

Miskolci Egyetem
Bányászati és Geotechnikai Intézet
Bányászati és Geotechnikai Intézeti Tanszék

ACÉLÍVES (TH) ÜREGBIZTOSÍTÁS

Oktatási segédlet

Szerző:

Dr. Somosvári Zsolt DSc
professzor emeritus

Szerkesztette:

Csuhánics Balázs
tudományos segédmunkatárs

2012. március

Az acélíves vágatbiztosítás a hazai, de az európai szénbányászatban is a legelterjedtebb, mintegy 70%-ban alkalmazott vágatbiztosítási mód volt. Ezt a fajta vágatbiztosítást az 1930-as évek végén kezdték alkalmazni Németországban, Franciaországban, Angliában, Belgiumban. A Ruhr-vidéken már az 1950-es évek elején megközelítőleg az összes nyitott vágathossz 50%-át így biztosították. Franciaországban az 1950-es évek közepére, hazánkban az e téren élen járó Tatabányán, az 1950-es évek végére érték el ezt a felhasználási arányt. Egyébként Magyarországon 1938-ban, a Borsodi Baross-aknán alkalmaztak először importból származó acélgyűrűs (akkori néven TH- gyűrűs) biztosítást. 1950 óta bányászatunkban már hazai gyártású acélíveket alkalmaznak, 1955-ig teknőprofilúakat, azóta zömében harangprofilúakat.

A biztosítás szempontjából lényeges különbséget kell tenni vágatpillérekkel védett hosszú élettartamú fő vágatok és rövid élettartamú fejtési vágatok között. Fő vágatoknál a vágat állapotára az adott mélységbeni kőzetkörnyezet és az adott vágatszelvénybe épített biztosítás együttdolgozásaként kialakuló kőzetnyomás, valamint az acélíves biztosítás teherviselőképesége van hatással. A vágatbiztosítás ilyen esetben terhelési kényszer alatt áll, a biztosítási ellenállás növelése kisebb konvergenciát eredményez.

A fejtési vágatoknál a vágat mozgáskényszer alatt áll. Fejtési vágatoknál a vágat állapotára – elsősorban mezőbe haladó fejtéseknél – maga a fejtés, pontosabban a fejtett szeletvastagság, fejtésfelhagyás módja, a talpkőzet minősége, a külszín alatti mélység által meghatározott függőleges vágatkonvergencia van hatással. Ez a konvergencia pedig csaknem független a vágatbiztosítás biztosítási ellenállásától. Ugyanakkor az elszenvedett konvergencia adott acélíves vágatbiztosításnál meghatározza a vágatállapotot.

A gépek térigénye és a jó szellőztetés a fejtéselőkészítő vágatoktól nagyobb szerelvényterületet és ezzel nagyobb biztosítási ellenállást követel. A bányaművelésnek a mélység felé való tolódása szintén nagyobb biztosítási ellenállást igényel. Ezek miatt a nyitott íves szerkezeteket egyre inkább a zárt íves szerkezetek váltják fel és az acélívek beépítési távolsága csökken.

A biztosításra ható külső terhelés növekedését

- a gyűrűosztás csökkentésével,
- a bilincsszerkezet erősítésével és
- a nagyobb keresztmetszetű (nagyobb inerciájú) acélgyűrűk alkalmazásával

lehet ellensúlyozni. Kérdés, hogy ezek közül melyik adja a legcélravezetőbb megoldást.

Ezekon kívül még további kérdések is (pl. az anyagminőség, az acélprofil legkedvezőbb kialakítása, a beépítés gépesítése stb.) felmerülnek az acélíves biztosítással kapcsolatban.

A kőzetnek és biztosítószerkezetnek, mint mechanikai kettős rendszer elemeinek az együttdolgozásával hazánkban Richter Richárd (1920-1979) miskolci egyetemi tanár foglalkozott behatóan az 1960-as évek elejétől. Ő mutatott rá arra, hogy minden kőzetnyomás-vizsgálat esetében a kőzet és a biztosítószerkezet együttes vizsgálatára van szükség. Megadta a biztosítószerkezetek legfontosabb tulajdonságainak: az aktivitásnak és a passzivitásnak, valamint az engedékenységnak és a merevségnek az értelmezését is.

A biztosítószerkezet aktivitása azt jelenti, hogy beépítés után a kőzetfelületre azonnal nyomást fejt ki, s ezzel az üregfelület elmozdulását, alakváltozását azonnal gátolja. Passzív a biztosítószerkezet akkor, ha beépítése után nem fejt ki azonnal nyomást az üregfelületre, hanem csak a lejátszódó üregfelületi kőzetmozgások után.

Az engedékenység a biztosítószerkezetnek az a tulajdonsága, amely lehetővé teszi, hogy a szerkezet az igénybevétel bizonyos határánál

összeecsúszással térjen ki a terhelések elől. A biztosítószerkezet ilyen kialakításának – nyitott szelvény szűkülését megengedve – az a célja, hogy a biztosítás a teherbírásnál nagyobb terhelés alá ne kerülhessen. A merev biztosítószerkezet ugyanis nem rendelkezik e tulajdonsággal, s ezért amikor teherbírását meghaladja a terhelés, a biztosítószerkezet tönkremegy.

Az aktív, azonnal teherviselő biztosítószerkezet javítja a közetnyomási viszonyokat, ami a közet és a biztosítószerkezet szempontjából egyaránt előnyös. Az engedékenységi elsősorban a biztosítás szempontjából előnyös, a közet számára csak annyiban, hogy elkerülhető a biztosítószerkezet tönkremenetele miatt jelentkező ugrásszerű közetigénybevétel.

1. A SZERKEZET ÉS ELEMEINEK BEMUTATÁSA

Körszelvényű üregbe épített TH-acélíves biztosító szerkezetet mutat az 1.1. ábra. Látszanak a kötőszervezetek is, amelyek összefogják az ív-elemeket. Az ábra az acélívek mögé beépített fa bélelést is mutatja. Látszanak acélíveket oldalirányban támasztó fa-feszkék is.

Az 1.2. ábra zárt körszelvényű biztosítás metszetét mutatja. A biztosítás 4 ívelemből, 4 kötőszervezetből és fa bélelésből áll. A kötőszervezetek mellett a beépített fa-feszkék (8 db) metszetei látszanak. Az ábra jelölései:

- 1 - felső ív
- 2 - alsó ív
- 3 - oldalívek
- 4 - bélés elemek
- 5 - feszkék
- 6 - ívátfedési helyek (legalább 400 mm)
- 7 - kötőszervezetek
- 8 - feltöltés
- 9 - vasút
- 10 - csorga
- 11 - úrszelvény magasság
- 12 - úrszelvény szélesség

Az 1.3. ábra 4 elemből álló körszelvényű TH-acélíves biztosítószerkezet és a lehetséges bélelő elemeket mutatja.

Az 1.4. ábra 3 db acélívből összeállított körszelvényű TH acélíves szerkezetet mutat. Az a-jelű elrendezést gyorsabban, könnyebben lehet megvalósítani.

Nagyobb szelvényű nyitott TH-acélíves biztosítást mutat az 1.5. ábra. Kisebb szelvényű nyitott TH-acélíves biztosítást mutat az 1.6. ábra. Az ábra jelölései:

- 1 - talpgerendák
- 2 - oldalívek
- 3 - felső-ív
- 4 - átfedési hossz
- 5 - kötőszerkezet
- 6 - bélésanyag
- 7 - feszkék
- 8 - szállítópálya
- 9 - csorga

A TH-acélíves biztosítás tehát acélívelemekből és azokat összefogó kötőszerkezetekből áll. A kötőszerkezetek súrlódásos kapcsolatot létesítenek az acélívek között, ezzel határt szabnak a szerkezetben ébredő tangenciális erőnek. Ezért a TH-acélíves biztosítás engedékeny biztosítás.

Az acélívek keresztmetszetét az ívek folyómétertömegével adják meg. Pl. a 21 kg/m folyómétertömegű acélívek keresztmetszete $F=27,4 \text{ cm}^2$, a 25 kg/m-es acélívek keresztmetszete $F=31,7 \text{ cm}^2$. $7,8 \text{ g/cm}^3$ sűrűséggel a folyómétertömeg pontos értéke 21,4 kg/m, ill. 24,7 kg/m.

A beépített biztosítószerkezetben (acélívekben) tangenciális nyomóerő (T) és hajlítónyomaték (M) ébred. Ezért a keresztmetszeten (F) kívül lényeges jellemző a másodrendű nyomaték (I) és a keresztmetszeti (K) tényező, valamint az acél folyási határa (σ_f), végső soron a nyomatéki teherbírás.

További lényeges kérdés, hogy az alkalmazott kötőszerkezet adott esetben milyen nagy összecsúszási ellenállást ($T_{\max}$, kN) tud előállítani.

A biztosítószerkezet biztosítási ellenállását, teherbírását (kN/m^2) az előbb felsoroltakon kívül az ívek beépítési távolsága (l) befolyásolja.

Mindezekért a fenti paraméterekkel foglalkoznunk szükséges.

Az 1.7. ábra a régi magyar 16, 21 és 25 kgm folyómétertömegű harangprofilokat mutatja.

Az 1.8. ábra hagyományos kötőszerveket (U-csavaros) mutat régi 21 kg/m-es harangprofilokhoz.

Az 1.9. ábra 25 kg/m-es harangprofilok kötőszerveit mutatja. A felső az ún. vonszolt ékes szerkezet.

TH-acélívek érintkezését mutatja az 1.10. ábra. Az alsó kép jobb érintkezést mutat. Ebben az esetben nagyobb a teherbírás.

Új, H21, H25, H28 szelvényű TH profilokat látunk az 1.11. ábrán. Az 1.12. ábrán ezek kapcsolódását látjuk. Az 1.13. ábra a kapcsolószerkezetet mutatja.

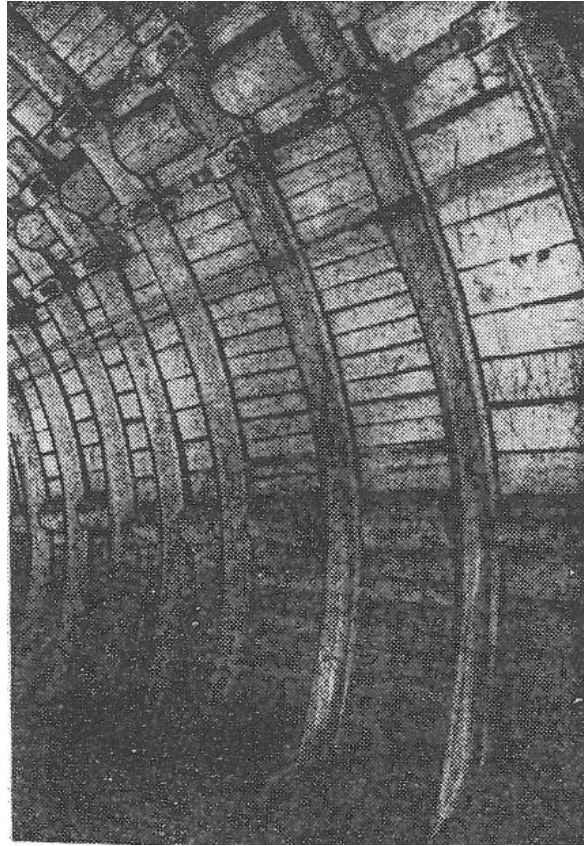
Az 1.14. ábra a 33 kg/m folyómétertömegű profilt mutatja.

Az 1.15. ábra régi és az új 25 kg/m folyómétertömegű profilok kapcsolódását mutatja. Az új profilnál teljesebb a kapcsolódás.

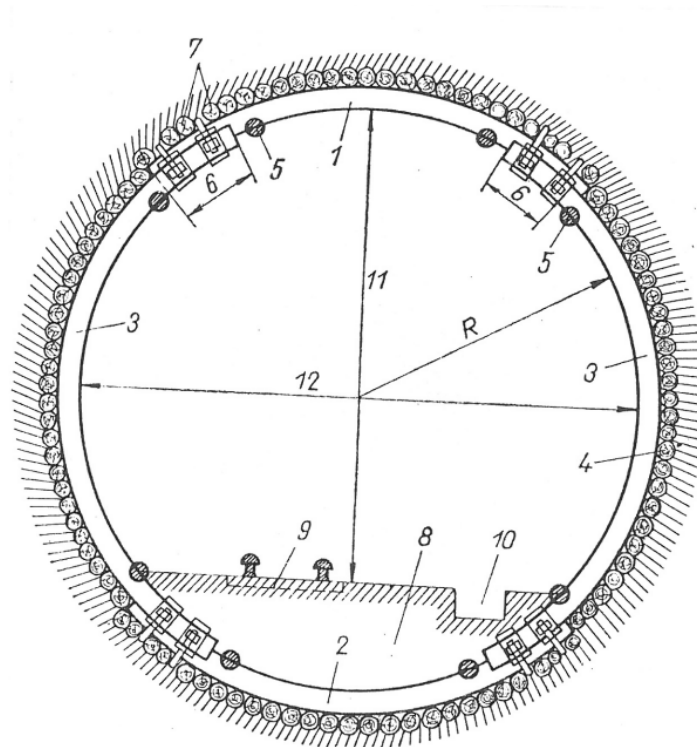
Az acélívek teherbírása (max. tangenciális ereje) tiszta nyomóigénybevételnél $\sigma_f = 230 \text{ MPa} = 230 \text{ N/mm}^2$ folyási határ figyelembe vételével:

„21”	630 kN
„25”	750 kN
„33”	1000 kN

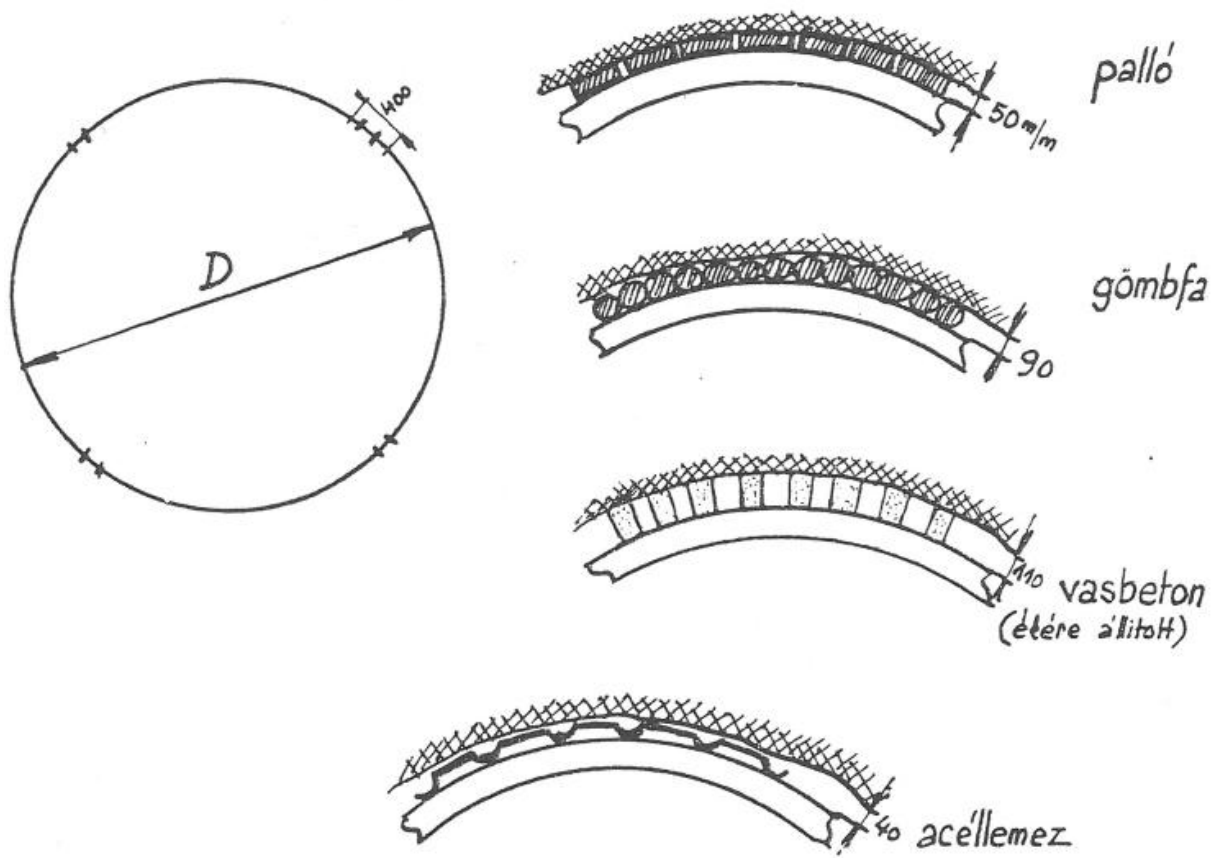
A kötőszervek (bilincsszerkezetek) ezeknek a tangenciális erőnek az 50-60 %-t képesek átadni, ezért a tangenciális erő nem tudja tönkretenni a szerkezetet. Az acélívekben azonban hajlító nyomaték is ébred, ez alól nem tud kitérni a szerkezet, így a nyomaték meggörbítheti, tönkre teheti a biztosítószerkezetet.



1.1. ábra TH acélívekkel biztosított üreg felülete



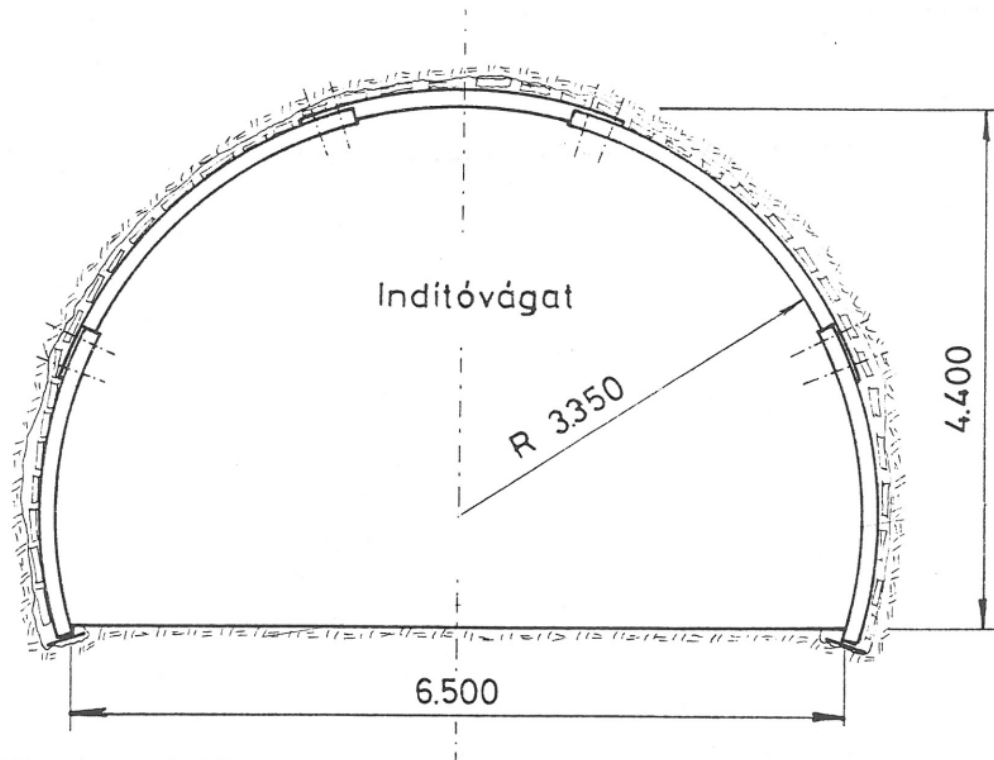
1.2. ábra Zárt acélgyűrűs biztosítás



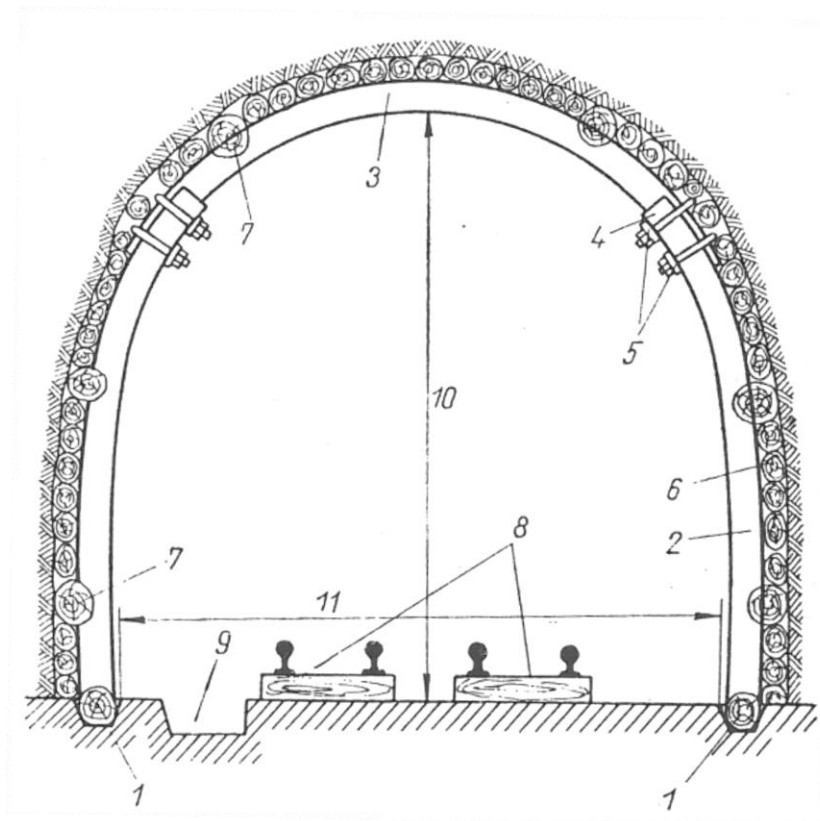
1.3. ábra TH acélgyűrűs biztosítószerkezet bélő elemei



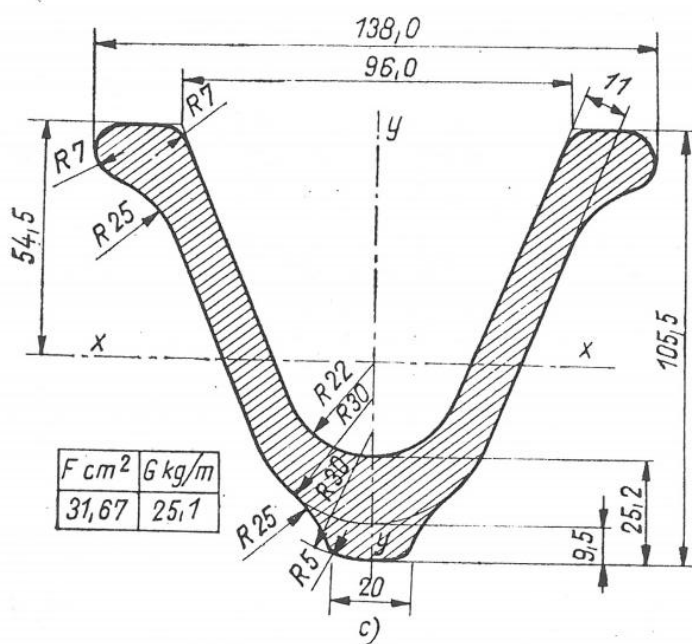
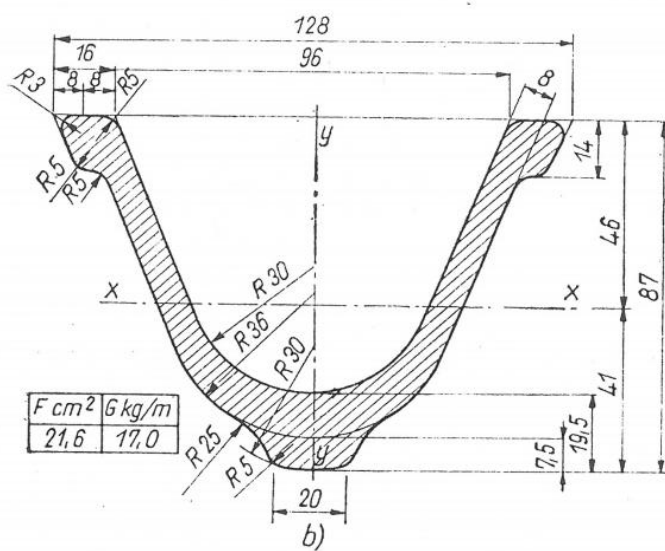
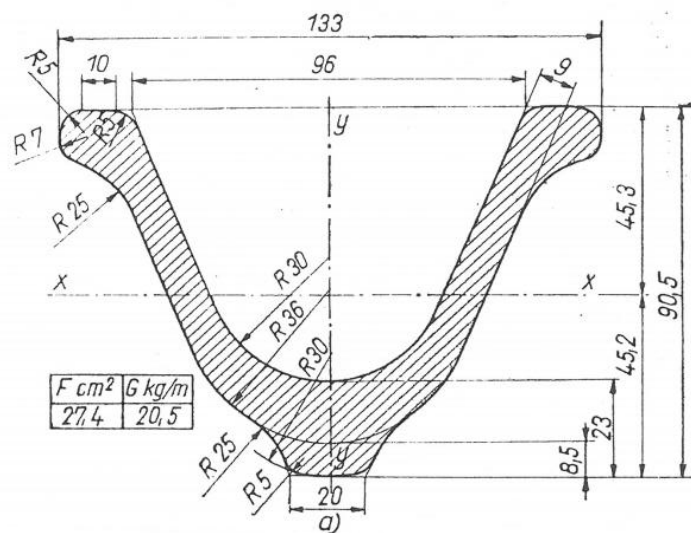
1.4. ábra 3 db acélívből épített szerkezet



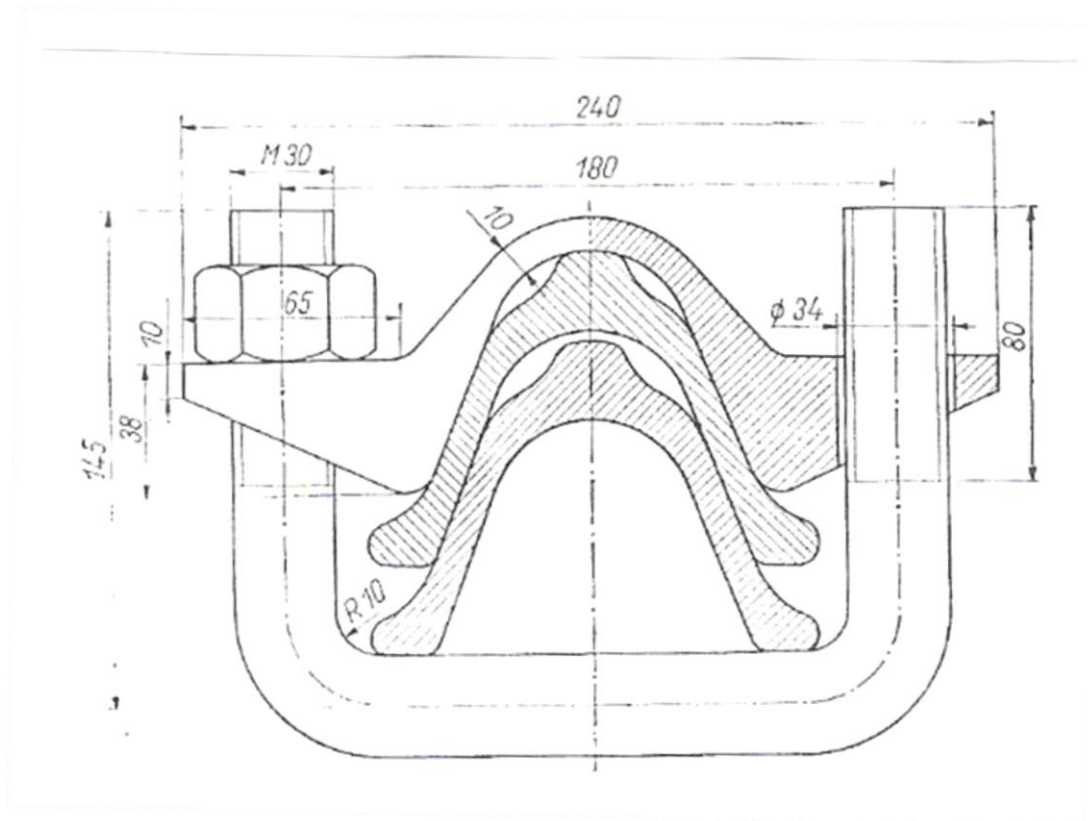
1.5. ábra Nyitott TH acélíves biztosítás 5 db elemből



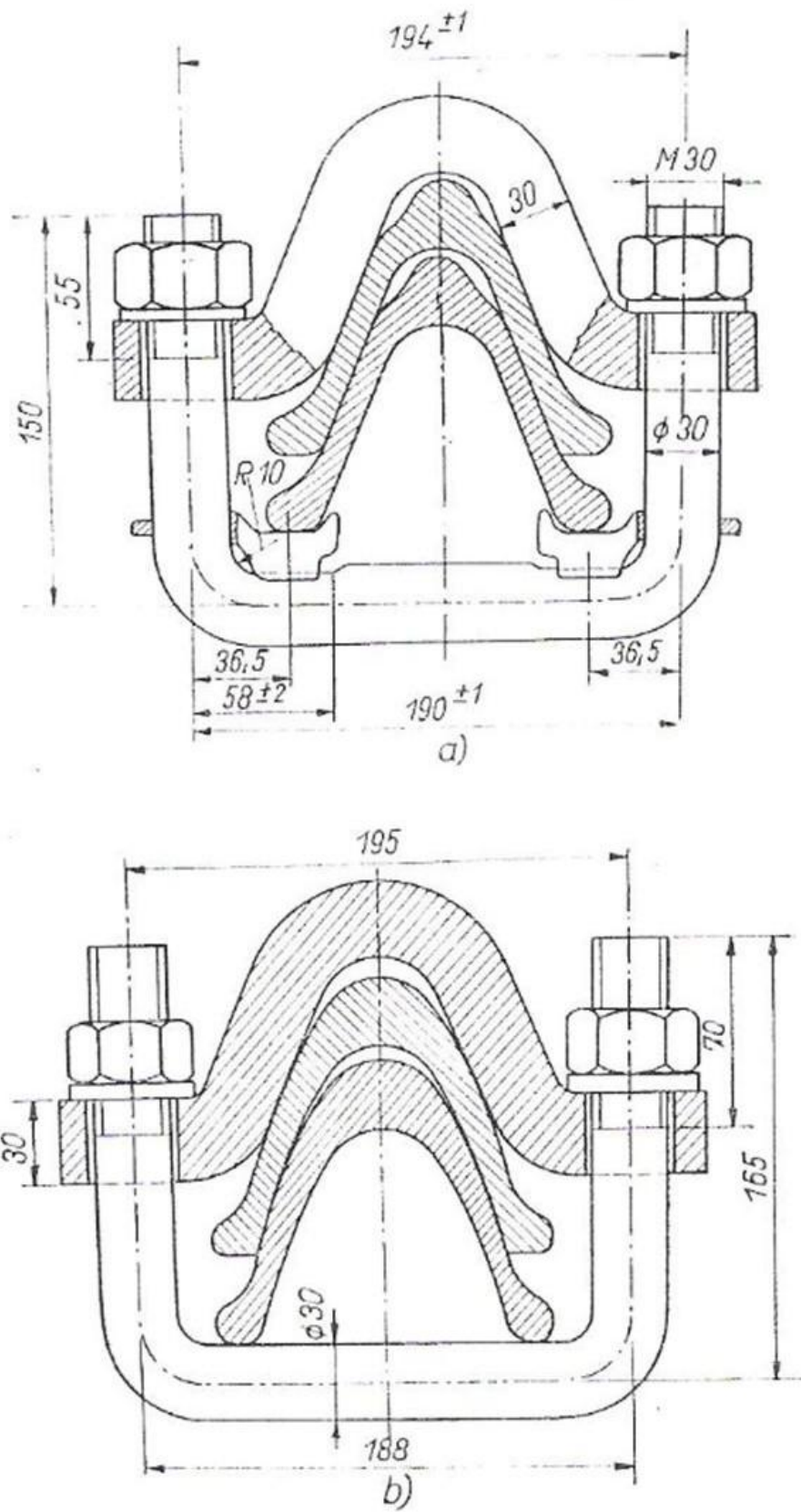
1.6. ábra Nyitott TH acélíves biztosítás 3 db elemből



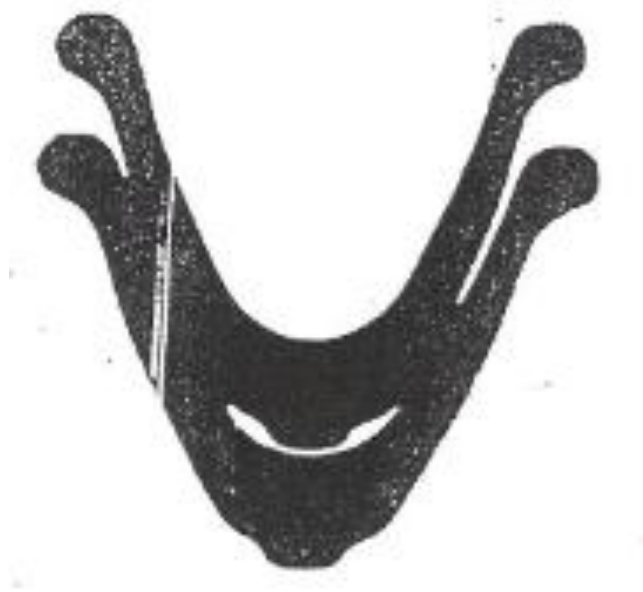
1.7 ábra Régi magyar harangprofilok



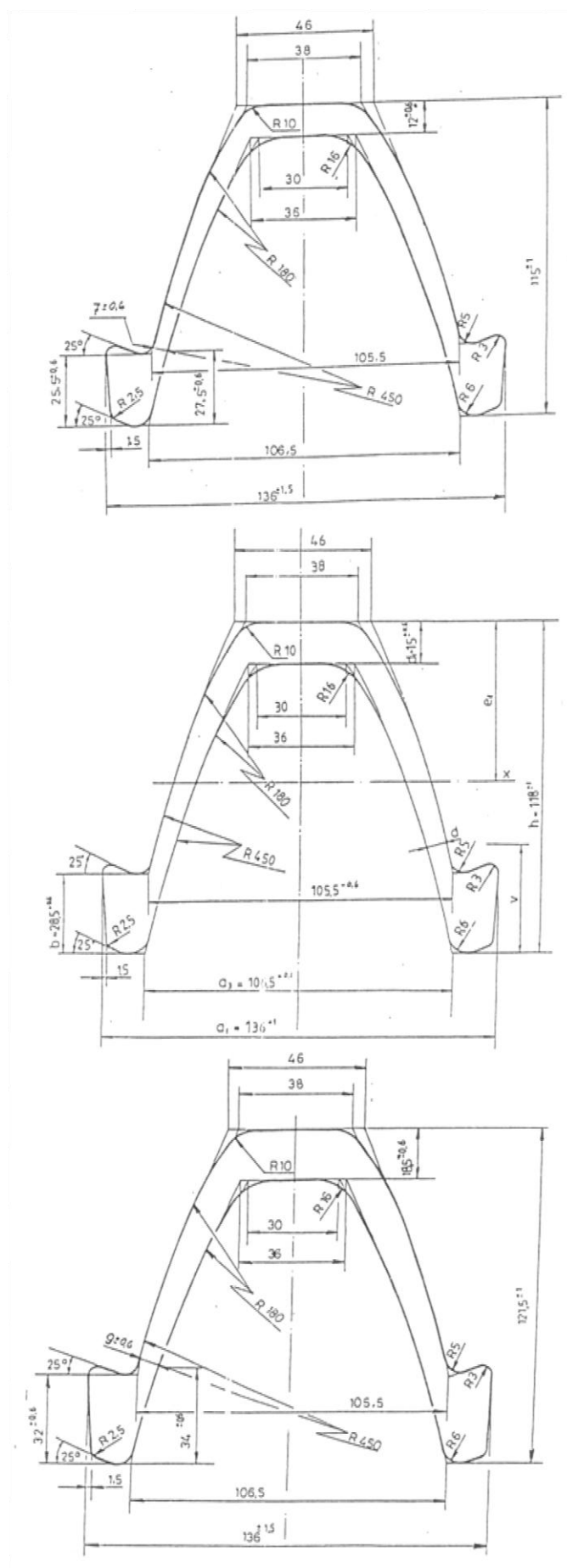
1.8. ábra Hagyományos U-csavaros kötőszerkezet



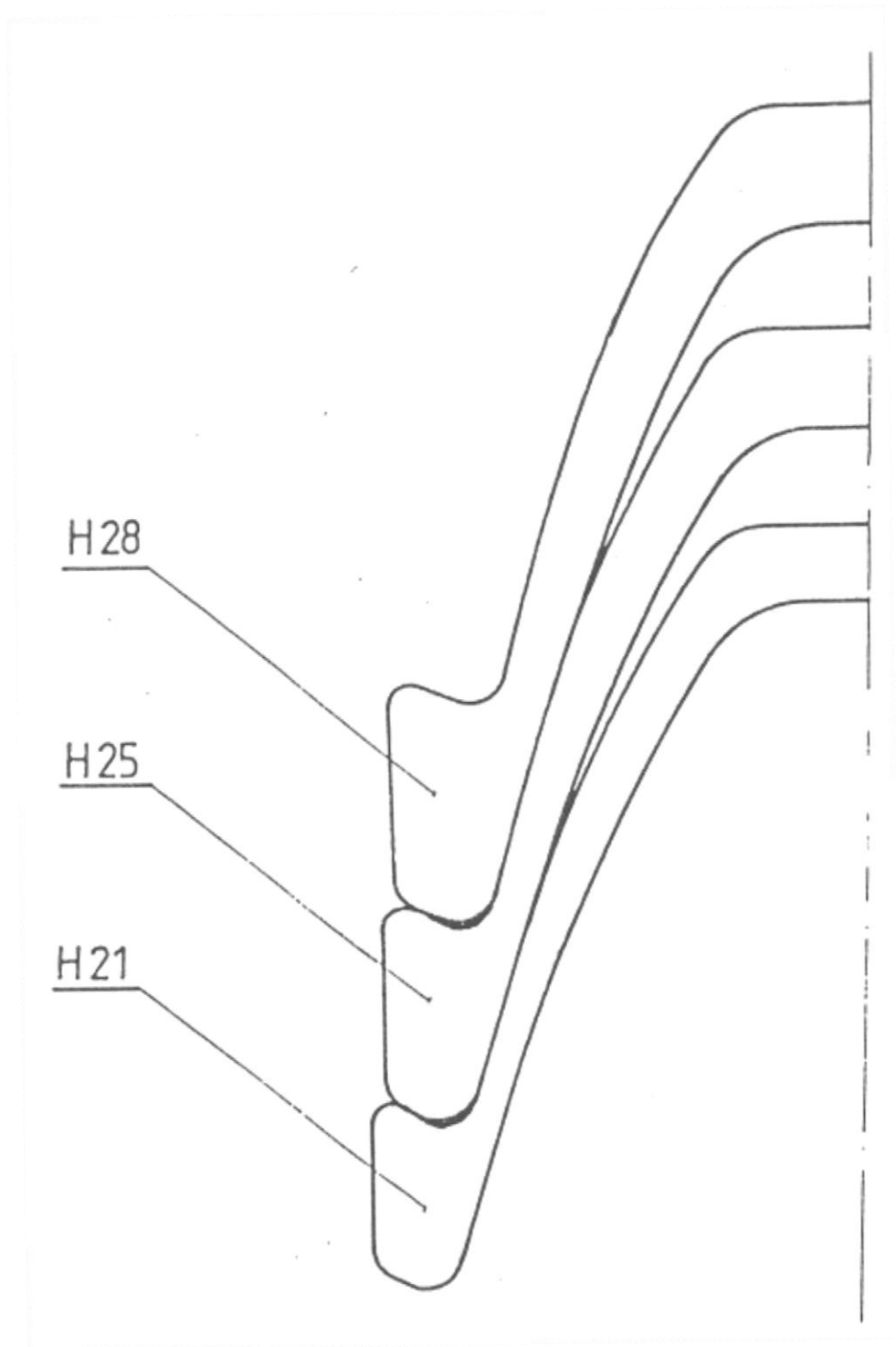
1.9. ábra Kötőszervezetek 25 kg/m-es harangprofilokhoz



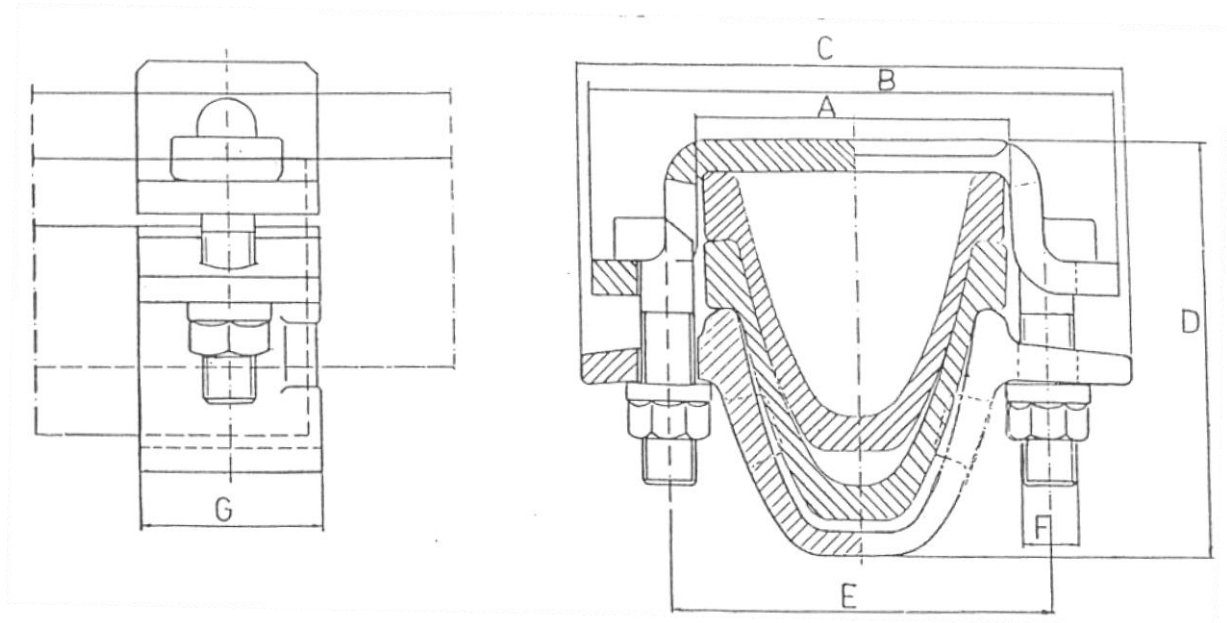
1.10. ábra TH acélívek érintkezése



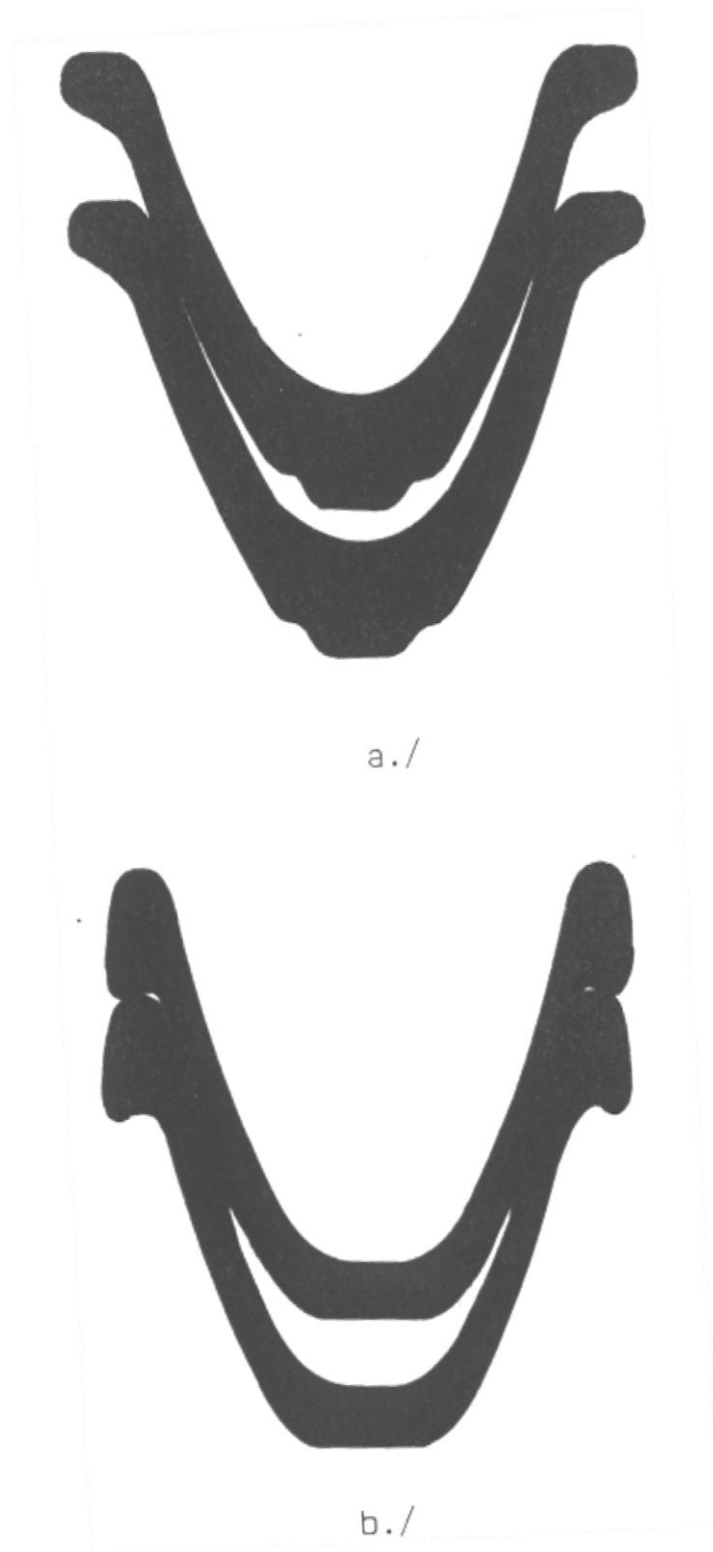
1.11. ábra H21, H25, H28 szelvényű új profilok



1.12. ábra Új teknőprofilok kapcsolódása



1.13. Az új profilok kapcsolószerkezete



1.15. ábra Régi (a) és új (b) profilok kapcsolódása

2. TH-PROFILOK JELLEMZŐI

2.1. A profilok keresztmetszeti jellemzői

A világban nagyon sokfajta profilú TH gerendákat gyártanak, eltérő keresztmetszetekkel, eltérő profil alakokkal, eltérő anyagi minőségekkel. Az alábbiakban azokkal a TH-profilokkal foglalkozunk, amelyeket a Bányászati és Geotechnikai Intézet közetmechanikai laboratóriumában többirányú terhelési kísérletnek volt alkalmunk kitenni és vizsgálni. Ezek a profilok az alábbiak:

21 kg/m	régi magyar profil
25 kg/m	régi magyar profil
H 25 kg/m	új magyar profil
K 24 kg/m	szlovák profil
33 kg/m	új magyar profil

A szóban forgó TH profilgerendák, ill. ívek geometriai jellemzőit

- a keresztmetszetet (F)
- a másodrendű nyomatékot (I)
- a keresztmetszeti tényezőt (K)

a 2.1 táblázatban rögzítjük:

2.1. táblázat

Geometriai jellemzők	TH-profil jele				
	„21”	„25”	„H 25”	„K24”	”33”
F [cm ²]	27,4	31,7	30,7	30,1	43,0
I _x [cm ⁴]	212	308	443,7	372,4	669,1
I _y [cm ⁴]	365	387	529,9	404,5	903,8
K _x [cm ³]	47,2	54,1	70,6	69,2	96,1
K _y [cm ³]	56,3	60,0	77,7	65,5	116,6

Beépítéskor az x-irány a mértékadó. A profilokra jellemző, hogy a „21; 25; H 25; 33” jelű profiloknál $I_y > I_x$ ill. $K_y > K_x$, míg a „K 24” jelű profilnál $I_x > I_y$ ill. $K_x > K_y$. Az utóbbi profil előnyösebb.

A profilok alakját jellemzi K_x/F hányados (fajlagos nyomatéki teherbírás), amelynek értékeit a 2.2. táblázatban találjuk.

2.2. táblázat

TH-profil jele	K_x/F (cm)
„21”	1,72
„25”	1,71
„H 25”	2,30
„K 24”	2,30
„33”	2,23

A K_x/F hányadost tekintve eltérnek egymástól a régi („21; 25”) és újabb („H 25; K 24; 33”) profilok. Az újabb profiloknál a K_x/F hányados nagyobb. Ez azt jelenti, hogy az újabb profiloknak viszonylag nagyobb (mintegy 35%-al) a rugalmas nyomatéki teherbírása ugyanolyan anyagi minőség mellett.

A TH-biztosítóelemek általában hajlító nyomaték miatt mennek tönkre, miután képlékeny állapotba kerül a keresztmetszet. A tönkremenetel szempontjából tehát nem a rugalmas, hanem az annál valamivel nagyobb képlékeny teherbírás érdekes.

Tiszta hajlító igénybevételnél a tartók rugalmas nyomatéki teherbírása

$$M_r = K_x \sigma_f$$

képlékeny nyomatéki teherbírása

$$M_k = K_{xk} \sigma_f$$

ahol: K_x – keresztmetszeti tényező,

K_{xk} – képlékeny keresztmetszeti tényező,

σ_f – folyáshatár.

A rugalmas és képlékeny teherbírás feszültségállapota az alábbiakban különbözik egymástól. Míg rugalmas állapotban csak a szélső szálakban éri el a feszültség a folyáshatárt, addig képlékeny esetben az egész keresztmetszetben eléri a feszültségek a folyáshatárt. A rugalmas állapothoz képest a semleges

szál vonala is eltolódik, a statikai nyomaték zérushelyéről, a keresztmetszet középvonalába.

További eltérés a rugalmas állapothoz képest, hogy a képlékeny nyomatéki teherbírás különbözik aszerint, hogy a TH-profil gerince húzott, vagy nyomott-e. Ennek megfelelően ugyanannak a keresztmetszetnek kétféle képlékeny keresztmetszeti tényezője létezik.

A képlékeny keresztmetszeti tényezőt legmegbízhatóbban mérések alapján határozhatjuk meg, mikoris a keresztmetszet egészének képlékeny állapota mellett megmérjük M_k és σ_f értékeit és ezekből számítjuk K_{xk} -t. Ilyen méréseket a Bányászati és Geotechnikai Tanszék kőzetmechanikai laboratóriumában végeztünk. Ezek alapján a vizsgált TH-profilok képlékeny keresztmetszeti tényezőit a 2.3. táblázatban rögzítjük.

2.3. táblázat

TH-profil jele	$K_{xk} \text{ (cm}^3\text{)}$	Igénybevétel
„21”	74,3; 84,1	húzott gerinc; nyomott gerinc
„25”	87,8; 103,4	húzott gerinc; nyomott gerinc
„H 25”	179,3; 219,4	húzott gerinc; nyomott gerinc
„K 24”	96,2; 130,1	húzott gerinc; nyomott gerinc
„33”	167,6; 216,7	húzott gerinc; nyomott gerinc

Nyomott gerincnél nagyobb a képlékeny keresztmetszeti tényező, ill. a képlékeny nyomatéki teherbírás.

A keresztmetszetekre jellemző a képlékeny és rugalmas keresztmetszeti tényezők hányadosa is, amelyeket a 2.4. táblázat mutat.

2.4. táblázat

TH-profil jele	$\frac{K_{xk1}}{K_x}$	$\frac{K_{xk2}}{K_x}$
„21”	1,57	1,78
„25”	1,62	1,91
„H 25”	2,54	3,11
„K 24”	1,39	1,88
„33”	1,74	2,25

A táblázat adatai azt mutatják, hogy viszonylag legkisebb a keresztmetszet nyomatéktűrő képessége a régi szelvényeknél („21; 25”). Kiugróan a legkedvezőbb a nyomatéktűrő képessége a „H 25”-jelű profilnak, utána a „33” majd a „K 24”-jelű profil következik. Az újabb profilok között tehát a „K 24” jelű az utolsó helyen szerepel.

2.2. Az anyagminőség

A régebbi magyar előírások legalább 350 MPa folyáshatárú acélminőséget határoztak meg. A Bányászai és Geotechnikai Tanszék közetmechanikai laboratóriumában a tesztelésre rendelkezésünkre bocsátott elemeken a 2.5. táblázatban foglalt folyáshatárokat mértük.

2.5. táblázat

TH-profil jele	Folyáshatár σ_f [MPa]	Szakító szil. σ_t [MPa]
„21”	381,0	597,4
„25”	398,4	577,2
„H 25”	326,4	499,8
„K 24”	478,2	682,4
„33”	428,0	754,2

Az anyagi minőség szempontjából messze a legjobb volt a „K 24”-jelű csehszlovák szelvény, a magyar termékek mind rosszabb folyáshatárral rendelkeztek.

2.3. Nyomatéki teherbírás

A bányászatban alkalmazott gerendák (szálanyagok) hajlító teherbírásának megállapítását az MSz-14-01029-83 Bányahatósági Ágazati Szabvány szabályozza. A nyomatéki teherbírás megállapításánál a $L=1,0$ m támaszközü kéttámaszú vízszintes tartógerendákat középen függőlegesen ható koncentrált erővel terhelik (P) addig, amíg a tartó lehajlása az erő hatásvonalában eléri a 35 mm-t.

Az erő hatásvonalának keresztmetszetében kialakuló

$$M = \frac{PL}{4}$$

nyomaték a tartó nyomatéki teherbírása.

A hajlító kísérletek azt mutatják, hogy 35 mm-es lehajlás előidézése esetén jelentős maradó lehajlás jelentkezik a tartókon. Az így megmért nyomatéki teherbírás tehát nagyrészt képlékeny állapothoz tartozik.

A Bányászati és Geotechnikai Tanszék kőzetmechanikai laboratóriumában a 6. táblázatban rögzített nyomatéki teherbírásokat mértük.

3. táblázat

TH-profil jele	M kNm	Igénybevétel
„21”	29,0; 32,9	húzott gerinc; nyomott gerinc
„25”	35,0; 41,2	húzott gerinc; nyomott gerinc
„H 25”	58,6; 71,7	húzott gerinc; nyomott gerinc
„K 24”	46,0; 62,2	húzott gerinc; nyomott gerinc
„33”	71,7; 92,7	húzott gerinc; nyomott gerinc

A nyomatéki teherbírások különbözőségei egyrészt a képlékeny keresztmetszeti tényező eltéréséből, másrészt az anyagminőség különbözőségéből adódnak.

2.4. A kötőszervezetek, mint szerkezeti elemek jellemzői

A kötőszervezetek anyagi minősége

A TH-acélíves biztosításnál az íveket rögzítő kötőszervezeteknek is meghatározó szerepük van. A kötőszervezeteknek három típusát különböztetjük meg. Ezek:

- kenygyeles-pipacsavaros
- kengyeles-U-csavaros
- orrkengyeles-U-csavaros
- kettős kengyeles-átmenő csavaros

A kötőszervezetek egyik fontos eleme a csavarok és kengyelek anyagi minősége. Méréseink a 7. táblázatban foglalt folyáshatár értékeket adták. A mérési eredmények igen változatosak.

4. táblázat

TH-profil jele	σ_f [MPa]			
	P-csavar	U-csavar	Átmenő-csavar	Kengyel
„21”	404,8	-	-	291,6
„25”	-	332	-	412,0
„H 25”	-	-	877,8	-
„K 24”	-	415,5	-	-
„33”	-	-	672,8	331; 408,8

2.5. Összeecsúszási ellenállás

A kötőszerkezettel összeszorított TH acélelemek összeecsúszási ellenállása nem más, mint súrlódó erő. Ezért a kötőszerkezet csavarjai és a geometria által kialakított normálerő és a felületi érdesség határozza meg értékét.

Az összeecsúszási ellenállás csak részben a kötőszerkezet és a csavarok meghúzásának függvénye, másrészt az összeecsúszó felületek érintkezési feltételeitől is függ.

Egyenes gerendák összeecsúszási kísérleteinek eredményeit foglaljuk össze a 8. táblázatban. A feltüntetett erő értékek 100 mm-es összeecsúszáshoz tartoznak.

5. táblázat

TH-rofil jele	Összecsúszási ellenállás T kN							
	4 pipacsavaros kötőszerkezet		2 U-csavaros kötőszerkezet			Átmenő-csavaros kötőszerkezet		
	300 Nm	450 Nm	300 Nm	450 Nm	600 Nm	300 Nm	450 Nm	600 Nm
„21”	105,6	119,2	-	-	-	-	-	-
„25”	-	-	98,4	176,0	357,0	-	-	-
„H 25”	-	-	196,0	192,7	231,7	-	-	-
„K 24”	-	-	568,7	683,5	690,0	-	-	-
„33”	-	-	-	-	-	131,4	200,8	357,7

Az összecsúszási ellenállás szempontjából az alábbi a sorrend:

$$T_{K24} > T_{33} > T_{H25} > T_{25} > T_{21}$$

Az összecsúszási ellenállás kialakulásában jelentős a szerepe a profilok érintkezési feltételeinek.

A korábbi harangszerű profilokkal („21”; „25”) szemben az újabb vályúszerű profilok nemcsak a nyomatéki teherbírás szempontjából jelentenek eltérést, de az egymáson való elcsúszásban is.

Ha megfigyeljük az oldalpontban és főtepontban minden esetben abszolút értékben egyforma nyomatékok jelentkeznek, a tangenciális erők viszont eltérőek. Általában igaz, hogy a TH acélgyűrűs biztosítás fekvő ellipszissé deformálódik. Ebből következik, hogy általában $0 < k < l$ intervallummal kell számolnunk. Ha ez a helyzet, akkor a maximális tangenciális erő (T) az oldalpontban jelentkezik, azaz

$$T_{\max} = T_O$$

A tangenciális erő nagyságának a kötőszerkezet összecsúszási ellenállása határt szab, ezt az erőt T_h -val jelöljük. Ha a kötőszerkezet az oldalpontban lenne, akkor

$$T_{\max} = T_O = T_h$$

egyenlőséget írhatnánk fel. Mivel azonban a kötőszerkezet nem az oldalpontban van, hanem általában a 2. ábrán látható elrendezésben, tehát az

oldalpont fölött, általában $\varphi=45^\circ$ helyen, ezért a kötőszervezet ebben a keresztmetszetben jelentkező tangenciális erőnek (T_φ) szab határt. Tekintettel arra, hogy $0<\varphi<90^\circ$ esetében

$$T_\varphi < T_0$$

ezért a gyűrűben az oldalpontban jelentkező maximális gyűrűerő (T_0) nagyobb annál, mint amit a kötőszervezet összeecsúszási ellenállása megenged, azaz

$$T_0 = T_{\max} > T_h$$

A tangenciális erő bármely φ helyen

$$T = \frac{1}{2}(T_F + T_0) - \frac{1}{2}(T_0 - T_F)$$

alakban kapható, amely behelyettesítés után

$$T = \frac{T_0}{2} [1 + k - (1 - k) \cos 2\varphi]$$

Innen a maximális tangenciális erő

$$T_{\max} = T_0 = \frac{2T}{1 + k - (1 - k) \cos 2\varphi}$$

$\varphi = 45^\circ$ – nál $T = T_h$ helyettesítéssel

$$T_{\max} = T_0 = \frac{2T_h}{1 + k}$$

Teljesen aszimmetrikus terhelésnél midőn $k \rightarrow 0$, $T_{\max} = T_0 \rightarrow 2T_h$

A TH acélíves biztosítás teherbírása tehát a korábban felsoroltakon kívül a kötőszervezetek elhelyezkedésének és a terhelés asszimmetricitásának is függvénye. Minél inkább szimmetrikus a terhelés annál kisebb a kötőszervezet elhelyezkedésének (φ -nek) a befolyása.

A továbbiakban a TH acélívek teherbírásával kell foglalkoznunk ahhoz, hogy a biztosítószervezet teherbírását meghatározhassuk. A beépített acélívek tangenciális nyomásra és hajlításra vannak igénybe véve. A hajlító nyomatékok

a főtepontban és oldalpontban abszolút értékben mindenfajta terhelésnél (k) egyenlőek egymással, így a köztes keresztmetszetekben ($0 \leq \varphi = 90^\circ$) a nyomatékok abszolút értéke mindig kisebb a főte- ill. oldalpont értékeinél, azaz

$$|M| < |M_F| = |M_O|$$

nyomatékok szempontjából a veszélyes keresztmetszet tehát egyformán a főtepont és oldalpont lehet. A tangenciális erők szempontjából viszont az oldalpont a veszélyes keresztmetszet, ezért az összetett igénybevétel veszélyes keresztmetszete végső soron egyértelműen az oldalpont.

Az oldalpontban

$$\sigma_{Or} = \frac{T_O}{F} + \frac{M_O}{K_X}$$

rugalmas nyomófeszültséggel kell a belső széleső szálban számolni, ahol F a profil keresztmetszete, K_X a profil keresztmetszeti tényezője.

Az előbbi eredmények felhasználásával

$$\sigma_{Or} = \left(\frac{1}{F} + \frac{R(1-k)}{4K_X} \right)$$

További behelyettesítéssel a TH acélív belső szélső szálában ébredő rugalmas nyomófeszültség ($\varphi = 45^\circ$)

$$\sigma_{Or} = \frac{2T_h}{1+k} \left(\frac{1}{F} + \frac{R(1-k)}{4K_X} \right)$$

Teljesen szimmetrikus terhelésnél $k=1$

$$\sigma_{Or} = \frac{T_h}{F}$$

Teljesen aszimmetrikus terhelésnél, $k=0$

$$\sigma_{Or} = 2T_h \left(\frac{1}{F} + \frac{R}{4K_X} \right)$$

Az acélív azonban nemcsak rugalmas feszültségeket képes tönkremenetel nélkül elviselni, hanem képlékeny feszültségeket is.

TH acélívek nyomatéki teherbírása

A bányászatban alkalmazott gerendák (szálanyagok) hajlító teherbírásának megállapítását az MSZ-14-01029-83 Bányahatósági Ágazati Szabvány szabályozza. A hajlító vizsgálatok elrendezése a 3. ábrán látható. A laboratóriumi vizsgálat lényege az, hogy a gerendákat $L=1000$ mm támaszközü kéttámaszú vízszintes tartóként középen függőlegesen ható koncentrált erővel terhelik. A támaszoknál és az erőközlésnél 25 mm görbületi sugarú erőközlő elemeket kell alkalmazni. A terhelő erőt (P) addig kell növelni, amíg a tartó lehajlása az erő hatásvonalában eléri a 35 mm-t. A tartó lehajlását előidéző nyomaték maximális értéke:

$$M = \frac{P L}{4}$$

A tartó leterhelésével megállapítandó a maradó lehajlás értéke is. A kísérletek azt mutatják, hogy a 35 mm lehajlás előidézése esetén jelentős maradó lehajlás jelentkezik a tartókon, amely arra utal, hogy a keresztmetszet hajlítási tengelytől távolabb eső szélén képlékeny állapot áll elő, de a tartó még közel azonos szintű teherviselőképeséssel rendelkezik, nem törik el. Ezért tekinthető ehhez az állapothoz tartozó nyomaték a tartó hajlító-teherbírásának.

Korábbi szabványos hajlító teherbírási tanszéki méréseink szerint a kísérletekhez rendelkezésre bocsátott TH profiloknál:

profil jele	P kN	M kNm	F cm ²
21 kg/m	142	33	27,4
25 kg/m	165	41	31,7
új 25 kg/m	287	72	30,7
33 kg/m	371	93	43,0

ahol F a profil keresztmetszete. A profil folyómétertömege $m = F\rho$ -ból adódik, ahol $\rho = 7,8 \text{ t/m}^3$ az acél sűrűsége.

A feltüntetett profilok geometriai jellemzői az alábbiak:

21 kg/m (21,5)

$$F=27,4 \text{ cm}^2$$

$$I_x=212 \text{ cm}^4$$

$$I_y=365 \text{ cm}^4$$

$$K_x=47,2 \text{ cm}^3$$

$$K_y=56,3 \text{ cm}^3$$

25 kg/m (24,9)

$$F=31,7 \text{ cm}^2$$

$$I_x=308 \text{ cm}^4$$

$$I_y=387 \text{ cm}^4$$

$$K_x=54,1 \text{ cm}^3$$

$$K_y=60,0 \text{ cm}^3$$

Új 25 kg/m (24,1)

$$F=30,7 \text{ cm}^2$$

$$I_x=443,3 \text{ cm}^4$$

$$I_y=529,9 \text{ cm}^4$$

$$K_x=70,6 \text{ cm}^3$$

$$K_y=77,7 \text{ cm}^3$$

33 kg/m (33,8)

$$F=43,0 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 669,1 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 903,8 \text{ cm}^4$$

$$K_x = 96,1 \text{ cm}^3$$

$$K_y = 116,6 \text{ cm}^3$$

Ahol I_x , I_y a hajlítás tengelyére vonatkozó másodrendű nyomatékot, a K_x , K_y a keresztmetszeti tényezőt jelöli.

Ha a mért nyomatéki teherbírások mellé odatesszük a megfelelő keresztmetszeti tényezőket és képezzük hányadosaikat, akkor szembetűnően eltérő eredményekre jutunk:

Profil jele	M kNm	K_x cm^3	$10^6 M/K_x$ kN/m^2
21 kg/m	33	47,2	0,70
25 kg/m	41	54,1	0,76
új 25 kg/m	72	70,6	1,02
33 kg/m	93	96,1	0,97

A fenti eltéréseket az anyagminőségben tapasztalható eltérések nem magyarázzák. Az eltérő és egyben a tartó anyagának folyáshatárához ($\sim 0,3 \cdot 10^6 \text{ kN/m}^2$) képest nagy értékeket az magyarázza, hogy nem rugalmas nyomaték teherbírásáról van szó, amelyet a K_x keresztmetszeti tényező befolyásol, hanem képlékeny nyomatéki teherbírás a mért érték. A tartó deformálódása, lehajlása addig tekinthető rugalmasnak, ameddig a támaszköz közepén a maximális nyomaték helyén a tartó szélső szálaiban kialakuló normálfeszültség el nem éri a folyáshatár értékét. Ehhez az állapothoz a tartó rugalmas nyomatéki teherbírása (M_r) tartozik. Nagyobb terhelésnél kívülről befelé egyre nagyobb keresztmetszeti tartomány kerül képlékeny állapotba, míg végül az egész keresztmetszet képlékeny állapotú lesz. Ehhez az állapothoz tartozik a képlékeny nyomatéki teherbírás.

Az általában rögzített másodrendű nyomatékok (I_x) és keresztmetszeti tényezők (K_x), a hajlítás szempontjából viszont csak tisztán rugalmas állapotban jellemzőek, ezért a képlékeny nyomatéki teherbírásnál nem meghatározóak.

A folyáshatár ($\sigma_f = R_{eH}$) ismeretében a tartók rugalmas nyomatéki teherbírása

$$M_r = K_x \sigma_f,$$

amely értékhez

$$f_r = \frac{M_r L^2}{12 I_x E}$$

lehajlás tartozik. Acéloknál $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ rugalmassági modulussal számolhatunk. Ezzel a rugalmas nyomatéki teherbírások és lehajlások az egyes profiloknál az alábbiak:

Profilok	R_{eH} N/mm^2	M_r kNm	f_r mm	$\frac{M}{M_r}$	$\frac{f}{f_r}$
21 kg/m	391	18,45	3,4	1,78	10,1
25 kg/m	398	21,55	2,8	1,91	18,3
új 25 kg/m	326	23,04	2,1	3,11	11,2
33 kg/m	428	41,13	2,4	2,26	15,5

A rugalmas nyomatéki teherbírások fél-harmad értékei a képlékeny nyomatéki teherbírásnak (M), a rugalmas lehajlás tizede-huszada az előidézett 35 mm-es lehajlásnak.

A maximális nyomaték helyén, a tartók közepén, amikor a tartók lehajlása meghaladja a 2-3 mm-t, már képlékeny alakváltozások kezdenek kialakulni a szélső szálaktól befelé haladóan. 35 mm-es lehajlás előidézésénél a maximális nyomaték helyén csaknem az egész keresztmetszet képlékeny állapotba kerül. A tartó nyomatéki teherbírása ilyenkor képlékeny teherbírás.

A tartók veszélyes keresztmetszetében hajlításra bekövetkező rugalmas-képlékeny állapot vizsgálata nem egyszerű feladat, mert a feszültségállapot

átrendeződése közben a semleges tengely is eltolódik a súlypontból, mégpedig úgy, hogy teljes keresztmetszetben képlékeny állapot esetén a tengely a keresztmetszetet felezi.

A nyomatéki képlékeny teherbírás

$$M_K = K_{xk} \sigma_f$$

alakban fejezhető ki, ahol K_{xk} képlékeny keresztmetszeti tényező. A képlékeny keresztmetszeti tényező általában nagyobb a rugalmas keresztmetszeti tényezőnél ($K_{xk} > K_x$). Általában különböző keresztmetszeteknél $K_{xk} \cong (1,5-2,3) K_x$. Pl. körkeresztmetszetenél $K_{xk} = 1,7 K_x$, háromszög keresztmetszetenél $K_{xk} = 2,34 K_x$, egyes keresztmetszeteknél ennél is nagyobb.

A képlékeny nyomatéki teherbírás tehát általában 1,5 – 2,3-szorosa, vagy még ennél is többszöröse a rugalmas teherbírásnak.

A mért M értékekkel $M = M_K$ elfogadásával az egyes keresztmetszetek képlékeny keresztmetszeti tényezői az alábbiak:

profil	K_x cm^3	$\frac{K_{xk}}{K_x}$
21 kg/m	84,14	1,78
25 kg/m	103,41	1,91
új 25 kg/m	219,61	3,11
33 kg/m	216,71	2,26

3. AZ ACÉLGYŰRŰS VÁGATBIZTOSÍTÁS TERHELÉSI VISZONYAI

Az acélgyűrűs biztosítás olyan passzív, engedékeny, a vágat tengelyirányában flexibilis biztosítás, amelynek teherbírása tág határok között változtatható és ezért számos esetben kielégítő megtámasztást nyújthat. Ez a biztosítási mód azért engedékeny, mert a gyűrűirányú erőnek (T) a bilincsszerkezet súrlódásos kapcsolata szab határt. Ugyanakkor az acélívekben fellépő nyomatékok szempontjából nem engedékeny az acélgyűrűs biztosítás, mert a nyomatékok elől nem tér ki, ezért gyakran tönkremegy, főleg fejtési vágatokban.

A körszelvényű, zárt acélíves biztosítás terhelésfelvételét, biztosítási ellenállását – a körben egyenletesen megoszló sugárirány terhelés feltételezésével – a

$$q = \frac{T}{Rl} \left[\frac{kN}{m^2} \right]; T [kN]; R, l [m]$$

képlettel számítják ki, ahol T a tangenciális erő, R a vágat sugara, l pedig a gyűrűk beépítési távolsága (3.1. ábra a, esete). Ebből a képletből úgy tűnik, hogy a radiális terhelésnövekedést (Δq) a sugárcsökkentéssel, a tangenciális erő növelésével és a beépítési távolság csökkentésével egyenrangúan lehet ellensúlyozni. A valóságban nem teljesen ez a helyzet, figyelembe véve a szerkezetet szükségszerűen terhelő nyomatékokat is.

Egyenletesen megoszló, egyirányú függőleges terhelésnél (q) a gyűrűirányú erő: $T_f = 0$ a főtepont keresztmetszetében, az oldalpont keresztmetszetében pedig $T_0 = qRl$. A nyomaték nagysága ugyanakkor $M_F = qR^2l/4 = -M_0$ (3.1. ábra b esete). Ez a nyomaték a főtepontban a gyűrű belső, az oldalpontban a gyűrű külső oldalán idéz elő húzófeszültséget.

Egyenletesen megoszló, függőleges irányban q , vízszintes irányban kq intenzitású megoszló terhelésnél (3.1. ábra c, esete) a főtepontban

$$T_F = kq Rl,$$

$$M_F = \frac{R^2l}{4} q(1 - k),$$

az oldalpontban pedig

$$T_0 = qRl,$$

$$M_0 = \frac{R^2 l}{4} q(1 - k) = -M_F$$

gyűrűirányú erő, illetve nyomaték ébred. A $0 \leq k \leq 1$ a terhelés egyenlőtlenségét kifejező tényező. Ha $k=1$, akkor visszkapjuk a sugár irányban egyenletesen megoszló terheléshez tartozó értékeket: $T_F = T_0 = qRl$ és $M_F = M_0 = 0$, illetve $k=0$ esetén az egyirányú terheléshez tartozó értékeket.

A gyűrűben egyenlőtlen terheléskor (ha $k \neq 1$), nyomatékok is ébrednek és a tangenciális erő nem állandó a kerület mentén. A nyomaték egyenesen arányos a sugár négyzetével, szemben a tangenciális erővel, amely egyenesen arányos a sugárral. Ebből következik, hogy a szelvénynövekedés miatti terhelhetőség csökkenést nagyobb gyűrűirányú erővel és nagyobb nyomatékok elviselő, nagyobb keresztmetszeti tényezőjű, nagyobb folyóméretű acélívekkel célszerű ellensúlyozni, nem pedig a beépítési távolság csökkentésével.

Jól látszik ez abból is, ha a nyomatékokat a tangenciális erővel fejezzük ki:

$$M_F = -M_0 = \frac{RT_0}{4} (1 - k).$$

A tangenciális erő növekedésével ugyanis a nyomaték egyenes arányban növekszik. Azaz, ha nagyobb a tangenciális erőszükséglet, akkor a nagyobb nyomatékok elviselésére is képessé kell tenni a biztosítószerkezetet, mégpedig annál nagyobb mértékben, minél nagyobb a vágatsugár és minél nagyobb a terhelés egyenlőtlensége. Ha nem ezt tesszük, hanem pl. kétszeres sugárnövekedés esetén a beépítési távolságot a felére csökkentjük, akkor bár a tangenciális erő nem változik, de a nyomaték a kétszeresére nő. Ha ezt az acélívek nem tudják elviselni, meggörbülnek, tönkremennek.

Az előbbi képlet csak kis alakváltozások esetén adja helyesen az igénybevételt. Az acélívek nagyobb összecsiszásokor jelentkező nagy görbületváltozás ennél jobban igénybe veszi a biztosítószerkezetet, még

körszimmetrikus, egyenletesen megoszló terhelés esetében is. Ha a görbületi sugár a szelvénytűkülés során R -ről ΔR -re csökken, akkor ezzel

$$\Delta M = -EI_x \left(\frac{1}{R - \Delta R} - \frac{1}{R} \right)$$

járulékos nyomaték keletkezik a gyűrűben. Ha szimmetrikus szelvénytűküléskor a sugárcsökkenést a

$$K = \frac{\Delta R}{R}$$

fajlagos konvergenciával fejezzük ki, a járulékos nyomaték

$$\Delta M = -EI_x \frac{1}{R} \cdot \frac{K}{1 - K} ,$$

amely a gyűrű külső szálában húzófeszültséget idéz elő.

Az MSZ-09 10146-78 jelű magyar szabvány három harangprofiltípust tartalmaz. Ezek fő adatait látjuk a 3.2. *ábra/b-d)* részletein, míg az *ábra a)* részlete a korábban alkalmazott vályúszelvényű profilt mutatja. Az ábrán F a keresztmetszetet, m a folyómétertömeget, I a másodrendű nyomatékot K a keresztmetszeti tényezőt jelöli.

Az anyagminőséget ellenőrző mérések szerint a hazai gyártású acélívek határfeszültsége nyomóigénybevételre mindössze $\sigma_h = 230$ MPa körüli érték. A keresztmetszetek figyelembevételével a három szabványos harangprofil teherbírása nyomóigénybevételre 445 kN, 630 kN és 750 kN. A folyóméter-tömeg: $m = \rho F$, ahol ρ az acél sűrűsége (7,85 t/m³). E szabványos harangprofilokra vonatkozóan a másodrendű nyomaték és a keresztmetszeti tényező változását a folyómétertömeg függvényében a 3.3. *ábra* mutatja.

A terhelhetőség értékeléséhez figyelembe kell venni azt is, hogy a gyűrűirányú erők által a gyűrűben előidézett feszültségek és a nyomaték által előidézett feszültségek nem egyformán veszik igénybe a keresztmetszetet. Míg a gyűrűirányú erők a teljes keresztmetszetben egyformán hatnak, a nyomatékok egyenlőtlenül veszik igénybe a keresztmetszetet, a szélső szálakban idézve elő a maximális igénybevételt. Az egész keresztmetszetre

vonatkozóan ezért a nyomatékok számbavételekor elegendő fél igénybevétel-értékkel számolni. Kis összecúszások esetén a gyűrűben megengedhető feszültség 1-es biztonsági tényezővel:

$$\sigma_{meg} = \sigma_h = \frac{qRl}{F} \left[\frac{RF(1-k)}{8K_x} \right], \frac{kN}{m^2}; q[kN/m^2]$$

továbbá a 3.3. ábrának megfelelően $F=1,27 \cdot 10^{-4} m, m^2; m[kg/m]$

$$K_x = 0,1 \cdot 10^{-6} m^2, m^3; m[kg/m]$$

(ahol m métert és folyómétertömeget is jelent)

helyettesítésekkel:

$$\sigma_{meg} = \sigma_h = \frac{10^3 qRl}{m} \left[7,87 + \frac{1250 R(1-k)}{m} \right], kN/m^2$$

A képlet első tagja a tangenciális erő miatt jelentkező feszültséget, a második tag a nyomaték miatt ébredő feszültséget adja. Ebből az

$$R = \sqrt{\frac{F_v}{\pi}}$$

helyettesítéssel a szükséges folyómétertömeg:

$$m = 2,2 \left[1 + \sqrt{1 + 80,7(1-k) \frac{\sigma_h}{10^3 ql}} \right] \frac{10^3 ql}{\sigma_h} \sqrt{F_v}, kg/m,$$

ahol F_v a vágatkeresztmetszet, m^2 .

$$X = \frac{10^3 ql}{\sigma_h} m$$

helyettesítéssel:

$$m = 2,2 \left[1 + \sqrt{1 + 80,7(1-k) \frac{1}{X}} \right] X \sqrt{F_v}, kg/m$$

A szükséges folyómétertömeg értékei a 3.4. ábrán láthatók. A képletek, illetve a diagram azt mutatja, hogy a beépítési távolság (l) a terheléssel (q) és a határfeszültséggel (σ_h) egyenértékűen befolyásolja a szükséges folyómétertömeget. Vagyis ugyanazon vágatszelvénynél és acélív folyómétertömegnél az adott arányú terhelésnövekedés egyező arányú beépítési távolságcsökkentéssel ellensúlyozható. A határfeszültség (az acélminőség) növekedésének a hatása ugyanolyan, mint a beépítési távolság csökkentéséé.

A képletekből, illetve a diagramból az is leszűrhető, hogy a vágatszelvény növekedésével a szükséges folyómétertömeg degresszíven növekszik, miközben a beépítési távolsággal csak közel lineárisan. Ez azt jelenti, hogy a vágatszelvény növekedésekor a folyómétertömeg növelése célszerűbb és gazdaságosabb a beépítési távolság csökkentésénél. A 3.4. ábrából végül az is leolvasható, hogy a terhelés egyenlőtlenségének a növekedése igen érzékenyen növeli a szükséges folyómétertömeget.

A beépített biztosítás egyik műszaki-gazdasági jellemzője az egységnyi vágattérfogatra jutó acélmenyiség, azaz a fajlagos acélfelhasználás.

Ez kör-szelvénynél

$$m_a = \frac{2\sqrt{\pi \cdot m}}{l\sqrt{F_v}} = \frac{3,54 m}{l\sqrt{F_v}}, kg/m^3$$

A szükséges folyómétertömeg behelyettesítésével a fajlagos acélfelhasználás

$$m_a = 7,9 \left[1 + \sqrt{1 + 80,7(1 - k) \frac{\sigma_h}{10^3 q l}} \right] \frac{10^3 q}{\sigma_h}, kg/m^3$$

A fajlagos acélfelhasználás tehát független a vágat szelvényétől és a beépítési távolság csökkentésével növekszik. Azaz bármely vágatszelvénynél arra célszerű törekedni, hogy minél nagyobb beépítési távolság mellett, a megfelelően nagyobb folyómétertömegű acélívekkel elégítsük ki a biztosítási igényeket, mert ezzel az acélfelhasználás csökken.

Az acélfelhasználás és a beépítési távolság kapcsolatát körgyűrűs biztosítás esetében a 3.5. ábra szemlélteti. Az ábráról leolvasható a terhelés egyenlőtlenségének igen erős befolyása, azaz a bélelésnek és hátúrköltésnek rendkívül lényeges szerepe a terheléelosztásban.

Ha a fajlagos acélfelhasználást a beépítési távolság helyett a vágatkeresztmetszet függvényében fejezzük ki, akkor az

$$m_a = 16 \frac{10^3 q}{\sigma_h} \left[1 + \frac{90(1-k)\sqrt{F_v}}{m} \right], kg/m^3$$

képlethez jutunk. Ez a képlet jól mutatja a folyómétertömeg növelésének a célszerűségét és azt is, hogy a szelvéynövekedés acélfelhasználást növelő hatása a folyómétertömeg $\sqrt{F_v}$ arányú növelésével egyenlíthető ki. Ugyanakkor a terhelésnövekedésből adódó fajlagos acélfelhasználás-növekedés az osztástávolság növelésével nem ellensúlyozható. Más oldalról viszont a terhelésnövekedésből származó fajlagos acélfelhasználás-növekedést nem a terhelésnövekedéssel arányos, hanem csak annál nagyobb folyómétertömeg-növekedéssel lehet ellensúlyozni.

A fajlagos acélfelhasználást jellemző mindegyik képlet azt mutatja, hogy az acélminőség (a határfeszültség) a terheléssel egyenrangúan befolyásolja a fajlagos acélfelhasználást, azaz a nagyobb terhelések ellensúlyozásának egyik módja a nagyobb határfeszültségű acélívek gyártása is. Más szóval a jobb minőségű acélívek alkalmazása alacsonyabb szinten tartja a fajlagos acélfelhasználást.

A Német Szövetségi Köztársaságban gyakorlati tapasztalati adatok alapján számítják az acélíves biztosítások fő paramétereit. A várható fajlagos konvergenciához megállapítják az 1 m³ vágattérfogathoz szükséges acéltömeget kg/m³-ben a különböző kőzetosztályokra vonatkozóan (a kőzeteket 6 osztályba sorolják). Az egyes kőzetosztályokhoz tartozó egytengelyű nyomószilárdságokat az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

Kőzetosztály	σ_c MPa	Kőzet
1	80-110	homokkő
2	50-80	homokpala
3	30-50	palás agyag
4	20-30	gyökértalaj
5	10-15	szén
6	0-5	szén, gyökértalaj, agyag 20 cm-nél kisebb vastagságú rétegekben

Az egyes kőzetosztályokra a fajlagos konvergencia (K) függvényében az egységnyi vágatkőbtartalomhoz fajlagosan szükséges acéltömeget (m_a , kg/m^3) nyitott kapuív biztosítás esetén a 2. táblázat tünteti fel.

2. táblázat

Kőzetosztály	K				
	0	0,2	0,4	0,6	0,8
1	22	28	35	45	-
2	22	27	32	37	45
3	22	26	30	35	40
4	22	26	29	34	39
5	22	25	29	33	38
6	22	25	28	29	37

A fajlagos acélfelhasználás alapján az alkalmazandó acélívek folyómétertömege:

$$m = \frac{l m_a F_v}{6 + 0,36 F_v} = \frac{l m_a}{\frac{6}{F_v} + 0,36}, kg/m.$$

A folyómétertömeg változását a vágatkeresztmetszet függvényében a 3.6. ábra mutatja be. A mezőbe haladó fejtéseket kísérő nyitott íves fejtési vágatokban $m_a=25-45 kg/m^3$, $F_v=10-22 m^2$, $l=0,5-1,0 m$, $m=25-50 kg/m$ között

változik. A vágatot akkor tekintik jól fenntarthatónak, ha $K < 25\%$ és az ívek nem vagy csak csekély mértékben deformálódnak. A vágat nehezen fenntartható, ha $K > 50\%$, és az ívek erősen deformálódnak.

Az NSZK-beli tapasztalatokra épülő összefüggések számszerűségükben természetesen csak tájékoztató jellegűek lehetnek a hazai viszonyok között, mert az adott folyómétertömegű nyugatnémet acélívek eltérő profillal, eltérő inerciával, jobb minőségű acélanyagokból, más bilincsszerkezetekkel készülnek és a beépítés gépesítettsége, a bélelés, a hátúrköltés sincs azonos színvonalon. Mindenesetre figyelemre méltó, hogy az elméleti úton kapott 3.4. ábrán és a tapasztalati adatok alapján szerkesztett 3.6. ábrán a szükséges folyómétertömeg a vágatkeresztmetszet függvényében azonos irányzatot mutat, ami alátámasztja a számításból származó bemutatott összefüggéseket.

Az NSZK bányászatában a mezőbe haladó fejtések kísérő vágatai általában olyan nyitott acél kapuíves biztosításúak, amelyekben a magasság-szélesség aránya 0,7 körüli érték. Hasonló a helyzet Franciaországban is. Ezekben a vágatokban általában 26-36 kg/m-es acélíveket alkalmaznak, az osztástávolság átlagos értéke 0,8-1,0 m. A nyitott kapuíves biztosításnál a biztosított vágatfelület 0,72-szerese a körszelvényű, zárt gyűrűbiztosítás vágatfelületének. Ugyanolyan gyűrűosztás és egyazon folyómétertömeg esetében tehát a zárt körgyűrű-biztosítás 1,4-szer nagyobb fajlagos acélfelhasználást jelent. (A 3. 5. ábrán számítás alapján feltüntetett átlagosan 35-50 kg/m³ fajlagos acélfelhasználás összhangban van a közölt tapasztalati értékkel.)

Az elvégzett vizsgálatokból megállapítható, hogy

- kedvezőbb fajlagos acélfelhasználással lehet a vágatokat biztosítani, ha nagyobb osztástávolságot, de ugyanakkor megfelelően nagyobb folyómétertömegű acélíveket alkalmaznak, vagyis a fajlagos acélfelhasználás annál kedvezőbb, minél nagyobb folyómétertömegű acélívekkel biztosítanak;

- a fajlagos acélfelhasználás rendkívül érzékeny a terhelés egyenlőtlenségére, ezért a bélés és a hátúrköltés terheléselosztó hatásának lényeges szerepe van;
- a gyorsan szilárduló anyagból készített hátúrköltés gyorsabban teherviselővé teszi a biztosítást, amely így kisebb konvergenciát enged meg, s ennek eredményeként csökkenhet a fajlagos acélfelhasználás;
- a terhelésnövekedés miatti fajlagos acélfelhasználás-növekedés a leghatékonyabban az acélminőség javításával ellensúlyozható, a mélység felé tolódó hazai bányászat is tehát jobb minőségű acélíveket kíván;
- a szelvénynövekedésből származó biztosításigény-növekedés a nagyobb folyóméretű tömegű acélívek felhasználásával ellensúlyozható a fajlagos acélfelhasználás növekedése nélkül.

Figyeljük meg, hogy mind az elméleti számításoknál, mind a gyakorlati tapasztalatokat felhasználó (NSzK) összefüggéseknél a vágatkeresztmetszetet feltüntető ábrákon $F_v = 5 - 20 \text{ m}^2$ intervallum szerepel és a szükséges folyaméter tömeg (m) értékei a keresztmetszettel meredeken növekednek. Ebből következik, hogy a 20 m^2 -t jelentősen meghaladó keresztmetszetű térségeket a hagyományos TH acélívekkel nem lehet biztosítani. Ekkor kerül előtérbe a közethorganyos biztosítás.

Természetesen a TH acélíves biztosítás nemcsak bányavágatokban, hanem alagútépítésnél, földalatti tárolók építésénél is alkalmazásra kerül ideiglenes, vagy végleges biztosításként.

4. TH ACÉLÍVES KÖRGYŰRŰ BIZTOSÍTÁS MÉRETEZÉSE

Az előbbiek alapján a képlékeny állapot figyelembe vételével a veszélyes keresztmetszetben összetett igénybevételnél a határegyensúly egyenlete:

$$\sigma_f = \frac{2T_h}{1+k} \left(\frac{1}{F} + \frac{R(1-k)}{4K_{xk}} \right), kN/m^2$$

Ez az egyenlet alkalmas annak meghatározására, hogy adott TH acélív keresztmetszetnél (F , K_{xk}), illetve folyómétertömegnél és terhelési aszimmetriánál (k) maximálisan milyen nagyságú rögzítettséget állítsunk elő ahhoz, hogy az acélív teherbírását túl ne lépjük. Ez

$$T_{h_{max}} = \frac{R\sigma_f(1+k)}{2} \frac{1}{1 + \frac{R(1-k)F}{4K_{xk}}}, kN$$

Ha a terhelés teljesen szimmetrikus, azaz $k=1$, akkor

$$T_{h_{max}} = F\sigma_f, kN$$

Tekintettel arra, hogy az MSZ 17718-77 $R_{eH} = 350 \text{ N/mm}^2 = 350 \text{ MPa}$ folyáshatárt ír elő hengerelt harangszelvényű acél biztosítóanyagokra, teljesen szimmetrikus terhelésnél ($k=1$) az alábbi értékeket kapjuk:

profil jele	F cm ²	$T_{h_{max}}$ kN
21 kg/m	27,4	959
25 kg/m	31,7	1112
új 25 kg/m	30,7	1074
33 kg/m	43,0	1505

Ha a terhelés teljesen aszimmetrikus, azaz $k=0$, akkor

$$T_{h_{max}} = \frac{F\sigma_f}{2} \frac{1}{1 + \frac{RF}{2K_{xk}}}$$

Ez utóbbi eset ($k=0$) inkább csak elméleti, mert a legrosszabb gyűrű beépítésnél is lehet oldalirányú terhelésre számítani. Általában igaz, hogy gyakorlati esetekben $1 > k > 0,7$. Ha $k=0,7$ aszimmetricitási tényezővel számolunk, akkor

$$T_{h_{max}} = 0,85 F \sigma_f \frac{1}{1 + \frac{0,3 R F}{4 K_{xk}}}$$

Tekintettel arra, hogy általában $R \cong 1,5 - 2,5 \text{ m}$, $F = 25-45 \text{ cm}^2$, $K_x = 45-100 \text{ cm}^3$, $K_{xk} = 80 - 220 \text{ cm}^3$, ilyen értékekkel $k=0,7$ -nél

$$T_{h_{max}} \cong 0,2 F \sigma_f$$

Így a kívánatos rögzítettség az alábbi határértékek között változik:

profil jele	$T_{h_{max}}$ (kN)
21 kg/m	192-959
25 kg/m	222-1112
új 25 kg/m	215-1074
33 kg/m	301-1505

Megjegyezzük, hogy a KBFI korábbi ellenőrző mérései szerint az előírt anyagminőségtől a TH ívek folyáshatára sokszor 25-30%-al is kisebb. Ez a tény természetesen a kívánatos rögzítettség értékét is ennyivel csökkenti.

A terhelés aszimmetricitása igen érzékenyen befolyásolja a kívánatos rögzítettségi maximum értékét. Pl. a régi 25 kg/m-es profilra jellemző $F=31 \text{ cm}^2$, $K_{xk}=103 \text{ cm}^3$ értékkel $R=2 \text{ m}$ gyűrűsugárnál:

$$T_{h_{max}} = \frac{F \sigma_f}{2} \frac{1 + k}{1 + 15,05(1 - k)}$$

Az aszimmetricitási tényező függvényeként számszerűen $\sigma_{fa}=350 \text{ MPa}$ figyelembe vételével:

k	$T_{h_{max}}/F \sigma_f$	$T_{h_{max}}$ (kN)
0,7	0,15	166
0,75	0,18	200
0,8	0,22	245

0,85	0,28	311
0,9	0,38	432
0,92	0,44	489
0,85	0,56	623
0,98	0,76	845
1,0	1,00	1112

Az MI 09 10146/9-78 Műszaki Irányelvek szerint 25 kg/m-es TH acélíveknél 150-300 kN rögzítettséggel (összeecsúszási ellenállással) lehet számolni. Saját méréseink szerint az új 25 kg/m-es TH profilnál 500 kN összeecsúszási ellenállást is el lehet érni.

A továbbiakban a biztosítás teherbírásával foglalkozunk. Kérdés, hogy mit tekintünk a biztosítás teherbírásának. A vonatkozó MI 90 1146/9-78 Műszaki Irányelvek az alábbiakat írja:

- „1.1.2. Biztosítás átlagos teherbírása – a különféle kötőszerkezetpárokkal az ívek összeecsúszása előtt mért és átlagolt rögzítőképeség (P.)”
- „1.1.3. Biztosítás névleges teherbírása –a biztosítószerkezet számított teherviselőképesége”

A biztosítás teherbírásának fenti helytelen megfogalmazásával nyilvánvalóan nem dolgozhatunk, mivel az független a TH ívek beépítési távolságától, a vágatsugártól a vágat keresztmetszettől. Egy változó geometria méretekkel rendelkező, változó osztás távolsággal beépíthető biztosítószerkezet teherbírását nyilvánvalóan a geometriai méretek, osztástávolság, rögzítettség (összeecsúszás ellenállás) függvényében kell megoldani. Azt kell megfogalmazni milyen külső terhelés elviselésre képes a szerkezet. Ha a külső terhelésnek több fajtája lehetséges, akkor ezek mindegyikéhez szükséges megadni a teherbírást.

A biztosítási ellenállás jellemzi a biztosítószerkezet teherbírását is. Az MI 09 10146/9-78 Műszaki Irányelvek a biztosítási ellenállást egyenletesen megosztó közterhelést feltételezve

$$q = \frac{T_h}{Rl}, \frac{kN}{m^2}$$

alakban adja meg, ahol

T_h – a kötőszerkezetpárok átlagos rögzítőképesége összeecsúzásig,

R – a biztosítógyűrűk sugara,

l – a gyűrűk beépítési távolsága.

A fenti képlet azonban csak $k=1$ esetében érvényes, akkor ha $\sigma_f F > T_h$.

Általános terhelési esetben ($0 < k < 1$) mint ahogyan a gyakorlati esetekben ez érvényesül – az alábbiak szerint a q függőleges terhelésben megfogalmazott biztosítási ellenállás ($\varphi = 45^\circ$):

$$q = \frac{2T_h}{(1+k)Rl}, \frac{kN}{m^2}$$

ha

$$T_h < T_{h_{max}}$$

vagy ha $T_h = T_{h_{max}}$ akkor

$$q = \frac{F\sigma_f}{Rl} \frac{1}{1 + \frac{R(1+k)F}{4K_{xk}}}, \frac{kN}{m^2}$$

Az előbbi kedvezőbb eset $k=(0,95-1)$ -nél fordul elő, ezért írhatjuk, hogy ebben az esetben

$$q \cong \frac{T_h}{Rl}, \frac{kN}{m^2}, T_h < T_{h_{max}}$$

Az utóbbi kedvezőtlenebb eset nagyobb terelési aszimmetriánál $k < 0,95$ -nél fordul elő. Ebben az esetben a biztosítószerkezet teherbírása annál nagyobb minél nagyobb az acélanyag folyáshatára, minél nagyobb az acélívek keresztmetszete, minél nagyobb az acélívek keresztmetszeti tényezője, minél kisebb a vágatsugár és minél kisebb a beépítési távolság. A terhelés

szimmetricitása ill. aszimmetricitása is érzékenyen befolyásolja a teherbírást, minél aszimmetrikusabb a terhelés annál kisebb a teherbírás.

Az alábbiakban $k=0,8$ -nál

$$ql = \frac{F\sigma_f}{R} \frac{1}{1 + \frac{0,2 RF}{4K_{xk}}} , \frac{kN}{m}$$

alakban TH-ív fajtánként megadjuk a gyűrűsugar függvényében $\sigma_f = 350 \text{ MPa}$ folyáshatárhoz tartozóan a biztosítószerkezet teherbírását:

21 kg/m-es profilnál $F=27,4 \text{ cm}^2$, $K_{xk}=84,1 \text{ cm}^3$ értékkel

$$ql = \frac{959}{R} \frac{1}{1 + 1,63R} , \frac{kN}{m}$$

R (m)	ql (kN/m)
1,25	252,6
1,5	185,6
2,0	112,6
2,5	75,6
3,0	54,3

25 kg/m-es profilnál $F=31,7 \text{ cm}^2$, $K_{xk}=103,4 \text{ cm}^3$ értékkel

$$ql = \frac{1109,5}{R} \frac{1}{1 + 1,53R}$$

R (m)	ql (kN/m)
1,25	304,8
1,5	224,5
2,0	136,6
2,25	111,0
2,5	92,0
3,0	66,2

Új 25 kg/m-es profilnál $F=30,7 \text{ cm}^2$, $K_{xk}=219,6 \text{ cm}^3$ értékkel

$$ql = \frac{1074,5}{R} \frac{1}{1 + 0,70R}$$

R (m)	ql (kN/m)
1,25	458,5
1,5	349,4
2,0	223,9
2,25	185,5
2,5	156,3
3,0	115,5

33 kg/m-es profilnál $F=43,0 \text{ cm}^2$, $K_{xk}=216,7 \text{ cm}^3$ értékkel

$$ql = \frac{1505,0}{R} \frac{1}{1 + R}$$

R (m)	ql (kN/m)
1,25	535,1
1,5	401,3
2,0	250,8
2,25	205,8
2,5	172,0
3,0	125,4

A teherbírást reprezentáló q mennyiségek változását a gyűrűsugár függvényében a 4.1. ábrán látjuk. Az ábra mutatja, hogy az új 25 kg/m-es és 33 kg/m-es TH profilok teherbírása mintegy kétszerese a 21 kg/m-es és 25 kg/m-es TH profilok teherbíráásának. Az ábra mutatja, hogy 33 kg/m-es TH profilok alkalmazásával $R=2$ m mellett $l=0,3$ m osztásközzel $q=250/0,3 = 833$ kN/m² biztosítási ellenállás is elérhető. Ez összhangban van a gyakorlati tapasztalattal, mert Nagyegyházán ilyen elrendezésnél 0,8 MPa körüli kőzetnyomásokat mértek a helyszínen.

Számításainknál eddig nem vettük figyelembe azt a nyomatékokat, amely akkor keletkezik, amikor a TH-gyűrűk R kezdeti sugárnál R' sugárra szűkülnek, azaz a vágat konvergál. A konvergenciával összefüggő nyomaték az acélívek rugalmas állapotában

$$M_K = J_X E \left(\frac{1}{R'} - \frac{1}{R} \right) = J_X E \frac{R - R'}{R'R},$$

ahol E az acél rugalmassági modulusa ($E=2,0 \cdot 10^5$ MPa).

Az átlagos, szelvényterületből számítható konvergencia:

$$K = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R - R'}{R} = 1 - \frac{R'}{R}$$

Ha a négy kötőelem összesen $4\Delta l$ értékben csúszik össze, akkor az átlagos konvergencia

$$K = \frac{2\Delta l}{R\pi}$$

Az átlagos összeecsúzás:

$$\Delta l = \frac{KR\pi}{2} = 1,57 K R$$

R=2 m-es sugárnál:

K	Δl (cm)
0,01	3,1
0,02	6,3
0,03	9,4
0,05	15,7

A biztosítás rugalmas állapotában néhány cm-es ívösszeecsúszások jellemzőek, ezért az ezekhez tartozó átlagos konvergenciákkal kell számolnunk az M_K nyomaték meghatározásakor.

A konvergencia behelyettesítésével

$$M_K = J_X E \frac{K}{R'} = J_X E \frac{K}{R(1-K)}$$

Az alábbiakban a nagyságrend érzékeltetése érdekében R=2 m vágatsugárhoz 25 kg/m TH ívekhez ($J_X=308 \text{ cm}^4$) tartozóan megadjuk a konvergenciából keletkező nyomaték értékeit:

K	M_K [kN m]
0,00	0,0
0,01	3,3
0,02	6,6
0,03	10,0
0,04	13,5
0,05	17,0

Tekintettel arra, hogy a 25 kg/m-es TH profil rugalmas nyomatéki teherbírása 20 kNm körüli érték a konvergenciából származó nyomatékot R=2m vágatsugárnál akkor szükséges figyelembe venni, ha a $K>0,01$ ill. $\Delta l>3 \text{ cm}$. Tekintettel arra, hogy az előzőekben képlékeny teherbírásra adtuk meg összefüggéseinket, ezért a görbületváltozásból származó nyomatékkal nem kell külön számolni, mert az acélívek képlékeny állapotában ez már nem keletkezik.

A rugalmas teherbírás számításáról azonban figyelembe kell venni ezt a nyomatékot (M_K) is, amely akkor jelentkezik, ha közel szimmetrikus a terhelés.