány Béla, dr.	A Röntgen-fény felhasználása az anyagvizsgálat céljaira	1929	3	30
	Egyesületi közlemények	1929	31	36
	Egyesületi közlemények: 1929. jún. 9-én tartott XXIV. rendes közgyűlés	1929	31	36
Rabong János	Beszámoló a Zürichben 1929 március 22-24-én tartott sinügyi értekezletről	1929	39	63
Vajdaffy Aladár, dr.	A kukoricakóró, mint a cellulóze-ipar nyersanyaga	1929	64	72
Misángyi Vilmos, dr.	Rejtő Sándor emlékezete	1929	73	79

Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
Pogány Béla, dr.	Röntgen anyagvizsgáló előadások a német és osztrák Anyagvizsgálók Szövetségeinek 1929. október 10.-én tartott közgyűlésén	1929	83	85
Szalóki Zoltán, dr.	A fény hatása a fonalak és a szövetek tulajdonságaira	1929	86	122
	Hegesztések gyors vizsgálata a gyakorlatban	1929	123	123
	Nemzetközi vasszerkezeti kongresszus 1930-ban	1929	124	124
	Az "St 52" szerkezeti acél	1929	125	127
	Egyesületi közlemények: 1929. okt. 2-án tartott 10. választmányi ülés	1929	128	128
Vér Tibor, dr.	Az anyagvizsgálat néhány újabb problémájáról	1930	3	38
Beck Pál	Húzott ónszalag rekristallizációs centrumainak eloszlása	1930	39	52
	Egyesületi közlemények: 1930. febr. 27-én tartott választmányi ülés	1930	53	58
Gállik István, dr.	Vas és acélszerkezetek nyúlásának összehasonlító vizsgálata különböző méretű próbapálcák esetében	1930	61	84
	Egyesületi közlemények: 1930. jún. 6-án tartott XXV. rendes közgyűlés	1930	85	94
	A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének könyvtárjegyzéke	1930	95	100
Zorkóczy Béla	A hegesztés technológiája és korszerű alkalmazásai	1930	101	136
Rotter Károly	Vasszerkezetek hegesztése	1930	137	150
Rotter Károly	Hegesztett kapcsolatok magatartása	1930	151	154
Csilléry Dezső	Ivhegesztés a Bszkrt-pálya alkatrészein	1930	155	169
	Hírek	1930	170	170
Worschitz Frigyes	A röntgensugárdiagnosztika a faanyag vizsgálatában	1931	1	28
Gállik István, dr.	A krómáccal végzett kísérletek és kapcsolatos tanulmányok	1931	29	84
Thoma Albert	Tűzszekrény anyagok minőségi kérdéseinek megoldása	1931	85	123
	Egyesületi élet: 14. rendes választmányi ülés	1931	124	128
	1931. márc. 31. Dr. M. Ros látogatása	1931	129	130
Vietóórisz József	A Vickers-féle keménységvizsgáló gép	1931	131	139
Rotter Károly	Hegesztett vasszerkezetek legújabb német szabályzata	1931	140	149
	Egyesületi közlemények: A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének XXVI. rendes közgyűlése. 1931. május 29.	1931	151	159
Gállik István, dr.	Króm acélokkal végzett újabb kísérletek	1931	161	177
Vér Tibor, dr.	Szerkezeti vasanyagok viselkedése magasabb hőmérsékleten állandó (statikus) terhelések alatt	1931	179	220
	Egyesületi közlemények: 17. választmányi ülés (1931. nov. 15.)	1931	220	221
	Ásványolaj Bizottság megalakulása	1931	222	226
	Az Anyagvizsgálók Új Nemzetközi Szövetségének I. kongresszusa Zürich-ben, 1931. szept. 11-16.	1931	226	231
Zorkóczy Béla	Az I. Nemzetközi Hegesztéstechnikai Kongresszus tanulságai	1932	1	31
Feimer László, dr.	A tűzálló fa alkalmazása az Északamerikai Egyesült Államokban	1932	38	43
Feimer László, dr.	Az Egyesült Államokban használt alumínium ötvözetek tulajdonságai és alkalmazásuk	1932	44	48
Gerritsen W., ismerteti: Z.B.	előadása a Mérnökegyetben "A váltóáramú ivhegesztés és alkalmazása" címen (Bp. 1932. febr. 12.)	1932	49	51
	Egyesületi hírek: 1932. márc. 4-én tartott XIX. választmányi ülés, 1932.	1932	52	52
Benesch Ferenc	Acéltöredékeken észlelhető rendellenességek, különös tekintettel a fénylő foltok okaira	1932	53	94
Sailer Géza, dr.	Anyagvizsgálat és minőségi acélok gyártása a Rimamurány-Salgótarjáni Vasmű r.t.-nál, különös tekintettel a sodronykötelek anyagára	1932	95	115
	Egyesületi hírek: 1932. máj. 30-án tartott XX. választmányi ülés, 1932.	1932	116	120
Vietóórisz József, dr.	Kritikus hőfoka alatt hengerelt lágyvas rekristallizációja utólagos hideg alakítás után	1932	121	183
Worschitz Frigyes, dr.	Rádiográfiai fajsúlymeghatározás	1932	184	197
Varga József, dr.	elnöki megnyitója a Magyar Ásványolaj Bizottság alakuló ülésén	1932	198	205
	Egyesületi élet: A Magyar Ásványolaj Bizottság alakuló ülése, 1932.	1932	206	214

Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
Bresztovszk' Béla, dr.	Közlemények a m. kir. József-műegyetem Műszaki Mechanikai Laboratóriumából és a vele kapcsolt Kísérleti Állomásból	1932	217	237
Reuss Endre, dr.	A hideg alakítás befolyása a vas- és acélananyagok folyási határára	1932	238	273
	Egyesületi hírek: 1932. szept. 27-én tartott XXI. választmányi ülés, 1932.	1932	274	276
Bresztovszk' Béla, dr.	Eljárások a tégléaszilárdság meghatározására	1932	277	311
Worschitz Frigyes, dr.	Rádfizikai sűrűségmérések: spekrometrikus és iontometrikus fajsúlymeghatározás	1932	312	335
H. Kühl, dr. (ismerteti: Czakó Miklós, dr.)	"Cementkémia"	1932	336	343
ismerteti: Czakó Miklós	A portlandcement konstitúciója Le Chatelier szerint	1932	344	347
Misángyi Vilmos, dr.	Visszapillantás az Anyagvizsgálók Közlönyének eddig megjelent tíz évfolyamára	1933	1	15
Jakóby István	Ónfólia-feketedés	1933	16	36
Czakó Miklós, dr.	A portlandcement kémiai jellemzése	1933	37	46
	Az 1935-ben Londonban tartandó nemzetközi kongresszus vitaanyaga	1933	47	47
	Az 1935-ben Londonban tartandó nemzetközi kongresszus tanulmányi bizottságai	1933	48	48
Bresztovszk' Béla, dr.	A magyar cementszabályzat átdolgozásával kapcsolatos kísérletek	1933	49	98
	A m. kir. Technológiai és Anyagvizsgáló Intézet 50 éves jubileuma	1933	99	100
	Egyesületi élet	1933	101	108
Ordódy János	Jelentés a m. kir. Technológiai és Anyagvizsgáló Intézet 1927-1932. évi működéséről. Budapest, 1933.	1933	108	108
Marssó László	Beszámoló az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szövetségének 1931. évben Zürichben tartott kongresszusáról. B) csoport: természetes kövek, portland- és alumíniumcementek	1933	109	132
	Magyar Országos Szabványok (MOSz.) 1. évf. Budapest, 1933.	1933	133	135
	Az 1932. évi zürichi II. nemzetközi sínügyi értekezlet	1933	136	137
	Az 1932. évi zürichi "Kongresszusi könyv" kedvezményes megszerzése	1933	138	139
Kazinczy Gábor, dr.	Beszámoló az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szövetségének 1931. évben Zürichben tartott kongresszusáról. B) csoport: beton és vasbeton	1933	141	159
Spinger István, dr.	A washingtoni National Bureau of Standards	1933	160	168
	Egyesületi élet	1933	169	171
Misángyi Vilmos, dr.	A gazdaságos ipari termelés feltételei az anyaggazdálkodás szempontjából	1933	173	178
Palotás László	Az Abrams-féle finomsági modulus gyakorlati jelentősége	1933	179	207
Pesky János	Thermittel hegesztett sínek	1933	208	212
Pesky János	A zúzott kő értékelése	1933	213	217
	Egyesületi tudnivalók	1933	219	219
Csilléry Dezső	A sínillesztés-hegesztés fejlődése és a hegesztett sínillesztések tanulmányozása	1934	1	52
	Könyvismertetés: Magyar Országos Szabványok (MOSZ) 3-4. szám	1934	53	
	Könyvismertetés: Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye I. füzet	1934	54	
	Zorkóczy Samu emlékezete	1934	61	64
Gállik István, dr.	A mértékadó főfeszültség levezetése a Mohr-féle törési elmélet alapján	1934	65	78
Gállik István, dr.	A hajlítópróba alkalmazása a hegesztés vizsgálatában	1934	79	90
Marssó László	A beton nyomószilárdsága	1934	91	101
	Könyvismertetés: Magyar Országos Szabványok (MOSZ) 5-7. szám	1934	102	
Worschitz Frigyes, dr.	Az ép és beteg faanyag finomszerkezeti jellemzői	1934	109	125
Kazinczy László	Az esztergakések éltartóságáról és élkopásáról	1934	126	131
Schwertner Antal	Az együttes húzás és nyírás alapegyenlete és alkalmazása	1934	132	165
	Könyvismertetés: Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye II.	1934	166	

	fűzet			
Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
	A m. kir. Technológiai és Anyagvizsgáló Intézet működése az 1933. évben	1934	167	168
Mihailich Győző, dr.	Összehasonlító kísérletek a folytvas- és acélbetétes, portlandcementtel és bauxitcementtel készült T-keresztmetszetű gerendákkal	1934	177	208
Cotel Ernő	Az acél kopásának kérdése	1934	209	224
Gállik István, dr.	Az 1932. évi zürichi II. nemzetközi sín-értekezlet tárgyalási anyagának ismertetése	1934	229	271
Palotás László	A beton-adalékanyagok legkedvezőbb szemszerkezete	1934	272	281
	Könyvismertetés: Magyar Országos Szabványok (MOSZ) 8-10. szám	1934	282	
	Könyvismertetés: Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye III. fűzet	1934	282	
	Egyesületi élet: A III. Nemzetközi Sín-értekezlet Előkészítő Bizottság Második ülése (1934. nov. 28.)	1934	284	286
	Egyesületi élet: 1934. december 7-én tartott XXIX. rendes választmányi ülés	1934	287	288
Vér Tibor, dr.	Az anyagvizsgálat korszerű problémái (Miért nem elegendők a tervezők számára a statikus vizsgálatból nyert anyagjellemzők ?)	1935	1	52
Gáspár Géza	Beszámoló az Anyagvizsgálók Nemzetközi szövetségének 1931-ben tartott kongresszusáról. B-csoport: Kémiai hatások a cementre és a betonra, cementek hidraulikus adalékanyagokkal	1935	53	66
Worschitz Frigyes, dr.	Szöveti rostelemek sejtfalvastagodásának szerepe a növényi rostanyagok röntgen-interferometrikus elemzésében	1935	67	80
Schwertner Antal	A vas és a beton közötti tapadás és a vasbetonelmélet	1935	81	122
Gyengő Tibor	Mérnöki laboratóriumok munkája Amerikában	1935	124	142
	III. Nemzetközi Sín-értekezlet előkészítő bizottságának harmadik ülése 1935.március 29-én	1935	143	146
	30. választmányi ülés 1935. május 15-én	1935	147	148
	Kiss Jenő emlékezete	1935	149	
	Kiss Jenő halála	1935	149	150
Cságly József	Az útépitésben használatos különböző bitumenek vizsgálata	1935	151	160
Vásárhelyi Dezső	A fotoelaszticitómia. Feszültségmeghatározás optikai úton	1935	161	177
	Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye IV. fűzet	1935	178	178
	Magyar Országos Szabványok (MOSZ) 11-13.szám	1935	178	178
	Az Egyesület XXX. rendes közgyűlése 1935.június 14-én (Tiszti jelentések, választások)	1935	179	188
	III. Nemzetközi Sín-értekezlet előkészítő bizottságának negyedik ülése 1935. július 5-én	1935	186	249
	a III.Nemzetközi Sín-értekezlet 1935. szeptember 8-12	1935	189	
	Megnyitóbeszédei	1935	189	
	Programja	1935	191	
	Előadásainak ismertetése	1935	207	
	Résztvevőinek névsora	1935	238	245
	Határozatai	1935	246	
	Két felköszöntő	1935	247	
Sályi (Springer) István dr.	A beton lassú alakváltozása	1936	1	35
	Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye V. fűzet	1936	36	36
	Hírek: A II. Nemzetközi Erdőgazdasági Kongresszus (Budapest, 1936. szeptember)	1936	37	38
	Hírek: A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet 1936. évi továbbképző előadássorozata	1936	38	39
Gállik István, dr. h.c.	Ferde irányú hegesztett varratok szilárdsága	1936	41	50
Misoga Zoltán	Szabályos húzásnak alávetett vörösréz-anyag viselkedése rákövetkező szabályos nyomás esetén	1936	51	62

Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
	31. választmányi ülés 1936. június 2-án	1936	63	65
	XXXI. rendes közgyűlés 1936.június 25-én (Tiszti jelentések, választások)	1936	66	72
	A III. Nemzetközi Sín-értekezlet (Budapest 1935.szept.) könyvének megjelenése	1936	67	
	Jelentés a Nemzetközi Szövetség helyzetéről	1936	69	
Ipolyi Károly	Csersavas tinták savtartalmának jelentősége és meghatározási módszere	1936	73	81
Palotás László	A beton kockaszilárdságának előrebecslése	1936	82	88
Feimer László, dr.	Csavarkötések szilárdsága tekintettel a lemezek palástnyomására	1936	89	97
	Értesítések az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szövetségének Londonban 1937. április 19-24. tartandó II. kongresszusáról	1936	98	99
	Hírek: A Szabványosító Intézetek Nemzetközi Szövetségének (I.S.A.)Budapesten 1936. aug.31-szept.12. tartott értekezletsorozata	1936	100	102
Czakó Miklós, dr.	Henry Le Chatelier	1936	103	104
Tantó Pál	Beszámoló a német és magyar hegesztési bizottság 1936. évi május 11-én Budapesten tartott közös értekezletéről	1936	105	122
Gyengő Tibor	Betonkockákon, hasábokon és hengereken végzett összehasonlító szilárdsági kísérletek	1936	123	140
Emperger dr.-Ing.E.h.F.v.	Az "n" tényező egységesítése a vasbetonban	1936	141	148
	Magyar Országos Szabványok (Közlemények) 14 --22. szám	1936	152	152
	Liste des Normes Nationales Hongroises et des projets de normes	1936	152	152
Csilléry Dezső és Péter Lajos	"Bull Head-sínek" zsugorodó talpfevederes illesztésének vizsgálata	1937	1	23
Csilléry Dezső és Péter Lajos	"Bull Head-sínek" zsugorodó talpfevederes illesztésének vizsgálata	1937	1	23
	Dr.Pattantyús Á.Géza :Gépészeti Zsebkönyv.	1937	24	25
	Cotel Ernő: A Martinacélgártás.	1937	25	26
	Dr. Móri Béla: Jelentés a benzinpótló motor-hajtó anyagok állandó nemzetközi bizottságá-nak (CIPCC) Budapesten tartott VI. évi összejöveteléről.	1937	26	26
	Tantó P., Harkányi J., dr Széchy K., Vass L.: Jelentés a berlini 1936. évi nemzetközi híd- és épületszerkezeti kongresszusról.	1937	27	28
	Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye VI. füzet.	1937	28	28
	Magyar Országos Szabványok (Közlemények) 23-26. szám	1937	28	28
Monostori Antal, dr.	A festés hatása gyapjú-fonalak és szövetek szilárdsági tulajdonságaira	1937	29	66
Waigand Ferenc	A zsírtartalom hatása a bőr mechanikai tulajdonságaira	1937	67	76
	Egyesületi élet: 32. rendes választmányi ülés 1937. május 25-én	1937	77	77
	XXXII. rendes közgyűlés 1937 június 18-án	1937	78	82
	A " Széchenyi Tudományos Társaság" jelentése. Budapest, 1937.	1937	83	84
Gállik István,dr. h.c. és Vér Tibor, dr.	Lágyvassal végzett dróthúzási kísérletek	1937	85	118
Gállik István,dr. h.c. és Vér Tibor, dr.	Lágyvassal végzett dróthúzási kísérletek	1937	85	118
Pallay Nándor, dr.	A fakeményesség vizsgálati módszerének módszerének kérdése	1937	119	138
Lőw Márton, dr.	Hazai traszainkról	1937	139	150
	Deutsche Auszüge ungarischer wissenschaftlicher Zeitschriften 1935. A) Naturwissenschaften	1937	151	152
	A szabványok hazánkban és külföldön. Alkalmazásuk a közszállításban.	1937	152	152
Pesky János	Téglavizsgálatok	1938	1	24
Vásárhelyi Dezső	Egyszerűsített eljárás belső feszültségek optikai meghatározására	1938	25	38
Palotás László, dr.	A beton alakváltozása tartós terhelés hatására	1938	39	53
Kazinczy Gábor, dr.	A vasbetontartó méretezésének alapvető kérdései	1938	53	96
	Magyar Országos Szabványok	1938	54	54
Waigand Ferenc	Szivacsok minőségi vizsgálata és osztályozása	1938	97	112

	Deutsche Auszüge ungarischer wissenschaftlicher Zeitschriften 1936. A) Naturwissenschaften	1938	113	113
Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
	Hírek: IV. Nemzetközi Sin-értekezlet, Düsseldorf, 1938. szept. 19-23.	1938	114	114
Gállik István, dr.h.c.	Bemetszett rudak és szegecselt kötések fáradási szilárdsága I.	1940	1	28
	A sínfelület kopása	1940	29	30
	Személyi hír: Dr. Vargha Kálmán t itkár magántanársága	1940	30	30
	Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye X. füzet	1940	31	31
	Magyar Országos Szabványok (MOSz) 36. sz.	1940	31	31
	Adolf Beck: Magnesium und seine Legierungen	1940	32	32
	Hírek: Az Anyagvizsgálók Nemzetközi Szövetsége (1940. VI. 3-7. elmarad a konferencia Kölnben és Münchenben)	1940	32	32
Gállik István, dr.h.c.	Bemetszett rudak és szegecselt kötések fáradási szilárdsága II.	1940	33	62
Vietórisz József, dr. techn.	Új módszerek az acélok hőkezelése terén	1940	63	87
	Személyi hír: Dr. h. c. Czako Adolf 80 éves	1940	88	88
Palotás László, dr.	Vasbetonszerkezetek erőjátéka a tartós alakváltozások figyelembevételével	1940	89	116
	Az öntöttvas nemesítés egyik újabb eljárásának vizsgálata	1940	117	119
	Magyar Országos Szabványok Gyűjteménye XI. füzet	1940	120	120
	Magyar Országos Szabványok (MOSz) 37. és 38. szám	1940	120	120
	Megjegyzés:	1940	120	120
Thoma Albert	Fárasztó vizsgálatok vasúti kocsitengelyeken	1940	121	136
Thoma Albert	A nikkelréz tűzszekrényanyag	1940	137	148
Kazinczy Gábor, dr. techn.	Beszámoló a német anyagvizsgálók egyesületének 1940. június 13-14-én Münchenben tartott üléséről	1940	149	155
	Gállik István dr.h.c.ny.h. államtitkár, egyesületünk tiszteletbeli tagjának pályafutása és működése	1940	156	158
	Egyesületi élet: XXXV. rendes közgyűlés 1940 június 25-én	1940	159	165
H.J. Gough, közli: Thoma Albert	Repülőgépek szerkezeti anyagainak ismertetése (Materials of Aircraft construction. The Journal off the Royal Aeronautical Society 1938.)	1940	166	177
	Magyar Országos Szabványok (MOSz) 39. és 40. szám	1940	178	178
Pavlánszky Ede	Az acél kristályszerkezet nagyságainak befolyása az acélnak hőkezelésekkel szembeni viselkedésére, szilárdsági értékeire és egyéb fizikai tulajdonságaira	1940	179	202
Biacs Nándor:	Nedvességtartalom mérés villamos úton	1940	203	212
	Hírek: A Technológiai Könyvtár Barátai Egyesületének ünnepi közgyűlése	1940	213	214
	Szabó Dezső: A sínanyag kérdése az olasz államvasútnál	1940	215	216
	E. Siebel: Handbuch der Werkstoff-prüfung	1940	217	218
Benesch Ferenc	Az összetett vas-mangánkarbidok állandósága	1941	1	30
Verő József, dr. techn.	Az alított vas viselkedése kéntartalmú forrógázokban	1941	33	40
Fábry Ferenc	Acélok színjelzése	1941	41	44
Vietórisz József, dr. techn.	Anyagfáradás a gyártás és gépszerkesztés szemszögéből	1941	45	84
	Hírek: Dr. Bresztovszky Béla †	1941	83	84
Gillemot László, dr.techn.	A hegesztés röntgenvizsgálata	1941	85	164
	Egyesületi közlemények: A Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének XXXVI. rendes közgyűlése	1941	165	171
	Hírek: Dr. Czako Miklós †	1941	173	174
Feimer László, dr	Alapelvek és adatok könnyű fémszerkezetek méretezéséhez	1941	175	232
	Hírek: A Magyar Mérnök és Építész Egylet 75 éves jubileumi közgyűlése	1941	233	233
Förster László	Kőanyagvizsgáló módszerek	1942	1	39
Thoma Albert	Az öntési ill. a hengerlési kéreg befolyása az ütve-szakító szilárdságra	1942	40	43
Pavlánszky Ede	Nickel- és Molybdän-mentes csere szerkezeti acélok műszaki ismertetése	1942	46	85

Horváth István	A jéglencseképződés fizikája és a fagykárók, különös tekintettel a tiszafüredi öntöző főcsatorna építésére	1942	86	100
Csonka Béla	Lövegcsövek elhasználódása	1942	101	125
Név	Cím	Év	Oldal (től)	Oldal (ig)
Schwertner Antal	A beton és a vas közötti tapadás befolyása a vasbetongerenda biztonságára	1942	125	130
	Helyreigazítás a "A jéglencseképződés fizikája és a fagykárók, különös tekintettel a tiszafüredi öntöző főcsatorna építésére" c. cikkhez	1942	131	133
Gállik István, dr.	Az acélok hegeszthetősége és az újabb nagyszilárdságú és hegeszthető mangánszilícium és mangánfoszfor Thomasacélok	1942	135	262
Nemesdy József	A vasúti felépítmény korszerű anyagvizsgálati kérdései	1943	1	17
Péter Lajos	Egy pár szó az elektromos ívhegesztéssel előállítottközúti vasúti Vignol felépítményekről	1943	18	39
Mauritz-Vendi, ismerteti: Pojják Tibor	Ásványtan I-II.	1943	40	40
Gállik István, dr.	A Dauget és a Mohr-féle törési görbék egymással összefüggése, Dauget-féle elmélet általánosítása és a belső súrlódás új hipotézisének új fogalmazása	1943	41	59
Verő József	Fémcsiszolatok elektrolitikus polírozásával szerzett tapasztalataim	1943	60	76
	Dr. Quirin Leóra való emlékezés	1943	80	81
Palotás László	Kétirányban teherbíró vasbetonlemez	1943	82	153
Zorkóczy Béla	Saválló és hőállóacélok a háborús anyaggazdálkodásban	1943	156	166
Vietorisz József	A háborús gyorsacélokról	1944	1	28

Törésmechanika és anyagvizsgálat: A XX. század elfelejtett úttörői

Dr. H. P. Rossmanith

Vienna University of Technology, Institute of Mechanics

Összefoglalás

A közlemény a törésmechanika és anyagvizsgálat első kutatóinak munkáját tekinti át. Bemutatja a törésmechanika kialakulását Németországban és bemutatja az Osztrák-Magyar Monarchia területén Karl Wieghardt, Alfons V. Leon, K. Wolf, A. Smekal és P. Ludwik tevékenységét. Figyelemmel kísérhetjük G. I. Inglis és A.A. Griffith munkájával való összehasonlítást.

A közlemény rámutat arra, hogy ezen úttörő kutatók munkája - különösképpen az 1907-ben Wieghardt által a törésmechanika analitikus alapegyenleteinek a fejlődéséről írt cikke - számos évtizeddel előzött meg sok eredményes munkát. Wieghardt munkája valójában közvetlenül kapcsolódott valóságos tönkremeneteli esethez és Leon terjedelmes művét főleg mérnöki problémák megoldása vezérelte. Bemutatásra kerülnek azon okok, amelyek Wieghardt 1907-es alapvető cikkét - főleg az angolszász területen- mellőzték.

1. Bevezetés

A törésmechanikát már az új kőkorszakban is hatékonyan alkalmazták, amikor felfedezték a kőpattintásos technikát, amellyel többé kevésbé kifinomult szerszámokat készítettek békeidőre és háborúra egyaránt. A pengék, fejszék előállításához minimálisan azt a tudást igényelte, hogyan reped és hasad a kő, de az már kétséges, hogy a modern ember eme korai lezármazottai megértették a törés mechanizmusát.

Az irodalomban számos olyan eseményt rögzítettek Európában a XII-XIII. században, amelyek törésre utalnak. A XIV században az ágyúbronzok kezdetleges minőségellenőrzését és vizsgálatát végezték el úgy, hogy a feje tetejére állított megtöltött ágyút elsütötték, mire az felemelkedett a levegőbe. Ha a levegőből visszaérkező ágyúcsövön nem volt repedés vagy az nem tört el teljesen, elég szívósnak és biztonságosan üzemeltethetőnek minősítették. Ha azonban ez a dinamikus vizsgálat törött ágyúcsővel ért véget, akkor elrendelték a fegyver újraöntését.

A nyugati országokban az első történelmileg feljegyzett tanulmány [da Vinci keltezetlen, Uccelli 1956], mely a törési szilárdsággal foglalkozott, Leonardo da Vinci nevéhez köthető, aki a vashuzalok szilárdságát tanulmányozta. Azt a vizsgálógépet, amely da Vincinek a Codex Atlanticusban található feljegyzéseiben van leírva, Irwin és Wells értelmezték és magyarázták cikkükben [1965]. Leonardo különböző hosszúságú, de ugyanolyan vastag huzalokra koncentrált, Galileo Galilei [1683] pedig egyforma hosszúságú és különböző vastagságú huzalokkal

foglalkozott. Ráadás képp hajlításra illetve húzásra igénybevett márványoszlopok törését is tanulmányozta. Galileo kvázi-analitikus megközelítése vezetett a méretbeli hasonlóság gondolatához, amely - különösen a XIX. században - meghatározta a mérnöki tervezési kritériumok kifejlődését.

1650 körül XIV. Lajos, Franciaország királya a versailles-i kertjébe egy fényűző szökőkút megépítését rendelte el és ezzel a munkával udvari mérnökét, E. Mariotte-ot bízta meg. Ezen feladat megoldása megkívánta a jelentős mennyiségű, nagy nyomásút víz elszigetelését. Mariotte hengeres nyomástartó edényeken végzett kísérleteket, miközben az alakváltozást illetve a tartály megrepesztéséhez szükséges nyomást mérte és megfigyelte, hogy közvetlen összefüggés áll fenn a nyomás és a területi megnyúlás között [1686]. Megállapította, hogy akkor reped meg a tartály, amikor a területi nyúlás egy bizonyos határon túllép. Ez eredményezte a maximális nyúlás (vagy maximális feszültség) kritériumként való alkalmazását a törési szilárdság becslésében.

2. A XIX. század iparosítása és a professzionális anyagvizsgálat kialakulása

A XIX. századi iparosítási folyamatában a nyersvas és az acél felhasználása nagy jelentőségre tett szert. A mérnökük világának ezt a felgyorsult és részben szabályozatlan terjeszkedését a szerkezetek viszonylag nagy arányú tönkremenetele kísérte. Valójában a vasúti kocsik tengelyeinek és a síneknek a törése olyan megszokott dolog volt, hogy 1870-ben a brit *Engineering* mérnöki folyóirat heti rendszerességgel közölt vasúti katasztrófákról szóló statisztikát. Ez a helyzet a közvélemény fokozott figyelmét irányította a vasúti szállítás és a hidak biztonságára. Ennek eredményeképpen a mérnököket nagyobb felelősségvállalásra készítették annak érdekében, hogy ehhez a sajátos alkalmazáshoz megfelelő acélt találjanak és ez a felhasználás szempontjából lényeges mechanikai anyagtulajdonságok pontos meghatározását igényelte. A Krupp művek által legyártott ötvöztött acél melegtörékenysége Németországban először 1870 körül bukkant fel és ezzel felerősödött annak igénye, hogy az acélok törési minőségének tanulmányozására vizsgálati technikákat fejlesszenek ki [Todhunter és Pearson 1886]. Európában nagyszámú anyagvizsgáló laboratóriumot nyitottak, melyek között az egyik legfigyelemreméltóbbat David Kirkaldy 1865-ben létesítette Londonban [1864].

Kirkaldy eredményei számos más országbeli kollegáinak eredményeivel együtt fémjelezték az acélok bemetszett próbatesten való ütővizsgálatának kezdetét. Az öntöttvas és acél ütővizsgálatot széles körben használták a XIX. század végén, mert ezek a vizsgálatok jól mutatták az acélokban a szívós-rideg átmeneti hőmérsékletet és ezzel hozzájárultak a hőkezelés ellenőrzéséhez. Az ütő-igénybevétellel és a töréssel szemben való méretezést pusztán a gyakorlatban tapasztalt törési esetekre alapozták.

1909-ben P. Ludwik [1909] javasolta azt az elméletet, amelyik a bemetszett próbatestnek a növekvő hőmérséklettel való hirtelen ütőmunka növekedését segített megmagyarázni. Ludwik munkáját a későbbiekben részletesen tárgyaljuk.

3. L. Prandtl és a korabeli elképzelések a képlékeny alakváltozásról

Ludwig Prandtl 1875 február 4-én született a bajorországi Freisingben, gimnáziumi tanulmányait Freisingben illetve Münchenben folytatta és a felsőfokú végzettségét a müncheni Technische Hochschule-n szerezte mielőtt anyagvizsgáló laborjában A. Föppl segédje lett. 1903-ban a

hannoveri Technische Hochschule-n tanítva elnyerte az egyetemi docensi címet. 1907-ben professzor lett a Göttingeni Egyetemen, ahol [1903] publikálta híres membrán analógiás érvelését a csavarás problémájához. E munkában egy szappanhártyát felhasználva megmutatta, hogy a feszültségeloszlásra vonatkozó minden információt kísérletileg meg lehet határozni. Bach, Bauschinger, Lüders, Prandtl, Kármán (aki Prandtl első és legjobb tanítványai közül került ki), Nádaí és mások nagyban hozzájárultak az anyagok képlékeny viselkedésének megértéséhez közvetlen a századforduló után.

Timoshenko az *“Anyagok szilárdságának történetéről”* írt könyvében rámutat [1953], hogy Prandtl szappanhártya analógiájának gyakorlati jelentőségét A.A. Griffith és G.I. Taylor ismerték fel [1917]. A farnborough-i Királyi Légierő támaszponton dolgozó A.A. Griffith, G. I. Taylor segítségével megmérte a bemetszések által létrehozott feszültséggyűjtést elsősorban repülőgép alkatrészein, mint például légsavartengelyek hornyain. Ezt a technikát alkalmazták különböző keresztmetszetű rudak csavaró-merevségének meghatározására is és megállapították, hogy a módszernek leginkább a repülésben vették hasznát, különösképpen légsavarok esetében. Azonban annak ellenére, hogy „...néhány elszigetelt kísérletet hajtottak végre ebben az országban és Németországban...” nem emlékeztek meg Prandtl munkájáról, amely akkor már 14 éve ismert volt.

A törés jelenségét tanulmányozva Prandtl [1907] a következő két típusú törést javasolta definiálni:

- a) kohéziós vagy rideg törés,
- b) nyírási törés.

Amikor acél hengeres próbatestek szakítóvizsgálatát végezték, mind ő, mind pedig Ludwik megfigyelte, hogy a kontrakciós törésnél a repedés a keresztmetszet rideg közepén kezdődik és a kúpos perem felé képlékenyen terjed ki.

4. A törésmechanika korai művelői

Ezer és ezer év óriási technológiai fejlődése ellenére, biztosan állítható az, hogy a törés korai történelmében a tönkremenetel feltételeit csak alig értették. A XX. század elejének az anyagok szilárdságáról való szemléletét jól tükrözi Love *“Értekezés a rugalmasságtan matematikai elméletéről,”* [1926] c. munkája. A könyv azon fejezetei, amelyek a lineárisan rugalmas elmélet alkalmazhatóságával foglalkoznak, az 1900-1926 közötti időszakban nem voltak hatással a töréssel foglalkozó tanulmányokra. Love megjegyzi, hogy az elterjedten használt „biztonsági tényezők” a fellépő feszültségeket arra a tartományra szorítják le, amelyben a lineárisan rugalmas analízis elég pontos. A biztonsági tényező értékére a következő példákat sorolja fel: kazánoknál - 6, tartóoszlopoknál - 10, vasúti hidaknál 6-10, légsavar tengelyeknél és olyan alkatrészeknél, melyek hirtelen irányváltásnak vannak kitéve - 12.

A töréssel kapcsolatban Love még a könyvének negyedik, 1926-os kiadásában is arra a következtetésre jut, hogy „a szakadás tulajdonságait csupán bizonytalanul értjük”. Azonban az ismétlődő terhelés (fáradás) következtében való szilárdság csökkenéséről írt fejtegetésében Love ezt úgy írja le, mint az anyag fokozatos elhasználódása. Ebben a tekintetben elég közel járt ahhoz, amit ma kontinuum károsodás mechanika néven tartunk számon.

1900 után, az autók, majd a repülőgépek megjelenésével, a megfelelő biztonsági tényezők

biztosítása egyre bonyolultabbá vált és a törés megértésének igénye egyre nyilvánvalóbb lett. E kérdésre adandó válaszokat főleg a jobb tulajdonságú anyagokra, a tökéletesebb gyártásra és ellenőrzésre élezték ki. Ezen támasz figyelembevételével a többnyire tapasztalaton, a biztonsági tényezőn és a próbavizsgálaton alapuló törés elleni méretezés, ellenőrzés 1900 és 1950 között fennmaradt. A törési tönkremenetek nagy költségei elleni védekezés egyetlen alternatívája a biztosítás volt. Ebben az időszakban azonban számos olyan vizsgálatot végeztek, amelyek elősegítették a törésmechanika kialakulását és bevezetését.

4.1. Wieghardt – a korai úttörő

A törésmechanika első analitikus elméletét és a mérnöki gyakorlatban való alkalmazását K. Wieghardt készítette (görgőscsapágy vegyes törési módja).

Karl Wieghardt 1874 június 21-én született az éppen azelőtt egyesült Német Birodalom Rajnai Tartományában levő Bergeborbeckben. Alapképzését az esseni Városi Reálgimnáziumban (Ruhr vidék) szerezte aztán a hannoveri Technische Hochschule-n tanult. Államvizsgáit 1902 májusában a híres Göttingeni Egyetemen tette le a következő fő tantárgyakból: matematika, alkalmazott matematika, fizika. Ugyanezen az egyetemen a filozófia szakon 1902 decemberében doktorátust szerzett majd 1904 július 26-án mechanika és grafikus statika egyetemi magántanárrá jelölték az aacheni Királyi Műszaki Egyetemen.



1. ábra: K. Wieghardt (született: 1874 június 21, Bergeborbeck, Németország - meghalt: 1924. június 10, Drezda, Németország) publikálta az első cikket a törésmechanikában 1907-ben, melynek címe „*Rugalmas testek hasításáról és repesztéséről*”, professzor a Bécsi Műszaki Egyetemen (1911-1920)

Wieghardt következő pozíciója (1906. március 6. – 1907. augusztus 1) egyetemi magántanár volt (miközben a hivatalos költségvetésből nem kapott fizetést) és ezzel együtt az egyetemi rendkívüli tanár címet viselte a braunschweig-i Herzogliche Technische Hochschule-n (Németország északi

részeiben). Ezidő alatt írta meg Wieghardt híres, de majdnem elfelejtett törésmechanikai alapművét. Később az 1907 augusztus 1 – 1911 december 11-ig egyetemi rendes tanár volt a hannoveri Technische Hochschule-n.

Ebben az időben üresedett meg a Bécsi Műszaki Egyetem mechanika professzori állása és a meghívott lehetséges jelöltek listáján két név maradt: első helyen L. Prandtl, a második helyen K. Wieghardt. Végülis Bécsben, 1911 december 1-től Wieghardt-ot jelölték ki professzornak a császári és királyi Bécsi Műszaki Egyetemre, ahol rendes fizetésként 6400 Koronát, kiegészítéseként 1840 Koronát kapott, illetve 800 Koronát a Kultúrmérnöki Karon való mechanika oktatásért és vizsgadíjként. A 2. ábra a Kultúrmérnöki Kar diákjainak szóló mechanika könyvének saját kézírású előszavát mutatja.

Leitwort.

Die vorliegende, gedrängte Vorlesung, meine
Vorlesung: Mechanik I für Ingenieure an der
k. k. technischen Hochschule zu Wien ist nicht weniger
als ein Leitwort der Mechanik. Auf dem für mich
ist nicht der Leitwort der Vorlesungen selbst, sondern
ist eine nicht gekannte Darstellung, die
für die Mechanik nur für den Leitwort auf
selbst ist. Aber für mich ist vor allem
unter dem Vorlesungsbuch, dem für die
Vorlesungsbuch, gedrängte ist, ist nicht weniger
selbst, „effektive“ ist, ist für die
Leitwort, selbst, gedrängte, das für die
selbst.

Wien, den 1. November 1913.

Prof. Dr. K. Wieghardt.

2. ábra: K. Wieghardt „Előszó a Kultúrmérnöki Kar Mechanika I.” tantárgyához írott jegyzetéből:

„A császári és királyi Bécsi Műszaki Egyetem Kultúrmérnöki Karának szóló Mechanika I. c. jegyzet jelen rövidített kiadása nem más, mint a mechanika tankönyve. Nem helyettesítheti az órára való járást. Akármilyen tankönyv sem elegendő egyedül a mechanika megtanulásához. De értékes segítség lesz a kurzust kiegészítendő...

Bécs, 1913, november 1.

Prof. Dr. K. Wieghardt”

Wieghardt 1920 október 21-én lemondott pozíciójáról és elfogadta a Drezdai Műszaki Egyetem állásajánlatát. Valójában 1920 nyarán hagyta el Bécset, mielőtt az őszi félév megkezdődött. A Bécsi Műszaki Egyetem levéltárában fellelhető levelezéséből [Wieghardt 1920] tudjuk, hogy még a nyáron elköltözött Bécsből, hogy több ideje legyen új otthont találni. Levelében elnézést kér kollégáitól, hogy nem volt alkalma elköszönni tőlük. Drezdában tanítás közben, 1924 június 10-én érte a halál.

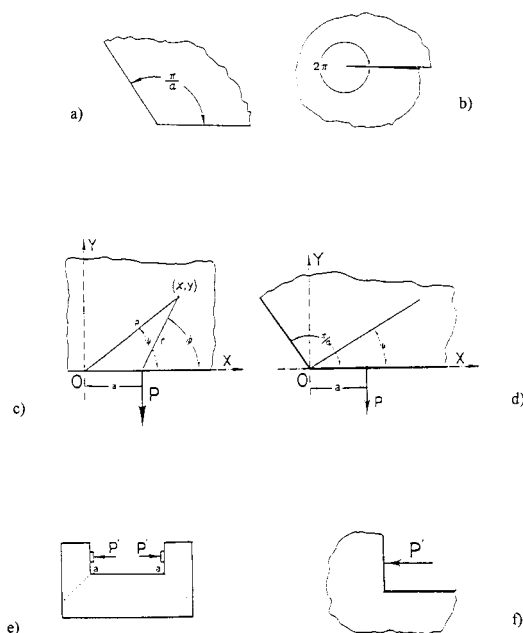
Abban az időben, amikor Wieghardt a császári és királyi Bécsi Műszaki Egyetemen levő állásra pályázott, tudományos publikációs listája nem volt hosszú, de a mechanika területén tökéletes szakmai hozzáértésről tanúskodott. A Göttingeni Egyetemre benyújtott doktori disszertációjának a címe ez volt: „Terheletlen rudakkal álló sík tartók statikájáról” [Wieghardt 1903]. A habilitációs dolgozata „A rugalmasságtan elméletének határaitól” szólt [Wieghardt 1904]. A harmadik írásban „A feszültségi felületekről és a reciprok ábrázolásról” társszerző volt a Felix Klein, a híres

matematikus [Wieghardt és Klein 1905]. További írásai a „Statikailag nagy fokon határozatlan tartók túlterheléséről” [Wieghardt 1906], a „Rugalmas testek hasításáról és repesztéséről” [Wieghardt 1907] és még néhány témáról szóltak. Az utoljára említett írása miatt tarthatjuk Wieghardt-ot a törésmechanika úttörőjének. Ezt az írást a következő fejezet részletesen tárgyalja.

A törésmechanikával foglalkozó szakmai közösség Wieghardt szerepét nem pontosan ismerte fel. Ennek számos oka lehet. A fő ok azonban valószínűleg az volt, hogy az újság, amiben a publikáció megjelent, 1922-ben megszűnt. A. A. Griffith írásának megjelenése a híres Londoni Királyi Társaság Kiadványaiban (Proceedings of the Royal Society of London) nagy elismerése volt Wieghardt munkájának. Ez utóbbi cikk olyan folyóiratban jelent meg, amely a maga korában széles körben ismert volt – így természetesen a németajkú országokban is. Ráadásul az a tény, hogy Wieghardt írása németül jelent meg és ezért nehezen érthető bármely nem német tudós számára, szintén nem segítette az elismerését. Ismereteim szerint az elmúlt 30 év egyetlen hivatkozása Wieghardt történelmi és kulcsszerepet betöltő írására egy német könyv - George Hahn: „Elastizitätstheorie (Rugalmasságtan) [1985], Kaiserslautern” lábjegyzetében található. Ez a lábjegyzet felkeltette jelen szerző figyelmét és angolra fordította Wieghardt írását, hogy a nemzetközileg is ismertté váljon az olvasók előtt. Sheffieldből Prof. Keith Miller megerősítette, hogy a Wieghardt írásának angol fordítása az FFEMS folyóiratban jelent meg [Rossmanith 1995 a,b].

4.1.1. Wieghardt 1907-es munkája

1907-ben, míg a braunschweig-i Herzogliche Technische Hochschule-n tanított Wieghardt egy alaposan kidolgozott tanulmányt tett közzé a bemetszés csúcsa körül kialakuló feszültségmezőről (3.a ábra). Az eredeti német cím: „Über das Spalten und Zerreißen elastischer Körper” és a Zeitschrift für Mathematik und Physik-ben jelent meg [55 (1-2): 60-103] . Az írás a következő részekből áll: bevezetés, két fejezet és egy függelék a megoldás unikalitásáról. A repedés speciális esetét (3.b ábra) részletesen is tárgyalja.



3. ábra: A bemetszési feladat

- a) A bemetszési tartomány geometriai elrendezése, a π/α szög
- b) A repedés geometriai elrendezése
- c) és d) Koordináta rendszer Sommerfeld feltételéhez
- e) Bach görgőscsapágy feladata
- f) A repedéskinyílás iránya a normálirányú koncentrált erő hatására

Az elméleti fejtegetés Sommerfeldnek a Boussinesq feladat megoldására vonatkozó egyik speciális feltételezésén nyugszik arra az esetre, amikor egy \mathbf{P} pontszerű terhelés merőlegesen hat egy félsík felületére. Sommerfeld elgondolása az, hogy a $\Delta\Delta F = 0$ biharmónikus egyenletet peremérték feladatát át kell alakítani egy $\Delta\Phi$ típusú egyszerűbb peremérték feladatra (\mathbf{F} Airy függvényt jelöl, Δ pedig a Laplace operátor). Sommerfeld a következő speciális feltételt javasolja:

$$\Phi = \Delta F = -\frac{P}{i\pi} \left[\frac{1}{\zeta - a} - \frac{1}{\eta - a} \right] \quad (1)$$

ahol „ ζ ” és „ η ” a bemetszés polárkoordinátái (3.d ábra) „ a ” az origónak az erő támadáspontjától való távolsága (lásd a 3.c és d ábrákat). Egy tetszőleges bemetszés tartományra Wieghardt a formulát a következőképpen általánosítja:

$$\Phi = \Delta F = -\frac{\alpha P}{i\pi} \left[\frac{\zeta^{\alpha-1}}{\zeta^\alpha - a^\alpha} - \frac{\eta^{\alpha-1}}{\eta^\alpha - a^\alpha} \right] \quad (2)$$

ahol π/α a bemetszés tartomány nyílásszögét definiálja és azt mutatja meg, hogy ez a függvény kielégíti a megfelelő peremfeltételt és a nyílásszög π minden egész számú többszörösénél megoldását adja a feszültségi feladatnak.

Itt Wieghardt Venskének [1901] a bemetszési problémára vonatkozó korábbi megközelítést tárgyalja és arra a következtetésre jut, hogy végtelenben Venske megoldása nem elégíti ki a feszültségi feltételeket.

A repedéscsúcsban megjelenő végtelen feszültségek tárgyalása után Wieghardt hengerkoordinátákkal (ρ, ψ) vezeti le a \mathbf{P} hasító erőpár esetében, a statikus repedés körül kialakuló teljes feszültségmezőt és itt jegyzi meg a fontos $1/\sqrt{\rho}$ szingularitást:

$$\begin{aligned} \sigma_\rho + \sigma_\psi &= \frac{P}{\pi} \frac{1}{\sqrt{a\rho}} \sin \frac{\Psi}{2} \\ \sigma_\rho - \sigma_\psi &= \frac{P}{\pi} \frac{1}{\sqrt{a\rho}} \frac{1}{2} \sin \Psi \cos \frac{\Psi}{2} \\ \tau_{\rho\psi} &= \frac{P}{\pi} \frac{1}{\sqrt{a\rho}} \frac{1}{4} \sin \Psi \sin \frac{\Psi}{2} \end{aligned} \quad (3)$$

Wieghardt ekkor azt javasolja, hogy ezen egyenleteket annak a kérdésnek a megválaszolására használjuk, hogy \mathbf{P} erő esetén mekkora a repedés szilárdsága. Wieghardt felteszi a kérdést: „Adott szilárdsági tulajdonságú rugalmas anyagunk esetén mekkora erő kell az anyag eltöréséhez? És folytatván, hol és melyik irányban indul meg a törés?”

Az első kérdést illetően Wieghardt bevallja, hogy ő nem ismeri a választ (mint ebben az időben senki sem) a repedéscsúcsban már elenyészően kicsiny tetszőleges \mathbf{P} terhelés hatására fellépő határtalan feszültség miatt. A klasszikus feszültséghipotézist hibáztatja ezért, de arra következtet, hogy a törés, ha bekövetkezik, a repedéscsúcsban következik be. Ezután az $1/\sqrt{\rho}$ végtelenbe futó tényezőt javasolja figyelmen kívül hagyni és úgy vélekedik, hogy a repedéskeletkezés irányát innentől kezdve a szokásos feszültséghipotézis szabja meg. Mohr szerint [1906] rugalmas anyagban alapvetően kétféle feltevés létezik a repedésterjedés irányára vonatkozóan: a *nyírófeszültség hipotézis* és a *húzófeszültség hipotézis*. Wieghardt részletezi is: a kovácsoltvas szívós viselkedésének leírására megfelelőbbnek látszik a nyírófeszültség hipotézis, míg az öntöttvas rideg viselkedése a húzófeszültség hipotézissel lehet összefüggésben.

Wieghardt ezután a maximális nyíró- illetve a maximális húzófeszültség kifejezéseket használja a

lehetséges repedésterjedési irányok leírására és néhány terjedelmes levezetés után arra a következtetésre jut, hogy:

„Bemetszett anyagunkra a nyírófeszültség hipotézis érvényességét feltételezve az elméleti feszültségeloszlás ismerete nem teszi lehetővé a [kritikus] (ford.) terhelés meghaladtával a repedés megindulás irányának kiszámítását és nem lehetséges a további repedés vonalának meghatározása.”

Folytatva a gondolatmenetet:

„Ha feltesszük, hogy a húzófeszültség kritérium érvényes, akkor az eredmények kellemesebbek.”

Gyakorlatilag felismeri, hogy húzófeszültség kritérium egyetlen lehetséges irányt ad a repedés keletkezésére:

„...az anyag túlterhelésekor, a repedés a repedési vonallal párhuzamosan keletkezik, azonkívül ha a repedésnek tovább kell terjedni, akkor a törés abba az irányba következik be, amelyet a repedés kijelöl, mert repedés után ugyanazok a viszonyok uralkodnak.”

A fejezet végén Wieghardt megemlíti a következő feltételt:

$$\frac{Q}{8\pi} \left[\frac{\zeta^{1/2}}{\zeta^{1/2} - a^{1/2}} + \frac{\eta^{-1/2}}{\eta^{1/2} - a^{1/2}} \right], \quad (4)$$

mely a **P** helyén ható **Q** érintőleges erő esetében a repedési feladat feszültségeloszlásának felel meg.

Wieghardt, írásának második részében új elméletét görgőscsapágy görgőkosarának törési problémájára használja. Bach [1902, 1905] által korábban végrehajtott kísérletsorozatból már ismert volt, hogy a görgőkosár az ‘a’ és ‘a’ sarokpontokban törik (lásd: a 3.e ábrát), ha ehhez megfelelő túlterhelést kap. Wieghardt úgy érvel, hogy Bach eredeti („szokásos”) módszere mind a kritikus feszültségre, mind a törés megindulás irányára nézve „rosszul egyezett meg a valósággal.”

Wieghardt a lényegét tekintve háromdimenziós problémát sík feladatként kezeli és a 3.f ábrán látható beékelődő sarok problémájára összpontosít. A görgőscsapágy feszültségi rendszerét először szintén egyetlen erő figyelembevételével egyszerűsíti le.

Az írás egyik fénypontja annak a módszernek a kifejlesztése, mely az aszimmetrikusan terhelt bemetszési tartományt egyetlen normál irányú **P** erővel terhelt tartományra váltja át.

Néhány oldal hosszú számítás után Wieghardt eredeti cikkében újabb törésmechanikai fényponthoz érkezik. „A bemetszés csúcsa körül kialakuló feszültségmező tulajdonságairól” c. fejezetben Wieghardt megjegyzi, hogy: „milyen kellemetlen, hogy az alternáló módszer éppen ott nem működik, ahol a legjobban szükség lenne rá.”

Majd így folytatja: „minden valószínűség szerint, de legalább a azokra a bemetszési tartományokra, ahol $\alpha < l$ a sarokban levő feszültségeket két függvény szorzatára lehet felosztani egyik a Ψ szögkoordináta, a másik a ρ sugar hatványa:

$$F(\rho, \psi) = \rho^n f(\psi) \quad (5)$$

$$F(\rho, \Psi) = \rho^n [A_1 \cos n\Psi + A_2 \cos(n-2)\Psi + B_1 \sin \Psi + B_2 \sin(n-2)\Psi] \quad (6)$$

A szerző jelenleg mellőzi a felbontás pontos bizonyítását...”

Wieghardt ezután az (5) és (6) egyenleteket használja **P** és az azzal analóg **Q** nyíróerő meghatározására és az alábbi következtetésre jut:

„Általában, egy bemetszés környezetében a koncentrált normál erők által keltett feszültségek korlátozatlanosságuk mértékében különböznek azoktól a feszültségektől, amelyeket érintőirányú erők keltettek; a normál irányú erőhöz a két gyök kisebb értéke tartozik. Így, amikor összehasonlítjuk a normál és érintőirányú erőket, akkora normál irányú erőknek magasabb rendű szingularitása van a bemetszés csúcsában. A helyzet hangsúlyozottabbá válik azokra a tartományokra, amely a félsík és a $\tan(\pi/\alpha) = \pi/\alpha$ közé esik, ahol csak a normálirányú erők által keltett feszültségek lesznek végtelenül nagyok, az érintőirányú erőkből származóak nem. Repedés esetében mindkét feszültség rendszer korlátlanul válik a repedés csúcsban.”

A váltakozó módszer gyakorlati alkalmazásáról szóló fejezetben Wieghardt tájékoztatja az olvasót, hogy *„A beszögellő (konkáv) sarok esetében a szerző végrehajtotta a váltakozó módszer számításait. Az összekapcsolt analitikus-grafikus módszer bizonyult a leghatékonyabbnak.”*

A grafikus rész az integrálásra vonatkozott. Wieghardt számításai megmutatták, hogy a **P** normál irányú erőnek kitett beszögellő sarok esetében a sarokban uralkodó feszültségnek a végtelenbe kell tartania $\rho^{-0.45}$ fokon. Azt is elárulja az olvasónak, hogy éppen ezek a számítások vezették rá az (5) egyenlet érvényességének javaslatára.

Wieghardt Bach görgöscsapágy feladatának repedés keletkezési problémájával, azaz a beékelődő sarok feladatával zárja ezt a fejezetet. Az előzőekhez hasonlóan a maximális nyírófeszültség és maximális húzófeszültség hipotézist alkalmazza és a számításokat ezzel a konklúzióval zárja: *„Mindenesetre azok az eredmények vannak összhangban Bach kísérleteivel, amelyek a maximális húzófeszültség hipotézist alapul véve érvényesek a törés keletkezésére.”*

A cikk a megtalált megoldás unikalitásáról írt függelékkal zárul és tisztázza azokat a körülményeket és feltételeket, amelyek az erők végtelenben való elhalálásához szükségesek. A jegyzetek és a referenciák Love *„Értekezés a rugalmasságtan matematikai elméletéről”* c. könyvére [Az 1926-os könyv első kiadása], két Airy-től származó cikkre, egy J.H. Michell cikkre és négy német kutató által, németül írott referenciára utalnak.

4.1.2. Wieghardt 1907-es munkája után

Wieghardtnak a rugalmas testek hasításáról és repesztéséről írt publikációja egyszeri kiadást ért meg. A folyóiratot hamarosan (1922-ben) megszüntették és a cikk terjedéséhez nem volt megfelelő, hogy német nyelven íródott. Ráadásul az a tény, hogy Wieghardt, A. Sommerfeld tanítványaként és Felix Klein munkatársaként önmagát nem tekintette ipari feladatokat megoldó gyakorló mérnöknek, nem szerzett neki gyakorlati szakembernek járó hírnevet.

Ajelen közlemény szerzője ugyanakkor úgy gondolja, hogy 1907 körül a törési problémák megoldásához a nagy, ipari törések és az ezt követő ipari hajtóerő hiányzott. Ez csak mintegy 40-

50 évvel későbben következett be, amikor G.R. Irwin a mérnöki szemlélet „helyes” stádiumába érkezett, ami elősegítette a törésmechanikának, mint mérnöki megközelítésnek a kifejlődését.

Érdekes azonban megjegyezni, hogy Griffith 1920-as cikke nagyon hamar széles körben ismertté vált és számos bécsi és egyéb kutató gyorsan válaszolt a publikációjára. Másfelől a német nem volt teljes mértékben exotikus nyelv abban az időben, hiszen például Prandtl és Einstein munkái is németül jelentek meg. Valójában Griffith és Taylor [1917] ismerték Prandtl cikkét [1903] a szappanhártya analógiáról.

Wieghardt 1907-es úttörő cikke úgy látszik, hogy nem játszott jelentős szerepet a törésmechanikának, mint mérnöki megközelítésnek a kifejlődésében és a szerzőnek sem követték újabb írásai ezen a területen. Csak találgatni lehet, mi történt volna akkor, ha az Első Nemzetközi Mechanikai Konferencia kevéssel azután kerül megrendezésre, hogy Wieghardt befejezte a cikkét és azt a nemzetközi szakmai közösség előtt előadta volna.

Bár nem gyűjtötte meg azt a fáklyát, ami elvezetett a törésmechanika megalapításához, mindazonáltal Wieghardt cikke - sőt mi több - tanári munkássága a Bécsi Műszaki Egyetemen fontos volt néhány osztrák professzornak, akik az anyagvizsgálat és mechanika területén dolgoztak.

4.2. Alfons Leon

Alfons Vincenz Leon (4. ábra) 1881 szeptember 9-én a Habsburg Birodalomhoz tartozó dalmáciai Ragusában született, ahol apja állomásozott. Általános iskoláját az innsbrucki és meráni általános iskolákban, középfokú tanulmányait pedig az innsbrucki Állami Főreálgymnáziumban folytatta, ahol baccalaureatusi fokozatot nyert el 1898-ban. Felsőfokú tanulmányait a Bécsi Műszaki



Egyetem (TH) Kultúrmérnöki Karán végezte, ahol 1905 február 18-án summa cum laude minősítéssel szerzett doktori fokozatot. Az 1903-1916 közötti időszakban különböző pozíciókat töltött be a TH-n, a Technológiai és Ipari Múzeumban és a Bécsi Agráregyetemen. Adjunktus lett az Általános és Gyakorlati Fizikai Tanszéken az 1903 október 1-től 1905 szeptember 30-ig terjedő időszakban [AVTU 1903]. A császári és királyi alsó-ausztriai helytartóság egy 2400 koronás éves és külön 600 korona díjra jelölte az 1909 május 1 - 1911 április 30 időszakra [AVTU 1909].

4. ábra: A.V. Leon (született: 1881 szeptember 9, Ragusa, Osztrák-Magyar Monarchia - meghalt: 1951. május 30, Bécs, Ausztria) a rugalmasságtan problémáin dolgozott és egy egyesített húzó-nyíró törési kritériumot dolgozott ki.

Ipari és kereskedelmi szakértő volt Bécsben, nevezetesen az Osztrák Állami Vasutaknak dolgozott. Az 1916-1918 közötti időszakban a mai Cseh Köztársaság területén levő Brno-i Német Műszaki Egyetemen tanított. 1918-1934-ig a Grazi Műszaki Egyetem mechanikai technológiai laboratóriumának volt a vezető professzora. 1906-ban a 400 aranykoronával járó Lielegg utazási ösztöndíjat nyerte el, 1908-ban az Osztrák Mérnök- és Építész Társaság a Ghega Díjat adományozta neki, és még ugyanebben az évben az Osztrák Oktatási Minisztérium anyagilag támogatta Leon amerikai kutatóútját. Így lehetősége volt megismerkedni német, svájci, francia, angol, amerikai, holland, dán, olasz anyagvizsgáló laboratóriumok munkájával. Leon megnősült, két lánya született, akik orvosok lettek és orvosokhoz mentek feleségül. Leon folyékonyan beszélt németül, angolul, franciául, olaszul és számos idegen nyelven megjelent cikket fordított németre folyóiratok és szaklapok széles olvasóközönsége számára.

Leon szenvedélyes és direkt beszédmódja jó néhány hivatalnokkal és kollégával való nézeteltéréshez vezetett és végül más-más helyre való átköltözésével végződött. A Grazi Műszaki Egyetemen dolgozva Leon megalapította az Anyagvizsgáló Laboratóriumot és több mint 2000 ipari projekt kísérleteit folytatta le, ill. irányította. A nemzeti-sovinisza és antiszemita mozgalommal való szembenállása a 20-as évek végén Leont azonban az egyik napról a másikra a politika felé fordította és elkerülhetetlenné tette a nyugalomba vonulását. A vizsgázókhoz való politikamentes, szigorúan objektív hozzáállását (a tudás és a lelemény sokkal fontosabb volt, mint a politikai nézet és a haditettek illetve kitüntetések) pontosan ismerték az uralomra törők. Amikor 1934-ben a Leobeni Bányászati Egyetemet és a Grazi Műszaki Egyetemet egyesítették, Leon állása áldozatul esett a kérlelhetetlen takarékosági programnak és ezért nyugdíjba kellett vonulnia.

Ez azonban nem törte meg szerfeletti munkavágyát. Sok szakfolyóirat munkatársaként folyamatosan dolgozva jegyzetek és beszámolók ezreit írta az 1943-1945 közötti időszakban, amikor a hivatalos tanításból és kutatásból nyugdíjazták, de szabadúszó íróként számos szakfolyóiratnál tovább dolgozott.

Leonnak, aki megtagadta az NSDAP tagjainak sorába való belépést, 1943-45 között a Reichsluftfahrtministerium-nak (a Német Birodalom Légügyi Minisztériumának) kellett dolgoznia, körülvéve olyan munkatársakkal, akik mind tagjai voltak az NSDAP-nek az SA-nak vagy az SS-nek. Leon az önéletrajzában azt vallja, hogy ennek a - Térképészeti Részleg által rendelt - munkának nem volt köze a háborúhoz. A második világháború után rehabilitálták és felajánlottak neki egy professzori állást az anyagtudomány területén a bécsi Műszaki Egyetemen (Műszaki Főiskolán). Azt az intézetet bízták gondjaira, melyet néhai barátja P.Ludwik professzor alapított. "A szerkezeti anyagok és szerkezetek kutató és vizsgáló laboratóriumainak" Nemzetközi Szövetsége által rendezett 5. Kongresszusa (1951. április 30 - május 5.) után a Madridból hazafelé tartó repülőúton tüdőgyulladást kapott, amely végzetesnek bizonyult és Leon Professor halálához vezetett 1951. május 30-án (Slattenscheck 1922,1965; Girkmann 1951.)

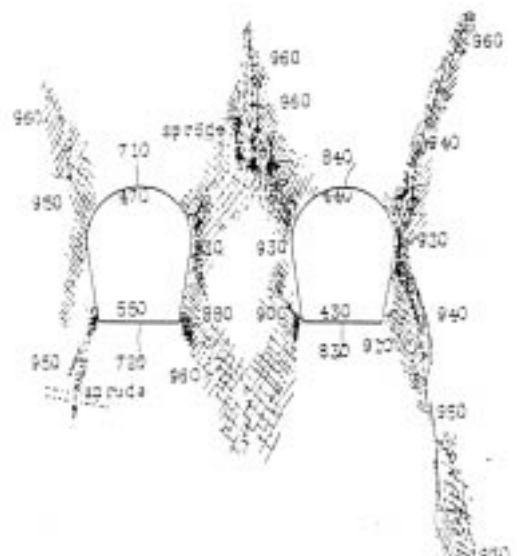
4.2.1. Alfons Leon munkája

Leon első, törésekről szóló közleményét a forgó-tárcsák azon vastagsági kialakításának szentelte, mely egyenértékű töréshez vezet. Kiszámította a feszültségmezőt forgó tömör tárcsák és gömbök esetén, valamint központosan kilyukasztott tárcsák és középen üreget tartalmazó gömb esetén.

A közlemény számos törési hipotézist tartalmazott, beleértve azokat, melyek kritikus feszültségen,

alakváltozáson vagy energián alapultak. Az energián alapuló feltételezés L. von Tetmajernek köszönhető, aki az 1901-ben létrejött, a Bécsi Műszaki Egyetemhez tartozó Anyagvizsgáló és Kutató Laboratórium alapítója volt*. Tetmajer javasolta, hogy a töréssel szembeni ellenállás jellemzőjeként a különböző anyagok munkavégző képességét használják: minél nagyobb egy anyag munkavégző képessége, annál több munkát kell befektetni külső erők által az anyag töréséhez. A továbbiakban így magyarázza: „A munkavégző képesség abszolút értéke közvetlenül kapcsolódik az anyag szívósságához, rideg anyagok esetén kisebb, szívós anyagok esetén nagyobb.” [Leon 1907].

A. V. Leon elfoglalt utazó volt. Az 1906-08-as időszakban vasúti sínekhez kapcsolódó problémák megoldásán dolgozva szembekerült olyan nehézségekkel, melyekkel eredetileg a svájci alagútépítő mérnököknek kellett szembenézniük a Simplon-alagút tervezésénél. Leon korai publikációi a kör alakú lyukak és gömbszerű üregek által előidézett feszültségek számításával [Leon 1908a,b; Leon és Willheim 1910,1912; Leon 1912] és a károsodás kialakulásával foglalkoztak az iker-alagutak környékén [Leon és Willheim 1913a,b]. Ezek igen nagy jelentőségűek voltak és számottevő hatást gyakoroltak az alagútépítésre. Az eredeti közleményből származó 5. ábra [Leon és Willheim 1914c] komoly hasadások rendszerét mutatja egy iker-alagút körül. Leon 1909-ben Németországban több fegyvergyárat, Németországban, Svájcban és Franciaországban számos anyagvizsgáló laboratóriumot meglátogatott, megvizsgált.



5. ábra: Károsodási mintázat, mely egy egytengelyű nyomófeszültségnek kitett dupla vágat körül alakul ki (túlterhelés hatására) [Leon és Willheim 1914c].

Leon 1909-ben részt vett az V. Nemzetközi Anyagvizsgálati és Technológiai Konferencián Koppenhágában valamint a VI. ICMT-n New York-ban és Washingtonban. Ekkor meglátogatta az Egyesült Államok keleti partvidékét és ott töltött hét

hetet. Philadelphiában meglátogatta a híres, anyagvizsgáló eszközöket gyártó Olsen & Co. vállalatot. Tapasztalatairól jelentést kellett írnia Alsó Ausztia tartomány Kereskedelmi Kamarájának, amit meg is tett. Ezen jelentések egyikét P. Ludwikkal közösen írta, aki az egyik legjobb barátja volt. Leon 1912-ben visszatért az USA-ba három hétre, hogy megnézzon számos gyárat és intézetet New York-ban, Pittsburgh-ben (a Carnegie Steel Company-t, a Homestead Steel Works-t, a National Tube Company-t, az U.S. Mines Bureau-t, a Bureau of Standards-t, a Westinghouse Electric & Manufacturing Company-t, és sok másikat), Buffalo-ban (a Niagara Falls Power Company-t,...) és Washington D.C.-ben (a Bureau of Standards-t).

Az 1913 és 1926 közötti időszakban Leon gyakori látogatója volt majdnem az összes anyagvizsgáló laboratóriumnak Németországban és a környező országokban. Életrajzában egyik

* Jelenlegi vezetője: Prof. Thomas VARGA, akit diákéveinek egy része Miskolchoz, az akkor még Nehézipari Műszaki Egyetemhez köt.

kiegészítésében melynek a Studienreisen (Tanulmányutak) címet adta, Leon ismerteti az olvasót az utazásairól, melyek nemcsak a műszaki hanem a művészeti élményeket is magukba foglalták.

Leon tetemes időt szentelt olyan problémák megoldására, melyek bemetszési feszültségekhez [Leon és Ludwik 1909], valamint kilyukasztott és bemetszett lemezszalagokban [Leon és Willheim 1914a,b], kompozitokban [Leon 1909a,b,c], húzott rudakban [Leon és Willheim 1914a] kialakuló feszültségeloszláshoz kapcsolódtak. Kollégáival együtt 1913-ban két különösen érdekes közleményt publikált üvegek és kerámiák vizsgálatáról: az egyiket P. Fillunger-rel közösen üveghengerek [Leon és Fillunger 1913], a másikat H. Linderrel közösen belső nyomásnak kitett kerámiacsövek vizsgálatáról [Leon és Linder 1909]. Érdekesség P. Fillungerrel kapcsolatban, hogy évekkel később a talajmechanika alapegyenleteinek helyes megadásán versengett Terzaghi-val és végül - felismervén egy súlyos hibát saját elméletében - feleségével és kutatásainak kezdeményezőjével együtt öngyilkosságot követett el.

Leon hozzájárulása a bemetszési feszültségek elméletéhez - amely abban az időben a rugalmasságtan és az anyagok szilárdságának egyik legfontosabb kérdése volt - maradandó. Ismert volt, hogy az alkatrészekben a hirtelen keresztmetszet- és geometria-változások csakúgy, mint az anyagi inhomogenitások nagyon nagy helyi feszültségnövekedést eredményeznek. Ezeket a feszültségváltozódásokat tették felelőssé a törés bekövetkezésért különösen ciklikus terhelés esetén szívós anyagoknál, valamint a törési feszültségnél jóval kisebb feszültségek esetén rideg anyagoknál. A gyakorlatban alkalmazott tervezési képletek nem vették figyelembe ezeket a feszültségtorlódásokat. Leon érdeme nemcsak az volt, hogy hangsúlyozta ezeknek a feszültségeknek a fontosságát, hanem az is, hogy néhány jelentős bemetszési problémára zárt alakú és közelítő megoldásokat dolgozott ki. Megoldotta a gömb alakú üreg környezetében létrejövő feszültségváltozás problémáját [Leon 1908a; Leon és Willheim 1915].

Lyukas testekben keletkező bemetszési feszültségekről szóló munkája alapján Leon tanulmányozta a fedőközet-nyomásnak és oldalirányú terhelőfeszültségeknek kitett kör alakú alagutak körül létrejövő alakváltozást és károsodást. Ez a munka nemzetközileg is ismertté és elfogadottá vált és Leon erősen elkötelezte magát az alagútépítéssel és ennek problémáival. A Simplon iker-alagút tervezése váratlanul komoly nehézségeket vetett föl tekintettel az állandó feszültség-egyensúlyra a két alagút közötti területen. Leon 1913-ban gondosan tanulmányozta a problémát és számos ezzel kapcsolatos kísérletet végzett. Kiderült, hogy a meghatározó paraméter az alagutak két tengelye közötti távolság, és ez a paraméter szabályozza a falban ébredő túlzott nyomóigénybevétel megjelenését, ill. az okozott károsodások sorozatát [Stini 1950].

A vasbeton kifejlesztése és a növekvő ipari felhasználása természetesen sok kutató figyelmét felhívta a rugalmas zárványok - pl. a beton mátrixba ágyazott acél - körüli feszültségtorlódási problémákra. Ez a munka Leon bemetszési feszültségekről szóló munkájának közvetlen kiterjesztése volt kompozitokra [Leon 1909a,b,c]. Leon volt az, aki felhívta a mérnökök figyelmét az alakváltozás rugalmasságtanban használt definíciójának különbözőségére attól, amely a logaritmikus alakváltozáson alapul [Leon 1908c].

Későbbi munkájában Leon hozzájárult a beton szilárdságáról szóló hipotézis tisztázásához [Leon 1933], javasolva a határállapotokat tükröző burkológörbe parabolikus alakját. Ez lehetővé tette Leonnak, hogy megmagyarázza azt a tényt, miszerint a rideg anyagok, mint pl. a beton, szakítás során húzással, nyomás esetén nyírással törnek. Leon burkoló parabolája nagyon jól egyezik a töle és más kutatóktól származó gyakorlati görbékkel is. Leon ezen munkáját a IV. Nemzetközi Műszaki Mechanika Konferencián Cambridge-ben mutatta be 1934-ben [Leon 1934].

Igazi munkamániás volt, nemcsak műszaki közleményeket publikált, hanem érdekelte a mérnöki politika, az a mód, ahogyan a természet eszményképként szolgálhat a mérnököknek és utoljára, de nem utolsósorban a tudományok és a mérnöki tudományok története is. Leon 1912-ben egy hosszú tanulmányt írt „*Die Entwicklung und die Bestrebungen der Materialprüfung* „ (Az Anyagvizsgálat fejlődése és tendenciái) címmel, amelyben az anyagvizsgálat történetének legrészletesebb beszámolóját közli különös tekintettel a törés okozta károsodásokra.

A. V. Leon nagy és lelkes tanár volt, aki kedvelte a modern stílusú csapatmunkát. Előadásaiban mindig irányította a hallgatókat, hogy vessenek fel kérdéseket és megoldatlan problémákat és bevezetett egy szeminárium típusú oktatást. Ez az oktatási módszer ismeretlen volt abban az időben, de mindenki elfogadta. Tanításait ún. „*Merklblätter*”-ek (emlékeztető feljegyzések, pamfletok) formájába sűrítette, ezekből több, mint 2000-et készített. Ezeket a memoriterek - melyek újdonságnak számítottak abban az időben - az iparban dolgozó mérnökök nagyra becsülték. Egy másik kedvenc időtöltése kirándulások szervezése volt a különböző vállalatokhoz és anyagvizsgáló laboratóriumokba egész Európában, ahol mindig elintézte diákjai számára az elegendő pénzügyi támogatást. Ezen kirándulások mindegyike kitűnt a tökéletes szervezettségével



6. ábra: P. Ludwik (született: 1881 január 15, Schlán, (Csehország), Osztrák-Magyar Monarchia - meghalt: 1934. július 31, Bécs, Ausztria) a híres Ludwik-feltétel kifejlesztője, amelyik szívós acélokra összeköti a folyáshatárt és a rideg állapotra jellemző szakító szilárdságot.

Súlyos vesebántalmaktól szenvedve 1934. Július 31.-én Ludwik úgy határozott, hogy széngáz szándékos belégzésével véget vet életének. A halálos gáz belégzése közben Ludwik professzor aprólékosan feljegyezte benyomásait és érzéseit a könnyebb légzési problémáktól kezdődően a végső összeesés előtti olvashatatlan firkálásig.

4.3.1. Paul Ludwik munkássága

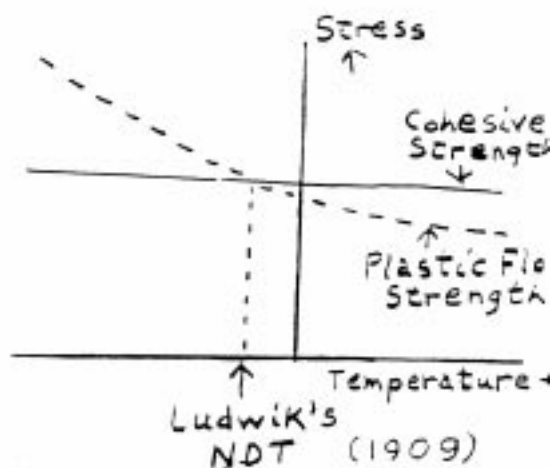
Ludwik úttörő volt az anyagvizsgálat és az anyagtudomány terén. Alapismereteket tartalmazó könyve, az „*Elemente der technologischen Mechanik* (A műszaki mechanika elemei) a különböző terheléseknek, pl. húzásnak, nyomásnak, nyírásnak kitett fémek anyagok maradó alakváltozásáról szól és - elsőként - tárgyalja az alakváltozás sebességének hatását az anyagok viselkedésére.

4.3.2. A Ludwik-féle hipotézis

Ludwik 1909-ben javasolt egy elméletet, mely segít megmagyarázni a bemetszett rúd törési munkájának viszonylag hirtelen növekedését a vizsgálati hőmérséklet emelése esetén, pl. az átmeneti viselkedést. Azt javasolta, hogy az acélnek van egy a maradó alakváltozáshoz tartozó folyáshatára, amely a hőmérséklet növekedésével csökken és egy független kohéziós (törési) szilárdsága, amely közelítőleg független a hőmérséklettől. A vizsgálati hőmérséklet addig a pontig való növelésekor, amikor a folyáshatár kisebb mint a törési szilárdság, kiterjedt képlékeny alakváltozás lép fel a törést megelőzően, ugyanakkor eléggé alacsony hőmérsékleten a folyáshatár túllépi a törési szívósságot és rideg törés figyelhető meg. Ludwik elméletét vázolja a 7. ábra melyet a szerző G. R. Irwin professzortól kapott, akit ma a *törésmechanika atyjának* tekintenek. Ludwik leegyszerűsített elmélete bár viszonylag egyszerű és alkalmas a megfigyelt tulajdonságok kvalitatív magyarázatára, kegyvesztett lett, mert szerkezeti acéloknál a ridegségi foktól függetlenül legalább egy kis mértékű képlékeny alakváltozás megfigyelhető volt hasadásos repedés keletkezésekor és terjedésekor [Ludwik 1928].

A Ludwik-féle elmélet feszültségi és alakváltozási jellemzőket foglal magába, így a mérhető kifejezésre hasonlósági kritériumokat is magába foglalhat. Szerkezeti acélból készült bemetszett rudakon végzett kísérletek azonban nemsokára bebizonyították, hogy a hasonlósági argumentum

helytelen volt. Az első kísérletekről, melyek a méret hatását mutatták a törés folyamán a teddingtoni National Physical Laboratory-ban (Nemzeti fizikai Labor) dolgozó Stanton and Batson számoltak be [1921], amikor bemetszett rudakból készült hajlító szerkezeti acél próbatestek ütésvizsgálatát végezték és azt találták, hogy az egységnyi térfogatra vonatkoztatott törési munkában jelentősen csökkent, ha a próbatestek méreteit növelték.



7. ábra: G.R. Irwin által készített vázlat, mely a Ludwik-feltételt ábrázolja (G. R. Irwin *Törésmechanika Előadás* jegyzetiből származik, Marylandi Egyetem, 1978)

Valójában a rideg-szívós átmenet hőmérsékletét növelni lehetett a próbatestek méretének növelésével, a törési munka pedig csökkent a rúd méretek arányos növelésével. E felfedezésből levonható következtetéseket a bemetszett rúd vizsgálatának általános alkalmazhatóságára és a szokásos mérési szabályokon alapuló szerkezeti szilárdság becslésekre vonatkozólag figyelmen kívül hagyták a publikált Stanton-Batson közleményben. A további elemzések egyértelműen rámutattak arra, hogy a törési energia két részből áll: a teljes rúd meghajlításához szükséges energiából, amely arányos lenne a vizsgált darab térfogatával, és a repedés folyamatos terjesztésére fordított munkából annak megindulása után. Ez utóbbi második hányad közel arányos lehet a szétvált területtel és felelős a megfigyelt mérethatással.

P. Ludwik munkájának megvolt a keleti változata Davidenkov és iskolájának munkájában [1947]. A nagyméretű törések megléte az 1930-as években ismét szembeszökővé vált, amikor Docherty bemetszett rudak statikus hajlító vizsgálatát végezte, melyek célja az volt, hogy a Stanton és Batson által végzett vizsgálatok dinamikai bizonytalanságait kiküszöbölje.

5. Régi-új ötletek

A szívósság fogalma az anyagok töréséhez kapcsolódik, minél szívósabb az anyag, annál nehezebb eltörni. Az eredeti definíció szerint a szívósság mértéke az a munka, ami egy rúd eltöréséhez szükséges (Tetmajer hipotézis). Az ASTM 1975-ben úgy definiálta a szívósság fogalmát, mint a fém azon képességét, hogy eltörése előtt mennyi energiát képes elnyelni és képlékenyen alakváltozni. A szívósság mértékeként rendszerint a bemetszett rudak ütésvizsgálatakor mért energiaelnyelődést tekintik és ez megfelel a szakítóvizsgálatkor kapott feszültség-alakváltozás görbe alatti területtel. Következésképpen ridegen viselkedő anyag az, amely kevés energiát nyel el, míg szívósan viselkedő anyagoknál a törési folyamathoz nagy energiaráfordítás szükséges.

Az első világháború után a mérnökökben újult érdeklődés ébredt a bemetszések iránt az Atlanti Óceán mindkét partján [Orowan 1945, 1955], mivel nagyon hamar felismerték, hogy a törést és kifáradást a bemetszések igen nagymértékben befolyásolják. Hallgatólagosan elmondható, hogy a törés maga nem más mint egy történet a bemetszésekről, hornyokról, reteshornyokról, olajozó lyukakról, csavarmenetekről, karcolásokról, durva felületekről, a fémekben lévő zárványokról, korróziós gödröcskékről, és olyanokról, mint pl. néhány helyi csíra, amelyből a károsodás kiindul. A tény, hogy csupán az anyag, szerkezet egy apró helyét kell a kritikus határ fölé terhelni ahhoz, hogy azután a teljes szerkezet károsodjon az e pontból kiinduló repedésnek köszönhetően. Éppen ezért a bemetszések környezetének viselkedése megérdemli a fokozott hangsúlyt.

Abban az időben jól ismert volt, hogy a tervezésnél használt biztonsági tényezők számottevően a törés bekövetkezésének becslésétől függtek, azonban mégsem történtek kísérletek arra abban az irányban, hogy a bemetszést természetes repedéssel helyettesítsék és mérjék az acélok érzékenységét a repedésszerű hibák jelenlétére vonatkozólag. Valójában abban az időben, az 1940-es években még mindig nem ismerték fel kellően, hogy a repedések és a repedésszerű hibák meghatározók voltak a nagyszilárdságú acélból készült szerkezetek teherbírására. A bemetszésekről szóló korai munkákat ritkán bírálták, mert a bemetszések nem voltak elég élesek (Leon munkája félkör alakú bemetszésekről szólt!). Ha repedéseket hasonlítottak össze, inkább úgy gondolták, hogy túl élesek voltak ahhoz, hogy olyan gyakorlati nagy feszültség-koncentrációjú helyzetet képviseljenek, mint amilyen működés közben fellép.

Neuber munkája, különösen a feszültséganalízisről írott könyve, serkentette az érdeklődést a tervezési részletek javítására [Neuber 1937]. Ráadásul 1950 előtt nem volt szokásos, hogy a törések okozta károsodásokról szóló jelentésekben a gyártás során előidézett repedéseket tegyék felelőssé a károsodásért. Minden előírás azt állította, hogy a gyártásból származó repedéseket nem lehet elfogadni, és ellenállásba ütközött annak elismerése, hogy olyan tökéletes szerkezetet gyártani, amely nem tartalmaz repedésszerű hibát, erősen valószínűtlen.

Ha a kezdeti repedés méretét elhanyagolták, ritkán volt lehetőség annak meghatározására, hogy a károsodás okát miként kell megosztani a feszültség-szint, szívósság és a kezdeti repedés hossza között, melyek a Griffith és az Irwin féle analízisben szerepelnek.

6. Inglis munkája a feszültségkoncentrációról

Inglis professzor nagy érdemének azt tartják, hogy 1913-ban publikálta az első, alaptételeket tartalmazó közleményt a terhelésnek kitett elliptikus felnyílásokról, amelyekből a repedés speciális esete származtatható. Inglis kifejlesztett és közzétett egy függvényelméleti megoldást a külső húzással terhelt lemezben egy tetszőleges helyen lévő elliptikus felnyílás körül létrejövő feszültségmező leírására. A bevezetésben Inglis megmagyarázza, hogy ennek a tanulmánynak a célja az volt, hogy elősegítse a repedés terjedésének megértését, különösen terhelés váltakozáskor.

Az eredmények határesetben arra használhatók, hogy a repedést elnyúlt elliptikus lyukként modellezzék, amelyre a pontos kétdimenziós feszültségmező származtatható. Valójában Inglis rámutat arra, hogy amikor az ellipszis alak repedésszerűvé válik, akkor a főtengely csúcsához közeli területeken nagymértékű képlékeny alakváltozás lesz tapasztalható, még kismértékű terhelésváltozás esetén is. Repedésszerű hibát tartalmazó, kevésbé szívós anyagról Inglis a következőket írja:

„.....a lemezre ható, a repedésen átmenő kismértékű húzás a repedésvégeken olyan húzóerőt idéz elő, amely elegendő ahhoz, hogy feltépődést, szakadást indítson meg az anyagban. A feltépődésnek köszönhető hossznövekedés még tovább növeli a feszültséget és a repedésterjedés a repedésre jellemző módon folytatódik.”

Az Inglis közlemény további része az eredményeinek azon felhasználásával foglalkozott, amely elősegíti egy lemezben lévő bemetszés körüli feszültség növekedés becslését. Inglis rámutat arra, hogy bármely keskeny, jól meghatározató tö-sugárral rendelkező horonyban a csúcs környékén ugyanolyan feszültségek fognak ébredni, mint elliptikus alak esetén.

Az ellipszis csúcsa körül kialakuló feszültségekből kiindulva, Inglis kidolgozott egyenleteket más alakú üregeknek - négyzet alakú lyukaknak, csillag alakú lyukaknak - és felületi bemetszéseknek tulajdonítható feszültségkoncentráció számítására. Olyan egyszerű kifejezéseket adott meg a bemetszés csúcsában ébredő maximális feszültség számítására, amelyek még mindig jól használhatók. Megmutatja, hogy a maximális feszültség összefüggése mindig a következő alakú:

$$\sigma_{\max} = R \left[1 + 2\sqrt{(a/\rho)} \right],$$

ahol 'a' a megfelelő bemetszés hosszának a fele

'ρ' a bemetszés sugara.

A kifáradásra vonatkozóan Inglis által megadott leírás elég modern, de közleményére rendszerint a csak a bemetszések körüli feszültségnövekedés tekintetében hivatkoznak, melynek széleskörű a gyakorlati felhasználása - pl. Peterson feszültséggyűjtésről szóló könyvében [1940] - és alapjául szolgált Neuber bemetszési feszültségek elemzéséről szóló könyvének is [1937].

7. A törésmechanika Griffith féle megközelítése

1913-at követően Anglia belépett a háborúba és a repülőgépeket először kezdték használni a harcászban. Az Inglis közleményében megadott egyenleteket arra használták, hogy bizonyos szempontból ellenőrizzék a tapasztalati eredményeket. A felületi feszültségek megértése és hasonlósága az Inglis féle dolgozattal rendkívül hasznosnak bizonyult híres, 1920-as közleményének megírásában.

Alan Arnold Griffith 1893. Június 13.-án született Londonban, mérnöki tanulmányainak végeztével a főiskolai oklevelet 1914-ben, az egyetemet 1917-ben, a doktorit pedig 1921-ben kapta meg a Liverpooli Egyetemen. Farnborough-ban 1915-ben belépett a Királyi Repülőgépgyárba. Aktív és zseniális feltaláló volt és nagymértékben hozzájárult a repülőgéphajtások tudományához.

Griffith 1920-ban publikált egy közleményt az üvegek törési szilárdságáról, amely elévülhetetlen jelentőséggel és értékkel bírt. A közlemény lényegében Griffith PhD dolgozata volt, melyet G. I. Taylor irányításával készített Cambridge-i Egyetem Mérnöki Karán. Griffith feltételezte, hogy a nátronüveg-cső és az üveggömb felülete sok repedésszerű folytonossági hibát tartalmazott és hogy a rideg anyagokban - pl. az üvegben - a repedés csúcsának sugara lényegében nullával egyenlő. Feltételezte, hogy húzóterheléskor a repedésterjedés és a törés akkor lép fel, ha repedésterjedés egységnyi növekedésére eső jutó energiaveszteség nagyobb lesz mint az új felületek létrehozására felhasznált felületi energia növekedése. A repedésterjedéssel járó fajlagos energiaveszteség megadásához Inglis összefüggéseit használták föl nulla repedéstő sugár alkalmazásával. Az energiaveszteség sebességének számolása nem volt egyszerű feladat de szinte hiba nélkül sikerült.

A közlemény leírja Griffith alátámasztó tapasztalatait, és részletesen bemutatja tömör üveg felületi energiájának mérését.

A tapasztalati eredményeknek az energiaveszteséggel való összehasonlításához Griffith-nek csupán a külső húzóerőre volt szüksége, amely megindítja a törést egy adott kis méretű repedést tartalmazó üvegben. Ehhez Griffith előreperesztett vékony vékonyfalú gömböket és hengereket használt, melyeket növekvő belső nyomásnak tett ki. Az ilyen módon kapott törési feszültség értékek becslésül szolgáltak a fajlagos energiaveszteség számítására, amely a felületi energia kétszerese, hisz a törés kapcsán két új felület jön létre. Az eredmény 20 %-os fajlagos energiaveszteség volt, a teljes egyetértéshez túl alacsony érték, de izgalmas megerősítése egy új elképzelésnek.

Griffith feljegyezte, hogy frissen húzott üvegben a repedésszerű hibák méretének jelentéktelennek kell lennie és ennek alátámasztására vizsgálatokat is végzett. Griffith 1920-as közleményét olyan maradandó értéket jelentő ötletek jellemezték, mint a melegalakítás használata a folytonossági hiányok irányítottságának a gyakorlatban várt húzási iránnyal megegyező irányba való fordítása.

Griffith 1920-as közleményét G. I. Taylor bírálta és azt megelőzően elfogadták közlésre, hogy felfedezték volna egy figyelmetlenségből eredő hibát Griffith azon egyenletében, mely a repedésre merőleges húzóerő és a fajlagos energiaveszteség közötti kapcsolatra vonatkozott. A javított számítás azt mutatta, hogy a fajlagos energiaveszteség a felületi energia kétszeresének a háromszorosa. A közleményben egy rövid lábjegyzet az állította, hogy a szöveg javítása nem szükséges, mivel csak a nagyságrendben való egyezés a fontos. Valójában a belső nyomásnak kitett vékonyfalú edényekben a fajlagos energiaveszteség pontos mérése nem volt lehetséges a repedésfalak kihasasodása miatt. Az előreperesztéssel szomszédos üvegbúra peremek kihajlásának és a nedvesség által segített lassú stabil repedésterjedésnek a hatását nem vették figyelembe. Alacsony nedvességtartalom mellett, ugyanolyan üvegből készült síklemez vizsgálata azt mutatta, hogy a fajlagos energiaveszteség a felületi energia értékének kétszeresének a tizenháromszorosa.

A Griffith-féle közleményből a legtöbbet használt összefüggés törési feszültség és a repedésméret között teremt kapcsolatot:

$$\sigma_f \sqrt{\pi a} = \sqrt{2 \gamma E},$$

ahol σ_f a törési feszültség,

E a Young modulus.

A felületi energia, 2γ (később G_C) az egységnyi repedésterjedéshez (da) tartozó fajlagos energiacsökkenés, ahol ' a ' az alkalmazott húzóerőre merőleges központi repedés hosszának a fele nagyméretű lemez esetén. Ennek az összefüggésnek a származtatásához Griffith Inglisnek azt egyenletét használta föl, amely nagyméretű lemezben lévő elliptikus résre vonatkozott. Nagyméretű lemezben lévő egyenes repedésre ezeket az egyenleteket át kellett dolgozni, és ki kellett számolni a fajlagos energiaveszteséget a repedésméret egységnyi növekedése esetén, fix határfelületeket feltételezve. Ez nehéz feladat az akkor rendelkezésre álló eszközökkel.

Mikor 1920 után az alacsony feszültségen bekövetkező kis sebességű stabil repedésképződést megfigyelték agresszív környezeti hatásnak kitett szilárd anyagban, a látott viselkedést környezeti hatás miatt felületi energia csökkenéssel magyarázták. Azonban Griffith közlemény leghasznosabb eredménye a törési feszültségnek az a repedésméret négyzetgyökének reciprokával történő arányba

állítás, amely még napjainkban is fontos a törés okozta károsodások elemzésében és elősegíti a véleményalkotást a törések vizsgálatánál. Griffith feljegyezte, hogy az elmélet csak üveg és más rideg anyagok esetén alkalmazható, kizárva a legtöbb szerkezeti fémeket. Az állított elméleti számítások és a gyakorlati eredmények közötti egyezés ma úgy tűnik, véletlen volt.

A törési vizsgálatok színvonala 1960 előtt nem tette lehetővé a 1920-as Griffith közlemény világos megértését. Eredményként általában elfogadták, hogy Griffith közeli kapcsolatot mutatott ki az üveg szilárd állapotbeli felületi energiája és törési szilárdsága között. A későbbi kutatások során, amikor a környezet (pl. nedvességtartalom) hatását is vizsgálták a kerámiák törési szilárdságára, gyakran hivatkoztak Griffith dolgozatára. Síküveg lemezek törésére megállapított - a törési feszültség és a hibaméret négyzetgyökének reciproka között lévő - arányosságot gyakran felhasználták, hogy segítse a síküveg lemezek törési károsodásainak elemzését.

Ily módon az érdeklődés Griffith 1920-as közleménye iránt megmaradt egészen a második világháború utánig, amikor Irwin és Orowan bemutatták „módosított Griffith-féle” elképzelésüket. Ezzel ellentétben a megjelenést követő években a tanulmányát övező tekintélyes érdeklődés magára Griffithre nem volt túlzottan nagy hatással és mindössze egyetlen cikket publikált a törésmélethez kapcsolódóan, 1924-ben az delft-i Első IUTAM Konferencián. Azonban ez nem foglalkozik a fajlagos energiavesztéssel és nem mutatott jelentősebb érdeklődést az energiaegyensúlyra vonatkozó elgondolás iránt sem.

8. Smekal és a Griffith-féle megközelítés

Griffith úttörőnek számító munkáját A. Smekal a Bécsi Egyetem fizika professzora vitatja 1922-ben megjelent cikkében. Smekal azt állítja, hogy a fajlagos energiának a törésre jellemző mennyiségként való használatát már Griffith előtt javasolták, többek között E. Lohr a Brnoi Műszaki egyetemről még az első világháború előtt, illetve a folyadékok tekintetében az megtalálható Boltzman munkájában is. Azonban Smekal határozottan elismeri Griffith azon érdemét, hogy felismerte ennek az elgondolásnak a jelentőségét és megalkotta azt, amit ma Griffith-féle törésméletnek neveznek. Az ezt követő fejtegetésben Smekal az anyag molekuláris szilárdsága és a szakítóvizsgálatokból származtatott feszültség közötti különbséggel foglalkozik. Eredményül egy 100-as szorzót kapott.

9. Karl Wolf, fizikus a mechanikában

Karl Wolf (8.ábra) 1886. november 13.-án született Bielitz-ben az Habsburg Birodalom Ausztria-Silesia nevű tartományában, mely most a Cseh Köztársaság része. Egy klasszikus nyelvekkel foglalkozó filológus fia volt és nagyon büszke volt a hegyvidéki farmer származására.

A Bécsi Egyetemre 1905-ben jutott be, ott matematikát és fizikát tanult. Wolf tanára és ideálja Fritz Hasenöhr volt, L. Boltzman örököse volt. Boltzmann 1906-ban halt meg. Wolf 1910. November 18.-án kapta meg a doktori címet a Bécsi Egyetemen az elméleti fizika területén végzett munkájáért, melynek témája az elektromágneses hullámok vezető üreges hengerben való terjedése volt. Wolf akadémiai életének fordulópontja akkor következett, amikor elfogadott egy segédprofesszori állást az Elméleti Mechanika és Grafosztatikai Intézetben J. Finger vezetése alatt

és röviddel azután K. Wieghardt munkatársa lett, aki korábban a Göttingeni Egyetem növendéke volt és a rugalmasságtan szakértője.



8. ábra: K. Wolf (született: 1886 január 13, Bielitz, Osztrák-Magyar Monarchia - meghalt: 1949. január 10, Bécs, Ausztria), aki Griffith-tel levelezett és az ő 1920-as cikkét korrigálta.

A rugalmasságtan Wolf kedvenc kutatási területévé vált és korábbi egyetemi tanulmányai a matematika és elméleti fizika területén határozott előnynek bizonyultak a bonyolult problémák megoldásában. Közleményével [Wolf 1914], amely egy íves völgyzáró gátra megadott

biharmonikus egyenletek polinomokkal történő integrálásáról szólt, 1915-ben kiérdemelt egy segédprofesszori állást a Bécsi Műszaki Egyetemen.

Az első világháború után K. Wieghardt kijelölt utóda volt, aki elfogadott egy meghívást Drezdába. „Eredmények a rugalmasságtanban” címmel a *Zeitschrift für technische Physik*-ben megjelent közleménysorozat rámutatott az egytengelyű feszültségállapotnak kitett, a terheléssel tetszőleges szöget bezáró síkú elliptikus lyuk vagy repedés körül kialakuló feszültségeloszlás fontos problémájára. [Wolf 1921, 1922a]. Ezt a közleményt jól fogadták és az eredményeket gyorsan beépítették a rugalmasságtannal foglalkozó szakkönyvekbe. Wolf-ot egyre jobban kezdték érdekelni a törési problémák, és miután elolvasta Griffith alaplúnek számító eredményeit, írt egy cikket „Griffith törési elméletéről” [Wolf 1921], amelyet 1922. szeptember 19.-én mutatott be a természettudósok találkozáján Lipcsében. Ebben a dolgozatban rámutat egy hiányosságra az alapegyenlet Griffith féle származtatásában és egy sokkal egyszerűbb lehetőséget ajánl ennek a formulának az előállítására. Wolf félreérthetetlenül megemlíti, hogy Griffith érdeme a törés energián alapuló megközelítésének megadása és kapcsolatba lépett magával Griffith-el is. Wolf Griffith elméletét kiterjesztette hajlítás esetére is és kiegészítette a húzó és nyíróterhelés kombinálásával, ez az első ún mixed-mode törési kritérium volt.

Wolf tehát rámutatott a hibára Griffith 1920-as dolgozatában és valószínűleg kapcsolatban állt vagy Griffith-el magával vagy a kiadóval. Griffith 1924-ben bemutatott egy új tanulmányt „A törés elmélete” címmel az Első Nemzetközi Mechanikai Konferencián Delft-ben, amelyben kijavította az alakváltozási energia téves számítását. Azonban a kiadvány szerkesztője volt az aki egy megjegyzést tett Griffith eredményéhez, jelezve hogy Griffith töréselméletének német (!) bírálatát K. Wolf, a Bécsi Egyetem professzora adta.

B. Cotterell, a G. R. Irwin 90. születésnapjára megjelenő kiadvány [G. R. Irwin Anniversary Volume, Rossmanith 1997] egyik cikkén dolgozva felfedi, hogy Wolf ugyanazt a hibát követte el, mint Griffith - csak ő más módszert alkalmazott az alakváltozási energia számítására. Azonban Wolf állítja, hogy az ő és Griffith eredménye a fajlagos energiavesztés csökkentésére

vonatkozólag egy kettes szorzóban különbözik és vitatja hogy Griffith esetében ez előnyös lenne az elméleti és gyakorlati egyezés tekintetében.

Utolsó éveiben Wolf-ot a barlangokban létrejövő légáramlás kezdte érdekelni, mivel lelkes hegymászó és síelő volt.

10. Konklúzió

Ez az összefoglaló megvilágítja a mechanika és az anyagvizsgálat fejlődését a századforduló környékén Európában, különösen a németajkú államokban. Különös hangsúlyt kapott az első törésmechanikáról szóló tanulmány, melyet K. Wieghardt írt. Wieghardt kinevezése a mechanika professzorává Bécsi Műszaki Egyetemen, intenzív kutatómunkát indított meg a kör alakú, elliptikus, repedésszerű felnyílások és folytonossági hibák körül kialakuló feszültségeloszlások és bemetszések hatásának területén.

Wieghardt úttörőnek számító és Leon hatékony munkája előre megjósolta a törésmechanika sok olyan eredményét, melyet évtizedekkel később vezettek le, pl. az ék alakú felnyílások csúcsában kialakuló feszültségeloszlás, törési kritérium összetett terhelési módra, az összetett terhelés hatására kialakuló repedés-megindulás iránya. [Westergaard 1939; Williams 1952, 1957; Muskhellishvili 1953].

Megvilágítottuk Ludwik munkájának jelentőségét az anyagok ridegsége és folyáshatára közötti kapcsolat megértésében, valamint Griffith munkájának hatását K. Wolf és A. Smekal munkásságára.

Az, hogy ezen eredmények nagy része németországi folyóiratokban került publikálásra, és ezért viszonylag kevésbé ismert Németországon, az Osztrák-Magyar Monarchián, stb. kívül, részben felelőssé tehető azért, hogy feledésbe merültek.

A megújult érdeklődés a tudomány történelmi fejlődése iránt és egy tárgyilagosabb nézőpont talán fel fogja fedni ezen feledésbe merült úttörők neveit és méltányolni fogja munkásságukat.

IRODALOMJEGYZÉK

AVTU Archive of the Vienna University of Technology (1903) *Document* dated September 18.

AVTU Archive of the Vienna University of Technology (1909) *Document* dated February 1.

AVTU Archive of the Vienna University of Technology (1949a) *Document* dated March 2.

AVTU Archive of the Vienna University of Technology (1949b) *Document* dated May 7.

Bach, C. (1902) Eine Stelle an manchen Maschinenteilen, deren Beanspruchung auf Grund der üblichen Berechnung stark unterschätzt wird (On a particular location in machine parts where on the basis of conventional theories the stresses will be highly underestimated) *Mitteilungen über Forschungen*, VDI, Issue 4.

Bach, C. (1905) *Elastizität und Festigkeit* (Elasticity and Strength) Julius Springer Verlag, Berlin.

Basch, A. (1951) *Obituary to K. Wolf*, Verlag der Technischen Hochschule Wien.

Cotterell, B. (1996) *Private communication by letter* dated Nov. 7.

- Davidenkov, N.N., Shevandin, E. and Wittmann, F.** (1947) Influence of size on the brittle strength of steels. *Amer. Soc. Mech. Eng.* 69:A63.
- Docherty, J. G.** (1932) Bending tests on geometrically similar notched bar specimens. *Engineering*. 133: 645-647.
- Docherty, J. G.** (1935) Slow bending tests on large notched bars. *Engineering*. 139: 211-213.
- Galelei, G.** (1638) *Discorsi e Dimostrazioni Matematiche Sopra due Nuove Scienze* (ed. Elsevini, Leiden).
- Girkmann, K.** (1951) Alfons Leon zum Gedenken (In memoriam Alfons Leon) *Festschrift der TU Wien*.
- Griffith, A. A. and Taylor, G. I.** (1917) The use of soap films in solving torsion problems. *Proc. Inst. Mech. Eng.*: 755-809.
- Griffith, A. A.** (1920) The phenomena of rupture and flow in solids. *Phil. Trans. Roy. Soc. London. A*, 221: 163-198.
- Griffith, A. A.** (1924) The theory of rupture. *Proceedings of the First International Congress for Applied Mechanics*, Delft, 55-63.
- Hahn, G.** (1985) *Elastizitätstheorie* (Theory of Elasticity), Teubner-Verlag, Stuttgart.
- Inglis, C. E.** (1913) Stresses in a plate due to the presence of cracks and sharp corners. *Proc. Inst. Naval Arch.* 55: 219-241.
- Irwin, G. R.** (1948) Fracture dynamics. *Fracturing of Metals*: 147-166. Cleveland, OH:ASM
- Irwin, G. R., Wells, A. A.** (1965) A continuous mechanics view of crack propagation. *Metallurgical Rev.* 10(38):223-270.
- Leon, A. V.** (1907) Über Formen gleicher Bruchgefahr mit besonderer Berücksichtigung rotierender Scheiben (On the shapes of equal fracture danger with special regard of rotating disks) *Österr. Ing.-u. Architekten-Verein* No 18 and 19.
- Leon, A. V.** (1908a) Über die Störungen der Spannungsverteilung die in elastischen Körpern durch Bohrungen und Bläschen entstehen (On the disturbances in the stress distribution in elastic bodies due to boreholes and cavities). *Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst* 14:163-168
- Leon, A. V.** (1908b) Über die Spannungsstörungen durch Kerben und Tellen und über die Spannungsverteilung in Verbundkörpern (On the stress disturbances due to notches and dents and on the stress distribution in composite bodies) *Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst* 14: 770-776 and 783-787.
- Leon, A. V.** (1909a) Über die Spannungsstörungen beim Verbund verschiedener Materialien (On the stress disturbances in dissimilar composites) *Mitteilungen des internationalen Verbandes für die Materialprüfung der Technik*, Vth Congress, Kopenhagen, Paper No VIII-10, pp 377-382.
- Leon, A. V.** (1909b) Über die Spannungsverteilung in Verbundkörpern (On the stress distribution in composite media) *Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst* 15: 189-24 and 32-38.
- Leon, A. V.** (1909c) Zur Theorie der Verbundkörper (On the theory of composites) *Zeitschrift Armerter Beton*, 9:343-351 and 10: 408-416.
- Leon, A. V. and P. Ludwik** (1909a) Verlegethene statische und dynamische Kerbbiegeproben (Comparison between static and dynamic notch bent specimens) *Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst* 15(7): 1-12.
- Leon, A. V. and F. Willheim** (1910) Über die Zerstörungen in tunnelartig gelochten Gesteinen - Teil I (On damage in rock mass weakened by a tunnel - Part I.) *Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst* 16 : 641-648.
- Leon, A. V. and F. Willheim** (1912) Über die Zerstörungen in tunnelartig gelochten Gesteinen - Teil II (On damage in rock mass weakened by a tunnel - Part II.) *Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst* 18: 281-285.
- Leon, A. V.** (1912b) Die Entwicklung und die Bestrebungen der Materialprüfung (On the development and the tendencies of materials testing) *Verlag des Österr. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik*, Wien, 1-78.
- Leon, A. V. and F. Willheim** (1913a) Über den Einfluß der Achsen-entfernung auf die Zerstörungserscheinungen in einem Doppeltunnel (On the effect of the distance of the tunnel axes on damage formation in a twin tunnel) *Österr. Wochenschrift für den öffentlichen Baudienst* 19:18-21.
- Leon, A. V. and F. Willheim** (1913b) Zur Frage über die durch einen Doppeltunnel bewirkten Spannungsstörungen im Gebirge und deren Beeinflussung durch die Achsenentfernung (On the stress

- disturbances caused by a twin tunnel in a rock mass and the effect of the distance of the tunnel axes) *Rudnschau für Technik un Wirtschaft*, Prag, 6:1-3.
- Leon, A. V. and P. Fillunger** (1913c) Physikalisch-technische Prüfung von Glaszylindern (Physical-technical testing of glass cylinders) *Mitteilungen des Technischen Versuchsamtes Wien*, 2(3):38-46 and 2(4):29-49.
- Leon, A. V. and H. Linder** (1913d) Die Festigkeit von Steinzeug-röhren auf Innendruck (On the strength of internally pressurized ceramic tubes) *Zeitschrift des Österr. Ing.-u. Architekten-Vereins* 65:504.
- Leon, A. V. and F. Willheim** (1914a) Über die Spannungsverteilung im gelochten und gekerbten Zugstab (On the stress distribution in a punched and notched tension bar) *Mitteilungen des Technischen Versuchsamtes Wien*, 3(1):33-50 and 3(2): 37-52.
- Leon, A. V. and F. Willheim** (1914b) Über die durch eine Reihe von kreisförmigen Löchern in einem elastisch festen Körper auftretenden Spannungs- und Verzerrungsstörungen (On the stress and strain disturbances in an elastic solid caused by a row of circular holes) *Zeitschrift des Österr. Ing.-u. Architekten - Verein* 66:424-428.
- Leon, A. V. and F. Willheim** (1914c) Die Verteilung des Gebirgs-druckes und dessen Störungen durch den Bau tiefliegender Tunnel (The distribution of the overburden pressure and its disturbances due to the construction of deep level tunnels) *Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen*, Hannover 1914:191-199.
- Leon, A.V. and F. Willheim** (1915) Über die Spannungsstörungen die in elastischen Körpern durch Höhlungen, Inhomogenitäten und eingeschlossenen Flüssigkeiten bewirkt werden (On stress disturbances in elastic bodies caused by cavities, inhomogeneities and fluid inclusions) *Zeitschrift für Architektur und Ingenieurwesen*, Hannover 1915:45-62.
- Leon, A. V.** (1933) Über das Maß der Anstrengung bei Beton (On the extent of strength of concrete) *Ingenieur-Archiv*. 4:421-431.
- Leon, A. V.** (1934) Über die Verbindung von Trenn- und Schub-bruch (On the combination of tensile and shear fractures) *Proc. 4th International Congress on Applied Mechanics*, Cambridge.
- Leonardo da Vinci, L.** (date unknown) *Codice Atlantico*, folio 82 recto-b.
- Love, A. E. H.** (1926) *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*. NY: Dover Publications.
- Ludwik, P.** (1909) *Elemente der Technologischen Mechanik*. Berlin: Springer-Verlag.
- Ludwik, P.** (1928) Bruchgefahr und Materialprüfung (Fracture danger and materials testing) *Schweiz. Verband für die Materialprüfungen der Technik*, Report No 13. Zurich, November.
- Mariotte, E.** (1686) *Traite de Mouvement des Eaux*. Paris.
- Mohr, O.** (1906) Welche Umstände bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materials? (What conditions imply the limits of elasticity and fracture of a material?). *Abhandlungen aus dem Gebiete der technischen Mechanik*. Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin
- Muskhelishvili, N. I.** (1953) *Some Basic Problems in the Theory of Elasticity*. Noordhoff, Ltd., Netherlands.
- Nadai, (1950)** *Theory of fracture and flow of solids*. McGraw Hill, New York.
- Neuber, H.** (1937) Kerbspannungslehre (*Theory of Notch Stresses*). Berlin: Springer-Verlag.
- Obreimoff, I. V.** (1930) The splitting strength of mica. *Proc. Roy. Soc.* A127:290-297.
- Orowan, E.** (1945) Notch brittleness and the strength of metals. *Transactions, Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland*. 89: 165-215.
- Orowan, E.** (1949) Fracture and strength of solids. *Reports on Progress in Physics*. 12:185-323.
- Orowan, E.** (1955) Energy criteria of fracture. *Welding Journal. Res. Sup.* 34(3):157s-160s.
- Peterson, R. E.** (1940, 1974) *Stress Concentration Factors*. NY: J.Wiley & Sons.
- Prandtl, L.** (1903) *Zeitschrift für Physik*. Vol.4.
- Prandtl, L.** (1907) *Verhandlungen deutscher Naturforscher und Ärzte*. Dresden.
- Rossmanith, H. P.** (1995a) An introduction to K. Wieghardt's historical paper „On splitting and cracking of elastic bodies”. *Fatigue and Fract. Engng. Mater. Struct.* 12(12):1367-1369.
- Rossmanith, H. P.** (1995b) English translation of (Wieghardt 1907) *Fatigue and Fract. Engng. Mater. Struct.* 12(12):1371-1405.
- Rossmanith, H. P.** (1997) (ed) *Fracture Research in Retrospect*. G. R. Irwin 90th Birthday Anniversary Volume. Rotterdam: Balkema.

- Slattenscheck, A.** (1922) *Obituary to A. V. Leon*. Vienna, Verlag der Technischen Hochschule.
- Slattenscheck, A.** (1965) Ehrung Paul Ludwik (Honoring Paul Ludwik) TU Vienna *Festschrift*.
- Smekal, A.** (1922) Technische Festigkeit und molekulare Festigkeit (Technical strength and molecular strength) *Die Naturwissenschaften* 10(37): 799-804
- Stanton, T. E. and Batson, R. G. C.** (1921) On the characteristics of notched-bar impact test. *Minutes of Proc. Inst. Civil Eng.* 211:67-100.
- Stini, J.** (1950) *Tunnelbaugeologie* (Tunnel construction geology) Springer-Verlag.
- Timoshenko, S. P.** (1953) *History of Strength of Materials*. NY: McGraw - Hill Inc.
- Todhunter, I. and Pearson, K.** (1886) *History of the Theory of Elasticity and of the Strength of Materials*. Cambridge University Press, UK.
- Ucelli, A.** (1956) *Leonardo da Vinci*. NY: Reynal & Co.
- Venske, O.** (1901) Zur Integration der Gleichung $\Delta\Delta=0$ für ebene Bereiche (On the integration of the equation $\Delta\Delta=0$ for plane domains). *Nachrichten der königl Gesellschaft d. Wissenschaften zu Göttingen*.
- Westergaard, H. M.** (1939) Bearing pressures and cracks. *J. Appl. Mech. Trans. ASME*. 6:A49-A53.
- Wieghardt, K.** (1903) *Über die Statik ebener Fachwerke mit schlaffen Stäben*. Doctoral Thesis, University of Göttingen.
- Wieghardt, K.** (1904) *Über einen Grenzübergang der Elastizitätslehre*. Habilitationsschrift, Technische Hochschule Aachen, Germany.
- Wieghardt, K. and F. Klein** (1905) Über Spannungstflächen und reziproke Diagramme. *Archiv der Mathematik und Physik*, III. Reihe, Vol VIII.
- Wieghardt, K.** (1906) Über die Überspannungen bestimmter hochgradig statisch unbestimmter Fachwerke.
- Wieghardt, K.** (1907) Über das Spalten und Zerreißen elastischer Körper. *Z. Mathematik und Physik*. 55(1-2):60-103. (English translation by H.P.Rossmanith:Wieghardt, K. (1995) On splitting and cracking of elastic bodies. *Fatigue and Fract. Eng. Mater. Struct.* 12(12):1371-1405).
- Wieghardt, K.** (1920) Letter to the Rector of the TH Vienna, Dresden, October 12. 1920.
- Williams, M. L.** (1952) Stress singularities resulting from various boundary conditions in angular corners of plates in extension. *J. Appl. Mech.* 74:526-528.
- Williams, M. L.** (1957) On the stress distribution at the base of a stationary crack. *J. Appl. Mech. Trans. ASME*. 24:109-114.
- Wolf, K.** (1914) Zur Integration der Gleichung $\Delta\Delta=0$ durch Polynome im Falle einer Staumauer (On the integration of the equation $\Delta\Delta=0$ by means of polynoms in the case of an arch dam). *Mitteilungen der k.u.k. Akademie der Wissenschaften Wien*.
- Wolf, K.** (1921) Beiträge zur ebenen Elastizitätstheorie Teil I: Einfluss eines elliptischen Loches bzw. Spaltes auf einen einachsigen Spannungszustand (Contributions to the plane theory of elasticity, Part I: Influence of an elliptical opening or crack on the uniaxial state of stress) *Zeitschrift für Technische Physik* 2:209-216.
- Wolf, K.** (1922) Beiträge zur ebenen Elastizitätstheorie Teil II: Einfluss eines elliptischen Loches bzw. Spaltes auf den Spannungszustand im Falle der reinen und der zusammen-gesetzten Biegung (Contributions to the plane theory of elasticity, Part II: Infulence of an elliptical opening or crack on the state of stress in the case of pure and general bending) *Zeitschrift für Technische Physik* 3:160-166.
- Wolf, K.** (1922) Zur Bruchtheorie von A. Griffith (On Griffith's theory of fracture) *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik* 3:107-112.

Joseph A. Kies és a feszültségintenzitási tényező a törésmechanikában

Dr. H. P. Rossmanith

Vienna University of Technology, Institute of Mechanics

Összefoglalás

Jelen publikáció Joseph A. Kies műszaki tevékenységét mutatja be. Kies hosszú ideig George R. Irwin professzor munkatársa volt a Haditengerészeti Kutatólaboratóriumban (NRL). Nagy szerepe volt a törésmechanika korai fejlődésének elősegítésében, valamint e fiatal műszaki tudomány alkalmazásában olyan nagyméretű törési esetek elemzésénél, amelyek az ötvenes-hatvanas években fordultak elő a polgári repülés, nehéz forgóberendezések és az Egyesült Államok Polaris és Minuteman rakéta-programja terén.

1. Bevezetés

A törésmechanika feltalálása és fejlesztése tulajdonképpen a washingtoni (USA) Haditengerészeti Kutatólaboratórium (NRL) 1937-1942 közötti páncélkutatási tevékenységének gyümölcse volt. A ballisztikai kutatás egyik célja a hadihajók nehézpáncélzatával kapcsolatos elridegedési problémák vizsgálata volt. Ezt a problémát az akkoriban rendelkezésre álló laboratóriumi méretű ballisztikai lehetőségekkel nem lehetett modellezni. A Dahlgren Vizsgálati Központban végzett ballisztikai kísérletek során, adott lévén a hűtési sebesség megfelelő szabályozása, az acélgyártó kohászati szakemberei általánosságban tudták, hogyan előzhetők meg a nagyméretű lemezek ballisztikai hibái. Megmaradt azonban az állandó kérdés, hogyan magyarázhatók a törésben a mérethatások, hogyan mérhető a törési szívósság, és hogyan viszonyulnak az erre adott válaszok a kérdéses fémes komponens lemezvastagságához.

Nyilvánvaló volt, hogy e kérdések megválaszolása hosszú időt igényel. Ezért az NRL ezirányú tevékenysége a II. világháború alatt csupán a törési mérethatás feltáró jellegű tanulmányozására korlátozódott, amelyet főként az Észak-Karolinai Egyetemen végeztek megbízás alapján. Az e kutatások eredményeként összeállt irodalmi áttekintés és a szakmai vitaanyagok azonban legalább tisztázták a probléma természetét (Shearin és mások, 1948).

Néhány hónappal a II. világháború befejezése után az NRL felülvizsgálta az Észak-Karolinai Egyetemen végeztetett megbízásos munkát, és beindultak a törési kutatások az NRL Ballisztikai Részlegén. Az NRL tevékenysége a később *törésmechanika*-nak elnevezett területen kutatási programmá vált. A Dr. George R. Irwin vezette csoport javasolta az anyagok repedésterjedéssel szembeni ellenállásának mérését, kiszámolta a rugalmas igénybevétel feszültségmezőjének mint egy esetleges repedés hajtóerejét (nagyjából az 1920-as Griffith-féle törésszilárdsági elméletben

javasolt módon), és kimutatta, hogy energiasebességi összefüggés létezik a hajtóerő és a képlékeny alakváltozási ellenállás között a gyors repedésterjedés megindulási pillanatában. A program első évében elegendő információ gyűlt össze ahhoz, hogy G.R. Irwin egy 1947-es tanulmányában bizonyítsa a téma megközelítésének alapvető helyességét (Irwin, 1948). A következő évek során növekedett az intézményen belüli *törésmechanikai* kutatások nagyságrendje, amelyek fokozatosan kiszorították az Észak-Karolinai Egyetem megbízásos munkáit. A növekedés alapvetően két személynek köszönhető: az eltökélt T.W. George-nak, a Ballisztikai Részleg Páncélanyagok Szekciója vezetőjének és a hasonlóan lelkes Joseph A. Kies-nek, a Ballisztikai Részleg Törési Kutatások Szekciója vezetőjének.

2. Kies és a törésmechanika születése

Joseph A. Kies, a számára kijelölt doktori téma megoldhatatlansága miatt 1936-ban a doktori fokozat megszerzése nélkül otthagyta az Illinoisi Egyetemet, és teljes munkaidős állást vállalt a Szabványügyi Hivatalban 1936-tól 1945/46-ig. Feladata a repülőgépipari alumínium-ötvözetek törésének tanulmányozása volt. A repülőgépek propellerein bekövetkező kifáradási repedések kapcsán ismert volt, hogy e repedések az alumíniumban gyorsabban terjednek, mint az acélban.

A Comet katasztrófájának nyomán **Paul C. Paris** sikerrel ajánlotta a repülőgépgyártók figyelmébe az anyagfáradási repedés növekedésének törésmechanikai alapon történő tanulmányozását. Ebben az esetben a repedés növekedési sebessége, da/dN korrelációban áll a feszültségintenzitási tényezővel, ΔK -val. Miután Kies felfedezte és ezen elv alkalmazásával és a Young modulusok összehasonlításával megmagyarázta, hogy a repedés növekedési sebessége nagyobb az acél- mint az alumíniumötvözetekben, megbízták a repedés növekedési viselkedésének acélban és alumíniumban történő tanulmányozásával. Kies rendelkezett némi képzettséggel a kohászat területén, de a törésmechanikában nem. Viszont nagyon gyorsan tanult.

1945-ben Joseph A. Kies felesége Oak Ridge-ben, Tennessee-ben vállalt munkát, ahová Joe is vele utazott. Így történt, hogy **G. R. Irwin** egy Oak Ridge-i fogadáson véletlenül találkozott Joe Kies-sel, aki megkérdezte tőle, nem tud-e állást számára a *Haditengerészeti Kutatólaboratóriumban*. Éppen volt egy szabad hely a *Ballisztikai Részleg* (1946-ban alapított) *Törési Szekciójában*. Joe Kies-t, kohászati előképzettségének köszönhetően, először **William Pellini**-nek mutatták be a Kohászati Szekcióban, ám Kies úgy döntött, hogy inkább az Irwin-féle törési csapatban dolgozna. Így 1948 júliusában az Oak Ridge-i *Szövetségi Laboratóriumtól* a *Haditengerészeti Kutatólaboratórium Ballisztikai Részlege Mechanikai Divíziójához* ment át.

Abban az időben a Ballisztikai Részleg elsődleges érdeklődési területe a repülőgépek, valamint a pilótazubbonyok és tengerészgyalogsági zubbonyok páncélozása volt. Megkezdődött a törés alapvető tanulmányozása, és hamarosan ez lett Joe Kies fő munkaterülete. A törési kutatásban a fő hangsúlyt olyan energiaegyensúly megtalálására helyezték, amely mellett a lehető legalaposabban és legrészletesebben leírható a törés folyamata. Ezen vezérelv mentén, alkalmanként G.R. Irwin tanácsaival folytatott párhuzamos törési kutatásokat J. A. Kies és **T. W. George**. Utóbbi a törési folyamat különböző módokon - vékony fémlemez és huzalrács segítségével - történő modellezésére, valamint a rostkötegek szilárdságának statisztikai tanulmányozására összpontosított. Joseph Kies a szerkezeti anyagok törési próbáit tervezte és felügyelte. Felismerte, hogy egy töretfelület minden eleme egy kis törési modellt képez, ezért nagy hangsúlyt helyezett a fraktográfiára. Kies és George egymást kiegészítő eredményekre jutott, amelyek megalapozták a kezdeti ismeretanyagot.

A vékony lemez modelleken olyannyira magától értetődő főrepedést megelőző hasadásokról Kies megállapította, hogy ezek a progresszív repedésterjedés általános jellemzői valamennyi szerkezeti fémnél és műanyagnál. Egyedül a csillám esetében tűnt lehetségesnek az előzetes károsodás nélküli hasadás. A vékony lemez modelleken vizsgálva, a repedésterjedés sebességének a lassúból a gyorsba való átmenete csak viszonylagosan szakadt meg. Azonban a Kies által megfigyelt törési jelek azt mutatták, hogy a rideg fémek és műanyagok esetében a folyamat megszakadása elegendő ahhoz, hogy a törési szívósság becsléséhez megfelelő mérési pontot kapjunk.

Az energiaegyensúly alapötletét egy 1946-os, „*Törési dinamika*” c. publikációban G. R. Irwin, (1946) már közzétette és nagy vonalakban ismertette. Az 1948-tól és 1954-ig eltelt hat évben a jelenleg *törésmechanika* néven rendelkezésre álló ismeretek zömét felfedezték és három publikációban közzétették (Kies és mások, 1950; Irwin-Kies, 1952; Irwin-Kies, 1954).

Ami J. Kies ebben a munkában végzett szerepét illeti, meg kell jegyeznünk, hogy 1948-ban G. R. Irwin a Mechanikai Divízió igazgatóhelyettese és a Ballisztikai Részleg vezetője is volt, majd 1950-ben a Mechanikai Divízió igazgatója lett. Ezért 1949-től a törési program munkája legnagyobb részét J. Kies irányításával folyt (aki ekkor a Ballisztikai Részleg Törési Szekciójának vezetője volt). 1953-ban Kies-t a Ballisztikai Részleg vezetőjévé nevezték ki.

Joe Kies kiváló kísérletező és az elméleti munkát is értő elme volt, habár az elméletnek nem tulajdonított túl nagy jelentőséget. Mindamellet G. R. Irwin minden publikációját áttanulmányozta.

Az 1950-es évek elején G. R. Irwin nem tudott előrehaladni a feszültséganalízis vizsgálatában. Fizikusi képzettsége kiváló matematikai háttérrel biztosított számára, azonban bizonyos feszültséganalitikai problémák tisztázatlanok maradtak. (Érdekes megjegyeznünk, hogy a Szovjetunióban a hidegháború éveiben Irwin professzort nem ismerték el a műszaki törésmechanika megalapítójaként, csak matematikusként és teoretikusként.) A megoldást **Dan Post** hozta, aki a statikus és a terjedő repedések lemezeken történő feszültségoptikai vizsgálatát végezte, és rábukkant a híres 1939-es, komplex elemzést tartalmazó Westergaard-publikációra, amellyel rávezette Irwin-t a megoldásra. Segítette Irwin-t Ericksen is, a fiatal, tehetséges matematikus, aki az Irwin-vezette Divízió Alkalmazott Matematikai Szekciójában dolgozott.

Az abban az időben rendelkezésre álló törésmechanikai alapterv kísérleti igazolásából az Irwin-csoport minden tagja megértette, hogy egy új, nagyjelentőségű anyagszilárdsági terület fejlesztését kezdték el, amely túl nagy ahhoz, hogy csupán az NRL elszigetelt programja legyen (Irwin-Kies, 1952, 1954). Emellett, látván, hogy a szakmai találkozók álláspontjukat számos kritika éri, nem remélhettek jelentős segítséget a fejlesztésben, különösen az egyetemek részéről nem.

Ezek a nehézségek megoldódtak azzal, hogy az 1952-1960-as időszakban a törésmechanikát számos gyakorlati problémában sikerrel alkalmazták, amelyek, nagy jelentőségük révén, figyelmet keltettek. Ezek időrendi sorrendben a következők:

- a nyújtva keményített plexiüveg kifejlesztése,
- a deHavilland Comet polgári sugárhajtású repülőgépek túlnyomás alatti repülőgéptörzs- törései,
- nagy gőzturbinás villamos generátorok nehéz forgóalkatrészeinek hirtelen törései, valamint

- ultranagyszilárdságú acél rakétakamrák hidraulikus törési vizsgálatai a Polaris programban.

Az Irwin-vezette csapat valamennyi fenti probléma megoldásában részt vett. Ezek az alkalmazások új munkatapasztalatot is jelentettek számukra, és befolyásos híveket szereztek a törésmechanikának.

3. A nyújtva keményített plexiüveg kifejlesztése és a feszültségintenzitási tényező megjelenése

A töréskutatási program első jelentős sikere a melegen nyújtva keményített PMM kifejlesztése volt repülőgép-ablakok anyaga céljára. Ez a projekt, születésétől fogva **J. Kies** munkája volt.

A repülőgépek ablakait eredetileg rideg plexiüvegből készítették, ami számtalan balesetet okozott. 1952-ben a Szövetségi Szabványügyi Hivatal munkatársa, Dr. Wolock kis modellkísérleteken bemutatta Joe Kies-nek, hogy a melegen nyújtással nagyban növelhető a PMM hajszálrepedéses törési ellenállása. Az így kapott, melegen nyújtott plexiüveg alkohol jelenlétében nagyon ellenálló volt a hajszálrepedéses töréssel szemben, és Kies, helyesen, azt feltételezte, hogy ugyanez az eljárás az anyag repedés terjedéssel szembeni ellenállását is növeli. Ennek a feltételezésnek az alapos kísérleti alátámasztásához megfelelően nagy méretű melegen nyújtott lemezekre volt szükség. Kies-nek sikerült 3-4 hüvelyk vastagságú melegen nyújtott lemezeket szereznie a repedés terjedéssel szembeni ellenállás méréséhez és feltételezésének igazolásához. Együttműködést alakított ki az acron-i (Ohio) Goodyear repülőgépgyártó céggel a repülőgép-ablakok gyártásában. A lemezek nyújtásával a vastagságot harmad-negyedrészére sikerült csökkenteni, a lemezeket ezután vágták oválisra, illetve a szükséges formára. Kies ismert és elismert vendég lett a Goodyear-nél.

Kies melegen nyújtott plexiüveggel végzett kísérletei során azokon sem hajszálrepedések, sem hajszálrepedéses törések nem jelentkeztek. A kísérleti minták törési felszínének vizsgálatakor megállapította, hogy a melegen nyújtott anyag felszíne nagyon kemény és egyenetlen, míg a nyújtás nélkülié sima. Senki sem értette pontosan, miért van ez így, de Kies kitartott azon feltevése mellett, hogy a melegen nyújtás növeli a repedés terjedéssel szembeni ellenállást. Ez volt az első olyan kiemelkedően sikeres ipari alkalmazás, amelyet a Mechanikai Divízió Ballisztikai Részlege Törési Szekciójában dolgoztak ki. Mivel a kísérletek igazolták a szívósság növekedését, Joe Kies a Légierő egy jelentős programjába is bekapcsolódott, amely harci repülőgépekhez használható nyújtva keményített ablakanyag keresésére irányult. Kezdetben a Haditengerészet által szponzorált, az NRL által kifejlesztett törési próbával határozták meg a szívósságot. Egy 1955-ben, repülőgéppablakok anyagairól tartott Wright Field-i konferencián Joe Kies bemutatta, hogy szükségtelen a törési szívósság, G_c meghatározása, amelyhez ismerni kell a Young modulust, E -t: mindössze a szorzatukra, GxE -re van szükség. Kies kiemelte, hogy az ablakanyagok törési szilárdságának mértéke legjobban az $(E dW/da)$ szorzat négyzetgyökeként adható meg, ahol dW/da a repedés növekedésével szembeni ellenállást (amelynek neve a *törési munka sebessége*) jelzi.

1954-ben megalkották és használni kezdték a *törésmechanika* kifejezést az NRL Mechanikai Divíziójának törési kutatásaiban. Így lehetett a legegyszerűbben megkülönböztetni ezeket a kutatásokat az NRL Kohászati Divíziójának az ütközési törések és robbanási alakváltozási

vizsgálatok terén végzett tevékenységétől. Egyéb területeken a *törésmechanika* szakszókincse még nem fejlődött ki.

Az ablakanyag programban részt vevő repülőgépipari cégek olyannyira hasznosnak találták **Kies** javaslatát, hogy a továbbiakban a repedés terjedéssel szembeni ellenállásra kapott vizsgálati eredményeiket **K-értékként** jelölték, ahol

$$K = \sqrt{E(dW/da)} \quad (2)$$

A **K-jelzést természetesen Joseph A. Kies tiszteletére választották**, hiszen abban az időszakban a teljes keményített ablakanyag programot gyakorlatilag az ő javaslatai irányították.

4. A deHavilland Comet polgári sugárhajtású repülőgépek túlnyomás alatti repülőgéptörzs-törései

Az NRL törésmechanikai kutatásainak második nagy sikere a deHavilland Comet repülőgéptörzs-törésekkel kapcsolatos. 1954 szeptemberétől **Alan A. Wells**, a Brit Hegesztési Kutatási Szövetség (BWRA) munkatársa (Abington-Cambridge-Anglia) hét hónapig az NRL-nél dolgozott. A Comet-töréseket Kies, Wells és Irwin vitatta meg, akik egyetértettek abban, hogy a magyarázat az a tény, hogy a kritikus repedésméret a 7075-T6 alumíniumlemez esetében kisebb, mint a Comet ablakmérete (Brossman-Kies, 1954; Wells, 1955). Némi bizonytalanságot okozott az, hogy sem a Comet repülőgéptörzs anyagáról, sem a túlnyomás során megengedett feszültségről nem rendelkeztek pontos ismeretekkel. 1955 tavaszán Joe Kies ellátogatott Burbank-be, a Lockheed Repülőgépgyárba, és megállapíthatta, hogy a repülőgéptörzs anyaga nagyban hasonlít a 7075-T6 alumíniumra, és hogy a megengedett feszültség elég nagy ahhoz, hogy a Comet-törések Kies-Wells-Irwin-féle magyarázata kétségtelenül alkalmazható legyen.

Ez a magyarázat röviden a következő: Minden repülőgépen felfedezhetők esetenkénti kifáradási repedések, elsősorban a nagy feszültségnek kitett helyeken. A repülőgép törésbiztonságát soha nem a fáradási repedések teljes kiküszöbölésével lehet elérni, hanem azzal, hogy a megfelelő szívósság révén a fáradási repedések stabilak és még a gyors terjedés előtt felfedezhetők maradjanak. A deHavilland Comet repülőgépeken az ablakmerevítés elégtelen volt, az ablakok sarkain pedig jelentős feszültségek ébredtek. A helyzetet súlyosbította, hogy ezeken a helyeken a tényleges repedésmérethez az ablaknyílás mérete is hozzáadódik. Így az egészen kis méretű, az ablakmerevítés alatt nem is felfedezhető anyagfáradási repedések is elégségesek ahhoz, hogy a cca. 10200 m-es magassági szintnek megfelelő feszültség hatására beinduljon az instabil gyors repedésterjedés. Ez a törésmechanikai magyarázat nagy segítségére volt az amerikai repülőgépgyártóknak abban, hogy a továbbiakban kiküszöböljék a Comet-hez hasonló lehetséges töréseket. Azonban a törésmechanikát kevésbé értékelték, és természetesen főként a költséges, teljes méretű modellkísérletekben bíztak.

1956-tól kezdődően az Irwin-féle NRL-csapat, **Albert Kobayashi** és **Paul C. Paris** segítségével, rendszeresen látogatta Kalifornia és a nyugati part repülőgépgyárainak mérnökeit. Irwin és munkatársai kitűnő kapcsolatokat építettek ki a Boeing kutató-fejlesztő mérnökeivel – ebben különösen segítségükre volt Paul C. Paris, a fürgé eszű fiatal kutató, aki a Boeing-től a Los Angeles-i Caltech-hez ment át, hogy **Max Williams** professzorral a törésmechanikát és az

anyagfáradást megvitassa. Tekintve, hogy a repülőgépgyártás a nyugati part fontos iparága volt, ez kitűnő alkalmat kínált a törésmechanika gyakorlati alkalmazásainak felderítésére.

1956. végére az Irwin-csapat több publikációt megjelenésre előkészített. Joe Kies a repülőgépgyártók előtt ismertette az $(EG)/\pi$ érték vizsgálatára kidolgozott módszerét. 1958-ban a *San Diego-i mérnökök alkották meg a Joe Kies-ről elnevezett K-tényező* kifejezést. Ugyanekkor G.R Irwin felfedezte a *K-tényező* és $\sigma\sqrt{(2\pi a)}$ közötti arányosságot, és ekkor történt az is, hogy a feszültségintenzitási tényezőnek a Springer Kézikönyv elhíresült cikkében megjelent alternatív meghatározása szakmai körökben felkavarta a kedélyeket.

A Comet repülőgép katasztrófája nyomán Nagy-Britannia elvesztette a polgári repülőgépgyártásban meglévő elsőbbségét, és soha nem is heverte ki ezt a csapást.

5. Nagy gőzturbinás villamos generátorok nehéz forgóalkatrészeinek hirtelen törései

Az NRL törésmechanikai munkásságának harmadik nagy sikere a nagy gőzturbinás villamos generátorok nehéz forgóalkatrészeinek törései során történő alkalmazás volt. Az NRL-t hivatalosan nem kérték fel a programban való együttműködésre. Kies és Irwin megállapodása alapján Irwin tartotta a kapcsolatot a *General Electric* céggel, és tanácsadóként segítette a munkát. Cserében az NRL megkapta a cégtől az 1956. júliusában indult egyéves intenzív programban összegyűjtött valamennyi, forgókorongra és hornyoskönyökre vonatkozó törési adatot. Ebben az esetben a törésmechanika alkalmazásával azt igazolták, hogy a működés közbeni töréseket a többhüvelyknyi nagyságú repedések okozzák, nem pedig a kis hibák. Így a program fő célpontjai voltak a sűrű zárvány-előfordulási területek, illetve a hidrogén szerepe a nagy repedések kifejlődésében. Az NRL jól hasznosíthatta a General Electric-től kapott adatokat, hiszen azok a szelvényvastagság rideg-képlékeny törési átmenetre gyakorolt hatásának tisztán kísérleti bemutatását nyújtották. Egy 1959-es ASME-publikáció (Irwin, 1959) ezt a törési átmenetet úgy magyarázta, mint a síkbeli alakváltozásból a síkbeli feszültségi állapotba történő váltást, és a képlékeny törési zóna lemezvastagsághoz képest történő relatív növekedését.

6. Ultraszilárdságú acél rakétakamrák hidraulikus törési vizsgálatai a Polaris programban

Az NRL törésmechanikai munkásságának negyedik nagy sikere a Polaris program ultraszilárdságú acél rakétakamráinak törései során történő alkalmazás volt. 1957. őszén komoly veszély fenyegette a Polaris program határidőinek betartását, mégpedig az ultraszilárdságú hegesztett acélból készült rakétakamrák túl gyakori törései miatt a hidraulikus vizsgálatok során. E probléma megoldásának felelősségét teljes egészében az NRL törésmechanikai csapata viselte. A turbinalapát-törésekhez hasonlóan az acélkamrák esetében is annak bemutatása volt a feladat, hogy a hidraulikus vizsgálatok közben a töréseket a viszonylag nagy előrepedések okozzák, nem pedig (önmagukban) a kis zárványok. Az NRL-megoldás sikere elsősorban annak volt köszönhető, hogy minden egyes törés esetében bebizonyították, hogy a törés pillanatában fennálló belső nyomás kvantitatívan magyarázható az előrepedés mérete és az anyag repedésterjedéssel szembeni ellenállása, K_c segítségével. Ehhez J. Kies különleges ügyességére volt szükség a makroszkopikus fényképe-

zésben. Kies irányítása mellett a rakétakamra törési vizsgálatait végzők megtanulták, hogyan ismerjék fel és osztályozzák az előzetes repedés különböző formáit a töretfelület vizsgálatával. A hegesztési szegély repedései, a keményedési határokat jelölő oszlopszerű dentridek, a lassú–stabil korróziós növekedés az egymást követő hidraulikus vizsgálatok során és a többi szignifikáns jelenség mind viszonylag világossá vált (legalább annyira világossá, amennyire ezt a törés jellemzően összetett volta megengedi), egyszerűen azáltal, hogy a megfelelő megközelítésben vizsgálták a töréseket. A törésmechanika gyakorlati alkalmazásainak számos különlegessége között a szignifikáns törési jelek lencse, binokuláris mikroszkóp és (különleges területeken) metallográfiai mikroszkóp segítségével történő megtalálása és értelmezése volt az a terület, amelyen J. A. Kies kiemelkedő szaktudását széles körben elismerték. Kiest gyakran kérte fel a Légierő és a NASA, hogy fontos törési vizsgálatokban segédkezzen. Kies jelentősen bővítette az Irwin-csapat által a törési folyamat megfigyelésére kifejlesztett módszereket azzal, hogy magnószalagra rögzítette az előzetes repedést bizonyító hangot egy repedésterjedési vizsgálat során.

A Polaris törési problémáinak jelentkezésekor az *NRL Töréskutatói Szekciójában* dolgozott **Joseph A. Kies, Herschel Smith, Vilette Sullivan, Joe Krafft, Steve Hart és George R. Irwin**, és segítséget kértek még a *Védelmi Minisztérium* közeli laboratóriumaitól is. Különböző források felhasználásával Kies munkacsoportokat alakított az NWL-nél (Harold Bernstein, Haditengerészeti Fegyvergyár, Dalhgren), és a Haditengerészeti Fegyvervizsgáló Intézetben (NWP, Dr. D.Romie, Washington D.C.). Ezt követően bekapcsolódott még a munkába egy kis csoport a Frankford Fegyvertárban és több speciális témacsoport az Illinois-i Egyetemen. 1958-tól kezdve az így összeállt csapat Kies általános irányításával különleges feladatokat végzett: minden egyes Polaris rakétakamra-törést megvizsgáltak és arról rövid jelentést készítettek. A legtöbb bizonytalanságot sikerült megszüntetni, amikor a következő két tényt leszőgezték:

- (1) A töréseket a gyártás közben bekövetkezett repedések okozták, amelyeknek a végső mérete az acél törési szívóssághoz viszonyított törési feszültség mértékéből következik;
- (2) Ezek a hibák a rendelkezésre álló roncsolásmentes vizsgálati módszerekkel láthatatlanok voltak, és addig azok is maradnak, amíg a hegesztések köszörülésével biztosítják a sima felületet.

1958. szeptemberében az elért eredmények révén sikerült kellő időben javító intézkedéseket hozni, amelyek nem is kerültek sokba a Haditengerészetnek. Az Aerojet olyan kifinomult hegesztő-berendezést szerzett, amellyel biztosítani tudták a gyártási folyamat megfelelő ellenőrzését. Sokat segített az is, hogy a hegesztések lecsiszolása révén javult a hibák felderíthetősége. A Kies-csapat tevékenysége mind a Polaris fegyverprogram időbeni befejezését fenyegető komoly veszély elhárítása, mind pedig a Polaris rakétakamra szerkezeti kérdései terén megszerzett nagyobb megbízhatóság szempontjából nagy sikernek minősíthető. A Polaris nagyjából egy év múlva követő *Minuteman* programban is merültek fel törési problémák, amelyekben az NRL szintén segítséget nyújtott.

Az 1960-tól 1963-ig tartó időszakban, amikor a szilárd hajtóanyagú rakétakamra fejlesztések során az üvegszálás fűtőtekerceselés kérdése merült föl, J. Kies egyszerűen átszervezte a csapatát és a törési kutatások súlypontját az összetett szerkezetek törési kísérleteire helyezte. E munka sikeréhez a Kies-csapat elsődlegesen a következőkkel járult hozzá: annak megvilágítása, hogy a jól kötött párhuzamos szálú kompozitok nagy átlagos szilárdsága a nagyon rövid szálhosszúságból következik; a letekerceselési hibák rétegek közötti nyírókeménységgel történő magyarázata;

valamint egy – széles körben elfogadott – javaslat olyan gumiréteg alkalmazására a feszültségkoncentráció csökkentésére, ahol a terhelést az üveg-epoxy kompozitba ágyazott fémbetétek veszik fel. Felbecsülhetetlen értéket képviselt az a tanácsadói segítség is, amit Kies a kormányhivataloknak és rakétakamra-gyártóknak nyújtott. Ezeknek az intézményeknek éppen egy olyan tapasztalt tanácsadóra volt szükségük, aki elegendő tudás birtokában és egyszerűen meg tudta határozni, mely tényezők fontosak és melyek nem. Kies volt a legkeresettebb szakember, akinek tanácsai meghatározó jelentőségűek voltak számos kutatás-fejlesztési programban.

Az NRL által a Polaris programban bevezetett törési szívósság mérési módszereket és a megfelelő szívóssági kritériumokat ma is széles körben alkalmazzák. Ugyanakkor folyamatosan bővül azoknak az alkalmazási területeknek a száma, ahol a törésmechanika a szívósság becslésén kívüli, egyéb célokat szolgál, mint pl. a fáradás, feszültségkorróziós repedés és az adhézió. Habár ma világszerte elfogadják és használják a törésmechanikát, az NRL célkitűzései kimondottan nemzeti célokat szolgáltak. Az Irwin-csapat meg akarta oldani az amerikai Haditengerészet gondjait és elérni azt, hogy országuk a törésmechanika elméletében és alkalmazásában vezető szerepre tegyen szert. Az eredmények igazolják, hogy mindkét célt elérték.

7. Az ASTM és a törésmechanika

Az Amerikai Vizsgálati és Anyagtudományi Társaság (ASTM) egyik ülésén vita bontakozott ki arról, hogy elfogadják-e az Irwin-csoport által javasolt új elméleteket. Az ASTM hivatalos állásfoglalásában ez olvasható:

„A törésmechanika értelmezése eléggé megalapozottnak tűnik ahhoz, hogy elősegítse a törések előfordulásának megértését, és hogy a tervezőmérnököket és gyártókat segítse a szerkezeti törések kiküszöbölésében.”

Ezt az állásfoglalást két fontos esemény előzte meg. Az ASTM Bizottsági Ülése előtt **Winnie és Wundt** egy cikket tettek közzé, amelyben a Griffith-Irwin elmélettel, a nehéz forgóberendezések törését magyarázták. Egy másik cikkben a Boeing cég Tervezőmérnöki Osztályának vezetője értekezett a de Havilland Comet polgári repülőgép kudarcáról, és arról, hogyan lehet a hiba megértésében a törésmechanikát alkalmazni. E két cikk alapján az ASTM megalapozottan nyilatkozhatott úgy, hogy „elősegíti a törések megértését”. A törési szívósság jelölésére a K_c tényezőt alkalmazták.

1959. januárjában létrehozták az ASTM Különleges Bizottságát (későbbi elnevezése az „ASTM E024 - Fémek Törési Vizsgálata” lett), amelynek működése első évében a Kies-csapat törési szívósság adatai szolgáltatották a fő ismeretanyagot. Nagy hatást gyakorolt az a tény, hogy az adatok forrása négy védelmi minisztériumi laboratórium (NRL, NWL, NWP, Frankford Fegyvertár), három ipari laboratórium (AG-Azusa, U.S.Steel-Monroeville, Boeing Seattle) és egy egyetem volt. Az egész bizottság „törésmechanikában gondolkodott”, és ez végül azt eredményezte, hogy a törési problémák egész sorát vizsgáló amerikai mérnökök és tudósok nagy számban fogadták el a törésmechanikát.

Ami Európát illeti, a George R. Irwin-nel számos alkalommal együtt dolgozó **Alan A. Wells** aktívan működött a Nemzetközi Hegesztési Társaságban (IWW), és a törésmechanika európai elterjedésének elsősorban az Egyesült Királyság volt a kiindulópontja – egyrészt a Hegesztési

Intézet Alan Wells személyében, másrészt az Imperial College, **Cedric Turner** professzor személyében.

8. A kései évek

J. A. Kies-ben kiemelkedően értékes tudóst kell tisztelnünk. Egy-egy komoly jelentőségű probléma vizsgálatánál Kies a legalapvetőbb és a leggyakorlatiasabb megközelítéseket kereste meg, majd teljes figyelmét ezekre összpontosította, és lelkesen bízott abban, hogy a megmaradó fehér foltok is felderíthetők. Ezzel „áttörést” hajtott végre a vak, empirikus megközelítéstől a megértésre alapozott megközelítésig; igazában a probléma legalább 50%-os megértése érdekelte őt, szemben a végső részletek megoldásával, és a feladatnak ez volt az a része, amelyhez különleges tehetsége volt.

Ami a törésmechanikát illeti, Kies nagyvonalúan osztozott a feladatokon, először T.W. George-dzal és G.R. Irwin-nel, majd később Irwin-nel. Ő inkább a kísérleti és a csapattirányítási, mint az analitikai feladatokat végezte, elsősorban azért mert Irwin-nek ez a munkamegosztás felelt meg. Jellemének része volt az a nagyvonalúság, amellyel a törésmechanika fejlesztésében jelentős érdemeket Irwin-nek tulajdonított. Kies bármilyen feladatot felvállalt, legyen az egyszerű vagy bonyolult, szokványos vagy újszerű, ha az a probléma alapos megértéséhez közvetlenül hozzájárulhatott. Nem hagyta figyelmen kívül a kérdéssel kapcsolatosan a gyakorlatban már megszerzett információkat, és képes volt gyorsan átlátni, hogy melyek a gyakorlatilag fontos és melyek az elsősorban elméletileg érdekes vonatkozások. Nem mintha az utóbbiak nem érdekelték volna, azonban úgy gondolta, hogy egy alkalmazott kutatási laboratóriumnak az a feladata, hogy „alkalmazza” a tudományt. Emellett a gyakorlati vonatkozások általában ösztönzőbbek voltak, és hasznos termékek formájában jobban demonstrálták az elért eredményeket. Hogy egy példát mondjunk, ha Kies sugárhajtású repülőgépen ült, nyújtva keményített PMMA ablakon át nézhetett ki és tudhatta, hogy legalább a törzs (ha a szárnyak nem is) törésállósági tulajdonságaiban megbízható.

G.R. Irwin gyakran említette, hogy zavarban van, ha arról kérdezik, Kies és ő hogyan osztozik a törésmechanika érdemeiben. Azt is gyakran megjegyezte, hogy ha ismét feladatul kapná a törésmechanika fejlesztését, legelőször J.A. Kies-t keresné meg, hogy munkatársául felkérje.

Nyugdíjazása után Kies továbbra is vállalt kormánytanácsadói feladatokat. Egészsége azonban, feltehetően a megfeszített munka miatt, megromlott, keringési panaszok léptek fel nála. Beleegyezett, hogy végrehajtsanak rajta egy nehéz és komoly szív műtétet, amit azonban nem élt túl. A 80-as éveinek elején hunyt el.

Több mint sajnálatos, hogy **Joseph Kies** neve rendkívül ritkán bukkan fel a törésmechanikai szakkönyvekben, így rengeteg fiatal kutató előtt ismeretlen marad annak az embernek az életműve, aki a törésmechanika-tudomány korai korszakának fontos szereplője volt (Rossmanith, 1997). Bár mindannyian előszeretettel alkalmazzuk a **K**-jelzést a feszültség-intenzitási tényező jelölésére, de kevesen tudjuk, ki is volt az az ember, akiről a jelölés a nevét kapta.

IRODALOMJEGYZÉK

- Brossman és J.A.Kies** (1954) NRL 370. sz. feljegyzés, 1954. november
- Irwin, G.R.** (1948) Törésmechanika, "Fracturing of Metals" ASM Cleveland, 147-166
- Irwin, G.R.** (1959) A törési mód változása lemezen áthaladó repedésnél. ASME
- Irwin, G.R. és J.A. Kies** (1952) Törés és törési dinamika, "The Welding Journal Research Supplement" 31. szám, 95-100, február
- Irwin, G.R. és J.A. Kies** (1954) Nagy hegesztett szerkezetek törési szilárdságának kritikus energiafelszabadulási sebesség-analízise, "The Welding Journal Research Supplement" 33. sz., 193-198, április
- Irwin, G.R., J.A. Kies és H.L. Smith** (1958) A törési szilárdság a repedésterjedés kezdetéhez és végéhez viszonyítva, Proc. ASTM 58. szám, 640-660.
- Kies, J.A., A.M. Sullivan és G.R. Irwin** (1950) A törési jelölések értelmezése, "J.Applied Physics"
- Rossmanith, H.P.** (1997) Visszapillantás a törési kutatásokra, George R. Irwin 90. születésnapjára megjelent évfordulós kötet, A.A.Balkema, Rotterdam
- Shearin, P.E., A.E. Ruark és R.M. Trimble** (1948) Acélok és egyéb fémek lassú bemetszett hajlítási próbáinak mérethatásai, "Fracturing of Metals" ASM (Cleveland), 167-188, 1948
- Wells, A.A.** (1955) Alumíniumötvözetek gyors törési körülményei, különös tekintettel a Comet-törésre, BWRA RD 129. sz. jelentés, 1955. április

Köszönetnyilvánítás

Jelen publikáció elsősorban George R. Irwin 1968-73 közötti kései írásain alapszik. Ezeket a szerző saját jegyzeteivel egészítette ki, amelyekere az 1977-től 1998-ig terjedő időszakban Irwin professzorral készített interjúi során tett szert.

G.R. IRWIN – A törésmechanika atyja: Rövid életrajz¹

Dr. H. P. Rossmanith

Vienna University of Technology, Institute of Mechanics

1. A család története

George Rankin Irwin 1907. február 26-án született El Paso-ban, Texas államban. Édesanyja, Mary Susan Ross a skót származású, ám a vallási üldöztetés elől Oliver Cromwell idején Észak-Írországra menekülő népes Ross család tagja volt. Édesapjának családja angol eredetű volt.

Az „élet az Édenkertben” történetekhez hasonlóan a Ross-család 1749-ben Skóciából Észak-Írországon keresztül érkezett az Újvilágba, az olcsó földhöz jutás és az óviláginál jobb élet reményében. A család 456 holdas birtokon telepedett meg Nyugat-Virginia nyugati Shennandoah-völgyében, Hampshire megyében.

A betelepült első két nemzedéknek gyakran meggyűlt a baja az indiánokkal. I. William Ross (született 1702-ben, Dublinban, Írországból) részt vett a gyarmati háborúban, amelyben őt és egyik fiát, Tavnor-t indiánok ejtették fogságba 1757-ben. Fiának sikerült elmenekülnie, I. William Ross-t azonban máglyán megégették. Másik fiát, II. William Ross-t ötéves korában két indián elrabolta, és szintén máglyára akarták vetni, de egy arra járó francia kereskedő két takaróért megvásárolta. II. William Ross-t Detroit-ba vitték és két francia hölgynek adták el apródnak. Szülei már lemondtak róla, de a kanadai francia-angol háború idején megtalálták, és így visszakerült családjához Nyugat-Virginiába.

Akkoriban az olcsó földszerzés lehetősége sokakat csalogatott Nyugatra, ahol már ötven cent és egy dollár közötti áron vásárolni lehetett egy hold termőföldet. A Ross-család II. William Ross-féle ága - amelyből George Irwin származik - 1782-ben Kentucky-ba, 1797-ben Ohio-ba, majd pedig az Illinois-állambeli Springfield környékére költözött, ahol a föld bőven termő és könnyen művelhető volt – ezen a vidéken nagyon sok farmer meggazdagodott. A család leszármazottainak sorát II. John Ross és Joseph E. Ross (született 1823-ban) folytatja, majd George Irwin anyai nagyapja, John Henry Ross következik, aki Annie Troxel-t vette feleségül. Hat gyermekük született, és legidősebb leányuk, Mary Susan (1880-1967) lett George Irwin édesanyja.

Az anyai nagyapa, John Henry Ross lelkésznek készült. Annie Troxel-lel kötött házassága révén jelentősen megnőtt a családi földterület nagysága. A Troxel-család északír származásának vallotta magát, a szóbeszéd viszont úgy tartotta, hogy svájci eredetűek. Annyi bizonyos, hogy az USA-beli népvándorlási mozgalmakban számos európai nép fiai voltak jelen.

¹ Megjelent: H. P. Rossmanith: Fracture Research in Retrospect. An anniversary volume in honour of G.R. Irwin's 90th Birthday. A.A. BALKEMA/Rotterdam/Brookfield/1997. p.3-34.

Pappá szentelése után Henry Ross egy szegény minnesotai parókiára került. Lelkipásztori fizetéséből azonban nem tudta eltartani hatgyermekes (három fiú és három lány) családját. Így feladta lelkészi állását, családi segítséggel Springfield-be költözött és fényképész lett (készített egy fényképet George Irwin-ről és bátyjáról is). Mivel ez sem bizonyult elég jövedelmezőnek, apjával megegyezett abban, hogy egy 180 hold körüli (gazdálkodáshoz túl kicsi) földdarabot kapott, és farmerkedni kezdett. (Nagyapja, II. John Ross 1851-ben egész családját szekérre ültette, és állataikat maguk előtt hajtva, megáradt patakokon átgázolva Sangamon megyébe költöztek.) Henry Ross hat gyermeke közül a legidősebb, Wilber a Northwestern Egyetem orvosi karára járt, és később nagyon sikeres sebész lett. A második fiú, Homer, Nyugatra akart költözni, hogy erdész legyen, aztán állatokat vásárolt és végül jómódú állattenyésztő lett. A harmadik gyermek, Mary Susan, üzleti főiskolára járt, itt ismerkedett meg későbbi férjével, William Rankin Irwin-nel (George Irwin édesapjával). Ethel, a negyedik, rövid ideig Chicago-ban élt, és egy hírneves zongoristánál tanult zongorázni. Rose, az ötödik, tanító lett, és férjhez meneteléig alsóbb osztályokban tanított. A legkisebb fiú, Charles, bátyja példáját követve Nyugatra költözött szerencsét próbálni. Egy ideig erdészként dolgozott, végül Washington államban települt le és autógünyök lett.

George Irwin apai felmenőinek története csak a Függetlenségi Háború idejéig vezethető vissza. A nemzetségnév eredetű Irwin név azonban, és annak különféle változatai (Erwin, Everwine, Irwine, Irving és Urwin) már 1124-től előfordulnak angol iratokban. A *Historical Research Center, Inc.* kutatásai szerint az Irwin-ek címere ezüstfehér alapon három, eredeti színében ábrázolt magyallevelet, a címerpajzs pedig egy galambot formáz, amely olajágot és a „Yielding under no winds” feliratot tartja a csőrében.

George Irwin apja, William Rankin Irwin, 1877. november 25-én született Monmoth-ban, Illinois-ban, a los angeles-i Mary Rankin Irwin fiaként. Mary Rankin Irwin apja, Nathaniel Alexander Rankin 1809. február 1-én született Hendersonban, Kentucky államban. Az ő felmenői között találjuk a Holloway-eket, McClanahan-eket és a forradalmár Field ősöket. Az 1735-ben Virginia-ban született Henry Field képviselte Culpeper-t a híres 1776-os Konvención, ahol kinyilvánították a vallásszabadság elvét, deklarálták az amerikai függetlenséget és elfogadták Virginia első alkotmányát. A konvencióban való részvétele feljogosította leszármazottait az Amerikai Forradalom Gyermekei cím viselésére.

George Irwin bátyja, William Ross Irwin 1904. november 2-án született San Marcial-ban, Új-Mexikóban. Mérnökként végzett az Illinois-i Egyetemen és egy bojlergyártó cég alelnöke lett. Nővére, Constance Elizabeth a Knox Főiskolára járt és tanár lett.

Idekívánkozik még néhány szó az Irwin-ek és a Rankin-ek közötti kapcsolatról, mert ez George Rankin Irwin nevének választására is magyarázatot ad. A Skóciában és Írországból is földeket birtokló nagybirtokos, Adam Rankin fia, William Rankin, néhány évvel a Függetlenségi Háború előtt vándorolt ki Amerikába, és Pennsylvania államban, Franklin megyében telepedett le. Ő volt Adam Rankin gyermekei közül az egyetlen, aki szülőföldjét elhagyva az Újvilágban teremtette meg családját boldogulását. Nyolc gyermekének egyike, II. Adam Rankin elismert orvos lett, 14 gyermeke volt, 1795-ben Kentucky-ban telepedett le. Dr. Rankin házában élt és gyermekeinek magántanára volt a híres John James Audubon felesége (John James Audubon a Mississippin végzett madártani kutatásokat). Dr. Rankin-nek harmadik feleségétől, Susan Daniel Anderson-tól született Nathaniel Alexander Rankin nevű gyermeke, a későbbi George Irwin dédapja. Nathaniel Alexander Rankin, Abraham Lincoln nagy csodálója, megnősülése után nem sokkal Springfield-be (Illinois állam) költözött, és itt találkozott Abraham Lincoln-nal, ekkor még

kezdő ügyvéddel. Lincoln és Nathaniel korban nagyon közel álltak egymáshoz, Lincoln mindössze 12 nappal volt fiatalabb. Nathaniel nemsokára továbbköltözött Monmoth-ba (Illinois állam), és itt több bizalmi állást töltött be: volt polgármester, közigazgatási előljáró, adóhivatali tisztviselő, és emellett éveken át Monmoth leggazdagabb kereskedője – mígnem az 1857-es pénzügyi válságban minden vagyonát elveszítette. Lincolnt – amikor kongresszusi kampánya során Monmoth-ban járt – vacsorára látta vendégül, a Republikánus Párt megalakulásakor pedig annak lelkes tagja lett.

Az Irwin- és a Rankin-család több tagja Abraham Lincoln szomszédságában élt Springfieldben. Az 1890-es évek végén Theodore Rooseveltt, már aktív politikai személyiségként, felkerült a Republikánus Párt elnökjelölti listájára. Egy nap, nyugati vidéklátogató körútjáról Washingtonba tartva megismerkedett George Rankin-nel, Nathaniel egyik fiával. George Rankin hátszlovakat tartott, ami akkoriban, költséges időtöltés lévén, keveseknek adatott meg. Rooseveltt viszont, a szenvedélyes lovas, nagyon örült a lehetőségnek, hogy Springfield környékén Rankin lovain lovagolhatott. Később, már elnökként, Rooseveltt Washingtonba hívta egykori barátját, George Rankint és pénzügyminisztériumi állást biztosított számára. Ettől kezdve az elnök és George együtt jártak lovagolni. Ő volt tehát az, aki után George Rankin Irwin, a törésmechanika atyja a nevét kapta.

2. GEORGE RANKIN IRWIN

George Rankin Irwin születése előtt apja, egészségügyi okokból az Egyesült Államok déli részére költözött, itt tanult, majd különféle beosztásokban a vasútnál dolgozott, Albuquerque-ben és San Marcel-ben (Új-Mexikó), illetve El Paso-ban (Texas). 1907. december 13-án azonban George Irwin apja váratlanul meghalt, fiatal feleségét és három gyermekét (George ekkor 10 hónapos volt) hagyva hátra. Felesége a vasúttársaság és a biztosító közötti megegyezés eredményeként 5000 dollárt kapott, ami jelentős összegnek számított. Mary Susan Irwin hazatért Rochesterbe (Illinois), és szüleihez közel vett egy kis házat. George Irwin 5 éves korában a család Springfieldbe (Illinois) költözött. Ottani házuk azóta is a család birtokában van (jelenleg Benita Kitchené, George nővérének egyetlen gyermekéé). Mary Susan gyermekei jobb oktatása érdekében költözött Springfieldbe, ahol Illinois állam parlamentjében sikerült elhelyezkednie a kormányzat egyik vezetője mellett. Néhány évvel Springfieldbe települése után már eleget keresett ahhoz, hogy lehetővé tegye gyermekei számára a továbbtanulást. Öt-hat évvel később pályázat útján elnyerte a Springfield Boiler Company elnöki titkárnői állását. Fokozatosan beletanult a bojlergyártás alkatrészbeszerzésének kérdéseibe, és végül elnyerte a „vállalati titkár” címet.

George Irwin Springfieldben töltötte ifjúkorát, itt járt iskolába ötéves korától, majd a springfieldi West Adams Középiskolában tanult 1921-től 1925-ig. Az 1924-es osztállyal együtt érettségizett (mivel korán kezdte meg az iskolát, mindig legalább egy fél évvel a többiek előtt járt).

Gyermekkorában alkalmi munkákkal, például jégszállítással, újságkihordással kisebb-nagyobb összegeket keresett. A főiskola első évében megélt a nyáron megkeresett pénzből, de ez később már nem volt elég. Alice Lowerynek, a Knox Főiskola zeneoktatójának házában lakott, akinek sofőrként és ezermesterként segített be.

3. A középiskolai évek

A középiskolában George egyedül a fizikaórákat szerette igazán. Az ókori történelemről például úgy érezte, hogy az kimondhatatlanul távol áll a fizikától. A történelem lenyűgöző és érdekes volt, akár egy-egy izgalmas történet, mondjuk, Hammurabi törvénykönyveiről, de nyomába sem ért a fizikatanárnak, a nagyszerű pedagógusnak, aki nehézkesen körbecammogva, lencsét szemeztetve, a fénytant tanította.

A kémia viszont teljes rejtély volt George számára. „Vegyük A és B anyagot – ami legyen, tegyük föl, valamilyen sav –, elegyítsük a kettőt, és színes folyadékot kapunk; úgy is történik, ahogy a tankönyv leírja – amiről azonban a tankönyv nem ír, az mind érthetetlen.” A megkezdett első szemeszter kellős közepén George-nak sikerült leadnia a kémiát, és mivel soha nem szerette, nem is vette föl később sem. A matematika viszont nagyon közel állt hozzá.

Az angol és a latin kötelező tárgy volt, és bár George soha nem értette, mi értelme latint tanulniuk, tőle telhetően igyekezett. A tanár külön segítségével végül elvégzett két szemesztert elégséges osztályzattal.

Általában jó jegyei voltak, pedig nem túl sokat tanult. Néhány - nem éppen a jó magaviseletéről híres - barátja őt is rossz útra térítette, és így igazolatlan hiányzásai miatt hamarosan meggyűlt a baja az iskolaigazgatóval. A ballagáson azonban, mint az egyik legjobb tanuló, már abban a megtiszteltetésben részesült, hogy a végzősök nevében ő mondhatta a búcsúbeszédet. Az igazgató behívatta, hogy a hírt közölje vele, közben azt is megemlítette, hogy egyik, szintén jól tanuló, osztálytársnője „milyen kedves teremtes”.

Springfield az állam fővárosa lévén, az iskola nagy létszámú volt, több mint 500 elsőssal, összesen mintegy 2000 tanulóval. A színvonalas oktatást az iskola mérete mellett a tanárok viszonylagos jó fizetése is garantálta.

Nyaranta George nagyapja farmján dolgozott, alkalmankénti fizetésért krumplit szedett, vagy egy öreg járgánnyal korszokban hordta a vizet a földeken dolgozóknak. Egyszer megpróbálkozott azzal is, hogy fizetett munkát vállaljon egy farmon. Történt, hogy az egyik nyáron sztrájk miatt abba kellett hagynia a jégszállítást, így átmenetileg munka nélkül maradt. Beállt egy farmerhez napszámosnak, de hamarosan kiderült, hogy annyira kimeríti a monoton munka, a szénaboglyák vasvillával való emelgetése, hogy vacsoránál már alig tudta nyitva tartani a szemét. A farmer felesége végül kijelentette, hogy George ehhez a munkához nem elég erős.

4. A főiskolai évek

George Irwin 1926. szeptemberétől 1931. júniusáig a Galesburg-i Knox Főiskolára járt, ahol 1930-ban szerzett angol nyelvből bölcsészettudományi baccalaureatusi fokozatot.

A főiskolán a szokásos tárgyakat vette fel, emellett elemi kémiára is beiratkozott, és nagyjából ugyanúgy, ahogy középiskolában is tette, főleg kísérleti kémikusként és a könyvekre támaszkodva végezte el a tanulmányait. Fizikából viszont nagyszerű oktatója volt.

Sok különféle tárgyat hallgatott egyszerűen azért, mert azok felkeltették az érdeklődését. Például középangolt, mert érdekesnek találta – hiszen az angol nyelv korai történetének helyesírása ebben a korban már meglehetősen furcsának tűnt. A tanár rokonszenves volt, nagy tudású, és arra törekedett, hogy tanítványai megértsék az angol nyelv korai, még a történetmesélők korában kialakult formáit. Ezek a versben írt történetek, mint például Chaucer „*Canterbury meséi*” egykor terített asztalok és zenekíséret mellett, csupán a szórakoztatás céljával születtek. A tanár jól ismert rengeteg történetet, és, hogy hallgatói elmélyüljenek a költői forma megértésében, megtanultatta velük a „*Canterbury mesék*” első 18 sorát, lényegében az előszót. E történetek egészen Homérosz korára vezethetők vissza. Mindez azonban nem csábította George-ot arra, hogy óangol előadásokra is beiratkozzon.

Ami szakmai érdeklődését-fejlődését illeti, pályaválasztását gyermekkori élménye motiválta, amikor az *Illinois State Journal*-nál, Közép-Illinois legnagyobb napilapjánál dolgozott. Ezért aztán újságírónak készült, leginkább a bűnügyi- és sporthírek érdekelték. Kialakított egy saját „kézzel-lábbal” gépelési módszert, és soha nem is tanult meg szabályosan gépelni. A szerkesztőségi hangulat kalandosnak és vonzónak tűnt számára.

5. Az európai kerékpártúra – Az érdeklődés megváltozása

George munkahelyéhez egészen közel lakott egy Baird Helfrich nevű fiatalember, egy ügyvéd fia. A vállalkozó természetű fiú világot akart látni. Mivel George-nak nem lett volna pénze egy európai útra, megegyezett szállásadónőjével, hogy autóvezetési órák fejében pénzt kap tőle. Az egyezés része volt az is, hogy az ő kocsijával mehetnek Baltimore-ig, ahol megpróbálnak olyan hajót találni, amelyen munkáért cserébe utazhatnak. Kaptak is munkát egy hajón, de a kapitány is tudta, hogy amint Angliát eléri, a két fiatalember valószínűleg el fogja hagyni a hajót.

George és Baird 1929. augusztusában indult el Európába. Minthogy saját évfolyamukkal együtt szerettek volna végezni, tavasszal új tárgyakat vettek fel, hogy visszatérve társaikkal együtt folytathassák a tanulást. Egy teherhajón dolgozva hajóztak át az Atlanti-óceánon, és Glasgowból indultak európai körútjukra. Innen Svédországba mentek, ahol elváltak egymástól, mert Baird Oroszországot akarta fölfedezni, George viszont Németországba ment tovább. Münchenben megnézte a *Deutsches Technisches Museum*-ot, és ez egy csapásra megváltoztatta a jövőbeni munkájával kapcsolatos elképzeléseit. Annyira lenyűgözték a bemutatott mérethű modellek és műtárgyak, hogy eldöntötte, természettudományokat és gépészetet fog tanulni. Újra találkozott Baird-del Dél-Németországban, folytatták útjukat Ausztriába a Brenner-hágón keresztül, majd eladták kerékpárjaikat és továbbutaztak Olaszországba. Elmentek Firenzébe, Nápolyba, Rómába, majd Párizsba. Egész sor templomot látogattak végig, de (ahogy George bevallotta anyjának egy karácsony környékén írt levélben) „sok kávéházat is – valószínűleg több kávéházat, mint templomot!” Párizst úgy írja le, mint „nagy és romlott várost”, de mivel már mindketten megedződtek az úti kalandokban, biztosítja anyját arról, hogy nem kell aggódnia miattuk. Útjuk befejeztével Nagy-Britanniából visszahajóztak az Egyesült Államokba, ismét úgy, hogy a hajón hajógépészként dolgoztak. George az út során egyszer kénytelen volt bemászni egy üzemanyagtartályba, hogy egy lyukat megtaláljon – első találkozása a törésmechanikával!

Megérkezésük után George-nak komoly fejtörést okozott, mihez is kezdjen. A hajón ajánlatot kapott, hogy hajógépészként folytathatja a munkát, és így bejárhatja a világot. Az angol nyelv további tanulmányozása nem tűnt túlságosan vonzónak, tekintve, hogy tanára, Sherwin professzor

(aki maga is csak magiszteri fokozattal bírt), úgy kommentálta a doktori tanulmányokat, mint aminek ürügyén az ember mindenféle unalmas dologgal kénytelen foglalkozni (például a nőnemű végződések számolja Shakespeare műveiben).

Miután érdeklődése az újságírástól és írástól a tudomány felé fordult, George úgy érezte, angol bölcsész fokozatával nem sokra megy, ha a továbbiakban természettudományokat és gépészetet akar tanulni. Matematikából és fizikából jó eredményei voltak, úgy döntött tehát, hogy még egy évet elvégez a Knox Főiskolán, integrál- és differenciálszámítást fog tanulni, amelyekkel a nyári szünetben már egy tankönyvből ismerkedett.

Az első haladó fizikai tantárgy az elméleti mechanika volt. George az integrálszámítás nélkül egyetlen problémát sem tudott volna megoldani, ezért a fizikai tanulmányai érdekében a matematikában mindig előbb haladt. Ha igazán nehéz problémával találta szemben magát, bátyjától, William Ross-tól kért tanácsot, aki az Illinoisi Egyetem mérnöki karán tanult. Ez nehéz kurzus volt, magas követelményekkel, nehéz gyakorlati problémákkal és vizsgákkal. Jóval később, amikor George egyetemi továbbképzőn oktatott, láthatta, hogy milyen sokan nem tudták elvégezni. Minden harmadik ember kihullott, az oktató már a kurzus kezdetén a következő szöveggel fogadta a hallgatókat: „*Mindenki mutakozzon be a bal oldalán ülőnek és a jobb oldalán ülőnek, és jól vesse az eszébe, hogy a legalább az egyikük a harmadik évfolyamra már nem fog beiratkozni,*” és valóban minden harmadik hallgató meg is bukott.

A Knox Főiskola Fizika Tanszékének vezetője, az örmény származású Gal Jakian segítségével George megállapodást kötött az intézménnyel, hogy részmunkaidőben oktat, így anyagi támogatást kap, amíg a szükséges kurzusokat másoddiplomásként elvégzi. Felvette a franciát és németet is, amelyeket korábban nem tanult, de egyetemi követelmény volt ezekből is levizsgázni. A plusz egy év alatt szerzett „elégéses” francia és német nyelvtudás, valamint matematikai és fizikai tanulmányok birtokában 1931-ben fizikából is diplomát szerzett.

6. AZ ILLINOISI egyetemen

George egyetemi évei alatt Georgia Shearer-nek udvarolt, akivel már korábban megismerkedett (1. kép), majd eljegyezték egymást. George apósa, az elmwood-i Joseph Earl Shearer (1871-1945) bankár volt, aki később (már miután George és Georgia összeházasodtak) az illinoisi Moline Bank elnöke lett. Később George is birtokolt néhány ezer Moline Bank részvényt, amit utóbb gyermekeik örökölték. Anyósa a maquoni (Illinois) Sarah Isabel Boyton Shearer volt (1883-1960). Visszatekintve George gyakran emlegette viccesen: „*Nos, az ember anyagi helyzete javításának egyik módja az, ha feleségül veszi egy bankelnök lányát*”.



1. kép *Georgia Boyton Shearer*

Nem sokkal később George levelet kapott az Illinoisi Egyetem fizika tanszékének vezetőjétől, amelyben óraadói állást ajánlottak neki Wheeler Loomis professzor, tanácsadó segédjeként. George élt az ajánlattal, és nemsokára már az Illinoisi Egyetemen volt. Mivel a nagyobb távolság miatt nehezebben tudta fiatal jegyesét látogatni, meggyőzte arról, hogy igazán nincs sok pénzre szükségük ahhoz, hogy egy kényelmes, anyagilag is fenntartható házat (2. kép) vehessenek maguknak. Georgia és George 1933. június 10-én kötöttek házasságot Knoxville-ben, Illinoisban. Két év alatt George elegendő kreditpontot gyűjtött össze a fizika magiszteri fokozat megszerzéséhez.



2. kép

George R. Irwin és felesége háza az Illinoisi Egyetemen töltött évek alatt

Számítva az Irwin-család gyarapodására, nagyobb jövedelemről kellett gondoskodniuk. A Knox Főiskola elnöke, Albert Britt tanársegédi állást ajánlott George-nak 1935. szeptembere és 1936. júniusa között, Harold Way tanársegéd egyéves alkotás szabadsága időtartamára, amit ő el is fogadott. Gyakorlatilag egyszemélyes fizika tanszékét működtetett, elemi fizikát, hőtant, fénytant, felsőbb mechanikát és méréstant tanított. Értékesnek tartotta az oktatóként szerzett tapasztalatait, leginkább az elemi fizikát szerette tanítani. Emellett rendbe kellett hoznia a főiskola évek óta elhanyagolt, sürgős felújításra szoruló obszervatóriumát, ahol egy 3 hüvelyk átmérőjű lencsés távcső állt, a szokásos forgatóállványzattal és óramű-típusú, a csillagok állását követő, a Föld forgását kompenzáló automatikus beállítási rendszerrel. George az óramű vezérlésének beállításával újra működőképpé tette a távcsövet. A szerkezet még apósa érdeklődését is felkeltette, olyannyira, hogy két alkalommal is eljött az obszervatóriumba és hosszú időt töltött az ég kémlelésével.

Ebben az évben született meg George első gyermeke, Joseph Rankin.

Az Illinoisi Egyetem Fizikai Tanszéke, meg akarván tartani George-ot, vezető laborasszisztensi állást ajánlott fel neki Almy professzor mellett a Fénytani Laboratóriumban. George elfogadta az új ajánlatot, és visszatért az Illinoisi Egyetemre, részben azért, mert itt a nem túl megterhelő tanítási feladat (az elemi fizika szóbeli és írásbeli vizsgakérdéseit állította össze) lehetővé tette, hogy a PhD-jét befejezze.

Fizikából a magiszteri fokozatot 1933-ban szerezte meg az Illinoisi Egyetemen, majd ugyanitt a PhD fokozatot 1937-ben. Értekezésének témája: „A fehér fény lítiumgőzön való átvezetésével kapott sávok különböző sávjai, a Li^6Li^7 és Li^7Li^7 molekulákból adódóan.” (3. kép)



3. kép

G. R. Irwin PhD értekezésének címlapja (1937) az Illinoisi Egyetemen

George kedvenc olvasmánya mindig a szakirodalom volt, bár „időtöltésként” néha vaskos regényeket is olvasott. Nagyra tartotta Sir James Jeans-nek a légkörről írt könyvét és Sir Arthur Eddington, angol királyi csillagász „*A csillagok és járásuk*” c. könyvét. Eddington jó író volt, és lenyűgöző ötleteket fejtett ki a különböző csillagok természetéről, statisztikai tanulmányt közölt a galaxisokról, és a vöröseltolódásról értekezett, utalva rá, hogy a táguló univerzumban a csillagok a Földtől nagy távolságban mozognak.

7. A Haditengerészeti Kutatólaboratóriumban

1937. júliusában Ross Gunn Washingtonba, az USA Haditengerészeti Kutatólaboratóriumába (NRL), a Mechanikai Divízió Ballisztikai Részlege vezetőjének hívta meg Irwint (4. kép). Ebben a pozícióban 1937-től 1953-ig működött, közben a Mechanikai Divízió igazgatóhelyettese (1948), majd igazgatója (1950) lett, és ebben a beosztásban maradt 1967. augusztusáig. Itteni munkásságának a II. Világháború idejére eső periódusában behatolási ballisztikával, repülőgépek harci sérüléseinek kutatásával és új páncélszerkezetek kifejlesztésével foglalkozott.

A Mechanikai Divízió igazgatójaként a divízió napi irányításának tervezési és igazgatási feladatait végezte. A divízióban 6 részleg (Adminisztráció, Ballisztika, Dinamika, Szerkezetek, Ütközés és Rezgés, Gépészet) működött, összesen 85 munkatárssal.



4. kép

Dr. G.R. Irwin az NRL Ballisztikai Részlegének Laboratóriumában

Bár ma már a törésmechanika fejlődésében betöltött szerepe elhalványítja az azt megelőző munkásságának jelentőségét, meg kell említenünk, hogy a behatolási ballisztikában, a páncélszerkezetek és golyóálló szerkezetek terén elért eredményei jelentősen javították az USA haditengerészetének és szárazföldi haderőjének pozícióját. Vezetésével az NRL csapata központi

szerepet játszott számos nemfémes, textilalapú légvédelmi és személyi használatú páncélszövet kifejlesztésében, amelyeket a koreai és a vietnami háborúban vetettek be. Ezek korszerűbb, nagyobb szilárdságú szálakból készült változatait a rendőrség ma is használja.

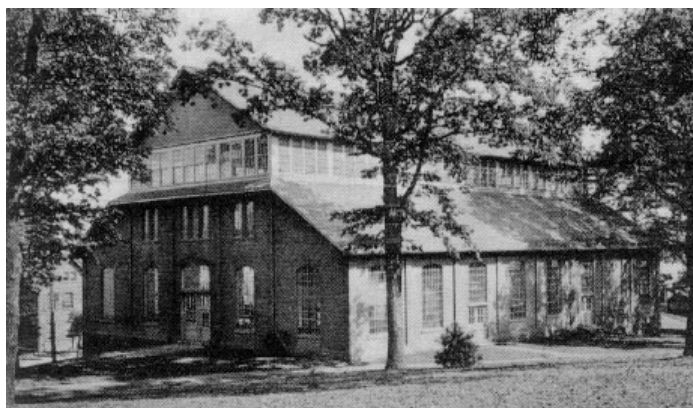
A II. Világháborút követően Irwin a törési viselkedés értelmezése, a törési próbák és a törési vizsgálati tervek felállítása terén fejtett ki elmélyült kutatómunkát. Legfőbb érdemének a törésmechanika területét tulajdonítják, ahol bevezette a tudományág gyakorlati és kutatási megközelítéséhez mai napig is alapvetőnek tartott elveket, vizsgálati eljárásokat és elemzési módszereket. A törés mechanikájáról szóló tanulmányai révén született meg a „törésmechanikának” elnevezett teljesen új tudományág. Az ő vizsgálati és elemző módszerei tették lehetővé a deHavilland Comet sugárhajtású repülőgépek nyomás alatti géptörzs-töréseinek (1953-54), a nagy gőzturbinás villamos generátorok nehéz fogóberendezései töréseinek (1955-60) és a szilárd hajtóműves rakéták ultraszilárdságú rakétakamrái töréseinek (1957-60) megértését és a megoldások megtalálását. Az Amerikai Vizsgálati és Anyagtudományi Társaság (ASTM) törésmechanikai különbizottsága által 1960-ban készített első jelentés megállapítja, hogy a törésmechanika módszereit olyan szinten ismerik és értik, hogy azok a törési vizsgálati szabványok kifejlesztésének és használatának alapvető eszközei lehetnek. A törésmechanika alkalmazása a törési keménység felmérése, az anyagfáradási repedések, korróziós repedések és a törési vizsgálati tervek terén rendelkezésre álló ismeretek felülvizsgálatát és bővítését eredményezte. Az Irwin munkásságán alapuló mérnöki módszereket a törési ellenőrzések során, különösen a repülőgépiparban széles körben használják.

A törésmechanika fejlődésének ezen időszakában azonban az elismert mérnökök legtöbbje nem hitt még a törés Irwin-féle megközelítésének gyakorlati alkalmazhatóságában.

A törési szívósságra nem állt rendelkezésre precíz meghatározás, és alkalmanként nyilvánvaló ok nélküli törések is előfordultak. Irwin, aki prédikátori műveltsége és mondanivalójának hitelessége okán a „kiáltó szó volt a pusztában”, sokakat győzött meg a törésmechanika helyességéről, nem annyira rábeszélő erejével vagy kioktató viselkedésével, hanem inkább eszmecsere és pontos válaszok révén.

8. A LEHIGH egyetemen töltött évek

1967. szeptemberében Irwin nyugdíjba vonult az NRL-től és teljes munkaidős mechanika professzori állást vállalt a bethlehemi (Pennsylvania) Lehigh Egyetemen, hogy több időt szentelhessen a kutatásnak és elméleti munkásságnak (írásnak és tanításnak). (5. kép). E pozíció



lehetőséget nyújtott a törésmechanika alapvető és alkalmazott vonatkozásainak intenzív tanulmányozására, azzal a törekvésével párhuzamosan, hogy e tárgy helyet kapjon az egyetemeken oktatott műszaki tudományok között (6. és 7. kép).

5. kép

Fritz Mérnöki Laboratórium, Lehigh Egyetem, Bethlehem, Pennsylvania



6. kép

***Batelle Konferenciaközpont (1969):
G.R.Irwin (balról), J.R. Rice (középen)
és J.P. Hirth (jobbról)***

Ebben az 1967-től 1972-ig tartó időszakban egyetemi oktató kollégáival, elsősorban Paul C. Paris professzorral közösen dolgozták ki a felsőbb éves és másoddiplomás törésmechanikai kurzusok anyagát. Irwin részt vett a bevezető kurzus (Mech 313) kifejlesztésében, az Éves Nemzeti Törésmechanikai Szimpózium megteremtésében és a *Journal of*

Engineering Fracture Mechanics c. folyóirat megalapításában. A Lehigh egyetemi évek alatt személyes kutatási és tanácsadói munkássága a elsősorban a törési problémákra irányult, ideértve a széles körben használt szerkezeti acélok, különösen pedig a gázcsővezetékek, acélhidak és nyomástartó edények törési problémáit.

Irwin briliáns munkássága, a törés elméletének az elméleti fizika egyik ágából a tervező-mérnöki tudomány gyakorlati eszközévé való fejlesztése, nemzetközi elismerést vívott ki.



FIFTH ANNUAL FRACTURE MECHANICS SUMMER SERIES

ADVANCED FRACTURE ANALYSIS
Bethlehem, Pennsylvania
5-14 June 1968



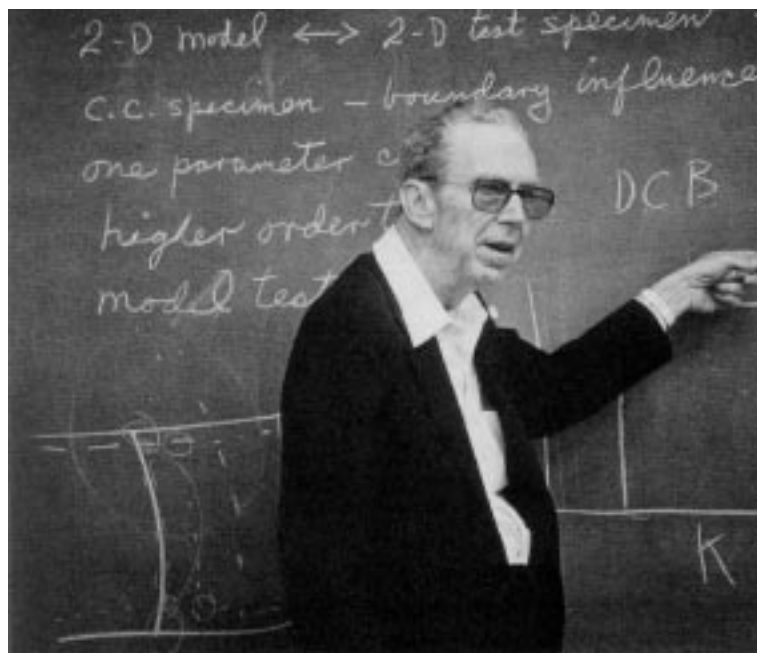
- | | | | |
|----------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 1. Bill Smith | 7. Jim Peterson | 14. Pete Ricciardella | 21. Dave Wells |
| 2. John Barrow | 8. George Sandack | 15. John Jan | 22. Ernie Roberts |
| 3. George Sib | 9. John Rags | 16. Joe Throck | 23. Sheldon Kieckhefer |
| 4. Joe Black | 10. Don Powbray | 17. Leon Parvish | 24. John Kieckhefer |
| 5. Don Soren | 11. T. T. Wang | 18. Charlie Seethorn | 25. Mike Hasty |
| 6. Leon Ross | 12. George Irwin | 19. Joe Gellinger | 26. Paul Paris |
| | 13. Howard Legendorf | 20. Mike Wink | |

7. kép.

***A töréselemzésről rendezett V.
Nyári Törésmechanikai
Találkozó résztvevői,
Bethlehem, Pennsylvania,
1968. június***

9. A MARYLANDI egyetemen töltött évek

Miután Irwin a Lehigh Egyetemről is nyugdíjba vonult, logikus megoldásként a Marylandi Egyetemet választotta tudományos kutatómunkája folytatásához (8. és 9. képek), amely egyaránt közel esett első munkahelyéhez, az NRL-hez, és College Park-i lakásához. A Lehigh Egyetemen folyó kutatások révén - amelyekben tanácsadóként működött közre, - az 1972. szeptemberi Maryland-be költözés nem jelentett szakítást a Lehigh Egyetemen folyó törési kutatásokkal. Szerződéses kutatóprofesszorként és tanácsadóként Irwin hosszú évekig dolgozott még a Lehigh Egyetemen.



8. kép

G.R.Irwin törésmechanikát oktat a Marylandi Egyetemen (1978)

Irwin Marylandi Egyetemen végzett munkásságát ugyanaz a sokrétűség jellemezte, amely természetének sajátja volt. Különösen aktívan vett részt a repedés feltartóztatásának szívóssági jellem-zőire vonatkozó szövetségi szabvány kidolgozásában, emellett fő tanácsadója volt annak a kutatótestületnek, amely a repedés megállításának a nukleáris energiaiparban használható módszertanával foglalkozott, és amelyben képviseltette magát az Oak Ridge-i Szövetségi Laboratórium, valamint a colombusi (Ohio) Batelle Központ.



9. kép

G.R.Irwin (Marylandi Egyetem, Hírességek Csarnoka, 1993)

Harmadszori nyugdíjba vonulása után Irwin továbbra is fenntart egy apartmant Bethlehemben (Pennsylvania), azért, hogy alkalomadtán a Lehigh Egyetemre látogathasson. Emellett a Marylandi Egyetemen is van irodája, ahol majd mindennap megjelenik, legalább azért, hogy leveleire válaszoljon és kapcsolatban maradjon a nemzetközi

kutatótevékenységgel. Nemrég fejezte be a fémek fraktográfiájáról írt, saját maga által nagyra értékelt, legfrissebb publikációját. Mint látogatóinak említette, most visszatért pályájának abba az időszakába, amelyben érdeklődni kezdett az acélok hasadó-képlékeny átmeneti viselkedése iránt.

Irwin és elbűvölő felesége, Georgia Shearer Irwin 1997. június 10-én boldog házasságuk 64. évfordulóját ünneplik. Négy gyermekkel (Joseph, 1935; Sue és Sarah, 1939; és John, 1945), számos unokával és dédunokával büszkélkedhetnek. Mindketten örömmel költenek el a kiterjedt család körében egy pohár Taylor Dry sherry-t. Fiatalabb korában George nagyszerű teniszező volt és még mindig szereti a jó tengeri ételeket. Felesége a történelmi regényeket és a keresztrejtvényeket kedveli. Ezen írás szerzője sokszor látogatta meg őket kellemes otthonukban, és hosszú estéket töltöttek együtt azzal, hogy - Georgia-nak a rejtvényfejtésben segítve - ismeretlen folyókat és hegységeket keressünk a világ távoli tájain.

10. A törésmechanika születésének legfontosabb állomásai GEORGE IRWIN életében (1937-től 1997-ig)

Kiemelt szakmai tevékenységek:

- Törésmechanikai kutatás A.A. Wells (British Welding Institute, 1953-) és P.C.Paris (Boeing, Seattle, 1956-) segítségével.
- Törésmechanikai magyarázatok és megoldások
 - a) a deHavilland Comet törésekre (1956-58),
 - b) nagy gőzturbinás villamos generátorok nehéz forgóalkatrészeinek töréseire (1957-1959)

George Irwin kitartóan igyekszik elérni, hogy a törésmechanika helyet kapjon az egyetemi mérnöki képzésben. Ennek érdekében különböző törésmechanikai rövid kurzusokon ad elő.

Egyetemi kurzusok:

- Az Egyesült Államok és Európa több egyetemén tartott törésmechanikai rövid kurzusokat, gyakran P.C.Paris és A.A. Wells professzorral és másokkal.
- Lehigh Egyetem: egyetemi professzor és mechanikaprofesszor (1967-1972):
 - Bevezető és haladó törésmechanikai kurzusokat állított össze, valamint a MECH 313 középfeladók törésmechanikai kurzus általános tantervét, tananyagát és gyakorlati feladatait, amelyet 1967. szeptemberétől folyamatosan indítottak (P.C.Paris-szel közösen).
 - Összeállította az általános tantervet, tananyagot és gyakorlati feladatokat a MECH 413 továbbképző tanfolyamhoz, amely két változatban indult: a törésellenőrzési szakirány P.C. Paris-szel közösen 1968-ban, 1969-ben és 1970-ben, az analitikai szakirány pedig G.C. Sih-hel közösen 1971-ben.
 - Továbbképző tanfolyami hallgatók szakmai felügyeletét látta el.
- Maryland Egyetem: a Gépészmérnöki Kar vendégprofesszora (1972-1990):
 - Bevezető és haladó törésmechanikát tanított.
 - Továbbképző tanfolyami hallgatók szakmai felügyeletét látta el.
- Illinoisi Egyetem: 1961-ben és 1968-ban vendégprofesszor:
 - Törésmechanikai speciális kurzusokat tartott, valamint részt vett a kurzusok előkészítésében.

Törésmechanikai rövid kurzusok, általánosságban:

- 1964-től kezdődően összesen mintegy 20 törésmechanikai rövid kurzus előkészítéséhez nyújtott segítséget, illetve tartott előadásokat. Ezek között voltak külföldön tartott tanfolyamok is, például Belfastban, Észak-Írországon (1967), Stuttgartban, Németországban (1969, 1970), Ispra-ban, Olaszországban (1975).
- A törésmechanika ragasztott illesztésekben történő alkalmazásáról tartott előadásokat a ragasztással foglalkozó 1960-as, 1963-as és 1966-os Gordon Kutatási Konferenciákon.

Törési ellenőrzés:

Bevezette a „törési ellenőrzés” és „törési ellenőrzési terv” kifejezéseket, és e tárgyakban 1965-től rövid kurzusokat tartott. 1971-ben haladó rövid kurzust tartott az Amerikai Fémipari Szövetségénél (ASM) a törési ellenőrzés témakörében.

Folyóiratszerkesztés:

Az „*Engineering Fracture Mechanics*” (Pergamon Press, 1968-1996) c. műszaki folyóirat egyik alapító szerkesztője volt. A magazint 1968-tól 1970-ig közösen szerkesztette P.C. Paris-szel és H. Liebowitz-cal, majd 1970-től 1996-ig H. Liebowitz-cal.

Nemzetközi törésmechanikai szimpóziumok:

Segítette a „Szövetségi Törésmechanikai Szimpózium” megteremtését, amelyet 1967-től a mai napig megrendeznek, jelenleg az ASTM E-24 sz. Bizottsága támogatásával.

Tanácsadás:

- A Del Research Corporation (Hellertown, Pennsylvania) testületi titkára.
- Atomerőművekben folyó, az Atomenergia Bizottság (AEC) és Szövetségi Kutatási Tanács (NRC) által ellenőrzött törésellenőrzési projektekben vett részt (1966-tól).
- A Northern Natural és az El Paso Natural Gas cégek által megrendelt gázcsővezeték törésellenőrzési programokban nyújtott segítséget (1968-1969).
- Ragasztott illesztések szilárdságának és a repedésfeltartóztatási szívósságnak a törésmechanikára alapozott méréseiben nyújtott fejlesztői segítséget a Glenwood-i (Illinois) Materials Research Corporation-nál (1961-től).
- Segítette a törésmechanika alkalmazását a Boeing Repülőgépgyárnál (Seattle, Wichita, Morton, Pennsylvania) (1967-1971).
- A Lehigh Egyetemen folyó kutatási projektek révén segítette a törésmechanika acélhíd-alkatrészeknél történő alkalmazását (1969-től).
- Tanácsadást nyújtott még az Allis-Chalmersnek (nagy vízturbinák), a Szövetségi Szabványügyi Hivatalnak (a törési szívóssági vizsgálatok jelentőségéről írt könyvek), és a Southern Research Institute-nak (grafit törése).
- A jelenleg E-24 Törésmechanikai Bizottság elnevezést viselő ASTM Különbizottság alapító tagja volt (1959).

- Az ASTM E-24 végrehajtó bizottságának tagja.
- Segítséget nyújtott vizsgálati módszerek kifejlesztésében, valamint érdeklődésre számot tartó szakmai témákban létrehozott albizottságok megszervezésében.
- A glendale-i (Illinois) Materials Research Laboratory, Inc. tanácsadója.
- Az Oak Ridge-i (Tennessee) National Laboratory tanácsadója.

„A” MELLÉKLET: Szakmai tevékenység

- 1936-1937 A Li^7/Li^6 tömegarány előrejelzési pontossága a Li^7Li^7 sávok Li^6/Li^7 sávokhoz viszonyított váltásából (PhD értekezés).
- 1939 Lemezvizsgálati típusú ballisztikus inga (robbanásvédelem).
- 1940-1944 Lövedékbehatolási erőgörbék.
- 1943 Textilalapú többrétegű személyi páncél.
- 1945 márciustól júniusig az USA Tengerészgyalogságánál dolgozott technikusként a Csendes-óceán nyugati részén.
- 1947-1954 A Griffith-féle fémtörési elmélet módosítása.
- 1948 A lövedék nyomatékvesztésének ingatípusú mérése.
- 1952-1954 Irwin-Kies publikációk 1952-54; a Comet-repedések esettanulmányai 1956; forgórész-repedések esettanulmányai 1958.
- 1957 A K^2 értékei a feszültségoptika alapján.
- 1955-1957 A G és a K^2 viszonya; tiszta folyadékok törése; Fizikai Enciklopédia szócikk.
- 1957-1959 r_y képlékenységi kiegyenlítődési tényező. Síkbeli feszültségi állapot és síkbeli alakváltozási törési átmenet.
- 1958-1962 Polaris törési csapat.
- 1959-1960 Robbanás előtti résképződés kritériuma.
- 1959-1960 Szeptember - január: az ASTM elismeri a törésmechanikát.
- 1960 Június: a repedést okozó feszítettség elvének első koncepciója. Az atomreaktor-biztonsági tanulmány első próbája.
- 1961 A sík-elliptikus repedés és a részben áthatoló felszíni repedés K -értékei.
- 1961-1963 Sebességre érzékeny acélok: minimális vagy repedésfeltartóztató szívósság, K_{Ia} a DW-NDTT vizsgálatból.
- 1960- Ragasztott illesztések törésmechanikája.
- 1961 Hő- vagy zsugorítófeszültségnek kitett szabad felszínű határfelület repedése.
- 1963 Irwin-Wells áttekintő tanulmány: A törésmechanika története.
- 1964 McClintock-Irwin: „a törésmechanika képlékenységi vonatkozásai”.
- 1965 A COD és az r_y -nal korrigált G szoros összefüggése, 1965 (Tada-féle pontos számítás: 1970-1972).
- 1965 Üveg H_2O -val segített lassú repedése, sebesség és K összefüggése, egyenes szakasz és küszöb (Freiburgban, Németországban végzett munka).
- 1966 Atomreaktor-tartályok törési biztonsága (áttekintő tanulmány).
- 1967-1968 Dinamikai problémák: köralakban végződő egyenletes eloszlású terjedő repedések; félig végtelen terjedő repedés és a hasítóerők.
- 1968 Csővezetékek törésének tanulmányozása H.T. Corten-nel.
- 1968-1970 Dinamikus K_{Ia} -mérések és a King's Bridge törésének tanulmányozása.
- 1969-1971 Hosszú, részben áthatoló repedések képlékeny hálókötélékkel, θ és δ jellemzése (Krishna-val közösen).
- 1969-1972 Megoldás alternatív feszültségeltávolítással, Tada-val közösen.
- 1970 Első törésellenőrzési terv konferencia – Amerikai Fémipari Szövetség (ASM).

1972-1974	Hengerek hosszú, majdnem teljes (tengelyirányú) repedései, sávós képlékeny zónákkal és képlékeny hálókötélékekkel (Ratwani-val és Erdogan-nal közösen).
1973-1974	Kísérleti K kalibrációk: alumíniumtartályok, pontos repedésképződési mérések diffraktometria alkalmazásával.
1975-1976	Az ASTM E-24 szaknyelvi albizottságának megalakítása. A repedés-feltartóztatási szívóssággal kapcsolatos „konfliktus” megoldása.
1977-1985	A repedések szétágazódásával és a magasabb rendű paramétertermódzerekkel kapcsolatos tanulmányok.
1977-1996	Autópálya-felüljárók töréseinek megelőzésével és egyéb specifikus problémákkal kapcsolatos tanulmányok.

„B” MELLÉKLET: GEORGE RANKIN IRWIN válogatott kitiüntetései

Díj	Adományozó szervezet	Év
Megkülönböztetett Közzolgálati Érdemérem	Haditengerészeti Minisztérium	1947
Alumni Teljesítményi Díj	Knox Főiskola	1948
C.B.Dudley Díj	ASTM	1960
Alkalmazott Tudományos Díj (Sigma Xi Díj)	Amerikai Tudományos Kutatói Társaság (NRL Részleg)	1960
Ford Alapítványi Előadói Díj	Illinoisi Egyetem	1961
R.H. Thurston Előadói Díj	ASME	1966
Érdemérem	ASTM	1967
D. Conrad Kapitány Díj	Haditengerészeti Minisztérium	1969
Alumni Díj Megkülönböztetett Mérnöki Szolgálatért	Illinoisi Egyetem	1969
Murray Előadói Díj	SESA	1973
Sauveur Díj	ASM	1974
Akadémiai Vezetői Díj	Lehigh Egyetem	1974
Grande Medaille	Francia Kohászati Társaság	1976
Ajánlólevél	Atomkutatási Iroda	1976
Nadai Díj	ASME	1977
Lazan Díj	SESA	1977
Mérnöki Doktor (Díszdoktor)	Lehigh Egyetem	1977
Irwin Érem	ASTM E-24	1978
Clamer Díj	Franklin Intézet	1979
Díszelőadás	ICF-5 Cannes	1981
Kormányzói meghívás	Maryland	1982
Tetmajer Díj	Bécsi Technológiai Egyetem	1985
Munkatársi Díj	SEM, USA	1985
Timoshenko Érem	ASME, USA	1987
Aranyérem	ASM, USA	1987
Mérnöki Újító Díj	Marylandi Egyetem	1993
ISTLI Díj	ISTLI, Ausztria	1993

„C” MELLÉKLET: Szervezeti tagságok

Amerikai Fizikai Társaság	USA	1937-
Sigma Xi	USA	1937-
Washingtoni Filozófiai Társaság	USA	1945-
A Washingtoni Tudományos Akadémia Tagja	USA	1946-
Az Amerikai Vizsgálati és Anyagtudományi Társaság (ASTM) tiszteletbeli tagja	USA	1959-
Az ASTM E-24 Bizottságának (kezdetben „ASTM Különbizottsága) alapító tagja	USA	1965-
Egyetemi Professzorok Amerikai Egyesülete	USA	1969-
Szövetségi Mérnöki Akadémia	USA	1977-
A Londoni Királyi Társaság Külföldi Tagja	Egyesült Királyság	1987-
Az Amerikai Kerámiai Társaság tiszteletbeli tagja	USA	1988-
A Német Anyagvizsgáló Társaság (DVM) tiszteletbeli tagja	Németország	1988-
ISTLI Dísztagja	Ausztria	1993-

„D” MELLÉKLET: Válogatott szakmai publikációk

1935

Irwin, G.R. & Almy, G.M. 1935. Mass ratio of the lithium isotopes. *Physical Review*. 48:104 (Doctoral Thesis).

1936

Almy, G.M. & Irwin, G.R. 1936. Mass ratio of the lithium isotopes from the spectrum of Li^6Li^7 . *Physical Review*. 49:72 (Doctoral Thesis).

1938

Irwin, G.R. 1938. Fourth partial report on light armor – investigation of laminated, spaced and compound plates. *NRL Report* No. 0-1440, 14 April. PB 120424.

Irwin, G.R. 1938. Second partial report on light armor investigation. *NRL Report* No. M-1429, 3 March.

Irwin, G.R. 1938. Third partial report on light armor investigation – outlining the effect of the jacket of the caliber .30 AP bullet upon penetration of steel. *NRL Report* No. 0-1438, 6 April.

1939

Irwin, G.R. & Webster, R.A. 1939. Fifth partial report on light armor – the effect of yaw upon penetration; the effect upon bullets of penetrating very thin Duralumin sheets; and the use of shielding structures in the form of gratings. *NRL Report* No. 0-1540, 19 June, PB 122806.

Irwin, G.R. & Webster, R.A. 1939. Impact testing with the darts from caliber .50 AP bullets. *NRL Report* No. 0-1534 (C), 23 May.

1940

Irwin, G.R. & Kinzer, G.D. 1940. Sixth partial report on light armor – the dynamics of armor penetration by small projectiles. *NRL Report* No. 0-1591, 6 February.

Irwin, G.R. & Webster, R.A. 1940. Seventh partial report of light armor – light armor at high obliquities, oblique shields, and the use of Duralumin for armor protection. *NRL Report* No. 0-1600, 21 March.

1941

Irwin, G.R. 1941. Ninth Partial Report on Light Armor – Construction and use of pendulums for small plate testing, Brinell hardness correlation with ballistic penetration resistance, and the effect of physical defects on armor performance. *NRL Report* No. 0-1778, 4 September.

Irwin, G.R. & Kingsbury, C.H. 1941. Eight partial report on light armor – the performance of bullet-proof steel and aluminum alloys against small caliber AP bullets and the effect upon plate performance of bullet fracture and obliquity. *NRL Report* No. 0-1745, 22 May.

1943

Irwin, G.R. 1943. Location of armor for pilot protection. *NRL Report* No. 0-1980, 8 January 1943. PB 120684.

Irwin, G.R. & Kingsbury, C.H. & Clarke, A.B.J. 1943. Eleventh partial report on light armor–yaw versus bullet protection for homogeneous steel armor plates, tipping screen data, and a discussion of 24 ST aluminum deflector plates. *NRL Report* No. 0-2068, 19 May. PB 120695.

1945

Robertson, R.E. & Irwin, G.R. 1945. First partial report on nylon cloth laminates for light armor. *NRL Report* No. 0-2568 (C) 27 June.

1946

Irwin, G.R. 1946. Penetration Resistance measurements at ballistic speeds. *NRL-Report*, July 12.

Irwin, G.R. 1946. Proposals for studies of ductility and Fracture Resistance of ship plates during 1946-47. *Interim Report* Ltr Report S11-1, 19 June.

Irwin, G.R., Clark, A.B.J. & Iskovitz, F. 1946. A ballistic pendulum air drag measurement technique. *NRL Report* No 0-2851, 1 October, PB 120772.

Irwin, G.R., Streeter, J. & Hodges, A.J. 1946. Preliminary Report on dynamic penetration by cones. *NRL Report* No 0-2863, 15 June, PB 47909.

1948

Irwin, G.R. 1948. Fracture Dynamics. In *Fracturing of Metals*, 147-166. 1947 ASM Symposium (Trans. ASM 40A), Cleveland.

1949

Irwin, G.R. 1949. Penetration Resistance measurements at ballistic speeds. Presented at 6th Int. Congress of Applied Mechanics, September 1946 (Reference was from Masket's article in J. *Appl. Phys.* 20:132-140, 1949).

Robertson, R.E., Irwin, G.R. & George, T.W. 1949. Fragment penetration resistance laws in the theory of aircraft vulnerability (U). *NRL Report* No 3507(C), July.

1950

Kies, J.A., Sullivan, A.M. & Irwin, G.R. 1950. Interpretation of Fracture markings J. *Appl. Phys.* 21:716-720.

1951

Smith, H.L., Kies, J.A. & Irwin, G.R. 1951. Rupture of plastic sheets as a function of size and shape. American Physical Society Schenectady Meeting June 1951. *Physical Review*. 83(4):872.

1952

- Irwin, G.R. 1952. High speed strain measurements. In *Modern Research Techniques in Physical Metallurgy*, Americ. Soc. For Metals. NRL Reprint No 31-53:205-224.
- Irwin, G.R. 1952. Penetration Mechanics In *Proc. Aircraft Guided Missiles Vulnerability Conference*. Vol. IV. Wright-Patterson AFB, Dayton, Ohio, Sept.
- Irwin, G.R. & Kies, J.A. 1952. Fracturing and Fracture dynamics. *Welding Journal, Res. Sup.* 31:95-100.
- Smith, H.L., Kies, J.A. & Irwin, G.R. 1952. Instability criterion for the Fracture of solids. American Physical Society, New York Meeting, Feb. 2., 1952 (Paper W7), *The Physical Review* 86(4):623.

1953

- Irwin, G.R. 1953. Angle and strain relations in flat plate Lueders'-bands. *J. Appl. Mech.* 20:449.
- Irwin, G.R. 1953. Fracture dynamics and Fracture strength of large welded Structures. *Presented at MIT*, 15-16 October 1953.
- Irwin, G.R. 1953. Growth and instability of Fracture origins. *Presented at Rheology Meeting*, New York City, 29-30 October 1953.

1954

- Irwin, G.R. 1954. Fracturing by creep. *Presented at the Penn State University*, 28 June 1954.
- Irwin, G.R. 1954. The effect of size upon Fracturing. *ASTM STP* 158:176-194.
- Irwin, G.R. & Kies, J.A. 1954. Critical energy rate analysis of Fracture. *Welding Journal, Res. Sup.* 33:193-198.

1955

- Irwin, G.R. 1955. Crack propagation in high strength steels. In *Proc. 1955 Sagamore Conference on Strength Limitations of High Strength Metals*. Syracuse University Research Inst., March.
- Irwin, G.R. 1955. Needs for advanced degree graduates in the field of Mechanics for large government research laboratories. *American Society for Engineering Education Bulletin*. 5(2):3-9.
- Irwin, G.R. 1955. Review of missile penetration mechanics. In *Proc. Rand Symp. On High-Speed Impact* (S), May 1955.
- Irwin, G.R. & Bossman, M.W. 1955. Studies of Fracture Strength. *NRL Report*, NRL Problem No:F01-03, Project No: NR 434-030, December 1955.

1956

- Irwin, G.R. 1956. Onset of fast crack propagation in high strength steel and aluminum alloys. 2nd Sagamore Ordnance Materials Conference, August 1955, Syracuse University 1956, and *NRL Report* No. 4763(U), May PB 121224.
- Irwin, G.R. 1956. Proposals for studies of ductility and Fracture Resistance of ship plates during 1946-47. *Interim NRL Report*, June.
- Irwin, G.R. 1956. Relation of stresses near a crack to the crack extension force. *IXth Int. Congress of Appl. Mechanics*, Brussels, September (Proc. Published by the University of Brussels) Paper No 101(11):245-251.
- Ferguson, W.J., George, T.W. & Irwin, G.R. 1956. Armor fabrics and some factors affecting their Resistance to fragment penetration. Fiber Society, New York, NY, September 1956.
- George, T.W., Irwin, G.R. & Kies, J.A. 1956. The relation of crack extension force to onset of fast fracturing. Inst. Of Aeronautical Science Meeting, 23-26 January.

1957

Irwin, G.R. 1957 Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate. *J. Appl. Mech.* 24(3): 361-364.

Irwin, G.R. 1957 Estimates of stress intensity and rivet force for a crack arrested by a riveted stiffener. Discussion based on 'Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate'. *J. Appl. Mech.* 24:361-364.

Irwin, G.R. 1957. Fracture strength. *Report of NRL Progress*, 10-19, November 1957.

Irwin, G.R. & Kies, J.A. 1957. Fracture. In *Proc. First Navy Science Symposium 'A Decade of Basic and Applied Science in the Navy'*, 19-20 March:563-571.

Krafft, J.M., Sullivan, A.M. & Irwin, G.R. 1957. Relationship between the Fracture ductility transition and strain hardening characteristics of low carbon steel. *J. Appl. Phys.* 28(3):379-380.

Romualdi, J.Pl, Frasier, J.T. & Irwin, G.R. 1957. Crack-extension force near a riveted stiffener. *NRL Report No 4956*, 11 October 1957, PB 131036.

Smith, H.L., Kies, J.A. & Irwin, G.R. 1957. Relation of crack extension force to fracturing of materials. *Bull. Amer. Phys. Soc. Series II*, 2, No2, Paper A7, 1 March.

1958

Irwin, G.R. 1958 Discussion to a paper by A. Wells and D. Post. *Proc. SESA*. 16:69-92; *Proc. SESA*. 16:93-96.

Irwin, G.R. 1958 Fracture. *Encyclopedia of Physics*. IV:551-590. Springer-Verlag.

Irwin, G.R. 1958 Fracture Mechanics. In *Structural Mechanics. First Symp. On Naval Structural Mechanics*, August 1958. 557-594. Stanford University (Pergamon Press 1960).

Irwin, G.R. 1958. The crack extension force for a crack at a free surface boundary. *NRL Report No 5120*, April 1958, PB 132875.

Irwin, G.R., Kies, J.A. & Smith, H.L. 1958. Fracture strengths relative to onset and arrest of crack propagation. *Proc. ASTM*, 58:640-660, *NRL Report 5222*, November 1958, PB 15131.

1959

Irwin, G.R. 1959. Advanced fracture strength measurement techniques. *Contribution to 1959 Lecture Series of Washington D.C.ASM*.

Irwin, G.R. 1959. Dimensional and geometric aspects of fracture. *Conference on Fracture of Engineering Materials*. Eastern New York Chapt. ASM; Rensselaer Polytechnic Inst., Troy, NY, August 1959 (published by ASM 1964).

Irwin, G.R. 1959. Discussion of Paper No 59-MET-59 'Unified interpretation of room temperatures strength of notched specimens as influenced by their size'. B.M. Wund, *ASME Metals Engineering Conference*, Albany, N.Y.

Irwin, G.R. 1959. Fracture Mechanics theory and its application to analysis of fractures of rocket chambers. *Materials Advisory Board*, February.

Irwin, G.R. 1959. Notes for ASTM Committee Meeting in Cleveland, July 1959.

Smith, H.L., Kies, J.A. & Irwin, G.R. 1959. Fracture toughness of materials for aircraft and missiles. *Third Annual ONR Symposium on Materials Research on the Navy*, Philadelphia, March 1959.

1960

Irwin, G.R. 1960. Effects of size and shape on fracture of solids. *ASTM 63rd Annual Meeting*, Atlantic City, N.J., 26 June-1 July 1960. (Size and shape effects on fracture of solids. *ASTM SPT* 283:118-128).

Irwin, G.R. 1960. Fracture and imperfections. *Explosions Research Department Colloquium*, NOL, April 1960.

Irwin, G.R. 1960. Fracture mode transition for a crack traversing a plate. *J. Basic Engineering Trans. ASME. Series D*, 82(2):417-425.

Irwin, G.R. 1960. Fracture of high strength pressure vessels. University of California *Lecture Series on Materials and Missiles for Spacecraft*, San Diego, CA, Dec 1.

Irwin, G.R. 1960. Fracture testing of high strength sheet materials under conditions appropriate for stress analysis. *NRL Report* No 5486, 27 July 1960, PB 161474.

Irwin, G.R. 1960. Mechanism of failure. *Gordon Research Conference on Adhesion*, New Hampton, New Hampshire, Aug 29-Sept 2.

Irwin, G.R. 1960. Plastic zone near a crack and fracture toughness. *7th Sagamore Ordnance Materials Research Conference on Mechanics & Metals Behavior of Sheet Material*:463-478, Racquette Lake, NY, August 1960 (Proc. Published by Syracuse University).

Irwin, G.R. 1960. Section II – Fracture testing of sharply notched sheets in tension under conditions appropriate for stress analysis. ASTM Spec Comm. Report. *ASTM Bulletin*, No 244: January 29-40, February 18-28.

Irwin, G.R. & Kies, J.A. 1960. Fracture theory as applied to high strength steels for pressure vessels. *Golden Gate Metals Conference*, San Francisco, CA, Feb 4-6, 1960 and ASM Metal Progress. 8(2), August 1960.

Irwin, G.R. & Kies, J.A. 1960. Fracture theory as applied to high strength steels for pressure vessels. Lockheed Aircraft Corp. *LMSD* N 703057.

Irwin, G.R. & Srawley, J.E. 1960. Brittle Fracture. *Proc. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers*, IME- Navy Day Forum Conference, Feb 15, NY, Office of Naval Research (ONR-8), January.

Irwin, G.R., Krafft, J.A. & Srawley, J.E. 1960. ASTM Committee report on 'Fracture Testing of High Strength Sheet Material'. *ASTM Bulletin*, January-February.

Kies, J.A. & Irwin, G.R. 1960. Fracture toughness measurements and minimum toughness requirements. *ANC-5 Panel Meeting*, Los Angeles, 15 November.

1961

Irwin, G.R. 1961. Fracturing and fracture Mechanics. *T&AM Report* No 202, Department of Theoretical and Applied Mechanics, University of Illinois, October 1961 (First of three series of lectures).

Irwin, G.R. & Krafft, J.M. 1961. Fracture Mechanics proposal #1- Crack toughness as represented by K_{Ic} . *22nd Meeting ANC-5 Panel on Strength of Metal Aircraft Elements*, Washington D.C., 31 Oct-2 Nov 1961.

Irwin, G.R. et al. 1961. The slow growth and rapid propagation of cracks. *Second Report of a Special STM Committee*, May 1961 (Materials Research & Standards, 1, No.5.).

Irwin, G.R., Wells, A.A. & Krafft, J.M. 1961. Feasibility study on application of fracture mechanics to pressure vessels used in nuclear power plants with particular reference to US Army Reactors. *Prepared for AEC Division of Reactor Development*, June 1961.

1962

Irwin, G.R. 1962. Analytical aspects of crack stress field problems. *T&AM Report* No 213, Department of Theoretical and Applied Mechanics, University of Illinois, March 1962 (Second of three series of lectures).

Irwin, G.R. 1962. Application of fracture mechanics to adhesive joints. *Polaris Filament Winding Research Conference*, Palo Alto, 9-10 January 1962.

Irwin, G.R. 1962. Comment on paper No 62-WA-137 by M.F. Koskinen 'Elastic-plastic deformation of a single grooved flat plate under longitudinal shear'. *NY Meeting of ASME*, Nov 1962.

Irwin, G.R. 1962. Crack-extension force for a part-through crack in a plate. *J. Appl. Mech. Trans. ASME*. Series E, 29(4):651-654, December 1962.

Irwin, G.R. 1962. Fracture by progressive crack extension. *Wright Field*, Dayton, Sept 17-18.

Irwin, G.R. 1962. Relation of crack toughness measurements to practical applications. *Welding Journal, Res. Sup.* 41(11):1-10, November.

Irwin, G.R. & Krafft, J.M. 1962. Use of Kahn type specimen for K_{Ic} Fracture toughness evaluation. *Note for ASTM Committee*, May.

Irwin, G.R. & Srawley, J.E. 1962. Progress in the development of crack toughness Fracture tests. *Materialprüfung*. 4(1), January.

1963

Irwin, G.R. 1963. Crack-toughness testing of strain rate sensitive materials. ASME Symposium on Materials Problems in Pressure Vessels. Philadelphia, 17-22 November 1963. *Trans. ASME*. Series A, 86(4), October 1964.

Irwin, G.R. 1963. Fracture of high strength pressure vessels. In E. Parker (ed.). *Materials for Missiles and Spacecraft*. Chapter 7:204-229. McGraw-Hill.

Irwin, G.R. 1963. Fracture by progressive crack extension. *Proc. Symp. On Structural Dynamics under high impulse load*. Wright Field 1963.

Irwin, G.R. 1963. Relatively unexplored aspects of fracture mechanics. *T&AM Report No 240*. Department of Theoretical and Applied Mechanics, University of Illinois, February 1963. (Third of three series of lectures).

Irwin, G.R. 1963. Separation Mechanics of adhesive joints and Brittle Fracture of Strain rate sensitive materials. *Gordon Research Conference on Adhesion*, New Hampshire, July 15-19.

Irwin, G.R. 1963. Structural aspects of brittle fracture. *AGARD 17th S and M Panel Meeting*, London, Sept.

Irwin, G.R. 1963. Theoretical aspects of fracture failure analysis. *Met. Eng. Quart.* 3(1):24, February.

Irwin, G.R. & Kies, J.A. 1963. Sources of strength and weakness in glass reinforced plastic structures. *7th Navy Science Symposium*, Pensacola, Florida, 14-16 May 1963 (Proc. Published by ONR).

Irwin, G.R., Kies, J.A. & Sanford, R. J. 1963. *Preliminary Report on Mylar Diaphragms*. March 18.

1964

Irwin, G.R. 1964. Crack-toughness testing of strain-rate sensitive materials. *J. Eng. for Power, Trans. ASME*. 86 A(4):444.

Irwin, G.R. 1964. Structural aspects of brittle fracture. *AGARD 17th S and M Panel Meeting*, London, September 1963. *Appl. Mat. Res.* 3(2):65-81.

1965

Irwin, G.R. 1965. Fracture Mechanics applied to adhesive systems. Contribution to *Treatise on Adhesives and Adhesion*, May 1965.

Irwin, G.R. 1965. Fundamental Aspects of Fracture Mechanics. *Lecture Notes* at Freiburg University, Physics Department, 17 May 1965 and Karlsruhe Hochschule, Mechanics Department, 21 May 1965.

Irwin, G.R. 1965. Moisture assisted slow crack extension in glass plates. *NRL Report* 1678, 28 January 1966. (A report of studies conducted at Ernst Mach Institute, Freiburg, West Germany; 6 May – 3 August 1965).

Irwin, G.R. 1965. Westergaard type stress functions for the ‘strip’ or Bareblatt-Dugdale plastic zone analysis. *Report NRL*, March 10.

Irwin, G.R. & Sullivan, A.M 1965. Discussion on damage and failure mechanisms of heavy-section steel. *Proc. Roy. Society. A*, Vol. 285:141-147.

Irwin, G.R. & Wells, A.A. 1965. A continuum-mechanics view of crack propagation. *Metallurgical Reviews*. 10(38):223-270.

Krafft, J.M: & Irwin, G.R. 1965. Crack velocity considerations. ASTM Symposium on Fracture Toughness. *ASTM-STP* 381:114-129.

McClintock, F.A. & Irwin, G.R. 1965. Plasticity aspects of fracture mechanics. ASTM Symposium on Fracture Toughness. *ASTM STP* 381:84-113.

Sih, G.C. Paris, P.C. & Irwin, G.R. 1965. On cracks in rectilinearly anisotropic bodies. *Int. J. Fract. Mech.* 1(3):189-203.

1966

Clark, A.B.J. & Irwin, G.R. 1966. Crack propagation behaviors, *Experimental Mechanics*. 6(6):321-330.

Irwin, G.R. 1966. Frontier aspects of Fracture Mechanics. 9th Navy Science Symposium, ORNL, 5-6 May 1966.

Irwin, G.R. 1966. Moisture assisted slow crack extension in glass plates. *NRL Memorandum Report* 1678, 28 January.

Irwin, G.R. 1966. Notes on crack arrest question and problem. Unpublished, for Bureau of Ships, Code 442, March.

Irwin, G.R. 1966. The leading edges of fracture mechanics. *ASME Robert Henry Thurston Lecture*, November.

Irwin, G.R. et al. 1966. Growth and significance of defects. *AEC Report on Reactor Pressure Vessel Technology*. Chapter 8.

Sih, G.C., Irwin, G.R. & Paris, P.C. 1966. On cracks with rectilinearly anisotropic bodies. *Int. J. Fract. Mech.* 1(3).

1967

Irwin, G.R. 1967. Fracture mechanics applied to adhesive systems. In R. Patrick (ed.). *Treatise on Adhesives and Adhesion*:233-267. NY:Dekker.

Irwin, G.R. & Wells, A.A. 1967. Recent topics in applied Fracture Mechanics. *1st National Symposium on Fracture Mechanics*.

Irwin, G.R., Wells, A.A., Paris, P.C. & Krafft, J.M. 1967. Basic aspects of crack growth and Fracture. Chapter 7 in *ORNL Report NSIC-21*, December 1967; and *NRL Report* 6598, Nov 21.

1968

Irwin, G.R. 1968. Linear Fracture Mechanics, Fracture transition, and Fracture control. *J. Eng. Fract.* 1(2):241-257.

Irwin, G.R. 1968. The leading edges of Fracture Mechanics. *Robert Thurston Lecture. Eng. J. Fract. Mech.* March 1968.

Irwin, G.R. & Corten, H.T. 1968. Evaluating the feasibility of basic pipeline operating pressure on in-place hydrostatic test pressure. *Report to Northern Gas Company and El Paso Natural Gas Company*. November.

Irwin, G.R., Krafft, J.M., Paris, P.C. & Wells, A.A. 1968. Basic aspects of crack growth and fracture. *ORNL-NSIC-21. Report*, Chapter 7.

Irwin, G.R., Liebowitz, H. & Paris, P.C. 1968. A mystery of fracture mechanics. *Eng. Fract. Mech.* 1:235-236.

1969

Irwin, G.R. 1969. Basic concepts for dynamic fracture testing. *J. Basic Eng. ASME.* 91:519-524.

Irwin, G.R. 1969. On the future of fracture mechanics. *ASM Materials Engineering Congress*, 11-16 Oct.

Irwin, G.R. & Paris, P.C. 1969. Fundamental aspects of crack growth and fracture. In H. Liebowitz, (ed.), *Fracture*. Vol 3. Academic Press.

Irwin, G.R., Lingaraju, B. & Tada, H. 1969. Interpretations of the crack opening dislocation. Lehigh University, *Fritz Engineering Laboratory Report* No 358.2, June 1969.

Paris, P.C., Madison, R.B., Irwin, G.R. & Luft, D.E. 1969. An application of fracture mechanics to bridge design. *Highway Research Board Meeting*, January.

Sih, G.C. & Irwin, G.R. 1969. Dynamic analysis for two-dimensional multiple crack division. *J. Eng. Fract. Mech.* 1(4):603-614.

1970

Irwin, G.R. 1970. Basic concepts for dynamic fracture testing. *J. Basic Eng. ASME.* 91.

Irwin, G.R. 1970. Crack opening stretch in relation to low-cycle fatigue crack extension. Unpublished manuscript.

Irwin, G.R. 1970. Fracture strength of relatively brittle structures and materials. *Journal of the Franklin Institute*. December.

Irwin, G.R. 1970. Trends in fracture mechanics. *ASM Conference on Fracture Control*, 1970.

1971

Irwin, G.R. 1971. *Memorandum on: Fatigue crack growth rate in relation to the crack opening stretch*. Lehigh University, January 18.

Irwin, G.R. & Paris, P.C. 1971. Fundamental aspects of crack growth and Fracture. In H.Liebowitz (ed.). *Fracture*. Vol.3:1-46. Academic Press.

Madison, R.B. & Irwin, G.R. 1971. Fracture analysis of King's Bridge Melbourne. *ASCE Journal of Structural Division*: 2229. September.

Paris, P.C., Gran, R.J., Orazio Jr., F.D., Irwin, G.R. & Hertzberg, R.W. 1971. Investigation and Analysis Development of Early Life Structural Failures. U.S. Air Force, *Technical Report* AFFDL-TR-70-149 Marc.

1972

Irwin, G.R. 1972. Characterisation of part-through cracks in tension. In J.L. Swedlow (ed.). *The Surface Crack*:1-10. ASME.

Irwin, G.R. 1972. Fracture mechanics characterisations and fracture toughness measurements. *ASCE Meeting*, Cleveland, April.

Irwin, G.R., Krishna, V.G. & Yen, B.T. 1972. Flat-plate testing of part-through cracks in line-pipe steel plates. *Lehigh Univ. Fritz Eng. Laboratory Report* No. 373.1.

Irwin, G.R., Tada, H. & Krishna, V.G. 1972. *ONR-Annual Report on Low Cycle Fatigue*, May 15.

McHenry, R.I. & Irwin, G.R. 1972. A plastic-strip specimen for fatigue crack propagation studies in low yield strength alloys. *ASTM Journal of Materials*. 7(4):454-459.

1973

Fischer, J.W. & Irwin, G.R. 1973. Fracture analysis of flaws in welded bridge structures. *U.S.-Japan Seminar 'Significance of Defects in Welded Structures'*. Tokyo, October 15-19, 1973.

Irwin, G.R. & Roberts, R. 1973. Toughness evaluations of the dynamic tear-type. *Williamsburg Meeting of ASTM-E 24.03*, March 8.

Roberts, R. & Irwin, G.R. 1973. Fatigue and fracture of bridge steels. *Preprinted for ASCE Meeting*, April 1973, San Francisco (ASTM-STP 627).

Tada, H., Paris, P.C. & Irwin, G.R. 1973. *Stress Analysis of Cracks Handbook*. Hellertown, PA: Del Research Corporation.

1974

Irwin, G.R. 1974. *Introductory Fracture Mechanics Lecture Notes*. National Bureau of Standards, March 1974.

Madison, R.B. & Irwin, G.R. 1974. Dynamic K_{IC} -testing of structural steel. *Journal of Structural Division ASCE*:1331-1349, July 1974.

Ratwani, M., Erdogan, F. & Irwin, G.R. 1974. Fracture propagation in a cylindrical shell containing an initial flaw. *Battelle Memorial Institute Report*. Lehigh University.

Roberts, R., Irwin, G.R., Krishna, G.V. & Yen, B.T. 1974. Fracture toughness of bridge steels. *Lehigh University Final Report to Federal Highway Administration, Sept 1974. Report No FHWA-RD-74-59*.

Sines, G. & Irwin, G.R. 1974. *Weakest link statistics for fracture*. January.

1975

Irwin, G.R. 1975. Brief Summary of the thermal shock fracture problem associated with LOCA. *Univ. Of Maryland Memorandum*, July 23.

Irwin, G.R. et al. 1975. A photoelastic study of the dynamic fracture behavior of Homalite 100. *U.S.Nrc Report NUREG-75-107*. University of Maryland.

1976

Abtahi, A., Albrecht, P. & Irwin, G.R. 1976. Fatigue of periodically overloaded stiffener detail. *Journal of Structural Division, ASCE*: 2103-2119.

Erdogan, F., Irwin, G.R., & Ratwani, M. 1976. Ductile fracture of cylindrical vessels containing a large flaw. *ASTM STP 601*:191-208.

Irwin, G.R. 1976. Comments on applications of fracture mechanics. In N. Promisel and V. Weiss (eds.). *Proc. 2nd Int. Conf. On Materials*, Boston, August 1976. ASM Proceedings:313-321.

Irwin, G.R. 1976. Comments on dynamic fracture testing. *Proc. Of ASM-British Welding Institute Conference on Dynamic Fracture Toughness*, 1-9, London July 1976.

Irwin, G.R. 1976. Comments on dynamic Fracturing. *ASTM STP 627*:7-18.

Irwin, G.R. 1976. Crack arrest toughness measurements. *University of Maryland Report*, 20 March.

Irwin, G.R. 1976. *Historical Aspects of Fracture Mechanics*. Lecture in Japan, June 1976.

Irwin, G.R. 1976. Viewpoints on dynamic fracturing. *ASTM Chicago*, June.

Irwin, G.R. 1976. A photoelastic characterisation of dynamic fracture. *US NRC Report NUREG-0072*.

Starret, H.S., Cull, A.D. & Irwin, G.R. 1976. Application of fracture mechanics to the thermo-structural failure of graphite. *ASTM STP 601*:86-108.

1977

Abtahi, A., Albrecht, P. & Irwin, G.R. 1977. Fatigue strength as a structural detail subjected to single and periodic cycles. In R.N. Dubey and N.C. Lind(eds). *Mechanics in Engineering*:313-334. University of Waterloo Press.

Irwin, G.R. 1977. Fracture toughness of bridge steels. *FHWA Conference*, Atlanta, October.

Irwin, G.R. 1977. Photoelastic study of crack propagation and arrest. *US NRC Report NUREG/CR-0432*, University of Maryland.

Irwin, G.R. & Paris, P.C. 1977. Elastic-plastic crack tip characterisation in relation to R-curves. In D.M.R. Taplin (ed). *Proc. Int. Conference on Fracture, ICF-4*. Vol. I:93-100. Waterloo, Canada.

Roberts, R., Krishna, G.V. & Irwin, G.R. 1977. Fracture behavior of bridge steels. *ASTM STP* 631:267-284.

1978

Irwin, G.R. et. al. 1978. Photoelastic study of crack propagation and arrest in polymers and 4340 steels. *US NRC Report NUREG/CR-0542*, University of Maryland.

Rossmanith, H.P. & Irwin, G.R. 1978. Analysis of dynamic isochromatic crack-tip stress patterns. *University of Maryland Report*. July.

1979

Friendland, I.M., Albrecht, P. & Irwin, G.R. 1979. Fatigue behavior of 2 year weathered A588 steel specimens with stiffeners and attachments. *Report No. FHWA-MD-R-79-5*, University of Maryland, October.

1980

Fisher, J.W., Pense, A.W., Hausammann, H. & Irwin, G.R. 1980. Quinipiac River bridge cracking. *J. of the Structural Division*, ASCE:773-789.

Irwin, G.R. 1980. Advancements in macroscopic fracture mechanics. *University of Maryland Report*, undated.

Irwin, G.R. 1980. Fracture Mechanics IV: Measurement of fracture toughness. *University of Maryland Report*, May 19.

Irwin, G.R. 1980. Series representation of the stress field around constant speed cracks. *University of Maryland Lecture Notes* (unpublished).

1981

Irwin, G.R. 1981. Advancements in fracture mechanics. *Honorary Lecture*. In D. Francois (ed.). *Proc, International Congress of Fracture, ICF-5*. Cannes, France.

Irwin, G.R. 1981. Benefits of warm prestressing. *University of Maryland Report*, May 12.

Irwin, G.R. 1981. Crack arrest. *Annual Water Reactor Safety Research Review Meeting*, NBS, Gaithersburg, MD, Oct. 29-30.

Sanford, R.J., Chona, R., Fourney, W.L. & Irwin, G.R. 1981. A photoelastic study of the influence of non-singular stresses in fracture test specimens. *University of Maryland Report*, March 1981.

1982

Chona, R., Irwin, G.R. & Shukla, A. 1982. Two and three-parameter representation of crack-tip stress fields. *Journal of Strain Analysis*. 17(2):79-86.

Friendland, I.M., Albrecht, P. & Irwin, G.R. 1982. Fatigue of two-year weathered A588 stiffeners and attachment. *Journal of Structural Division*. ASCE:125-144.

Irwin, G.R. 1982. Comments on J-R testing in relation to plane strain. In R. Johnson (ed.). *NUREG-0744*. Vol.2:EI-1-EI-6. October.

Irwin, G.R. 1982. Comments on NUREG-0778 and Related Correspondence. *University of Maryland Report*, 6 April.

Irwin, G.R. 1982. Crack arrest in structural steels: An overview. *University of Maryland Report*, September.

Kobayashi, T., Irwin, G.R. & Zhang, X.J. 1982. Examination of fracture surfaces in fibrous-cleavage transition behavior. *ASTM Symposium on Fractography*, April 1982. Philadelphia.

Ogawa, K., Zhang, X.J., Kobayashi, T., Armstrong, R.W. & Irwin, G.R. 1982. Microstructural aspects of the fracture toughness cleavage-fibrous transition for reactor grade steel. *15th National Symposium on Fracture Mechanics*, July 1982, ASTM-STP.

1983

Chona, R., Irwin, G.R. & Sanford, R.J. 1983. Influence of specimen size and shape on the singularity dominated zone. *ASTM STP* 791. 1:3-23.

Irwin, G.R. & de Wit, R. 1983. A summary of fracture mechanics concepts. *Journal of Testing and Evaluation*, ASTM. 11(1):56-65.

1984

Irwin, G.R. Fracture Mechanics. In *Metals Handbook*, 9th Edition. Vol.8.:439-458.

Kobayashi, T., Irwin, G.R. & Zhang, X.J. 1984. Topographic examination of fracture surfaces in fibrous-cleavage transition behavior. In *Fractography of Ceramics and Metal Failures*. ASTM STP 827:234-251.

Ogawa, K., Zhang, X.J., Kobayashi, T., Armstrong, R.W. & Irwin, G.R. 1984. Microstructural aspects of the fracture toughness cleavage-fibrous transition for reactor-grade steel. *ASTM STP* 833:393-411.

Schwartz, C.W., Chona, R., Fournery, W.L. & Irwin, G.R. 1984. SAMCR: A two-dimensional dynamic finite element code for the stress analysis of moving cracks. NUREG/CR-3891 NRC and ORNL HSST Program University of Maryland Report, November

1985

Dally, J.W., Fournery, W.L. & Irwin, G.R. 1985. On the uniqueness of the stress intensity factor – crack velocity relationship. *Int. J. Fracture*. 27:159-168.

Irwin, G.R. 1985. Concepts in Fracture Mechanics (A 10 hour Video Course featuring J.R. Rice, J.W. Hutchinson, P.C. Paris and G.R. Irwin). St. Louis: Paris Productions Inc.

Irwin, G.R., Fournery, W.L., Schwartz, C.W. & Chona, R. 1985. Analysis of dynamic fracture events. *SEM/SESA Meeting* Las Vegas, Nevada, June 9-14, 1985.

Tada, H., Paris, P.C. & Irwin, G.R. 1985. *The Stress Analysis of Cracks Handbook*. 2nd Edition. St. Louis : Del Research Corporation.

1986

Irwin, G.R. 1986. *Comments on Discovery and Invention*. *Applied Mechanics Winter Annual Meeting Dinner of SAME in Anaheim*, CA.

Zhang, X.J., Armstrong, R.W. & Irwin, G.R. 1986. Cleavage fracturing stages at micrometre-size inclusions in pressure vessel steel weld metal. *J. Materials Science Letters*. 5:961.

1987

Irwin, G.R. 1987. Brittle-ductile transition behaviors in reactor vessel steels. *Proc. Of the 14th WRSI Meeting*, NUREG/COP 0082. Vol. 2:251-272.

1988

Barker, D.B., Chona, R., Fourney, W.L. & Irwin, G.R. 1988. A Report on the Round Robin Program conducted to evaluate the proposed ASTM test standard test method for determining the plane strain crack arrest fracture toughness, K_{Ia} , of ferrite materials, In *NUREG/CR-4996*, p. 73.

1989

Gudas, J.D., Irwin, G.R., Zhang, X.J. & Armstrong, R.W. 1989. *European Symp. Elastic-Plastic Fracture Mechanics: Elements of Defect Assessment, Freiburg*.

Irwin, G.R., Zhang, X.J. & Armstrong, R.W. 1989. Isolated cleavage regions in the ductile fracturing transition of nuclear-vessel steels and their weld metals. *J. Materials Science Letters*. 8:844-848.

Zhang, X.J., Armstrong, R.W. & Irwin, G.R. 1989. Stereo (Scanning Electron Microscopy). Section Fractography of Isolated Cleavage Regions in Nuclear Vessel Studies. *Metall. Trans.* 20A:2862-2866.

1990

Irwin, G.R. 1990. Fracture mechanics in applications. *Forensic Engineering*. 2(1/2):81-84.

Zhang, X.J., Kumar, A., Armstrong, R.W. & Irwin, G.R. 1990. Fractographic study of isolated cleavage regions in nuclear vessel steels and weld metals. *ASTM STP* 1086:89-101.

1992

Irwin, G.R. 1992. Introductory fracture mechanics viewpoints. *University of Maryland Report*, August 1992.

Irwin, G.R., Dally, J.W., Zhang, X.J. & Bonnenberger, J.R. 1992. Lower-bound initiation toughness of A533B reactor-grade steel. In R. Chona and W. Corwin (eds). *Rapid Load Fracture Testing*, ASTM STP 1130:9-23. Philadelphia: ASTM.

1993

Irwin, G.R. 1993. Brittle fracturing. Keynote Address of Live Satellite Broadcast *University of Maryland Course on Microstructural Aspects of Fracture Mechanics*. Friday, 20 August.

Irwin, G.R. & Zhang, X.J. 1993. Cleavage behaviors in nuclear vessel steels. *University of Maryland Course on Microstructural Aspects of Fracture Mechanics*. Friday, 20 August.

1995

Irwin, G.R. & Zhang, X.J. 1994. Cleavage behavior in structural steels. *Int. J Solids Struct.* 32:2447-2456.

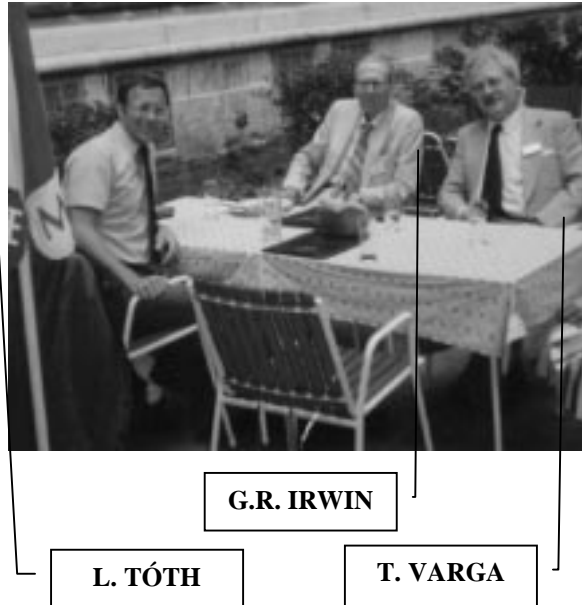
ZÁRSZÓ

A törési kutatások és alkalmazások terén működő mérnökök és tudósok nagy közössége nevében szeretnék köszönetet mondani George Rankin Irwin professzornak azért az egész életén át őrzött elkötelezettségéért, hogy a „törésmechanikát a gyakorlatban működtesse”.

Az életében elkövetkező sok-sok évre még a legjobbakat kívánjuk neki.

A SZERKESZTŐ ZÁRSZAVA

(egy fénykép alapján, amely Bécsben készült 1993.-ban az ISTLI² alapítása idején)



1998 októberének közepén „kósza hírek” jutottak el hozzám G. R. IRWIN haláláról. Ezek valóságáról faggattam Prof. Peter Rosmanith barátomat, aki köztudottan hosszú ideje igen jó személyes viszonyban volt G. R. IRWIN-nel. Érdeklődésemre a következő választ kaptam:

„ Igen, Irwin valóban meghalt, október 7-én, pénteken, 18:30-kor. Békés, szép halála volt, a kanapéján alva érte a halál. Silvia és Thomas fiam is jelen volt. Én nem tudtam meglátogatni, de legalább a családom felerészben ott volt.

Nagy embert veszítettünk el! Soha életemben nem találkoztam ilyen nagyszerű úriemberrel, sem személyes, sem szakmai vonatkozásban. Nagy ember volt, akivel én

személy szerint a szakmai életem nagy részét is elvesztettem.

Szerencsémre gyakran együtt dolgozhattam vele az utóbbi 20 évben, és hálás vagyok érte, hogy ilyen szerencsében lehetett részem.

Mivel szoros kapcsolatban állok az Irwin-családdal, már régen felkértek George hivatalos életrajzírójául, és így egyedül én férhetek hozzá Irwin hatalmas levéltárához. Ez egy igazi kincs, és csak ahhoz, hogy az 1937(!) óta összegyűjtött minden egyes előadásba, jegyzetbe, jelentésbe stb. belenézhessek, további 10 évre lesz szükségem. Remélem, hogy születésének 100. évfordulójára egy kiállítást tudok rendezni a törésmechanikáról, amelyet majd több helyen bemutathatunk. Már nagyon régóta gyűjtöm erre a kiállításra a személyes és szakmai anyagokat. Bizonyos fokig felelősnek érzem magam azért, hogy George emlékét megőrizzem a társadalomban. És ezt legjobb tudásom szerint meg is fogom tenni.”

² International Society for Technology Law and Insurance