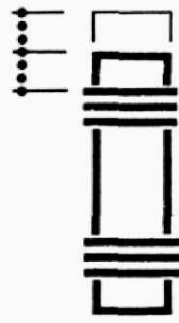
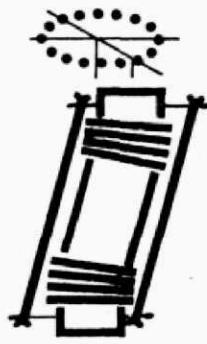
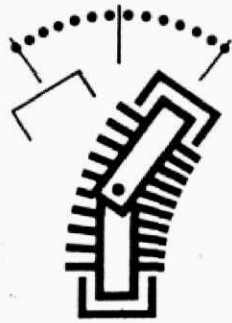
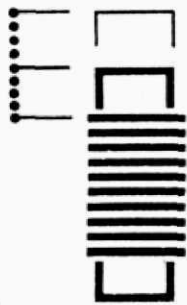


Dr. Pöstyéni Ferenc

HULLÁMLEMEZ KOMPENZÁTOROK



Munkatársak:

SOMFAI ANDRÁS
okleveles gépészmérnök

MAGYAR ISTVÁN
okleveles gépészmérnök

ARANY JÓZSEF
üzemmérnök

Lektorok:

DR. TERPLÁN ZÉNÓ
egyetemi tanár,
a műszaki tudományok doktora

KANYÓ MIKLÓS
okleveles mérnök

Javított, bővített utánnomás

© Dr. Pöstyéni Ferenc, Budapest, 1983

Kiadja a Fővárosi Távfűtő Művek
Felelős kiadó: Kerényi Gyula igazgató. Készült 100 pl-ban a DOKU-PRINT Kft nyomdájában.
Felelős vezető: Kaiser Antal. Azonosítószám: 92/7787

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	5	Szilárdsági feltételből adódó támaszköz	37
Kompenzációs módok	7	(6. példa)	37
Csőből készült kiegyenlítő	7	Angulár kompenzátorok	38
Ívcső	7	Alkalmazási terület, beépítési irányelvek	38
U alakú kiegyenlítő	7	A kombinációkban való elrendezés gyakori módjai	39
Líra alakú kiegyenlítő	7	Laterál kombináció	40
Kiegyenlítő szerkezetek	8	L-kombinációk	41
Többszelencés kiegyenlítő	8	Korrigált laterál kombináció	41
Lencsés kiegyenlítő	8	L 3/2 kombináció geometriai elrendezése, viszonyai	45
Többrétegű hullámlemez kompenzátorok	9	(7. példa)	45
Hullámkompenzátor típusok	9	Csapközéptávolságok az L 3/2 kombinációban, ha a K1, K2 és K3 kompenzátorok azonos löketeket végeznek	49
Axiál kompenzátor	9	(8. példa)	49
Angulár kompenzátor	10	Az U kombinációk	50
Laterál kompenzátor	10	Az U 3/1-es kombináció geometriai viszonyai	50
Univerzál kompenzátor	10	(9. példa)	55
Rezgéscsillapítók	11	A négy kompenzátoros angulár kombináció	56
Hullámkompenzátorok anyagai	11	Az U 4/2 kombináció geometriai viszonyai	56
Élettartam	11	(10. példa)	62
Minőségvizsgálat	11	Laterál kompenzátorok	64
Szilárdsági vizsgálat	11	Alkalmazási területek, beépítési irányelvek	64
Fárasztó vizsgálat	11	Laterál kompenzátorok elrendezési módjai	65
Tömörégi vizsgálat	13	(11. példa)	67
A lyuk definíciója	13	Univerzál kompenzátorok	69
Tömegspektróméteres lyukkeresés	14	Alkalmazási terület, beépítési irányelvek	69
Méretezési alapismeretek	15	Az axiális és laterális löket egymástól való függése	69
Hőtágulás	15	(12. példa)	70
Hőtágulás számítása	15	Rezgéscsillapítók	71
Élettartam	20	Alkalmazási területek	71
Élettartam kettős löketnél	20	Gerjesztett, sebességgel arányos súrlódó erővel csillapított harmónikus lengés matematikai elemzése	71
Élettartam kettős löketnél (1. példa)	21	A matematikai lengésanalízis eredményeinek gyakorlati felismerései	73
Élettartamszámítás részlöketek esetén	21	A rezgészigetelés gyakorlati tapasztalatai	74
Élettartamszámítás részlöketek esetén (2. példa)	24	A rezgéscsillapítás hatásfoka	75
Korrekciós számítások	25	(13. példa)	75
Nyomáskorrekció (3. példa)	25	Kiskompenzátorok	76
Löketkorrekció	25	Felépítés, felhasználás	76
Kompenzátor tényleges élettartama	25	Kiskompenzátorok beépítés tudnivalói	77
Kompenzátorok előfeszítése	25	Élettartam, korrozio	78
Kompenzátorok előfeszítése (4. példa)	28	Különleges kompenzátorok	79
Fixponti erők	28	Nyomáskiegyenlített kompenzátorok	79
Nyomásból származó reakcióerő	28	Külső oldalon terhelt axiál kompenzátorok	80
Sajátellenállás vagy rugóerő	29	Erősítőgyűrűs kompenzátor	80
Csősúrlódás	29	Belső csuklós kompenzátorok	80
Centrifugális erő	29	Kamrás kompenzátorok	81
Állítóerő	29	Fixpontok, kialakítások, megvezetések és alátámasztások néhány alkalmazott módja	83
Angulár kompenzátorok állító nyomatéka, kombinációk állító ereje	29	A cső elmozdulását lehetővé tevő csőalátámasztások	83
Axiál kompenzátorok	31	Csőmegvezető készülékek	84
Alkalmazási területek	31	A kompenzátorok beépítésének néhány gyakorlati kérdése	86
Beépítési irányelvek	31		
Típuskiválasztás, méretezés			
(5. példa)	32		
Támaszköz számítás	35		
Alakváltozási feltételekből adódó támaszköz	35		
A stabilitási feltételekből adódó támaszköz	35		

A kompenzátorok telepítésének legkritikusabb fázisai . . .	87	A hullámlemez kompenzátorok tönkremenetelének jellemző okai	89
Ellenőrzések nyomáspróba előtt	88	Irodalomjegyzék	91
Nyomáspróba közben elvégzendő ellenőrzések	88	Függelék	93
A nyomáspróbát követő ellenőrzési feladatok	88		

BEVEZETÉS

Az ipari üzemek technológiai folyamataiban, valamint a nagy lakásépítési tervek megvalósításában igen nagy szerepet töltenek be a különféle anyagok szállítására szolgáló csővezetékek és hálózatok.

A vezetékek tervezésénél és üzemeltetésénél az egyik legnagyobb gondot a vezetékek hőtágulása okozza. A hőtágulásból eredő hosszváltozásokat és a változásnál fellépő mozgásokat a vezetékrendszer károsodása nélkül kell levezetni. E célra kompenzátorokat alkalmaznak.

Az előző 1983-as kiadás megjelenése óta igen sok tervezői, gyártói és üzemeltetői tapasztalattal gyarapodtunk. Példaként említem meg, hogy a FŐTÁV kicserélte szinte valamennyi más rendszerű kompenzátorát ilyen típusra. Azóta a vízfolyás teljesen megszűnt és üzemzavar a kompenzátor meghibásodásából nem történt.

Nagy alkalmazási területe lett e kompenzátor típusnak a gyógyszer és vegyipar, valamint rezgéscsillapítóként felhasználva a járműipar.

A FŐTÁV-nál sok és hasznos tapasztalatot szereztünk a gondos és előírászerű beépítés fontosságáról. Tapasztalatokat szereztünk a korróziót okozó külső körülmények elhárítása terén is, melyet e kiadásban ismertetünk.

1992. jún.15.

A szerző

KOMPENZÁLÁSI MÓDOK

A hőtágulás kiegyenlítőnek feladata egy adott – fixpontokkal határolt – csőszakasz hőtágulásának a kiegyenlítése. A kiegyenlítők egyik csoportját a csőből készült kiegyenlítők, a másikat a kiegyenlítő szerkezetek alkotják.

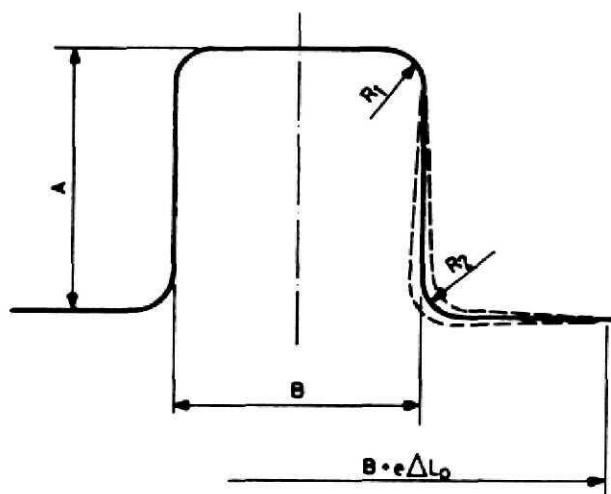
Elkészítése alakjánál fogva nehezebb (4. ábra). Rugalmasságának fokozására két tag is összeépíthető (5. ábra).

CSŐBŐL KÉSZÜLT KIEGYENLÍTŐK

Ívcső

Az irányváltoztatási lehetőséggel bíró vezetékbe építik be. Úgy egyenlíti ki az egyenes szakasz hőtágulását, hogy az ívszöge megváltozik. Általában hegesztéssel építik be, mert a karimáskötés hibalehetőséget rejt magában azért, hogy a hőtágulás következtében a karimák síkjai nem maradnak párhuzamosak és a tömítések könnyen áteresztővé válnak.

Előfeszíteni nem szokták.



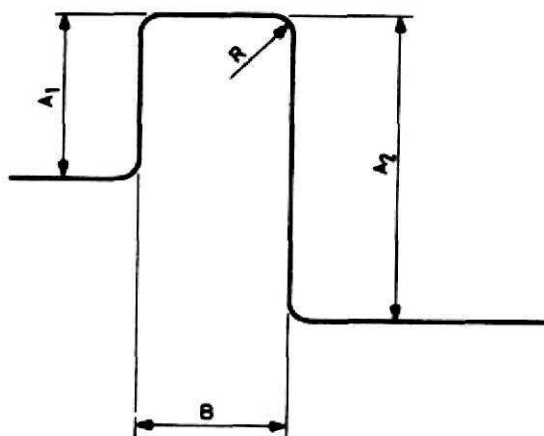
1. ábra

U alakú kiegyenlítő

Ívcsővekből és egyenes szakaszokból áll. Azonos vagy különböző szárhosszúsággal épül (1. és 2. ábra).

Ha nem áll rendelkezésre elegendő hely, akkor két kiegyenlítő összeépítésével fokozható a rugalmasság illetve a tágulásfelvétel (3. ábra).

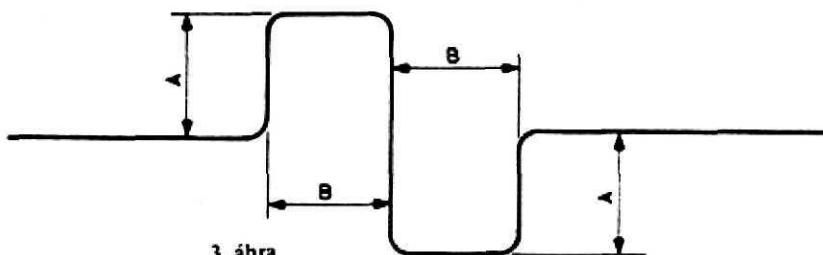
E kiegyenlítőket egyenes szakaszokba építik be, előfeszítéssel.



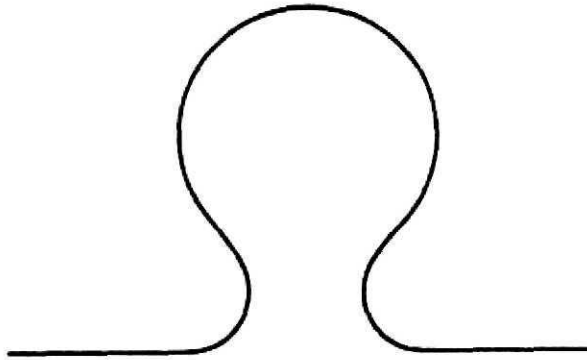
2. ábra

Líra alakú kiegyenlítő

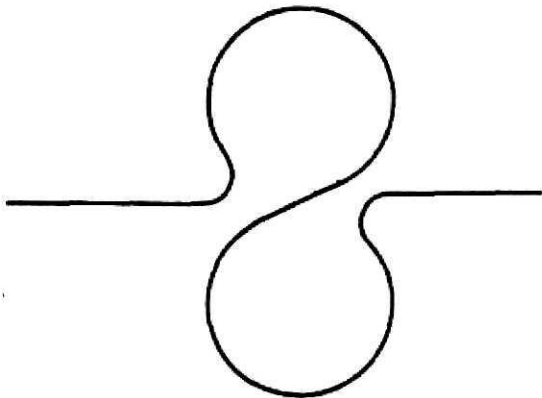
Az U alakú kiegyenlítőhöz képest nemcsak geometriájával, hanem nagyobb rugalmasságával is eltér.



3. ábra



4. ábra



5. ábra

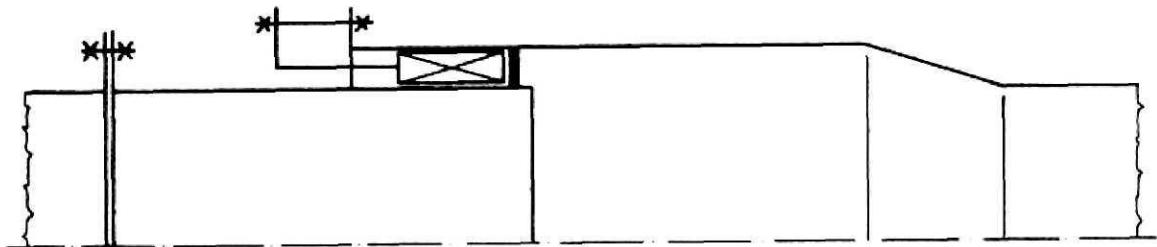
Általában előfeszítve hegesztik össze az egyenes csőszakasszal. A csőből készült kiegyenlítő alkalmazásának hátrányai:

- nagy helyszükséglet,
- nagy előmunka ráfordítással készíthető el,
- nagyobbak az áramlási veszteségek,
- nem alkalmazható az előreszigetelt, csatorna nélküli rendszerekben.

KIEGYENLÍTŐ SZERKEZETEK

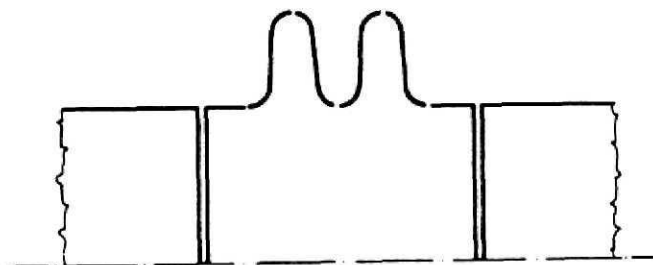
Tömszelencés kiegyenlítő

Ez a kiegyenlítő mozgó csövének elmozdulásával teszi fel a vezeték hőtágulását. Tömszelencés tömítése miatt állandó felügyeletre és karbantartásra szorul. A tömítéseket gyakran kell cserélni. A tömítés szorító hatása miatt nagy surlódó erő ébred, amely a fixpontokra nagy terhelést ad (6. ábra).



6. ábra

Lencses kiegyenlítő



7. ábra

A lencses kiegyenlítőben a lencse elem a vezető falvastagságával azonos vagy ettől kevéssé eltérő vastagságú, de más anyagú acélból készül, általában két fél lencséből összehegesztve. A tágulás felvételét a lencsék számával lehet növelni. Nagy rugóállandója miatt aránylag nagy erőt ad a fixpontokra (7. ábra).

TÖBBRÉTEGŰ HULLÁMLEMEZ KOMPENZÁTOR

Az előzőekben ismertetett kompenzációs módok általánosan ismertek és alkalmazottak hazánkban.

A hullámlemez kompenzátoroknak Európában három nagy gyártója van: a svájci BOA, az NSZK-beli HYDRA (BOA licenc alapján) és az IWKA. A szocialista országokban hullámlemez kompenzátor nem gyártanak. Magyarországon 1981 óta a svájci BOA cég licence alapján és kooperációban a DUTÉP (BÁCSÉP) készíti. A gyártást a szerző szervezte meg és irányítja azóta is.

A hullámkompenzátorok löketfelvevő eleme a rugótest vagy másnéven hullámtest. Üzemeltetéskor a harmonikához hasonló mozgást végez.

Az adott hőmérsékletre és nyomásra méretezett hullámtestek az igénybevételtől függően 1 ~ 18 rétegben készülnek, 0,2 ~ 0,5 mm vastag 18/8 CrNi tartalmú ausztenites acélból. A csőcsatlakozások és karimák A35, A45, vagy 15Mo3 anyagból készülnek.

A több réteg és a lemezek nagy felületi simasága teszi lehetővé a kis hullámmagasságot. Ez rendkívül fontos és igen előnyös egyrészt a beépíthetőség, másrészt a kisebb fixponti erők miatt.

Egy tizennégy rétegű, 2,5 MPa nyomásra gyártott hullámtest metszetét mutatja a 8. ábra.

A kompenzátor működése közben a lemeztartók egymáson elcsúsznak, így a méretváltáshoz lényegesen kisebb erők kellene, mint az egyrétegű kompenzátoroknál. A több réteg



8. ábra

további előnye, hogy kis szerkezeti hosszal nagy távú mozgásokat lehet kiegyenlíteni.

A hullámtestek gyártása úgy történik, hogy egy csőbe spirálisan behajtanak annyi menetet, amennyi a méretezés szerint szükséges, majd a belső csövet besajtolják. Az így összeállított lemezköteget hidegen, több műveletben hullámtestté alakítják.

A hullámtestet azonos anyagú (18/8-as ausztenites) belső védőcsövekkel látják el, melynek célja a lerakódás és turbulencia megakadályozása. A hullámtestet ezután a belső védőcsővel együtt a ferrites csőcsatlakozáshoz kell hegeszteni.

Ez a gyártás eddig legigényesebb technológiai folyamata. A hegesztésnek olyan minőségűnek kell lenni, hogy a többrétegű ausztenites réteg úgy olvadjon a ferrites csatlakozásba, hogy az a szilárdsági és tömörségi szigorú követelményeknek megfeleljen.

A kompenzátorok 0,1; 0,25; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6,4; MPa szabványos nyomásfokozatokban készülnek a DIN 2401 szerint.

A megrendelő kérésére és hosszabb – többtagból álló – kompenzátoroknál külső védőcsővel is készülnek axiál kompenzátorok.

HULLÁMKOMPENZÁTOR TÍPUSOK

Az előzőekben ismertetett rugótestek felhasználásával különböző rendeltetésű kompenzátor építhető.

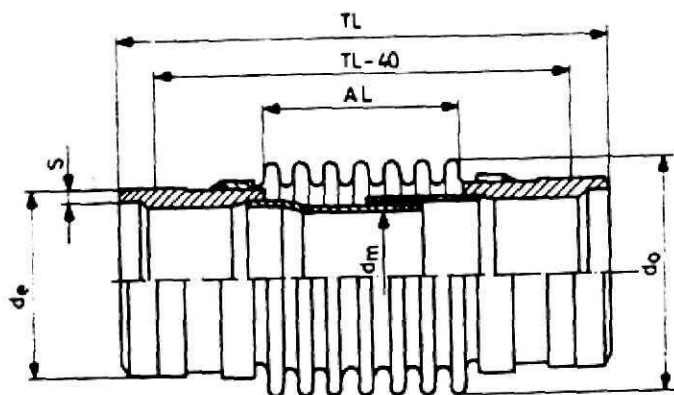
E típusok az elmozdulási lehetőségeik szerint lehetnek:

- axiál,
- angulár,
- laterál,
- univerzál kompenzátorok,
- rezgéscsillapítók.

Axiál kompenzátor

Olyan helyen lehet alkalmazni, ahol csak kizárólag tengelyirányú elmozdulás lép fel. Nagyon lényeges az axiál kompenzátor mindkét oldalán

a csővezeték jó térbeli megvezetése. Csőcsonkkal ellátott axiál kompenzátort a 9. ábra mutat.



9. ábra

Angulár kompenzátor

Síkbeli szögelfordulást valósít meg, hasonlóan a csapos csuklókhoz. Általában kombinációban al-

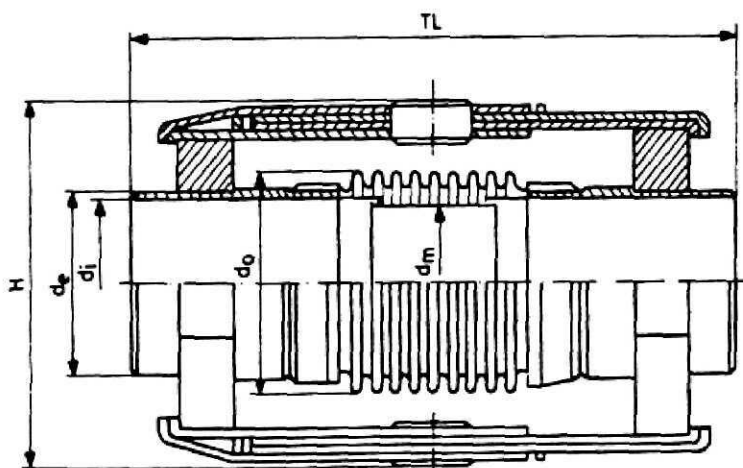
kalmazzák. Igen nagy tágulások egyenlíthetők ki velük (10. ábra).

Laterál kompenzátor

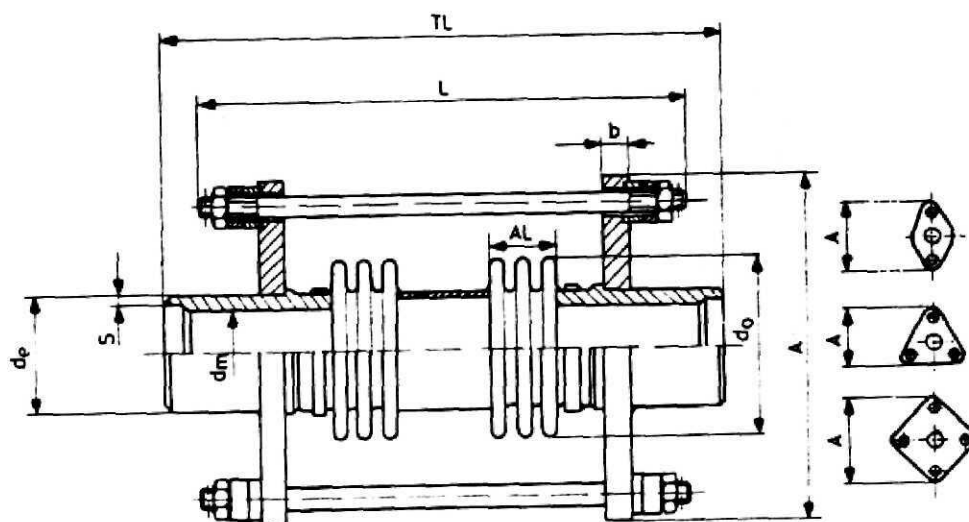
E kompenzátor típus – melyet a 11. ábra mutat – a csőtengely vonalára merőleges oldalirányú elmozdulások felvételére alkalmas. Mozgását egy gömbfelület mentén végzi úgy, hogy a csőcsonkok tengelye a kettőnél több húzórudat tartalmazó változatnál párhuzamos marad. (Pontosabb elnevezése szférikus laterál kompenzátor.)

Univerzál kompenzátor

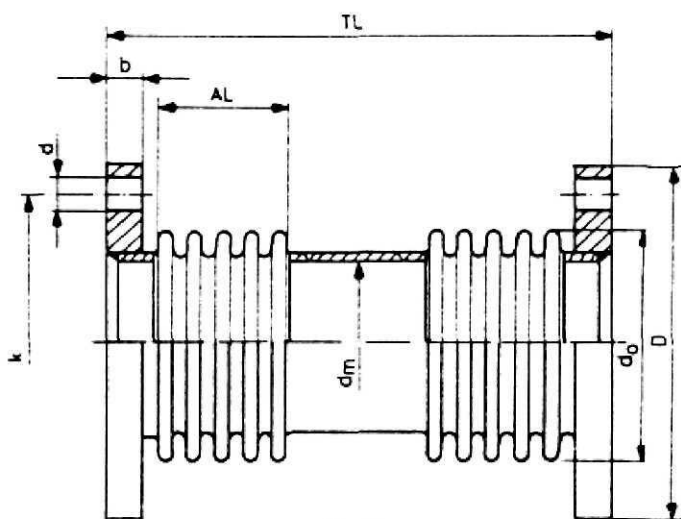
Működése az axiál és laterál kompenzátorok együttes mozgásaihoz hasonló, tengelyirányú és arra merőleges elmozdulásokat egyidejűleg képes önmagában felvenni. A 12. ábra egy karimás csatlakozású univerzál kompenzátort mutat.



10. ábra



11. ábra



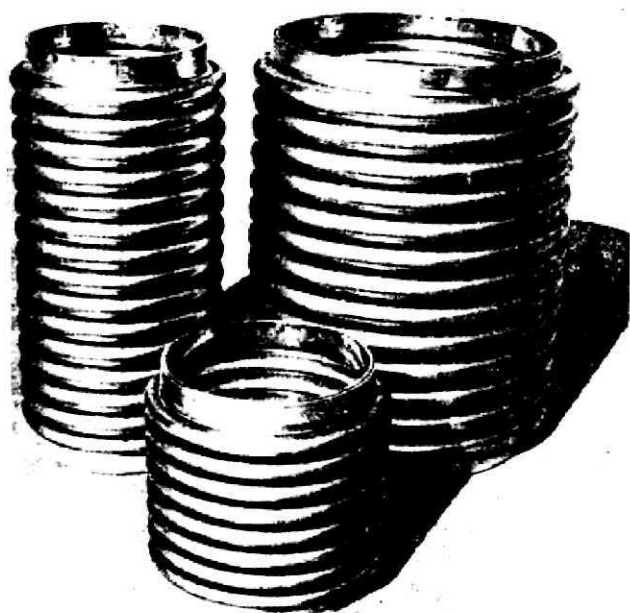
12. ábra

Rezgésillapítók

A motorok kipufogó rendszereibe beépített csuklós kompenzátorok a nagy hőmérséklet miatt nagy megnyúlásokat egyenlítenek ki. A turbófeltöltő rendszerekben ugyancsak igen jól alkalmazhatók. Előszeretettel használják szivattyúk utáni csővezetékben, a káros rezgések átvitelének megakadályozására.

A HULLÁMKOMPENZÁTOROK ANYAGAI

A hullámlemezeket az amerikai szabvány szerinti anyagból gyártják, amely általában 350 °C



13. ábra

igénybevételig AISI 304. Ez közel megfelel az MSZ KO 36-os ausztenites acélnek.

A nagyobb igénybevételekre az AISI 316 és AISI 321 minőségű acélokat alkalmazzák. Az európai gyártók és a szakirodalom is ezt használja. Különböző méretű hullámtestek képét mutatja a 13. ábra.

ÉLETTARTAM

A kompenzátor élettartamát a tömítetlenség állapotáig elért teljes kettős löketek számával mérjük. Kettős löket alatt egy oda és vissza történő elmozdulást értünk. A gyártó vállalatok általában az 1000 és 5000 teljes lökethez tartozó ± elmozdulást adják meg. A részlöketek teljes löketté történő átszámításának módját egy későbbi fejezetben ismertetjük. A táblázat értékei 120 °C-os üzemi hőmérsékletre vonatkoznak.

MINŐSEGVIZSGÁLAT

Szilárdsági vizsgálat

A gyártó minden kompenzátort alapos minőségvizsgálatnak vet alá. A szilárdsági vizsgálatot víznyomással végzik, a névleges nyomásérték 1,5-szeresével. A kompenzátornak ezt a terhelést maradó alakváltozás nélkül kell elviselni. A magyarországi gyártó – DUTÉP – megbízásából a Vasipari Kutató Intézet végzett nyomáspróba vizsgálatot. Ezt a próbadarabot mutatja a 14. ábra. Az NA 150-es kompenzátor 2,5 MPa névleges nyomásra készült. A kísérlet során 18,3 MPa nyomásnál következett be maradó alakváltozás, de tömörsége még teljesen megmaradt.

Fárasztó vizsgálat

A gyártó vállalatok egy-egy új típus kialakítása után fárasztó vizsgálatnak vetik alá a kompenzátorokat. Így állapítják meg, hogy az 1000 illetve 5000 teljes terhelésű löketet milyen elmozdulásoknál bírják ki a kompenzátorok.

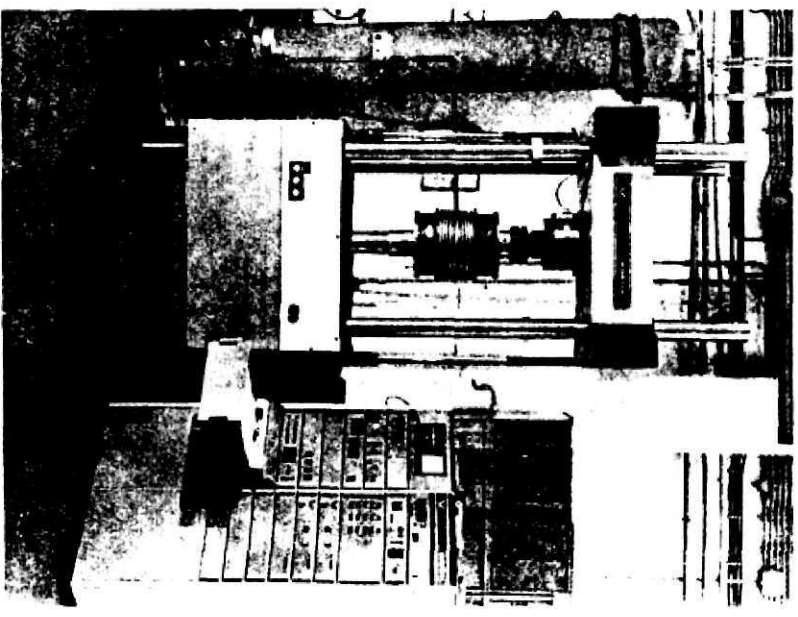
A Vasipari Kutató Intézetben a 2,5 MPa-ra méretezett axiálkompenzátoron végzett fárasztó vizsgálat mutatja a 15. ábra.

A fárasztó vizsgálat NA 150-es, W-9025 típusú kompenzátoron történt a -49 ~ +49 mm tartományban. A fárasztás hiszterézis görbéjét mutatja a 16. ábra.

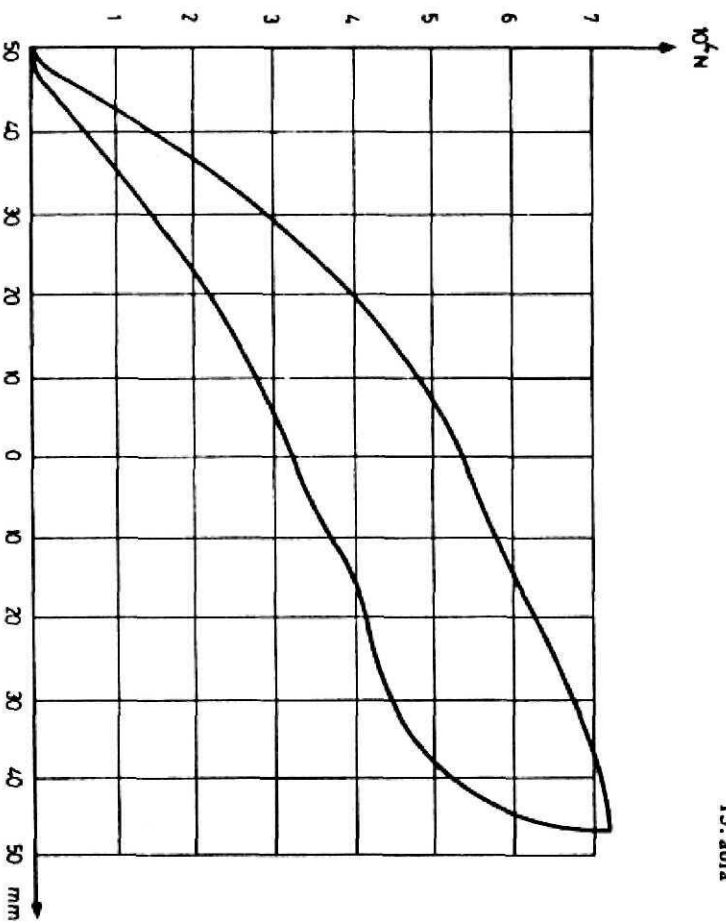
A fárasztó berendezés vázlatát a 17. ábra mutatja.



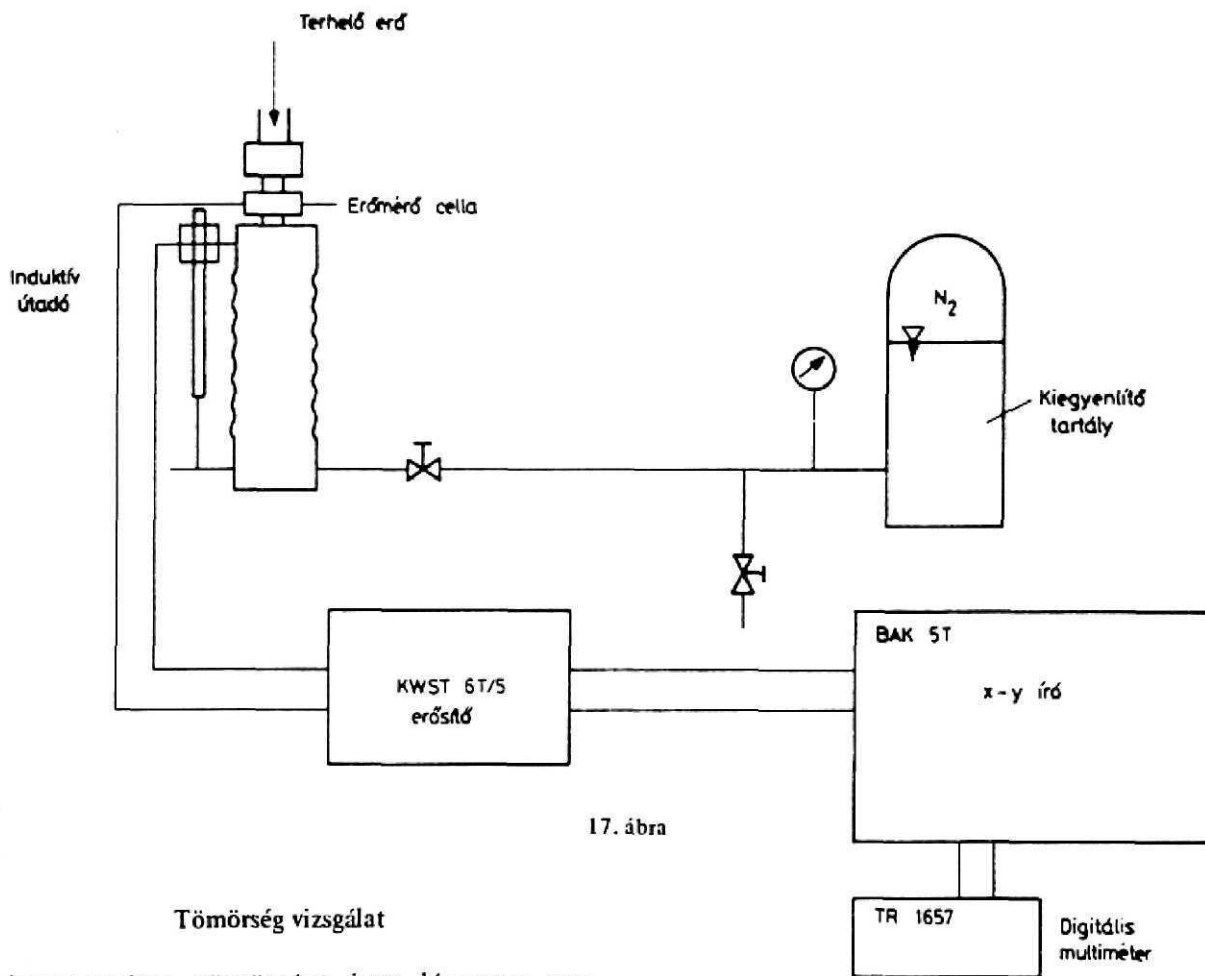
14. ábra



15. ábra



16. ábra



17. ábra

Tömørség vizsgálat

A kompenzátor tömörsége igen lényeges egyrészt a szállítandó közegben keletkező anyagvesztések, másrészt a csővezetékben áramló gáznemű mérgező anyagoknak a környezetbe jutásának a megakadályozása szempontjából. Ilyenek pl. az atomerőművek és a petrokémiai iparban felhasznált mérgező gázokat szállító csővezetékek.

A lyuk definíciója

A lyuk, mint tömítetlenség kvalitatív fogalom. A tartályok, csövek hegesztési varratainak tömítettségi vizsgálata mindig visszatérő probléma. Abszolút tömítettség ugyanis nincs. A tömítettség vagy másképpen szivárgási sebesség csak egy felhasználhatósági érték alatti minimumot jelent.

A tömítettség az ISO/R100 szabvány szerint $\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{sec}^{-1}$ -ben mérik. Ez azt jelenti, hogy egy literes légritkított tartályban 1 sec alatt 1 mbar-al nő a nyomás, ebben az esetben a tartály szivárgási sebessége $1 \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{sec}^{-1}$.

A szivárgási sebesség a következő módon számítható:

$$\left[Q = \frac{\Delta p \cdot V}{t} \right]$$

ahol:

Q = a szivárgási sebesség ($\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{sec}^{-1}$),

V = a vizsgált térfogat (l),

Δp = a nyomásváltozás (mbar),

t = idő (sec).

A kompenzátorok jól tömítettek kell hogy legyenek. Minden kompenzátorot először 1 MPa nyomású levegővel megnyomva vízbe merítéssel, a buborékképződés idejéből lehet következtetni a lyuk nagyságára.

Egy szemmel látható burborék képződési ideje a különböző nagyságú lyukak esetén:

$Q(\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{sec}^{-1})$	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-10}	10^{-12}
t	3 sec	30 sec	5 min	1 ó	6,7 ó	28 nap	8 év	80 év

Ha egy kompenzátorot gőzvezetékbe építenek be, akkor a nemzetközileg elfogadott áteresztés mennyisége $6,65 \cdot 10^{-6} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{sec}^{-1}$ lehet.

Víz és levegő közegnél

$6,65 \cdot 10^{-5} \text{ mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{sec}^{-1}$ lehet.

A mérgező anyagok megengedett szivárgása $10^{-8} \sim 10^{-9}$ nagyságrendű lehet maximálisan.

Ha a kompenzátoroknak ilyen tömörségűeknek kell lenniük, a buborékos vizsgálat már nem végezhető, hiszen hónapokig vagy évekig kellene egy buborék képződésére várni.



18. ábra
A kompenzátorok buborékos tömörség vizsgálata

Tömegspektrométeres lyukkeresés

A két végén lezárt kompenzátort He gázzal töltik meg 0,3 MPa nyomásig, majd N_2 -vel hígítják 1 MPa nyomásra. A hélium atom a hidrogén után a legkisebb átmérőjű. A lyukon átjutva az

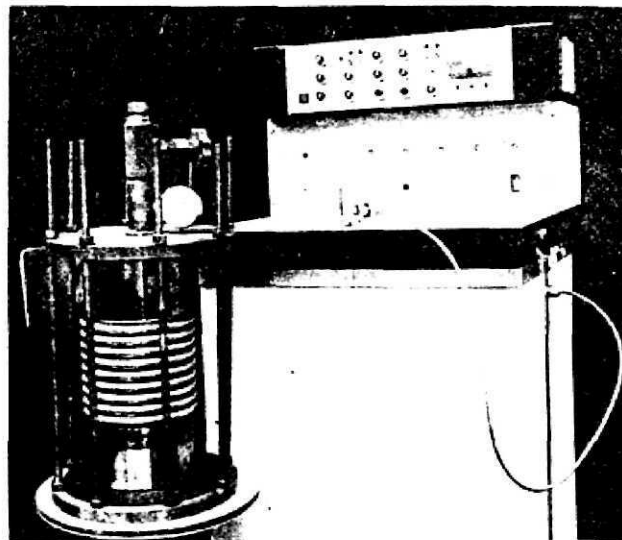
erre a célra épített tömegspektrométer „szondáján” keresztül bejut a készülékbe, ami azt azonnal jelzi. A kompenzátor varratait végigvizsgálva a 10^{-10} mbar · l · sec⁻¹ nagyságrendű lyuk egy-két perc alatt kimutatható.

A hagyományos tömegspektrométerrel szemben ez a műszer rögzített tömegszámra van kalibrálva. Más gázok jelenléte nem zavarja.

A levegő He tartalma 5 ppm, ez azt jelenti, hogy 10^6 levegő részecskére 5 db He részecske jut.

A He 3 és 4 tömegszámú. Ebben a tartományban a környező szomszéd elemek tömegszámai messze esnek. Az előzőek miatt elérhető 10^{-12} mbar · l · sec⁻¹ méréshatár.

A 19. ábrán egy He gáz tömegspektrométer látható amelyet a DUTÉP használ a kompenzátorok vizsgálatánál. A készüléket a MTA Debreceni Atommagkutató Intézete készítette. Érzékenysége 10^{-9} mbar · l/sec.



19. ábra

MÉRETEZÉSI ALAPISMERETEK

HŐTÁGULÁS

A csővezetékknél is – mint minden más anyagnál – a hőmérsékletváltozás térfogatváltozást eredményez. A térfogatváltozásnál az átmérőváltozás általában nem okoz gondot. Gondot inkább a hosszirányú változás jelent. Ennek felvételéről gondoskodni kell.

A csővezeték építésének alapszabálya, hogy szakaszonként a csövet fixálni kell. A táguló cső a fixpontoknak támaszkodik. A tervezésnél, mindig az a törekvés, hogy a fixponti erők a lehető legkisebbek legyenek. A nagy fixponti erők építményeket követelnek, amelyek nagyon megrágtják a csővezeték építési költségeit.

Ha a vezeték két végét szilárdan rögzítjük és ezáltal a szabad hőtágulást meggátoljuk, a csőben húzó vagy nyomó feszültség keletkezik. E feszültség a megfogásoknál terhelő erőként jelentkezik, melynek nagyságáról a 20. ábra ad tájékoztatást a névleges átmérő szerint.

Az ábrából leolvasható, hogy pl. egy NA 500-as cső, 100 °C hőmérsékletváltozás hatására $3,2 \cdot 10^6$ N nyomóerőt fejt ki.

A hőtápvezetékben, a példában említettél nagyobbak a hőmérsékletváltozások. E hőválto-

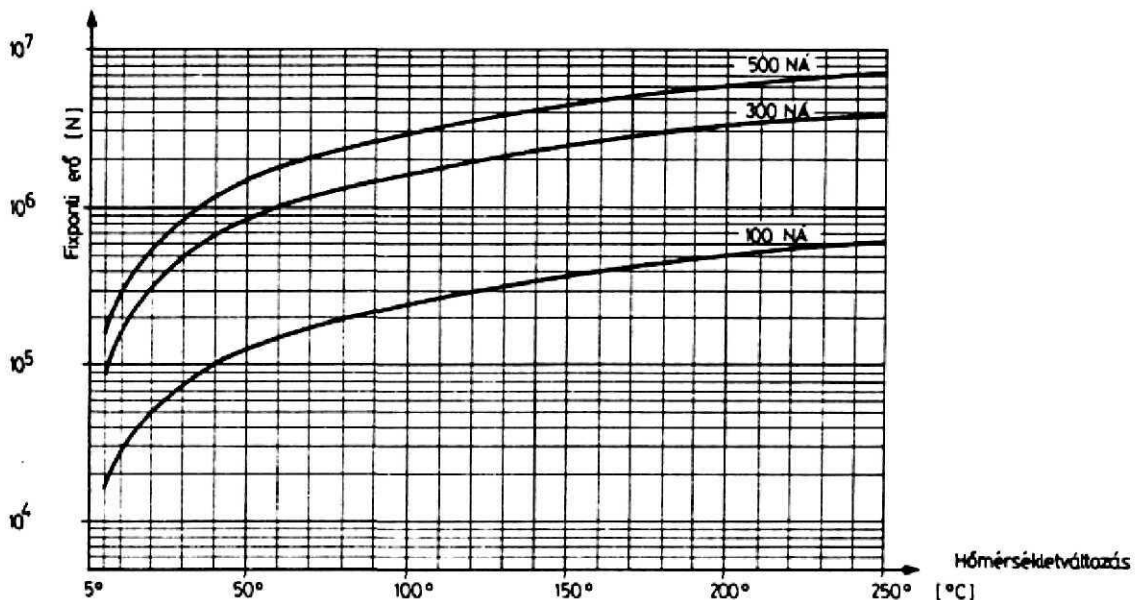
zás a megengedhetőnél nagyobb igénybevételt jelentene a vezetékre, nem is szólva az erők nagyságáról, amelyek különleges és költséges megfogó szerkezetek kialakítását követelnék.

A csővek igénybevételének csökkentése érdekében a tágulást felvevő kompenzátorok megválasztása az egyik lényeges szempont. A fixponti erők számításával egy későbbi fejezetben foglalkozunk.

Hőtágulás számítása

A hőtágulások pontos ismerete rendkívül lényeges a kompenzátor élettartamának számításakor, ugyanis a megengedhető löket kisméretű túllépése az élettartamot rohamosan csökkenti (lásd a következő fejezetet).

A hőtágulások pontos ismerete nélkül a konkrét kompenzátor kiválasztás és ellenőrzés sem végezhető el. Mivel a csőszakasz hosszváltozása nem lineárisan változik a hőmérséklet függvényében, ezért a következő módon keressük ki egy adott csőszakasz megnyúlását az 1. diagramból:



20. ábra

Az 1. diagram használatával a hőtágulást analóg módon a következő képlet alapján számíthatjuk:

$$H = \Delta L = L_0 (\alpha_{t_{\max}} - \alpha_{t_{\min}}) \quad [\text{mm}],$$

ahol: L_0 – a csőszakasz hossza [m],

$\alpha_{t_{\max}}$ – fajlagos hőtágulási tényező a maximális hőmérsékleten,

$\alpha_{t_{\min}}$ – fajlagos hőtágulási tényező a minimális hőmérsékleten.

$\alpha_{t_{\min}}$ és $\alpha_{t_{\max}}$ értéke az 1. táblázatból kikereshető a különböző csőanyagokra.

Az általában használatos A 35-ös minőségű csőanyag hőtágulásértékének meghatározására a 2. diagram használható, amely $t_{\min} = 0^\circ\text{C}$ esetén közvetlenül adja a csőszakasz hosszváltozását.

Hőtágulástáblázat

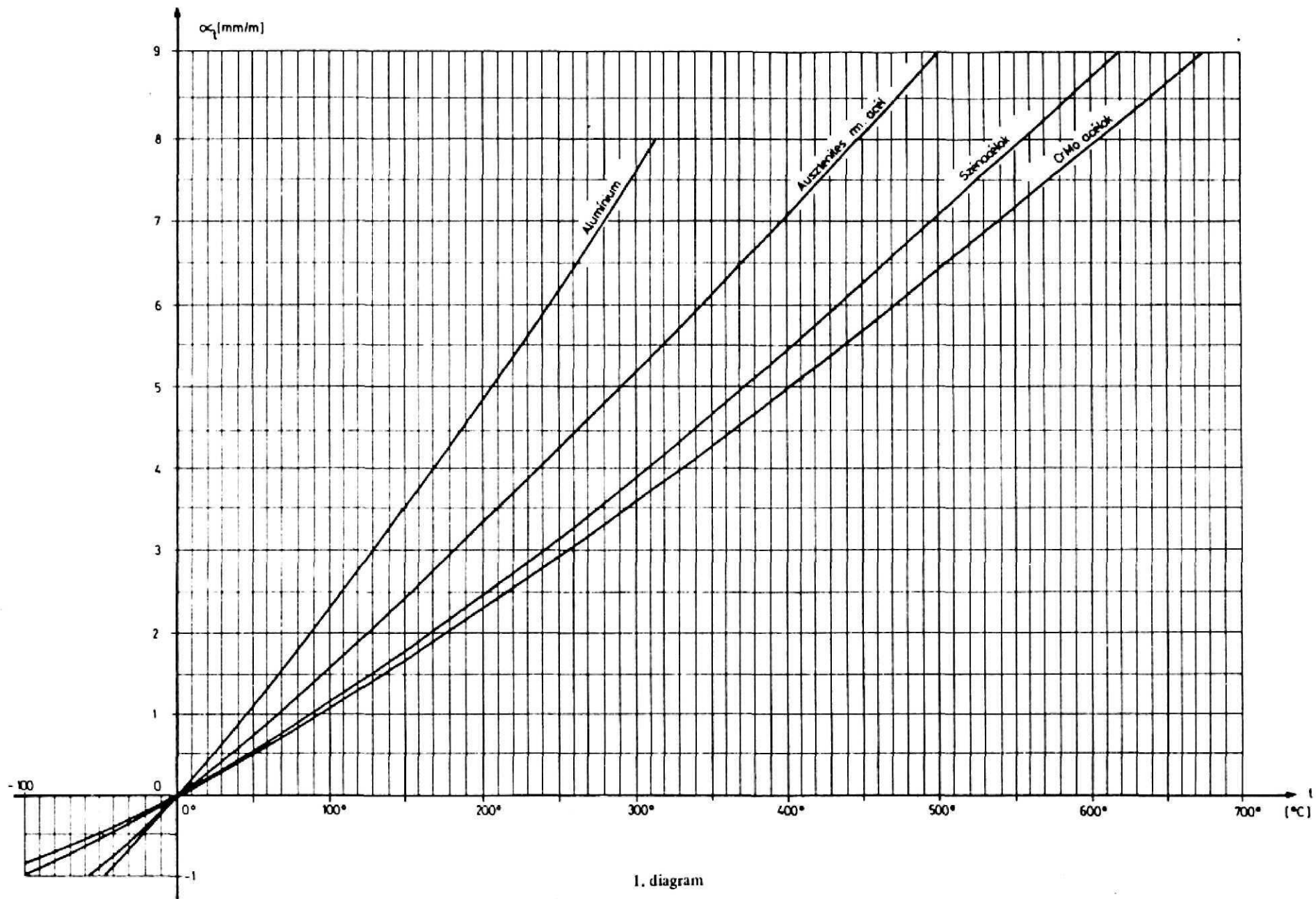
1. táblázat

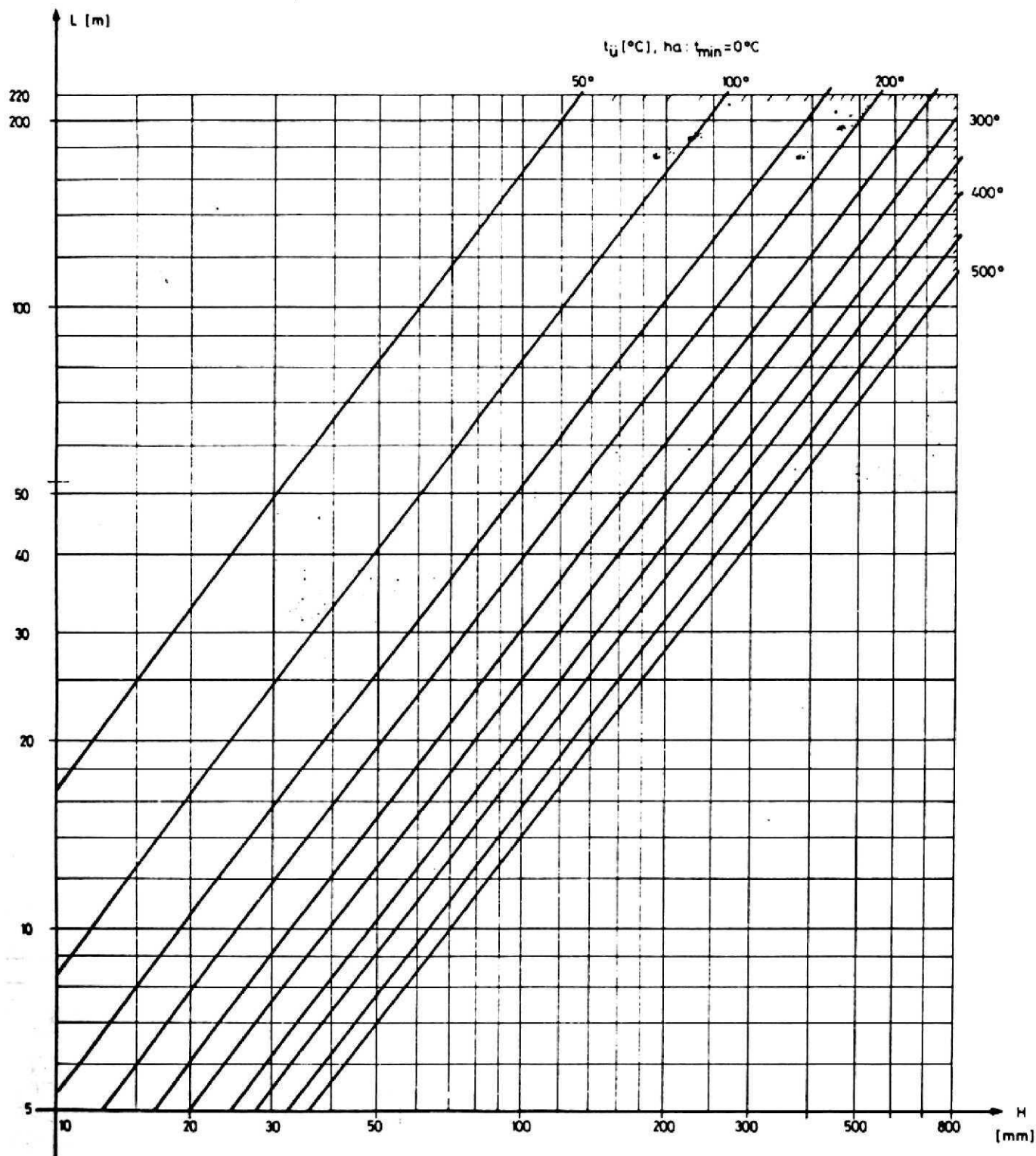
Hőfok	Szén- acélok	CrMo acélok	Auszte- nites rm. acél	Ferrites rm. acél	Monel 400	Inconel 600	25 Cr 20 Ni	Alumínium	Réz ötvezetek	Kovácsoltvas
(°C)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)
-190	-1,685	-1,578	-2,768	-1,457	-1,863		-2,155	-3,334	-2,774	-1,912
-180	-1,607	-1,506	-2,633	-1,388	-1,791		-2,053	-3,178	-2,633	-1,825
-170	-1,529	-1,434	-2,502	-1,315	-1,719		-1,951	-3,022	-2,496	-1,742
-160	-1,451	-1,357	-2,364	-1,249	-1,678		-1,849	-2,866	-2,358	-1,652
-150	-1,370	-1,282	-2,228	-1,181	-1,575	-1,611	-1,747	-2,713	-2,217	-1,562
-140	-1,286	-1,210	-2,097	-1,109	-1,504	-1,533	-1,645	-2,563	-2,073	-1,472
-130	-1,209	-1,138	-1,958	-1,043	-1,439	-1,455	-1,543	-2,407	-1,935	-1,382
-120	-1,131	-1,066	-1,820	-0,973	-1,368	-1,360	-1,441	-2,250	-1,793	-1,296
-110	-1,053	-0,994	-1,684	-0,902	-1,295	-1,254	-1,339	-2,094	-1,650	-1,211
-100	-0,975	-0,921	-1,551	-0,836	-1,221	-1,152	-1,235	-1,937	-1,512	-1,119
-90	-0,887	-0,838	-1,397	-0,765	-1,103	-1,056	-1,111	-1,758	-1,369	-1,012
-80	-0,790	-0,753	-1,238	-0,689	-0,975	-0,961	-0,982	-1,573	-1,224	-0,905
-70	-0,705	-0,667	-1,083	-0,610	-0,849	-0,858	-0,857	-1,387	-1,081	-0,803
-60	-0,615	-0,577	-0,934	-0,532	-0,730	-0,729	-0,738	-1,207	-0,944	-0,694
-50	-0,519	-0,482	-0,779	-0,449	-0,610	-0,607	-0,613	-1,027	-0,801	-0,586
-40	-0,420	-0,387	-0,623	-0,364	-0,487	-0,486	-0,484	-0,836	-0,652	-0,476
-30	-0,317	-0,298	-0,467	-0,280	-0,361	-0,360	-0,353	-0,621	-0,493	-0,360
-20	-0,215	-0,202	-0,311	-0,190	-0,241	-0,239	-0,238	-0,411	-0,325	-0,241
-10	-0,109	-0,102	-0,155	-0,096	-0,121	-0,120	-0,123	-0,204	-0,159	-0,120
±0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
10	0,108	0,095	0,149	0,089	0,127	0,120	0,127	0,211	0,155	0,120
20	0,213	0,200	0,306	0,179	0,247	0,240	0,247	0,421	0,320	0,247
30	0,321	0,305	0,469	0,272	0,376	0,366	0,376	0,640	0,488	0,373
40	0,433	0,411	0,636	0,369	0,516	0,499	0,516	0,870	0,660	0,499
50	0,547	0,519	0,804	0,465	0,654	0,631	0,654	1,098	0,834	0,631
60	0,661	0,627	0,972	0,565	0,796	0,763	0,792	1,330	1,008	0,763
70	0,777	0,735	1,140	0,668	0,941	0,897	0,932	1,565	1,184	0,895
80	0,898	0,843	1,309	0,770	1,085	1,036	1,077	1,799	1,365	1,028
90	1,018	0,956	1,482	0,872	1,229	1,168	1,221	2,033	1,545	1,165
100	1,138	1,071	1,654	0,974	1,376	1,306	1,365	2,276	1,728	1,304
110	1,258	1,185	1,822	1,077	1,526	1,452	1,509	2,530	1,914	1,442
120	1,378	1,299	1,996	1,185	1,669	1,596	1,653	2,775	2,094	1,580
130	1,502	1,413	2,170	1,289	1,818	1,735	1,801	3,026	2,282	1,718
140	1,629	1,529	2,344	1,392	1,969	1,874	1,952	3,279	2,474	1,856
150	1,756	1,650	2,519	1,501	2,119	2,019	2,102	3,531	2,660	1,994
160	1,887	1,770	2,698	1,609	2,275	2,163	2,252	3,783	2,851	2,138
170	2,017	1,890	2,876	1,720	2,428	2,304	2,402	4,038	3,044	2,282
180	2,144	2,010	3,050	1,834	2,578	2,442	2,552	4,297	3,236	2,425
190	2,283	2,130	3,231	1,942	2,735	2,587	2,702	4,555	3,428	2,562
200	2,417	2,245	3,411	2,054	2,896	2,731	2,857	4,818	3,625	2,705
210	2,550	2,365	3,591	2,169	3,056	2,877	3,014	5,083	3,823	2,850
220	2,689	2,500	3,771	2,283	3,212	3,028	3,170	5,347	4,022	2,995
230	2,827	2,626	3,951	2,397	3,374	3,172	3,326	5,611	4,226	3,144
240	2,965	2,751	4,131	2,515	3,540	3,319	3,482	5,878	4,430	3,291
250	3,108	2,877	4,312	2,636	3,707	3,469	3,638	6,149	4,634	3,436
260	3,241	3,003	4,499	2,756	3,869	3,612	3,794	6,419	4,838	3,587

I. táblázat folytatása

Hőfok	Szén- acélok	Cr Mo acélok	Auszte- nites rn. acél	Ferrites rn. acél	Monel 400	Inconel 600	25 Cr 20 Ni	Alumínium	Réz ötvezetek	Kovácsoltvas
(°C)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)	(mm/m)
270	3,384	3,135	4,680	2,876	4,036	3,761	3,955	6,694	5,048	3,737
280	3,529	3,267	4,862	2,996	4,205	3,912	4,118	6,971	5,256	3,889
290	3,674	3,399	5,049	3,117	4,373	4,061	4,280	7,248	5,460	4,046
300	3,824	3,531	5,235	3,243	4,541	4,205	4,442	7,530	5,670	4,195
310	3,975	3,667	5,421	3,369	4,713	4,352	4,608	7,813	5,884	4,349
320	4,125	3,805	5,609	3,493	4,888	4,507	4,775	8,089	6,101	4,506
330	4,275	3,936	5,801	3,613	5,062	4,670	4,936		6,317	4,662
340	4,430	4,068	5,988	3,738	5,236	4,822	5,103		6,533	4,818
350	4,584	4,203	6,173	3,865	5,412	4,973	5,272		6,752	4,974
360	4,734	4,342	6,360	3,991	5,594	5,130	5,440		6,975	5,131
370	4,890	4,480	6,553	4,117	5,774	5,286	5,608		7,197	5,293
380	5,051	4,622	6,745	4,247	5,954	5,442	5,781		7,419	5,451
390	5,214	4,767	6,939	4,378	6,134	5,598	5,956		7,643	5,608
400	5,376	4,911	7,137	4,504	6,314	5,754	6,130		7,872	5,771
410	5,538	5,055	7,330	4,635	6,494	5,910	6,304		8,100	5,927
420	5,700	5,199	7,524	4,768	6,677	6,066	6,478		8,331	6,086
430	5,862	5,343	7,723	4,900	6,864	6,224	6,652		8,566	6,250
440	6,024	5,487	7,921	5,032	7,050	6,394	6,826		8,800	6,419
450	6,191	5,631	8,119	5,164	7,241	6,567	7,004		9,034	6,587
460	6,360	5,775	8,317	5,298	7,434	6,739	7,183		9,268	6,757
470	6,528	5,920	8,515	5,437	7,626	6,906	7,356		9,481	6,932
480	6,696	6,070	8,713	5,569	7,818	7,074	7,536		9,743	7,106
490	6,860	6,220	8,915	5,704	8,010	7,246	7,713		9,987	7,273
500	7,021	6,369	9,120	5,841	8,203	7,420	7,886		10,233	7,434
510	7,183	6,512	9,324	5,972	8,402	7,587	8,060		10,472	7,603
520	7,345	6,661	9,528	6,110	8,595	7,760	8,235		10,717	7,766
530	7,507	6,812	9,732	6,248	8,788	7,932	8,418		10,964	7,930
540	7,671	6,961	9,936	6,386	8,988	8,100	8,591		11,210	8,122
550	7,845	7,105	10,140	6,518	9,192	8,274	8,771		11,456	8,274
560	8,016	7,252	10,344	6,653	9,393	8,444	8,948		11,706	
570	8,184	7,403	10,548	6,792	9,592	8,613	9,121		11,957	
580	8,359	7,553	10,752	6,930	9,797	8,788	9,295		12,203	
590	8,533	7,703	10,956	7,068	10,001	8,956	9,469		12,459	
600	8,698	7,851	11,160	7,203	10,205	9,127	9,646		12,719	
610	8,853	7,992	11,364	7,334	10,409	9,302	9,827		12,977	
620	9,015	8,130	11,568	7,466	10,613	9,476	10,007		13,235	
630	9,177	8,272	11,777	7,598	10,821	9,645	10,182		13,497	
640	9,337	8,417	11,983	7,730	11,032	9,814	10,358		13,762	
650	9,493	8,562	12,180	7,863	11,242	9,990	10,538		14,026	
660	9,660	8,717	12,389	8,000	11,458	10,181	10,713			
670	9,829	8,878	12,594	8,139	11,671	10,372	10,886			
680	9,997	9,041	12,791	8,277	11,881	10,558	11,059			
690	10,165	9,203	12,996	8,415	12,098	10,751	11,226			
700	10,333	9,360	13,200	8,553	12,314	10,943	11,399			
710	10,501	9,510	13,404	8,688	12,530	11,135	11,576			
720	10,669	9,653	13,608	8,820	12,746	11,326	11,756			
730	10,837	9,803	13,812	8,958	12,962	11,513	11,930			
740	11,005	9,953	14,016	9,096	13,178	11,702	12,107			
750	11,173	10,103	14,220	9,233	13,394	11,895	12,289			
760	11,341	10,253	14,424	9,364	13,610	12,087	12,469			
770						12,274				
780						12,461				
790						12,654				
800						12,839				

A táblázat tájékoztató jellegű, nem jelenti azt, hogy a feltüntetett hőmérsékletig ezek az anyagok felhasználhatóak lennének!





2. diagram az A 35-ös minőségű anyagok hőtágulásértékének (H) meghatározására a csőhossz (L) függvényében

ÉLETTARTAM

Élettartam teljes kettős löketeknél

A többrétegű hullámlemez kompenzátorok élettartamát névleges nyomáson, a táblázatokban szereplő névleges löketnagyság mellett 1000 vagy 5000 kettős löketben adják meg a gyártók.

Kettős löket alatt a kompenzátor teljes, névleges lökettartományára kiterjedő egy oda-vissza elmozdulást értünk, hasonlóan a hullámmozgás egy periódusához. A táblázatokban megadott löketértékek 120 °C-os üzemi hőmérsékletig alkalmazhatóak. Ettől eltérő (nagyobb) hőmérsékletek esetében korrekciós számításokat kell végezni. Hasonlóan korrekciós számításokat kell végezni, mert az üzemi nyomás értéke nem érheti el a kompenzátorra megengedhető maximális üzemi nyomás értékét.

A kompenzátorok élettartamára kihatással van a hullámtest anyaga is. Ennek figyelembevétele a korrekciós számításoknál úgy történik, hogy az anyagminőségnek megfelelő korrekciós görbéről olvassuk le a korrekciós tényező értékét. A kompenzátorok rugóstege többnyire AISI 304-es minőségű anyagból készül, az ASTM (USA szabvány) jelölése szerint (Lásd a 2. táblázatot a Nemzetközi Szabványok összehasonlításáról, illetve a 3. táblázatot a DIN jelölés szerinti anyagok %-os összetételéről.)

Ha például a típustáblázatokban szereplő löket értékét csak 50%-ig használjuk ki, akkor az élettartam kb. 18 000 löketre növekszik. 110%-os kihasználásnál (10%-os túlterhelés) viszont ~650-re csökken le az 1000 névleges löket.

Megjegyzés: A 4. diagram azonos a 3. diagrammal, pusztán formai különbség van köztük a koordinát tengelyek osztásának különbözősége miatt.

Nemzetközi szabványok összehasonlítása

2. táblázat

NSZK		USA		Magyarország		Olaszország		Szovjetunió	
Anyag szám	DIN	Jel	ASTM	Jel	MSZ	Jel	UNI	Jel	GOSZT
1.0042	RSt 42-2	2	A 252	45C	6280	FE 42B	5335	WSt 4ps 2*3	380
1.0305	St 35.8	A	A 106,179 A 192, A 53	A 35K	29	FE 3-2	663	10	8731
1.0425	H11 (14Mn2)	C D A	A 285 A 414 A 662	KL 2	1741	FE 42/1	5869	16 K 20 K	5520
1.5415	15 Mo 3			KL 8	1741				
1.7728	16 CrMoV 4								
1.7335	13 CrMo 44	T12 P12	A 213 A 335			14 CrMo3	5462	15ChM 15ChM	4543 MRTU
1.7380	10 CrMo 910	T22 P22	A 213 A 335			12 CrMo 910	5462		
1.7733	24 CrMoV 55			M CrMoV*	1745				
1.4306	X2CrNi189	304L	AISI	KO41	4360	X2CrNi1811	4047	03Ch18N11	
1.4404	X2CrNiMo1810	316L	AISI	KO38	4360	X2CrNiMo 1712	4047		
1.4435	X2CrNiMo1812	317L	AISI	KO42*	4360	X2CrNiMo 1713 X2CrNiMo 1816	4047 4047	03Ch17N14M2	
1.4541	X10CrNiTi189	321	AISI	KO36*	4360	X6CrNiTi 1811	4047	Ch18N10T-WD	
1.4580	X10CrNiMoNb1810	316Cb	AISI	KO43*	4360	X6CrNiMoNb 1712	4047	08Ch16N13M2B	
1.4550	X10CrNiMoNb189	347	AISI	KO34*	4360	X8CrNiNb 1811	4047	08Ch18N12B	
1.4571	X10CrNiMoTi1810	316Ti	AISI	KO35	4360	X6CrNiMoTi 1712	4047	10Ch17N13M2T	
1.4828	X15CrNiSi2012	309				X16CrNi2314			
1.4878	X12CrNiTi189	348							
1.4948	X6CrNi1811								
1.4961	X8CrNiNb1613								
1.4980	X5CrNiTi1526	660							
1.4981	X8CrNiMoNi1616								
Inc. 825	X10NiCrMoCu4221								

*-gal jelölt minőségek csak közelebbről azonosnak tekinthetők.

DIN anyag szám	DIN jelölés	Ötvöző anyag (%)										R _e O.2 (daN/mm ²)		
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Egyéb	20 °C	400°C	600°C
1.0042	RSt 42-2	0,25	0,35	0,45	0,05	0,05						25		
1.0305	St 35.8	0,17	0,35	0,45	0,05	0,05						24	11	
1.0425	HII(14Mn2)	0,20	0,35	0,45	0,05	0,05						25	12	
1.5415	15 Mo3	0,15	0,25	0,65	0,04	0,04		0,30				27	17	
1.7728	16 CrMoV4	0,16	0,30	0,70	0,035	0,035	1,00	0,25				40	27	
	70											56		
1.7335	13 CrMo44	0,13	0,25	0,55	0,04	0,04	0,85	0,45				29	21	
1.7380	10 CrMo910	0,10	0,25	0,50	0,035	0,035	2,25	1,00				27	21	
1.7733	24 CrMoV55	0,25	0,25	0,65	0,035	0,035	1,30	0,55		0,15		60	45	
1.4306	X2CrNi189	0,03	1,00	2,00			18,00		9,0			18	9	
1.4404	X2CrNiMo1810	0,03	1,00	2,00			17,5	2,25	11,0			20	12	
1.4435	X2CrNiMo1812	0,03	1,00	2,00			17,5	2,75	13,5			20	12	
1.4541	X10CrNiTi189	0,10	1,00	2,00			18,0		10,0		Ti > 5xC	21	13	
1.4550	X10CrNiNb189	0,10	1,00	2,00			18,0		10,0		Nb > 8xC	21	13	
1.4571	X10CrNiMoTi1810	0,10	1,00	2,00			17,5	2,25	11,5		Ti > 5xC	23	14	
1.4580	X10CrNiMoNb1810	0,10	1,00	2,00			17,5	2,25	11,5		Nb > 8xC	23	14	
1.4828	X5CrNiSi2012	0,20	2,00	2,00	0,045	0,03	20,0		12,0					10
1.4878	X12CrNiTi189	0,15	1,00	2,00			18,0		10,0			25		10
1.4948	X6CrNi1811	0,06	0,75	2,00	0,045	0,03	18,0		11,0			14	10	6,5
1.4961	X8CrNiNb1613	0,06					17,0		13,0		Nb > 10xC	20	18	11
1.4980	X5CrNiTi1526	0,06					15,0	1,30	25,5	0,30	Ti=2,10	65	61	19
1.4981	X8CrNiMoNb1616	0,06					17,0	2,00	17,0		Nb > 10xC	22	20	14
Inc.825	X10NiCrMoCu4221	0,05	0,5	1,00		0,03	21,5	3,00	42,			28	21	20

A 4. táblázat az élettartam változását mutatja, részben a névleges löket, részben pedig a névleges nyomás %-os igénybevétele mellett.

1. példa:

Egy fűtőhálózatban hetente egy felfűtést feltételezve a kompenzátor hetente végez egy löketet. Ez egy évben 52 löketet jelent. Az 1000 löketes élettartam kb. 20 éves zavarmentes működést enged meg.

Élettartam számítás részlöketek esetén

A gyakorlatban a csövek igénybevétele nem csak teljes löketekből adódik. Egy üzemidőn belül több részlöklet is előfordulhat, melyeket a teljes löket %-ban fejezünk ki.

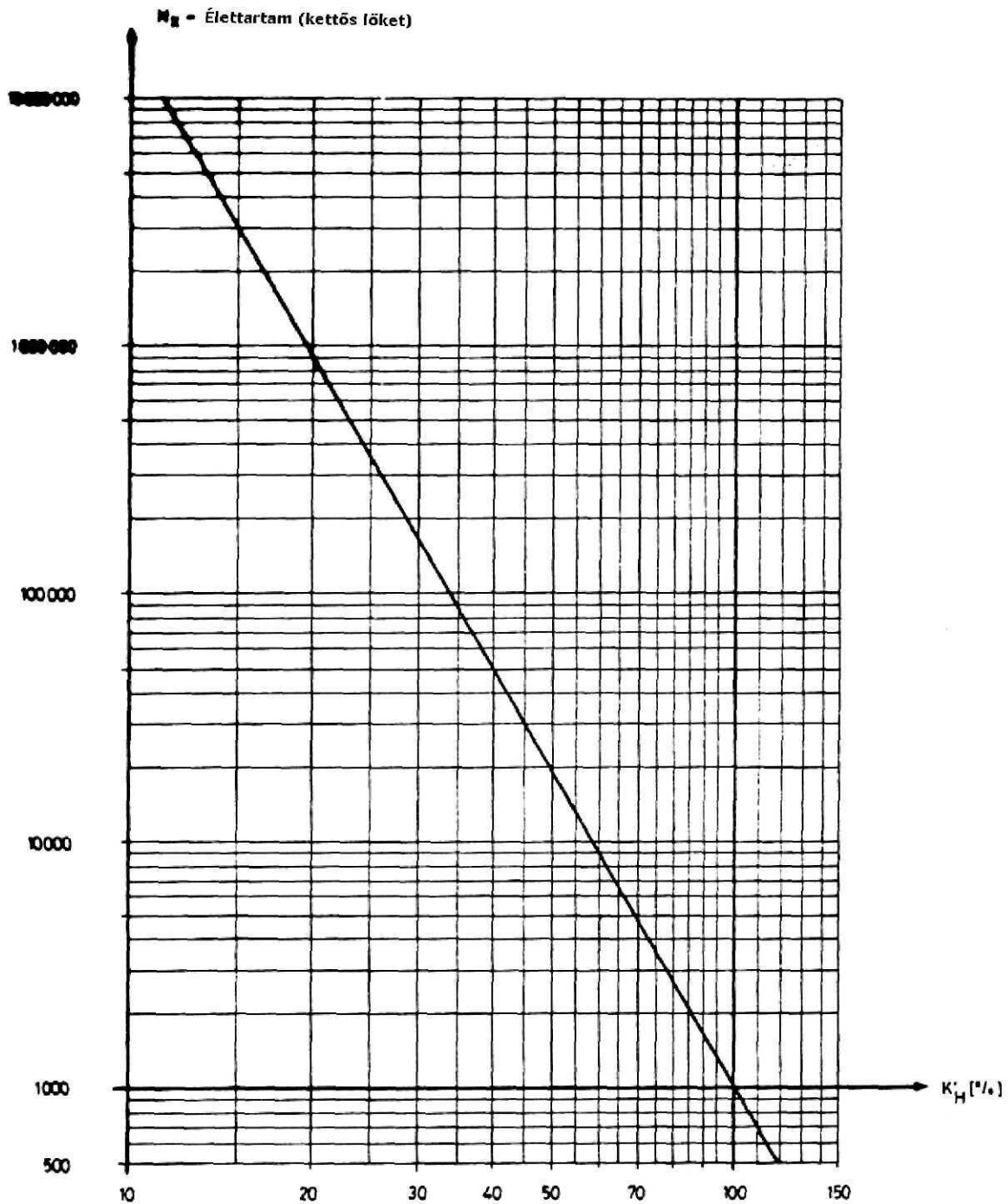
A számítás alapja annak meghatározása, hogy az adott nagyságú és számú részlöklet hány teljes kettős lökethez felel meg. Ezek összegéből az élettartam meghatározható (pl. a 3. diagram segítségével vagy a következőkben ismertetett számítással).

Élettartam

4. táblázat

Élettartam (teljes, kettős löklet)	K _D - nyomáskihasználtsági fok (%)					
	100	80	60	40	20	0
120	350	400	450	500	550	650
110	650	720	800	870	940	1 000
100	1 000	1 100	1 200	1 400	1 600	1 800
90	1 500	1 700	2 000	2 300	2 600	3 000
80	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 500
70	4 000	5 000	6 000	7 500	9 000	11 000
60	8 000	10 000	13 000	16 000	20 000	25 000
50	16 000	20 000	30 000	40 000	55 000	75 000
40	35 000	55 000	80 000	1,2 · 10 ⁵	1,8 · 10 ⁵	2,5 · 10 ⁵
30	10 ⁵	1,5 · 10 ⁵	2,5 · 10 ⁵	5 · 10 ⁵	8 · 10 ⁵	1,5 · 10 ⁶
20	3 · 10 ⁵	6 · 10 ⁵	1,3 · 10 ⁶	3 · 10 ⁶	6 · 10 ⁶	1,2 · 10 ⁷
10	8 · 10 ⁵	3 · 10 ⁶	10 ⁷	3 · 10 ⁷	10 ⁸	3 · 10 ⁸
5	1,5 · 10 ⁶	7 · 10 ⁶	3,5 · 10 ⁷	1,5 · 10 ⁸	10 ⁹	6 · 10 ⁹

A kompenzátor várható élettartama a K_D - nyomáskihasználtság és a K_H - lökethasználat függvényében.



3. diagram Élettartam (N_x) diagram: a %-os löketkihasználás (K_H) függvényében elérhető kompenzátor élettartam meghatározására

Élettartam egy részlökethöz

A névleges élettartam $N_n = 1000$ teljes löket. Ha ismert a részlökethöz a névleges lökethez viszonyított %-os nagysága (Δx), akkor a kompenzátor várható élettartama (N_x) a következő képlet segítségével meghatározható:

$$N_x = N_n \cdot \left(\frac{\Delta n}{\Delta x}\right)^a,$$

ahol:

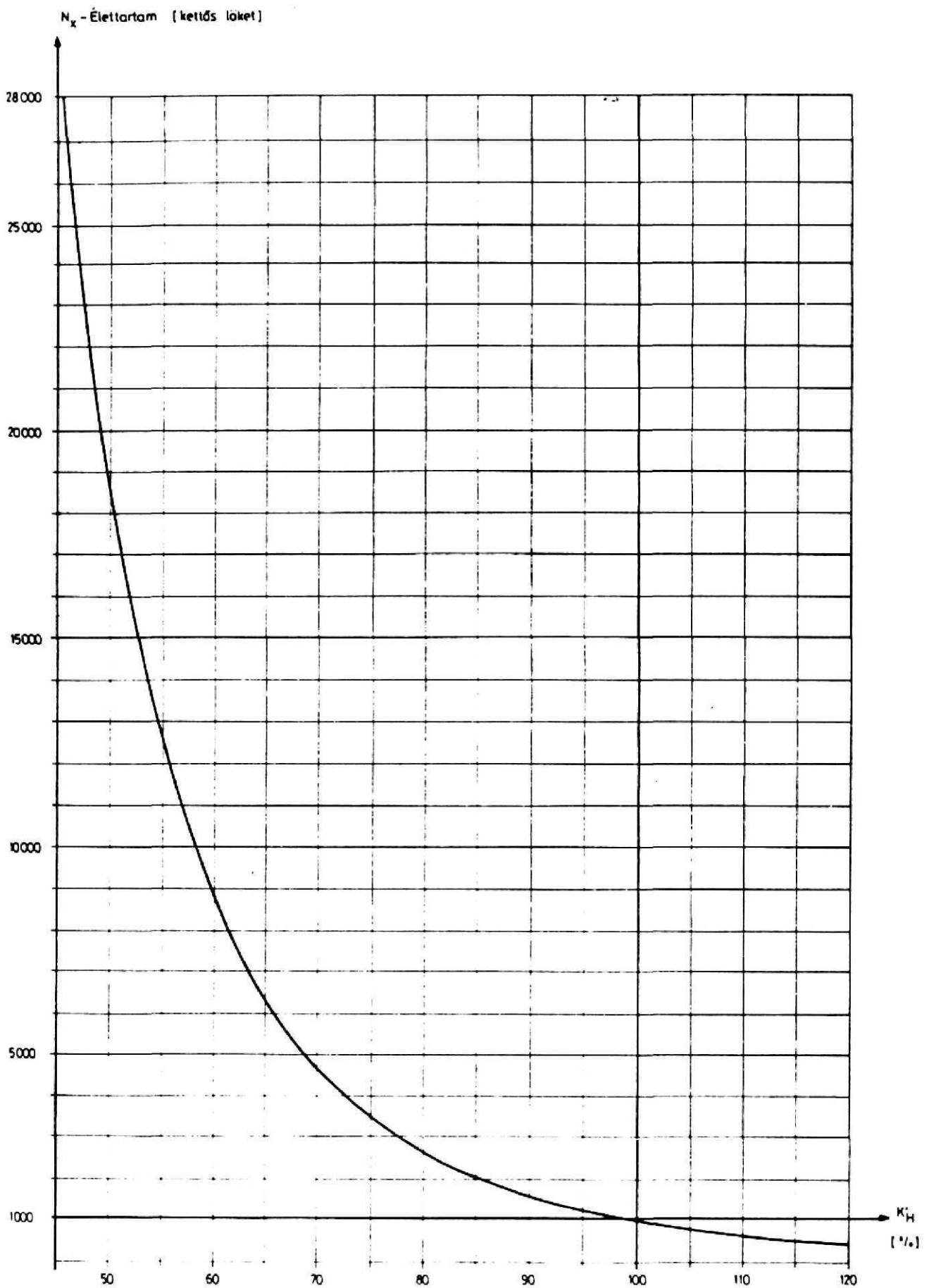
N_x – a kompenzátor várható élettartama (teljes, kettős löketben),

N_n – a névleges élettartam (többnyire $N_n = 1000$ teljes, kettős löket).

Δ_n – a névleges élettartamnál a teljes lökethöz viszonyított %-os nagysága,

Δ_x – a részlökethöz a névleges lökethez viszonyított %-os nagysága,

$a = 4,17$ – exponenciális kitevő.



4. diagram

Élettartam több részlökethetnél

Ha a kompenzátort különböző nagyságú és számú részlöketek veszik igénybe, a számítás menete a következő:

- először kiszámítjuk az egyes részlöketeknél egyedileg elérhető elméleti élettartamot;
- a részlöketekeket átszámítjuk azokkal egyenértékű teljes lökethekre;
- majd az átszámított, egyenértékű összegzésével megállapítható a kompenzátor kihasználtsága és élettartama.

A kompenzátor kihasználtságának meghatározására szolgáló képlet:

$$U = \frac{n}{N},$$

ahol:

U – kihasználtsági fok,

n – a ténylegesen fellépő ciklusok (löketek) száma,

N – az elméleti élettartam.

Különböző részlöketekeknél azonos kihasználtságot feltételezve igaz, hogy:

$$U_1 = U_2,$$

azaz:

$$\frac{n_1}{N_1} = \frac{n_2}{N_2}.$$

Ha az egyik állapot a teljes lökethek, a másik pedig a részlökethek felel meg, úgy e képlet alapján a részlöketheknek megfelelő teljes lökethek száma meghatározható:

$$U_t = U_x,$$

így:

$$\frac{n_t}{N_t} = \frac{n_x}{N_x},$$

ahol:

U_t – kihasználtsági fok teljes terhelésnél,

U_x – kihasználtsági fok részterhelésnél,

n_t – a részlöketheknek megfelelő teljes lökethek száma,

n_x – a ténylegesen fellépő részlökethek száma,

N_x – a részlöketheken elérhető élettartam,

N_t – a teljes löketheken elérhető élettartam.

„ k ” számú, eltérő nagyságú részlökethek átszámítása teljes lökethekké:

$$U_t = \sum_{i=1}^k U_i = U_1 + U_2 + \dots + U_{k-1} + U_k \leq 1.$$

vagy:

$$U_t = \sum_{i=1}^k U_i = \frac{n_{x_1}}{N_{x_1}} + \frac{n_{x_2}}{N_{x_2}} + \dots + \frac{n_{x_{k-1}}}{N_{x_{k-1}}} + \frac{n_{x_k}}{N_{x_k}} < 1$$

2. példa:

Különböző nagyságú és ciklusszámú részlöketekeknél elérhető élettartam meghatározására.

Adottak:

- A kompenzátor névleges élettartama:

$$N_n = 1000 \text{ teljes, kettős löket,}$$

ha a lökethek kihasználtsága: $\Delta n = 100\%$.

- A ténylegesen fellépő részlökethek ciklusszáma:

$$n_{x_1} = 100;$$

$$n_{x_2} = 9000;$$

$$n_{x_3} = 200\,000.$$

- A részlökethek %-os nagysága a névleges lökethez képest:

$$\Delta_{x_1} = 100\%;$$

$$\Delta_{x_2} = 50\%;$$

$$\Delta_{x_3} = 20\%.$$

Keresett:

- Élettartam az egyes részlökethekénél.
- A részlökethek átszámítása teljes lökethekre.
- A lökethek átszámítás ellenőrzése.
- Várható élettartam meghatározása.

Élettartam az egyes részlökethekénél

$$N_x = N_n \left(\frac{\Delta n}{\Delta x} \right)^a,$$

ahol:

$N_n = 1000$ teljes, kettős löket

$\Delta n = 100\%$

$a = 4,17$ – exponenciális kitevő,

így:

$$N_x = 1000 \cdot \left(\frac{100}{\Delta x} \right)^{4,17};$$

$$N_{x_1} = 1000 \cdot \left(\frac{100}{100} \right)^{4,17} = 1000 \text{ kettős löket;}$$

$$N_{x_2} = 1000 \cdot \left(\frac{100}{50} \right)^{4,17} = 18\,001 \text{ kettős löket;}$$

$$N_{x_3} = 1000 \cdot \left(\frac{100}{20} \right)^{4,17} = 821\,684 \text{ kettős löket.}$$

A kettős lökethek átszámítása teljes, kettős lökethekre

$$\frac{n_t}{N_t} = \frac{n_x}{N_x},$$

$$n_t = N_t \cdot \frac{n_x}{N_x},$$

$N_t = N_n = 1000$ teljes, kettős löket,

így:

$$n_t = 1000 \cdot \frac{n_x}{N_x};$$

$$n_{t_1} = 1000 \cdot \frac{100}{1000} = 100 \text{ teljes, kettős löket;}$$

$$n_{t_2} = 1000 \cdot \frac{9000}{18001} = 500 \text{ teljes, kettős löket;}$$

$$n_{t_3} = 1000 \cdot \frac{200\,000}{821\,684} = 243 \text{ teljes, kettős löket.}$$

A lökethek átszámítás ellenőrzése

$$U_t = \sum_{i=1}^3 U_i = \frac{n_{x_1}}{N_{x_1}} + \frac{n_{x_2}}{N_{x_2}} + \frac{n_{x_3}}{N_{x_3}}.$$

$$\text{Igy: } U_1 = \frac{100}{1000} \cdot \frac{9000}{18001} \cdot \frac{200000}{821684} = 0,843 < 1,$$

vagy másképpen számolva:

$$U_1 = \frac{\sum_{i=1}^3 n_{t_i}}{N_t} = \frac{n_{t_1}}{N_t} + \frac{n_{t_2}}{N_t} + \frac{n_{t_3}}{N_t};$$

$$U_1 = \frac{100}{1000} + \frac{500}{1000} + \frac{243}{1000} = 0,843 < 1.$$

A részloketekkel terhelt kompenzátor várható élettartama

$$N_N = N_n \cdot \left(\frac{\Delta n}{\Delta x} \right)^a;$$

Példánkban:

$N_n = 1000$ teljes, kettős löket

$\Delta n = 100\%$

$\Delta x = U_1 = 0,843 = 84,3\%$

$a = 4,17$

$$N_N = 1000 \cdot \left(\frac{100}{84,3} \right)^{4,17} = \underline{\underline{2038}} \text{ teljes, kettős löket.}$$

KORREKCIÓS SZÁMÍTÁSOK

A többrétegű hullámlemez kompenzátorok az 1000 löketes élettartamot 120 °C-on biztosítják. A 120 °C feletti hőmérsékleteknél a löketfeltevő képességre vonatkozóan korrekciós számításokat kell alkalmazni.

A névleges nyomáshoz képest megengedhető maximális üzemi nyomást is számítani kell.

E számításokat példákön mutatjuk be. Példánkban kompenzátor kiválasztás is szerepel. A függelékben, fajta és méret szerint azokat a kompenzátorokat szerepeltetjük, amelyeknek a hazai gyártása a ~~svájci BOA cég know-how-ja~~ alapján a ~~DUTÉP (BÁCSÉP)-nél~~ megteremtődött.

Nyomáskorrekció

3. példa:

$N_A = 1000$ mm

$p_{üz} = 15 \text{ bar} = 1,5 \text{ MPa}$

$t_{üz} = 300 \text{ °C}$

Anyagminőség: AISI 304

$p_N = \text{MPa}$

Az 5. diagram segítségével a nyomáskorrekciós tényező meghatározható:

$$K_D = 74,2\%$$

A minimálisan szükséges névleges nyomás:

$$p_{N \text{ min}} = \frac{p_{üz} \cdot 100}{K_D} = \frac{1,5 \cdot 100}{74,2} = 2,2 \text{ MPa}$$

Igy a $p_N = 2,5 \text{ MPa}$ névleges nyomásfokozatú kompenzátor kiválasztható a típus táblázatból: Axial kompenzátor, W 6025, NA 100, NNY 2,5 (lásd függelék).

A kiválasztott axiál kompenzátor maximálisan megengedhető üzemi nyomása:

$$p_{ü, \text{ meg}} = \frac{p_N \cdot K_D}{100} = \frac{2,5 \cdot 74,2}{100} = 1,855 \text{ MPa.}$$

A nyomáskihasználtság százalékos értéke:

$$K_D^* = \frac{p_{üz} \cdot 100}{p_{ü, \text{ meg}}} = \frac{1,5 \cdot 100}{1,855} = 80,8\%.$$

Löketkorrekció

A csőszakasz hőtágulásából adódó löket:

$$H = \pm 21,5 \text{ mm (felvéve).}$$

A 6. löketkorrekciós diagramból: $K_H = 89,3\%$.

A löketkorrekciós tényező figyelembevételével a kompenzátor minimálisan szükséges lökete:

$$H_{n, \text{ min}} = \frac{H \cdot 100}{K_H} = \frac{\pm 21,5 \cdot 100}{89,3} = \pm 24,1 \text{ mm.}$$

A típus táblázatból kiválasztott W-6025 axiál kompenzátor névleges lökete $H_N = \pm 30 \text{ mm}$.

A $t_{ü} = 300 \text{ °C}$ üzemi hőmérséklet miatt a maximálisan megengedhető üzemi löket nagysága:

$$H_{ü, \text{ meg}} = \frac{K_H \cdot H_N}{100} = \frac{89,3 \cdot (\pm 30)}{100} = \pm 26,8 \text{ mm.}$$

A megengedhető löket %-os kihasználtsági foka:

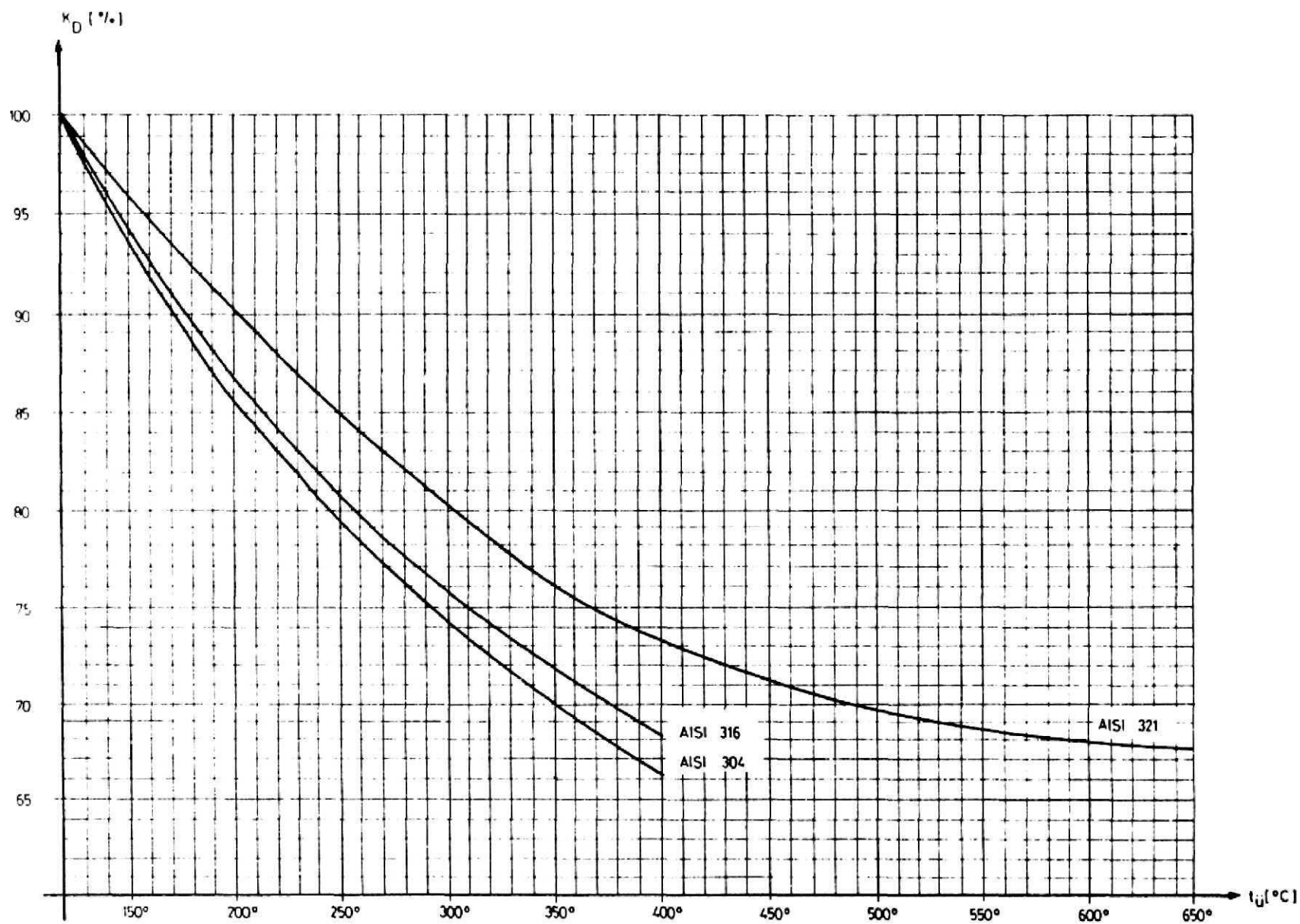
$$K_H^* = \frac{H \cdot 100}{H_{ü, \text{ meg}}} = \frac{21,5 \cdot 100}{26,8} = 80,2\%.$$

A kompenzátor tényleges élettartama

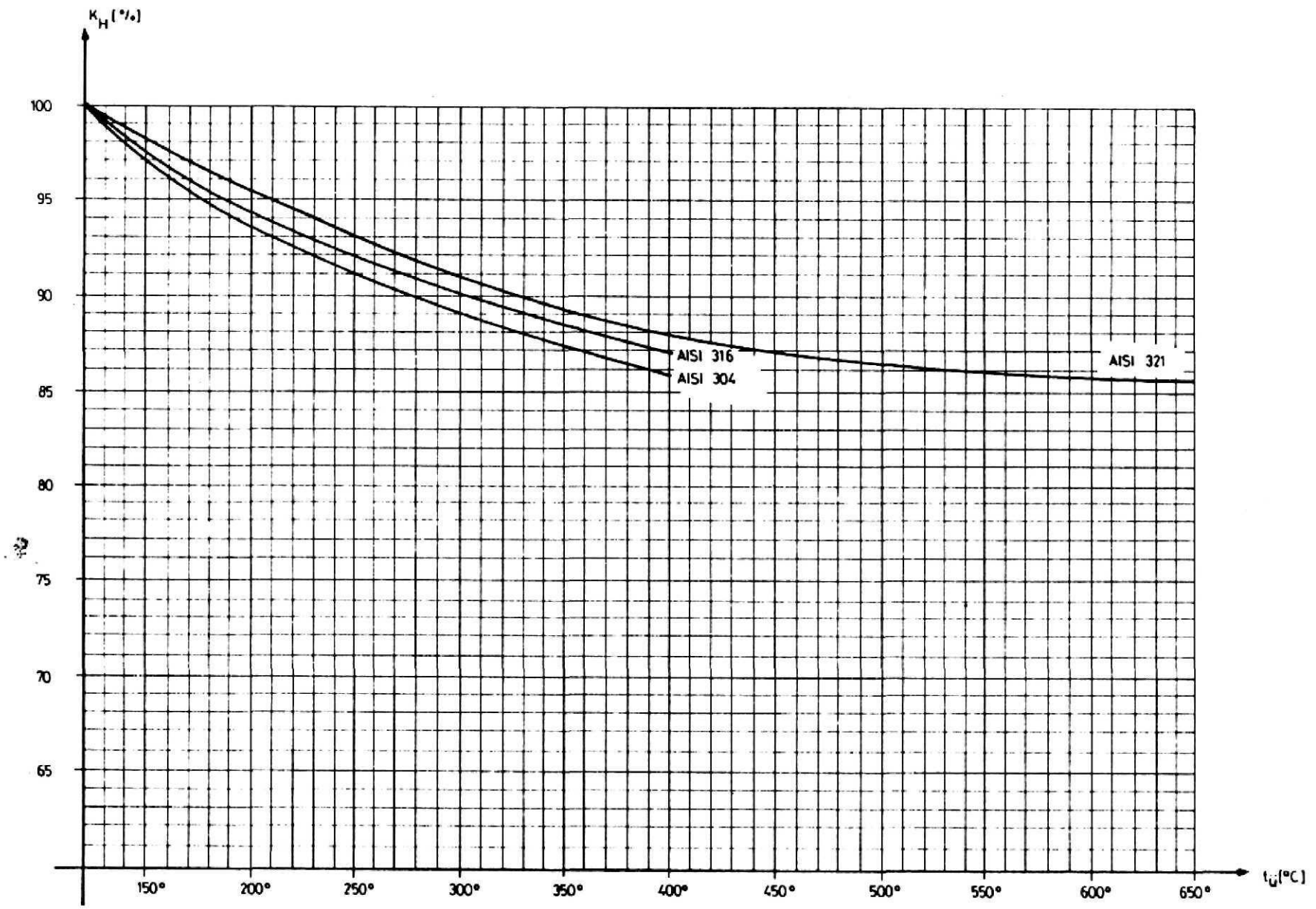
A nyomás és a löket kb. 80–80%-os kihasználtsági foka mellett a 4. táblázatból kikereshető, hogy a tényleges élettartam kb. 3000 löketre nő a névleges lökethez képest.

KOMPENZÁTOROK ELŐFESZÍTÉSE

A kompenzátorok nyugalmi (egyensúlyi) állapotukhoz képest pozitív és negatív elmozdulást végezhetnek – axiál kompenzátoroknál a hossz tengely irányában, angulár kompenzátoroknál szögelfordulással – a táblázatokban megadott mértékben. Ha egy axiálkompenzátort pl. +5 °C-on szerelünk be terheletlen állapotban TL_0 gyártási hosszban, és az üzemi hőmérséklet 150 °C lesz, akkor könnyen belátható, hogy a 145 °C-ból adódó hőtágulást kell felvenni a kompenzátor negatív löketének. Ezzel szemben a pozitív löket (a kompenzátor kihúzása) csak nagyon ritkán (esetleg soha) sem lesz kihasználva.

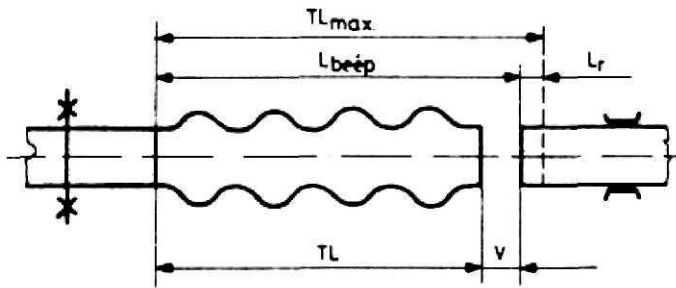


5. diagram Diagram a K_D nyomáskorrekciós tényező meghatározására az üzemi hőmérséklet függvényében



6. diagram Diagram a K_H löketkorrekciós tényező meghatározásához az üzemi hőmérséklet függvényében

A kompenzátorok méretezésénél ezért célszerű, a költségkímélés miatt, az egész lökettel gazdálkodni. Pl. egy ± 45 mm löketű axiál kompenzátort 90 mm löketűnek venni. Ha a várható legkisebb hőmérséklet -15 °C és a legnagyobb 185 °C, akkor a 90 mm-es löket a 200 °C-os tartományban úgy működik gazdaságosan, ha a beépítéskor mért hőmérsékletnek megfelelően előfeszítjük (21. ábra).



21. ábra

4. példa: Axiál kompenzátor előfeszítés számítás

Adott:

- NA 200, NNY 25; választott típus W-9025.
- Élettartam $H = \pm 57$ mm esetén 1000 löket.
- $TL_0 = 559$ mm (szabad hossz, azaz gyártási hossz).
- $TL_{max} = 616$ mm.
- $TL_{min} = 502$ mm.
- $L_r = 12$ mm – csőszakasz megnyúlása minimális hőmérséklet-ről a beépítési hőmérsékletre (felvéve).

Kompenzátor beépítési hossza:

$$L_{beép} = TL_{max} - L_r = 616 - 12 = 604 \text{ mm.}$$

Az előfeszítés értéke így:

$$V = L_{beép} - TL_0 = 604 - 559 = 45 \text{ mm.}$$

Az előfeszítés erőszükséglete ha, $c_r = 426$ N/mm:

$$F = V \cdot c_r = 45 \cdot 426 = 19170 = 19,17 \text{ kN.}$$

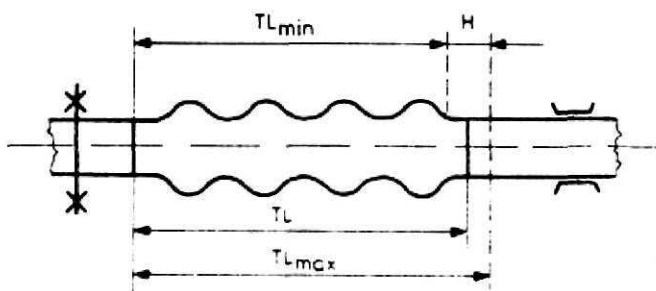
$$L_{beép} = TL + V.$$

$$V = L_{beép} - TL_0.$$

vagy: $V = H_t - L_r;$

ha: $H_t = \frac{H}{2}.$

$$V = \frac{H}{2} - L_r.$$



22. ábra

Megjegyzés: Gyakorlati beépítéskor úgy célszerű az előfeszítést megvalósítani, hogy a csőszakasz egyik végéhez a kompenzátort hozzá kell hegeszteni, majd a kompenzátor másik végétől V (előfeszítési) távolságot üresen hagyva folytatni a vezeték fektetését. A telepítés befejezése után a kompenzátor szabad végét egy készülékkel hozzá kell húzatni a szabad csővéghez és ahhoz hozzá hegeszteni.

FIXPONTI ERŐK

A geometriai elrendezés és az előfeszítés meghatározása után a további számítások célja a fixpont terhelések meghatározása. A kompenzátorok üzemi körülmények között, elmozdulás közben erővel hatnak a csővezetékre, amely erőket a kompenzálendő csőszakaszok végeinél kialakított fixpontok (fix megfogások) veszik fel.

A fixpontokra az alábbi erők hatnak:

- a kompenzátor összenyomásához (axiál kompenzátornál) vagy szögelfordulásához (angulár) szükséges erők;
- a kompenzátorokban a nyomás hatására keletkező feszítő erők és surlódó nyomtértek;
- a hőtágulás következtében elmozduló csővezeték mozgását akadályozó surlódó erő;
- valamint az áramló közeg csőívекnél kifejtett centrifugális ereje.

A következőkben ezeknek az erőkomponenseknek számítási módjait mutatjuk be. A konkrét feladatnak megfelelően ezeknek az erőknek algebrai, vagy geometriai összege terheli a fixpontokat. A gyakorlatban egyes erőket – a feladattól függően – el kell hagyni, ha ezek léte a konstrukcióból és a nyomvonalvezetéséből következően kizárt. Ezt azonban minden esetben a tervező feladata eldönteni.

Nyomásból származó reakcióerő

A húzóúddal, illetve hevederrel nem rendelkező axiál (és univerzál) kompenzátoroknál a nyomásból származó reakcióerő:

$$F_p = p_{ü} \cdot A_h.$$

ahol:

$p_{ü}$ az üzemi nyomás,

A_h pedig a kompenzátor ügynvezetett hatásos felülete.

Megjegyzés: A hatásos felületet a gyártók típus-táblázataikban megadják – amely a hullámtest közepes átmérőjéből számolható teljes keresztmetszetet jelenti.

Ha a gyártó a hullámtest belső oldalához tartozó legkisebb (d_1) és legnagyobb (d_2) átmérőt adja meg, a hatásos felület a következőképpen számolható:

$$A_h = \frac{\pi}{16} \cdot (d_1 + d_2)^2$$

Az így számolható reakcióerő csak végfixpontok, elzáró szerelvények, készülékek mellett elhelyezett kompenzátorok esetében ad valós értéket. A közbülső fixpontokra ennél az erőnél jóval kisebb erő hat. Számítási módja a következő:

$$F_p = p_{\ddot{u}} (A_h - A_{cs\ddot{o}})$$

ahol:

$$A_{cs\ddot{o}} = \frac{d_0^2 \pi}{4}$$

itt: d_0 – a cső tényleges, szabad belső átmérője.

Sajátellenállás vagy rugóerő

Axiál (és univerzál) kompenzátorok alkalmazásakor:

$$F_x = c_x \cdot \frac{H}{2}$$

ahol:

c_x – a kompenzátor hullámtestének axiális rugóállandója,

$\frac{H}{2}$ – a csővezeték hőtágulásának fele, ha a kompenzátor + és – irányban azonos löketfelvevő képességgel rendelkezik, egyébként:

$$F_x = c_x \cdot H_{-} = c_x \cdot \frac{H}{2}$$

ahol:

H_{-} – a negatív irányú löket.

Csősúrlódás

$$F_f = \mu \cdot g \cdot L$$

ahol:

μ – csősúrlódási tényező a cső és az egyenesbevezető között

(görgős egyenesbevezetőnél: $\mu = 0,01 \dots 0,1$)
(csúszó egyenesbevezetőnél: $\mu = 0,2 \dots 0,8$)

g – a csővezeték fajlagos (méterenkénti) súlya, beleértve a cső, a szigetelés és az áramló közeg súlyát is!

L – a kompenzáló csőszakasz hossza.

Centrifugális erő

Csőíveknél, könyököknél, vonalelhajlásoknál lép fel. Számítási módja:

$$F_2 = \frac{A_h \cdot \gamma \cdot v^2}{50} \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

ahol:

A_h – a kompenzátor hatásos felülete (cm^2)

γ – az áramló közeg sűrűsége (N/cm^3)

v – az áramlási sebesség (m/s)

β – a csővezeték egyenestől való elhajlási szöge

Állítóerő

Laterál kompenzátoroknál a nyomásból származó reakcióerőt a húzórudak veszik fel. Ez az erő a nyomástól és a névleges átmérőtől függ – egy adott típusnál azonban csak a nyomástól. Ehhez járul hozzá a két hullámtest hajlításához szükséges oldalerő, amely egy adott típusnál csak az oldalkitérés (laterális löket) nagyságától függ. Így tehát az állító erő:

$$F_L = p_{\ddot{u}} \cdot f_r + c_y \cdot H$$

ahol:

$p_{\ddot{u}}$ – az üzemi nyomás,

f_r – fajlagos súrlódási erő MPa-onként,

c_y – laterális rugóállandó,

H – laterális löket + vagy – irányban.

Angulár kompenzátorok állító nyomatéka, kombinációk állító ereje

Az állító nyomaték számítása az angulár kompenzátoroknál hasonló módon történik, mint a laterál kompenzátorok esetében.

Az állító nyomaték számítása:

$$M = p_{\ddot{u}} \cdot m_r + c_{\alpha} \cdot \alpha$$

ahol:

M – az állító nyomaték egy angulár kompenzátoron

$p_{\ddot{u}}$ – üzemi nyomás

m_r – fajlagos súrlódási nyomaték MPa-onként

c_{α} – angulár - rugóállandó

α – szögelfordulás (anguláris löket) + vagy – irányban.

Az egyes angulár kompenzátorok állítónyomatékának ismeretében számolható az angulár kompenzátorokból álló kombináció állítóereje, amely a geometriai elrendezéstől függően más-

más módon történik. A két angulár kompenzátorból álló, úgynevezett laterál kombináció állítóereje pl:

$$F = \frac{M_1 + M_2}{X_1}$$

Mivel többnyire: $M_1 = M_2$,

így:

$$F = \frac{2 \cdot M}{X_1}$$

ahol:

M – a laterál kombináció egy angulár kompenzátorának állító nyomatéka,

X_1 – a két angulár kompenzátor csapközéptávolsága.

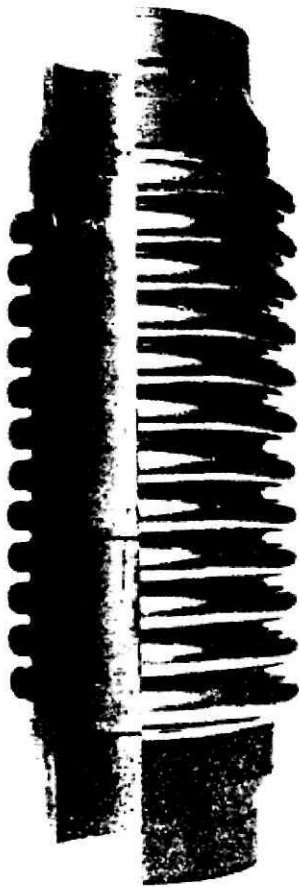
AXIÁL KOMPENZÁTOROK

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK

Az axiál kompenzátorok azokon a területeken alkalmazhatók előnyösen, ahol a rövidebb csőszakaszoknak max. 70–80 mm-es elmozdulását kell kompenzálni, illetve a hálózat nyomvonalvezetésében sok az irányváltás, leágazás.

Hosszabb csőszakaszok ~ 80 mm-en felüli megnyúlásakor már csuklós kompenzátorokat érdemes alkalmazni. Ha azonban az építési körülmények lehetővé teszik az erős fixpontok, egyenesbevezetők könnyű kialakíthatóságát, akkor az axiál kompenzátorokkal történő kompenzáció még helyes megoldást ad.

Egy axiálkompenzátor metszetét mutatja be a 23. ábra.



23. ábra

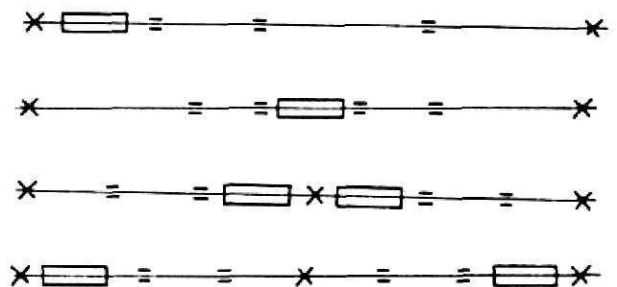
Mivel az axiál kompenzátorok viszonylag nagy axiális erőt, s így nagy fixponti terheléseket eredményeznek, így alkalmazásuk elsősorban a kisebb névleges átmérők és a kisebb üzemi nyomások tartományában előnyös.

Axiál kompenzátor használatával nyerhetjük a legegyszerűbb kiegyenlítési megoldást. Nagy előnye, hogy kicsi a helyigénye, így különösebb járulékos szabad környezetet nem igényel. A vezetékek egymáshoz közel fektethetők.

BEÉPÍTÉSI IRÁNYELVEK

Mivel az axiál kompenzátorok csak tisztán axiális elmozdulásokat vehetnek fel, így egyenesbevezetők segítségével egyértelműen biztosítani kell ezt az igénybevételt. Ezek a megvezetések sokszor igen egyszerűek is lehetnek mint pl. egy csődarab.

Amennyiben mód és lehetőség van rá, úgy az axiál kompenzátort lehetőleg fixpont közelében kell elhelyezni, ugyanakkor a kompenzátor másik oldalán legalább két térbeli egyenesbevezetőnek kell lennie, egymástól meghatározott távolságban.



24. ábra

- A - kompenzátor a fixpont mellé beépítve. A súrlódási erő a kompenzátorral ellentétes fixpontra hat
- B - Szimmetrikus beépítés. A súrlódási erő mindkét fixpontra hat, a csőhosszakkal arányos megoszlásban.
- C - Szimmetrikus, közbenső fixpont melletti beépítés. A végfixpontokat terheli a súrlódási erő
- D - Szimmetrikus, végfixpont melletti beépítés. A végfixpontok terhelése kisebb, a súrlódási erő a közbenső fixpontra hat

Ha a beépítés valamilyen okból fixpont közelében nem lenne lehetséges, akkor a vezetékszakaszhba az axiál kompenzátor bárhol beépíthető. Ebben az esetben a kompenzátor *mindkét oldalán két-két térbeli egyenesbevezetőnek kell lennie*. Az egyenesbevezető és a fixpont kompenzátortól való távolsága a névleges csőátmérő max. 3–4-szerese, a két egyenesbevezető távolsága pedig 14-szerese legyen. A többi egyenesbevezető távolságának meghatározása a szokásos módon történik.

Az egyenesbevezetők beépítése ellenére gyakorlatilag felléphetnek oldalirányú elmozdulások, de ezek csak az egyenesbevezetők játékból adódhatnak. Ellenkező esetben a kompenzátortól megkívánt élettartam nem lenne elérhető. Az axiál kompenzátorokat többnyire belső védőcsővel gyártják. Meg kell azonban jegyezni, hogy ezek a védőcsövek az áramlási ellenállás csökkentését és a lerakódások megakadályozását szolgálják, egyenesbevezető szerepük nincsen (23. ábra).

Készülnek kompenzátorok külső védőcsővel is, de ezeknek a feladatuk, a hullámtest külső sérülésektől való megvédése, esetleg hosszabb hullámtesteknél a terhelés elosztás. Egyenesbevezető szerepe nincs a külső védőcsőnek.

Megjegyzés: A belső védőcsövek kialakításuknál fogva meghatározzák a fő áramlási irányt, amelyet a kompenzátor külső oldalán nyíl is mutat. A kompenzátort ezen fő áramlási iránynak megfelelően kell beépíteni, ha a nyomvonalvezetés vízszintes. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy az áramlási irány időszakos, rövid ideig tartó megfordulása nem okoz üzemeltetési, működési problémákat. Függetlenül tengeri vezetékbe épített axiál kompenzátorokon a nyíl *lefelé* mutasson!

TÍPUSKIVÁLASZTÁS, MÉRETEZÉS

A kompenzátor típuskiválasztása és a számítások menete a legtöbb esetben a következő:

- a csőhálózat szakaszokra osztása úgy, hogy egy-egy szakaszba csak egy-egy axiál kompenzátor kerüljön beépítésre:

- a részzaszakaszok löketségének számítása, a minimálisan szükséges kompenzátor lökét meghatározása;
- a kompenzátor névleges nyomásának, megengedhető üzemi nyomásának kiszámítása;
- kompenzátortípus kiválasztása a típus-táblázatból, figyelembevéve: a névleges átmérőt, az üzemi nyomást, a szükséges élettartamot és a minimális szükséges lökethosszát;
- a kiválasztott kompenzátor lökétének ellenőrzése;
- várható élettartam meghatározása;
- előfeszítés számítás (a napi beépítési hőmérséklet figyelembevételével!);
- reakcióerő számítás;
- támaszközök hosszának meghatározása.

5. példa: Egy axiál kompenzátorral kiegyenlített csőszakasz méretezésére

Kiindulási adatok:

forróvíz vezeték: NA 200,
üzemi nyomás: 2 MPa,
üzemi hőmérséklet: 180 °C,
beépítési hőmérséklet: 20 °C,
élettartam: 1000 lökét,
min. hőmérséklet: 0 °C,
fajlagos cső súly: 65 N/m,
sűrűségi tényező: 0,3.

Keresett:

- kompenzátorok típusa,
- előfeszítés értéke,
- fixpontonterő,
- támaszköz számítás.

Megoldás: A rugótest anyaga a közegnek és a hőmérsékletnek megfelelően AISI 304. A szükséges minimális nyomás az 5. diagram korrekciós tényezőjével módosul, mivel az üzemi hőmérséklet nagyobb 120 °C-nál:

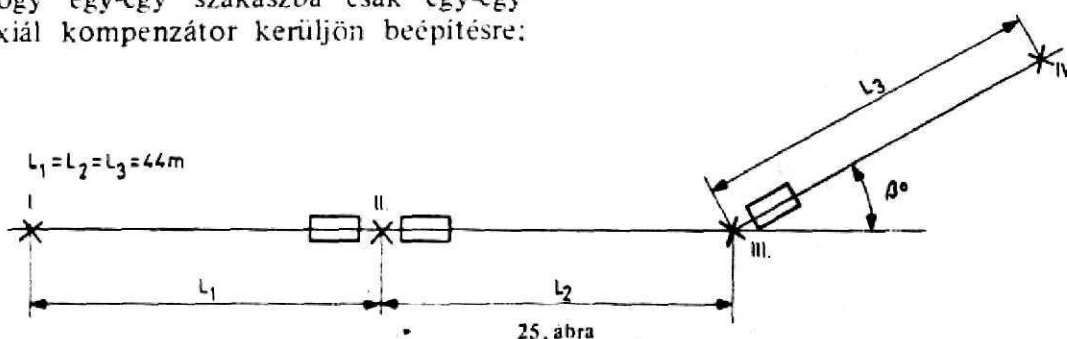
$$PN_{\min} = \frac{p_{\text{ü}} \cdot 100}{K_D} = \frac{2 \cdot 100}{88} = 2,273 \text{ MPa.}$$

ahol: $K_D = 88\%$ az 5. diagramból.

Az eredmény figyelembevételével a $p_N = 2,5$ MPa névleges nyomásfokozatú kompenzátor kiválasztható.

A kiválasztott kompenzátorra a maximálisan megengedhető üzemi nyomás:

$$PN_{\text{meg}} = \frac{p_N \cdot K_D}{100} = \frac{2,5 \cdot 88}{100} = 2,2 \text{ MPa.}$$



A nyomás kihasználtság:

$$K_D' = \frac{P_{üz} \cdot 100}{P_{Nmeg}} = \frac{2 \cdot 100}{2,2} = 91\%$$

A csőtágulás nagysága

A fixpontok távolsága $L_1 = L_2 = L_3 = 44$ m.

Mivel a minimális hőmérséklet $t_{min} = 0$ °C, a hőtágulás értéke:

$$h = L \cdot \alpha_t \cdot \Delta t_{max} = 44 \cdot 2,18 = 96 \text{ mm.}$$

$$\text{Az üzemi löket így: } H = \pm \frac{h}{2} = \pm \frac{96}{2} = \pm 48 \text{ mm.}$$

A 6. löketkorrekciós diagramból:

$$K_H' = 95,25\%$$

A minimálisan szükséges löket így:

$$H_{Nmin} = \frac{H \cdot 100}{K_H} = \frac{\pm 48 \cdot 100}{95,25} = \pm 50,4 \text{ mm.}$$

Típuskiválasztás

A típusátlázatból kiválasztott axiál kompenzátor jele: W-9025, NA 200, NNY 2,5 MPa.

A megengedhető névleges löket nagysága 1000 teljes löketes élettartamnál:

$$H_N = \pm 57 \text{ mm.}$$

Kompenzátor szabad hossza: TL = 559 mm.

Minimális teljes hossz: TL_{min} = 502 mm.

Maximális teljes hossz: TL_{max} = 616 mm.

A hatásos felület: A = 428 cm².

A rugóállandó: c_x = 426 N/mm.

A kiválasztott kompenzátorra maximálisan megengedhető üzemi löket:

$$H_{meg} = \frac{H_N \cdot K_H}{100} = \frac{\pm 57 \cdot 95,25}{100} = \pm 54,29 \text{ mm.}$$

A megengedhető löket kihasználtsági foka:

$$K_H' = \frac{H \cdot 100}{H_{meg}} = \frac{48 \cdot 100}{54,29} = 88\%$$

A kompenzátor várható élettartama a 4. táblázat szerint: ≈ 1800 löket.

Előfeszítés számítás

$$H = \pm 48 \text{ mm,}$$

$$t_{min} = 0$$
 °C,

$$t_{beép} = 20$$
 °C (a beépítés órájában mért csőhőmérséklet).

Az üzemi közbeni maximális teljes hossz:

$$TL_{max_{ü}} = TL + H_s = 559 + 48 = 607 \text{ mm.}$$

A beépítés órájában a csőhálózati távolsága:

$$L_r = \frac{L \cdot \alpha_t \cdot t_{beép}}{100} = \frac{44 \cdot 1,11 \cdot 20}{100};$$

$$L_r = 9,8 \text{ mm} \quad (\text{mivel: } t_{min} = 0$$
 °C).

A beépítési hossz

$$L_{beép} = TL_{max_{ü}} - L_r = 607 - 9,8 = 597,2 \text{ mm}$$

Az előfeszítés:

$$v = L_{beép} - TL = 597,2 - 559 = 38,2 \text{ mm,}$$

vagy egy másik összefüggés alapján az előfeszítés nagysága (lásd a 4. fejezetet):

$$V = H_s - L_r = +48 - 9,8 = 38,2 \text{ mm.}$$

Az előfeszítés erőszükséglete:

$$F_x = V \cdot c_x = 38,2 \cdot 426 = 16\,273 \text{ N,}$$

Az egyenes fixpontok reakció erői

$$F_{FI} = F_{FIV} = F_p + F_x + F_r,$$

ahol:

F_p – a nyomásból származó erő,

F_x – rugóerő,

F_r – súrlódási erő.

A nyomásból származó erő

$$F_p = p_{ü} \cdot A = 2 \text{ MPa} \cdot 0,0428 \text{ m}^2 = 2 \cdot 10^6 \text{ Pa} \cdot 0,0428 \text{ m}^2 = 85\,600 \text{ N}$$

ahol: A = 428 cm² = 0,0428 m² a hatásos felület (lásd függelék).

A rugóerő

$$F_x = c_x \cdot H = 426 \cdot 48 = 20\,448 \text{ N}$$

ahol: c_x = 426 N/mm (táblázati érték).

A súrlódási erő

$$F_r = \mu \cdot g \cdot L_1 = 0,3 \cdot 650 \cdot 44 = 8\,580 \text{ N}$$

Így az I-es és IV-es fixpontok reakció erői:

$$F_{FI} = F_{FIV} = 85\,600 + 20\,448 + 8\,580 = 114\,628 \text{ N}$$

A gyakorlati számításokhoz igen jó közelítéssel használható a 7. diagram, amely a névleges átmérő és az üzemi nyomás függvényében az axiál kompenzátorok nyomásból adódó reakció erejét adja.

A II. fixponti erő

$$F_{FII} = F_p + F_x = 85\,600 + 20\,448,$$

$$F_{FII} = 106\,048 \text{ N.}$$

A III. fixponti erő

$$F_{FIII} = F_{p_r} + F_{x_r} + F_r + F_{c_r},$$

ahol:

A centrifugális erő:

$$F_{cr} = \frac{A \cdot \rho \cdot g \cdot v^2 \cdot \sin \frac{\beta}{2}}{50},$$

ahol:

A = 428 cm² – hatásos felület,

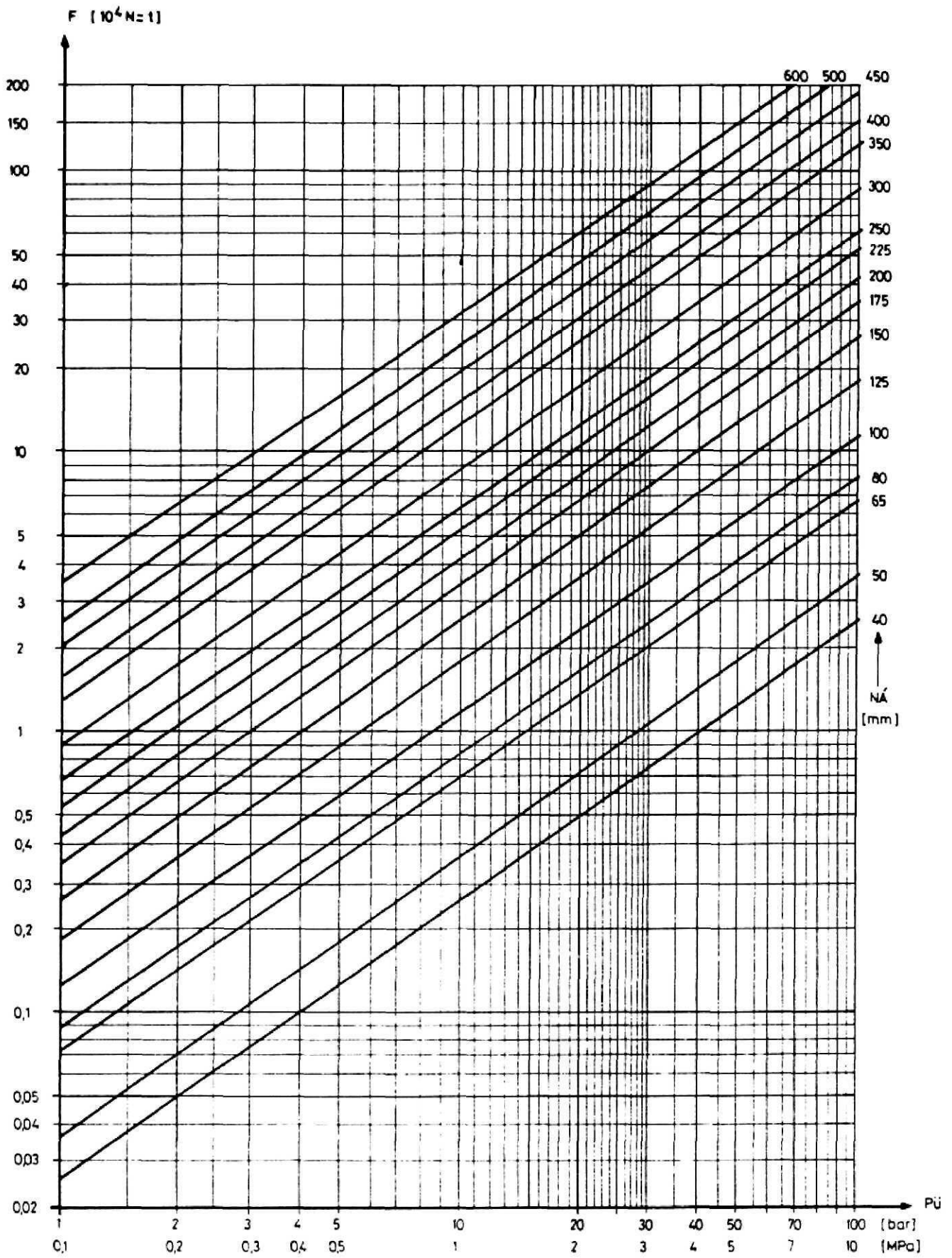
ρ = 0,102 g/cm³ – a közeg sűrűsége,

v = 10 m/sec – áramlási sebesség.

$$F_{cr} = \frac{428 \cdot 1 \cdot 10^2}{50} \sin \frac{30^\circ}{2} = 221,55 \text{ daN} = 2,2155 \text{ kN,}$$

így: $F_{FIII} = 44\,31 + 529,23 + 8\,580 + 221,55$

$$F_{FIII} = 60\,39,78 \text{ daN} = 60,3978 \text{ kN.}$$



7. diagram Axiál kompenzátorok reakcióereje a névleges átmérő és az üzemi nyomás függvényében

TÁMASZKÖZ SZÁMÍTÁS

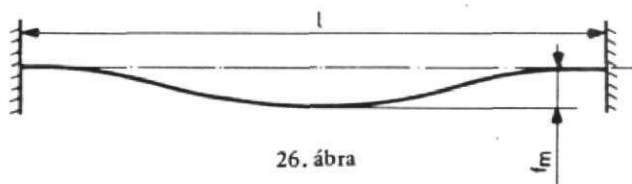
A csőhálózat nyomvonalvezetése, a megnyúlások kompenzálási módjának kiválasztása, méretezése után a hálózatban levő fixpontok és egyenesbevezetők távolságának számítása szükséges, nehogy a vezetékre ható erők hatására a támaszok közti szakaszon a cső károsodjon.

Általános ajánlás az egyenesbevezetők távolságára, hogy a kompenzátor melletti egyenesbevezető kompenzátorától való távolsága a névleges csőátmérő max. 3–4-szerese, a következő egyenesbevezető távolsága pedig max. 14-szerese legyen a névleges csőátmérőnek (EJMA ajánlás, irodalomjegyzék [3]).

A következő egyenesbevezető távolságának meghatározása a három különböző képlet segítségével történik. A kapott eredmények közül mindig azt az értéket kell választani, amelyik a legkisebb távolságot engedi meg.

Alakváltozási feltételből adódó támaszköz

A csővezeték ebben az esetben úgy méretezhető, mint a saját súlyával terhelt, két végén befogott tartó (26. ábra).



26. ábra

A maximálisan megengedhető lehajlások értékei különböző közegek szállítására esetén:

- folyadék esetén: $f_m = NA/60$ [m], de $2 \text{ mm} \leq f_m \leq 10 \text{ mm}$;
- gáz esetén: $f_m = NA/120$ [m], de $2 \text{ mm} \leq f_m$,

ahol: NA [m] – a csővezeték névleges átmérője.

A mechanikában alkalmazott összefüggés alapján a támaszköz az alábbiak szerint számolható:

$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{384 \cdot l \cdot E_t \cdot f_m}{q}} \quad [\text{m}],$$

ahol:

I – a cső másodrendű, ekvatoriális nyomatéka $[\text{m}^4]$,

E_t – a csővezeték anyagának rugalmassági modulusa értéke a 8. diagramból meghatározható az üzemi hőfokú ismeretében $[\text{N}/\text{m}^2]$,

f_m – a maximálisan megengedhető lehajlás [m],

q – a csővezeték folyóméter súlya, beleértve a cső, a közeg és a szigetelés súlyát $[\text{N}/\text{m}]$.

Mivel a másodrendű nyomaték:

$$I = \frac{(D^4 - d^4) \cdot \pi}{64},$$

így:

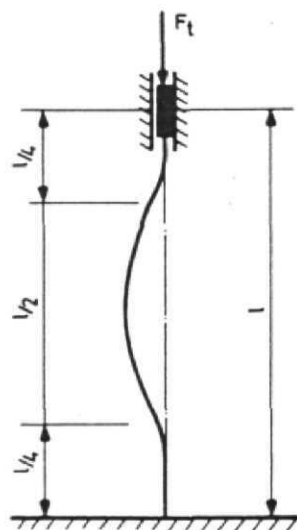
$$l_1 = \sqrt[4]{\frac{384 \cdot \pi \cdot (D^4 - d^4) \cdot E_t \cdot f_m}{64 \cdot q}}$$

A konstansok kiemelésével:

$$l_1 = 2,084 \cdot \sqrt[4]{\frac{(D^4 - d^4) E_t \cdot f_m}{q}}$$

A stabilitási feltételből adódó támaszköz

A csővezeték úgy tekintjük, mint egy kihajlásra igénybevett rudat. A sematikus terhelési vázlat a 27. ábrán látható.



27. ábra

A számítások során – kihajláskor, Euler-szerint – a megrendelhető támaszköz nagysága:

$$l_2 = 250 \sqrt{\frac{I}{A}} \quad [\text{m}],$$

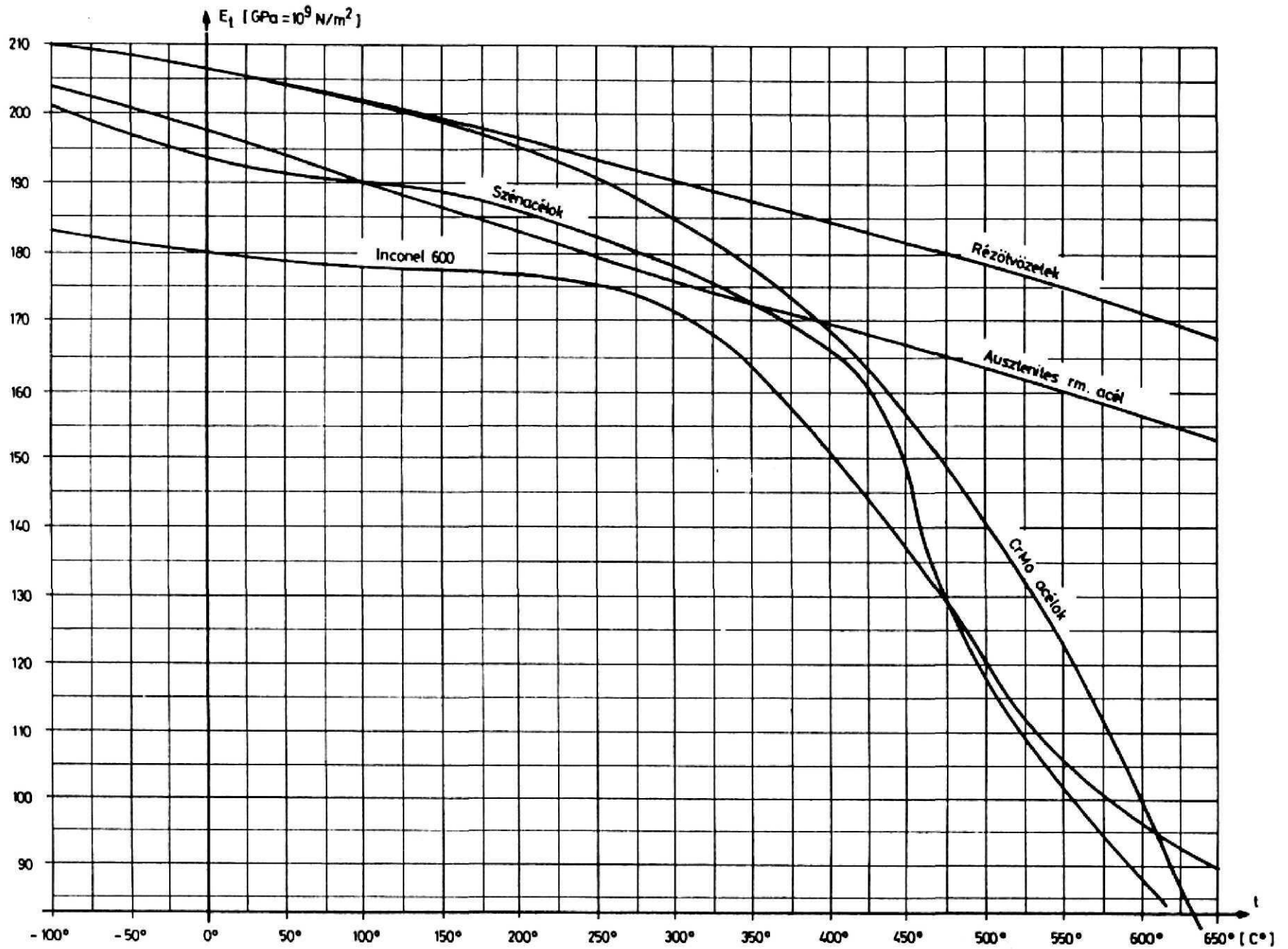
ahol:

I – a cső ekvatoriális, másodrendű nyomatéka $[\text{m}^4]$,

A – csőkeresztmetszet.

Számítási módja:

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad [\text{m}].$$

8. diagram E_t rugalmassági modulus a hőmérséklet (t) függvényében

Szilárdsági feltételből adódó támaszköz

A számítás alapjául szolgáló képlet:

$$l_3 = 0,35 \cdot \sqrt{\frac{W}{q} \left(-\frac{2R_a - R_t}{2} \right) + 0,35 \cdot \sqrt{\frac{W}{q} \left[\left(\frac{2R_a - R_t}{2} \right)^2 - (R_a^2 + R_t^2 - R_a \cdot R_t - R_c^2) \right]}$$

ahol: Keresztmetszeti tényező:

$$W = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32 \cdot d}$$

q – a vezeték folyóméter súlya (N/m).

Tengelyirányú húzófeszültség:

$$R_a = \frac{p_{\bar{u}} \cdot d^2}{4 \cdot s \cdot (d + s)} + \frac{F_x + F_r}{A} \quad (\text{N/cm}^2)$$

Érintő irányú húzófeszültség:

$$R_t = \frac{p_{\bar{u}} \cdot d}{2 \cdot s} \quad (\text{kN/cm}^2)$$

Hegesztésből származó feszültség:

$$R_e = \frac{R_{eH} \cdot \nu_n}{n} \quad (\text{kN/cm}^2)$$

ahol:

$$R_{eH} = 11 \text{ kN/cm}^2,$$

s = 1,44 biztonsági tényező,

$\nu_n = 1$ varratjóságfok varratnélküli és spirálvarratos csöveknél,

s – falvastagság (cm),

d – belső átmérő (cm),

D – külső átmérő (cm).

A számított három érték közül a legkisebbet választva, majd 30%-os ráhagyást a szerelési pontatlanságokra számolva, a támaszköz:

$$l_t = \frac{\min(l_1, l_2, l_3)}{1,3}$$

6. példa: Támaszközszámítás

Az 5. példa adataival:

Kiindulási adatok:

N \bar{A} = 200 mm	– névleges átmérő
t \bar{u} = 180 °C	– üzemi hőmérséklet
p \bar{u} = 2 MPa	– üzemi nyomás
q = 650 N/m	– fajlagos csúlya
L = 44 m	– szakasz hossza

Forróvíz vezetékre a megengedhető max. lehajlás:

$$f_m = \frac{N\bar{A}}{60} = \frac{0,2}{60} = 0,0033 \text{ m.}$$

F \bar{A} _{axi, IV} = 114,628 kN – axiális erő a nyomásból,

F \bar{A} = 20,448 kN – rugóerő.

F \bar{r} = 8,58 kN – súrlódó erő.

D = 219 mm	– cső külső átmérője,
d = 206,4 mm	– cső belső átmérője,
s = 6,3 mm	– falvastagság,
E \bar{t} = 188 MPa	– rugalmassági modulus 180 °C-nál.

Keresett: Minimális támaszköz hosszúság

Megoldás:

Alakváltozási feltétel

$$l_1 = 2,084 \cdot \sqrt{\frac{f_m \cdot E_t (D^4 - d^4)}{q}} = 2,084 \cdot \sqrt{\frac{0,0033 \cdot 188 \cdot 10^9 (0,219^4 - 0,2064^4)}{650}}$$

$$l_1 = \underline{9,7 \text{ m.}}$$

Stabilitási feltétel

$$l_2 = 250 \cdot \sqrt{\frac{I}{A}} = 250 \cdot \sqrt{\frac{(D^4 - d^4) \cdot \pi \cdot 4}{64 \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)}}$$

$$l_2 = 250 \cdot \sqrt{\frac{0,219^4 - 0,2064^4}{16 \cdot (0,219^2 - 0,2064^2)}} = \underline{18,8 \text{ m.}}$$

Szilárdsági feltétel

$$l_3 = 0,35 \sqrt{\frac{W}{q} \left[\left(\frac{2R_a - R_t}{2} \right)^2 - (R_a^2 + R_t^2 - R_a \cdot R_t - R_c^2) \right] - \frac{2R_a - R_t}{2}}$$

A tengelyirányú húzófeszültség:

$$R_a = \frac{p_{\bar{u}} \cdot d^2}{4s \cdot (d + s)} + \frac{F_x + F_r}{A};$$

$$R_a = \frac{2 \cdot 20,64 \text{ m}^2}{4 \cdot 0,63 (20,64 + 0,63)} + \frac{4 \cdot (20\,448 + 858)}{3,14 (0,219^2 - 0,2064^2)}$$

$$R_a = 15,896 \text{ MPa} + 2\,531\,828 \text{ Pa} = 18,4278 \text{ MPa}$$

Érintő irányú húzófeszültség:

$$R_t = \frac{p_{\bar{u}} \cdot d}{2s} = \frac{2 \cdot 20,64}{2 \cdot 0,63} = 3276,2 \text{ N/cm}^2 = 3,2762 \text{ kN/cm}^2$$

Hegesztésből származó feszültség:

$$R_e = \frac{R_{eH} \cdot \nu_n}{n} = \frac{11 \cdot 1}{1,44} = 7,6389 \text{ kN/cm}^2.$$

Keresztmetszeti tényező:

$$W = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 \cdot d} = \frac{3,14 \cdot (21,9^4 - 20,64^4)}{32 \cdot 20,64} = 230,89 \text{ cm}^3 ;$$

$$l_3 = 0,35 \sqrt{\frac{230,89}{650} \left[\left(\frac{2 \cdot 2279 - 3276,2}{2} \right)^2 - (2279^2 + 3276,2^2 - 2279 \cdot 3276,2 - 7638,9^2) \right] - \frac{2 \cdot 2279 - 3276,2}{2}}$$

$$l_3 = \underline{16,76 \text{ m.}}$$

A minimális értéknél 30%-ot a szerelési pontatlanságokra figyelembe véve:

$$l = \frac{\min(l_1, l_2, l_3)}{1,3} = \frac{9,7}{1,3} = \underline{\underline{7,5 \text{ m.}}}$$

ANGULÁR KOMPENZÁTOROK

ALKALMAZÁSI TERÜLET, BEÉPÍTÉSI IRÁNYELVEK

Az axiál kompenzátorokkal ellentétben az angulár kompenzátorok kizárólag szögelfordulás felvételére alkalmasak. Innen kapta nevét is: angulár vagy szögkompenzátor.

Az angulár kompenzátorok azokon a területeken alkalmazhatók előnyösen, ahol hosszabb csőszakaszok elmozdulásait kell kompenzálni.

Ha a vezeték különösen nagy átmérőjű és a nyomásviszonyok is nagyok, ugyanakkor viszonylag kisebb elmozdulások lépnek fel, ajánlatos angulár kompenzátort beépíteni.

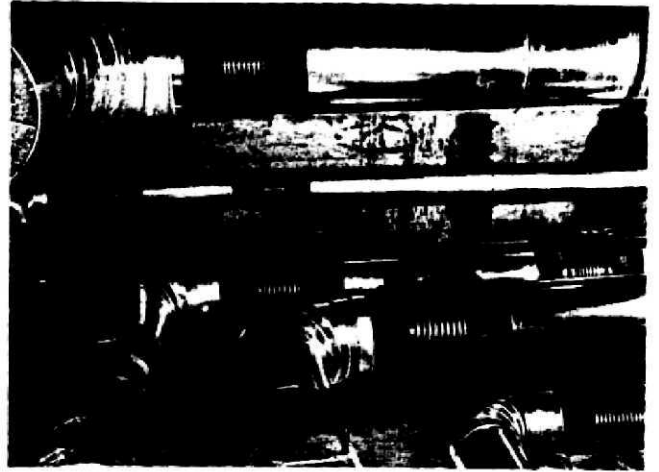
Az angulár kompenzátorok nyomásból származó reakció erejét a csuklós hevederek veszik fel, ennek következtében lényegesen kisebb erő adódik át a csőhálózatra. Az angulár kompenzátor alkalmazásakor a hálózatban viszonylag gyengébb kialakítású fixpontok, egyenesbevezetők is megfelelőek.

Az angulár és laterál kompenzátorok irányváltásokba vagy azok közvetlen közelében helyezkednek el.

Egy angulár kompenzátort egymagában nem lehetséges a csőhálózatba beépíteni, hanem csak több kompenzátorból álló, úgynevezett kombinációban. Ezek a kombinációk kettő, három

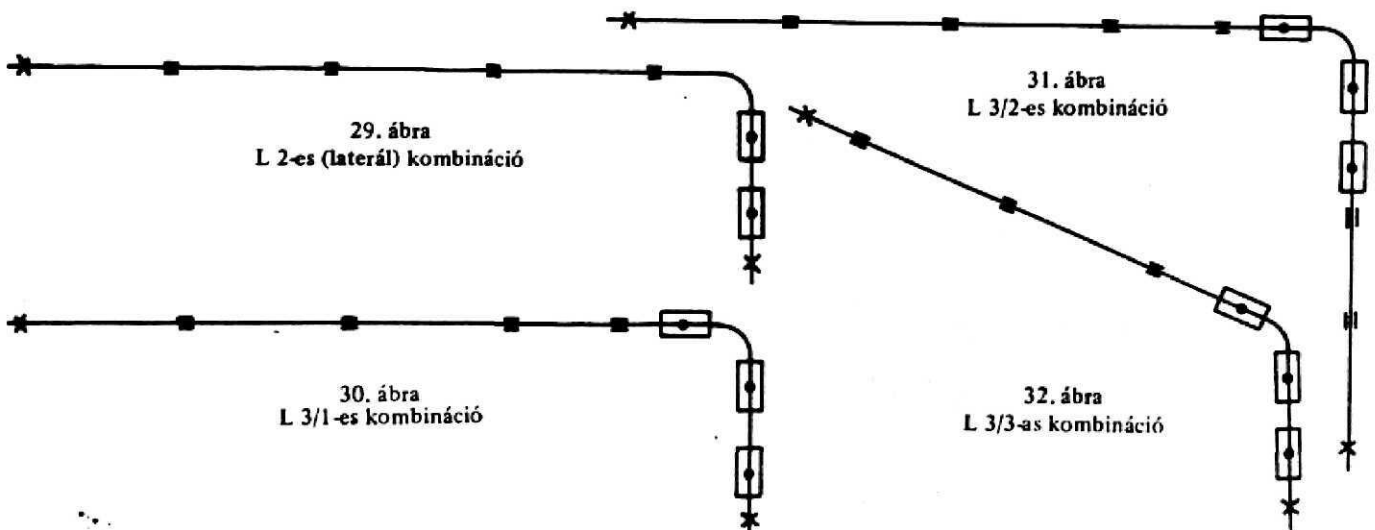
vagy négy darab kompenzátorból alakíthatók ki.

Három angulár kompenzátorból kialakított L kombinációt mutat a 28. ábra.



28. ábra

Ha a vezetékszakasz egyenes, akkor U alakú ívet kell beépíteni három vagy négy angulár kompenzátor alkalmazásával (Megjegyzés: ez az U ív nem azonos az U lírával).



29. ábra
L 2-es (laterál) kombináció

30. ábra
L 3/1-es kombináció

31. ábra
L 3/2-es kombináció

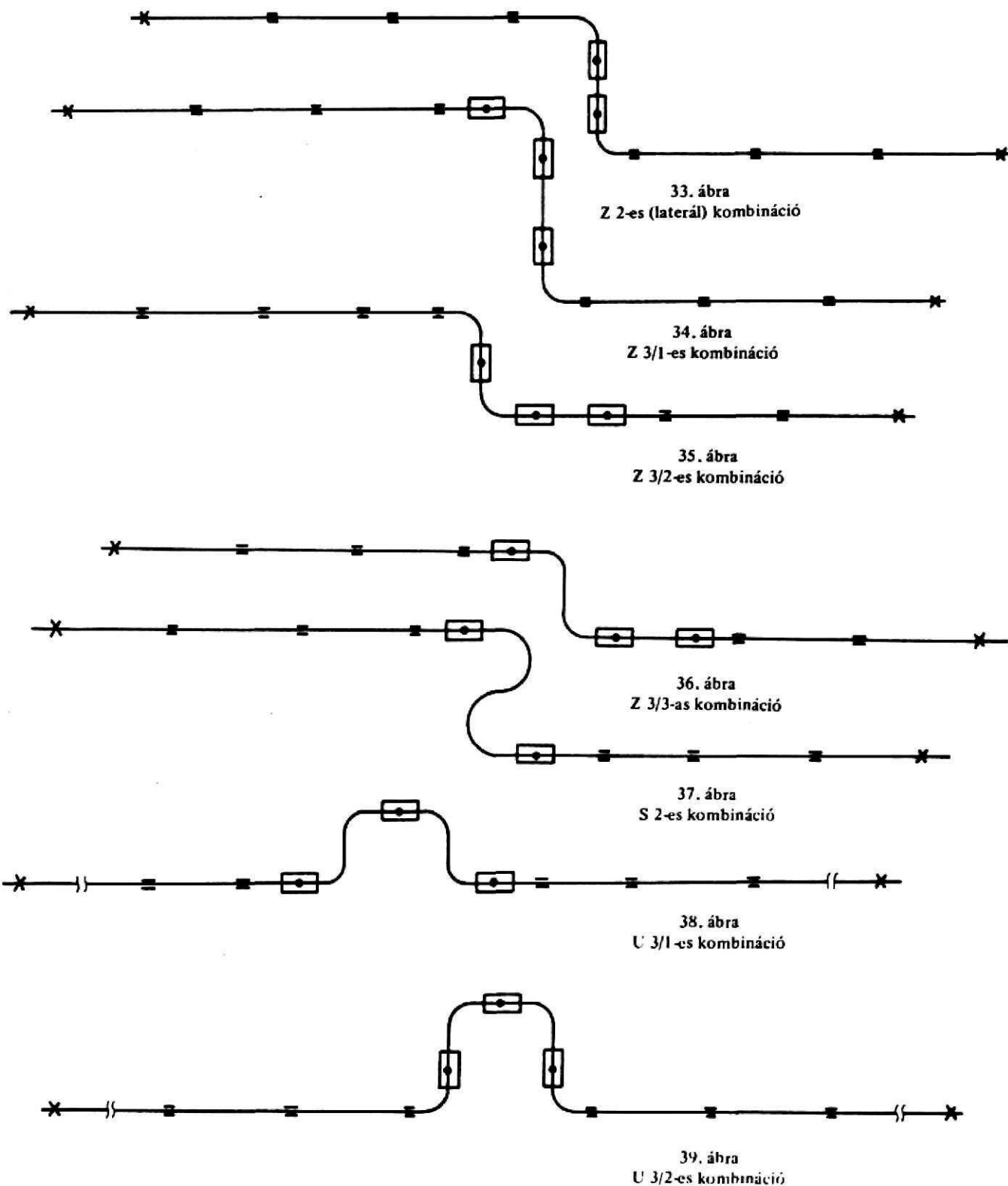
32. ábra
L 3/3-es kombináció

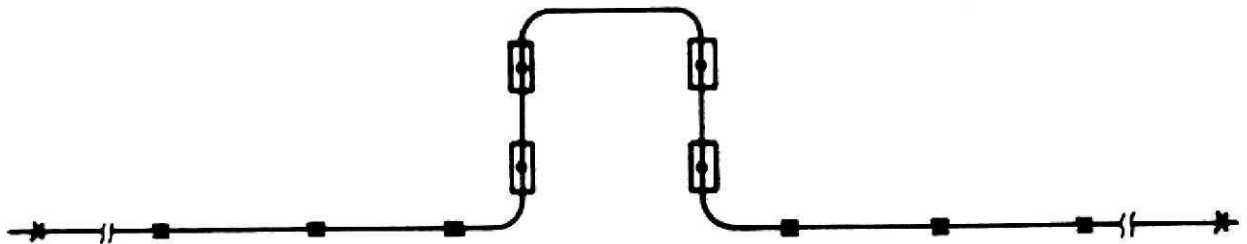
A KOMBINÁCIÓKBAN VALÓ ELRENDEZÉS GYAKORI MÓDJAI

Az angulár kombinációkban az elnevezés betűjele az elrendezést, az első szám a kompenzátorok darabszámát, a második szám pedig a variációk sorszámát mutatja.

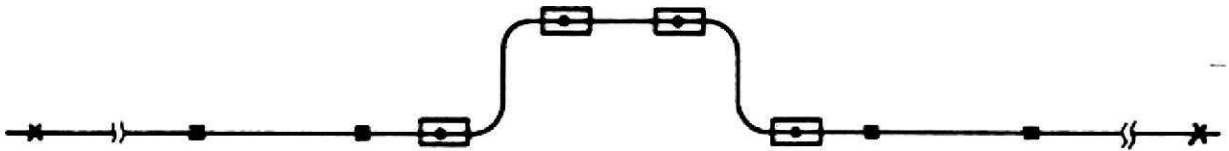
Az U típusú kombinációknak különösen nagy előnye, hogy igen nagy elmozdulások felvételére alkalmasak, és így több száz méteres, sőt kilométeres szakaszok dilatációját is képesek kiegyenlíteni.

Az angulár kompenzátorok beépítésénél is érvényesül az az elv, amely szerint a fixpontokkal

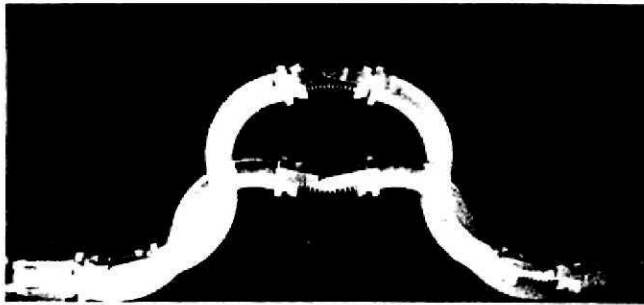




40. ábra
U 4/1-es kombináció



41. ábra
U 4/2-es kombináció



42. ábra

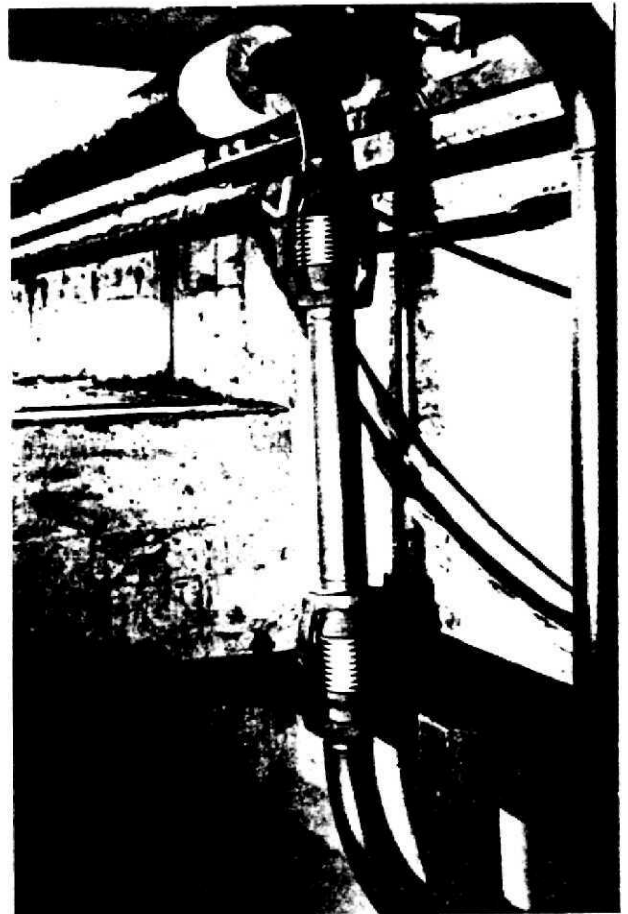
határolt csőszakaszba csak egy kombináció építhető be. E kombinációk alkalmazásakor is szükséges a cső megvezetését biztosítani. Figyelni kell arra, hogy pl. a laterál kombinációknál (L2, Z2, S2) az ívpályán elmozduló középső csőszakasz mozgásából adódó ívmagasság változást, vagy a kombinációtól távolabb elhelyezett megvezetésekkel, vagy azok közelében speciális kialakítású egyenesbevezetőkkel kell biztosítani a vezeték számára.

LATERÁL KOMBINÁCIÓ

A lehetséges kombináció elrendezések közül az L2, Z2 és S2 kombinációt – működés módjára való tekintettel – laterál kombinációknak nevezzük. E kombinációk működésükben megegyeznek a laterál kompenzátor löketfelvételének módjával.

A két angulár kompenzátoros laterál kombináció beépítésekor meg kell vizsgálni, hogy egy darab laterál kompenzátor beépítése kedvezőbb

lenne-e. Ezek a kombinációk ugyanis akkor előnyösebbek, amikor egyrészt a laterál kompenzátor löketfelvő képessége nem elegendő a kompenzációhoz, másrészt két angulár kompen-

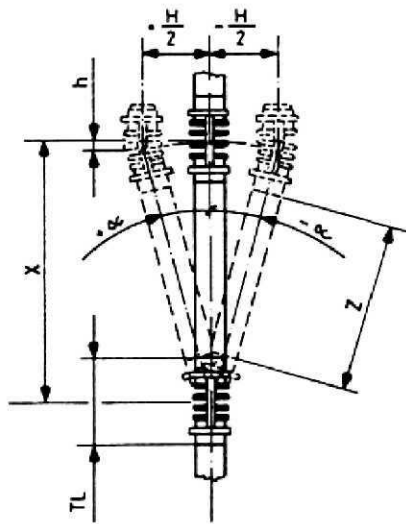


43. ábra

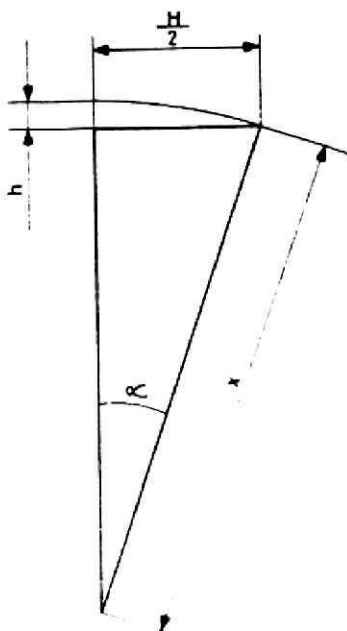
zátor alkalmazásával – bizonyos határokon belül – pusztán a közbenső csőszakasz hosszának változtatásával széles határokon belül változtatni kell a löketfelvevő képességet. A laterál kombinációk így kellő tartalékkal rendelkezhetnek a laterál kompenzátor adott löketével szemben.

Egy angulár kompenzátoros laterál kombinációt mutat a 43. ábra.

A laterál kombináció löketfelvevő képessége a kombinációba beépített két angulár kompenzátor csuklópont távolságától (X), továbbá a kompenzátorok löketfelvevő képességétől, azaz szögelfordulásától ($\pm\alpha$) függ.



44. ábra



45. ábra

A laterál kombináció löketfelvevő képessége a következő módon számítható (45. ábra):

$$H/2 = x \cdot \sin \alpha;$$

$$H = 2 \cdot x \cdot \sin \alpha.$$

Innen a kompenzátorok szükséges csuklótávolságát (x) kifejezhetjük, amely az adott löket (H) és adott α szögelfordulású kompenzátorok esetében a következő módon számítható:

$$x = \frac{H}{2 \cdot \sin \alpha}.$$

A laterál kombináció csuklótávolságának értéke (x) kikereshető az 5. táblázatból.

A kompenzátorok közti Z csőszakasz hossza így:

$$Z = x - TL = \frac{H/2}{\sin \alpha} - TL = \frac{H}{2 \cdot \sin \alpha} - TL;$$

ahol:

Z – a kompenzátorok közti csőszakasz hossza,
 X – a kompenzátorok csuklóponttávolsága,

TL – a kompenzátor, teljes hossza (lásd a függelék),

H – a teljes löket.

A laterál kombináció csuklóponttávolságát az 1. nomogramból is meghatározhatjuk vetítéssel. Ez a nomogram egyúttal az ívpálya mentén elmozduló angulár kompenzátor csuklópontjának „ h ” ívmagasság változását is szolgálhatja.

Ez az ívmagasság $a: h = x(1 - \cos \alpha)$ összefüggésből számítható.

A „ h ” ismeretére azért van szükség, mert a laterál kombinációra merőleges csőszakasz(ok) részére „ h ” értékű elmozdulási lehetőséget kell biztosítani.

Megjegyzés: Pontosabb számításoknál figyelemmel kell lenni az angulár kompenzátorok közti csőszakasz hőtágulási értékeire is, ugyanis a csuklóponttávolság változásának nagyságrendje azonos a „ h ” ívmagasságváltozás nagyságrendjével.

L-KOMBINÁCIÓK

A korrigált laterál-kombináció

Ha a laterál kombináció ívpályán mozgó angulár kompenzátorának ívmagasság változása (h) túl nagyra adódna, akkor annak felvételére egy harmadik angulár kompenzátor is beiktatható a kombinációba. Ekkor létrejön az úgynevezett „korrigált laterál kombináció”. A korrigált

Csaptávolság a laterál kombinációban

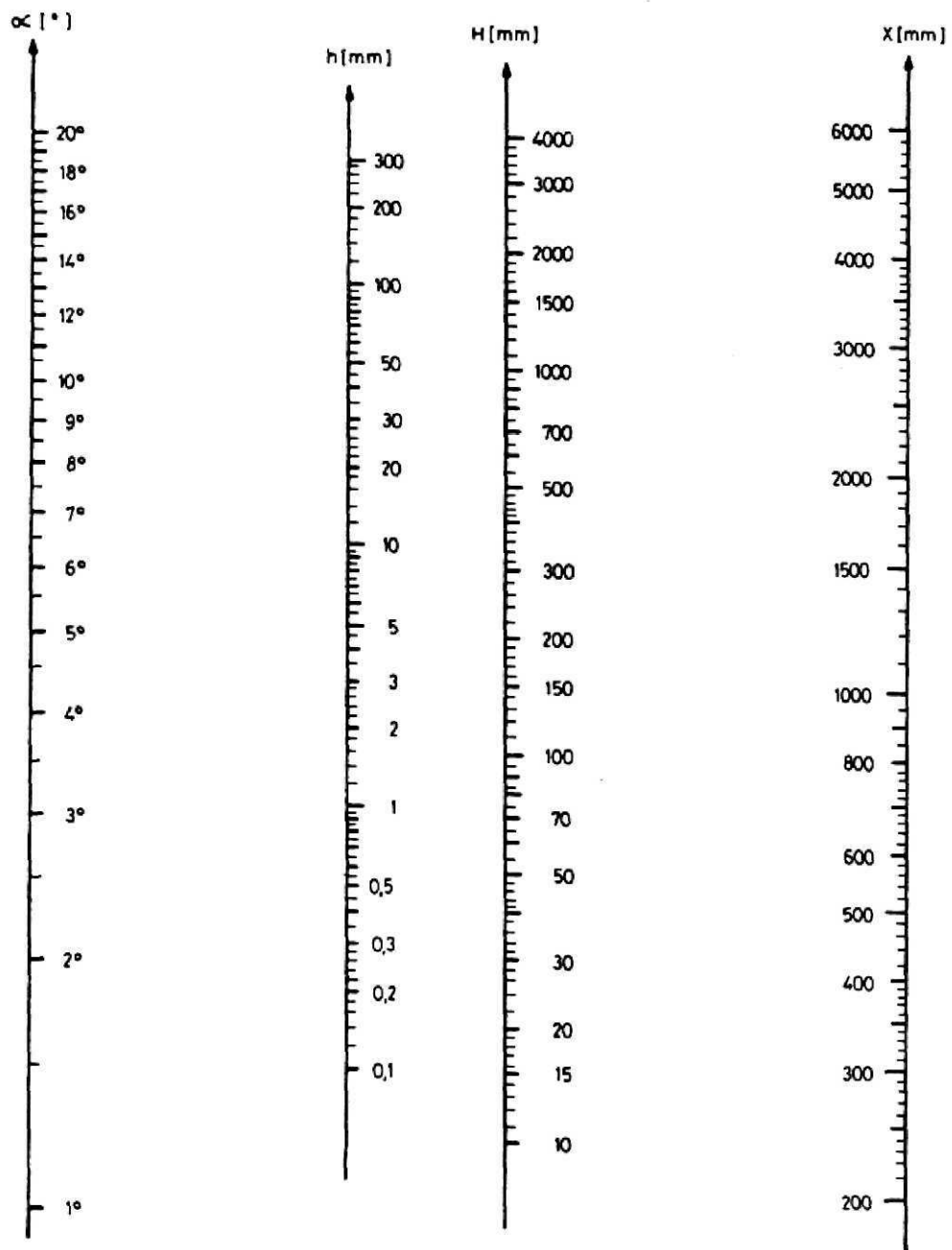
Hő- tá- volság H [mm]	A laterál kombináció egyik kompenzátorának α szögelfordulása											
	$\alpha 3^\circ$	$\alpha 4^\circ$	$\alpha 5^\circ$	$\alpha 6^\circ$	$\alpha 7^\circ$	$\alpha 8^\circ$	$\alpha 9^\circ$	$\alpha 10^\circ$	$\alpha 11^\circ$	$\alpha 12^\circ$	$\alpha 13^\circ$	$\alpha 14^\circ$
50	478	358	287	239	205	180	160	144	131	120	111	103
75	717	538	430	359	308	269	240	216	197	180	167	155
100	955	717	574	478	410	359	320	288	262	241	222	207
125	1194	896	717	598	513	449	400	360	328	301	278	258
150	1433	1075	861	718	615	539	480	432	393	361	334	310
175	1672	1254	1004	837	718	629	559	504	459	421	389	362
200	1911	1434	1147	957	821	719	639	576	524	481	445	413
225	2150	1613	1291	1076	923	808	719	648	590	541	500	465
250	2388	1792	1434	1196	1026	898	799	720	655	601	556	517
275	2627	1971	1578	1315	1128	988	879	792	721	661	611	568
300	2866	2150	1721	1435	1231	1078	959	864	786	722	667	620
325	3105	2330	1865	1555	1333	1168	1039	936	852	782	722	672
350	3344	2509	2008	1674	1436	1257	1119	1008	917	842	778	723
375	3583	2688	2151	1794	1539	1347	1199	1080	983	902	834	775
400	3822	2867	2295	1913	1641	1437	1279	1152	1048	962	889	827
425	4060	3046	2438	2033	1744	1527	1358	1224	1114	1022	945	878
450	4299	3226	2582	2153	1846	1617	1438	1296	1179	1082	1000	930
475	4538	3405	2725	2272	1949	1707	1518	1368	1245	1142	1056	982
500	4777	3584	2868	2392	2051	1796	1598	1440	1310	1202	1111	1033
525	5016	3763	3012	2511	2154	1886	1678	1512	1376	1263	1167	1085
550	5255	3942	3155	2631	2257	1976	1758	1584	1441	1323	1223	1137
575	5493	4122	3299	2750	2359	2066	1838	1656	1507	1383	1278	1188
600	5732	4301	3442	2870	2462	2156	1918	1728	1572	1443	1334	1240
625	5971	4480	3586	2990	2564	2245	1998	1800	1638	1503	1389	1292
650	6210	4659	3729	3109	2667	2335	2078	1872	1703	1563	1445	1343
675	6449	4838	3872	3229	2769	2425	2158	1944	1769	1623	1500	1395
700	6688	5018	4016	3348	2872	2515	2237	2016	1834	1683	1556	1447
725	6926	5197	4159	3468	2975	2605	2317	2088	1900	1744	1612	1498
750	7165	5376	4303	3588	3077	2695	2397	2160	1965	1804	1667	1550
775	7404	5555	4446	3707	3180	2784	2477	2232	2031	1864	1723	1602
800	7643	5734	4590	3827	3282	2874	2557	2304	2096	1924	1778	1653
825	7882	5913	4733	3946	3385	2964	2637	2376	2162	1984	1834	1705
850	8121	6093	4876	4066	3487	3054	2717	2448	2227	2044	1889	1757
875	8360	6272	5020	4186	3590	3144	2797	2520	2293	2104	1945	1808
900	8598	6451	5163	4305	3693	3233	2877	2591	2358	2164	2000	1860
925	8837	6630	5307	4425	3795	3323	2957	2663	2424	2225	2056	1912
950	9076	6809	5450	4544	3898	3413	3036	2735	2489	2285	2112	1963
975	9315	6989	5593	4664	4000	3503	3116	2807	2555	2345	2167	2015
1000	9554	7168	5737	4783	4103	3593	3196	2879	2620	2409	2223	2067

A laterál kombináció csaptávolságának (X) értéke mm-ben.

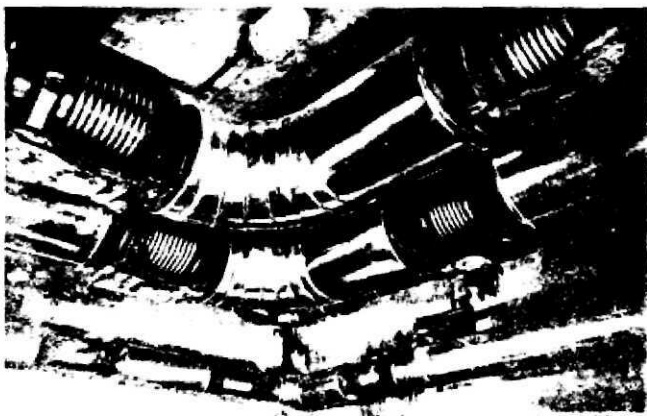
Csaptávolság a laterál kombinációban

Hő- tágu- lás H [mm]	A laterál kombináció egyik kompenzátorának $\pm\alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 15^\circ$	$\pm 16^\circ$	$\pm 17^\circ$	$\pm 18^\circ$	$\pm 19^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 21^\circ$	$\pm 22^\circ$	$\pm 23^\circ$	$\pm 24^\circ$	$\pm 25^\circ$	$\pm 26^\circ$
50	97	91	86	81	77	73	70	67	64	62	59	57
75	145	136	128	121	115	110	105	100	96	92	89	86
100	193	181	171	162	154	146	140	134	128	123	118	114
125	242	227	214	202	192	183	174	167	160	154	148	143
150	290	272	257	243	230	219	209	200	192	184	178	171
175	338	317	299	283	269	256	244	234	224	215	207	200
200	386	363	342	324	307	292	279	267	256	246	237	228
225	435	408	385	364	346	329	314	300	288	277	266	257
250	483	454	426	405	384	366	349	334	320	307	296	285
275	531	499	470	445	422	402	384	367	352	338	325	314
300	580	544	513	485	461	439	419	400	384	369	355	342
325	628	590	556	526	499	475	453	434	416	400	385	371
350	676	635	599	566	538	512	488	467	448	430	414	400
375	724	680	641	607	576	548	523	500	480	461	444	423
400	773	726	684	647	614	585	558	534	512	492	473	456
425	821	771	727	688	653	621	593	567	544	523	503	485
450	869	816	770	728	691	658	628	601	576	553	532	513
475	918	862	812	769	730	694	663	634	608	584	562	542
500	966	907	855	809	768	731	698	667	640	615	592	570
525	1014	952	898	850	806	768	733	701	672	645	621	600
550	1063	998	941	890	845	804	767	734	704	676	651	627
575	1111	1043	983	930	883	841	802	768	736	707	680	656
600	1159	1088	1026	971	922	877	837	801	768	738	710	685
625	1207	1134	1069	1011	960	914	872	834	800	768	740	713
650	1256	1179	1112	1052	998	950	907	868	832	799	769	741
675	1304	1224	1154	1092	1037	987	942	901	864	830	799	770
700	1352	1270	1197	1133	1075	1023	977	934	896	861	828	798
725	1401	1315	1240	1173	1113	1060	1012	968	928	891	858	827
750	1449	1361	1283	1214	1152	1097	1046	1001	960	922	887	856
775	1497	1406	1325	1254	1190	1133	1081	1034	992	953	917	884
800	1546	1451	1368	1294	1229	1170	1116	1068	1024	983	947	913
825	1594	1497	1411	1335	1267	1206	1151	1101	1056	1014	976	941
850	1642	1542	1454	1375	1305	1243	1186	1135	1088	1045	1006	970
875	1690	1587	1496	1416	1344	1279	1221	1168	1120	1076	1035	998
900	1739	1633	1539	1456	1382	1316	1256	1201	1152	1106	1065	1027
925	1787	1678	1582	1497	1421	1352	1291	1235	1184	1137	1094	1055
950	1835	1723	1625	1537	1459	1389	1326	1268	1216	1168	1124	1084
975	1884	1769	1667	1578	1497	1425	1360	1301	1248	1199	1154	1112
1000	1932	1814	1710	1618	1536	1462	1395	1335	1280	1229	1183	1140

A laterál kombináció csaptávolságának (X) értéke mm-ben.



1. nomogram A laterál kombináció összetartozó geometriai adatai



46. ábra

laterál kombináció néhány lehetséges elrendezését az előzőekben bemutatott (L3/1, L3/2, L3/3, Z3/1, Z3/2 és Z3/3) változatok szemléltetik.

A korrigált laterál kombináció harmadik korrigáló tagja kicsi elmozdulásokat végez pusztán az ívmagasság változás következtében. Ezért célszerű a laterál kombináció irányába eső esőszakasz hőtágulását is a korrigáló kompenzátorral felvetetni (L3/2 kombináció).

A 46. ábra egy L kombináció részletét mutatja.

Mivel a korrigált laterál kombinációk lényegében azonos módon működnek, így az L3/2-es kombináció geometriai elemzésén és egy konk-

rét számpéldán keresztül bemutatjuk e kombinációk számítási módjait. A geometriai számítások során a véghelyzetek, valamint a húzott (előfeszített) állapotok geometriai viszonyai érdekesek számunkra.

7. példa: Az L3/2 kombináció alkalmazására számpélda

Kiindulási adatok:

Forróvíz vezeték: NA 300
 Üzemi nyomás: $P_{ü} = 2 \text{ MPa}$

Az L3/2 kombináció geometriai elrendezése, viszonyai

A kompenzátor csuklópontok alaphelyzetei: A, B, C.

A húzott (előfeszített) állapot helyzetei: A, B, C.

A geometriai viszonyok elemzéséből adódik az egyes kompenzátor-szögelfordulások közötti összefüggés:

$$\alpha = \beta + \gamma,$$

amely képlet mindig előjelhelyesen igaz!

A geometriai viszonyok elemzéséből a továbbiak is adódnak:

$$\Delta H_{2+} = X_3 \cdot \cos \gamma + X_2 \cdot \cos \beta + X_1 \sin \beta - X_2 - X_3;$$

$$\Delta H_{2+} = x_1 (\sin \beta) - X_3 \cdot (1 - \cos \gamma) - x_2 (1 - \cos \beta).$$

Ha: $\gamma = \beta$, akkor: $\gamma = \beta = \frac{\alpha}{2}$, s így a szélső helyzet nagysága:

$$V_2 = \Delta H_{2+} = X_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - (X_2 + X_3) (1 - \cos \frac{\alpha}{2}).$$

Ugyanígy a merőleges irányban történő elmozdulásokra az alábbi összefüggések adódnak (a másik csőszakasz irányában).

$$\Delta H_{1+} = X_1 \cos \gamma + X_3 \cdot \sin \gamma - X_2 \cdot \sin \beta - X_1;$$

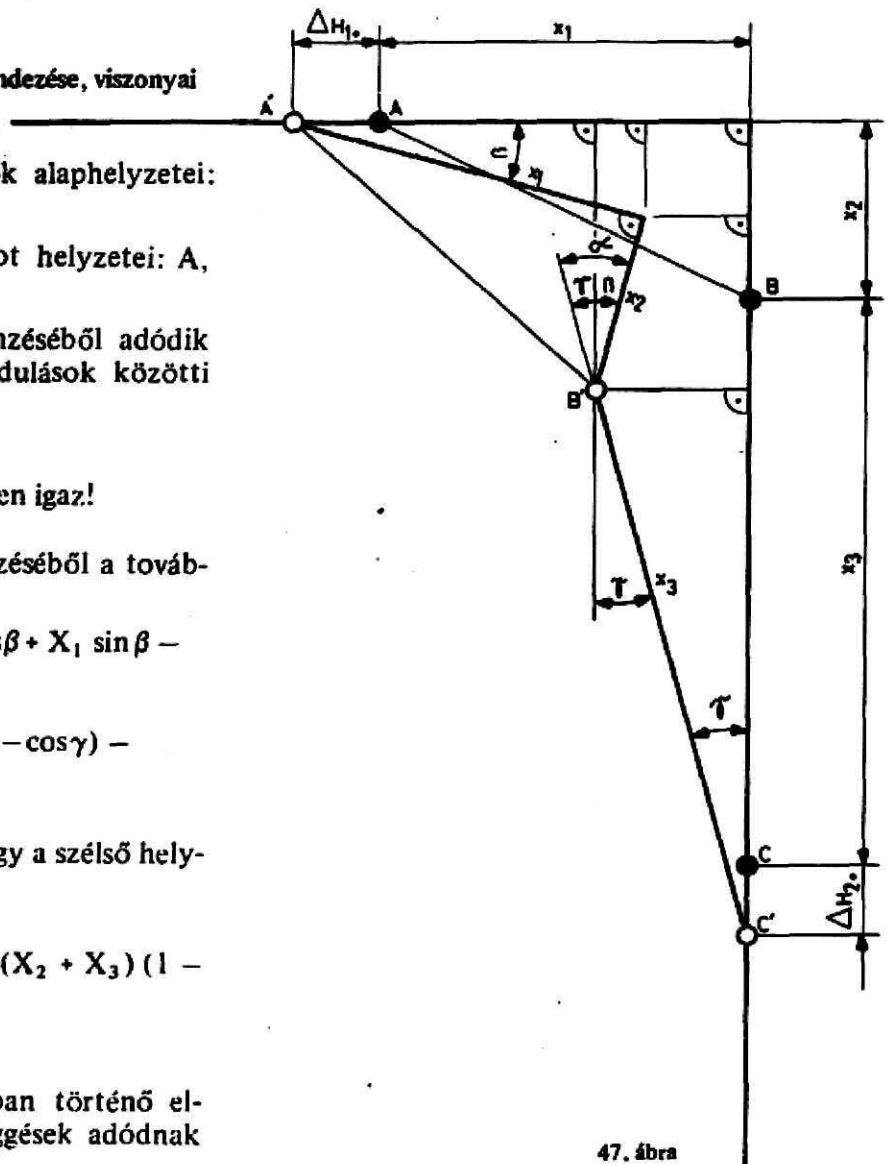
$$\Delta H_{1+} = X_1 (-1 + \cos \beta) + X_3 \cdot \sin \gamma - X_2 \cdot \sin \beta.$$

Ha: $\gamma = \beta$, akkor: $\gamma = \beta = \frac{\alpha}{2}$, és így a szélső helyzet nagysága:

$$V_1 = \Delta H_{1+} = -X_1 (1 - \cos \frac{\alpha}{2}) + (X_3 - X_2) \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Ezen egyenlet elrendezése után a végképlet:

$$V_1 = \Delta H_{1+} = (X_3 - X_2) \sin \frac{\alpha}{2} - X_1 (1 - \cos \frac{\alpha}{2}).$$

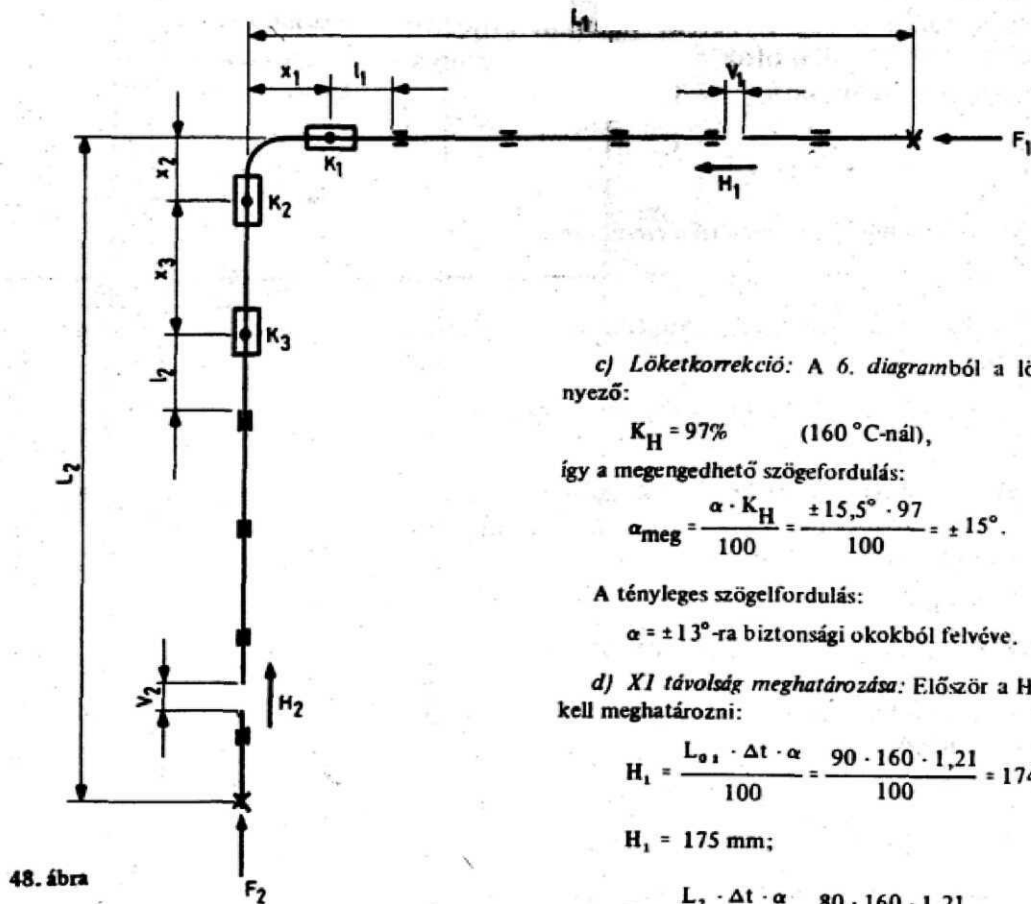


47. ábra

Max. üzemi hőmérséklet:	$t_{max} = 160 \text{ }^\circ\text{C}$
Min. hőmérséklet:	$t_{min} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$
Beépítési hőmérséklet:	$t_{beép} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Élettartam:	1000 teljes, kettős löket
Vezeték tömeg szigeteléssel:	$q = 80 \text{ kg/m}$
Csővírteljesítési tényező:	$\mu = 0,05$
Csőátmérő:	$r = 3D$
Csőhosszak:	$L_1 = 90 \text{ m}$ $L_2 = 80 \text{ m}$

Keresett:

- angulár kompenzátork típusa,
- beépítési méretek (csuklópont távolságok),
- fixpont erőik,
- állító nyomatékok.



48. ábra

Számítások

a) A kompenzátorok névleges nyomásának meghatározása: Legyen a rugótest anyaga AISI 304, a nyomáskorrekciós tényező az 5. diagram szerint:

$$K_D = 93\% \quad (t_{\max} = 160^\circ\text{C-nál}).$$

A minimálisan szükséges névleges nyomás a korrekciós tényező figyelembevételével:

$$P_{N\min} = \frac{p_{\ddot{u}} \cdot 100}{K_D} = \frac{2 \cdot 100}{93} = 2,15 \text{ MPa.}$$

A szabványos nyomáslépcsők szerint a $p_N = 2,5 \text{ MPa}$ névleges nyomásfokozat kiválasztható.

A kompenzátorokra megengedhető maximális üzemi nyomás:

$$p_{\ddot{u}\text{meg}} = \frac{p_N \cdot K_D}{100} = \frac{2,5 \cdot 93}{100} = 2,325 \text{ MPa.}$$

A nyomáskihasználtság foka:

$$K'_D = \frac{p_{\ddot{u}} \cdot 100}{p_{\ddot{u}\text{meg}}} = \frac{2 \cdot 100}{2,325} = 86\%.$$

b) **Típusválasztás:** A típus táblázatból a következő angulár kompenzátor választható ki (ha kisebb csuklóponttávolságokra van szükség, akkor nagyobb szögelfordulású kompenzátort kell kiválasztani).

Példánkban: K1, K2, K3: AW-6025, NA 300, NNY 2,5 MPa. Megengedhető szögelfordulás: $\alpha = \pm 15,5^\circ$ (1000 löketnél). Teljes hossz: TL = 530 mm.

c) **Löketterekció:** A 6. diagramból a löketterekciós tényező:

$$K_H = 97\% \quad (160^\circ\text{C-nál}),$$

így a megengedhető szögelfordulás:

$$\alpha_{\text{meg}} = \frac{\alpha \cdot K_H}{100} = \frac{\pm 15,5^\circ \cdot 97}{100} = \pm 15^\circ.$$

A tényleges szögelfordulás:

$$\alpha = \pm 13^\circ\text{-ra biztonsági okokból felvéve.}$$

d) **X1 távolság meghatározása:** Először a H₁ és H₂ löketeit kell meghatározni:

$$H_1 = \frac{L_{o1} \cdot \Delta t \cdot \alpha}{100} = \frac{90 \cdot 160 \cdot 1,21}{100} = 174,24 \text{ mm,}$$

$$H_1 = 175 \text{ mm;}$$

$$H_2 = \frac{L_2 \cdot \Delta t \cdot \alpha}{100} = \frac{80 \cdot 160 \cdot 1,21}{100} = 154,88 \text{ mm,}$$

$$H_2 = 155 \text{ mm.}$$

A 2. nomogram segítségével:

„A” oszlopon: $\frac{1}{2} \alpha_{K_2} = 6,5^\circ$ -ot összekötve,

„B” oszlop: $H_2 = 155 \text{ mm-rel,}$

„C” oszlopon: $X_1 = 710 \text{ mm}$ adódik;

vagy képlettel számolva:

$$X_1 = \frac{H_2}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{155}{2 \cdot \sin \frac{13^\circ}{2}} = 685 \text{ mm.}$$

e) **X₂ távolság meghatározása:** X₂ értékét a lehető legrövidebbre kell választani:

$$X_2 = 3D + \frac{TL \cdot K_2}{2} = 457 + 265 = 722 \text{ mm,}$$

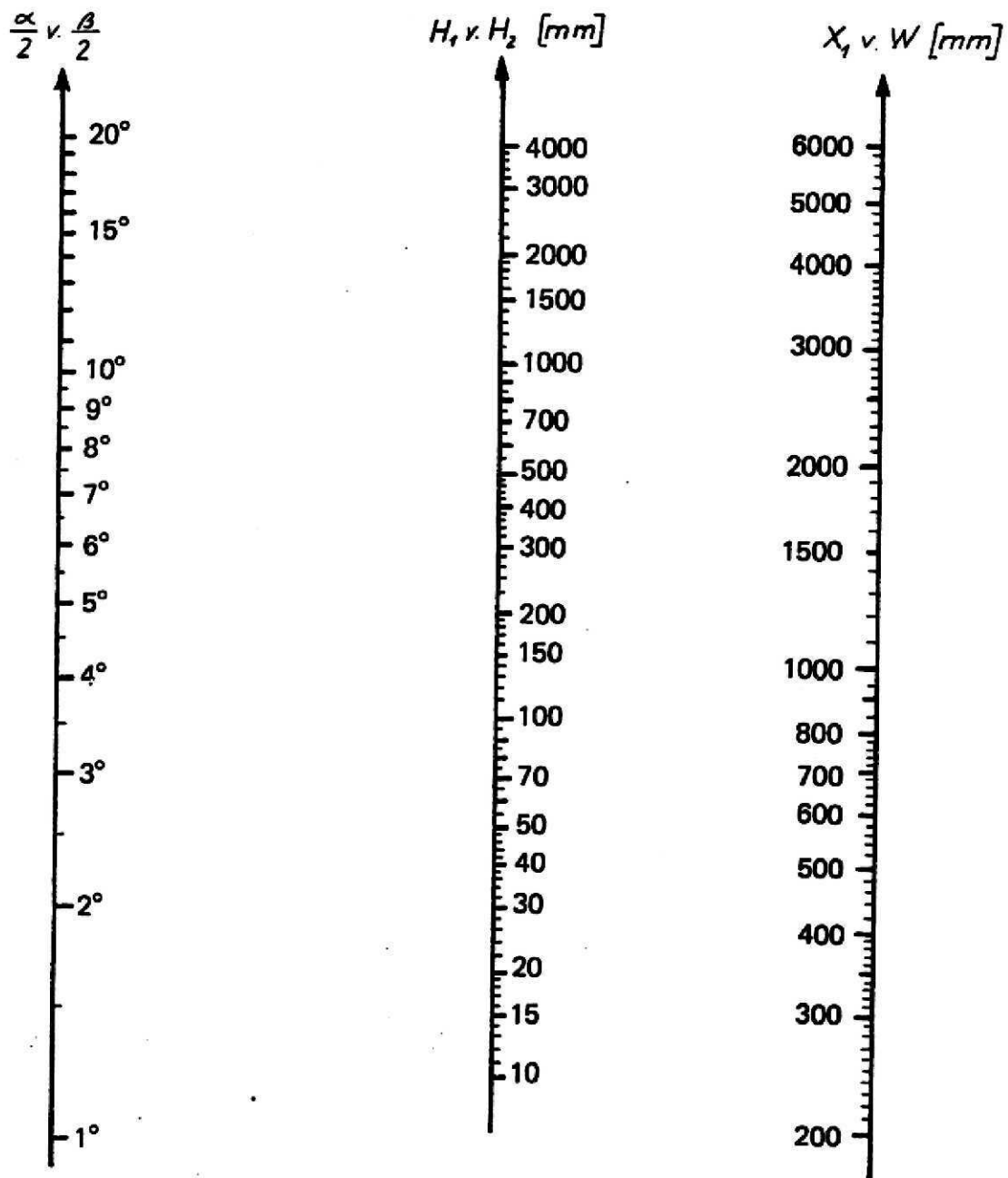
ahol: az ívrádiusz $r = 3D = 457 \text{ mm}$ (lásd 6. táblázatot).

f) **Az X₃ csuklópont távolság kiszámítása:**

$$X_3 = X_2 + W = 722 + 820 = 1542 \text{ mm.}$$

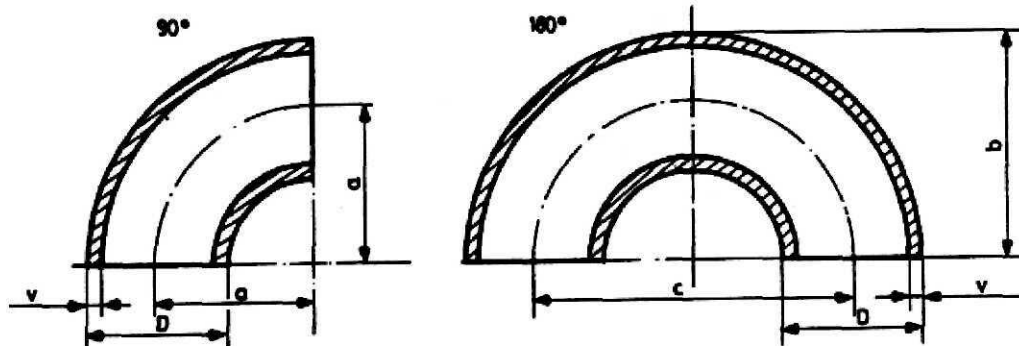
ahol: W értéke a 2. nomogramból: 820 mm vagy képlettel számolva

$$W = \frac{H_1}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{175}{2 \cdot \sin 6,5^\circ} = 773 \text{ mm.}$$



2. nomogram Az L 3/2-es kombináció összetartozó geometriai adatai

„3D”-s ívek méretei (kivonat az MSZ 2830-69-ből)



6. táblázat

Külső átmérő D [mm]	Falvastagság v [mm]	a		b	c		90°-os csőív tömege (kg/db)
		méret	tűrés		méret	tűrés	
25*	2,3	27,5		40	55		0,06
27*	2,3	28,5		42	57		0,07
30*	2,6	33,5	±2,5	48	67	±5	0,09
32*	2,6	35		51	70		0,11
34*	2,6	38		55	76		0,12
38	2,6	45		64	90		0,16
42	2,6	47,5	±2,5	69	95	±5	0,19
44,5	2,6	51		73	102		0,22
48	2,6	57		81	114		0,27
61	2,6	63,5		89	127		0,31
54*	2,6	68,5		95	137		0,35
57	2,9	72		100	144		0,44
60	2,9	76		106	152		0,49
63,5	2,9	82,5		114	165		0,57
70	2,9	92		127	184		0,70
76	2,9	95	±3	133	190	±6	0,79
83	3,2	107,5		149	215		1,07
89	3,2	114,5		159	229		1,22
102	3,6	133,5		184	267		1,83
108	3,6	142,5		196	285		2,08
114	3,6	152,5		210	305		2,37
127	4	171,5		235	343		3,25
133	4	181		247	362		3,64
140*	4	190,5		260	381		4,04
152*	4,5	208		284	416		5,36
159	4,5	216		295	432		5,80
168	4,5	228,5		313	457		6,50
178*	5	251	±4	340	502	±8	8,43
194	5,6	270		367	540		10,6
219	6,3	305		415	610		14,9
245	6,3	340		462	680		19,8
273	7,1	381		517	762		24,9
299*	8	422,5	±5	572	845	±10	38,2
324	8	457		619	914		40,0
356*	8	533,5		711	1067		57,2
368*	8	533,5		717	1067		59,2
406*	9	609,5	±10	813	1219	±12	82,2
419*	10	609,5		819	1219		96,6

A *-gal jelölt méretek a szabvány készítésekor hazai gyártásban nem szerepeltek.

Mivel az angulár kompenzátorok lökethatárolással ellátottak, a szerelésből adódó pontatlanságok miatt, biztonsági okokból ajánlatos X_1 és X_3 értékét kb. 10%-os ráhagyással megnövelni.

A továbbiakban így:

$$X_1 = 800 \text{ mm és}$$

$$X_3 = 1700 \text{ mm-rel számolunk tovább.}$$

g) A húzott állapot szélső helyzetei:

$$V_1 = (X_3 - X_2) \sin \frac{\alpha K_2}{2} - X_1 \cdot (1 - \cos \frac{\alpha K_2}{2}),$$

$$V_1 = (1700 - 722) \sin 6,5^\circ - 800 (1 - \cos 6,5^\circ) = 106 \text{ mm,}$$

$$V_2 = X_1 \cdot \sin \frac{\alpha K_2}{2} - (X_2 + X_3) \cdot (1 - \cos \frac{\alpha K_2}{2}),$$

$$V_2 = 800 \cdot \sin 6,5^\circ - (722 + 1700) \cdot (1 - \cos 6,5^\circ) = 75 \text{ mm.}$$

Az előzőekben kiszámított V_1 és V_2 szélső helyzetek a legalsó hőmérsékletnél levő állapotnak felelnek meg. Mivel a beépítési hőmérséklet ettől eltér, így a beépítési hőmérsékletre felmelegedő csőszakaszok megnyúlásai:

$$H_{b1} = \frac{L_1 \cdot t_{beép} \cdot \alpha_t}{100} = \frac{90 \cdot 20 \cdot 1,11}{100} = 20 \text{ mm,}$$

$$H_{b2} = \frac{L_2 \cdot t_{beép} \cdot \alpha_t}{100} = \frac{80 \cdot 20 \cdot 1,11}{100} = 18 \text{ mm,}$$

(mivel a minimális hőmérséklet $t_{min} = 0^\circ\text{C}$).

A tényleges előfeszítések a beépítés órájában az előbbi hőtágulások figyelembevételével:

$$V_{b1} = V_1 - H_{b1} = 106 - 20 = 86 \text{ mm,}$$

$$V_{b2} = V_2 - H_{b2} = 76 - 18 = 58 \text{ mm.}$$

h) Állítóerők és nyomatékok: A típus táblázatból a rugóállandók:

$$c_{\alpha K_1} = c_{\alpha K_2} = c_{\alpha K_3} = 160 \text{ Nm/}^\circ.$$

A kompenzátorok súrlódási nyomatéka: $m_f = 420 \text{ Nm/MPa}$.

Az állítónyomaték ezen adatok figyelembevételével:

$$M = p_{\bar{u}} \cdot m_f \cdot c_{\alpha} \cdot \alpha K_2.$$

$$\text{Így: } M_1 = M_2 = 2 \cdot 420 \cdot 160 \cdot 6,5^\circ = 1880 \text{ N} = 1,88 \text{ kN,}$$

$$M_3 = 2 \cdot 420 \cdot 160 \cdot 13^\circ = 2920 \text{ N} = 2,92 \text{ kN.}$$

Az állító erők:

$$F_1 = \frac{M_2 \cdot M_1}{X_1} = \frac{2,92 \cdot 1,88}{1,7} = 2,82 \text{ kN,}$$

$$F_2 = \frac{M_1 \cdot M_2}{X_1} = \frac{1,88 \cdot 2,92}{0,8} = 6 \text{ kN.}$$

Az L_1 és L_2 távolságok 1000 mm-re felvéve (mivel min. 3 NA = 3 \cdot 300 = 900 mm hossz szükséges a geometriai méretek miatt).

Az 1-es csőmegvezetésre ható nyomaték:

$$M_{V_1} = M_1 \cdot F_2 \cdot l_1 = 1,88 \cdot 6 \cdot 1 = 7,88 \text{ kNm,}$$

A 2-es csőmegvezetésre ható nyomaték:

$$M_{V_2} = M_1 \cdot F_1 \cdot l_2 = 1,88 \cdot 2,82 \cdot 1 = 4,70 \text{ kNm.}$$

i) A csőúrlódásból adódó erők: A számítás alapjául szolgáló képlet

$$F_{CS} = \mu \cdot g \cdot l, \text{ így}$$

$$F_{CS1} = 0,05 \cdot 0,80 \cdot 90 = 3,6 \text{ kN,}$$

$$F_{CS2} = 0,05 \cdot 0,80 \cdot 80 = 3,2 \text{ kN.}$$

k) A fixpontokra ható erők és nyomatékok:

$$\Sigma F_1 = F_1 + F_{CS1} + F_2 \cdot \mu = 2,82 + 3,6 + 6 \cdot 0,05 = 6,72 \text{ kN,}$$

$$\Sigma F_2 = F_2 + F_{CS2} + F_1 \cdot \mu = 6 + 3,2 + 2,82 \cdot 0,05 = 9,31 \text{ kN,}$$

$$\Sigma M_1 = M_{V_1} = 7,88 \text{ kNm, } \Sigma M_2 = M_{V_2} = 4,70 \text{ kNm.}$$

Csapközéptávolságok az L3/2 kombinációban, ha a K1, K2 és K3 kompenzátorok azonos lökethatárolást végeznek

Az iterációs eljárás során a következő képletekkel számolunk:

$$X_1 = \frac{H_2 \cdot (X_2 + X_3)}{2 \cdot X_3 \cdot \sin \alpha - H_1} \quad [\text{mm}],$$

amikor X_2 és X_3 -at előr kell felvenni.

$$X_3 = \frac{H_2 \cdot X_2 + H_1 \cdot X_1}{2 \cdot X_1 \cdot \sin \alpha - H_2} \quad [\text{mm}].$$

Itt X_1 -t és X_2 -t kell előre felvenni.

Ha a képlettel számolható X_1 (illetve X_3) értéke az iterációs számítás során negatív vagy nagyon kis szám adódna, akkor az X_3 -as (illetve az X_1 -es) előre felvett értékeket meg kell növelni vagy a maximálisan megengedhető kompenzátor szögelfordulást felül kell vizsgálni.

8. példa:

Bemutatunk egy számítási eljárást, amikor K1, K2 és K3-as kompenzátorok lökete azonos. A kiindulási adatok, az elrendezés az előző (8.) példával egyezik meg, így a korrekciós számítások, lökethatárolás meghatározások is azonosak az előző példával.

A kiválasztott típus AW-6025, NA 300, NNY 2,5 MPa

$$\alpha_{meg} = 13^\circ,$$

$$H_1 = 175 \text{ mm,}$$

$$H_2 = 155 \text{ mm.}$$

Az iterációs eljárás menete:

$$X_{1min} = X_{2min} = 3D \cdot \frac{TL}{2} = 457 \cdot 265 = 722 \text{ mm,}$$

$$X_2 = 725 \text{ mm-re felvéve,}$$

$$X_3 = 1800 \text{ mm-re felvéve.}$$

Így az X_1 távolság:

$$X_1 = \frac{H_2 \cdot (X_2 + X_3)}{2 \cdot X_3 \cdot \sin \alpha - H_1} = \frac{155 \cdot (1800 + 725)}{2 \cdot 1800 \cdot \sin 13^\circ - 175}.$$

$X_1 = 616,5 \text{ mm}$, ez az érték kicsi X_1 min értékéhez képest, így az iterációs tovább folytatva:

$X_2 = 725 \text{ mm-es}$ adattfelvételt megtartva:

$X_3 = 1400$ mm-re felvéve: az X_1 távolság értéke:

$$X_1 = \frac{155 \cdot (725 + 1400)}{2 \cdot 1400 \cdot \sin 13^\circ - 155} = 724 \text{ mm} > 722 \text{ mm.}$$

így:
$$X_2 = \frac{H_1 \cdot X_2 + H_1 \cdot X_1}{2 \cdot \sin \alpha \cdot X_1 - H_2} = \frac{155 \cdot 725 + 175 \cdot 724}{2 \cdot 724 \cdot \sin 13^\circ - 155}$$

$X_2 = 1400,3 \text{ mm} \approx 1400 \text{ mm}$, tehát az adatfelvétel megfelelő volt.

A geometriai szélső helyzetek számítása:

$$V_1 = (X_3 - X_2) \sin \frac{\alpha}{2} - X_1 (1 - \cos \frac{\alpha}{2});$$

$$V_1 = (1400 - 725) \sin 6,5^\circ - 724 (1 - \cos 6,5^\circ) = 72 \text{ mm};$$

$$V_2 = X_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - (X_2 - X_3) \cdot (1 - \cos \frac{\alpha}{2});$$

$$V_2 = 724 \cdot \sin 6,5^\circ - (725 - 1400) \cdot (1 - \cos 6,5^\circ) = 68 \text{ mm.}$$

A beépítés napján a csővezeték megnyű'ása:

$$H_{b1} = 20 \text{ mm} \quad (\text{lásd előző, 7. példa}),$$

$$H_{b2} = 18 \text{ mm} \quad (\text{lásd előző, 7. példa}).$$

Így a beépítés napján az előfeszítés:

$$V_{b1} = V_1 - H_{b1} = 72 - 20 = 52 \text{ mm},$$

$$V_{b2} = V_2 - H_{b2} = 68 - 18 = 50 \text{ mm}.$$

Az állító erők és nyomatékok, valamint a fixpontokra ható erők és nyomatékok számításánál az előző példákban ismertetett módon kell eljárni.

AZ U-KOMBINÁCIÓK

Az U kombinációk a hagyományos U csőlírákhoz hasonlítanak. Ez az elrendezés az angulár kompenzátor jellemzői miatt kedvezően használható hosszú, egyenes csőszakaszok kiegyenlítőjeként.

A hagyományos csőlírákkal szemben az U kombinációk az alábbi előnyökkel rendelkeznek:

- több száz vagy ezer méter hosszú vezeték csőtágulását is képes felvenni egyetlen kombináció,
- helyszükséglete kisebb,
- kis reakcióerők és nyomatékok ébrednek a fixpontokban,
- a hosszú kompenzálható csőszakasz miatt gazdaságos megoldás.

A méretezéshez használt összefüggéseket az U3/1-es kombináción keresztül mutatjuk be.

A méretezés célja, hogy adott lökethez megfelelő X_1 , X_2 és V méreteket határoztuk meg a felhasználható kompenzátorok adatainak ismeretében.

Ezt követően a nyomatékokat és a fixponti erőket számíthatjuk ki. A levezetések a következő ábrák alapján, különösebb magyarázat nélkül, könnyen megérthetők.

A kombináció szimmetrikus elrendezése miatt, az egyszerűség kedvéért, a kombinációnak csak egyik oldalát vizsgáljuk.

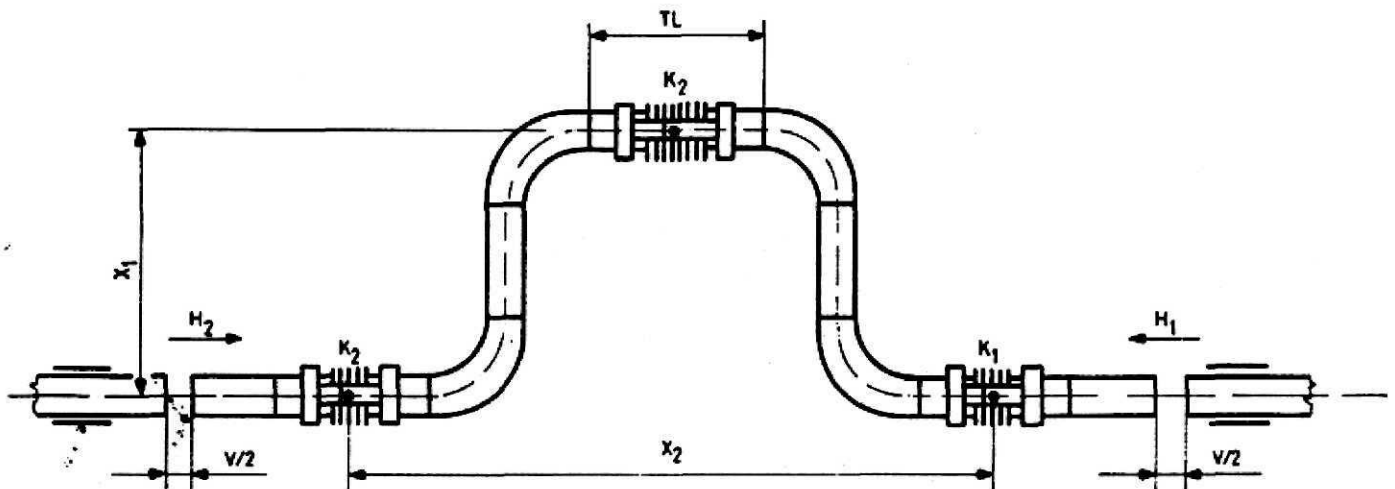
Az U3/1-es kombináció geometriai viszonyai

$$c_+ = X_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{X_2}{2} \cdot (1 - \cos \frac{\alpha}{2});$$

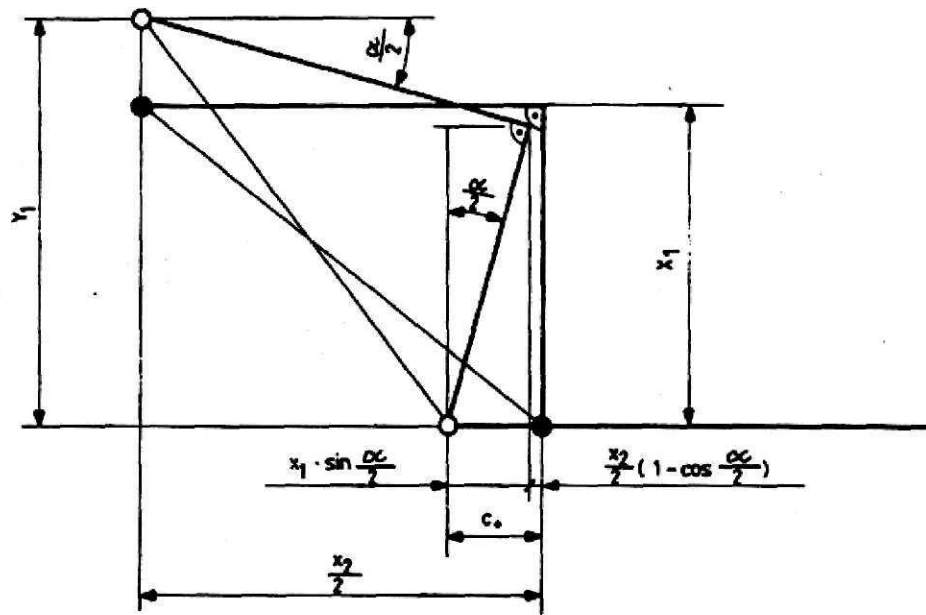
$$c_- = X_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - \frac{X_2}{2} \cdot (1 - \cos \frac{\alpha}{2}).$$

$H = H_1 + H_2$, azaz a teljes löket a húzott és nyomott állapot csőtágulásértékeinek összege oldalanként.

$$C_+ + C_- = \frac{H}{2}$$



49. ábra



50. ábra
Összenyomott helyzet



51. ábra
Széthúzott helyzet

A behelyettesítések és egyszerűsítések után:

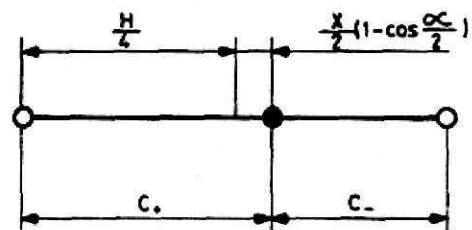
$$\frac{H}{2} = 2 \cdot X_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}.$$

Innen X_1 -et kifejezve:

$$X_1 = \frac{H}{2 \sin \alpha}.$$

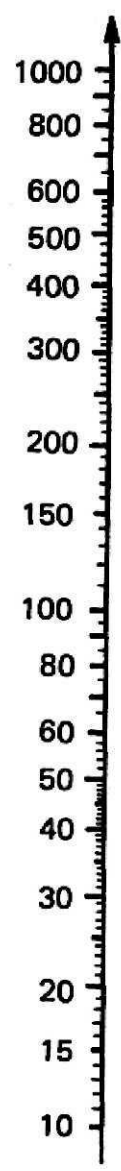
Ez az érték a 3. nomogramból, vagy a 7. táblázatból könnyen meghatározható. A húzott és nyomott helyzeteket ábrázolva látható, hogy az

U3/1-es kombináció alaphelyzete nem esik egybe a lökettartomány felezőpontjával.

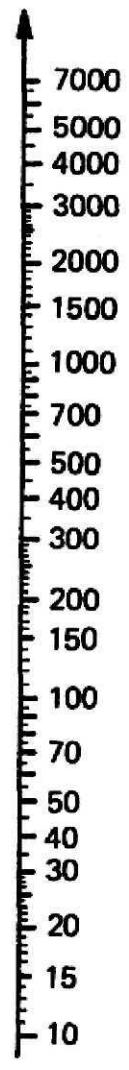


52. ábra

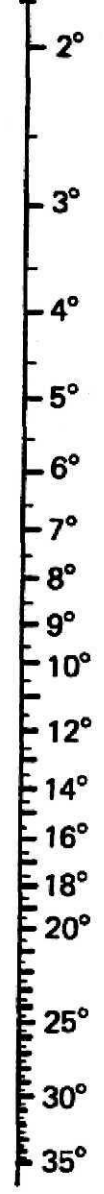
$$H = H_1 + H_2 \text{ [mm]}$$



$$X_1 \text{ [mm]}$$



$$\alpha_{K_2}$$



3. nomogram Az U 3-as kombinációk összetartozó geometriai adatai

Hőtá- gulás H (mm)	Az U 3/1-es kombináció középső kompenzátorának $\pm\alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 3^\circ$	$\pm 4^\circ$	$\pm 5^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 7^\circ$	$\pm 8^\circ$	$\pm 9^\circ$	$\pm 10^\circ$	$\pm 11^\circ$	$\pm 12^\circ$	$\pm 13^\circ$	$\pm 14^\circ$
50	478	358	287	239	205	180	160	144	131	120	111	103
75	717	538	430	359	308	269	240	216	197	180	167	155
100	955	717	574	478	410	359	320	288	262	241	222	207
125	1194	896	717	598	513	449	400	360	328	301	278	258
150	1433	1075	861	718	615	539	480	432	393	361	334	310
175	1672	1254	1004	837	718	629	559	504	459	421	389	362
200	1911	1434	1147	957	821	719	639	576	524	481	445	413
225	2150	1613	1291	1076	923	808	719	648	590	541	500	465
250	2388	1792	1434	1196	1026	898	799	720	655	601	556	517
275	2627	1971	1578	1315	1128	988	879	792	721	661	611	568
300	2866	2150	1721	1435	1231	1078	959	864	786	722	667	620
325	3105	2330	1865	1555	1333	1168	1039	936	852	782	722	672
350	3344	2509	2008	1674	1436	1257	1119	1008	917	842	778	723
375	3583	2688	2151	1794	1539	1347	1199	1080	983	902	834	775
400	3822	2867	2295	1913	1641	1437	1279	1152	1048	962	889	827
425	4060	3046	2438	2033	1744	1527	1358	1224	1114	1022	945	878
450	4299	3226	2582	2153	1846	1617	1438	1296	1179	1082	1000	930
475	4538	3405	2725	2272	1949	1707	1518	1368	1245	1142	1056	982
500	4777	3584	2868	2392	2051	1796	1598	1440	1310	1202	1111	1033
525	5016	3763	3012	2511	2154	1886	1678	1512	1376	1263	1167	1085
550	5255	3942	3155	2631	2257	1976	1758	1584	1441	1323	1223	1137
575	5493	4122	3299	2750	2359	2066	1838	1656	1507	1383	1278	1188
600	5732	4301	3442	2870	2462	2156	1918	1728	1572	1443	1334	1240
625	5971	4480	3586	2990	2564	2245	1998	1800	1638	1503	1389	1292
650	6210	4659	3729	3109	2667	2335	2078	1872	1703	1563	1445	1343
675	6449	4838	3872	3229	2769	2425	2158	1944	1769	1623	1500	1395
700	6688	5018	4016	3348	2872	2515	2237	2016	1834	1683	1556	1447
725	6926	5197	4159	3468	2975	2605	2317	2088	1900	1744	1612	1498
750	7165	5376	4303	3588	3077	2695	2397	2160	1965	1804	1667	1550
775	7404	5555	4446	3707	3180	2784	2477	2232	2031	1864	1723	1602
800	7643	5734	4590	3827	3282	2874	2557	2304	2096	1924	1778	1653
825	7882	5913	4733	3946	3385	2964	2637	2376	2162	1984	1834	1705
850	8121	6093	4876	4066	3487	3054	2717	2448	2227	2044	1889	1757
875	8360	6272	5020	4186	3590	3144	2797	2520	2293	2104	1945	1808
900	8598	6451	5163	4305	3693	3233	2877	2591	2358	2164	2000	1860
925	8837	6630	5307	4425	3795	3323	2957	2663	2424	2225	2056	1912
950	9076	6809	5450	4544	3898	3413	3036	2735	2489	2285	2112	1963
975	9315	6989	5593	4664	4000	3503	3116	2807	2555	2345	2167	2015
1000	9554	7168	5737	4783	4103	3593	3196	2879	2620	2409	2223	2067

Az U3/1-es kombináció X₁ csaptávolságának értéke mm-ben.

7. táblázat folytatása

Hőtágulás H (mm)	Az U3/1-es kombináció középső kompenzátorának $\pm \alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 15^\circ$	$\pm 16^\circ$	$\pm 17^\circ$	$\pm 18^\circ$	$\pm 19^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 21^\circ$	$\pm 22^\circ$	$\pm 23^\circ$	$\pm 24^\circ$	$\pm 25^\circ$	$\pm 26^\circ$
50	97	91	86	81	77	73	70	67	64	62	59	57
75	145	136	128	121	115	110	105	100	96	92	89	86
100	193	181	171	162	154	146	140	134	128	123	118	114
125	242	227	214	202	192	183	174	167	160	154	148	143
150	290	272	257	243	230	219	209	200	192	184	178	171
175	338	317	299	283	269	256	244	234	224	215	207	200
200	386	363	342	324	307	292	279	267	256	246	237	228
225	435	408	385	364	346	329	314	300	288	277	266	257
250	483	454	426	405	384	366	349	334	320	307	296	285
275	531	499	470	445	422	402	384	367	352	338	325	314
300	580	544	513	485	461	439	419	400	384	369	355	342
325	628	590	556	526	499	475	453	434	416	400	385	371
350	676	635	599	566	538	512	488	467	448	430	414	400
375	724	680	641	607	576	548	523	500	480	461	444	423
400	773	726	684	647	614	585	558	534	512	492	473	456
425	821	771	727	688	653	621	593	567	544	523	503	485
450	869	816	770	728	691	658	628	601	576	553	532	513
475	918	862	812	769	730	694	663	634	608	584	562	542
500	966	907	855	809	768	731	698	667	640	615	592	570
525	1014	952	898	850	806	768	733	701	672	645	621	600
550	1063	998	941	890	845	804	767	734	704	676	651	627
575	1111	1043	983	930	883	841	802	768	736	707	680	656
600	1159	1088	1026	971	922	877	837	801	768	738	710	685
625	1207	1134	1069	1011	960	914	872	834	800	768	740	713
650	1256	1179	1112	1052	998	950	907	868	832	799	769	741
675	1304	1224	1154	1092	1037	987	942	901	864	830	799	770
700	1352	1270	1197	1133	1075	1023	977	934	896	861	828	798
725	1401	1315	1240	1173	1113	1060	1012	968	928	891	858	827
750	1449	1361	1283	1214	1152	1097	1046	1001	960	922	887	856
775	1497	1406	1325	1254	1190	1133	1081	1034	992	953	917	884
800	1546	1451	1368	1294	1229	1170	1116	1068	1024	983	947	913
825	1594	1497	1411	1335	1267	1206	1151	1101	1056	1014	976	941
850	1642	1542	1454	1375	1305	1243	1186	1135	1088	1045	1006	970
875	1690	1587	1496	1416	1344	1279	1221	1168	1120	1076	1035	998
900	1739	1633	1539	1456	1382	1316	1256	1201	1152	1106	1065	1027
925	1787	1678	1582	1497	1421	1352	1291	1235	1184	1137	1094	1055
950	1835	1723	1625	1537	1459	1389	1326	1268	1216	1168	1124	1084
975	1884	1769	1667	1578	1497	1425	1360	1301	1248	1199	1154	1112
1000	1932	1814	1710	1618	1536	1462	1395	1335	1280	1229	1183	1140

Az U3/1-es kombináció X_2 esztávolságának értéke mm-ben.

Mivel az előfeszítés értéke egyoldalra:

$$\frac{V}{2} = C,$$

$$\frac{H}{4} = \frac{V}{2} + \frac{X_2}{2} (1 - \cos \frac{\alpha_2}{2}).$$

$$\text{Így: } V = \frac{H}{2} - X_2 (1 - \cos \frac{\alpha_2}{2}).$$

Ez az érték az alaphelyzet és a t_{\min} hőmérséklethez tartozó, húzott (előfeszített) állapot nagyságát adja meg. A beépítési hőmérsékletnek megfelelő előfeszítést pedig az alábbi módon kaphatjuk meg:

$$V_{be} = V - H_{be}.$$

ahol:

H_{be} – a csőszakasz hőtágulása és minimális és a beépítési hőmérséklet különbség hatá-
sára.

A továbbiakban az U kombináció elmozdulá-
si helyigényét meghatározó Y_1 és Y_2 értékeket
kell még kifejezni. Ezek szimmetrikus kialakítás
esetén közvetlenül leolvashatóak a 50. és 51. áb-
rákból:

$$Y_1 = X_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} + \frac{X_2}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + \frac{B}{2}$$

$$Y_2 = X_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2} - \frac{X_2}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} - \frac{B}{2}$$

ahol B a kompenzátor legnagyobb átmérője. Az
ábrában szereplő X_2 távolságot a lehető legrövi-
debbre célszerű felvenni. Nagy löketek esetében
érdemes ellenőrizni, hogy a K1 és K3 kompen-
zátorok mellett levő könyök összeér-e a véghely-
zetek elérése előtt. Így X_2 értékét az alábbi
összefüggés fejezi ki:

$$X_2 \geq 2TL + 4 \cdot r.$$

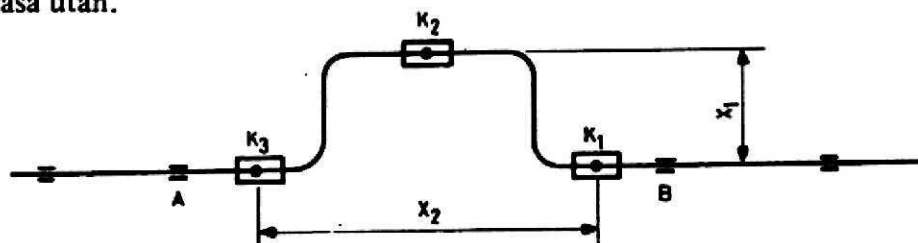
Ellenőrzés: $H < X_2 - TL - 2r$,

vagy: $H + TL + 2r < X_2$,

$$H < TL + 2r.$$

Amennyiben az egyenlőtlenség nem telje-
sülne, úgy a K2-es kompenzátor elé és mögé
egy-egy egyenes csőtoldatot is be kell építeni.

Megjegyzés: Különösen szükséges ezen ellen-
őrzések elvégzése az U3/2 és U4/2 jelű kom-
binációk számítása után.



53. ábra

9. példa: Számpélda az U3/1 kombinációk méretezésére

Kiindulási adatok:

csővezeték:	NA 150
üzemi nyomás:	$p_{ü} = 2 \text{ MPa}$
üzemi hőmérséklet:	$t_{ü} = 220 \text{ °C}$
lökettávolság:	$H = 290 \text{ mm}$ (felvéve)
lv:	3 D
minimális hőmérséklet:	$t_{min} = 25 \text{ °C}$
beépítési hőmérséklet:	$t_{beép} = 15 \text{ °C}$
élettartam:	5000 kettős löket

Keresett:

- csaptávolság,
- előfeszítés a beépítéskor,
- állító erők és nyomatétek,
- az előfeszítés erőszükséglete beépítéskor.

Megoldás: A rugótest anyagául AISI 304-t választjuk. A nyo-
máskorrekciós tényező az 5. diagramból $K_D = 82,5\%$ (220 °C üze-
mi hőmérsékleten).

A minimálisan szükséges névleges nyomás a korrekciós ténye-
ző figyelembevételével:

$$p_{Nmin} = \frac{p_{ü} \cdot 100}{K_D} = \frac{2 \cdot 100}{82,5} = 2,424 \text{ MPa}.$$

A szabványos nyomáslépcsők szerint $p_N = 2,5 \text{ MPa}$ nyomásfo-
kozat kiválasztható.

A maximálisan megengedhető üzemi nyomás:

$$p_{ümeg} = \frac{p_N \cdot K_D}{100} = \frac{2,5 \cdot 82,5}{100} = 2,06 \text{ MPa}.$$

A nyomáskihasználtság foka:

$$K'_D = \frac{p_{ü} \cdot 100}{p_{ümeg}} = \frac{2 \cdot 100}{2,06} = 97\%.$$

A típustáblázatból következő angulár kompenzátor választ-
ható ki, pl. K1, K2, K3: AW-6025, NA 150, NNY 2,5 MPa.

Az angulár kompenzátorok szögelfordulása:

$\alpha = \pm 15^\circ$, ha az élettartama 5000 kettős löket.

A kompenzátorok teljes hossza: $TL = 500 \text{ mm}$.

Löketterekció

A 6. diagramból a löketterekciós tényező 220 °C -nál:

$$K_H = 92,8\%.$$

A löketterekciós tényezők figyelembevételével a megeng-
edhető szögelfordulás:

$$\alpha_{meg} = \frac{\alpha \cdot K_H}{100} = \frac{15 \cdot 92,8}{100} = 13,92^\circ.$$

A tényleges szögelfordulásra biztonsági okokból:

$$\alpha_{K2} = \pm 13^\circ\text{-ra felvéve}$$

a lökettihasználtsági tényező:

$$K'_H = \frac{\alpha_{K2} \cdot 100}{\alpha_{meg}} = \frac{13 \cdot 100}{13,92} = 93,4\%.$$

A 3. nomogrammból: $H = 290 \text{ mm}$ -es löket, $\alpha_{K2} = \pm 13^\circ$ szög-
elfordulásnál az X_1 távolság:

$$X_1 = 650 \text{ mm}.$$

vagy a 7. táblázatból interpolálással:

$$X_1 = 650 \text{ mm}.$$

vagy képlettel X_1 pontos értékének számítása:

$$X_1 = \frac{H}{2 \cdot \sin \alpha_{K2}} = \frac{290}{2 \cdot \sin 13^\circ} = 645 \text{ mm}.$$

A beépítési pontatlanságokra való tekintettel $X_1 = 650$ mm-re felvéve.

Az elméleti geometriai elmozdulás

$$V = \frac{H}{2} - X_2 \left(1 - \cos \frac{\alpha_{K2}}{2}\right),$$

ahol: $X_2 = TL_{K2} \cdot TL_{K1} \cdot 4 \cdot 3D,$

$$X_2 = 500 \cdot 500 \cdot 4 \cdot 216 = 1864 \text{ mm},$$

$$X_2 = 1870 \text{ mm-re felvéve},$$

így az elmozdulás értéke:

$$V = \frac{290}{2} - 1870 \left(1 - \cos 6,5^\circ\right) = 133 \text{ mm}.$$

A beépítéskor az előfeszítés:

$$V_{\text{beép}} = V - H_{\text{beép}}$$

A vezeték szakasz megnyúlása t_{min} hőmérsékletéről a $t_{\text{beép}}$ beépítési hőmérsékletre: $H_{\text{beép}} = 52$ mm (felvéve).

Az előfeszítés értéke a beépítés órájában:

$$V_{\text{beép}} = 133 - 52 = 81 \text{ mm}.$$

Az állító erők és nyomatékok

Rugóállandó a típustáblázatból: $C_\alpha = 45 \text{ Nm/1}^\circ$.

Állítónyomaték a típustáblázatból: $m_r = 70 \text{ Nm/MPa}$.

A tényleges állító nyomaték:

$$M_2 = p \cdot m_r \cdot \alpha_{K2} \cdot C_\alpha = 2 \cdot 70 \cdot 13 \cdot 45 = 725 \text{ Nm},$$

$$M_1 = M_3 = p \cdot m_r \cdot \alpha_{K1} \cdot C_\alpha = 2 \cdot 70 \cdot 6,5 \cdot 45 = 432,5 \text{ Nm}.$$

Az állítóerő:

$$F = \frac{M_1 + M_2}{X_1} = \frac{432,5 + 725}{0,65} = 1780 \text{ N} = 1,78 \text{ kN}.$$

Az „A” és „B” egyenesbevezetőkre ható nyomaték:

$$M_A = M_B = M_{K1} = M_{K3} = 432,5 \text{ Nm}.$$

Beépítéskor a szögelfordulás

$$\text{arc sin } \alpha_b = \frac{V_{\text{beép}}}{2X_1} = \frac{850}{2 \cdot 650} = 3,572^\circ = \alpha_b.$$

Beépítéskor az előfeszítés erőszükséglete:

$$F_{\text{be}} = \frac{M_{\text{be1}} \cdot M_{\text{be2}}}{X_1} = \frac{322 \cdot 161}{0,65} = 743 \text{ N},$$

ahol a kompenzátorok állító nyomatékai:

$$M_{\text{be1}} = 2 \cdot \alpha_b \cdot C_\alpha = 2 \cdot 3,572^\circ \cdot 45 = 322 \text{ Nm},$$

$$M_{\text{be2}} = \alpha_b \cdot C_\alpha = 3,572^\circ \cdot 45 = 161 \text{ Nm}.$$

A további számítások azonosak az előző példával.

A négy kompenzátoros angulár kombináció

Az angulár kompenzátorokkal kialakítható kombinációk igen értékes és gazdaságos megoldást szolgáltató tagja a négy kompenzátorból álló U4/2-es kombináció (54. ábra).

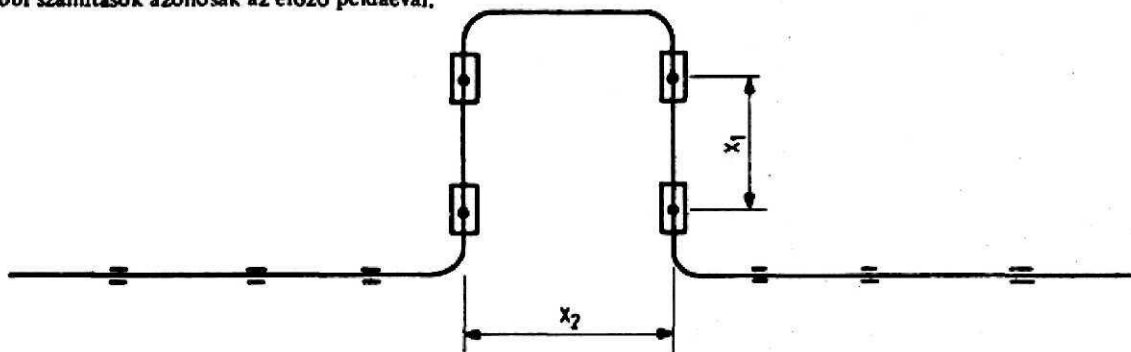
A geometriai elrendezés lényegében megegyezik két, közvetlenül egymás mellé épített laterál kombináció összeépítésével. Az elrendezésből következik, hogy a kombinációba beépített négy darab angulár kompenzátor teljesen azonos nagyságú löketet vesz fel.

A laterál kombinációkkal szemben ezen elrendezés nagy előnye, hogy:

- egyenes vezetőségű szakaszba építhető be;
- az ívmagasságváltozás nem okoz problémát, mivel a kombináció geometriája szimmetrikus, a másik fél ugyanilyen értelemben dolgozik. Üzem közben csak az ív akadálytalan oldalmozgását kell biztosítani;
- a beépített négy darab, azonos löketű angulár kompenzátorban üzem közben ébredő nyomatékok a kombináció kompenzátorait szimmetrikus helyzetbe térítik, s így önkompensáló módon áll be a szimmetrikus elhelyezkedés;
- célszerű a függőleges elrendezést választani, mert így az ívalátamasztás súrlódási ereje nem befolyásolja a mozgást.

Az U4/2-es kombináció geometriai viszonyai

Az U4/2-es kombináció gyakorlatilag megegyezik két összeépített laterál kombinációval, löketfelvétele így kétszerese egy ugyanolyan csaptávolságú laterál kombináció löketfelvételének (55. ábra). Számítási módja ennek követ-



54. ábra

keztében a laterál kombináció számítási módjára redukálható.

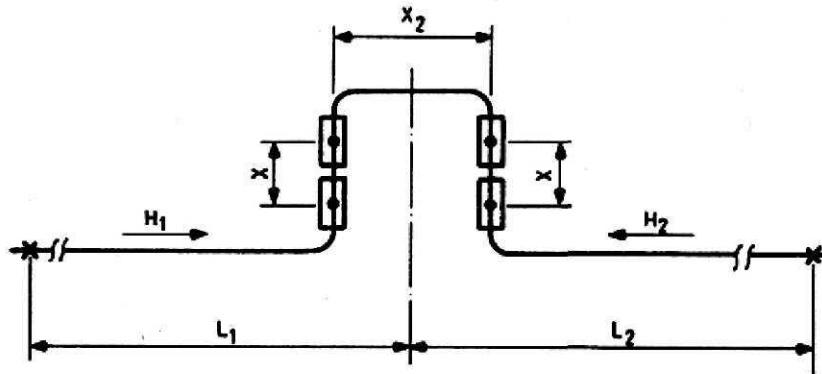
Vagy más megközelítésben a szükséges csuklótávolság (X) az adott löket (H) és az adott (α) szögelfordulású kompenzátorok esetében a következő módon számítható:

$$X = \frac{H}{4 \cdot \sin \alpha}$$

Az U4/2-es kombináció csuklótávolságainak értéke kikereshető a 4. nomogramból, illetve a 8. táblázatból.

A kompenzátorok közti csődarab (Z) hossza így:

$$Z = X - TL = \frac{H}{4 \cdot \sin \alpha} - TL,$$



55. ábra

Szimmetrikus elrendezést feltételezve:

$$L_1 = L_2$$

$$L = L_1 + L_2$$

$$H_1 = H_2$$

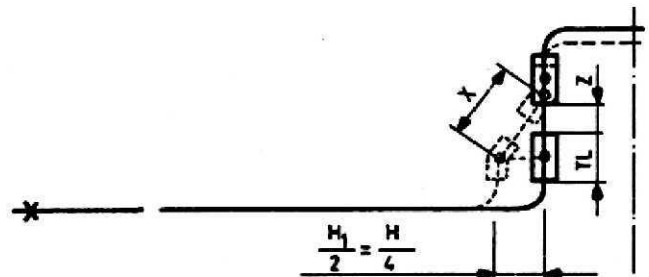
$$H = H_1 + H_2 = 2H_1$$

$$H_1 = H_2 = \frac{H}{2}$$

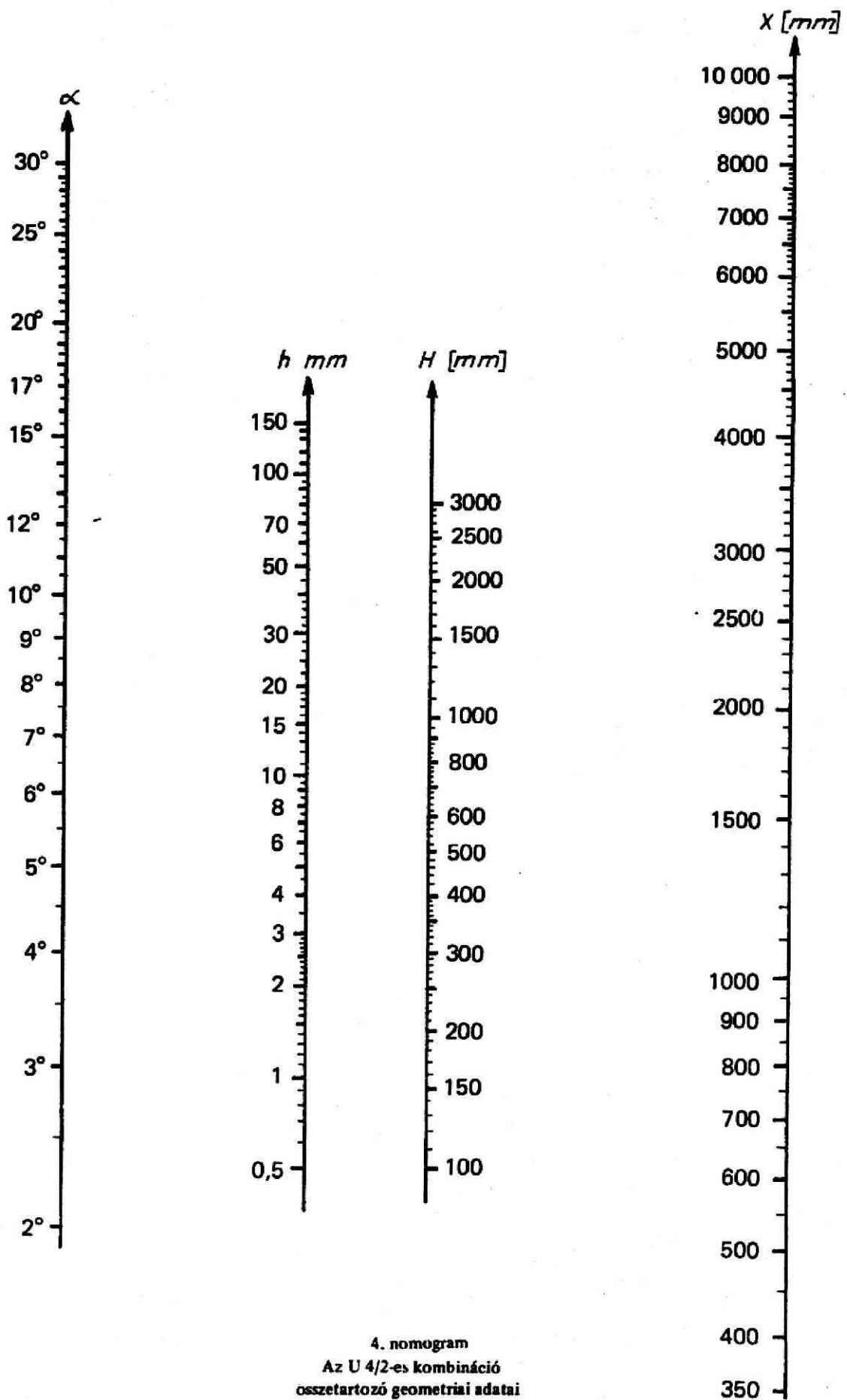
Az U4/2-es kombináció bal oldalát vizsgálva (56. ábra):

$$\frac{H_1}{2} = \frac{H}{4} = X \cdot \sin \alpha;$$

$$H = 4 \cdot X \cdot \sin \alpha.$$



56. ábra



4. nomogram
 Az U 4/2-es kombináció
 összetartozó geometriai adatai

Hőtávolság H [mm]	Az U4/2-es kombináció egyik kompenzátorának $\pm\alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 3^\circ$	$\pm 4^\circ$	$\pm 5^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 7^\circ$	$\pm 8^\circ$	$\pm 9^\circ$	$\pm 10^\circ$	$\pm 11^\circ$	$\pm 12^\circ$	$\pm 13^\circ$	$\pm 14^\circ$
50	239	179	143	120	103	90	80	72	66	60	56	52
75	358	269	215	179	154	135	120	108	98	90	83	78
100	478	358	287	239	205	180	160	144	131	120	111	103
125	597	448	359	299	256	225	200	180	164	150	139	129
150	717	538	430	359	308	269	240	216	197	180	167	155
175	836	627	502	419	359	314	280	252	229	210	194	181
200	955	717	574	478	410	359	320	288	262	240	222	207
225	1075	806	645	538	462	404	360	324	295	271	250	233
250	1194	896	717	598	513	449	400	360	328	301	278	258
275	1314	986	789	658	564	494	439	396	360	331	306	284
300	1433	1075	861	718	615	539	479	432	393	361	333	310
325	1552	1165	932	777	667	584	519	468	426	391	361	336
350	1672	1254	1004	837	718	629	559	504	459	421	389	362
375	1791	1344	1076	897	769	674	599	540	491	451	417	388
400	1911	1434	1147	957	821	719	639	576	524	481	445	413
425	2030	1523	1219	1016	872	763	679	612	557	511	472	439
450	2150	1613	1291	1076	923	808	719	648	590	541	500	465
475	2269	1702	1363	1136	974	853	759	684	622	571	528	491
500	2388	1792	1434	1196	1026	898	799	720	655	601	556	517
525	2508	1882	1506	1256	1077	943	839	756	688	631	583	543
550	2627	1971	1578	1315	1128	988	879	792	721	661	611	568
575	2747	2061	1649	1375	1180	1033	919	828	753	691	639	594
600	2866	2150	1721	1435	1231	1078	959	864	786	721	667	620
625	2986	2240	1793	1495	1282	1123	999	900	819	752	695	646
650	3105	2330	1864	1555	1333	1168	1039	936	852	782	722	672
675	3224	2419	1936	1614	1385	1213	1079	972	884	812	750	698
700	3344	2509	2008	1674	1436	1257	1119	1008	917	842	778	723
725	3463	2598	2080	1734	1487	1302	1159	1044	950	872	806	749
750	3583	2688	2151	1794	1539	1347	1199	1080	983	902	834	775
775	3702	2778	2223	1854	1590	1392	1239	1116	1015	932	861	801
800	3821	2867	2295	1913	1641	1437	1278	1152	1048	962	889	827
825	3941	2957	2366	1973	1692	1482	1318	1188	1081	992	917	853
850	4060	3046	2438	2033	1744	1527	1358	1224	1114	1022	945	878
875	4180	3136	2510	2093	1795	1572	1398	1260	1146	1052	972	904
900	4299	3226	2582	2153	1846	1617	1438	1296	1179	1082	1000	930
925	4419	3315	2653	2212	1898	1662	1478	1332	1212	1112	1028	956
950	4538	3405	2725	2272	1949	1707	1518	1368	1245	1142	1056	982
975	4657	3494	2797	2332	2000	1751	1558	1404	1277	1172	1084	1008
1000	4777	3584	2868	2392	2051	1796	1598	1440	1310	1202	1111	1033
1025	4896	3573	2940	2451	2103	1841	1638	1476	1343	1232	1139	1059
1050	5016	3763	3012	2511	2154	1886	1678	1512	1376	1263	1167	1085
1075	5135	3853	3084	2571	2205	1931	1718	1548	1408	1293	1195	1111
1100	5255	3942	3155	2631	2257	1976	1758	1584	1441	1323	1222	1137
1125	5374	4032	3227	2691	2308	2021	1798	1620	1474	1353	1250	1163
1150	5493	4121	3299	2750	2359	2066	1838	1656	1507	1383	1278	1188
1175	5613	4211	3370	2810	2410	2111	1878	1692	1539	1413	1306	1212
1200	5732	4301	3442	2870	2462	2156	1918	1728	1572	1443	1334	1240
1225	5852	4390	3514	2930	2513	2200	1958	1764	1605	1473	1261	1266
1250	5971	4480	3586	2990	2564	2245	1998	1800	1638	1503	1389	1292
1275	6090	4569	3657	3049	2616	2290	2038	1836	1671	1533	1417	1318
1300	6210	4659	3729	3109	2667	2335	2078	1872	1703	1563	1445	1343

8. táblázat folytatása

Hőtá- gulás H /mm/	Az U 4/2-es kombináció egyik kompenzátorának $\pm\alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 3^\circ$	$\pm 4^\circ$	$\pm 5^\circ$	$\pm 6^\circ$	$\pm 7^\circ$	$\pm 8^\circ$	$\pm 9^\circ$	$\pm 10^\circ$	$\pm 11^\circ$	$\pm 12^\circ$	$\pm 13^\circ$	$\pm 14^\circ$
1325	6329	4749	3801	3169	2718	2380	2118	1908	1736	1593	1473	1369
1350	6449	4838	3872	3229	2769	2425	2157	1944	1769	1623	1500	1395
1375	6568	4928	3944	3289	2821	2470	2197	1980	1802	1653	1528	1421
1400	6688	5017	4017	3348	2872	2515	2237	2016	1834	1683	1556	1447
1425	6807	5107	4088	3408	2923	2560	2277	2052	1867	1713	1584	1473
1450	6926	5197	4159	3468	2974	2605	2317	2088	1900	1744	1611	1495
1475	7046	5286	4231	3528	3026	2650	2357	2124	1933	1774	1639	1524
1500	7165	5376	4303	3588	3077	2694	2397	2160	1965	1804	1667	1550
1525	7285	5465	4374	3647	3128	2739	2437	2196	1998	1834	1695	1576
1550	7404	5555	4446	3707	3180	2784	2477	2232	2031	1864	1723	1602
1575	7524	5645	4518	3767	3231	2829	2517	2268	2064	1894	1750	1628
1600	7643	5734	4589	3827	3282	2874	2557	2304	2096	1924	1778	1653
1625	7762	5824	4661	3887	3333	2919	2597	2340	2129	1954	1806	1679
1650	7882	5913	4733	3946	3385	2964	2637	2375	2162	1984	1834	1705
1675	8001	6003	4805	4006	3436	3009	2677	2411	2195	2014	1862	1731
1700	8121	6093	4876	4066	3487	3054	2717	2447	2227	2044	1889	1757
1725	8240	6182	4948	4126	3539	3099	2757	2483	2260	2074	1917	1783
1750	8359	6272	5020	4185	3590	3144	2797	2519	2293	2104	1945	1808
1775	8479	6361	5091	4245	3641	3188	2837	2555	2326	2134	1973	1834
1800	8598	6451	5163	4305	3692	3233	2877	2591	2358	2164	2000	1860
1825	8718	6541	5235	4365	3744	3278	2917	2627	2391	2194	2028	1886
1850	8837	6630	5307	4425	3795	3323	2957	2663	2424	2225	2056	1912
1875	8957	6720	5378	4484	3846	3368	2996	2699	2457	2255	2084	1938
1900	9076	6809	5450	4544	3898	3413	3036	2735	2489	2285	2112	1963
1925	9195	6899	5522	4604	3949	3458	3076	2771	2522	2315	2139	1989
1950	9315	6989	5593	4664	4000	3503	3516	2807	2555	2345	2167	2015
1975	9434	7078	5665	4724	4051	3548	3156	2843	2588	2375	2195	2041
2000	9554	7168	5737	4783	4103	3593	3196	2879	2620	2405	2223	2067

Az U 4/2-es kombináció X₁ csaptávolságának értéke mm-ben.

8. táblázat folytatása

Hőtá- gulás H /mm/	Az U 4/2-es kombináció egyik kompenzátorának $\pm\alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 15^\circ$	$\pm 16^\circ$	$\pm 17^\circ$	$\pm 18^\circ$	$\pm 19^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 21^\circ$	$\pm 22^\circ$	$\pm 23^\circ$	$\pm 24^\circ$	$\pm 25^\circ$	$\pm 26^\circ$
50	48	45	43	40	38	37	35	33	32	31	30	29
75	72	68	64	61	58	55	52	50	48	46	44	43
100	97	91	86	81	77	79	73	70	67	64	59	57
125	121	113	107	101	96	91	87	83	80	77	74	71
150	145	136	128	121	115	110	105	100	96	92	89	86
175	169	159	150	142	134	128	122	117	112	108	104	100
200	193	181	171	162	154	146	140	133	128	123	118	114
225	217	204	192	182	173	164	157	150	144	138	133	128
250	241	227	214	202	192	183	174	167	160	154	148	143
275	266	249	235	222	211	201	192	184	176	169	163	157
300	290	272	257	243	230	219	209	200	192	184	177	171
325	314	295	278	263	250	238	227	217	208	200	192	185
350	338	317	299	283	269	256	244	234	224	215	207	200
375	362	340	321	303	288	274	262	250	240	230	222	214
400	386	363	342	324	307	292	279	267	256	246	237	228

8. táblázat folytatása

Hőtá- gulás H /mm/	Az U 4/2-es kombináció egyik kompenzátorának $\pm\alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 15^\circ$	$\pm 16^\circ$	$\pm 17^\circ$	$\pm 18^\circ$	$\pm 19^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 21^\circ$	$\pm 22^\circ$	$\pm 23^\circ$	$\pm 24^\circ$	$\pm 25^\circ$	$\pm 26^\circ$
425	411	385	363	344	326	311	296	284	272	261	251	242
450	435	408	385	364	346	329	314	300	288	277	266	257
475	459	431	406	384	365	347	331	317	304	292	281	271
500	483	453	428	405	384	365	349	334	320	307	296	285
525	507	476	449	425	403	384	366	350	336	323	311	299
550	531	499	470	445	422	402	384	367	352	338	325	314
575	555	522	482	465	442	420	401	384	368	353	340	328
600	580	544	513	485	461	439	419	400	384	369	355	342
625	604	567	534	506	480	457	436	417	400	384	370	356
650	628	590	556	526	499	475	453	434	416	400	385	371
675	652	612	577	546	518	493	471	450	432	415	399	385
700	676	635	599	566	538	512	488	467	448	430	414	399
725	700	658	620	587	557	530	506	484	464	446	429	413
750	724	680	641	607	576	548	523	501	480	461	444	428
775	749	703	663	627	595	566	541	517	496	476	458	442
800	773	726	684	647	614	585	558	534	512	492	473	456
825	797	748	705	667	634	603	576	551	528	507	488	470
850	821	771	727	688	653	621	593	567	544	522	503	485
875	845	794	748	708	672	640	610	587	560	538	518	499
900	869	816	770	728	691	658	628	601	576	553	532	513
925	893	839	791	748	710	676	645	617	592	569	547	528
950	918	862	812	769	729	694	663	634	608	584	562	542
975	942	884	834	789	749	713	680	651	624	599	577	556
1000	966	907	855	809	768	731	698	667	640	615	592	570
1025	990	930	876	829	787	749	715	684	656	630	606	585
1050	1014	952	898	849	806	767	732	701	672	645	621	599
1075	1038	975	919	870	825	786	760	717	688	661	636	613
1100	1063	998	941	890	845	804	767	734	704	676	651	627
1125	1087	1020	962	910	864	822	785	751	720	691	665	642
1150	1111	1043	983	930	883	841	802	767	736	707	680	656
1175	1135	1066	1005	951	902	859	820	784	752	722	695	670
1200	1159	1088	1026	971	921	877	837	804	768	738	710	684
1225	1183	1111	1047	991	941	895	855	818	784	753	725	699
1250	1207	1134	1069	1011	960	914	872	834	800	768	739	713
1275	1232	1156	1090	1031	979	932	889	851	816	784	754	727
1300	1256	1179	1112	1052	998	950	907	868	832	799	769	741
1325	1280	1202	1133	1072	1017	969	924	884	848	814	784	756
1350	1304	1224	1154	1092	1037	987	942	901	864	830	799	770
1375	1328	1247	1176	1112	1056	1005	959	918	880	845	813	784
1400	1352	1270	1197	1133	1075	1023	977	934	896	861	828	798
1425	1376	1292	1218	1153	1094	1042	994	951	912	876	843	813
1450	1401	1315	1240	1173	1113	1060	1012	968	928	891	858	827
1475	1425	1338	1261	1193	1133	1078	1029	984	944	907	873	841
1500	1449	1360	1283	1214	1152	1096	1046	1001	960	922	887	855
1525	1473	1383	1304	1234	1171	1115	1064	1018	976	937	902	870
1550	1497	1406	1325	1254	1190	1133	1081	1034	992	953	917	884
1575	1521	1429	1347	1274	1209	1151	1099	1051	1008	968	932	898
1600	1545	1451	1368	1294	1229	1170	1116	1068	1024	983	946	912
1625	1570	1474	1389	1315	1248	1188	1134	1084	1040	999	961	927
1650	1594	1497	1411	1335	1267	1206	1151	1101	1056	1014	976	941

Hőtágulás H /mm/	Az U 4/2-es kombináció egyik kompenzátorának $\pm \alpha$ szögelfordulása											
	$\pm 15^\circ$	$\pm 16^\circ$	$\pm 17^\circ$	$\pm 18^\circ$	$\pm 19^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 21^\circ$	$\pm 22^\circ$	$\pm 23^\circ$	$\pm 24^\circ$	$\pm 25^\circ$	$\pm 26^\circ$
1675	1618	1519	1432	1355	1286	1224	1165	1118	1072	1030	991	955
1700	1642	1542	1454	1375	1305	1243	1186	1135	1088	1075	1006	969
1725	1666	1565	1475	1396	1325	1261	1203	1151	1104	1060	1020	984
1750	1690	1587	1496	1416	1344	1279	1221	1168	1120	1076	1035	998
1775	1715	1610	1518	1436	1363	1297	1238	1185	1136	1091	1050	1012
1800	1739	1633	1539	1456	1382	1316	1256	1201	1152	1106	1065	1027
1825	1763	1655	1561	1476	1401	1334	1273	1218	1168	1122	1080	1041
1850	1787	1678	1582	1497	1421	1352	1291	1235	1184	1137	1094	1051
1875	1811	1701	1603	1517	1440	1371	1308	1251	1200	1152	1109	1069
1900	1835	1723	1625	1537	1459	1389	1325	1268	1216	1168	1124	1084
1925	1859	1746	1646	1557	1478	1407	1343	1285	1232	1183	1139	1098
1950	1884	1769	1667	1578	1497	1425	1360	1301	1248	1199	1154	1112
1975	1908	1791	1689	1598	1517	1444	1378	1318	1264	1214	1168	1126
2000	1932	1814	1710	1618	1536	1462	1395	1335	1280	1229	1183	1141

Az U 4/2-es kombináció X_1 csaptávolságának értéke mm-ben.

ahol:

- Z – kompenzátorok közti csődarab hossza,
- X – kompenzátorok csuklótávolsága,
- TL – a kompenzátor teljes hossza,
- H – a teljes, L-hosszúságú csőszakasz megnyúlása (teljes löket).

Mivel ez a kombináció igen nagy löketeket képes felvenni, így a számítások során ellenőrizni kell a kombinációt alkotó két laterál kombináció távolságát (X_2 értékét).

Élettartam: 1000 teljes löket.

Keresett:

- kompenzátor típusa,
- kombináció geometriai méretei,
- fixponterők,
- nyomatékok.

Megoldás: A vezetékszakasz teljes lökete:

$$H = L \cdot (\alpha_2 - \alpha_1) = 1000 (1,73 + 0,22) = 1000 \cdot 1,95 = 1950 \text{ mm.}$$

ahol: a fajlagos hőtágulások

$$\alpha_1 = -0,22 \quad (t_{\min} = -20^\circ\text{C melletti),}$$

$$\alpha_2 = 1,73 \quad (t_{\max} = 150^\circ\text{C melletti).}$$

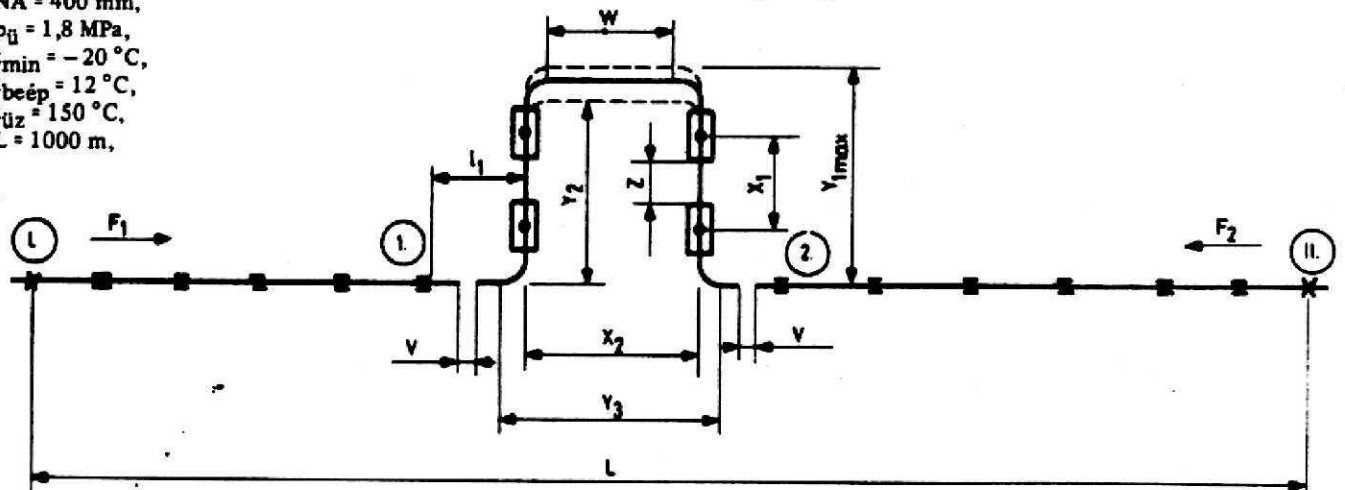
Mivel az U 4/2-es kombináció felépítésében megegyezik két azonos laterál kombináció összeépítésével, így egy laterál kombinációnak:

$$\frac{H}{2} = \frac{1950}{2} = 975 \text{ mm-es löketet kell felvenni,}$$

10. példa: Számpélda az U4/2-es kombináció számítására

Kiindulási adatok:

- NA = 400 mm,
- $p_{\bar{u}} = 1,8 \text{ MPa,}$
- $t_{\min} = -20^\circ\text{C,}$
- $t_{\text{beép}} = 12^\circ\text{C,}$
- $t_{\bar{u}z} = 150^\circ\text{C,}$
- L = 1000 m,



57. ábra

Az egyik oldalon levő laterál kombináció X_1 csuklótávolsága a kompenzátor szögelfordulása függvényében számítható.

Típuskiválasztás:

Angulár kompenzátor: AW-6025, NA 400

Hullámtest anyaga: AISI 304

Löklet: $H_N = \pm 13^\circ$

TL = 560 mm

B = 530 mm (a kompenzátor szélessége a csuklóstagnál)

$c_\alpha = 290 \text{ Nm/l}^\circ$

$m_T = 760 \text{ Nm/MPa}$

Korrekciós számítások:

Az 5. diagramból a nyomáskorrekciós tényező: $K_D = 94\%$.

A minimálisan szükséges névleges nyomás:

$$P_{Nmin} = \frac{P_{üz} \cdot 100}{K_D} = \frac{1,8 \cdot 100}{94} = 1,915 \text{ MPa.}$$

Így a $p_N = 2,5 \text{ MPa}$ névleges nyomásfokozatú kompenzátor a típusábrázlatból kiválasztható.

A kompenzátorra max. megengedhető üzemi nyomás:

$$P_{üzmeg} = \frac{P_N \cdot K_D}{100} = \frac{2,5 \cdot 94}{100} = 2,35 \text{ MPa.}$$

A nyomáskihasználtság foka így:

$$K'_D = \frac{P_{üz} \cdot 100}{P_{üzmeg}} = \frac{1,8 \cdot 100}{2,35} = 77\%.$$

A 6. löketkorrekciós diagramból a korrekciós tényező:

$$K_H = 97,4\%.$$

A maximálisan megengedhető löket értéke:

$$H_{meg} = \frac{K_H \cdot H_N}{100} = \frac{97,4 \cdot \pm 13}{100} = \pm 12,66^\circ$$

$H_{üz} = 12,5^\circ$ -ra felvéve.

A löketkihasználtság foka így:

$$K'_H = \frac{H_{üz} \cdot 100}{H_{meg}} = \frac{\pm 12,5 \cdot 100}{\pm 12,66} = 98,7\%.$$

A laterál kombinációban dolgozó kompenzátorok csuklótávolsága

$$X_1 = \frac{H/2}{2 \cdot \sin \alpha} = \frac{H}{4 \cdot \sin \alpha} = \frac{1950}{4 \cdot \sin 12,5^\circ} = 2252,4 \approx 2300 \text{ mm.}$$

A laterál kombinációk minimális távolsága:

$$X_{2min} = \frac{H}{2} + B = \frac{1950}{2} + 530 = 1505 \text{ mm.}$$

Így a szükséges közdarab (W) hossza:

$$W = X_{2min} - (3D) \cdot 2 = 1505 - 2 \cdot 609,5 = 286 \text{ mm,}$$

W = 300 mm-re felvéve.

A laterál kombinációk kompenzátorai közti csődarab (Z) hossza:

$$Z = X_1 - TL = 2300 - 560 = 1740 \text{ mm.}$$

A kombináció helyigénye a csővezetékre merőleges síkban:

$$Y_{1max} = X_1 \cdot TL + 2 \cdot (3D) + \frac{1}{2} D_k,$$

$$Y_{1max} = 2300 \cdot 560 + 2 \cdot 609,5 + \frac{406,4}{2} \approx 4300 \text{ mm.}$$

Üzem közben a helyigény:

$$Y_{2min} = X_1 \cdot \cos \alpha + TL + 2 \cdot (3D) - \frac{D_k}{2},$$

$$Y_{2min} = 2300 \cdot \cos 12,5^\circ + 560 + 2 \cdot 609,5 - \frac{406,4}{2} = 3821,3 \approx 3800 \text{ mm.}$$

A kombináció helyigénye a csőszakasz hosszában:

$$Y_{3max} = X_2 + \frac{H}{2} + 2 \cdot (3D) = 1519 + \frac{1950}{2} + 2 \cdot 609,5 = 3713 \text{ mm,}$$

ahol: $X_2 = W + 2 \cdot (3D) = 300 + 2 \cdot 609,5 = 1519 \text{ mm,}$

$$Y_{3min} = X_2 - \frac{H}{2} + 2 \cdot (3D) = 1519 - \frac{1950}{2} + 2 \cdot 609,5;$$

$$Y_{3min} = 1763 \text{ mm.}$$

Az előfeszítés nagysága a beépítéskor:

A csővezeték beépítési hőmérsékletre való tágulása:

$$H_{be} = L \cdot (\alpha_{be} - \alpha_1) = 1000 (0,12 + 0,22) = 340 \text{ mm,}$$

ahol: a fajlagos hőtágulás nagysága:

$$\alpha_{be} = 0,12 \text{ mm/m} \quad (t_{be} = 12^\circ \text{C mellett}),$$

$$\alpha_1 = -0,22 \text{ mm/m} \quad (t_{min} = -20^\circ \text{C mellett}).$$

Ha az U4/2-es kombinációt a vezeték szakaszba nem fixpont mellé építik be, akkor az előfeszítés oldalanként:

$$V = \frac{H}{4} - \frac{H_{be}}{2} = \frac{1950}{4} - \frac{340}{2} = 317,5 \text{ mm.}$$

Ha a kombinációt fixpont mellé építik be, akkor az előfeszítés a fixponttal szemközti kombináció oldalán:

$$V = \frac{H}{2} - H_{be} = \frac{1950}{2} - 340 = 635 \text{ mm.}$$

Mivel V előjele pozitív, így az ívet szét kell húzni.

Állítóerők és nyomatékok

A típusábrázlatból az AW-6025, NA 400-as típusú angulár kompenzátor rugóállandója:

$$c_\alpha = 290 \text{ Nm/l}^\circ.$$

A súrlódási nyomaték baronként:

$$m_T = 760 \text{ Nm/MPa.}$$

Egy kompenzátor állító nyomatéka:

$$M = p_{üz} \cdot m_T + c_\alpha \cdot \alpha;$$

$$M = 1,8 \cdot 760 + 290 \cdot 12,5^\circ = 1368 + 3625 \text{ N;}$$

$$M = 4993 = 5 \text{ kNm,}$$

így: $M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = M = 5 \text{ kNm.}$

Egy laterál kombináció állítóereje:

$$F = \frac{M_1 + M_2}{X_1}.$$

Mivel két laterál kombinációból épül fel a rendszer, így a fixpontokra ható állítóerők:

$$F_1 = F_2 = 2 \cdot \frac{M_1 + M_2}{X_1} = 2 \cdot \frac{5000 + 5000}{2,3} = 8700 \text{ N} = 8,7 \text{ kN.}$$

Az 1-es és 2-es egyenesbevezetőre ható nyomaték, ha:

$$l_1 = l_2 = 1600 \text{ mm,}$$

$$M_{v1} = M_{v2} = M_1 + F_1 \cdot l_1 = 5000 + 8700 \cdot 1,6;$$

$$M_{v1} = M_{v2} = 18\,920 \text{ Nm} = 18,92 \text{ kNm.}$$

A csősúrlódásból adódó erők:

$$F_{cs1} = F_{cs2} = \mu \cdot g \cdot L = 0,05 \cdot 2220 \cdot 500 = 55500 \text{ daN} = 55,5 \text{ kN,}$$

ahol: $g = 2220 \text{ N/m} = 2,22 \text{ kN/m.}$

A fixpontokra ható erők és nyomatékok:

$$\Sigma F_1 = \Sigma F_2 = F_1 + F_{cs1} = 8700 + 55\,500 = 64\,200 \text{ N} = 64,2 \text{ kN,}$$

$$\Sigma M_1 = \Sigma M_2 = \Sigma M_{v1} = \Sigma M_{v2} = 18\,920 \text{ Nm} = 18,92 \text{ kNm.}$$

LATERÁL KOMPENZÁTOROK

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK, BEÉPÍTÉSI IRÁNYELVEK

A laterál kompenzátorok felépítésüknél fogva csak oldalirányú erők felvételére alkalmasak. Innen kapta nevét is: a laterál szó „oldal”-t jelent.

A laterál kompenzátorok alapvető alkotó eleme két hullámtest, amelyeket egy közbenső cső köt össze. A két hullámtest és a közbenső cső készülhet egy darabból is!

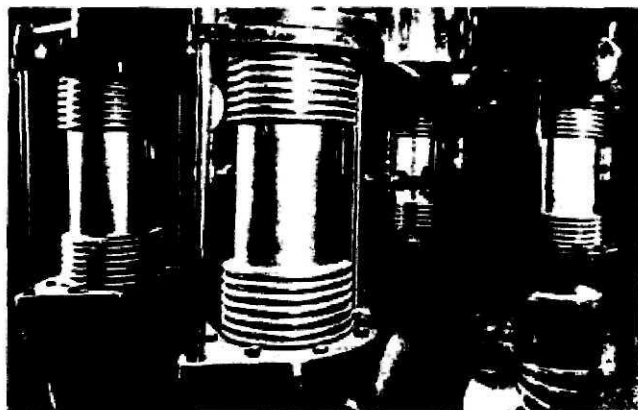


58. ábra

Az 58. és 59. ábra beépített laterál kompenzátorokat ábrázol.

A kompenzátor két végén elhelyezett karimákat húzórudak kapcsolják össze, amelyek vagy gömbcsuklós felfekvésűek vagy ezzel egyenértékű szerkezettel (kardán keresztrel ellátottak), így a kompenzátor a hossz tengelyére merőleges, bármely oldalról jövő elmozdulások felvételére alkalmas. A húzórudak veszik fel a belső nyomásból származó erőhatásokat. A három vagy annál több húzóruddal rendelkező laterál kompenzátorok csőcsonkjaira szerelt karimák csak egymással párhuzamos síkban mozdulhatnak el. A két húzórudas változatoknál kis mértékű, tengely mentén való elfordulás is lehetséges.

A Laterál kompenzátorokra a vezeték súly nem hathat, ezért úgy kell beépíteni, hogy közvetlen közelében vagy fixpont vagy csőmegvezetés legyen, esetleg himbás felfüggesztés. *Torziós hatásnak a laterál kompenzátort sem szabad kiténni.*



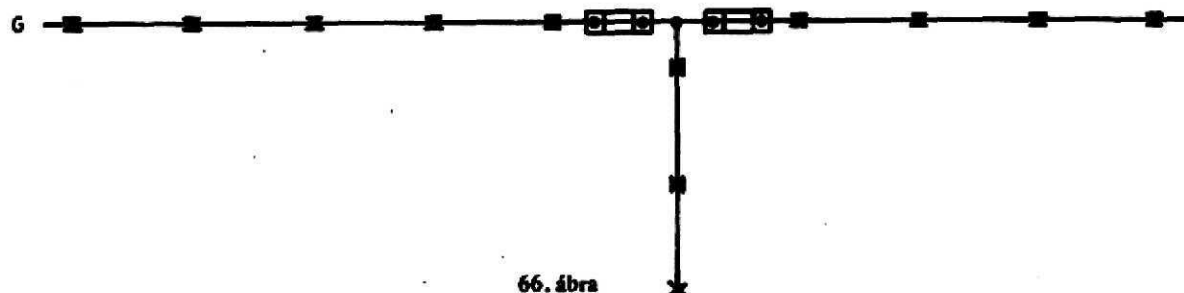
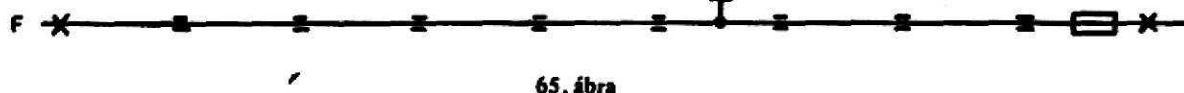
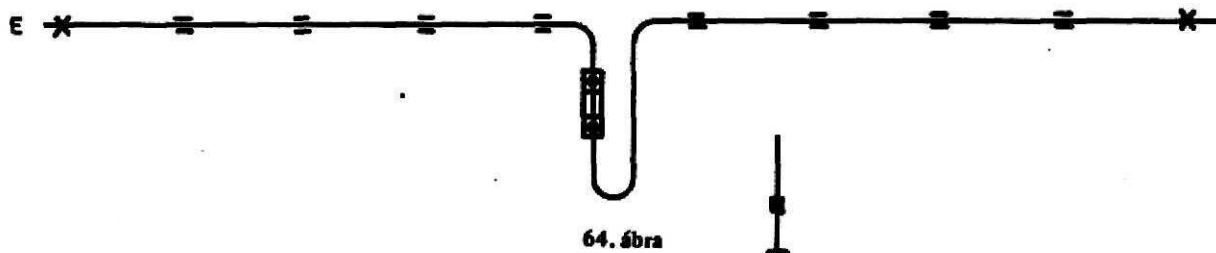
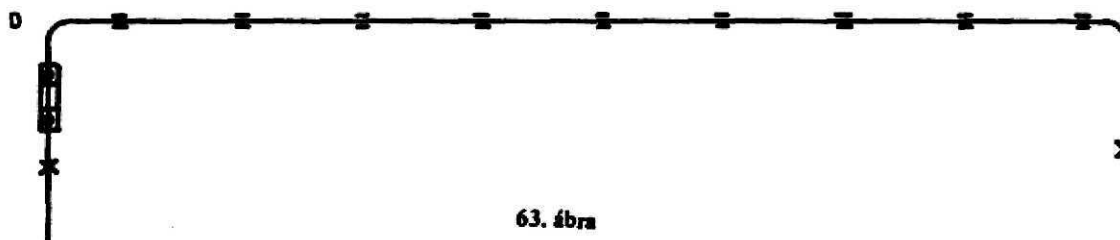
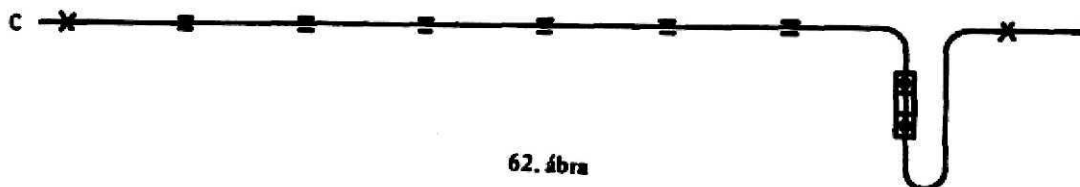
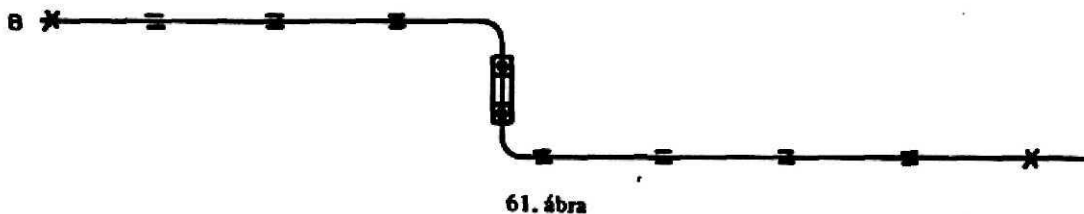
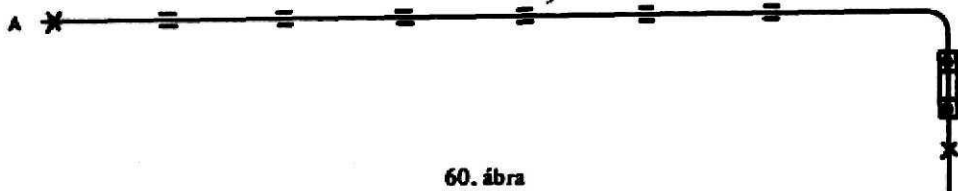
59. ábra

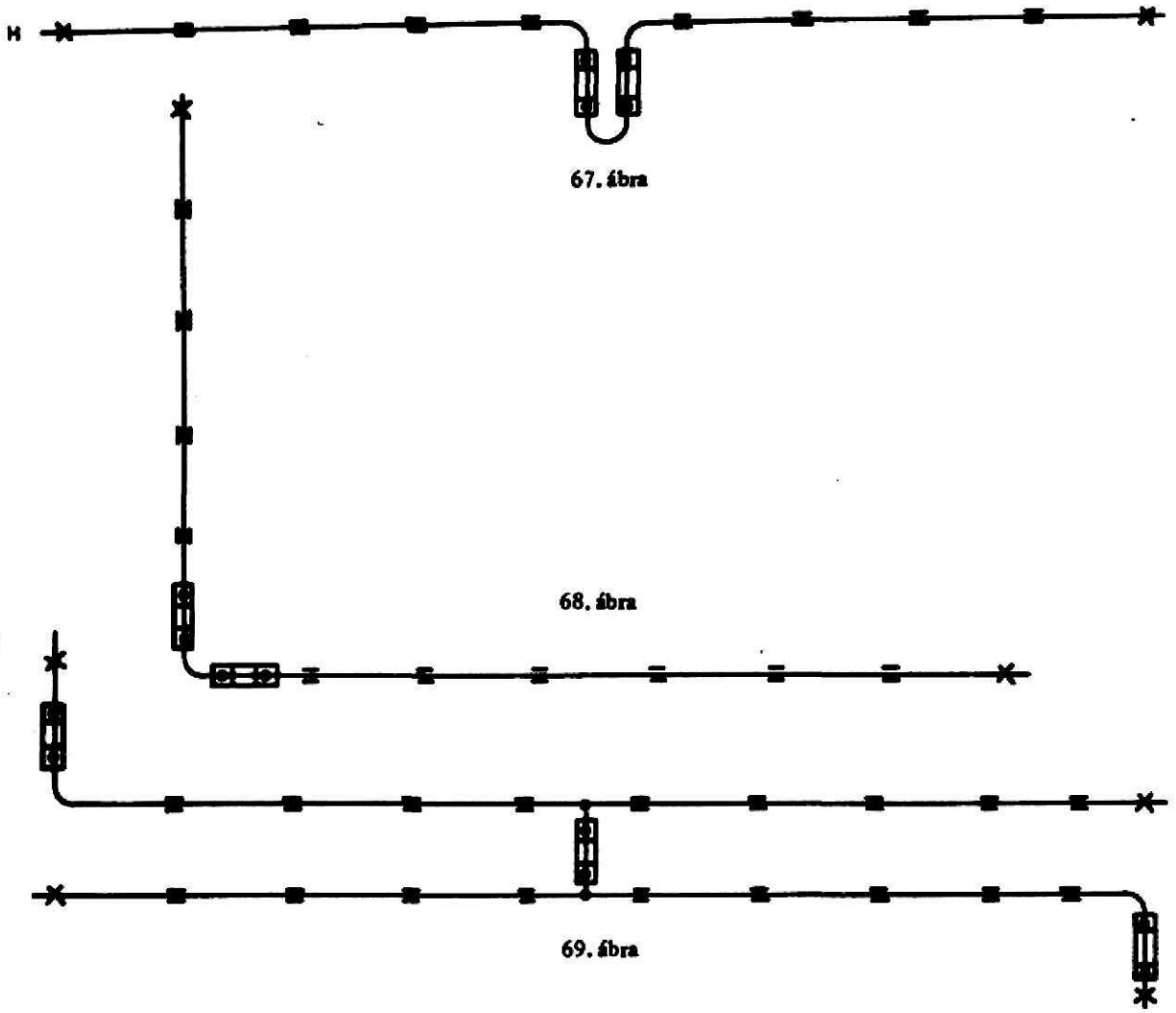
A laterál kompenzátorokat a fixpontokkal határolt vezeték szakaszba, mind egyesével, mind pedig kettésével be lehet építeni. Jellemző felhasználási területük az olyan oldalágak, lecsatlakozások bekötése, ahol a fő ágban, a lecsatlakozás közelében fixpont nem alakítható ki (pl. F, G, J változat).

Üzemi mozgástartományuk lehet síkbeli és térbeli egyaránt. E kompenzátorok gyakorlati beépítésére, néhány beépítési változatot mutatunk be.

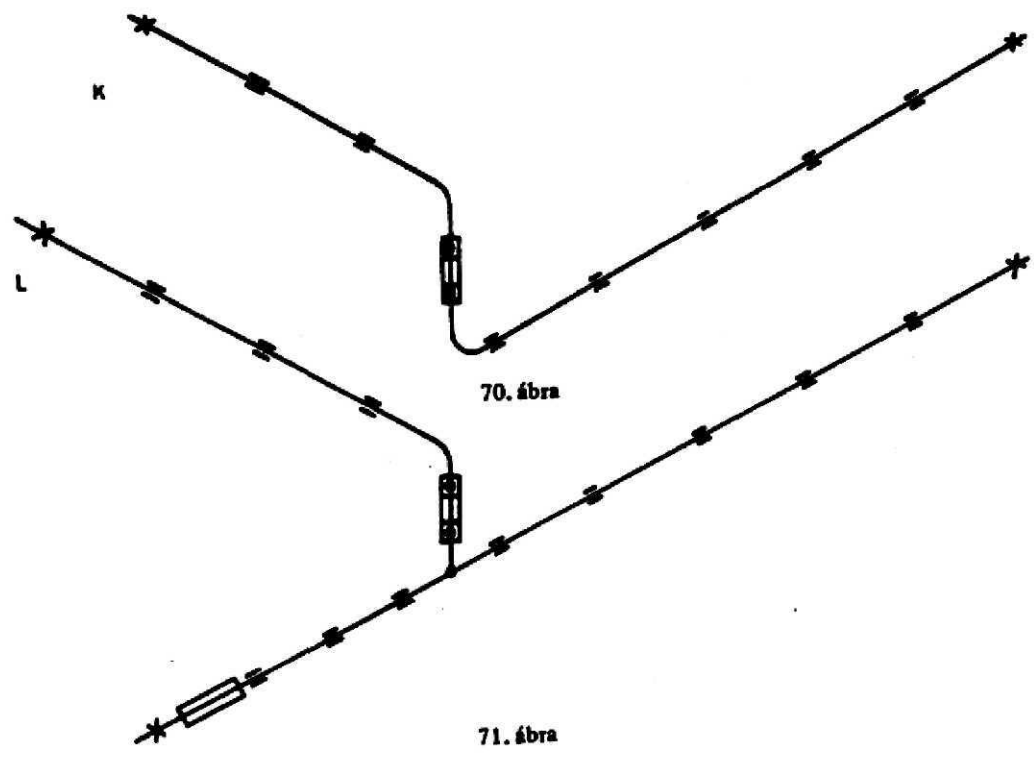
LATERÁL KOMPENZÁTOROK ELRENDEZÉSI MÓDJAI

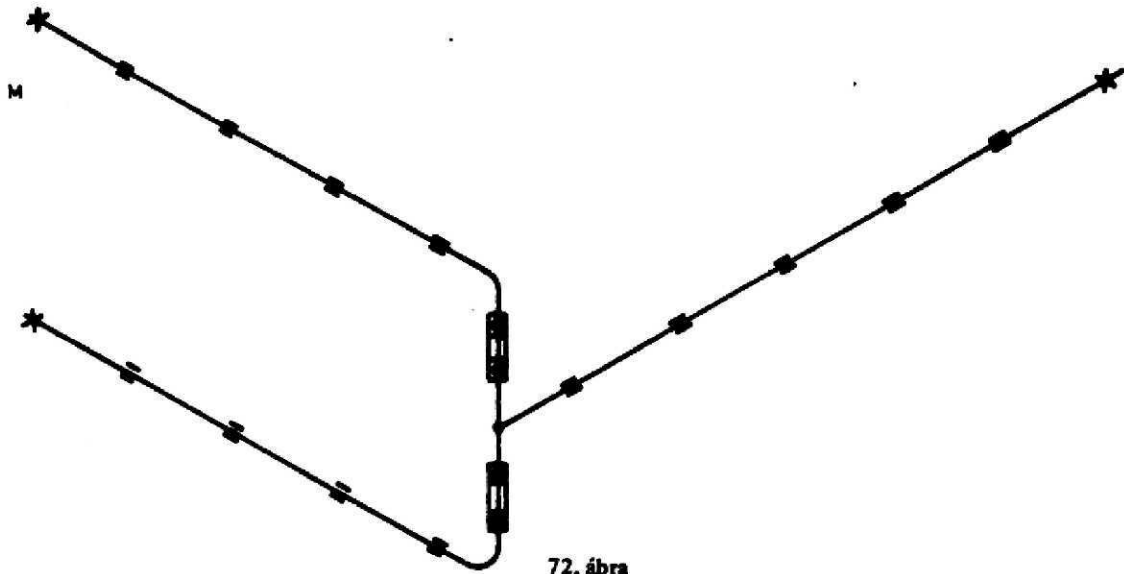
Síkbeli beépítési módok:





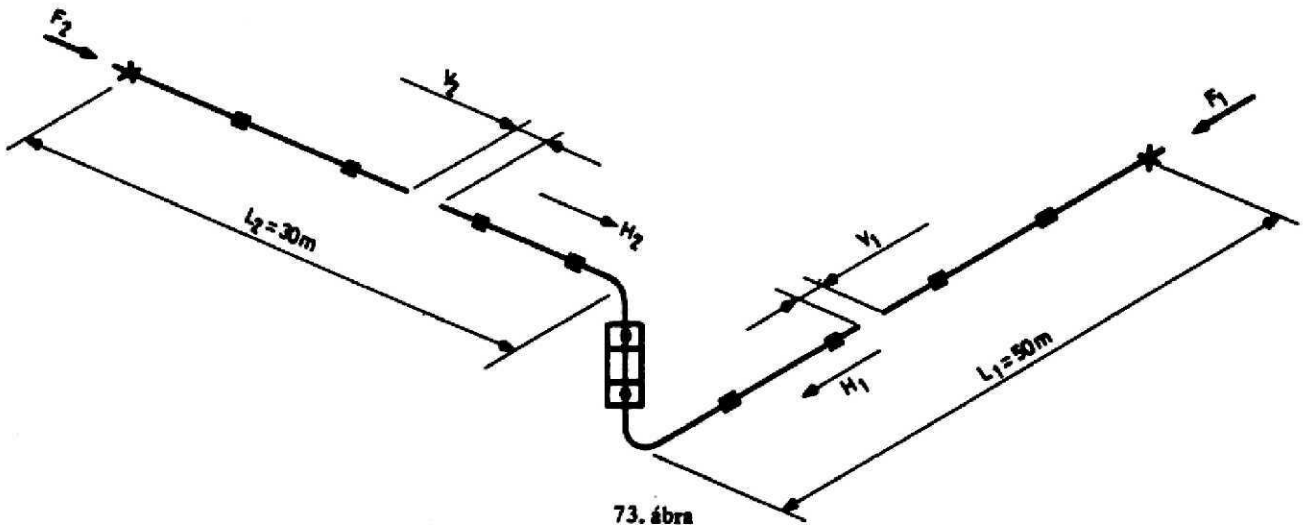
Térbeli beépítési módok:





72. ábra

11. példa: Számpélda laterál kompenzátor alkalmazására



73. ábra

Kiindulási adatok:

Forróvíz vezeték:	NA 250
Üzemi nyomás:	$p_{\text{ü}} = 1,8 \text{ MPa}$
Max. üzemi hőmérséklet:	$t_{\text{max}} = 150 \text{ °C}$
Min. üzemi hőmérséklet:	$t_{\text{min}} = -10 \text{ °C}$
Beépítési hőmérséklet:	$t_{\text{beép}} = 20 \text{ °C}$
Élettartam:	1000 löket
Fajlagos vezeték-tömeg:	$q = 90 \text{ kg/m}$ (közeg és szigetelés tömegével együtt)
Súrlódási tényező:	$\mu = 0,05$

Keresett:

- kompenzáortípus
- előfeszítés nagysága a beépítés napján
- állítóerők és fixpont erők

Megoldás: A vezeték szakaszok hőtágulása:

$$H_1 = 97 \text{ mm},$$

$$H_2 = 59 \text{ mm} \quad (\text{az 1. diagram alapján}).$$

A kompenzálendő eredő löket a részzakaszok löketének trigonometriai összegzése után:

$$H_R = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} = \sqrt{97^2 + 59^2} = 113 \text{ mm} = \pm 56,5 \text{ mm}.$$

Az eredő löket közelítő számításakor jól használható a 9. diagram is.

A löketkorrekciós tényező a 6. diagramból: $K_H = 97,5\%$.

A minimálisan szükséges laterális löket:

$$H_{\text{min}} = \frac{H_R \cdot 100}{K_H} = \frac{113 \cdot 100}{97,5} = 116 = \pm 58 \text{ mm}.$$

A minimálisan szükséges névleges nyomás:

$$p_{N\text{min}} = \frac{p_{\text{ü}} \cdot 100}{K_D} = \frac{1,8 \cdot 100}{93,5} = 1,925 \text{ MPa}.$$

ahol: $K_D = 93,5\%$ nyomáskorrekciós tényező az 5. diagramból.

A választható szabványos nyomáslépcső: $p_N = 2,5 \text{ MPa}$.

A maximálisan megengedhető üzemi nyomás:

$$p_{\text{ümeg}} = \frac{p_N \cdot K_D}{100} = \frac{2,5 \cdot 93,5}{100} = 2,3375 \text{ MPa}.$$

A nyomáskihhasználtság foka:

$$K'_D = \frac{p_{\text{ü}} \cdot 100}{p_{\text{ümeg}}} = \frac{1,8 \cdot 100}{2,3375} = 77\%.$$

Típuskiválasztás: A típusablázból kiválasztható laterál kompenzátor:

LWK-9025, NA 250, NNY 2,5 MPa.

TL = 908 mm a kompenzátor teljes hossza,

$H_N = \pm 61$ mm a kompenzátor névleges lökete, ha az élettartam 1000 kettős löket.

A löketkihasználtság foka a választott kompenzátornál:

$$K_H = \frac{H_{\bar{u}} \cdot 100}{H_{\bar{u}meg}} = \frac{56,5 \cdot 100}{59,5} = 95\%$$

ahol: a megengedhető üzemi löket nagysága:

$$H_{\bar{u}meg} = \frac{H_N \cdot K_H}{100} = \frac{61 \cdot 97,5}{100} = 59,5 \text{ mm.}$$

A várható élettartam a 4. táblázat szerint: 1300 löket.

Az előfeszítés értéke a beépítés napján:

$$V_{1,2} = \frac{H_{1,2}}{2} = H_{beép 1,2}$$

ahol: egyes vezetéksszakaszok hőtágulása a minimális hőfokról a beépítési hőfokra való felmelegedéskor:

$$H_{beép 1} = 16,5 \text{ mm}; \quad H_{beép 2} = 10 \text{ mm.}$$

Lásd: 1. diagram.

Igy az előfeszítés:

$$V_1 = \frac{97}{2} \cdot 16,5 = 32 \text{ mm,}$$

$$V_2 = \frac{58}{2} \cdot 10 = 19 \text{ mm.}$$

Az állítóerők:

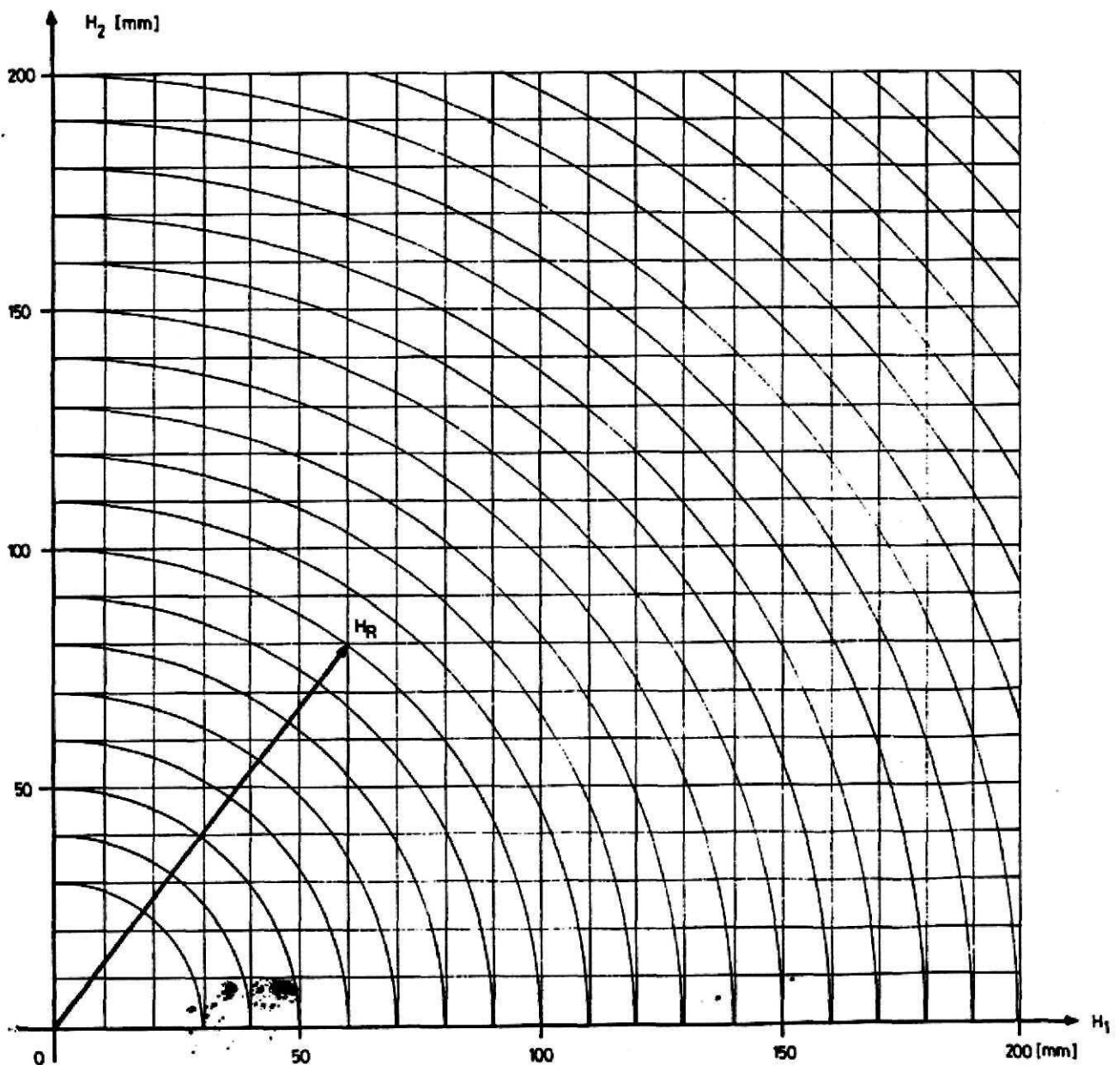
Laterális rugóállandó $c_y = 55 \text{ N/mm.}$

Fajlagos súrlódási erő $f_r = 580 \text{ N/MPa.}$

$$F_L = c_y \cdot H_R \cdot p_{\bar{u}} \cdot f_r$$

$$F_L = 55 \cdot 56,5 \cdot 1,8 \cdot 580$$

$$F_L = 4151,5 \text{ N} = 4,1515 \text{ kN.}$$

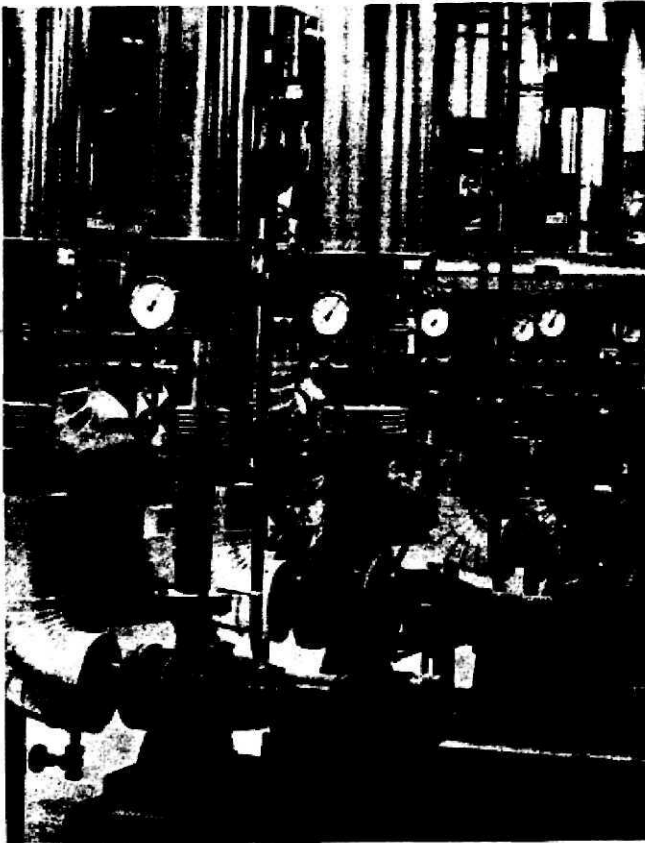


9. diagram $H_R = \sqrt{H_1^2 + H_2^2}$

UNIVERZÁL KOMPENZÁTOROK

ALKALMAZÁSI TERÜLET, BEÉPÍTÉSI IRÁNYELVEK

Az univerzál kompenzátorok felépítésükben a laterál kompenzátorokhoz hasonlíthatók, azzal az eltéréssel, hogy karimákkal, húzórudakkal és csuklóelemekkel nem rendelkeznek.



74. ábra

Működés módjukra jellemző, hogy egyidejűleg mind axiális, mind pedig laterális irányú elmozdulások felvételére is alkalmasak. Innen származik a nevük, univerzál kompenzátor.

Az elmozdulásokat két, hullámosított rugótest veszi fel, amelyeket egy sima közbenső cső köt össze. Ily módon a gyártási méret, ugyan meghosszabbodik, azonban a laterális löketfelvő képesség megnő. A löket nagyság függvé-

nyében ez a közbenső cső készülhet a rugótestek anyagából (esetleg azokkal egy darabból) vagy más anyagból is.

A csőhálózatban a beépítés megkönnyítésére az alaptípusokhoz hasonlóan karimás vagy hegesztőcsomos csatlakozás található a kompenzátor mindkét végén.

Peremezett megoldások csak ritkán és ott használatosak, ahol a szállítandó közeg rozsdamentes vagy más korrózió álló anyagot kíván meg. Az univerzál kompenzátorok alkalmazási területén a bármely irányból jövő lengések felvétele a cél. Ezek a lengések relatív nagy amplitúdóval rendelkeznek. Az univerzál kompenzátorokat, mint hőtágulás felvő elemeket ritkábban alkalmazzák. Általában alacsony nyomástartományokban alkalmazzák, kipufogó vezetékek-nél a motor és a hálózat között; Diesel-mozdonyoknál és a hajtókban, valamint a tehergépkocsi gyártásban.

Az univerzál kompenzátorok helyes működésének biztosításánál különösen a fixpont kialakításokra, a csőmegvezetésekre és az előfeszítésre kell figyelni.

Fixpontok: A fixponti erők számításánál mind a laterális, mind pedig az axiális erőket figyelembe kell venni. A kompenzátorok állító ereje az axiális és laterális rugóállandók, illetve löketek szorzatának összege.

Csőmegvezetések: a csőmegvezetéseknek olyannak kell lenniük, hogy a csősúly ne terhelhesse a kompenzátort.

E típusú kompenzátor előfeszítésére is ugyanazok az előírások vonatkoznak, mint az előzőekben ismertettek. Célszerű e kompenzátort, a külső sérülések elhárítása végett, fémszövettel burkolt kivitelben megrendelni (pl. tehergépkocsi kipufogó).

AZ AXIÁLIS ÉS LATERÁLIS LÖKET EGYMÁSTÓL VALÓ FÜGGÉSE

Az univerzál kompenzátor axiális és laterális irányú lökete egymástól nem független. A típus-táblázatokban az axiális és a laterális löket kü-

lön-külön oszlopban van feltüntetve. Ezek az értékek olyan maximális értékek, amelyeket külön-külön nem szabad túllépni; továbbá ha az axiális löketet max. értékig kihasználjuk, akkor az univerzál kompenzátort laterális irányban már nem szabad igénybe venni, és viszont. Együttes igénybevétel esetén az úgynevezett rombusz diagramból könnyen meghatározható a mindenkori összetartozó axiális és laterális löketpár. Az univerzál kompenzátor számára megfelelő löketpárok csak ebből a diagramból vehetők.

A rombusz diagram egy leegyszerűsített képe a valódi löketeket jobban megközelítő ellipszis diagramnak. Ez azonban a gyakorlati számításokor és ábrázolásokor is nehezebben kezelhető. Ezért alkalmazzák általában a tartalékot is magába foglaló rombusz diagramot is.

12. példa: Számpélda a rombusz diagram használatára

A típusábrázlatból kiválasztott univerzál kompenzátor (UFS-9006, NA 200) löketnagyságai, ha az élettartam 5000 kettős löket;

- laterális irányban max.: ± 59 mm, ekkor axiális irányban csak ± 0 mm lehet,
- axiális irányban max.: ± 37 mm, akkor laterális irányban csak ± 0 mm lehet.

E két löketértéket a rombusz diagramban ábrázolva:

Ha a szükséges laterális löket pl. ± 40 mm, akkor a rombusz diagramból az ezzel egyidejűleg megengedhető axiális löket ± 12 mm (a rombusz diagramot célszerű mm papíron kiserkeszteni).

Az előfeszítés meghatározása a beépítés napján

$$t_{\min} = 0^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{beép}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\max} = 120^{\circ}\text{C}$$

$$V_{\text{ax}} = ?$$

$$V_{\text{lat}} = ?$$

$$V = H - \frac{H(t_{\text{beép}} - t_{\min})}{t_{\max} - t_{\min}}$$

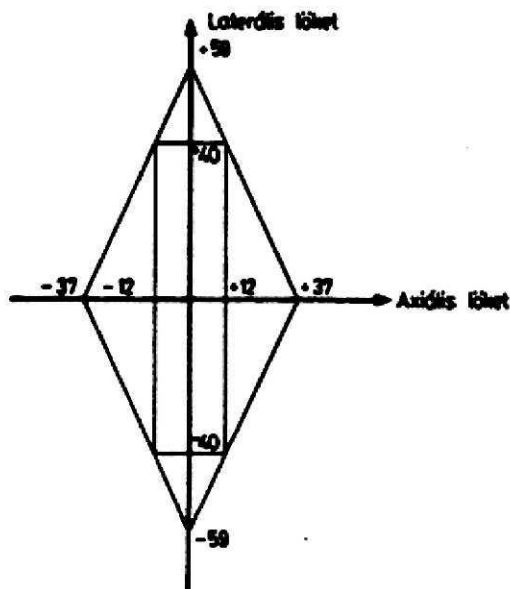
ahol:

$$H = \frac{\text{teljes löket}}{2};$$

$$V_{\text{ax}} = 12 - \frac{12(20-0)}{120-0} = 10 \text{ mm,}$$

$$V_{\text{lat}} = 40 - \frac{40(20-0)}{120-0} = 33 \text{ mm.}$$

A számítások során a fixpont terhelések meghatározásakor a továbbiakban az alaptípusoknál ismertetett módon járunk el.

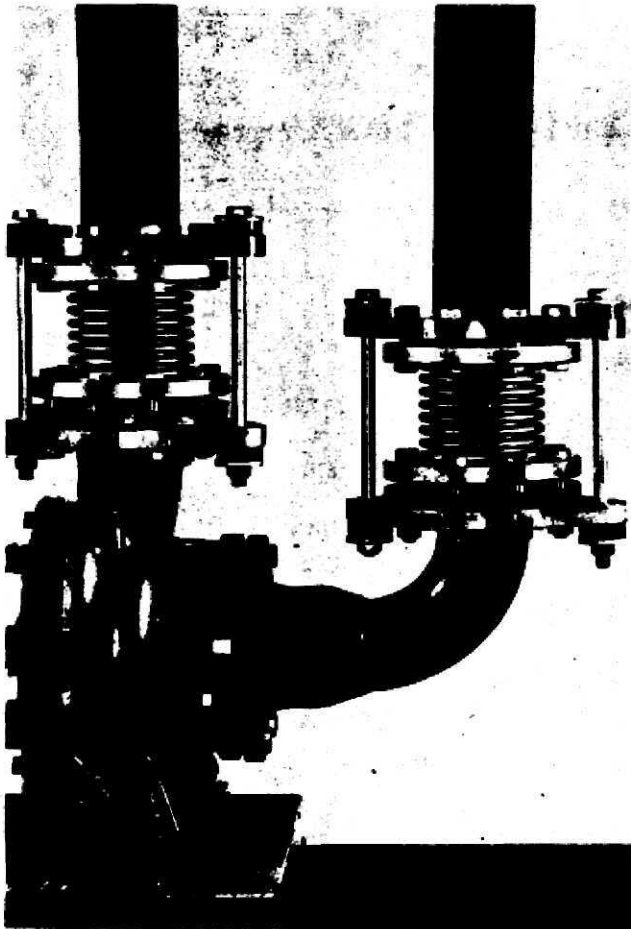


75. ábra

REZGÉSCSILLAPÍTÓK

ALKALMAZÁSI TERÜLETEK

A forgógépek üzemeltetésekor keletkező rezgéseket a csővezetékektől a lehető legjobban el kell szigetelni. E feladatok megoldására szolgálnak a rezgéscsillapító kompenzátorok. Felépítésük hasonló az előzőekben ismertetett típusokéval. Eltérést jelent a viszonylag nagyobb hullám-szám, a kevesebb réteg és a többszöri szerelhetőség miatt a karimás csatlakozás (76. ábra).



76. ábra

Az alaptípusokat is felhasználhatjuk rezgéscsillapításra, de alkalmazásukkor szigorúan be kell tartani, hogy csak olyan irányú rezgések

felvételére vehetők igénybe, amilyent hőmozgások esetében is kompenzálni tudnának.

Laterál kompenzátorok rezgéscsillapítóként történő alkalmazása akkor előnyös, ha a nyomásból származó reakcióerőt a rendszer nem képes felvenni. E típusú kompenzátort rezgéscsillapítóként a rezgés síkra merőleges helyzetben kell beépíteni. Ha térbeli – három síkban fellépő – rezgéseket kell csillapítani, akkor két egymásra merőleges helyzetű laterál kompenzátort kell beépíteni.

A szivattyúk, kompresszorok stb. és a csővezetékek között a rezgéscsillapítás annál könnyebb feladat, minél kiegyensúlyozottabbak a forgógépek és az alapozásuk a célnak legjobban megfelelő. A lengésszámot – a rezgésszámot – a rezgésamplitúdót – a rezgésamplitúdót – alacsonyan kell tartani. A gépeket nagy betontömbökre építik a lengő tömegek növelése érdekében. Az elsődleges rezgéscsökkentések után maradó rezgéseket kell a gép és a csővezeték közé épített rezgéscsillapítókkal csökkenteni.

A rezgéscsillapítót ajánlatos a gép közvetlen közelében elhelyezni, a járulékos lengések csökkentése, illetve kiküszöbölése érdekében.

Ha rezgéscsillapításra az alaptípusok valamelyikét (axiál, angulár, laterál) használjuk, akkor a megkívánt élettartam elérése érdekében a rezgésamplitúdót a megadott maximális hőtágulási érték 5%-a alatt kell tartani. Vagyis olyan hőtágulású kompenzátort kell választani, amelynél a hőtágulás 5%-a alatt van a csillapítandó rezgés amplitúdója.

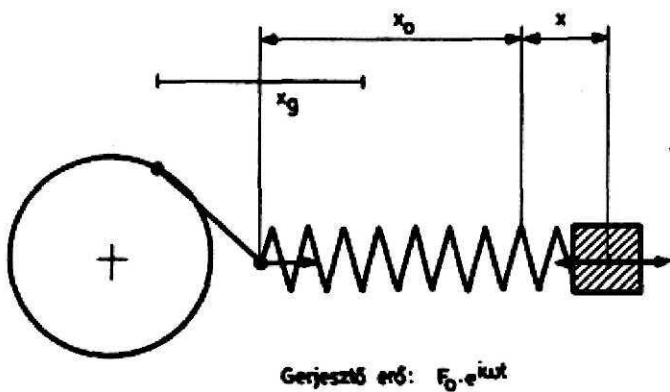
GERJESZTETT, SEBESSÉGGEL ARÁNYOS SURLÓDÓ ERŐVEL CSILLAPÍTOTT, HARMONIKUS LENGÉS MATEMATIKAI ELEMZÉSE

A sematikus lengésábrázolás:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \text{kitérítőerő,}$$

$$c \cdot \dot{x} = \text{visszatérítőerő,}$$

$$b \frac{dx}{dt} = \text{súrlódóerő.}$$



Gerjesztő erő: $F_0 \cdot e^{i\omega t}$

77. ábra

Impulzus egyenlet:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -b \frac{dx}{dt} - cx + F_0 e^{i\omega t}, \quad /1/$$

ahol:

m = tömeg (kg),

$\frac{d^2 x}{dt^2}$ = gyorsulás (m/sec²),

b = csill. áll. (kg/sec),

$\frac{dx}{dt}$ = sebesség (m/sec),

c = rugóállandó (kg/sec²),

x = kilengés (m)

F_0 = gerjesztő erő (kgm/sec² = N),

$e^{i\omega t}$ = periódicitási művelet.

A differenciál egyenlet megoldását a következő alakban keresve:

$$x = A \cdot e^{+i(\omega t - \alpha)}, \quad /2/$$

ahol: A – amplitudó,

innen:

$$\frac{dx}{dt} = i \cdot \omega \cdot A \cdot e^{+i(\omega t - \alpha)}, \quad /3/$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = i^2 \cdot \omega^2 \cdot A \cdot e^{+i(\omega t - \alpha)}, \quad /4/$$

/2/, /3/, és /4/-et /1/-be behelyettesítve:

$$m \cdot i^2 \cdot \omega^2 \cdot A \cdot e^{+i(\omega t - \alpha)} = -b \cdot i \cdot \omega \cdot A \cdot$$

$$\cdot e^{+i(\omega t - \alpha)} - c \cdot A \cdot e^{+i(\omega t - \alpha)} + F_0 e^{i\omega t},$$

$$-m \cdot \omega^2 + ib \cdot \omega + c - \frac{F_0 \cdot e^{i\omega t}}{A \cdot e^{+i(\omega t - \alpha)}} = 0,$$

$$-m \cdot \omega^2 + i \cdot b \omega + c - \frac{F_0 \cdot e^{i\omega t}}{A \cdot e^{i\omega t} \cdot e^{-i\alpha}} = 0,$$

$$-m \omega^2 + i \cdot b \cdot \omega + c - \frac{F_0}{A} \cdot e^{i\alpha} = 0 \quad /:(-m),$$

$$\omega^2 - \frac{i \cdot b \cdot \omega}{m} - \frac{c + \frac{F_0}{A} e^{i\alpha}}{m} = 0.$$

A másodfokú egyenlet megoldása így:

$$\omega^2 - \frac{ib\omega}{m} - \frac{c + \frac{F_0}{A} e^{i\alpha}}{m} = 0,$$

$$\omega = \frac{ib}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{ib}{2m}\right)^2 + \frac{c + \frac{F_0}{A} e^{i\alpha}}{m}},$$

$$\omega = \frac{ib}{2m} \pm \sqrt{\frac{c}{m} + \frac{F_0}{A} e^{i\alpha} - \frac{b^2}{4m^2}}.$$

Az Euler összefüggés felhasználásával:

$$\omega = \frac{ib}{2m} \pm \sqrt{\frac{c}{m} + \frac{F_0}{A} \cos \alpha - \frac{b^2}{4m^2}}.$$

X -re kifejezve a következőket jelenti:

$$x = A \cdot e^{it} \left(\frac{ib}{2m} \pm \frac{c}{m} + \sqrt{\frac{F_0}{A} \cos \alpha - \frac{b^2}{4m^2}} \right),$$

$$x = A \cdot e^{-\frac{bt}{2m}} \cdot e^{\pm it} \sqrt{\frac{c}{m} + \frac{F_0}{A} \cos \alpha - \frac{b^2}{4m^2}}$$

$$x = A \cdot e^{-\frac{bt}{2m}} \cdot \cos \left(\underbrace{\sqrt{\frac{c}{m} + \frac{F_0}{A} \cos \alpha - \frac{b^2}{4m^2}}}_{\omega'} \cdot t \right).$$

Mivel a csillapítás nélküli lengés frekvenciája:

$$\text{így: } \omega' = \sqrt{\omega_0^2 + \frac{F_0}{A} \cos \alpha - \frac{b^2}{4m^2}}.$$

A másodfokú egyenlet további elemzése:

$$-m \cdot \omega^2 + ib\omega + c - \frac{F_0}{A} \cdot e^{i\alpha} = 0.$$

Ha az $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$ –ből c -t kifejezzük:

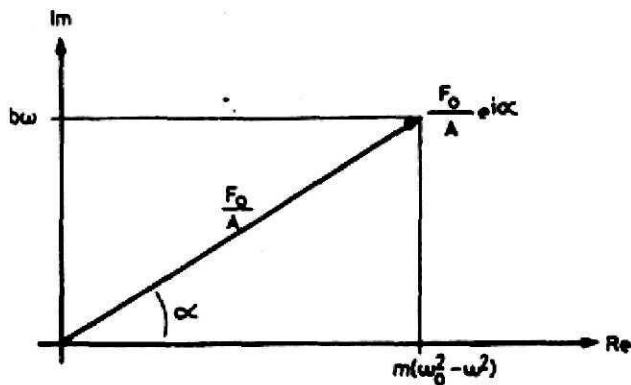
$c = \omega_0^2 \cdot m$ és behelyettesítjük a képletbe:

$$-m \cdot \omega^2 + m \cdot \omega_0^2 + ib\omega - \frac{F_0}{A} \cdot e^{i\alpha} = 0,$$

$$\underbrace{m(\omega_0^2 - \omega^2)}_{\text{valós rész}} + \underbrace{ib\omega}_{\text{képzetes rész}} = \frac{F_0}{A} \cdot e^{i\alpha}.$$

valós rész képzetes rész

A Gauss-féle számsíkban ábrázolva:



78. ábra

Így az $\frac{F_0}{A}$ hányados a valós és a képzetes rész trigonometriai összegzéséből adódik a Pythagoras-tétel segítségével:

$$\frac{F_0}{A} = \sqrt{m^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + b^2 \omega^2},$$

innen:

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^2 + b^2 \omega^2}}.$$

Ha a csillapítás $b = 0$, akkor a gerjesztett (átvitt) amplitúdót kapjuk:

$$A = \frac{F_0}{\sqrt{m^2 (\omega_0^2 - \omega^2)^2}} = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \omega^2)}.$$

Ezt az amplitúdót a „ c ” rugóállandóval megszorozva az átvitt erőt (F') kapjuk:

$$F' = A \cdot c,$$

$$F' = A \cdot m \cdot \omega_0^2.$$

Visszahelyettesítve:

$$A \cdot c = \frac{F_0 \cdot c}{m(\omega_0^2 - \omega^2)},$$

$$F' = \frac{F_0 \cdot \omega_0^2 \cdot m}{m(\omega_0^2 - \omega^2)} = \frac{F_0 \cdot \omega_0^2}{\omega_0^2 - \omega^2} = \frac{F_0}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}.$$

Innen a következő adódik:

$$\frac{F'}{F_0} = \frac{-1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}.$$

Az $\frac{F'}{F_0} = \gamma$ viszonyt *szigetelési tényezőnek* nevezzük, amely tehát a gerjesztőerő (F_0) és az átvitt erő (F') viszonyát adja. Ha $\frac{\omega^2}{\omega_0^2} > 1$, akkor a

$\gamma = \frac{F'}{F_0}$ szig. tényező negatív lesz, ezért γ -át ált.

olyan tényezőnek definiáljuk, amely megadja a gerjesztőerőnek azt a részét, amely a csőhálózatra átadódik. Az $(1 - \gamma)$ tényezőtől pedig az a rész kapható, amely a gerjesztőerőből levonódik.

$$\eta = 1 - \gamma = 1 - \frac{F'}{F_0} = \frac{F_0 - F'}{F_0},$$

$$1 - \left(\frac{-1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} \right) = \frac{2 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - 2}{\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - 1},$$

$$\eta = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - 2}{\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - 1}.$$

η -át *szigetelési fok*nak nevezzük és $\frac{\omega}{\omega_0}$ -al határozható meg.

A MATEMATIKAI LENGÉSANALÍZIS EREDMÉNYEINEK GYAKORLATI FELISMERÉSEI

a) A rezgéscsillapító saját csillapítását el lehet hanyagolni a tényleges csillapítási viszonyokra való tekintettel.

b) A szigetelési viszony (γ) a csővezetékre átadódó erő (F') és a gerjesztőerő (F_0) hányadosa:

$$\gamma = \frac{F'}{F_0}.$$

c) A szigetelési viszony összefüggése azt jelenti, hogy az átvitt erő és a gerjesztő erő hányadosa csak a gerjesztő frekvenciától (ω) és a lengéscsillapító saját frekvenciájától (ω_0) függ:

$$\gamma = \frac{F'}{F_0} = - \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2}.$$

d) A szigetelési fok (η) a következő módon számítható:

$$\eta = \frac{F' - F_0}{F_0} = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - 2}{\left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 - 1}.$$

A szigetelési fok ismeretének gyakorlati jelentése: a gerjesztés frekvenciájának (ω) és a lengéscsillapító saját frekvenciájának (ω_0) ismeretében egyszerűen megkapható, hogy a rezgés-csillapító hány %-ot, vagy hány dB-t szigetel a lengésből (lásd 10. diagram).

e) A lengéscsillapító saját frekvenciája (ω_0) a rugóállandó függvénye:

$$\omega_0 = f [c(p), m (\text{gáz, folyadék})],$$

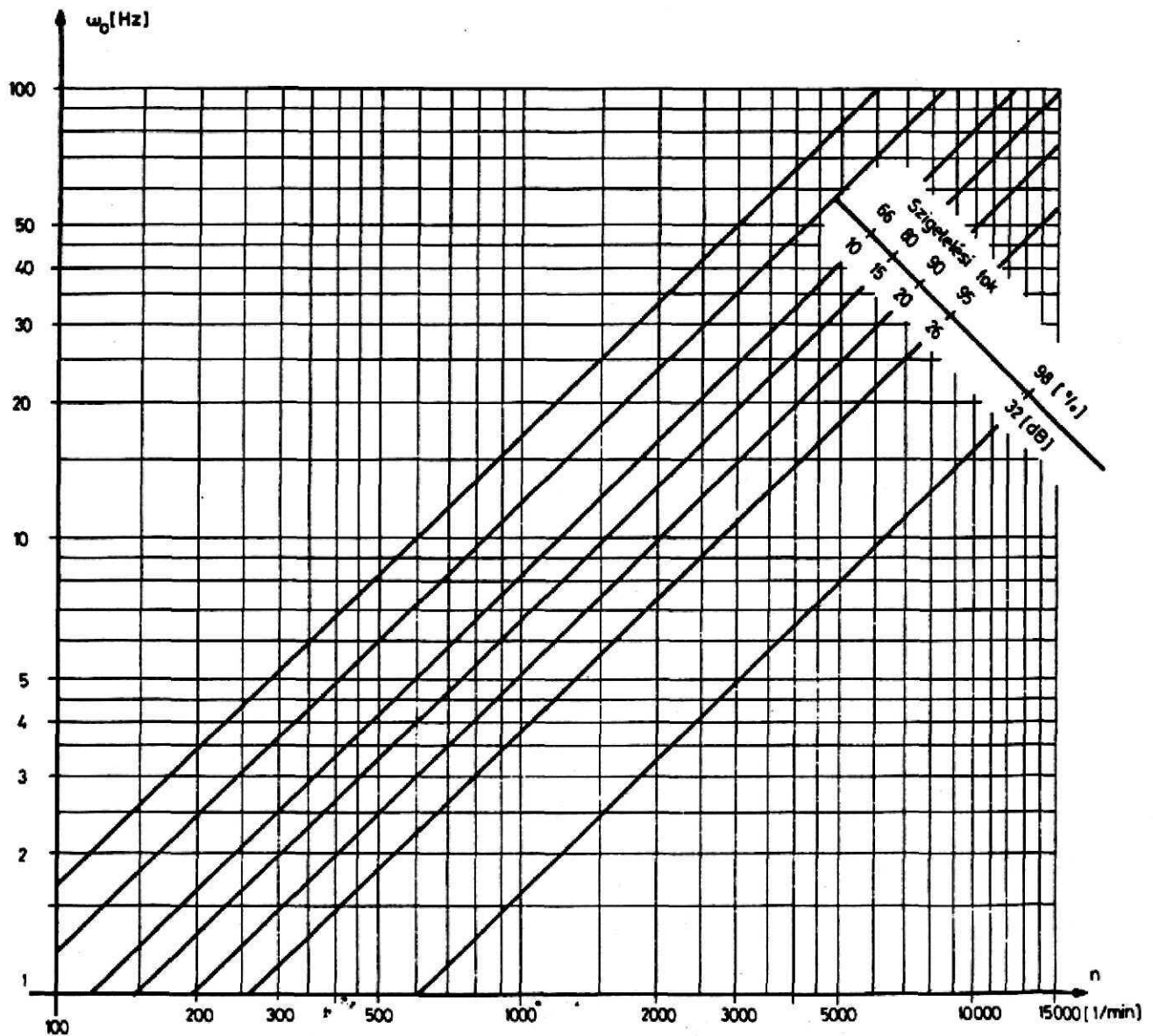
ahol:

c – rugóállandó

p – nyomás

f) A gerjesztőerőnek (F_0) a rezgés-csillapítón keresztül a csőhálózatra átadódó ereje (F') a gerjesztő amplitúdótól (X_{gerj}) és a c – rugóállandótól függ:

$$F' = X_{gerj} \cdot c$$



10. diagram $n = \omega \cdot \frac{30}{\pi}$ [1/min]

A gerjesztő amplitúdó (X_{gerj}) pedig a gerjesztőrendszer alapozásától, annak tömegétől, rugóállandójától függ.

A REZGÉSSZIGETELÉS GYAKORLATI TAPASZTALATAI

Az optimális szigetelési fok eléréséhez a gerjesztést, az elérhető legmagasabb értékre kell beállítani. A rezgés-csillapítót pedig úgy ajánlatos megválasztani, hogy a saját frekvenciája (ω_0) 1–60 Hz között legyen.

A többretegű hullámkompenzátorok közül a laterál kompenzátorok saját frekvenciája helyezkedik el a fenti értékek között, így ez a típus jöhet szóba – az alaptípusok közül – mint rezgés-csillapító.

A gyártók a típustáblázatban a saját frekvenciát megadják. A saját frekvencia (ω_0) és a gerjesztő frekvencia (fordulatszám) függvényében a szigetelési fok a 10. diagramból megállapítható.

A REZGÉSCSILLAPÍTÁS HATÁSFOKA

A csillapítások hatásfokának mérésénél a rezgések és testzajok összefüggését veszik alapul.

Mindkét „rezgésmód” mérésére az alábbi mértékegységek érvényesek:

D = csillapítás %-ban,

F_0 = a gerjesztőről a rezgéscsillapítóra ható erő,

F' = a rezgéscsillapítóról a csővezetékre átadott erő,

$$D = \frac{F_0 - F'}{F_0} \cdot 100\%$$

Csillapítás (dB) decibelben az alábbi képlettel számolható ki:

$$dB = 20 \lg \frac{F_0}{F'}$$

13. példa: egy gerjesztőben mért gerjesztőerő erőssége 100 N. A csővezetékre a csillapítón keresztül leadott erő 10 N

Keressük a csillapítást %-ban és dB-ben.

$$D = \frac{F_0 - F'}{F_0} \cdot 100\% = \frac{100 \text{ N} - 10 \text{ N}}{100 \text{ N}} \cdot 100\% = 90\%$$

$$dB = 20 \cdot \lg \frac{F_0}{F'} = 20 \lg \frac{100}{10} = 20 \text{ dB}$$

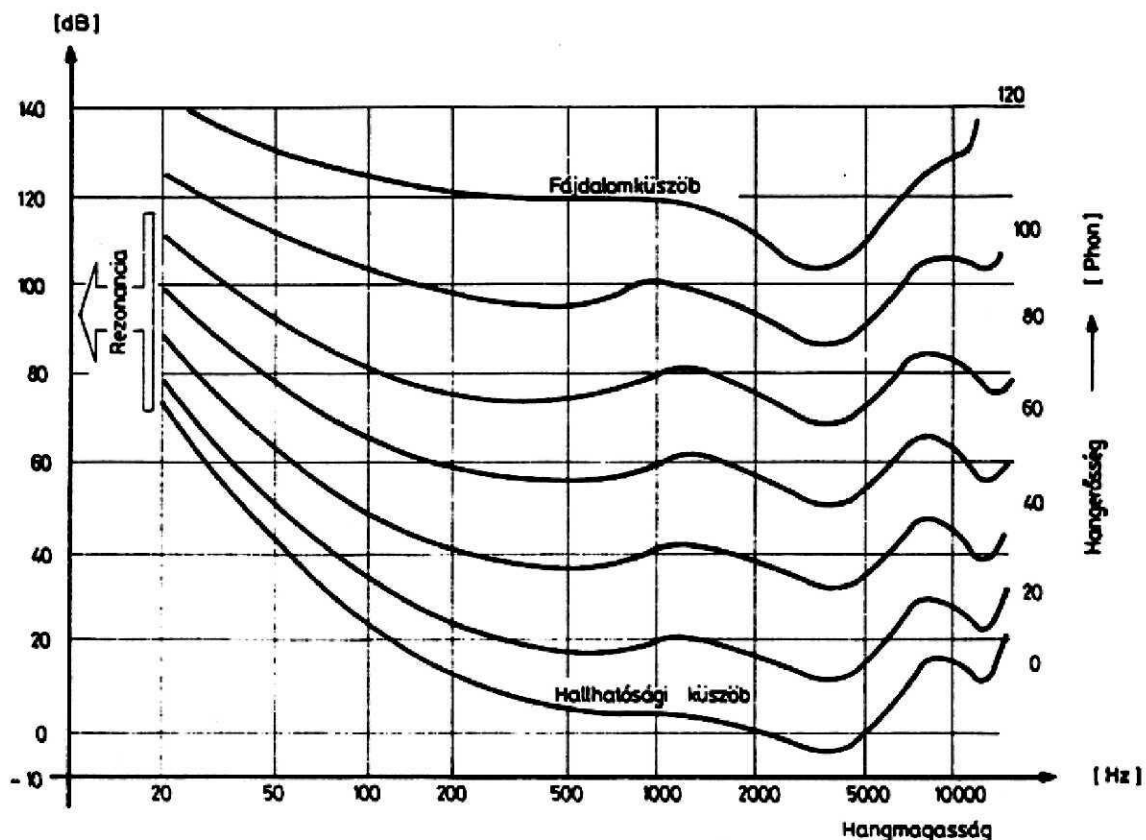
A mechanikus rezgések főtartománya 0 és 80 Hz között fekszik. A 80 Hz egy kb. 4500-as percenkénti fordulathoz felel meg. A testzaj frekvenciák 16 és 20 000 Hz között fekszenek. Ha a frekvencia 16 Hz alatt van, vibrációról beszélünk.

Az emberi fül egy meghatározott hangerőt – pl. 80 dB – az egész frekvencia skálán nem találja egyformán erős hangerejű zajnak.

A dB, a Phon és Hz összefüggéseit mutatja a 11. diagram.

A diagram alapján belátható, hogy ha rezgéscsillapításról és ergonómiai szempontból lényeges zajcsökkentésről egyidejűleg kell gondoskodni, akkor a rezgéscsillapító kiválasztása igen nagy körültekintést és pontos számítást igényel.

Mivel a rezgéscsillapításhoz szükséges tapasztalatok a gyártók-nál halmozódtak fel azáltal, hogy gyártmányukat hosszabb időn keresztül figyelemmel kísérik működés közben, ezért célszerű a tervezés idején a gyártó véleményét is kikérni.



11. diagram

KISKOMPENZÁTOROK

FELÉPÍTÉS, FELHASZNÁLÁS

Az épületeken belüli vezetéképítésben, ahol a névleges átmérők 80 mm alattiak, a hőtágulás kiegyenlítésére speciális kompenzátorok, az úgynevezett kiskompenzátorok szolgálnak. A kiskompenzátorok neve csak a méretükre utal. Ezek a kompenzátorok ugyanis axiál kompenzátorok, amelyek egyenes szakaszok hőtágulás-felvételére szolgálnak.

Felépítésükre jellemző, hogy többnyire tokozott kivitelűek. Ezek a külső védőcsövek ellenében a 80 mm-en felüli névleges átmérőjű axiál kompenzátorok külső védőcsöveivel, egyenesbevezető szerepet is ellátnak. Van azonban olyan kivitel is, amikor az egyenesbevezetést a belső védőcső látja el (79. ábra).

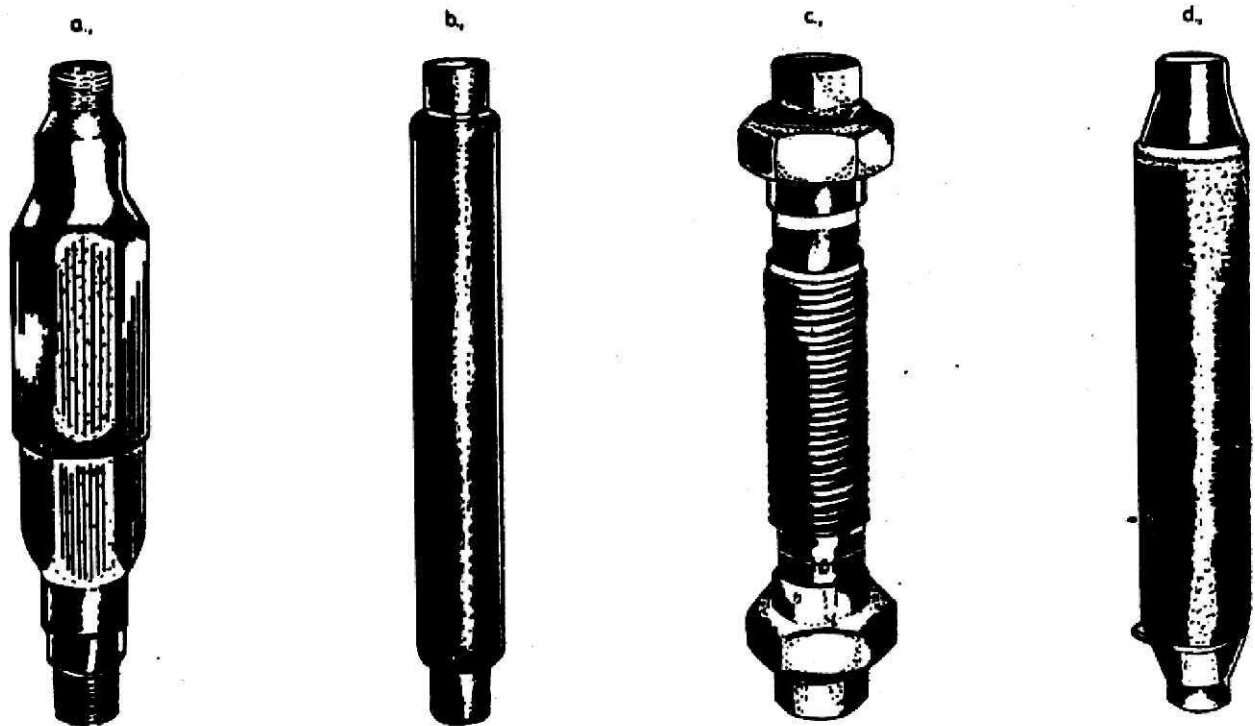
A kiskompenzátorok megnyúlásfelvevő eleme az egy-három rétegű hullámtest. A hullámtest anyaga legtöbbször ausztenites, rozsdamentes acél, de a speciális igények kielégítésére készül

rézből és bronzból is (Ilyenkor a kompenzátor többi alkatrésze is általában réz, vagy bronz).

A vezetéképítésben használatos kötésmódoknak megfelelően a kiskompenzátorok elsősorban menetes csatlakozó csonkkal rendelkeznek, így csőmenettel, Whitworth és metrikus menettel, de megtalálható a hegesztőcsonkos kialakítás is. Így közvetlenül csavarzatok vagy hegesztés segítségével vagy közvetve karimák felszerelésével minden vezetékhez könnyen rögzíthetőek.

A külső védőcsővel ellátott kiskompenzátorok külső védőcsöve nem pusztán csak védi a kompenzátort a külső behatások ellen, hanem az egyenesbevezetés mellett lehetőséget ad még két funkció ellátására. Egyik ilyen funkció a torzió elleni védelem, a másik pedig az előfeszítés biztosítása.

A kiskompenzátorok két végén levő csőcsonkjuk egymáshoz képest torziós hatást nem vehet fel. A hatszög-keresztmetszetű védőcsövek ezt biztosítják, továbbá beszereléskor lehetővé te-



79. ábra

szik azt is, hogy csavarkulccsal megfogva a szükséges ellentartás – becsavarásakor – könnyen megvalósítható legyen (80. ábra). Ugyancsak torzió elleni védelemre szolgál a hengeres védőcsövek hosszirányú, behajlított bordája, amely a csőcsonk karimáján levő horonyban axiális irányú elmozdulást tesz csak lehetővé. Ilyenkor a szemközti csőcsonkhoz a védőcső hozzá van hegesztve, esetleg forrasztva.



80. ábra

Az előfeszítés a kiskompenzátorok esetében mindig egy húzott állapotot jelent. Ezt az előfeszítést többnyire úgy valósítják meg, hogy a védőcsövek egymásba csúszását egy horonyban ülő acélgyűrű akadályozza meg. Ezt az előfeszítő acélgyűrűt csak a kiskompenzátor hálózatba való beépítése után szabad és kell eltávolítani, a vezeték fixpontokhoz való rögzítése után.

KISKOMPENZÁTOROK BEÉPÍTÉSI TUDNIVALÓI

A kiskompenzátorok beépítése során a következő területekre kell különösen figyelmet fordítani.

– *Fixpontok:* Az általános vezetéképítésben használatos szabálynak megfelelően, a kompenzálendő csőszakasz mindkét végén fixpontoknak kell elhelyezkednie, s egy ilyen fixpontokkal határolt szakaszba csak egy olyan kiskompenzátor építhető be, amely löketfelvétele elegendő a hőtágulás felvételére. A fixponterők számítása a 3. fejezetben bemutatott módon (az axiális kompenzátorokhoz hasonlóan) történik, s amely a hatásos felületre (lásd függelék) ható nyomásból származó erőből, a rugóállandó és az elmozdulás szorzatából adódó rugóerő-

ből, továbbá a súrlódó erőből tevődik össze.

- *Csőmegvezetések:* A kiskompenzátorok csak axiális elmozdulásokat vehetnek fel, amely elmozdulást egyenesbevezetőkkel kell biztosítani. Ha a kompenzátor nem rendelkezik sem olyan külső, sem pedig belső védőcsővel, amely az egyenesbevezetést biztosítaná, úgy a kompenzátort vagy fixpont mellé kell beépíteni, a másik oldalán pedig egyenesbevezetőnek kell lennie vagy két egyenesbevezetőnek kell a két oldalán lennie. Ha külső vagy belső védőcsőve egyenesbevezető szerepet is képes ellátni, úgy a fixpont vagy csővezetéki egyenesbevezető kiskompenzátortól való távolsága 2.. 3 m legyen. Ellenkező esetben könnyen befeszülhet.
- *Előfeszítés:* Elsősorban a külső védőcsöves kiskompenzátorok rendelkeznek előfeszítő szerkezettel, amely leggyakrabban egy horonyban ülő acélgyűrű. Ilyen előfeszített kiskompenzátorokat ebben az állapotban kell beépíteni, s csak azután szabad a feszítőgyűrűt eltávolítani, ha a vezeték többi része is véglegesen rögzített. Mivel a napi beépítési hőmérséklet többnyire csak igen kis mértékben tér el a minimális hőmérséklettől, így hatása figyelmen kívül hagyható, nem szükséges az adott nagyságú gyári előfeszítést korrigálni. Egyéb esetekben a helyszínen – beépítéskor – húzással kell biztosítani az előfeszítést.
- *Áramlási irány:* A kiskompenzátorok az áramlási ellenállás csökkentése érdekében belső védőcsővel rendelkeznek. Ez a belső védőcső egyúttal a főáramlási irányt is meghatározza. Ez az irány a kiskompenzátor külső védőcsővéen egy nyíllal van feltüntetve. Ettől az iránytól, amelyet a nyíl mutat, egy esetben kell eltérni, mégpedig függőleges tengelyű beépítéskor. Ilyenkor a nyílnak lefelé kell mutatnia, függetlenül attól, hogy felszálló, vagy leszálló áramlási irányú-e a vezeték. Vízszintesen futó vezetékeknel, azaz vízszintesen elhelyezett kiskompenzátoroknál a nyíl iránya az áramlási iránnyal megegyező irányba mutasson.
- *Hőszigetelés:* A külső védőcsővel ellátott kiskompenzátoroknál a hőszigetelés minden különösebb nehézség nélkül megvalósítható. Eközben elegendő csak arra ügyelni, hogy a szigetelés ne csökkentse az axiális elmozdulás lehetőségét.

ÉLETTARTAM

A kiskompensátorok élettartama a többi kompensátorokhoz hasonlóan nagymértékben a löketnagyságtól, és igen kis mértékben a maximális üzemi nyomástól függ. A típustáblázatokban megadott teljes löketnagyság kihasználása mellett gyártmánytípusonként változik az élettartam. Egyes gyártók 5000, mások 10 000 ket-

tős löketben adják meg az alapélettartamot és az ehhez tartozó löketnagyságot.

A kiskompensátorokat elsősorban NNY 1,6 MPa névleges nyomásra gyártják, de előfordulnak ennél kisebb névleges nyomások, így a 0,6 és a 1 MPa is. 1,6 MPa felett csak külön kérésre készítenek kiskompensátorokat a gyártók, mivel ezek csak ritkán kerülnek felhasználásra.

KORROZIO

A kompensátor hullámtestje – amint azt a 20 és 21 oldalon tárgyaltuk – ausztenites 18% Cr és 8% Ni-t tartalmazó anyagból készül.

Normál üzemeltetési körülmények között a kompensátor – ha helyesen van méretezve – a csővezetékkel egyenlő hosszú élettartamú.

A kloridok, különösen a FeCl_3 megtámadja az említett anyagból készült hullámtestet.

Az FeCl_3 úgy kerül leggyakrabban a távfűtő hálózat kompensátorára, hogy a sós olvadt hólé az aknafedéllel, lépcsővel stb. vassal reakcióba lép és keletkezik FeCl_3 . Ez ráfolyik a hullámtestre.

Ezt meg kell akadályozni. A FÖTÁV-nál ennek egy egyszerű és olcsó megoldását dolgozták ki, ahol a burkolt kompensátor burkolata és a hullámtest közötti részt semleges kémhatású zsírral töltik meg. Ez megoldást jelent a korrozio teljes megakadályozására.

Ha a gyártóval a megrendeléskor közlik a veszélyt akkor az a külső réteget – ha olyan anyagot szállít akkor a belső egy réteget – Incoloy 800, Incoloy 825, Nimonic 75 vagy Inconel 600-as anyagból készíti.

KÜLÖNLEGES KOMPENZÁTOROK

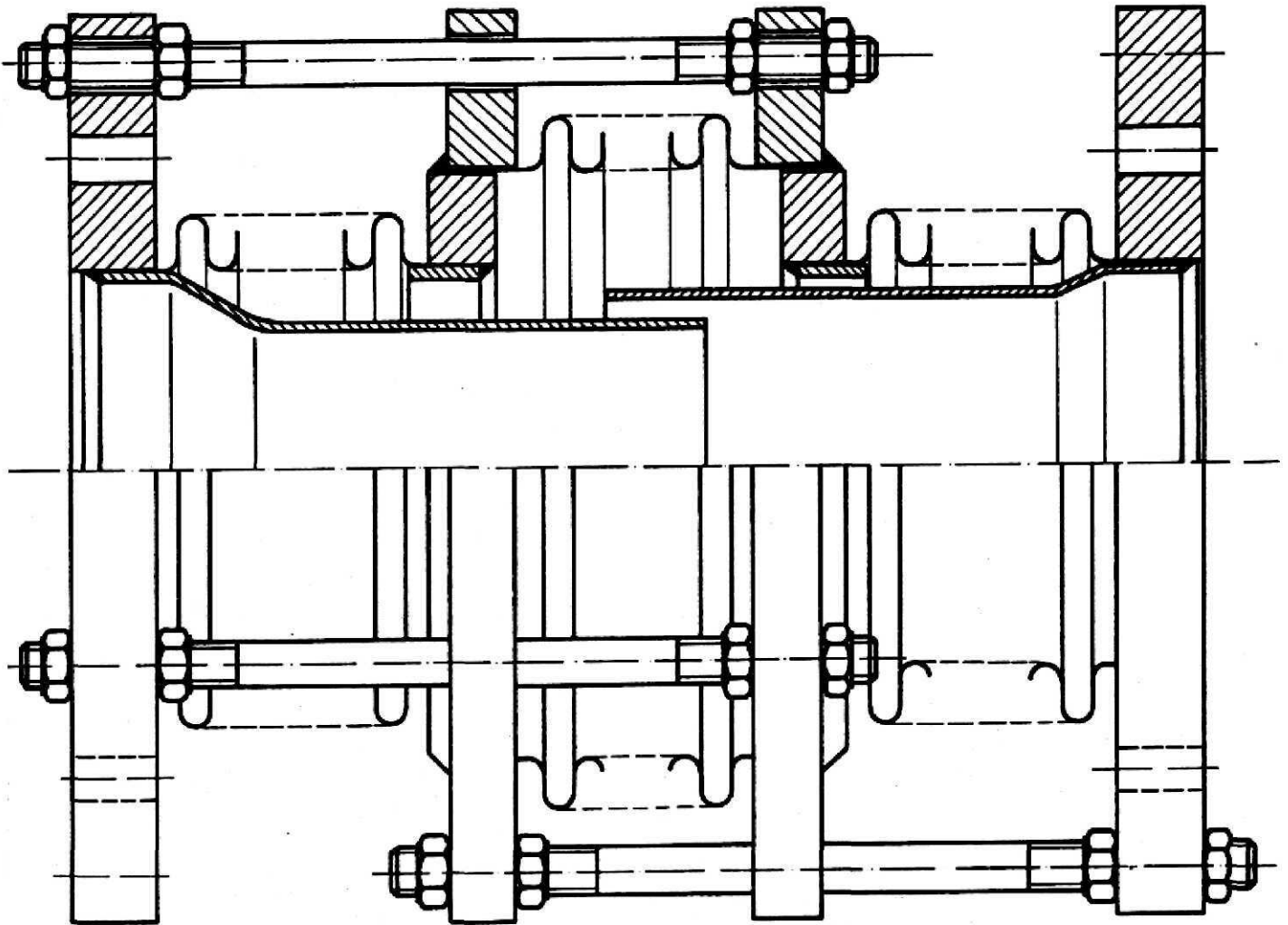
NYOMÁSKIEGYENLÍTETT KOMPENZÁTOROK

Elsősorban ott használják ezeket a típusokat, ahol a csővezetéken vagy a hozzá kapcsolt készüléken a nyomásból származó erő túl nagy vagy nem kívánatos lenne. Az összenyomódáshoz szükséges erő (rugóerő) azonban ezeknél a kompenzátoroknál nagy mivel a pluszként beépített, úgynevezett kiegyenlítő hullámtestet is működtetni kell. A kiegyenlítő hullámtest mozgásából származó többleterő a csővezeték terhel. A 81. ábra egy nyomáskiegyenlített

axiál kompenzátort ábrázol, amelyet egyenes csővezetékbe lehet beépíteni.

A 82. ábra egy saroktehermentesített univerzál kompenzátort ábrázol. Ezt a kompenzátort a csővekbe kell beépíteni. Hullámtestei axiális és laterális mozgások egyidejű felvételét teszik lehetővé. Alkalmazásakor nem szükségesek erős fixpontok. Elterjedt felhasználási területük az érzékeny készülékek (pl. turbinák, kompresszorok, szivattyúk stb.) és tartályok csatlakozásainak bekötése, tehermentesítése.

A nyomástehermentesített kompenzátorok



81. ábra



82. ábra

költsége többnyire elhanyagolható ahhoz a költséghez képest, amelyet a tehermentesített kompenzátorok alkalmazása nélkül szerelt berendezés költségei jelentenének.

KÜLSŐ OLDALON TERHELT AXIÁL KOMPENZÁTOROK

Különleges kivitelű axiál kompenzátoroknál, az axiális löketfelvevő képesség növelésére, egy kompenzátoron belül több hullámtestet építenek egybe. Az így alkotott, összetett hullámtest összenyomáskor instabillá válik, kicsuklik. E kicsuklás kiküszöbölésére a külső oldalán terhelte konstrukció szolgáltat kedvező megoldást. A haszoncsővel megegyező átmérőjű és falvastagságú belső cső egyenesbevezető szerepet lát el.

Mozgás közben a hullámtestek összehegesztésénél található gyűrű ezen a belső csövön felfeküdhethet, s a kicsuklás elkerülhető.

Ha a csővezeték leürítik, a külső burkolócsőben a folyékony közeg visszamaradhat. E célból a burkolócsőn egy leeresztő csavar található, amelyet beépítéskor lefelé kell elhelyezni.

ERŐSÍTŐGYŰRŰS KOMPENZÁTOR

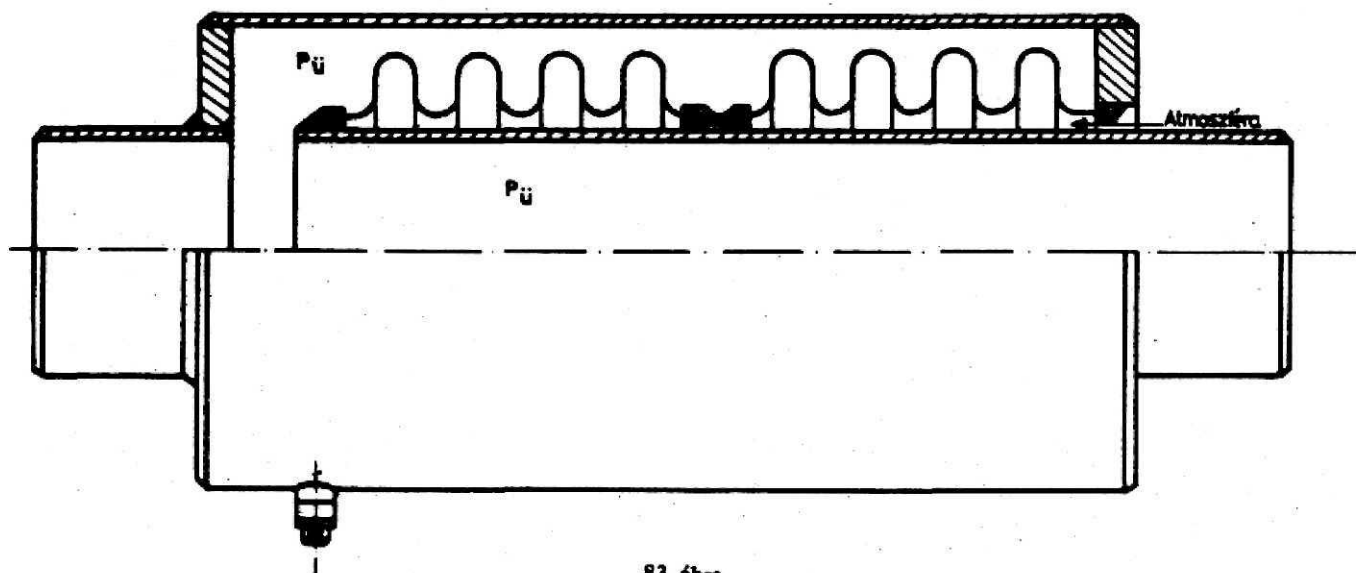
Elsősorban az igen nagy nyomással terhelt axiál kompenzátorok kialakításánál alkalmazzák. A külső burkolócsőn támaszkodó erősítőgyűrűk megakadályozzák a hullámtest üzem közbeni kicsuklását. Így a megfelelő nyomásszilárdság lényegesen vékonyabb hullámtest falvastagság mellett már elérhető. Ennek következménye még az is, hogy a vékonyfalú hullámtest lényegesen „lágyabb”, kisebb rugóállandóval rendelkezik.

Drága konstrukció. Alkalmazása előtt meg kell vizsgálni, hogy a 83. ábrán bemutatott, külső oldalon terhelte konstrukcióval megfelelő megoldás kínálkozna-e.

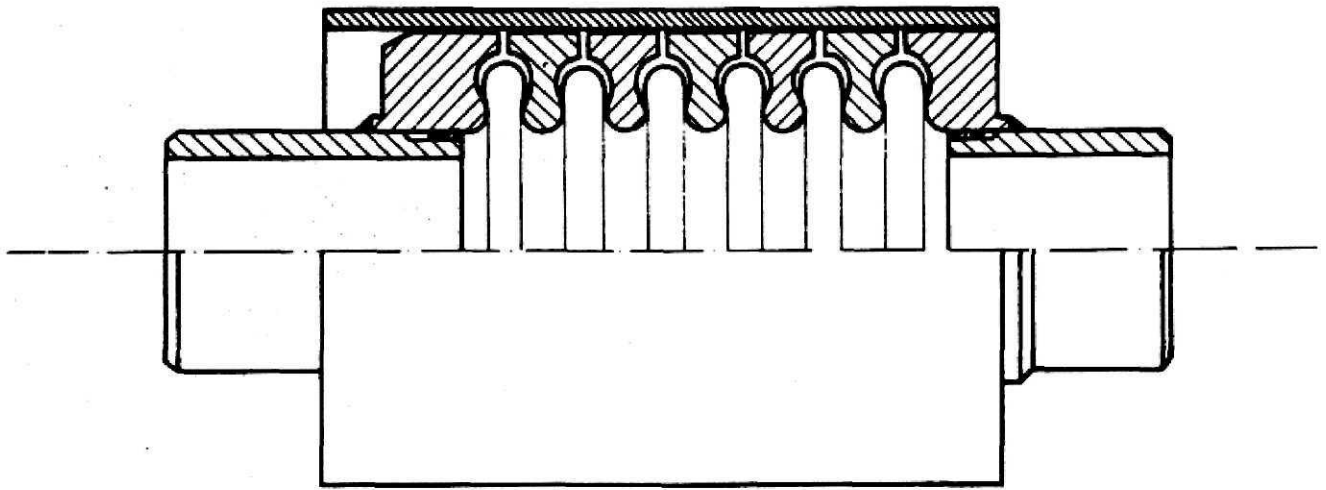
BELSŐ CSUKLÓS KOMPENZÁTOROK

Az angulár kompenzátorok hevedereit és a laterál kompenzátor húzórudjait lehetséges a csövön belülré is szerelni. A belső összekötés használata akkor előnyös, ha:

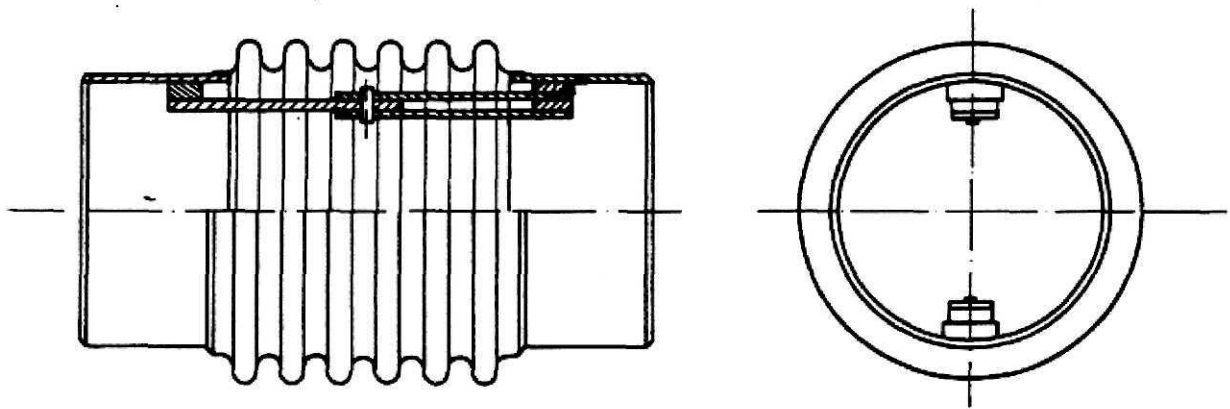
- a korlátozott beépítési hely a külső összekapcsolást nem engedi meg,



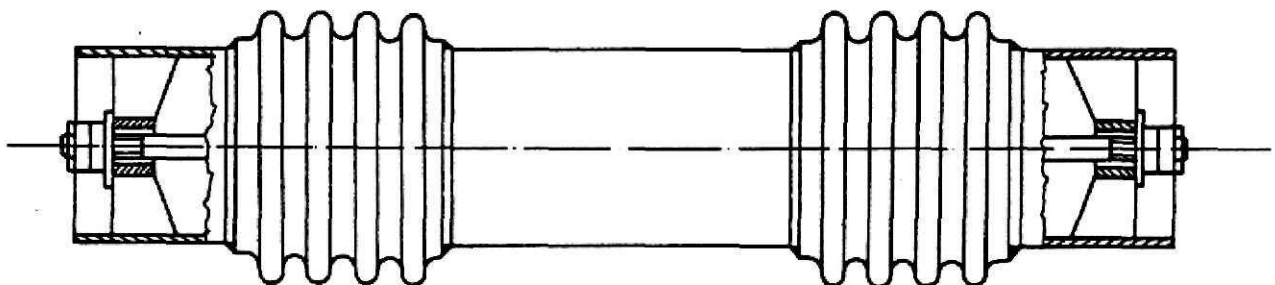
83. ábra



84. ábra



85. ábra



86. ábra

– és ha különösen magas üzemi nyomásról van szó.

Az erőjáték a belső összeköttetésnél kedvezőbb, mint az általánosan használt külső összeköttetésű kiviteleknel.

A 85. ábrán egy belső csuklós angulár kompenzátort, a 86. ábrán pedig egy központi húzórudas laterál kompenzátor vázlatát mutatjuk be.

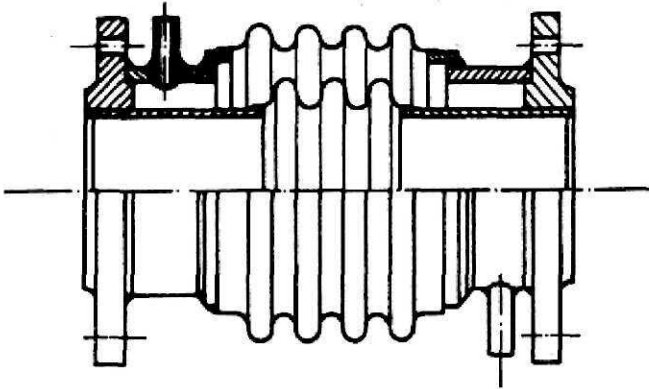
KAMRÁS KOMPENZÁTOROK

A vezetéképítésben találhatók olyan kettős csővezetékek, amelyek belső csövében áramló közeget a belső cső és a külső cső között keringtetett közeggel hűtenek vagy fűtenek. Más esetben, mind pl. az atomerőműveknél, a külső vezeték biztosító szerepet tölt be, amelyet megfelelő

módon ellenőriznek, nehogy nem megengedhető szivárgás lépjen fel a haszoncsőnél.

Az ilyen kettős vezetékek kompenzálására szolgálnak a kamrás kompenzátorok.

A kamrás kompenzátor hullámtestének nagy felülete biztosítja az áramló közeg és a hűtő (vagy fűtő) közeg közti kedvező hőátadást.



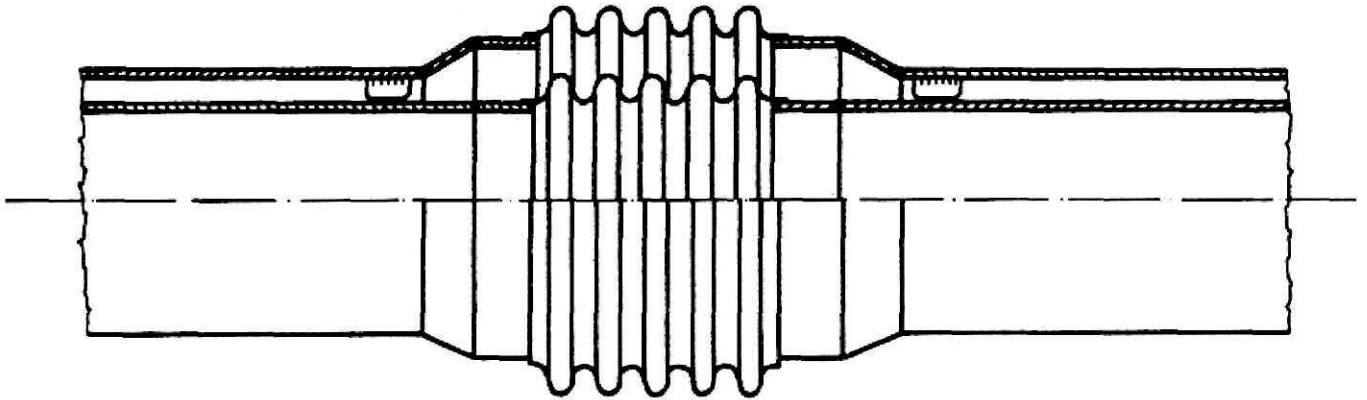
87. ábra

Hasonló elrendezés látható a 88. ábrán, azzal az eltéréssel, hogy a kialakítás két szimpla, hegesztőcsomos kompenzátorral is megvalósítható. Ennél az elrendezésnél a külső és belső cső eltérő löketeket végezhet. Elmarad továbbá a köpenycsőben folyó közeg átvezetése. A két cső tengelyközpontosítására felhegesztett bordák szolgálnak.

Az előzőekben ismertetett különleges kompenzátorokon kívül még igen sok speciális kivitel létezik, amelyekre most nem térünk ki.

Röviden megemlítünk még néhány olyan területet, ahol a kompenzátorok hullámteste, mint kiegyenlítő elem számításba jöhet. Ilyenek pl.

- a kettős falú tartályok feszültségmentesített átvezetései,
- tartályok szintérzékelő mechanizmusának a tartályon kívülré való vezetése,
- térfogatkiegyenlítő elem,
- szelepek lengő tömítése (szelpszár körül),
- tengelytömítés feszítő eleme pl. szivattyúknál, kompresszoroknál,
- vákuumtömítő tengelyátvezetés stb.



88. ábra

FIXPONTOK, KIALAKÍTÁSOK, MEGVEZETÉSEK ÉS ALÁTÁMASZTÁSOK NÉHÁNY ALKALMAZOTT MÓDJA

A csővezetékek alátámasztását a kompenzátorok szempontjából két csoportba soroljuk.

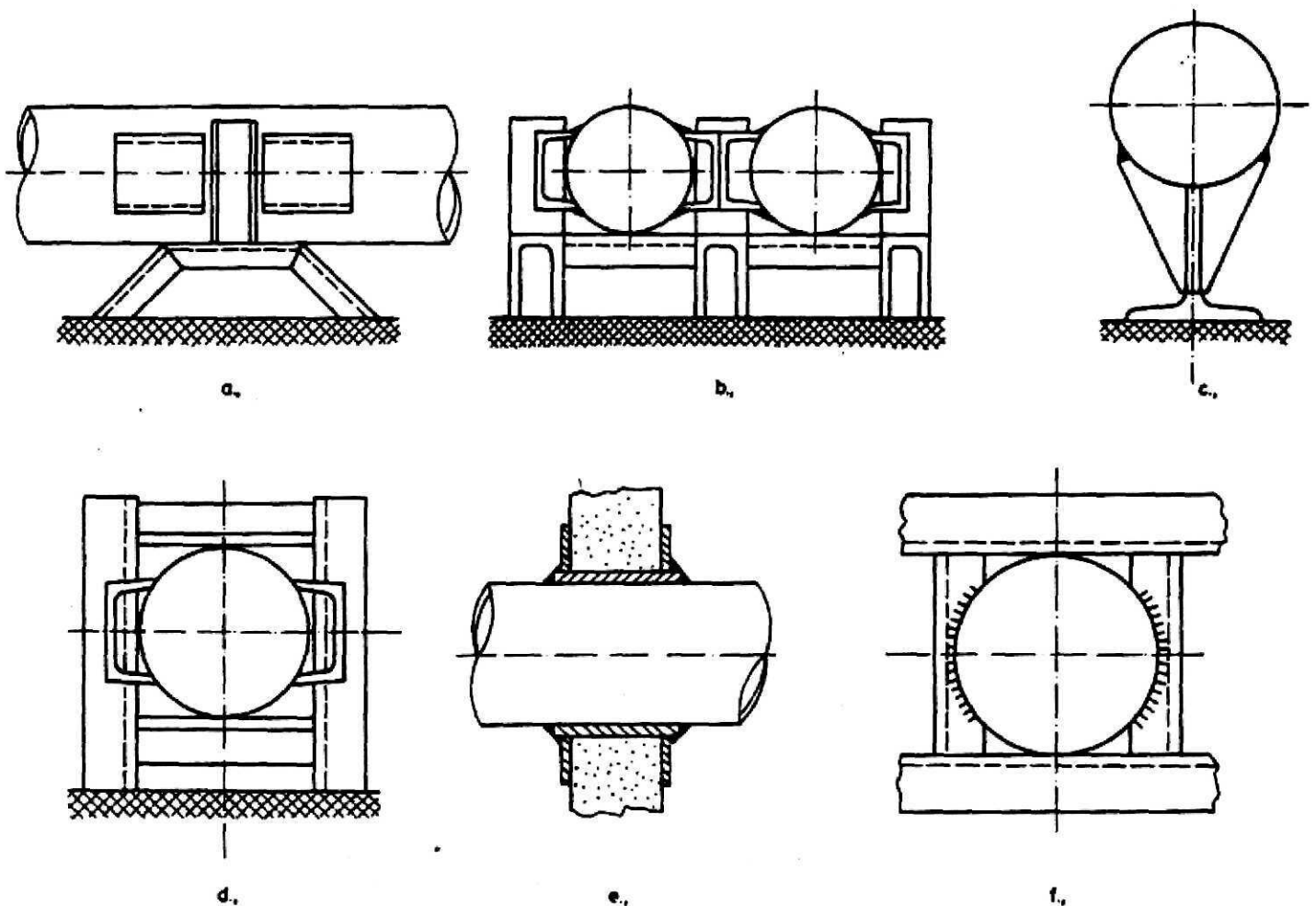
- cső hosszirányú elmozdulását megakadályozó ún. fixpontok,
- a cső elmozdulását lehetővé tevő csőalátámasztások.

A korábbi fejezetekben ismertetett módon méretezzük a fixpontokat.

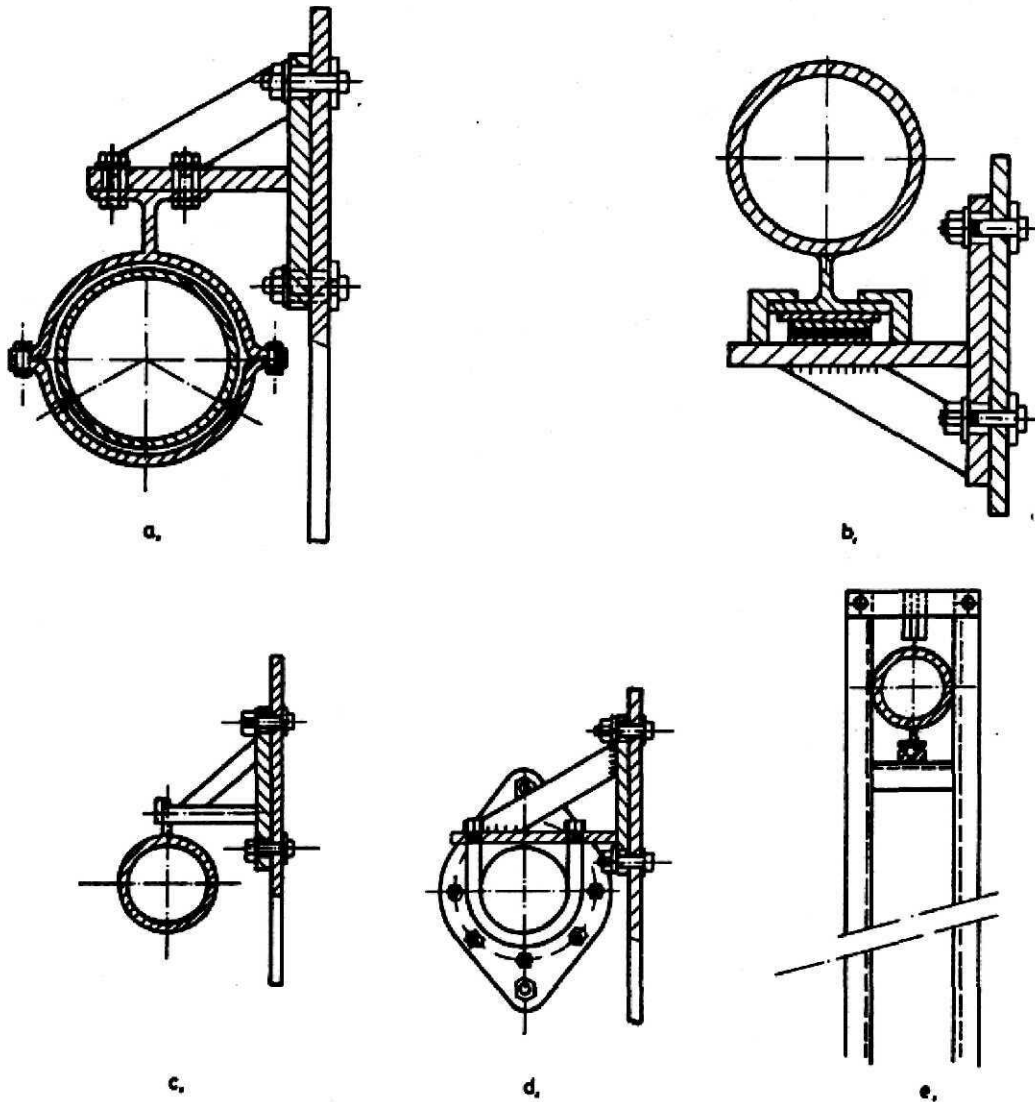
Különböző fixpont kialakításokat mutat a 89. ábra.

A CSŐ ELMOZDULÁSÁT LEHETŐVÉ TEVŐ CSŐALÁTÁMASZTÁSOK

A csőalátámasztás olyan készülék, mely lehetővé téve a csővezeték szabad mozgását hordozza annak teljes súlyát. A csőalátámasztások nem helyettesíthetők vonalbeli vagy síkbeli csőmegvezetésekkel. A hagyományos csőalátámasztások a gyűrűs, csavaros, görgős és rugós felfüggesztők. Ezek a készülékek a vonalbeli és a síkbeli csőmegvezető készülékekkel ellentét-



89. ábra



90. ábra

ben nem tudják a csővezeték mozgásának irányát befolyásolni.

Öt csőalátámasztási módot mutat a 90. ábra.

CSŐMEGVEZETŐ KÉSZÜLÉKEK

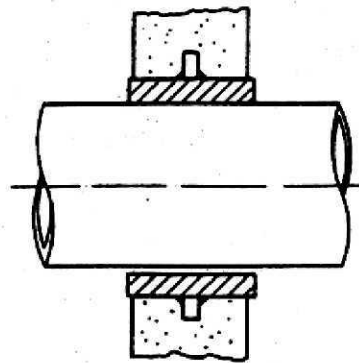
Csőmegvezető készülékek biztosítják, hogy a csőrendszer csak a tervezett irányban mozduljon el.

A síkbeli illetve a vonalbeli vezető készülékek megfelelő tervezésével biztosítható az álló és mozgó részek közötti tisztaság, s ezzel tekintélyes súrlódási erők küszöbölhetők ki. Az axiál kompenzátor végével közvetlenül határos megvezetés térbeli legyen. A cső kerületénél három illetve négy görgővel ellátott csőmegveze-

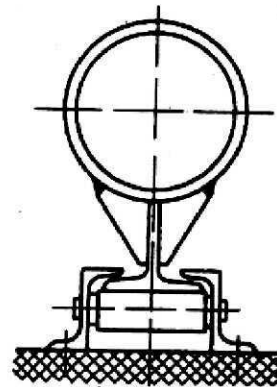
tő készülékek a legalkalmasabbak az axiál kompenzátor közelében történő telepítésre.

Az U csavaros felfüggesztés és az egy görgős csőalátámasztás nem fogható fel a hosszirányú vagy a síkban történő megvezetés készülékeinek helyettesítéseként. A csőmegvezető készüléket a szilárd alaphoz csavaros kötéssel vagy hegesztéssel rögzítik. Bár a csavaros rögzítés kedvezőbb, a hegesztés is megengedhető, ha az azzal járó nagyobb pontatlanság vagy a hegesztési zsugorodás nem csökkenti le a megvezetések hatékonyságát.

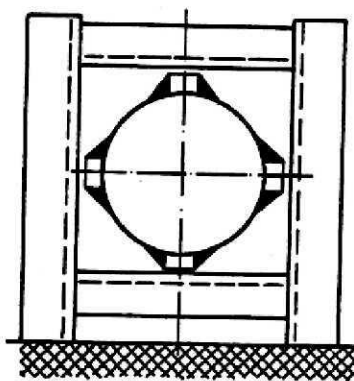
Néhány csőmegvezetési módot mutat a 91. ábra.



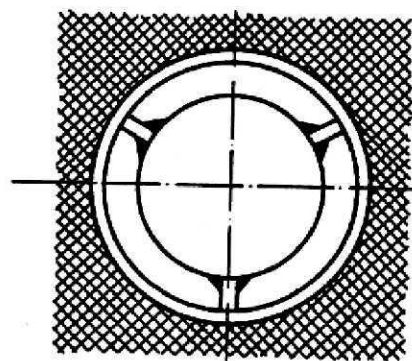
a,



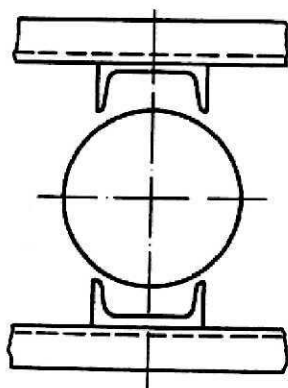
b,



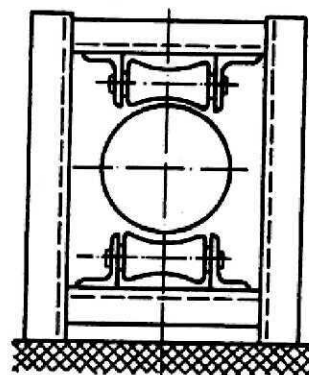
c,



d,



e,



f,

91. ábra

A KOMPENZÁTOROK BEÉPÍTÉSÉNEK NÉHÁNY GYAKORLATI KÉRDÉSE

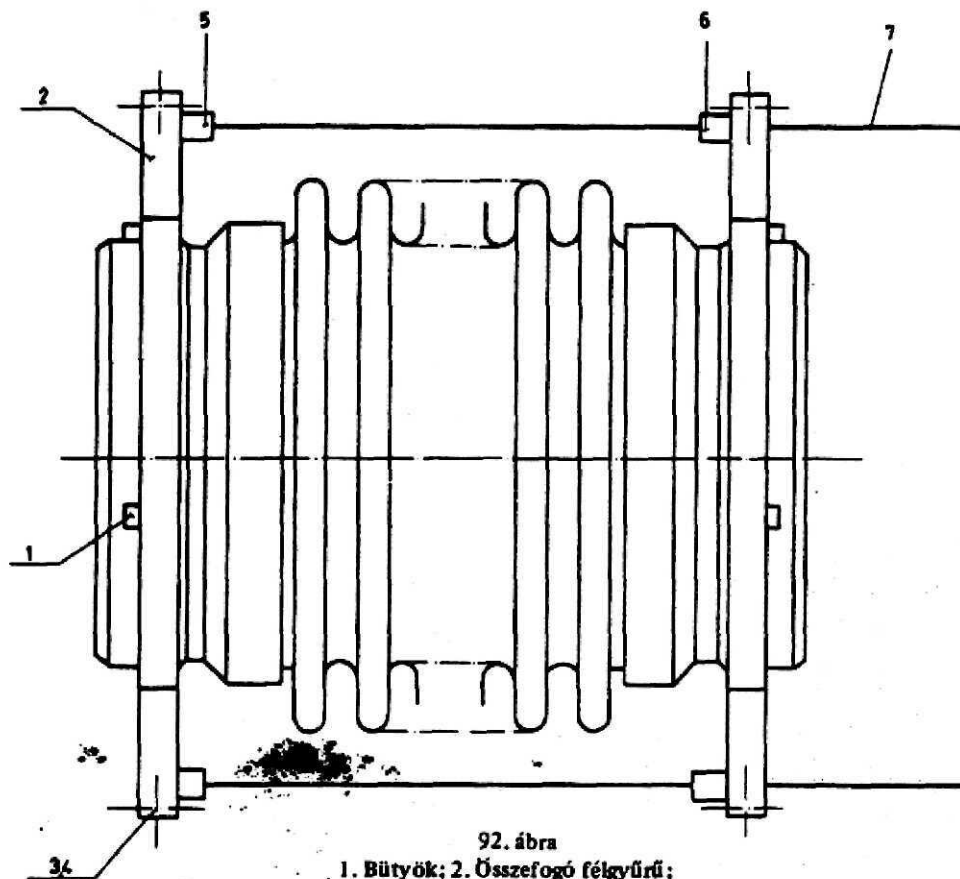
A hullámlemez kompenzátorokat tartalmazó vezeték a lehetőségekhez képest úgy kell tervezni, hogy a fixpontok közötti távolságok a vezeték mentén egyenlők legyenek, így a beépítendő kompenzátorok azonos típusúak lehetnek. Ezeket a távolságokat – ha egyéb kötöttségek nincsenek – úgy kell meghatározni, hogy az azonos névleges átmérőjű hullámkompenzátorokból a legnagyobb hullámszámú, ebből következően a legnagyobb löketű (illetve szögelfordulású) típus váljék szükségessé. Az azonos típusú kompenzátorok használatának az a nagy előnye, hogy azok esetleges felcserélése semmiféle zavart nem okoz. Sok esetben természetesen ez a tipizálás a hővezetéken elhelyezendő leágazások, átmérő csökkenések, elzáró szerelvény és esetleg nyomáscsökkentő elhelyezése miatt nem valósítható meg. Ilyen esetekben igen nagy gondot kell arra fordítani, hogy a megfelelő kom-

penzátor a megfelelő helyre kerüljön. A tervezés során pontosan meg kell határozni a kompenzátorok beépítési helyét a fixpontoktól, illetőleg a különböző csőmegvezető készülékektől való távolságát.

A telepítés során nem mindig biztosított, hogy a szerelők a megfelelő előfeszítés mértékét a tényleges hőmérsékletnek megfelelően pontosan kiszámítsák. A csővezeték tervezője a kompenzátor előfeszítéséhez szükséges segédberendezéseket vagy saját maga terveze meg vagy esetleg a kompenzátor gyártója által kialakított segédberendezéseket is alkalmazhatja.

Feltétlenül fontos, hogy a tervező a beépített kompenzátor hozzáférhetőségéről gondoskodik.

Egy előfeszítési lehetőség vázlatát mutatja a 92. ábra.



92. ábra
1. Bütyök; 2. Összefogó félgűrű;
3-4. Összeszorító csavar anyával; 5. Támasztószem; 6. Agy; 7. Feszítőcsavar

A KOMPENZÁTOROK TELEPÍTÉSÉNEK LEGKRITIKUSABB FÁZISAI

A hullámtest anyaga általában nem egyezik meg a csővezeték – illetőleg a kompenzátornak a csővezetékhez csatlakozó alkatrésze – úgynevezett csőcsomó anyagával. A hullámtest igen sérülékeny. A kompenzátorok munkahelyi tárolása, mozgatása során vigyázni kell ezeknek a vékonyfalú részeknek az épségére. Ha a mozgatás villástargoncával történik, az emelővillát mindenképpen a vastagfalú csőcsomó alá kell helyezni. Ha a kompenzátort a szerelés helyére kötéllal emelik, akkor lehetőség szerint kerülni kell az acélsodronykötél használatát. E célra inkább kender vagy műanyag kötelet kell használni. Ha csak acélemelő áll rendelkezésre, mindenképpen gondoskodni kell arról, hogy az csak a vastagfalú csőcsomókkal érintkezzen, mert ellenkező esetben megsérülhet a hullámtest külső rétegét. A kompenzátorok telepítésekor igen sokszor végeznek annak közelében hegesztést. A burkolócső nélküli kompenzátorok hullámtesteit a hegesztés idejére azbesztzsinórral be kell tekerni, nehogy a munka során keletkező szikrák a hullámtest felületére pattanjanak. Nem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy a csővezeték, illetve a csőcsomók – vagy karimás kötés esetén a hegesztőtoldatos karimák – anyaga legtöbbször eltér a hullámtest anyagától, következésképpen a hegesztési szikrák a becsapódásuk pontjában megváltoztathatják a kis falvastagságú anyag szerkezetét.

A telepítés során nagy gondot kell arra fordítani, hogy úgy kerüljön be a kompenzátor a rendszerbe, hogy csupán az előre betervezett mozgást végezze. Ha a hőtágulás okozta mozgáson felül előre nem látott mozgás fordul elő a rendszerben, a kompenzátor élettartama és nyomástűrése jelentős mértékben csökkenhet. Az ilyenfajta – a tervezettől eltérő mértékű – mozgás egyik forrása lehet, hogy a csővezetéki fixpontokat nem az előre tervezett helyre építik be, így a csőszakaszok hossza megváltozik.

A hullámlemez kompenzátorok egyes típusai- ba vékonyfalú áramlásvédő csöveket szerelnek. Az áramlásvédő csövek a kompenzátor működése során egymáson elcsúsznak. A kompenzátor gyártó üzemekben a kompenzátor külső felületén nyíllal megjelölik a javasolt közegáramlási irányt. A kompenzátort úgy kell beszerezni, hogy a feltüntetett jelzés és a várható közegáramlás azonos irányú legyen.

A különlegesen rugalmas hullámlemez kompenzátorokat a gyárak – a szállítást megkönnyítendő – kitámasztó szerelvényekkel szállítják.

Ezek a kitámasztó szerelvények a kompenzátor rugózó elemeit egy bizonyos helyzetben rögzítik. Ez a rögzített helyzet a szállítás és a munkahelyi anyagmozgatás szempontjából kedvező. Hosszú csővezetékek építése közben a környezeti hőmérséklet jelentős mértékben megváltozhat, ezért a kompenzált csőszakasz fixpontjainak elkészülte után a kitámasztó szerelvényeket el kell távolítani. Így lehetővé válik a kompenzátor rendeltetésszerű üzemelése már a vezetéképítés időszakában.

A hullámlemez kompenzátort hegesztett csőtoldattal vagy karimás kötéssel építik be a csővezetékbe. Karimás csatlakozású kompenzátorok szerelésénél két gyakorlat terjedt el:

a) *Szabványos karimák alkalmazása esetén:* A kompenzátor-gyártó csak a kompenzátort szállítja, a csatlakozó csövekre hegesztendő karimát a szerelő cég biztosítja. Egy csőszakaszon belül a kompenzátort, illetve a kompenzátor kombinációt kell utoljára beszerezni úgy, hogy csak az egyik csatlakozó csőre kell a karimát felhegeszteni. A másik csőre akkor szabad a karimát felhegeszteni, amikor a kompenzátor már a helyén van és a csatlakozó karimákat összeillesztették. Ez azért fontos, mert egyébként nem biztosítható, hogy a karimák összehúzó furatainak tengelye egybeessen. Ha lehet, laza karimákat kell alkalmazni. A hullámlemez kompenzátorok torziót egyáltalán nem tudnak elviselni, és nem is szabad azokat ilyen igénybevételnek kitenni.

b) Ha a kompenzátorok *egyedi kivitelű* karimával csatlakoznak a csővezetékhez, a gyártó az ellenkarimák szállítására is fel lehet kérni. Ilyenkor a két ellenkarimát a kompenzátorral együtt szállítják a munkahelyre. Felhegesztésük az előbb említett módon történik.

A nem kör keresztmetszetű hullámlemez kompenzátorok szerelésénél is ezt a gyakorlatot folytatják. A többnyire L szerelvényből vagy laposacélból készülő karimákon és ellenkarimákon az összeszorító csavarok furatait egyszerre fúrják ki.

Itt kell azt is megemlíteni, hogy az angulár kompenzátorokból álló kombinációk akkor működnek megfelelően, ha a csuklócsap párok tengelye egymással párhuzamos. Ha a szerelést úgy végzik el, hogy ezek a tengelyvonalak kitérő egyenesek, akkor a kompenzált csőszakasz illetőleg az angulár kompenzátorok közötti cső csavaró igénybevételt kap. Kedvezőtlen esetben a tengelyvonalak párhuzamosságtól való eltérése komoly feszültségeket eredményezhet és a kompenzátor kombinációk mozgássávja jelentős mértékben lecsökken. Ezen okok miatt szükség-

szerű, hogy az angulár kompenzátorokból készülő kombinációkat műhely – illetőleg üzemi körülmények között előregyártsák.

Az előregyártott kombinációk munkahelyre szállítása esetenként a nagy méretek miatt nehézségbe ütközhet, azonban a műhelyben történő összeállítást ilyenkor is el kell végezni, és gondoskodni kell arról, hogy a műhelyben a csatlakozó elemeket kellő pontossággal összejelöljék, hogy a munkahelyi hegesztés pontosan elvégezhető legyen.

ELLENŐRZÉSEK A NYOMÁSPRÓBA ELŐTT

Meg kell vizsgálni, hogy a vezeték fixpontjait, alátámasztásait a terveknek megfelelően készítették-e el.

- Meg kell győződni róla, hogy a megfelelő helyre a megfelelő kompenzátor került-e.
- A kompenzátoron jelölt folyásirány megegyezik-e a várható folyásiránnyal. Ha a vezetékbe a folyásiránnyal szemben szerelik be a vékony áramlásvédő csövet szerelt kompenzátort, a gyorsan áramló közeg a belső csövet leszakíthatja a helyéről.
- Meg kell vizsgálni, hogy a kompenzátor szállításának biztonságosabbá tételére használt kitámasztó szerkezetet eltávolították-e, ugyanis az megakadályozza a kompenzátor üzemszerű működését.
- Gáznemű közeg szállítására készült vezeték alátámasztó szerkezeteit a víznyomáspróba idejére meg kell erősíteni, ugyanis a víznyomáspróba-hoz használt víz súlya jelentős többletterhelést jelenthet. Az alátámasztások megerősítését le kell ellenőrizni. A víznyomáspróba elvégzése után a kompenzátorok hullámteste és a belső áramlásvédő csövei közötti térbe víz maradhat. Amennyiben ez a bentmaradó vízmennyiség valamilyen okból káros, annak eltávolításáról gondoskodni kell. Ez természetesen már nem a beépítés utáni feladat, hanem már a kompenzátor kiválasztásakor gondolni kell erre. Független beépítésű kompenzátornál megoldás lehet néhány – az áramlásvédő cső aljába fűrt – furat. Vízszintes beépítésnél inkább az ún. tisztító nyílásokkal ellátott kompenzátor alkalmazása célszerűbb, ha a hullámtest és a belső áramlásvédőcső között felhalmozódó víz nem kívánatos.
- Meg kell vizsgálni, hogy a különböző alátámasztások csőmegevezető készülékek,

kompenzátorok engedik-e mozogni a csővezetéknek.

- Meg kell vizsgálni, hogy a szerelés során keletkezett-e a kompenzátoron sérülés.
- Meg kell vizsgálni, hogy a csővezetéki rendszer mozgó alkatrészei idegen anyagoktól mentesek-e.

NYOMÁSPRÓBA KÖZBEN ELVÉGZENDŐ ELLENŐRZÉSEK

A csővezeték nyomáspróbája során a tömítetlenség, illetve a nyomáscsökkenés ellenőrzésén kívül meg kell vizsgálni, hogy a kompenzátorokon az alátámasztó szerkezeteken vagy más csővezetéki szerelvényen történt-e alakváltozás, illetve valamilyen előre nem látott mozgás.

Meg kell vizsgálni, hogy a kompenzátorok hullámtestein látható-e instabilitás. A hullámtestek instabilitásának két fajtáját különböztetik meg. Az egyik esetben a belső nyomás hatására a hullámtest közepe oldalirányban nagymértékben elcsúszik, ugyanakkor a hullámtest két vége rögzített. Ez a fajta instabilitás főleg azoknál a hullámtesteknél lép fel, melyeknél a hossz/átmérő hányados nagy. A másik, a síkbeli instabilitás azt jelenti, hogy a belső (vagy külső) nyomás hatására a hullámtest egy vagy több hullámának a síkja megváltozik, eltér a kompenzátor hossz tengelyére merőleges síktól. Az instabilitás azért káros, mert a kompenzátor kifáradási élettartamát és a nyomástűrését lényegesen csökkenti.

A NYOMÁSPRÓBÁT KÖVETŐ ELLENŐRZÉSI FELADATOK

A sikeres nyomáspróba után az esetleges – előbb előírt – alátámasztás erősítéseket le lehet szerelni, a vezetékét üzembe lehet helyezni. Az üzembehelyezés után ellenőrizni kell, hogy a kompenzátorok működése a tervezettnek megfelelő-e.

Meg kell vizsgálni, hogy a csővezeték üzeme során fellép-e vibráció, ugyanis az előre nem várt, illetve ki nem küszöbölt rezgések csökkentik a kompenzátor várható kifáradási élettartamát.

A vezeték tervezője, illetőleg üzemeltetője helyesen teszi, ha a vezeték egész élettartamán keresztül folytatandó „vezeték-felügyeleti” programot állít össze. A felügyelet gyakoriságát a vezeték célja és a környezeti tényezők határozzák meg. A felügyelet a kompenzátor mozgásoknak, a vibrációnak, a külső korrózió je-

leinek, a csavarok lazulásának, az alátámasztások, csőmegvezető készülékek kopásának vizsgálatát foglalja magába.

A HULLÁMLEMEZ KOMPENZÁTOROK TÖNKREMENTELÉNEK JELLEMZŐ OKAI

A megfelelő csővezeteki helyre megfelelően berendezett hullámlemez kompenzátorok sok éven keresztül kielégítően működnek. Tönkremenetek természetesen előfordulnak, melynek okai részben a felhasználók, részben a gyártók számlájára írhatók. A tönkremenetek okait több – jól elkülöníthető – csoportba lehet osztani. Az alábbi (amerikai tapasztalatok alapján készített) lista nem kimerítő, de a tönkremeneteli okok sokrétűségének bemutatására igen alkalmas.

a) *Szállítási és anyagmozgatási károk:*

- idegen tárgyak ütdéséből adódó hullámtest átszúródás vagy behorpadás (idegen testek pl. szerszám, láncreakációszerű eldőlés, emelővilla, a szomszédos szerkezetek stb.);
- helytelen rakodás a szállítás vagy a raktározás során;
- nem megfelelő védekezés az időjárás vagy az egyéb környezeti ártalmakkal szemben.

b) *Helytelen beépítés és a nem megfelelő mechanikai védelem a szerelés alatt és után:*

- a belső védőcsővel rendelkező kompen-

zátornak a várható áramlási iránnyal szembeni beépítése;

- az előíráshoz képest más helyre történő beépítés;
- a kitámasztó szerkezetek idő előtti eltávolítása;
- a csővezetékek tengelyeltérését felvevő hullámtest;
- a környezetben folyó munka mechanikai hatásától való elégtelen mechanikus védelem;
- a hullámtestek hegesztésekkel szembeni elégtelen védelme;
- a kitámasztó szerkezetek üzembehelyezés előtti meghibásodása.

c) *Nem megfelelő csővezeték kitámasztás, megvezetés, alátámasztás.*

d) *Működés közbeni fixpont tönkremenetel.*

e) *Hullámtest korrózió:* oka lehet a nem megfelelő hullámtestanyag megválasztás. Különösen a szigetelésből kiváló kloridok okoztak a saválló acéloknál korróziót.

f) *A vezeték túlnyomása* (üzem alatt vagy a víznyomáspróba alkalmával).

g) Nagy kifáradási ciklust eredményező – mechanikai eredetű vagy az áramló közeg által indukált – *hullámtest vibráció.*

h) *Túlzott hullámtest elmozdulás* (a tervezettnél nagyobb axiál, angulár, oldalirányú igénybevétel).

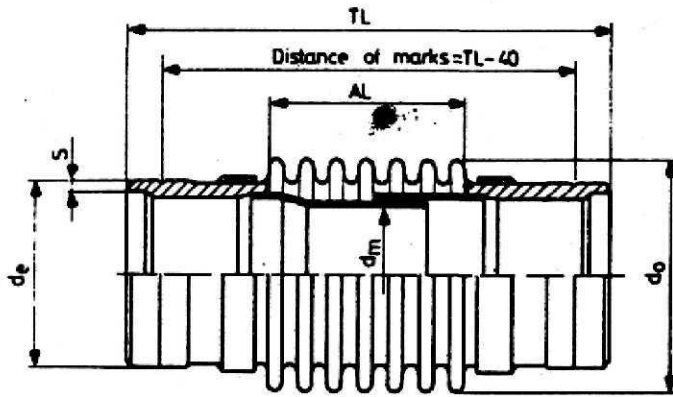
i) *Hullámtest erózió:* nagy sebességű és erózív tulajdonságokkal rendelkező közeg esetén belső védőcső nélküli kompenzátortípus alkalmazása. A hullámtest rétegei közé a szabad mozgást akadályozó anyagszemcsék kerültek be.

IRODALOM JEGYZÉK

- (1) BOA–Kompensatoren Kataloge. Kompensatoren und Metallschlauchfabrik Luzern 1980.
- (2) EJMA Expansion Joint Manufactures Inc. 707 Westchester Avenue, White Plains, New York 1980.
- (3) HYDRA Taschenbuch Metallschlauch–Fabrik Pforzheim vorm Hch. Witzennmann GmbH 1980.
- (4) Axial – Stahlkompensatoren IWKA Katalógge 306 A Industrie–Werke–Karlsruhe–Augsburg
- (5) Hirsch Emil: Hőerőművek csővezetékei Budapest Műszaki Könyvkiadó 1959.
- (6) Korach Marcel: Távhőellátási hálózatok ma-gas- és mélyépítése. Budapest Műszaki Könyvkiadó 1978.
- (7) Őri Róbert: Vegyipari csővezetékek. Budapest Műszaki Könyvkiadó 1972.
- (8) Pattantyús: Gépész és villamosmérnökök kézikönyve Budapest Műszaki Könyvkiadó 1961. 3. kötet.
- (9) Pöstyéni Ferenc: BACSÉP–BOA know-how alapján gyártott kompenzátorok (Gyártmányismertető és kiválasztási segédlet) 1981.
- (10) Pöstyéni Ferenc: A többrétegű hullámlemez kompenzátorok gyártása és ipari alkalmazása. Doktori értekezés. Nehézipari Műszaki Egyetem Miskolc 1982.

FÜGGELÉK

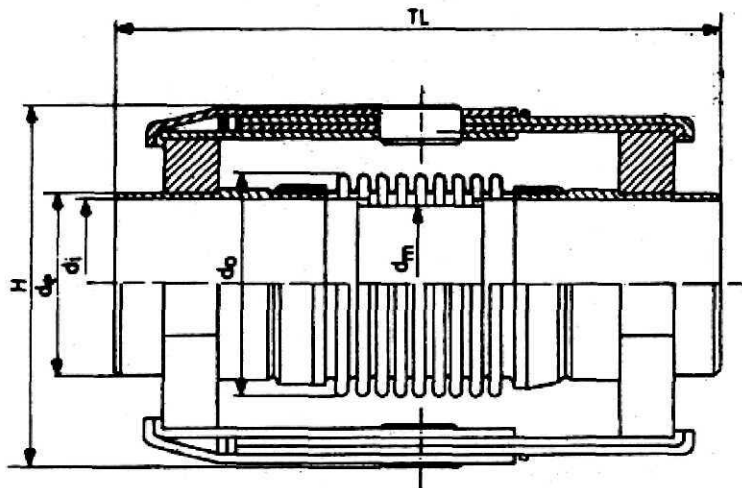
AXIÁL KOMPENZÁTOR



NNY 2,5 MPa

Névleges átmérő NÁ (mm)	Típus	Axialis megnyúlás: H ± irányban, 1000 5000 teljes, kettős lökethél		Teljes hossz			Aktív hossz AL	Külső átmérő d_o	Szabad belső átmérő d_m	Csatlakozó csonk		Axialis rugó állandó c_x	Hatásos felület A	Tömeg m
		(mm)	(mm)	Szabad TL	Min. TL _{min}	Max. TL _{max}				külső átmérő d_e	falvastagság s			
80	W-4525	23	15	350	327	373	158	122	74	88,9	3,2	164	82	6
	W-6025	27	18	413	386	440	221	123	74					
100	W-4525	25	17	344	319	369	152	147	96	114,3	3,6	160	124	7
	W-6025	30	20	425	395	455	233	148	96					
125	W-4525	27	18	339	312	366	147	175	121	139,7	4,0	171	182	10
	W-6025	34	23	430	396	464	238	177	121					
150	W-4525	29	19	347	318	376	155	205	148	168,3	4,5	238	258	13
	W-9025	49	33	554	505	603	362	210	148					
200	W-4525	32	21	344	312	376	152	261	197	219,1	6,3	301	428	18
	W-9025	57	39	559	502	616	367	265	197					
250	W-4525	33	22	336	303	369	144	319	247	273,0	7,1	408	650	26
	W-9025	63	42	550	487	613	358	321	247					
300	W-4525	38	25	341	303	379	149	372	294	323,9	8,0	401	903	33
	W-9025	72	48	573	501	645	381	374	294					
350	W-4525	41	27	349	308	390	157	406	326	355,6	8,0	411	1087	38
	W-9025	72	48	543	471	615	351	408	326					
400	W-4525	38	25	331	293	369	139	460	373	406,4	8,8	561	1405	49
	W-9025	79	53	561	482	640	369	460	373					
450	W-4525	42	27	337	295	379	145	514	424	457,0	8,8	613	1785	56
	W-9025	77	51	527	450	604	335	514	424					
500	W-4525	45	29	343	298	388	151	566	475	508,0	11,0	649	2185	64
	W-9025	84	56	551	467	635	359	568	475					
600	W-4525	51	33	353	302	404	161	672	571	610,0	11,0	723	3117	90
	W-9025	94	62	562	468	656	370	672	571					
700	W-4525	43	28	351	308	394	159	773	672	711,0	12,5	1116	4211	99
	W-9025	89	58	529	440	618	337	773	672					
800	W-4525	39	25	326	287	365	134	880	774	813,0	14,2	1597	5483	119
	W-9025	97	63	544	447	641	352	880	774					
1000	W-4525	45	29	340	295	385	148	1089	966	1016	17,5	1950	8503	164
	W-9025	101	66	541	440	642	349	1089	966					

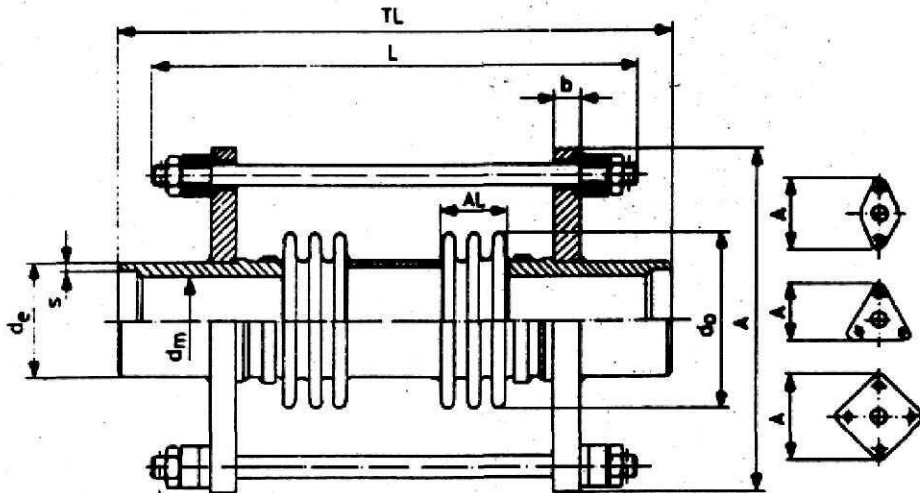
ANGULÁR KOMPENZÁTOR



NNY 2,5 MPa

Névleges NÁ (mm)	Típus	Szögelfordulás ± irányban: α 1000 teljes, 5000 kettős lökethél		Teljes hossz TL (mm)	Sza- bad belső át- mérő d _m (mm)	Befoglaló méret			Csatlakozó csonk		Angulár rugó- állandó ≈ 30% c _α (Nm/1°)	Surlódási nyoma- ték ± 20% m _r (Nm/MPa)	Tö- meg m (kg)
		(fok)	(fok)			magas- ság H (mm)	széles- ség B (mm)	hul- lám- nál d _o (mm)	belső át- mérő d _i (mm)	külső át- mérő d _e (mm)			
80	AW-3025	16,5	10,5	290	75	194	180	121	82,5	88,9	5	20	12
	AW-4525	23,5	16,5	380									
100	AW-3025	16,0	10,5	370	96	239	194	147	107,1	114,3	8	20	21
	AW-6025	24,5	18,0	470									
125	AW-3025	13,5	8,7	370	121	265	220	175	131,7	139,7	13	40	25
	AW-6025	23,0	16,5	470									
150	AW-3025	12,5	7,8	370	149	295	250	206	159,3	168,3	24	70	36
	AW-6025	21,0	15,0	500									
200	AW-4525	13,5	8,4	430	188	353	308	263	206,5	219,1	56	160	61
	AW-6025	18,5	12,4	510									
250	AW-4525	11,0	6,9	450	243	471	388	320	258,8	273,0	95	300	113
	AW-6025	17,5	11,5	560									
300	AW-4525	11,0	6,9	450	290	523	440	374	307,9	323,9	141	420	136
	AW-6025	15,5	10,0	530									
350	AW-4525	11,0	7,0	530	323	560	477	409	339,6	355,6	182	500	172
	AW-6025	15,5	10,0	560									
400	AW-4525	8,8	5,7	490	373	615	530	462	388,8	406,4	309	760	210
	AW-6025	13,0	8,4	560									
450	AW-4525	8,1	5,2	490	422	667	582	514	439,4	457,0	406	950	235
	AW-6025	11,5	7,5	560									
500	AW-4525	7,7	5,0	468	458	794	641	566	486,0	508,0	565	1490	370
	AW-6025	11,0	6,9	600									
600	AW-4525	7,0	4,5	568	558	896	763	668	588,0	610,0	917	2120	508
	AW-6025	9,8	6,3	620									
700	AW-4525	6,6	4,2	670	661	1047	884	782	686,0	711,0	1360	3910	835
	AW-6025	9,2	5,9	710									
800	AW-4525	3,9	2,5	770	762	1149	986	885	784,6	813,0	3200	5050	1010
	AW-6025	5,9	3,8	730									

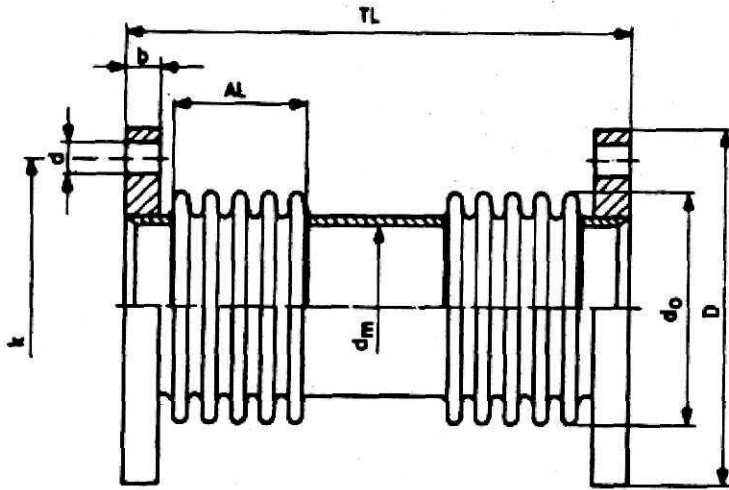
LATERÁL KOMPENZÁTOR



NNY 2,5 MPa

Névleges átmérő NÁ (mm)	Típus	Oldal- elmozdulás ± irányban 1000 5000 teljes, kettős lökettél: y		Teljes hossz TL (mm)	Aktív hossz AL (mm)	Hul- lám külső át- mérő d _o (mm)	Sza- bad belső át- mérő d _m (mm)	Húzórudak		Be- fog- láló méret A (mm)	Kari- ma fal- vastag- ság b (mm)	Csatlakozó csonk		Állítóerő		Tö- meg m (kg)
		(mm)	(mm)					hossza L (mm)	szá- ma z (db)			külső át- mérő d _e (mm)	falvas- tagság s (mm)	rugó- állandó c _y (N/mm)	súrlódó erő f _r (N/MPa)	
80	LWK-6025	47	31	605	54	120	75	575	2	202	15	88,9	3,2	7,9	138	14
	LWK-9025	98	65	910	54	120	75	880	2	202	15	88,9	3,2	2,1	88	17
100	LWK-6025	41	27	586	62	146	96	556	2	247	16	114,3	3,6	16,0	320	20
	LWK-9025	92	60	892	62	146	96	862	2	238	16	114,3	3,6	3,9	164	23
125	LWK-6025	36	24	564	70	175	121	534	3	241	15	139,7	4,0	30,0	500	26
	LWK-9025	86	57	870	70	175	121	840	3	236	15	139,7	4,0	6,6	240	31
150	LWK-6025	32	21	559	76	206	149	529	3	264	18	168,3	4,5	50	480	33
	LWK-9025	80	53	865	76	206	149	835	3	267	18	168,3	4,5	11	360	40
200	LWK-6025	28	18	671	61	261	201	641	3	331	22	219,1	6,3	116	1080	57
	LWK-9025	68	45	919	83	261	201	889	3	331	22	219,1	6,3	28	740	67
250	LWK-6025	24	16	665	68	319	254	635	4	428	25	273,0	7,1	232	1680	79
	LWK-9025	61	40	909	93	319	254	879	4	428	25	273,0	7,1	55	1160	93
300	LWK-6025	22	15	679	70	372	302	649	4	498	30	323,9	8,0	351	2900	109
	LWK-9025	57	37	922	97	372	302	892	4	498	30	323,9	8,0	80	2000	126
350	LWK-6025	21	14	737	46	406	336	707	4	532	30	355,6	8,0	382	3140	122
	LWK-9025	54	35	909	102	406	336	879	4	532	30	355,6	8,0	105	2440	139
400	LWK-6025	20	13	752	50	460	386	722	4	601	35	406,4	8,8	593	4680	161
	LWK-9025	50	33	917	109	460	386	887	4	601	35	406,4	8,8	169	3660	182
450	LWK-6025	19	12	748	52	514	435	718	4	655	35	457,0	8,8	845	5960	189
	LWK-9025	46	30	909	114	514	435	879	4	655	35	457,0	8,8	246	4680	212
500	LWK-6025	18	12	781	54	566	482	751	4	728	40	508,0	11,0	1137	8880	249
	LWK-9025	43	28	937	118	566	482	907	4	728	40	508,0	11,0	337	7040	277
600	LWK-6025	16	11	799	58	672	584	769	4	850	50	610,0	11,0	1966	14040	338
	LWK-9025	32	21	1023	86	670	584	993	4	845	50	610,0	11,0	687	10260	368
700	LWK-6025	12	8	822	58	773	685	792	4	979	55	711,0	12,5	4668	23080	430
	LWK-9025	28	19	1044	93	773	685	1014	4	979	55	711,0	12,5	1174	16880	481
800	LWK-6025	11	7	845	63	880	780	815	4	1104	60	813,0	14,2	7498	32740	598
	LWK-9025	26	17	1063	100	880	780	1033	4	1104	60	813,0	14,2	1881	24100	664
1000	LWK-6025	9	6	910	70	1089	980	880	4	1349	80	1016	17,5 ^f	16096	56420	581
	LWK-9025	22	14	1216	70	1089	980	1186	4	1349	80	1016	17,5 ^f	3508	38100	701

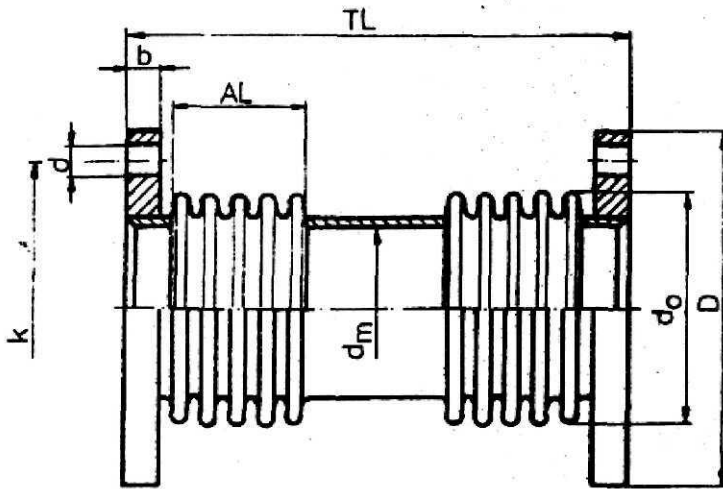
UNIVERZÁL KOMPENZÁTOR



NNY 1,6 MPa

Névleges át- mérő NÁ (mm)	Típus	± Löklet				Teljes hossz TL (mm)	Aktív hossz AL (mm)	Hul- lám külső át- mérő d _o (mm)	Sza- bad belső át- mérő d _m (mm)	Karima				Rugóállandó axiális late- rális c _x c _y (N/mm) (N/mm)	Hatá- sos felület A (cm ²)	Tömeg m (kg)		
		axiális irányban 1000 5000 teljes, kettős lökethél		laterális irányban 1000 5000 teljes, kettős lökethél						külső át- mérő D (mm)	fal- vas- tag- ság b (mm)	lyuk- kör át- mérő k (mm)	fu- rat szám z (db)					
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)					(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				(mm)	
80	UFS-6016	21	14	53	35	424	52	120	88	200	20	160	8	18	83	4,6	82	11
	UFS-9016	30	20	103	70	623	112	122	88	200	20	160	8	18	183	5,1	82	15
100	UFS-6016	25	17	48	32	406	58	145	110	220	20	180	8	18	82	7,8	124	13
	UFS-9016	32	22	98	66	630	98	147	110	220	20	180	8	18	168	6,3	124	17
125	UFS-6016	29	19	40	26	388	62	173	134	250	22	210	8	18	110	18	182	17
	UFS-9016	39	26	86	58	605	112	176	134	250	22	210	8	18	181	12	182	23
150	UFS-6016	33	22	35	23	377	68	204	162	285	22	240	8	M20	123	23	258	21
	UFS-9016	45	30	77	52	587	121	207	162	285	22	240	8	M20	195	20	258	29
200	UFS-6016	31	20	32	21	413	56	259	212	340	24	295	12	M20	183	59	428	30
	UFS-9016	48	32	72	48	603	100	259	212	340	24	295	12	M20	372	25	428	36
250	UFS-6016	37	24	28	19	403	62	317	265	405	26	355	12	M24	217	120	650	42
	UFS-9016	56	37	63	42	587	110	317	265	405	26	355	12	M24	188	47	650	50
300	UFS-6016	42	28	25	17	396	66	369	315	460	28	410	22	M24	231	196	903	54
	UFS-9016	64	42	56	37	572	117	370	315	460	28	410	22	M24	203	79	903	64
350	UFS-6016	28	18	22	15	456	40	401	347	520	30	470	16	26	397	236	1087	70
	UFS-9016	55	36	57	37	625	90	401	347	520	30	470	16	26	198	65	1087	79
400	UFS-6016	31	20	21	14	455	43	455	396	580	32	525	16	30	437	356	1405	89
	UFS-9016	61	40	52	34	616	95	455	396	580	32	525	16	30	219	100	1405	100
450	UFS-6016	33	22	20	13	451	45	510	449	640	32	585	20	30	493	526	1785	103
	UFS-9016	67	43	48	32	609	100	510	449	640	32	585	20	30	246	151	1785	117
500	UFS-6016	36	23	19	12	449	47	562	499	715	34	650	20	33	536	729	2185	134
	UFS-9016	72	47	45	30	602	104	562	499	715	34	650	20	33	268	214	2185	150
600	UFS-6016	41	27	17	11	444	51	668	600	840	36	770	20	36	624	1314	3117	185
	UFS-9016	62	40	42	27	669	82	668	600	840	36	770	20	36	416	332	3117	211
700	UFS-6016	45	30	15	10	437	54	771	701	910	36	840	24	36	677	2048	4211	189
	UFS-9016	67	45	38	25	661	88	771	701	910	36	840	24	36	451	515	4211	220
800	UFS-6016	48	33	14	9	437	60	878	803	1025	38	950	24	39	763	3248	5483	239
	UFS-9016	72	50	35	23	656	95	878	803	1025	38	950	24	39	509	812	5483	278
1000	UFS-6016	53	37	12	8	437	67	1085	1006	1255	42	1170	28	42	867	6413	8503	354
	UFS-9016	79	56	30	19	652	106	1085	1006	1255	42	1170	28	42	578	1588	8503	406

UNIVERZÁL KOMPENZÁTOR



NNY 0,6 MPa

Névleges át- mérő NÁ	Típus	± Löklet				Teljes hossz TL	Aktív hossz AL	Hul- lám külső át- mérő d _o	Sza- bad belső át- mérő d _m	Karima					Rugóállandó		Hatá- sos felület A	Tö- meg m
		axiális irányban 1000 5000 teljesítettős lökettél		laterális irányban 1000 5000 teljesítettős lökettél						külső át- mérő D	fal- vas- tag- ság b	lyuk- kör- át- mérő k	fu- rat- szám z	furat- át- mérő d	axiális	late- rális		
		mm	mm	mm	mm					mm	mm	mm	mm	mm	N/mm	N/mm		
80	UFS-6006	23	15	61	41	412	44	117	88	190	16	150	4	M16	35	1,8	82	7
	UFS-9006	35	24	132	89	604	91	119	88	190	16	150	4	M16	60	1,5		10
100	UFS-6006	27	18	56	37	392	48	142	110	210	16	170	4	M16	31	2,8	124	8
	UFS-9006	37	25	120	81	615	84	144	110	210	16	170	4	M16	62	2,2		11
125	UFS-6006	34	22	50	33	376	54	171	134	240	18	200	8	M16	34	5,3	182	12
	UFS-9006	46	31	108	73	589	94	173	134	240	18	200	8	M16	64	3,9		16
150	UFS-6006	34	23	39	26	363	58	201	162	265	18	225	8	M16	52	13	258	13
	UFS-9006	47	32	89	60	567	96	202	162	265	18	225	8	M16	76	7,1		17
200	UFS-6006	33	22	36	24	400	47	256	212	320	20	280	8	M16	80	24	428	20
	UFS-9006	55	37	88	59	588	85	256	212	320	20	280	8	M16	58	7,8		24
250	UFS-6006	39	26	31	21	391	52	313	265	375	22	335	12	M16	95	50	650	26
	UFS-9006	57	38	68	45	570	92	313	265	375	22	335	12	M16	82	19		30
300	UFS-6006	44	29	28	19	377	54	365	315	440	22	395	12	M20	94	75	903	33
	UFS-9006	63	42	58	39	549	96	365	315	440	22	395	12	M20	81	29		38
350	UFS-6006	32	21	26	17	438	35	399	347	490	22	445	12	22	157	91	1087	43
	UFS-9006	64	42	68	45	604	80	399	347	490	22	445	12	22	79	25		49
400	UFS-6006	35	23	25	16	430	36	451	396	540	22	495	16	22	156	123	1405	50
	UFS-9006	70	46	63	41	591	83	451	396	540	22	495	16	22	78	34		57
450	UFS-6006	38	25	23	15	426	38	505	449	595	22	550	16	22	185	190	1785	58
	UFS-9006	76	50	58	38	582	87	505	449	595	22	550	16	22	92	54		66
500	UFS-6006	34	22	18	12	424	38	557	499	645	24	600	20	22	237	310	2185	66
	UFS-9006	68	45	45	30	573	87	557	499	645	24	600	20	22	119	90		74
600	UFS-6006	38	25	16	11	414	41	663	600	755	24	705	20	M24	279	564	3117	83
	UFS-9006	57	38	40	27	637	67	663	600	755	24	705	20	M24	186	143		98
700	UFS-6006	42	28	15	10	407	44	767	701	860	24	810	24	M24	324	944	4211	100
	UFS-9006	63	42	37	24	625	71	767	701	860	24	810	24	M24	216	238		119
800	UFS-6006	45	30	14	9	397	45	871	803	975	24	920	24	M27	321	1302	5483	120
	UFS-9006	68	45	34	22	611	73	871	803	975	24	920	24	M27	214	326		141
1000	UFS-6006	51	35	12	8	395	53	1078	1006	1175	26	1120	28	M27	411	2902	8503	162
	UFS-9006	76	53	29	19	605	85	1078	1006	1175	26	1120	28	M27	274	720		192

A hazai kompenzátor gyártás 1981. évi megindulásával fokozódott az igény, hogy a világviszonylatban élenjáró többrétegű hullámlemez kompenzátorok tervezéséhez, kiválasztásához és beépítéséhez egy útmutatás álljon rendelkezésre. Ezen a területen tapasztalatokkal egy-két tervezőintézet néhány munkatársa rendelkezik. Ma már szükség szerű, hogy minden kalorikus- és épületgépészmérnök, valamint minden olyan mérnök, aki csővezetékek tervezésével, kivitelezésével és üzemeltetésével foglalkozik, megismerkedjék ezen kompenzátorfajtaival.

Szeretnénk, ha a leendő mérnökök már egyetemi, vagy főiskolai tanulmányaik során megismernék e korszerű csőelemet. Ehhez kíván e munka segítséget nyújtani.