

Dr. Orbán Zoltán előadása

A FESZÍTÉS ALAPELVE

Feszítési rendszerek

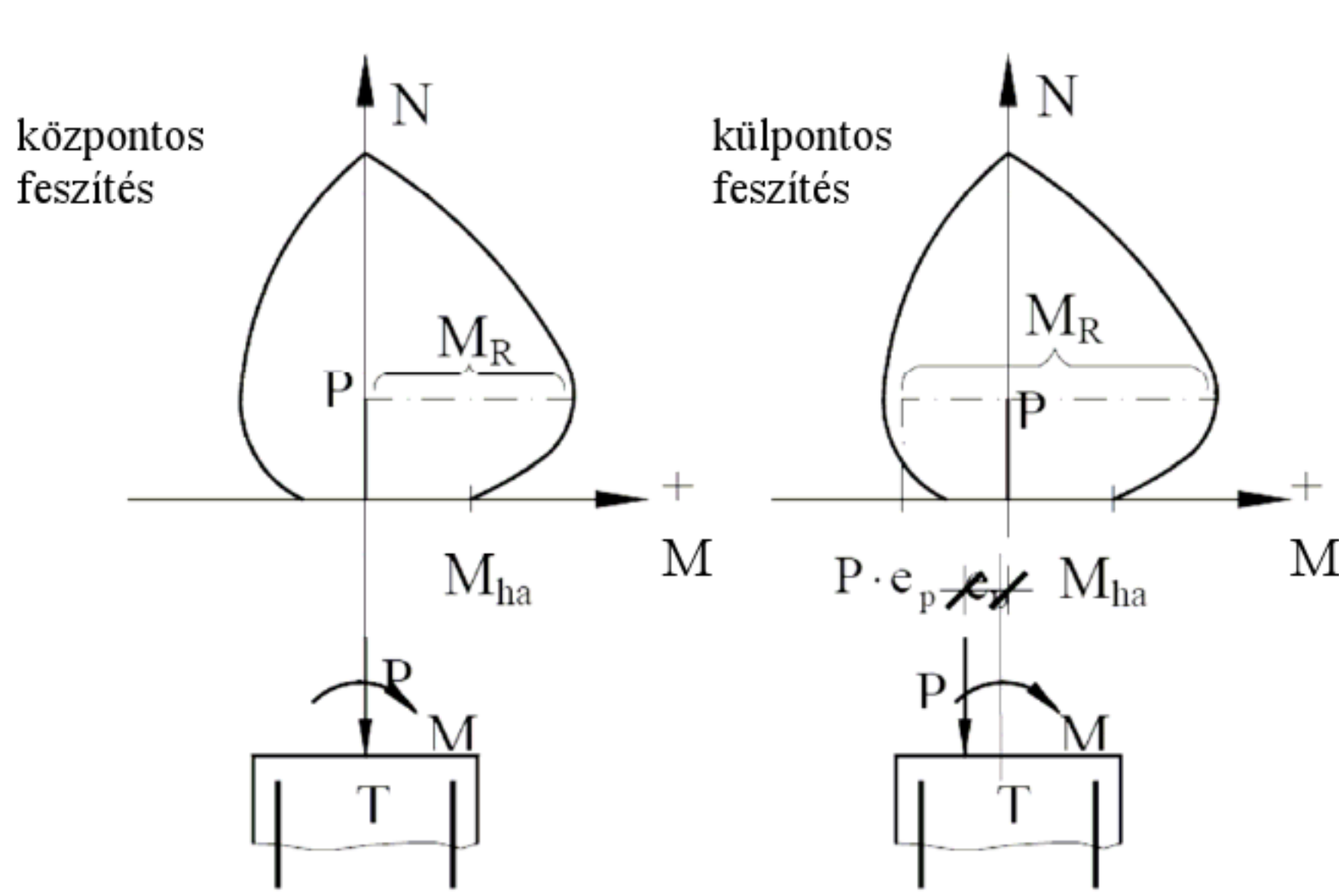
Feszített szerkezetek anyagai

1. előadás

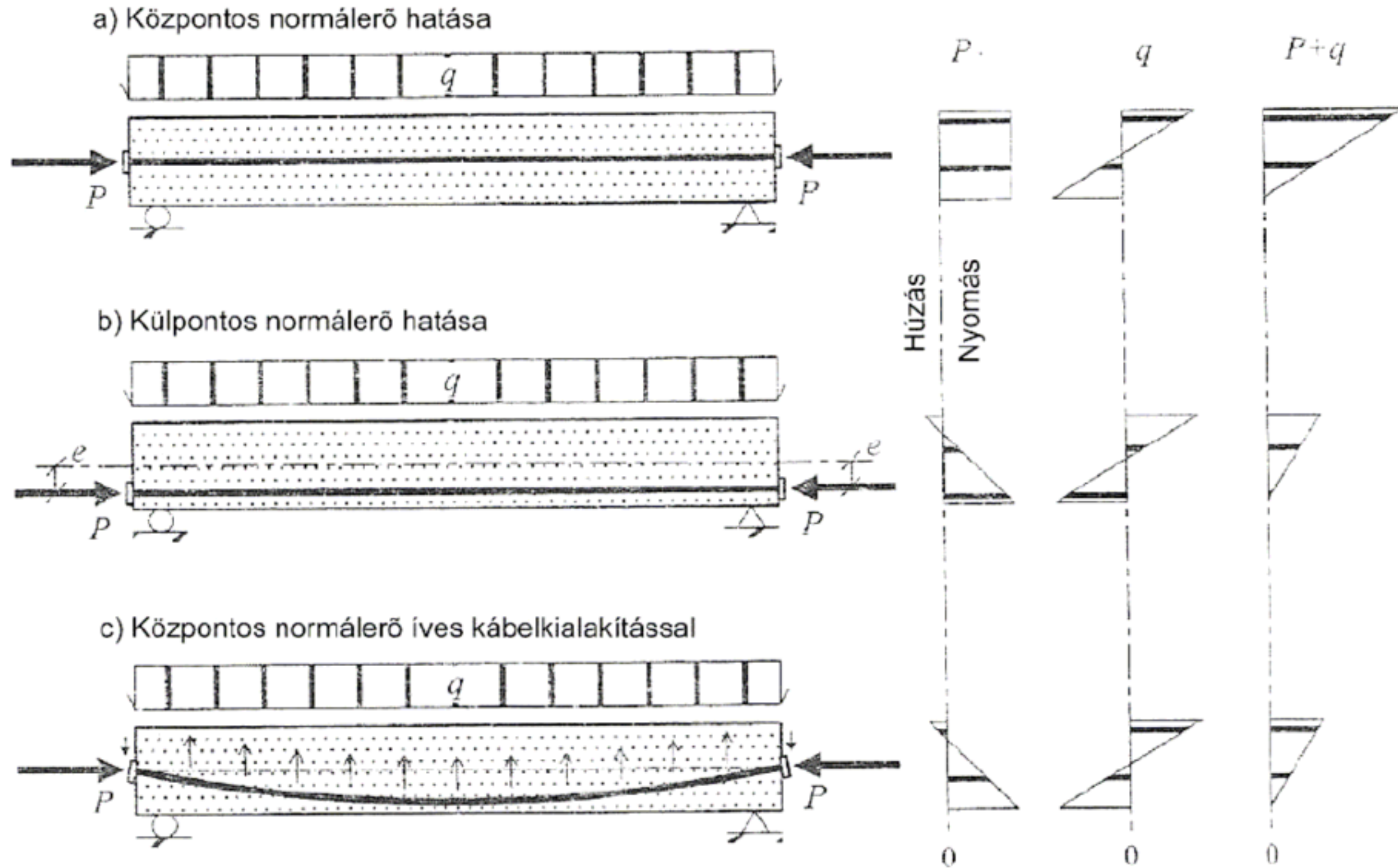
A feszítés alapelve

A hajlított keresztmetszetre hárítható legnagyobb nyomaték értéke növekszik, ha a keresztmetszetre a nyomatékkal egyidejűleg nyomóerőt is működtetünk.

$$M_R > M_{hajl.} (N = 0)$$



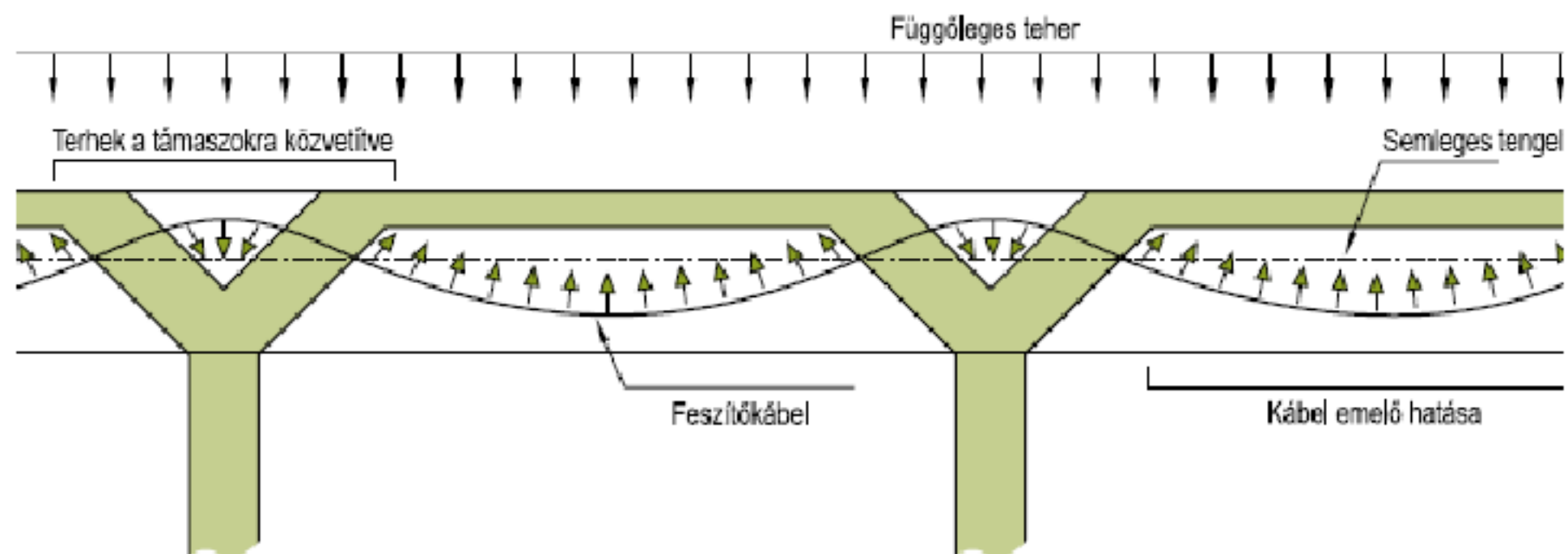
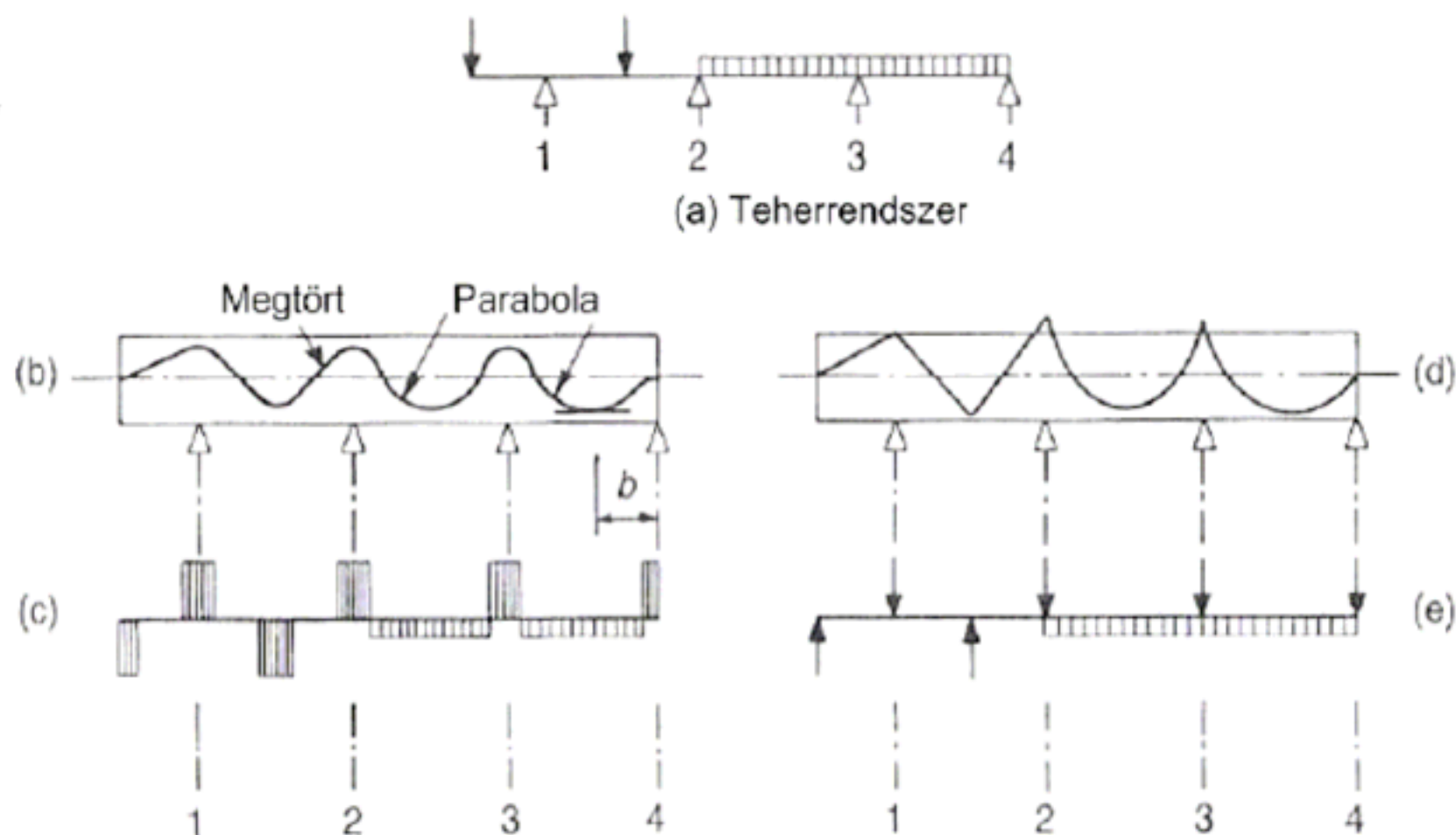
A feszítés hatása a normálfeszültségek eloszlására



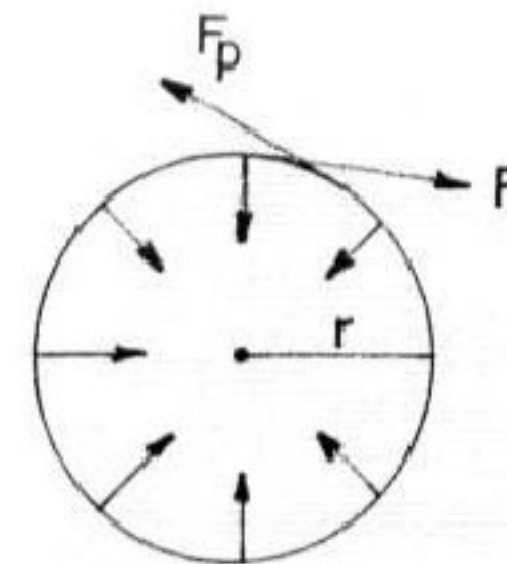
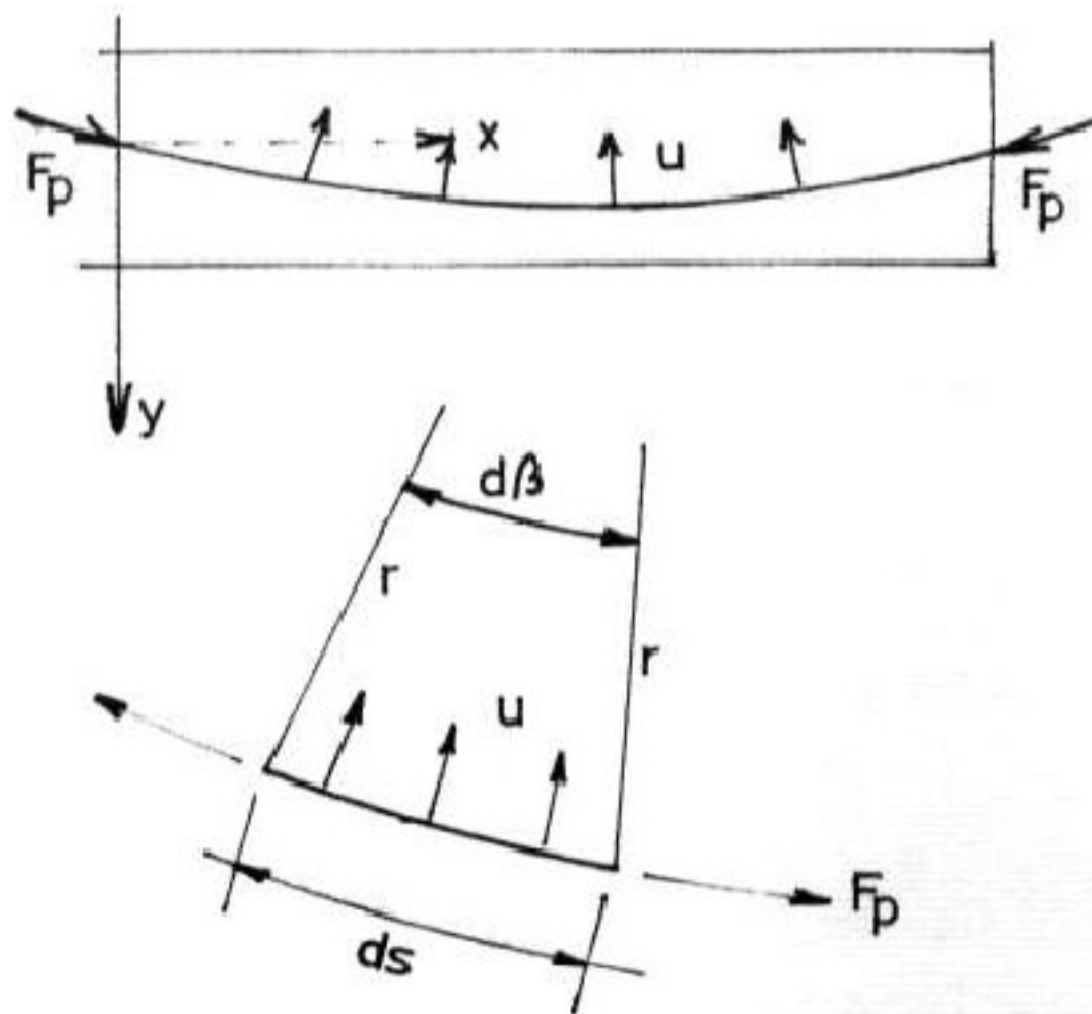
A kábelvezetés

/csúszókábeles rendszernél/

a kábel alakját minél inkább a nyomatéki ábrához kell igazítani. Megfelelő kialakításkor a kialakuló függőleges erő a lehető legjobban ellensúlyozza a szerkezetre ható terheket



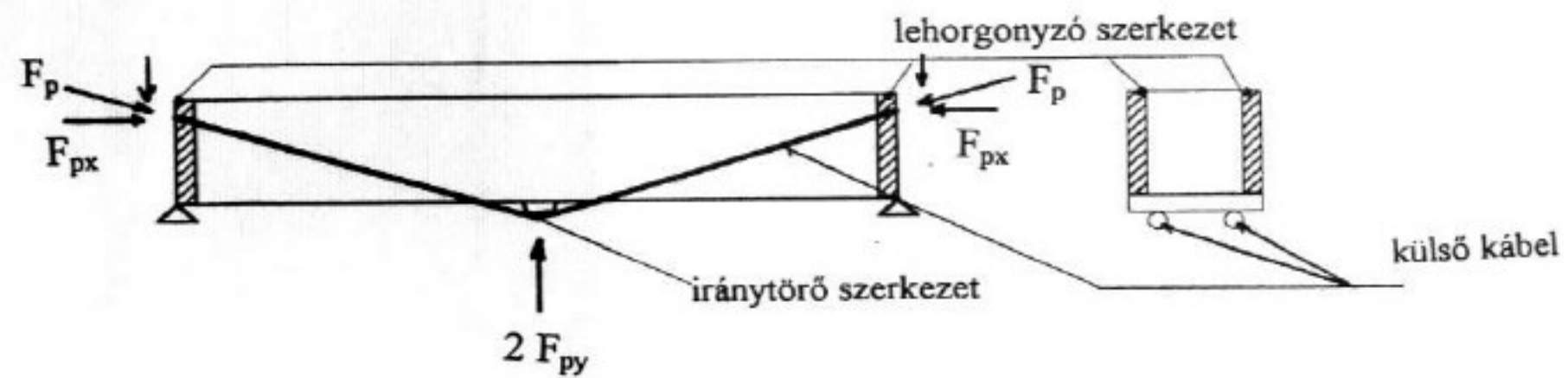
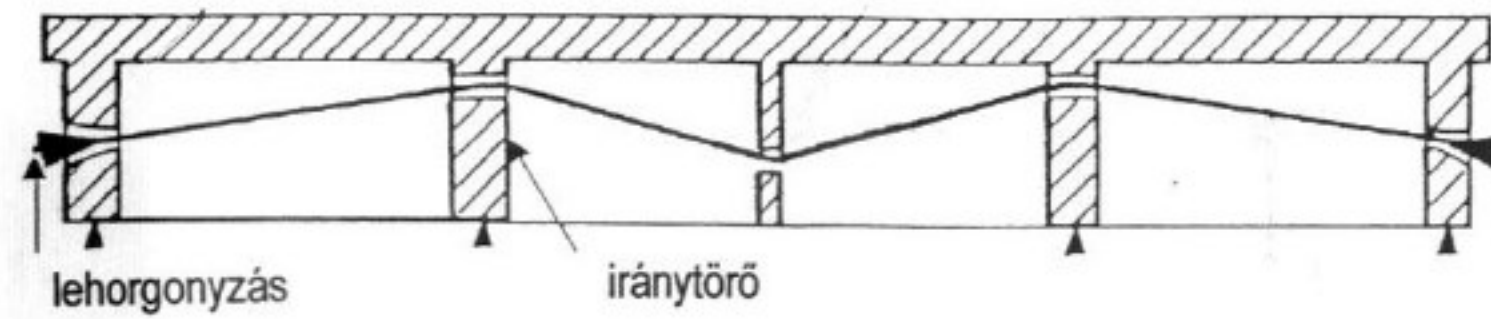
Íves (parabolikus, kör) kábelvezetés hatása



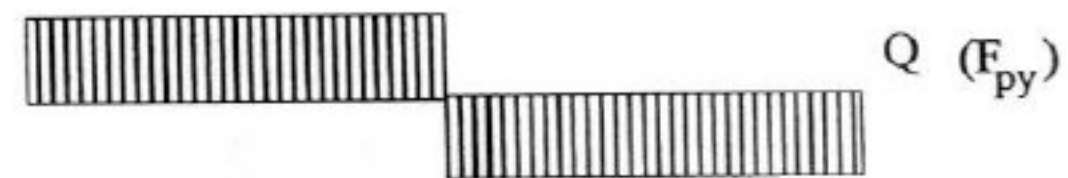
$$F_p d\beta = u ds = r ds$$

$$F_p = ur \quad (\text{kör})$$

$$F_p = u \frac{8f}{l^2} \quad \text{parabola}$$



Iránytörések
hatása külső
kábelvezetésnél



Feszített szerkezetek alkalmazásának előnyei:

- Repedések korlátozása; repedésmenetesség
- Nagyszilárdságú acélok alkalmazásával a betonacél összsúlya csökkenthető (egyes esetekben akár 60-80%-kal is)
- A feszített tartó (csaknem) teljes betonkeresztmetszete részt vesz a teherviselésben;
 - a betonkeresztmetszet nagysága csökkenthető
 - nagyobb szilárdságú betonok alkalmazhatók
 - az önsúly redukálható
- Akár 70-80%-kal kisebb alakváltozások
- Karcsúbb szerkezetek hozhatók létre
- A szabadnyílás felsőhatára jelentősen növelhető

Feszítési rendszerek

A feszítőerő létrehozásának lehetőségei:

- tapadóbetétes feszített szerkezetek:
 - a feszítőbetét teljes hosszában felületi kötésben van a betonnal,
 - a feszítőerő a tapadási súrlódás révén adódik át a betonra
- véglehorgonyzós feszített szerkezetek:
 - szabadkábeles szerkezetek: a feszítőbetétek a szerkezeten kívül szabadon haladnak
 - csúszókábeles szerkezetek: a feszítőbetétek a szerkezeten belül, erre a célra szolgáló üregekben haladnak (ezek a szerkezetek az üregek kiinjektálásával utólag tapadóbetétesé tehetők)

A feszítőerő a csúszó betétes esetben a véglehorgonyzás, míg tapadó betétes esetben, pedig a kapcsolati feszültség révén adódik át a betonra

Az (M,N) teherbírási vonalat - tapadóbetétesnél a betonacél és a feszítőbetét - csúszóbetétes kialakításnál: csak a betonacél figyelembe vételével kell meghatározni

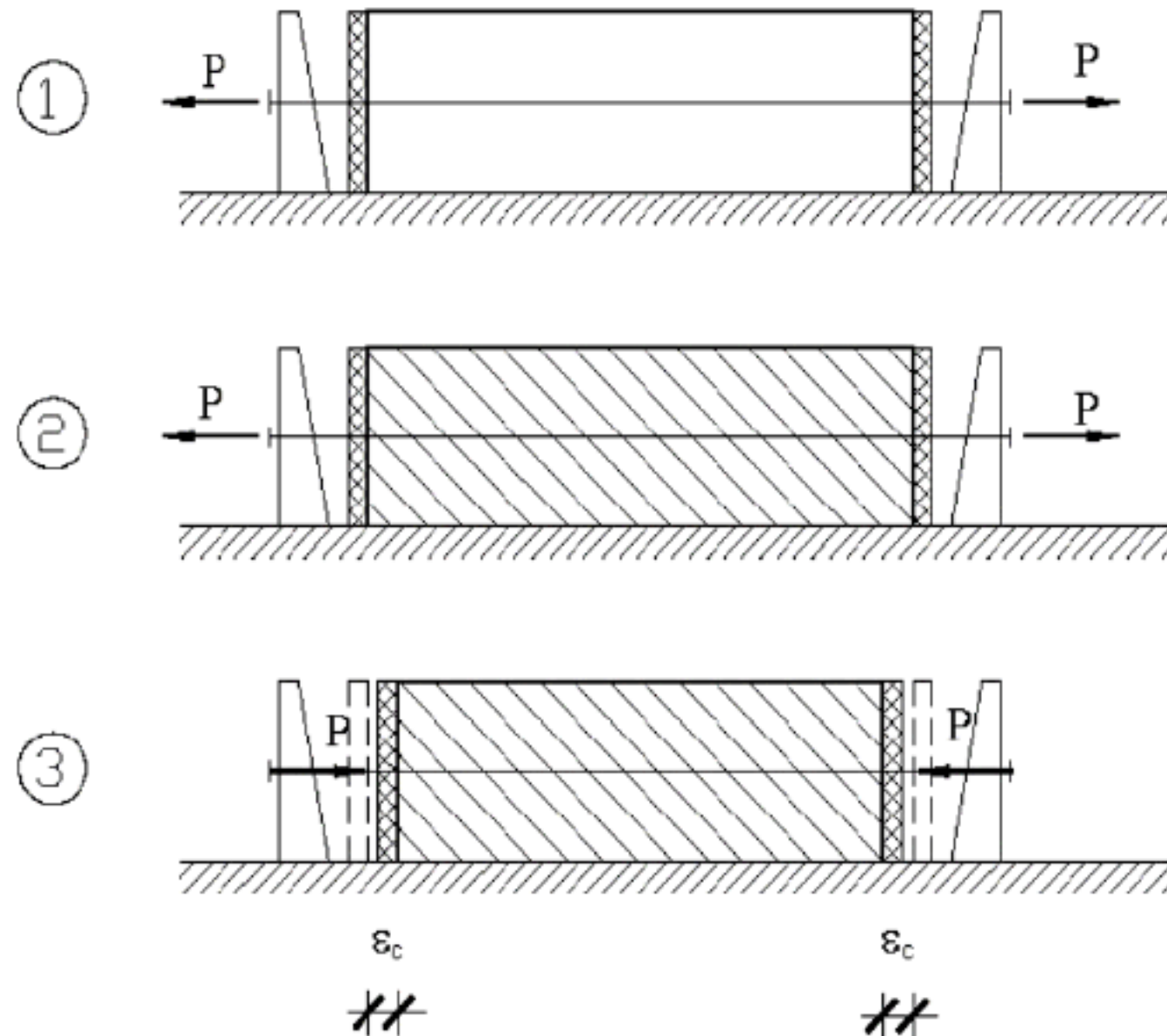
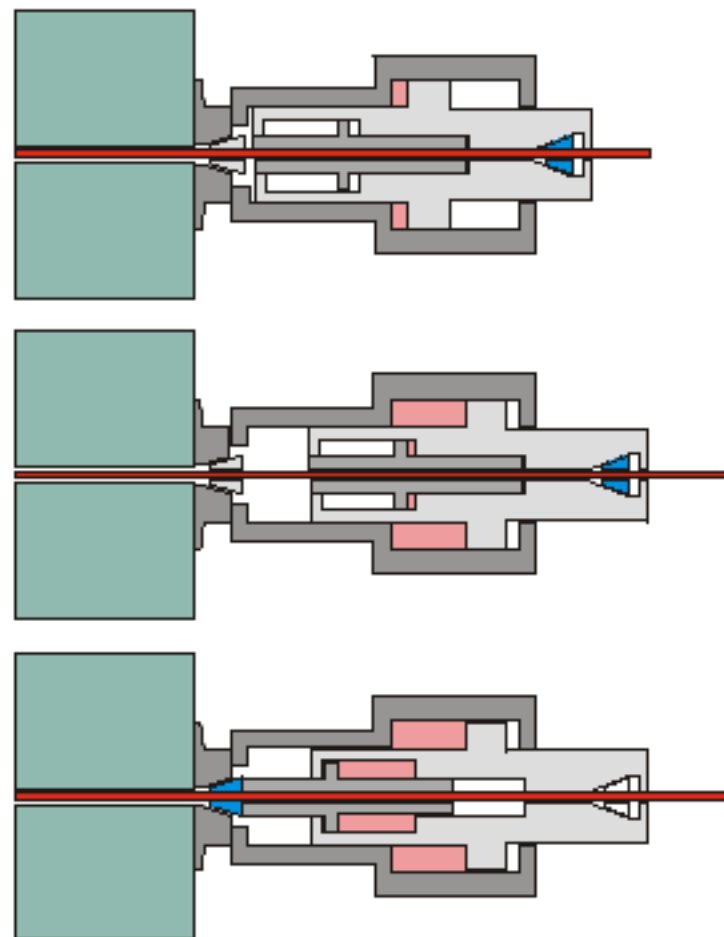
Tapadóbetétes (előrefeszített) rendszer

- szálanként vezetett feszítőbetétek felhasználásával)

1. ütem: a huzal(ok) megfeszítése

2. ütem: az elem bebetonozása

3. ütem: a feszítőerő ráengedése a megszilárdult beton (vagy vasbeton) elemre

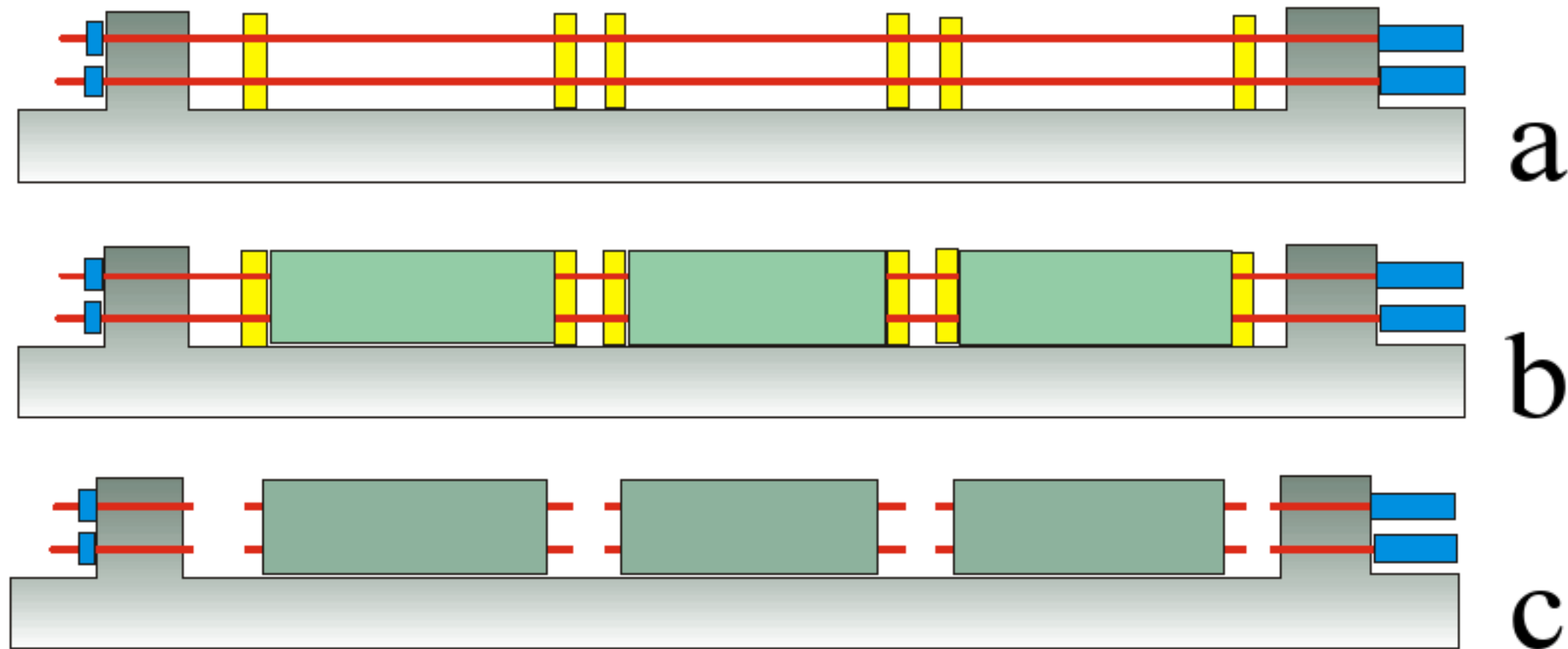


Gyűrűs olajterű kettős hidraulikus sajtó

Feszítősajtó működése: 1: megfogás 2: feszítés 3: ledugózás

A hosszúpados előrefeszítés elvi vázlatja

Az egymás mögé sorolt elemeket egyidejűleg feszítik egy megfelelően kialakított hosszú feszítőpadon. A feszítőhuzalokat az elemek zsaluzatán és a feszítőbakok nyílásain átfűzik, az egyik bakon önzáró ékekkel rögzítik, majd a másik bak homloklapjára támaszkodó, speciális huzal-megfogó csatlakozóelemekkel ellátott hidraulikus berendezéssel a folyáshatárt megközelítő feszültségig megfeszítik (a). Ezt követően a feszítés alatt álló huzalok köré betonozzák az elemeket (b), végül a legtöbbször hőérleléssel gyorsított szilárdulású elemek betonjának a megszilárdulása után "levágják" az elemeket a feszítőpadról, ezzel a feszítést mintegy „ráengedik” a szerkezetre (c).



Csúszó betétes (utófeszített) rendszer:

- a vasbeton gerenda előbb elkészül, majd a kellő betonszilárdság elérését követően a lehorgonyzási helyen rögzítetten feszítik meg a feszítőkábeleket.

1. ütem: a beton (v. vasbeton) elem elkészítése kábel üreggel,

2. ütem: a feszítőkábel vagy feszítőrúd elhelyezése,

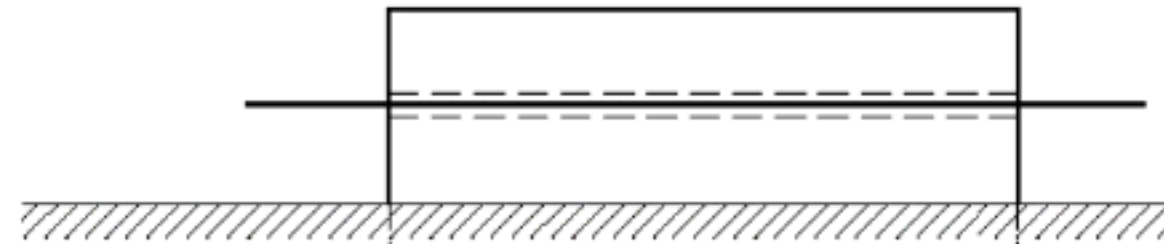
3. ütem: a feszítés végrehajtása (a feszítőerő hatására a szerkezeti elem alakváltozást szenved).

(Megjegyzés: lehetséges a feszítőbetétek elhelyezésére szolgáló üregek utólagos kiinjektálása, s ezzel bizonyos mértékig a tapadás létrehozása)

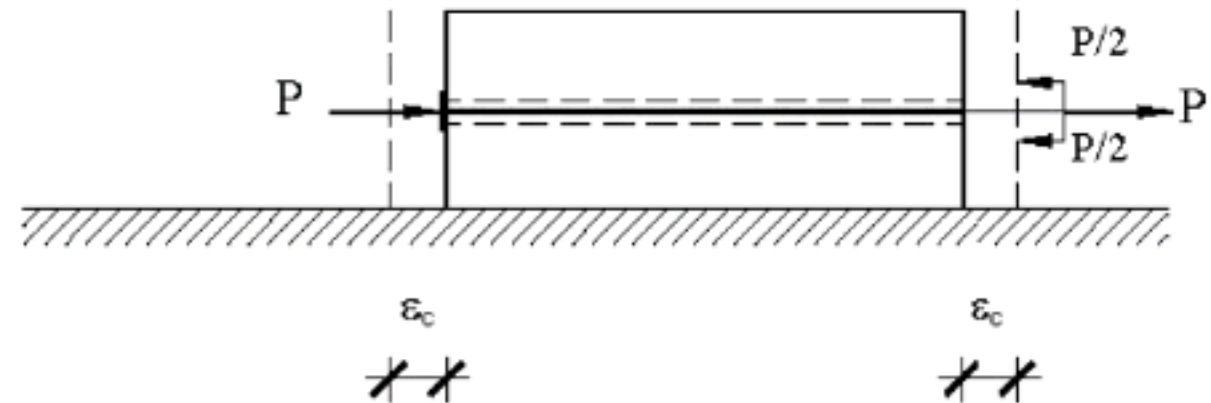
①



②

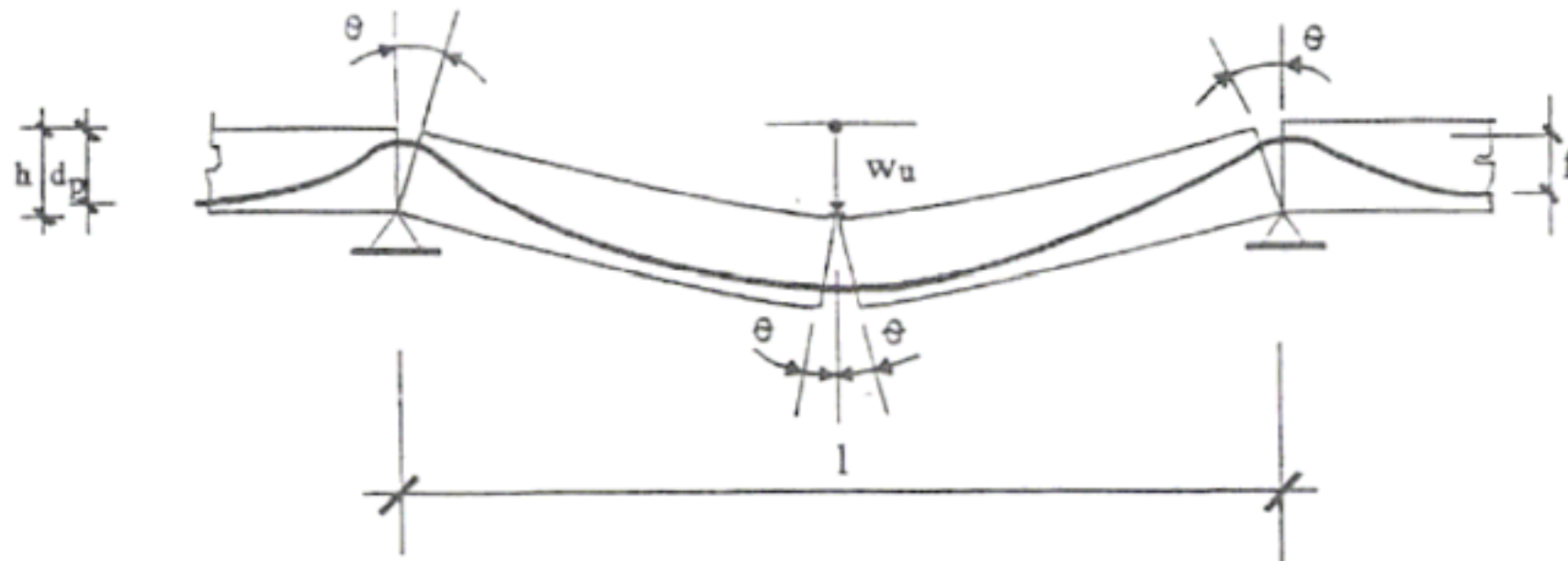
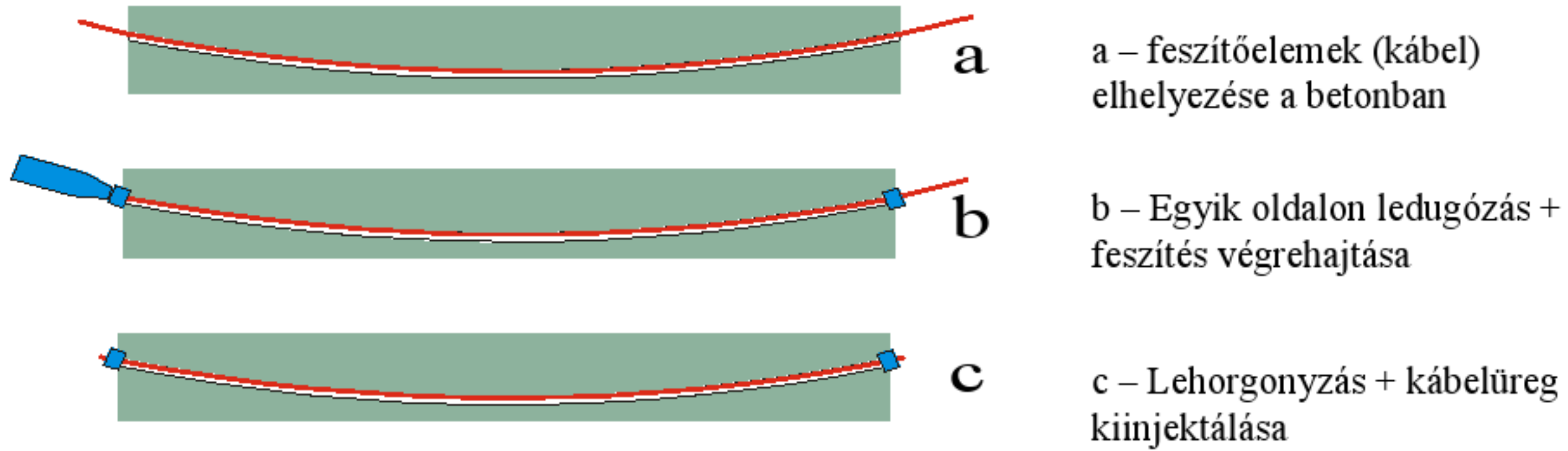


③



Egyenes kábelvezetés

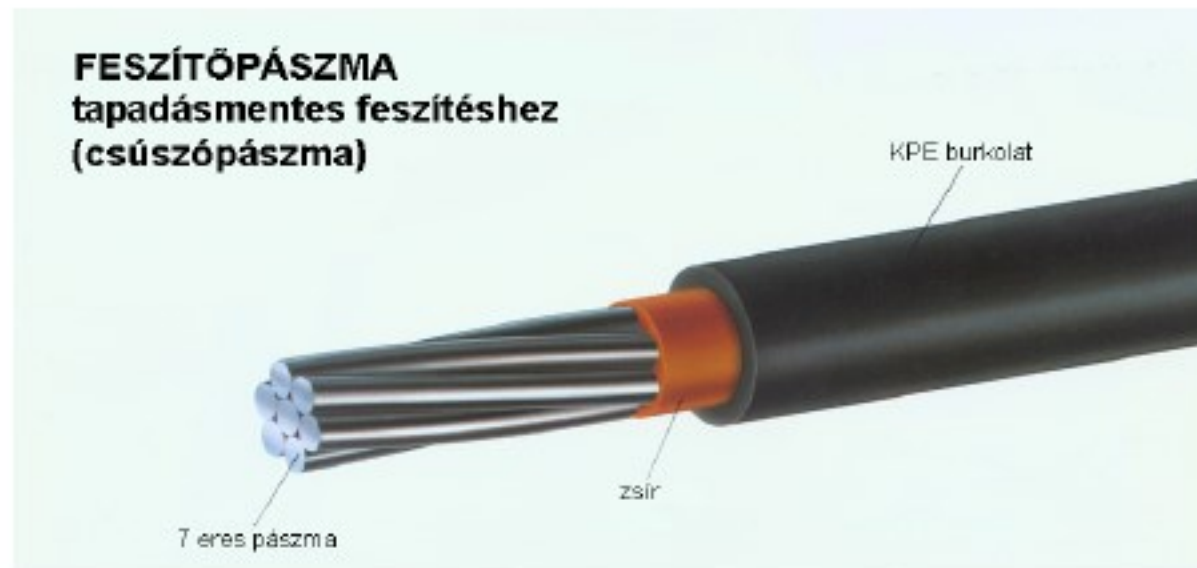
Utófeszítés íves kábelvezetéssel



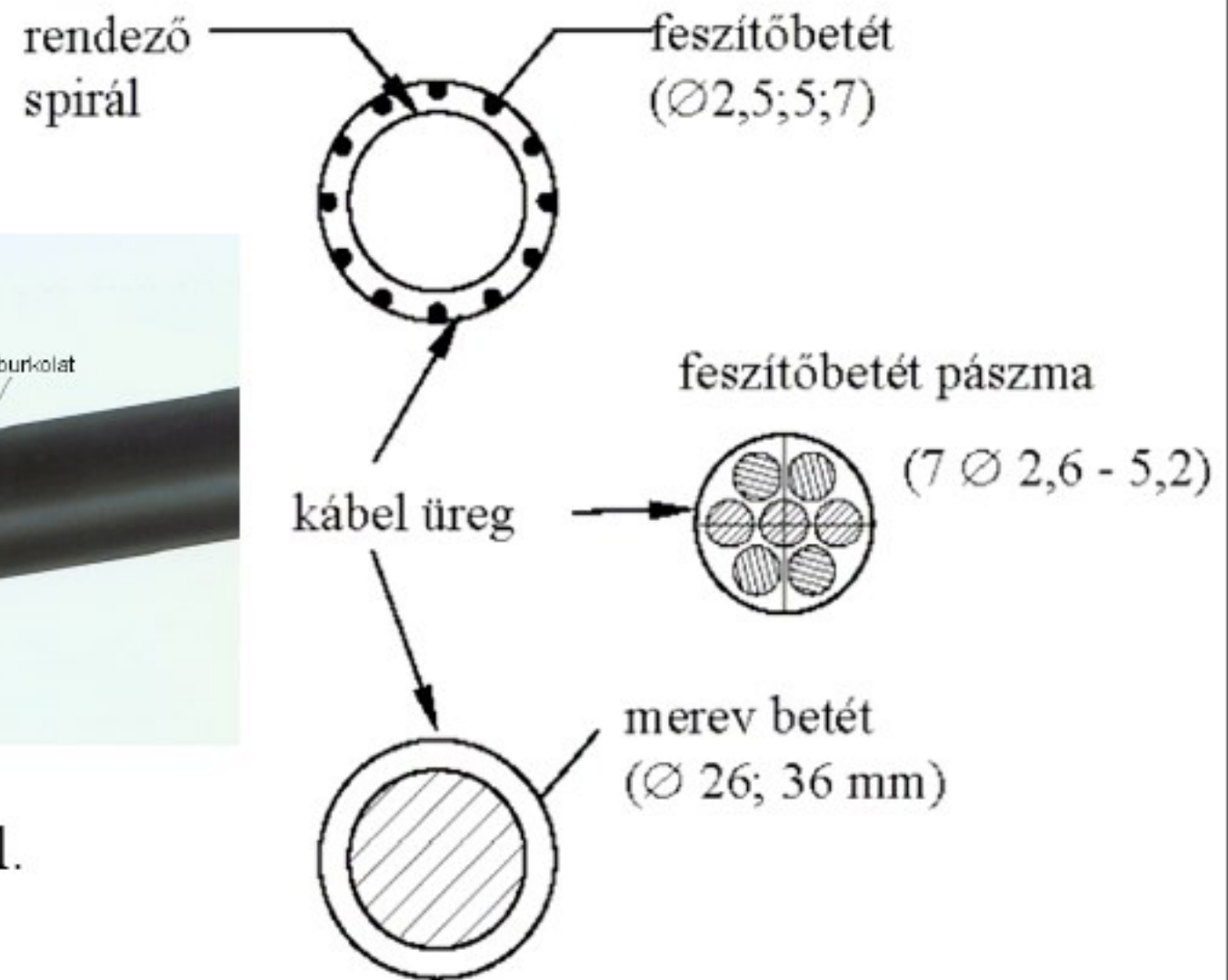
Csúszóbetétes kábeleknél a nyúlás nem koncentrálódik a repedésekre, hanem a teljes hosszon megoszlik

Feszítőelemek utófeszítésnél

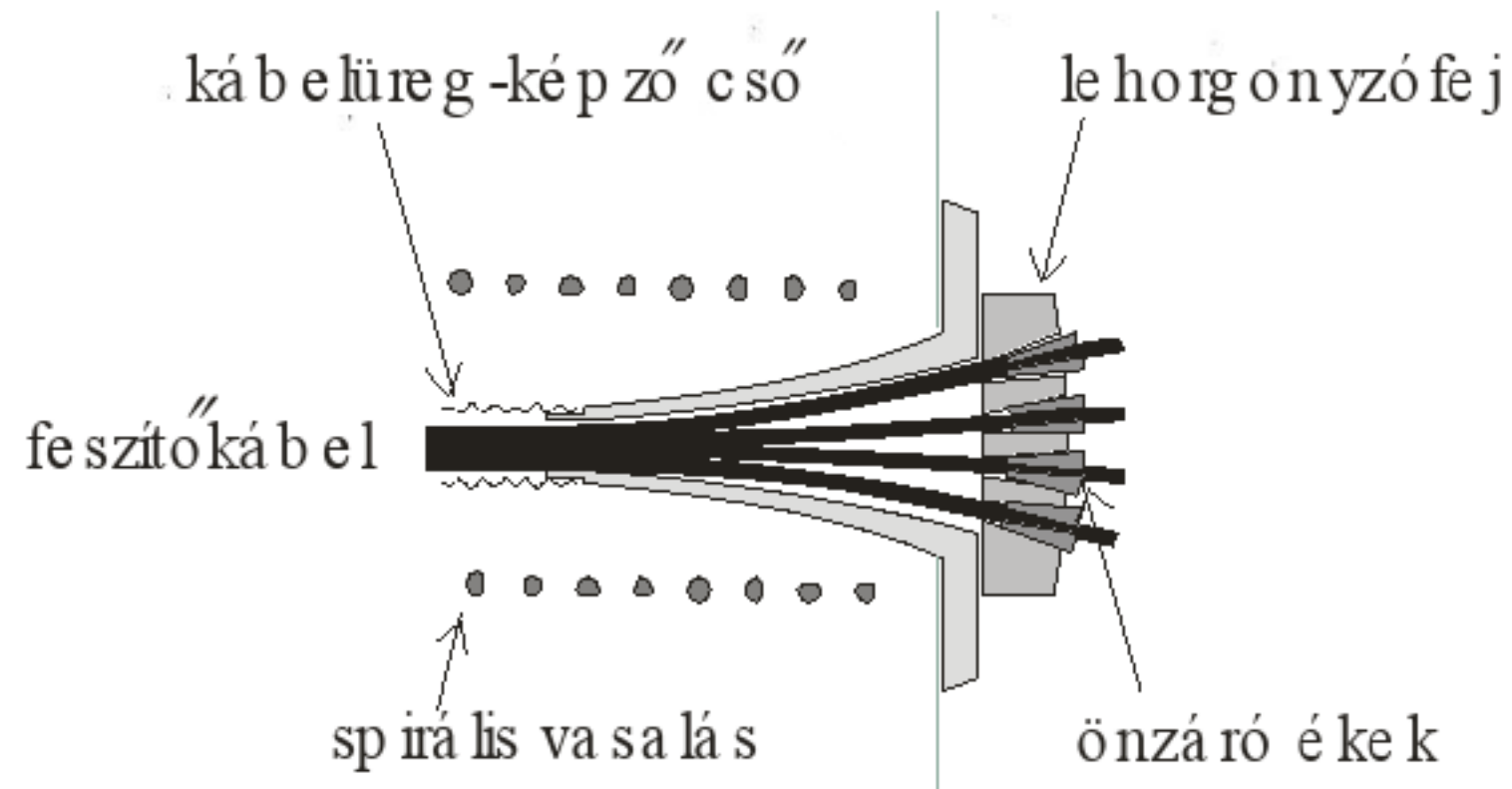
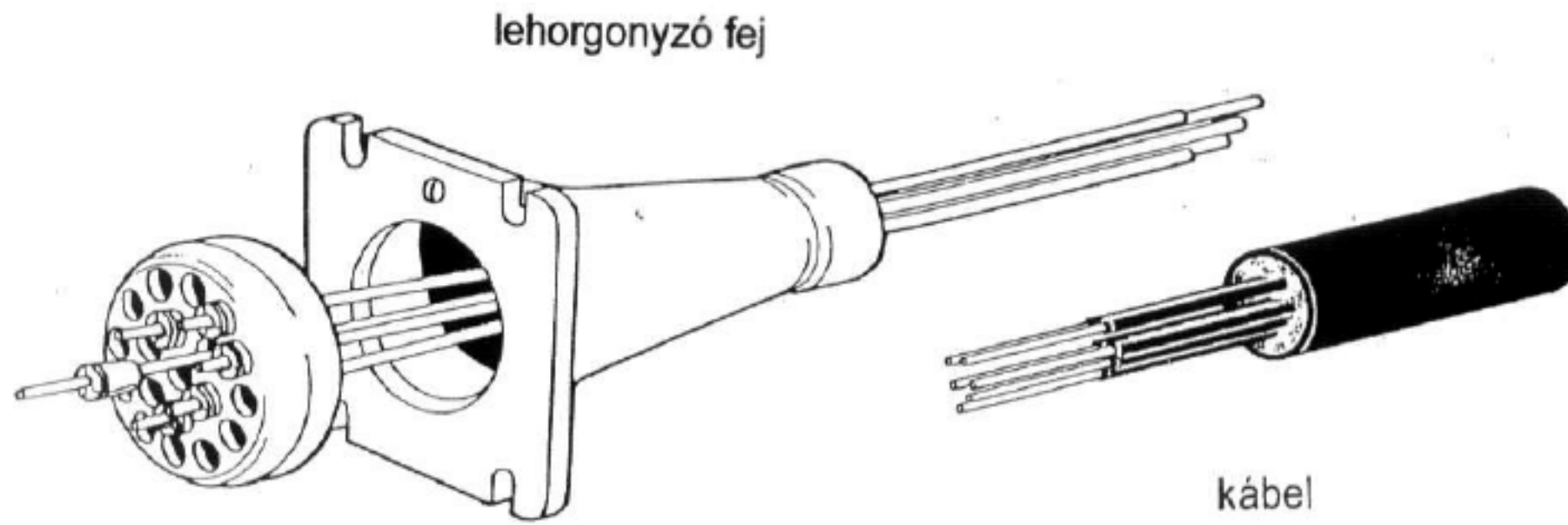
1. több (kisebb átmérőjű) szálból álló kábel (pl. **Freyssinet**-rendszer)



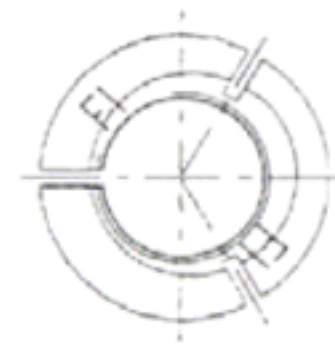
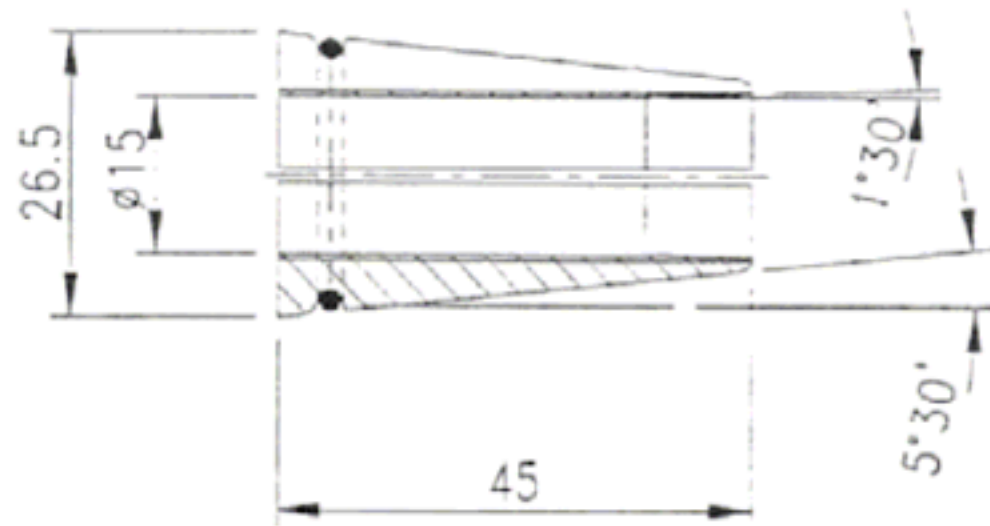
2. egy nagyobb átmérőjű feszítőbetét (pl. **Dywidag**-féle rendszer)



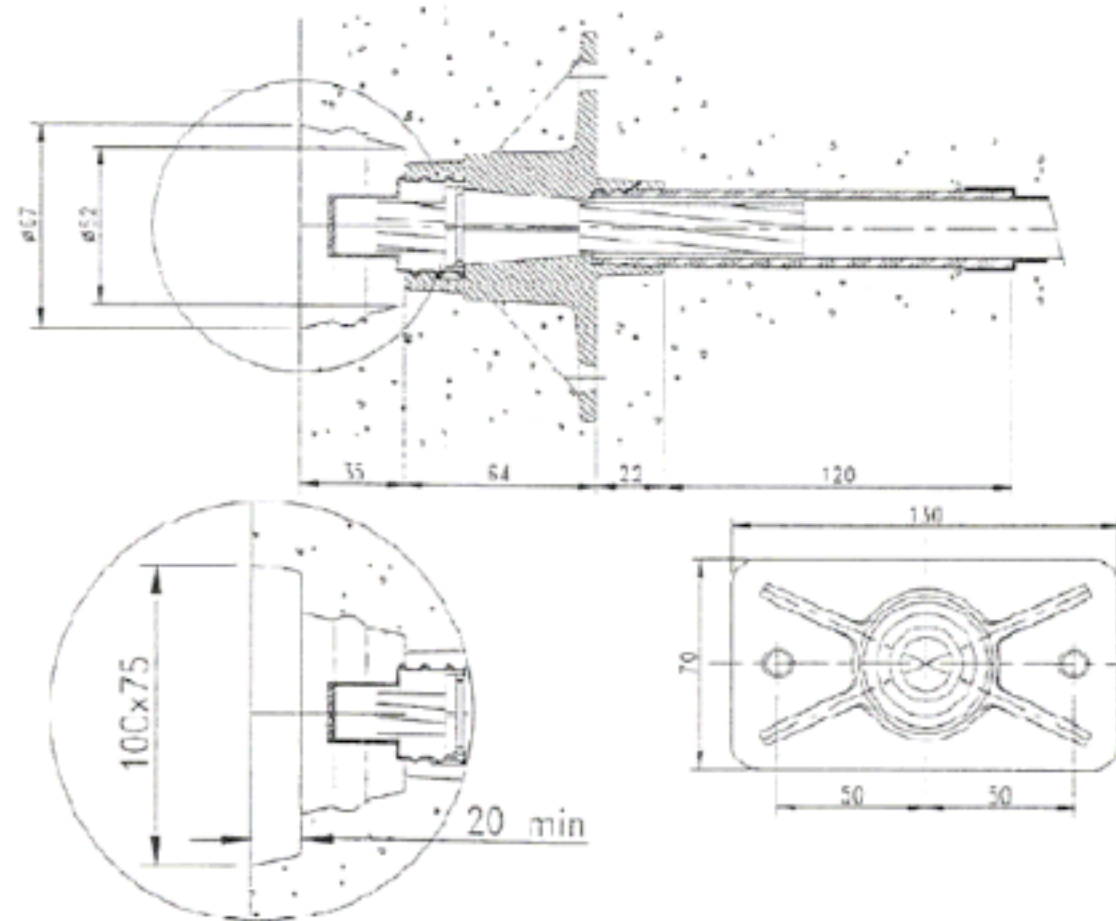
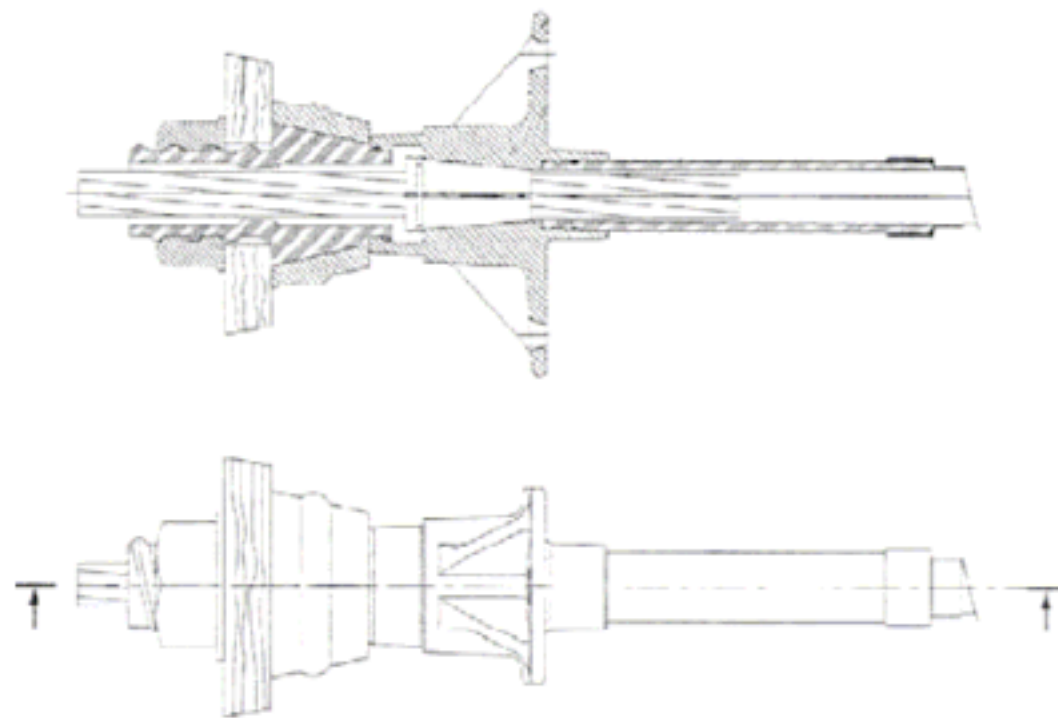
Lehorgonyzó elemek /utófeszítés/



Lehorgonyzások



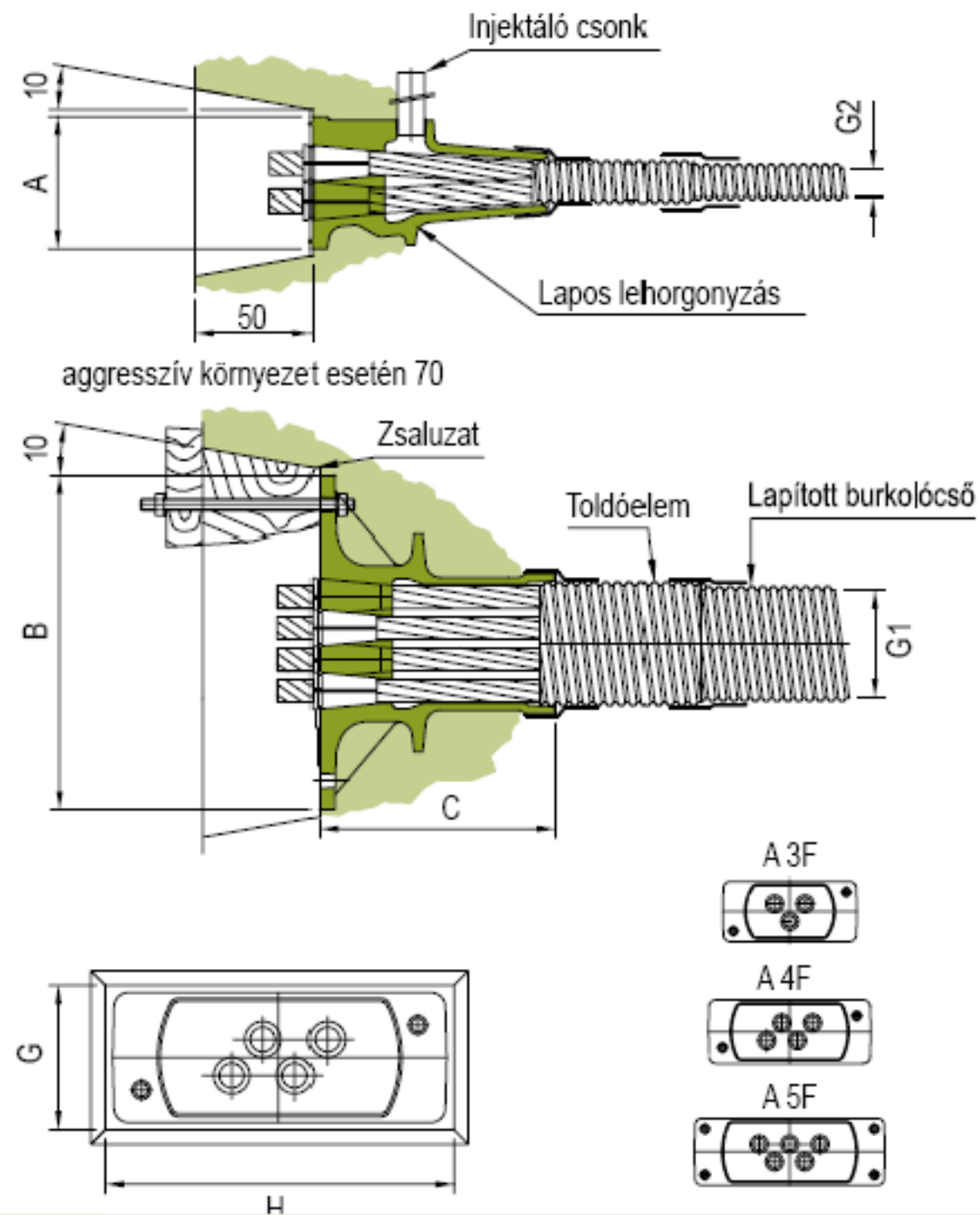
Kiékeléses lehorgonyzás



Csavaros lehorgonyzás

Aktív lehorgonyzás tapadási rendszerhez (Freyssinet rendszer)

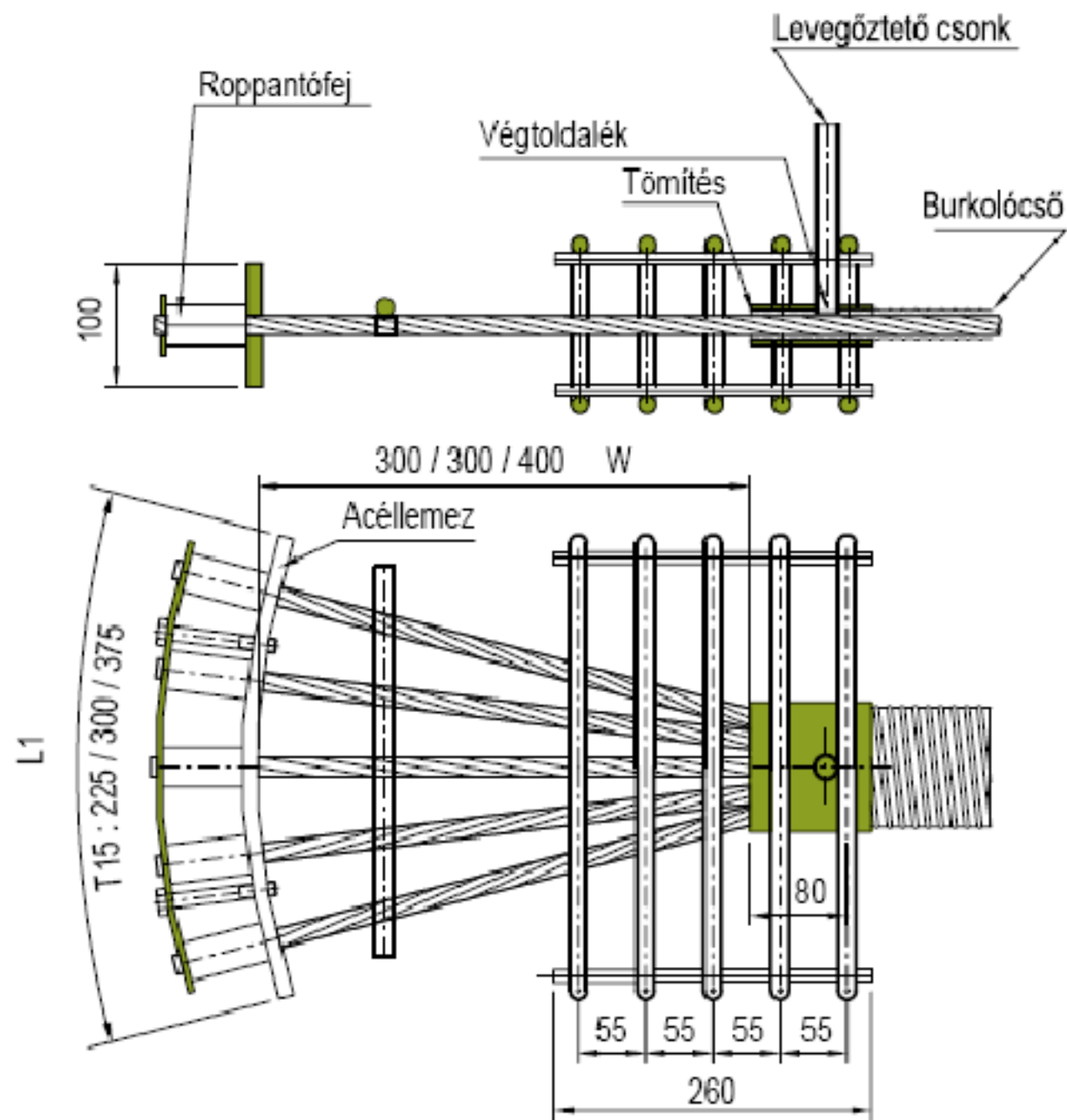
Aktív lehorgonyzás (F típus)



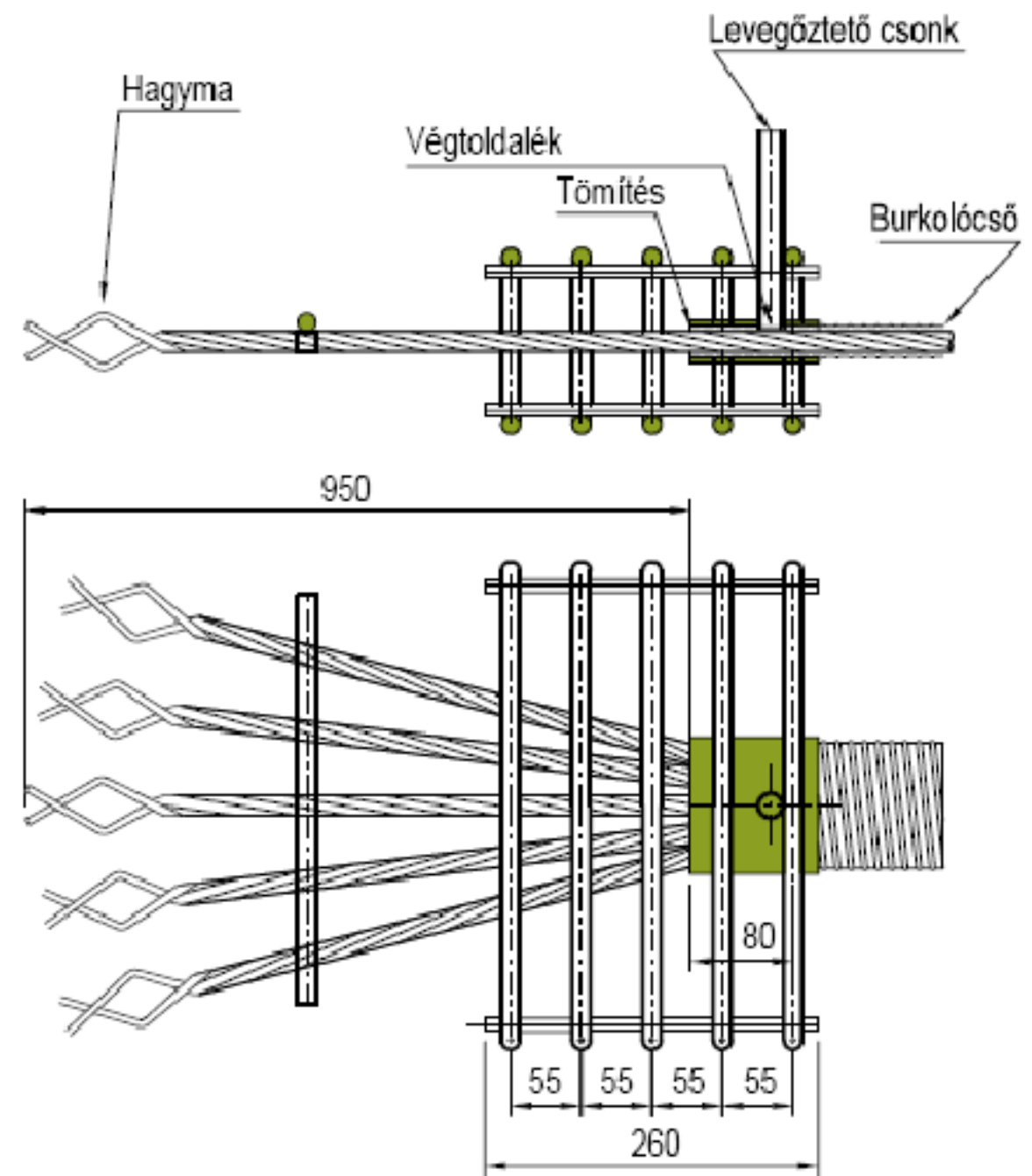
LEHORGONYZÁS	MÉRET	A	B	C	G	H	G1 x G2
	A 3F 15	85	190	163	95	200	58 x 21
	A 4F 15	90	230	163	100	240	75 x 21
	A 5F 15	95	270	163	105	280	90 x 21

Passzív lehorgonyzás tapadáshoz (Freyssinet rendszer)

Passzív lehorgonyzás (NE)



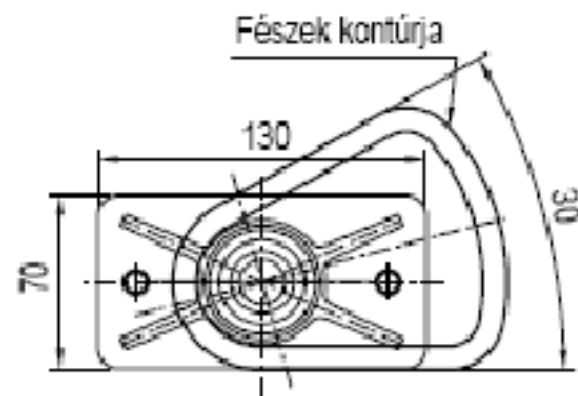
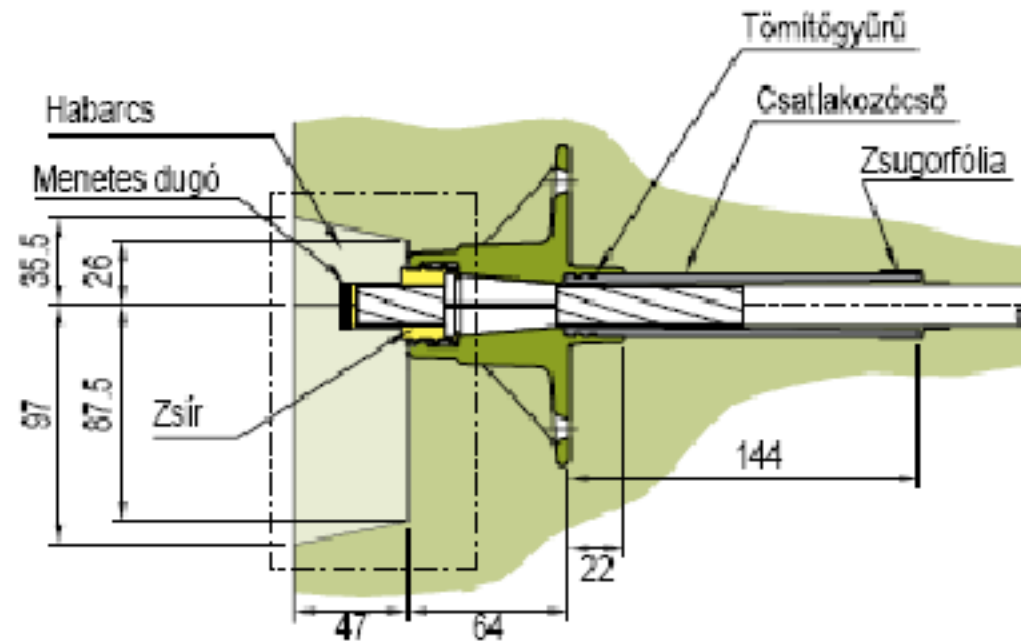
(G)



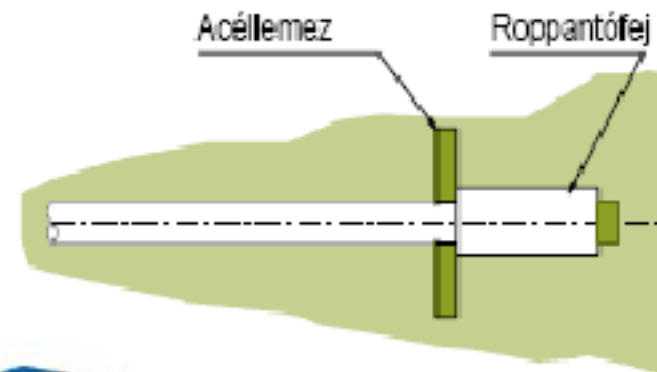
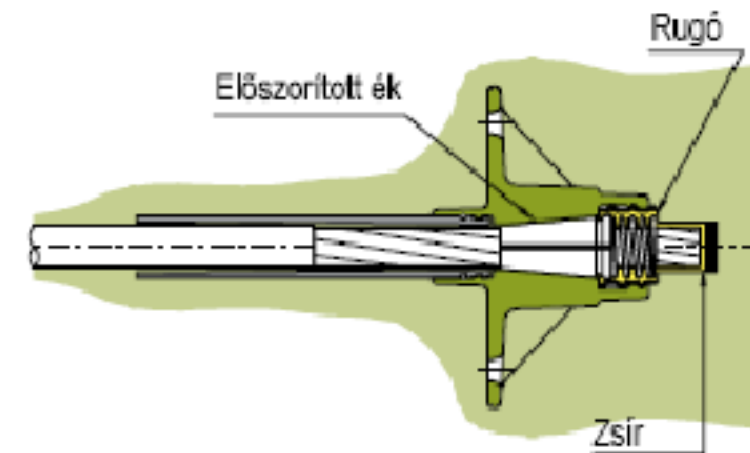
Lehorgonyzás tapadásmentes rendszerhez (Freyssinet rendszer)

Monopázmás lehorgonyzófej (1F15)

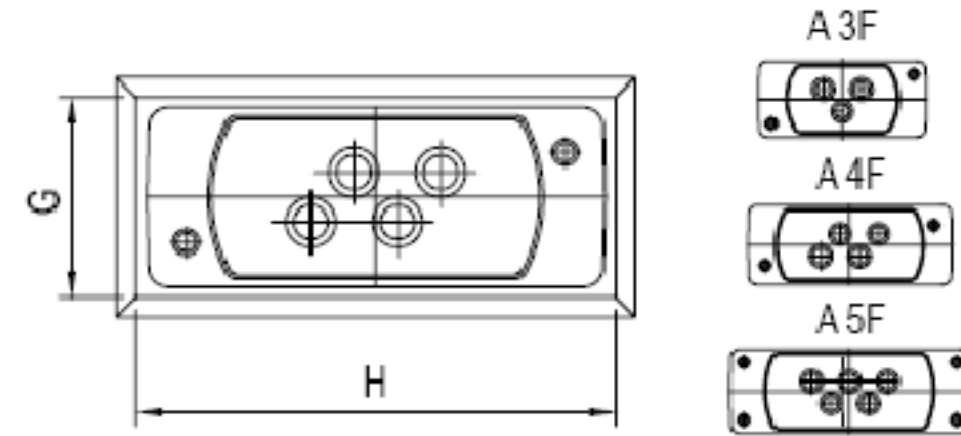
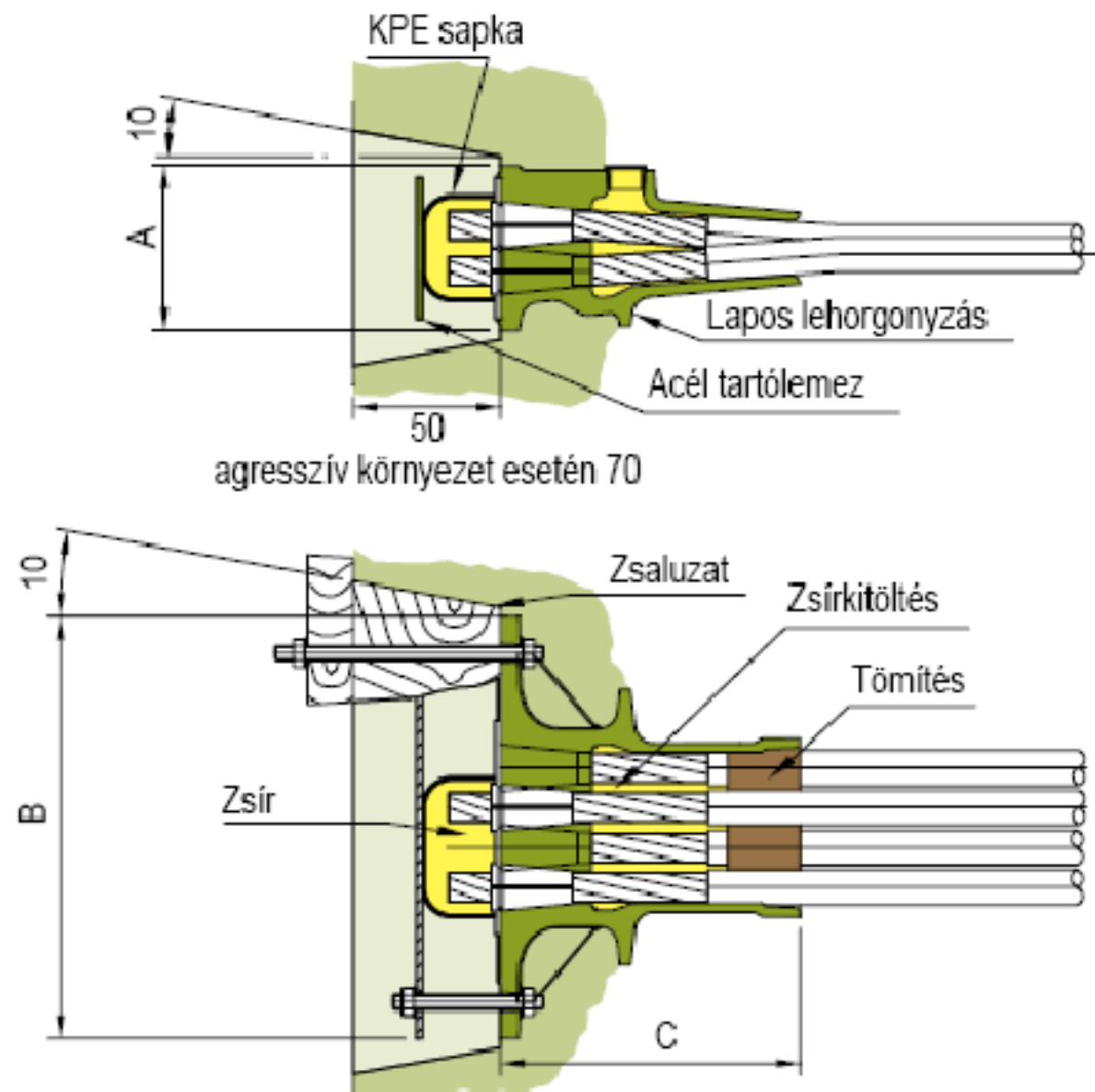
Aktív lehorgonyzás



Passzív lehorgonyzás



Többpászmás lehorgonyzófej (F típus)



LEHORGONYZÁS	MÉRET	A	B	C	G	H
	A 3F 15	85	190	163	95	200
	A 4F 15	90	230	163	100	240
	A 5F 15	95	270	163	105	280

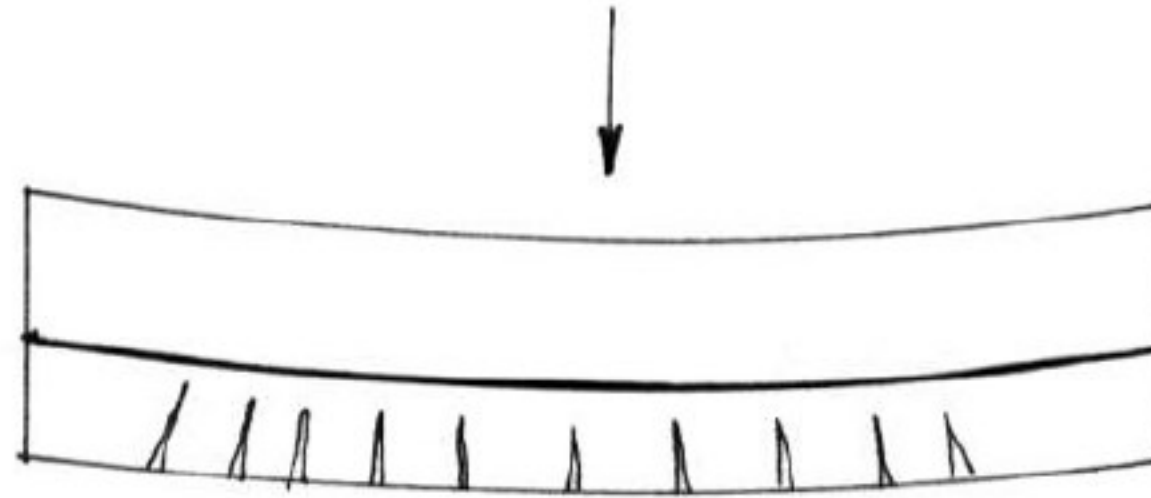
A súrlódási veszteség csökkentésére mindkét végen kialakítható aktív lehorgonyzás!

Feszített vasbetonszerkezetek osztályozása a főbb szempontok szerint

Feszítés időpontja	Előre feszített	Utófeszített	Egyidejűen feszített
Erő felvételére szolgáló szerk.	<ul style="list-style-type: none"> • feszítőpad • zsaluzat • magrúd 	<ul style="list-style-type: none"> • a feszítettbeton elem • a fesz. beton és fesz.berendezés 	<ul style="list-style-type: none"> • a feszítettbeton elem
Lehorgonyzás	<ul style="list-style-type: none"> • tapadás • véglehorgonyzó elem 	<ul style="list-style-type: none"> • véglehorgonyzó elem • véglehorg. elem. és kiinjektálás 	<ul style="list-style-type: none"> • tapadás • véglehorgonyzó elem
Feszítőeszköz	<ul style="list-style-type: none"> • hidraulikus, mechanikus fesz.berendezés* • hőhatás 	<ul style="list-style-type: none"> *+ • hőhatás • önsúly • előterhelés 	duzzadó cement
Kapcsolat	tapadóbetétes	<ul style="list-style-type: none"> • csúszóbetétes • szabadkábeles • utólag tapadóbetétesé tett 	tapadóbetétes

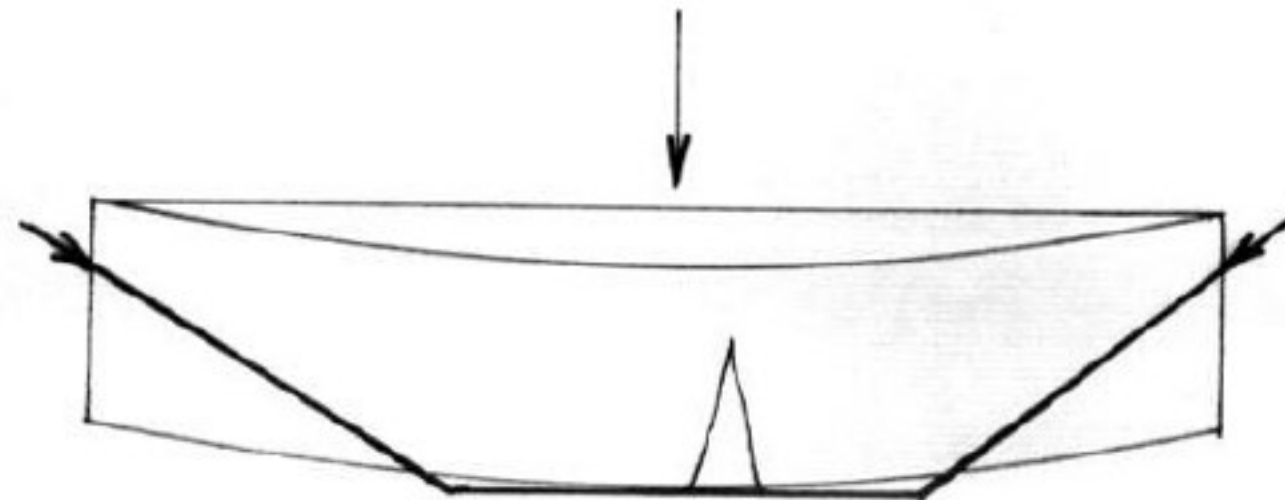
A feszítési rendszer hatása a repedések eloszlására

Sűrű, eloszló
repedéskép



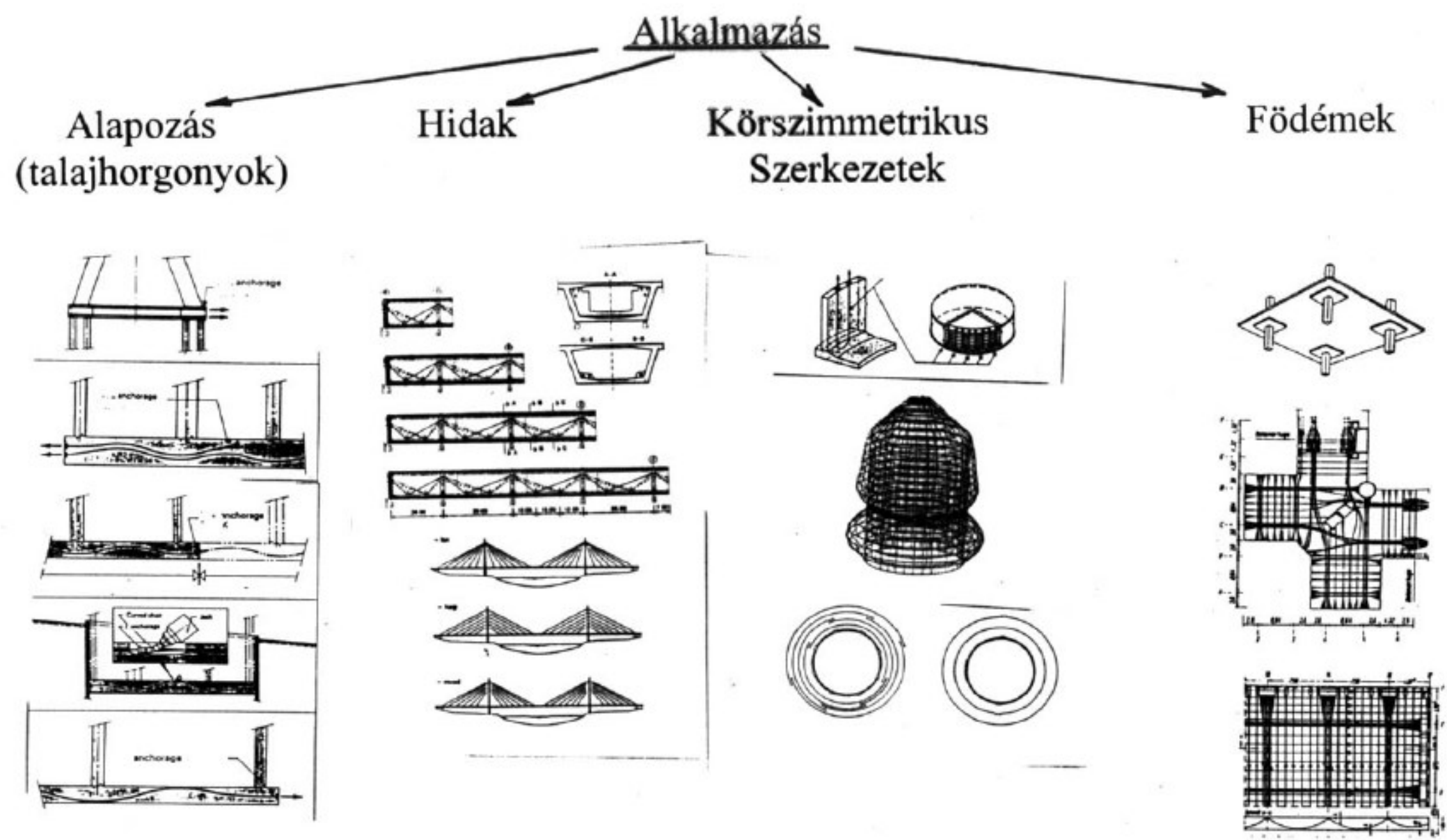
tapadósos
feszítés

ritka, koncentrált
repedéskép

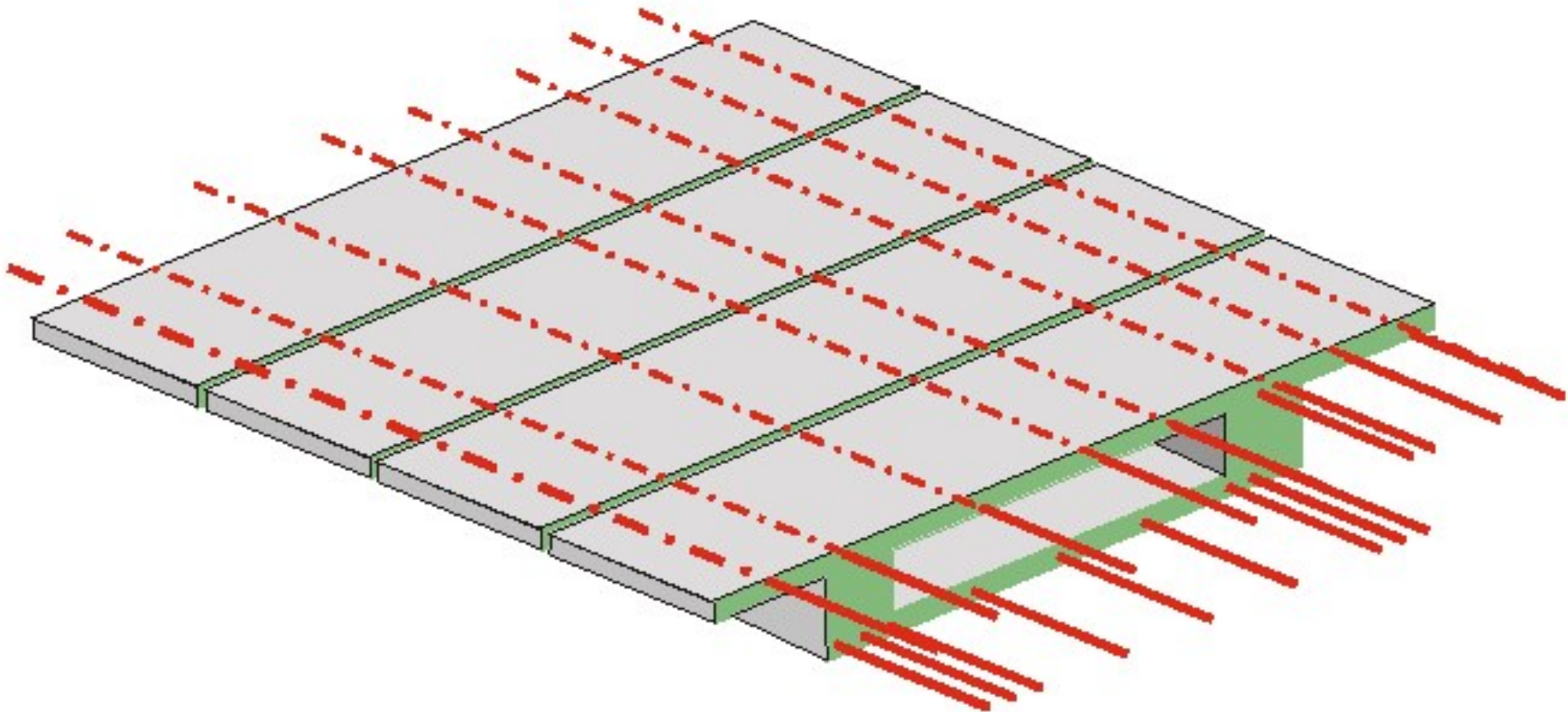


tapadásmentes
feszítés

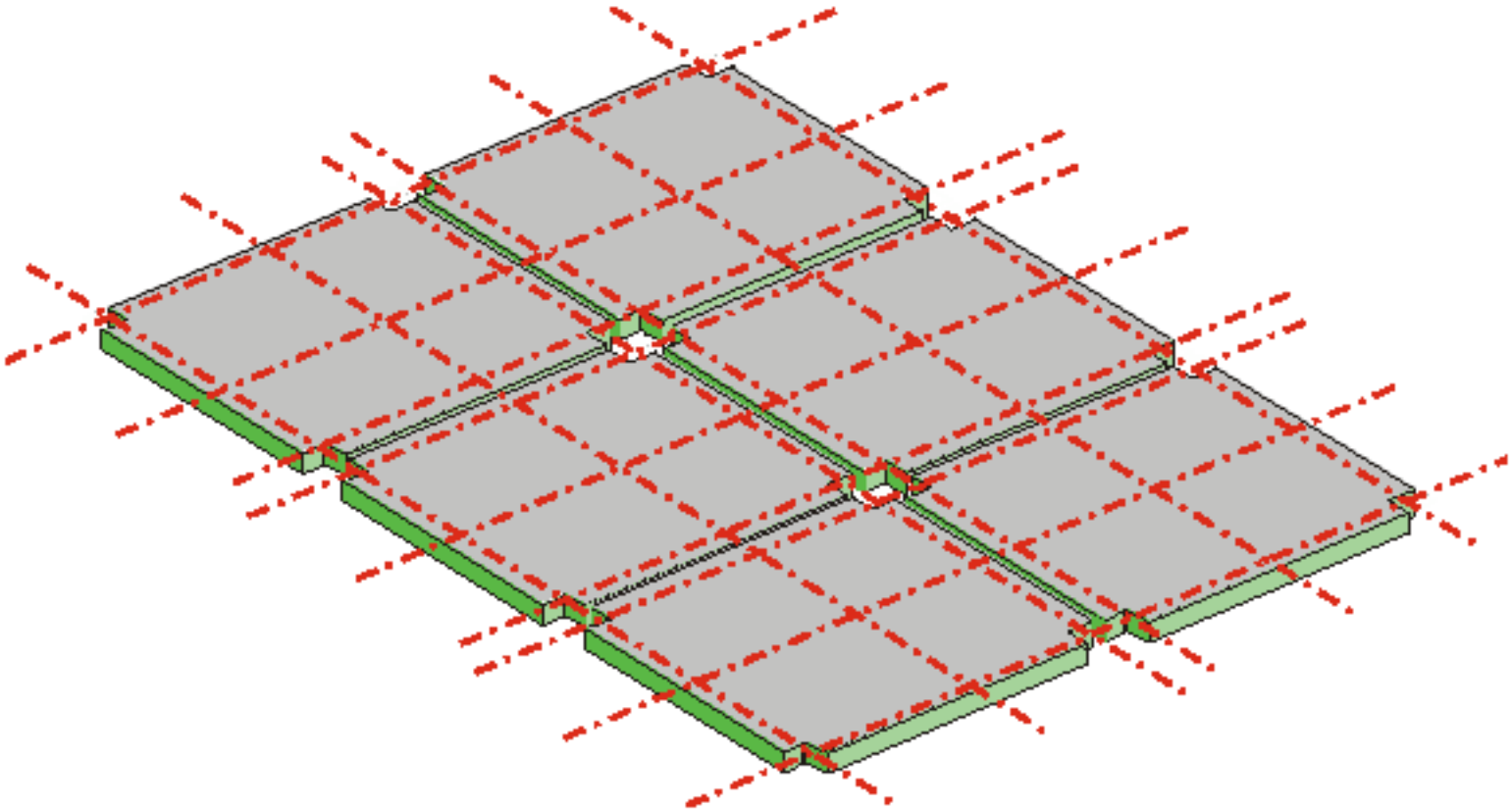
Feszített szerkezetek alkalmazása



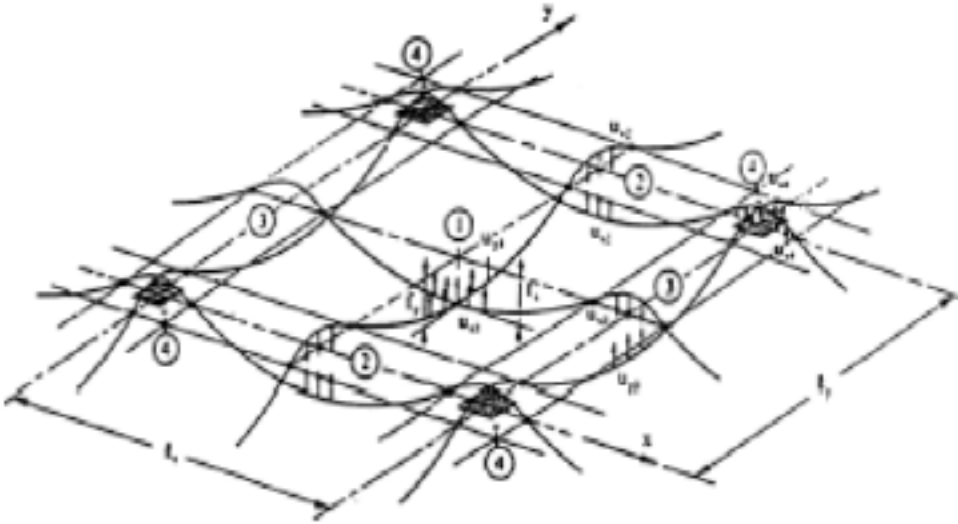
Utóeszítés alkalmazása hídepítésben



Utóeszítés alkalmazása magasépítésben

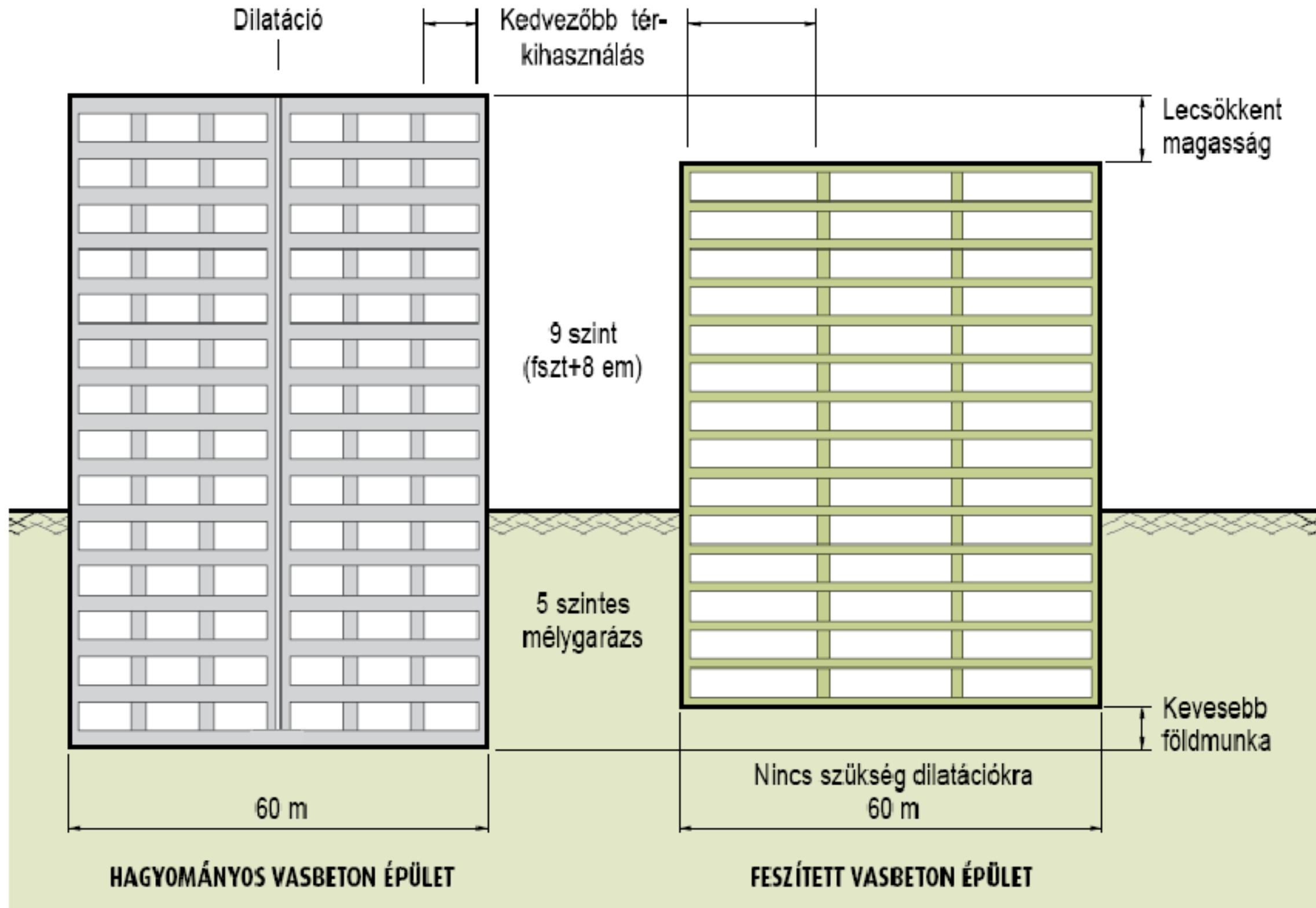


IMS rendszer



Feszített síklemez
födémek

A feszítés előnyei magas épületeknél



Feszített szerkezetek anyagai

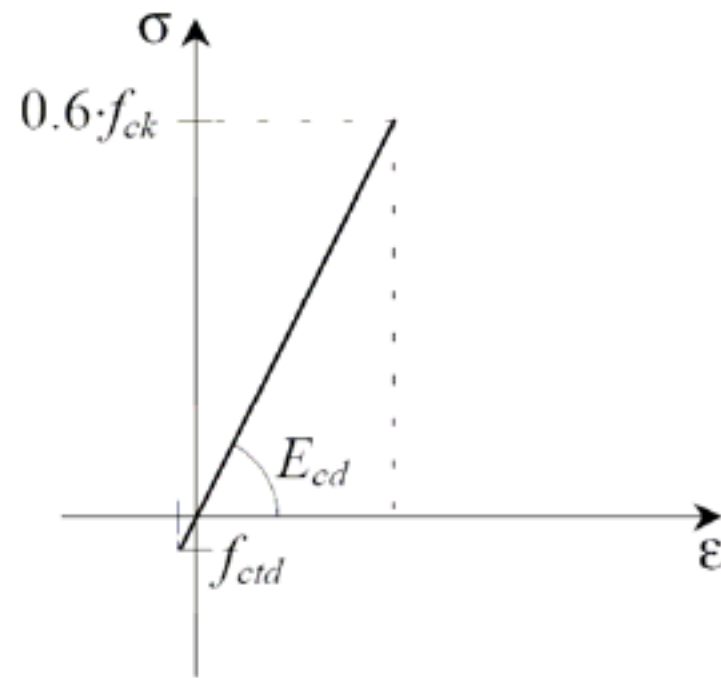
beton

Feszített vasbeton szerkezeteknél a beton nyomott zónája - a szerkezetbe vitt nyomóerőnek köszönhetően - jobban kihasználta mint a nem feszített vasbeton szerkezeteknél, ez általában nagyobb szilárdsági osztályú betonok alkalmazását teszi szükségessé.

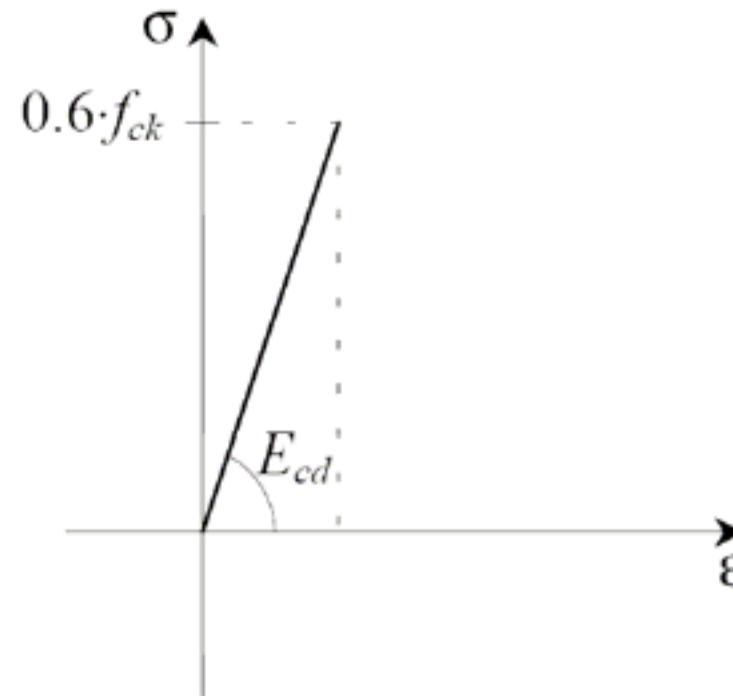
Jel		C20/25	C25/30	C30/37 ¹⁾	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck}	[N/mm ²]	20	25	30	35	40	45	50
$0.6 \cdot f_{ck}$		12	15	18	21	24	27	30
f_{ctm}		2,21	2,56	2,90	3,21	3,51	3,80	4,07
f_{ctd}		1,03	1,20	1,35	1,50	1,64	1,77	1,90
E_{cm}	[kN/mm ²]	28,8	30,5	31,9	33,3	34,5	35,7	36,8

1) előfeszített tartóknál alkalmazható legalacsonyabb szilárdsági osztály

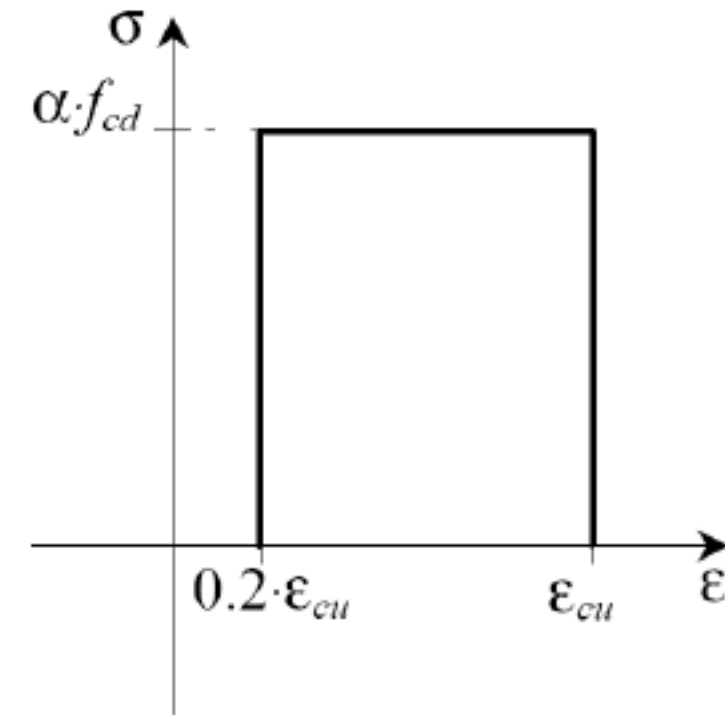
Beton anyagmodellek



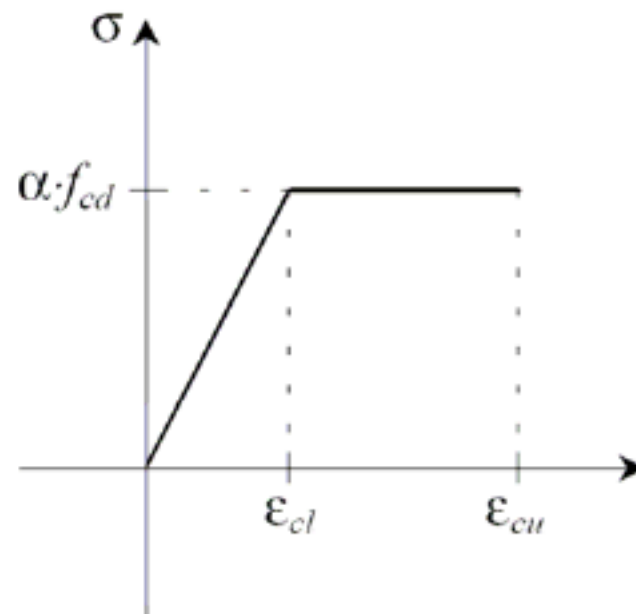
Lineáris diagram (rugalmas-repedésmentes km. számításához)



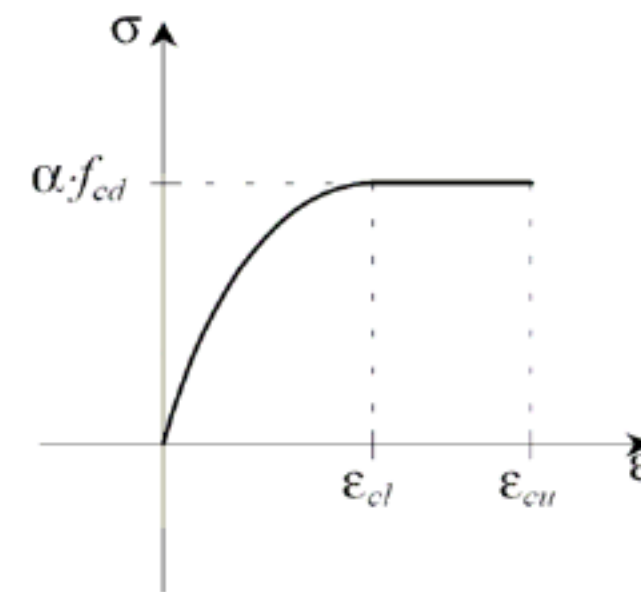
Lineáris diagram (rugalmas-berepedt km. számításához)



Téglalap alakú diagram (képlékeny számításhoz)



Bi-lineáris diagram



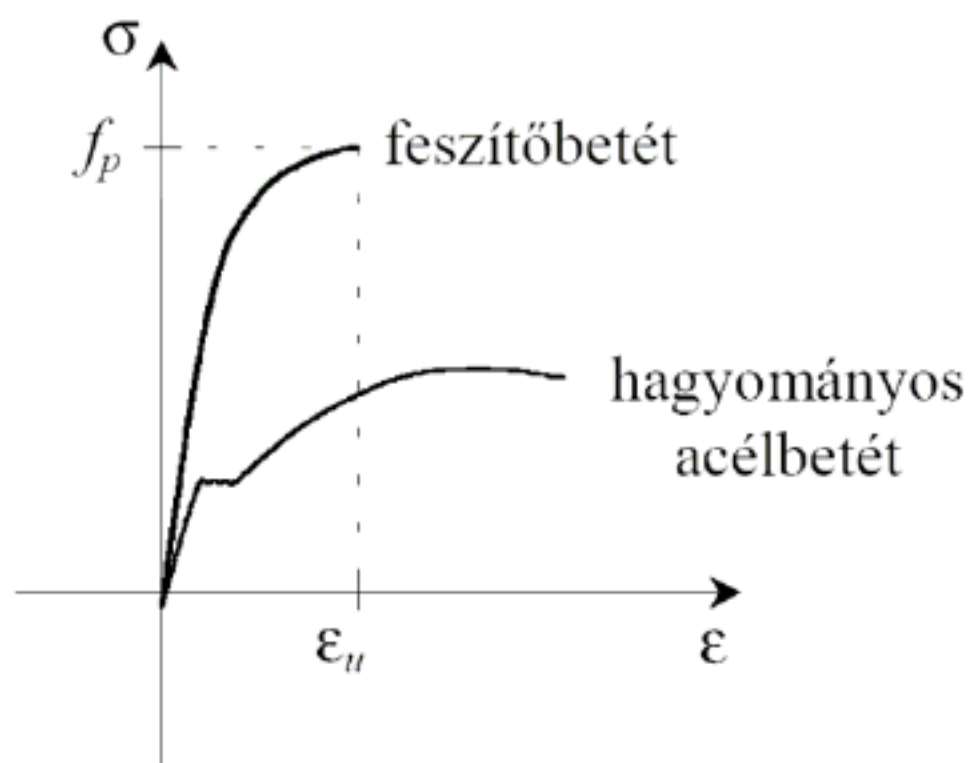
Parabola-téglalap alakú diagram

$$\sigma = \epsilon \cdot (250 \cdot \epsilon - 1) \cdot \alpha \cdot f_{cd} \quad \text{ha } 0 < \epsilon < \epsilon_{cl} \quad (\epsilon [\text{‰}])$$

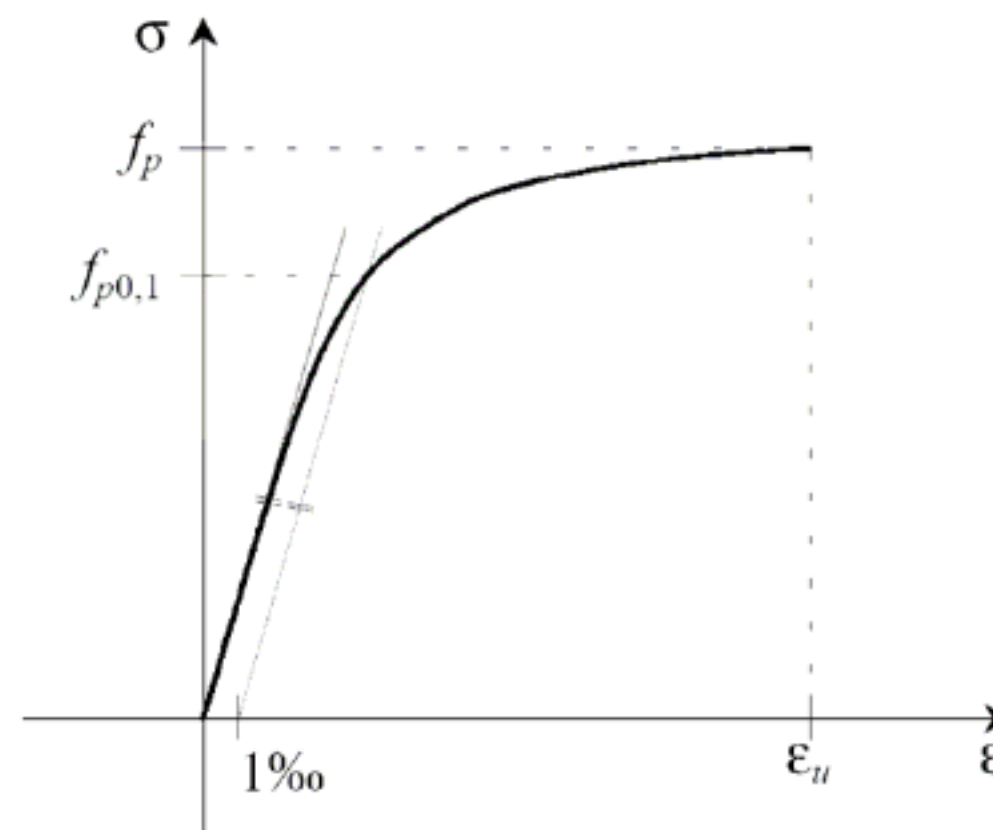
$$\sigma = \alpha \cdot f_{cd} \quad \text{ha } \epsilon_{cl} < \epsilon < \epsilon_{cu}$$

Feszítőacél

A feszítőbetétek olyan különleges betonacélok, melyekkel a feszített vasbeton tartókban a feszítőbetét előrenyújtása révén nyomási sajátfeszültségi állapotot hozunk létre. A hagyományos acélbetétekhez képest a feszítőbetétek szilárdsága jóval nagyobb, továbbá nem rendelkeznek határozott folyáshatárral.

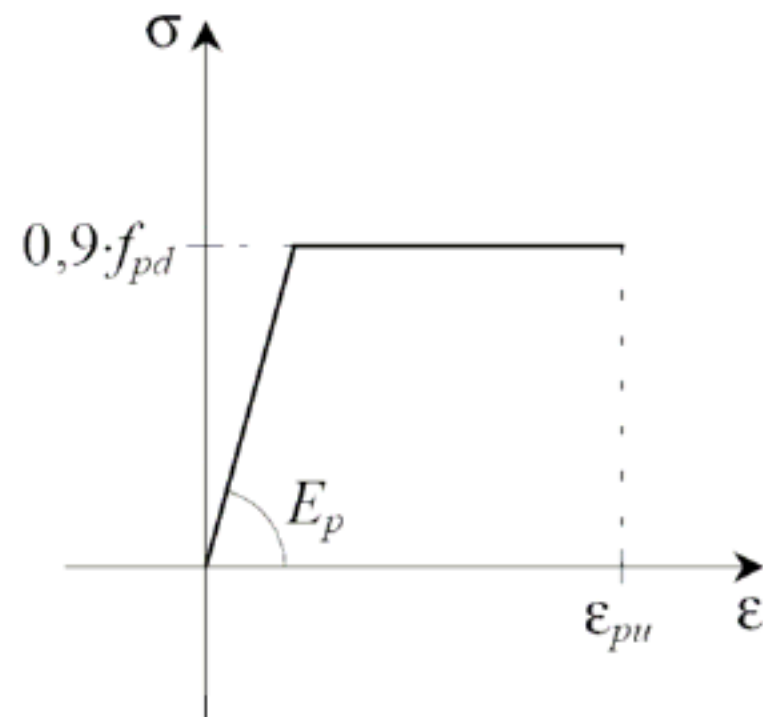


Feszítőbetétek és betonacélok σ - ϵ diagramja

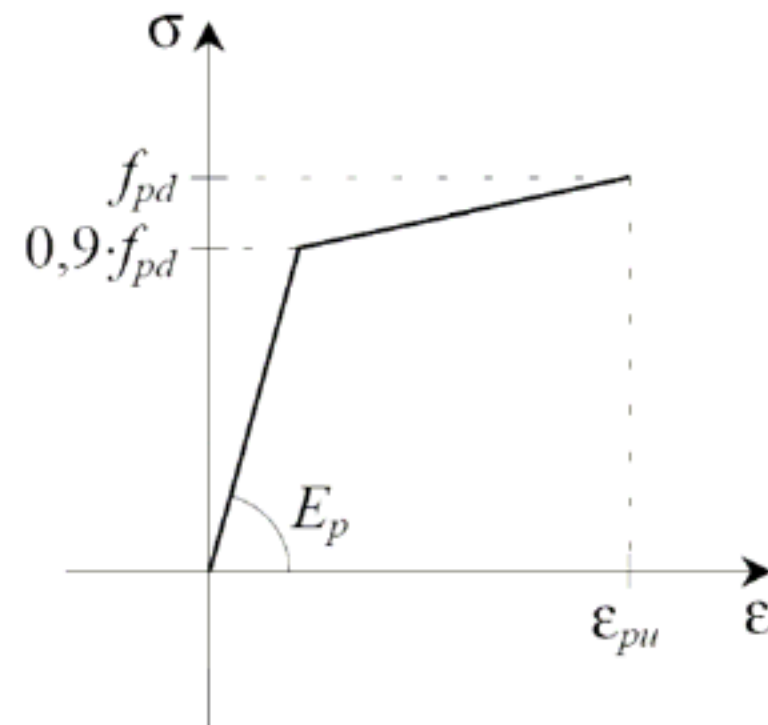


Feszítőbetétek tipikus σ - ϵ diagramja az EC2 szerint

egyszerűsített feszítőbetét σ - ε diagramok:



Rugalmas-képlékeny modell



Rugalmas-felkeményedő modell

- f_{pk} - a szakítószilárdság karakterisztikus értéke
- $f_{p0,1k}$ - az 1‰-es egyezményes folyáshatár karakterisztikus értéke
- ε_{pu} - a szakadó nyúlás tervezési értéke
- E_p - a rugalmassági modulus

A feszítőbetétek rugalmassági modulusának tervezési értéke 185 és 205 kN/mm² között változik, pontosabb adat hiányában feszítőhuzalok és melegen hengerelt, nyújtott és megeresztett feszítőrudak esetén $E_p = 205$ kN/mm², feszítőpázsma esetén $E_p = 195$ kN/mm² érték alkalmazható.

$\varepsilon_{pu} = 40$ ‰-es korlát alkalmazása javasolt. A rugalmas-felkeményedő anyagmodell alkalmazása esetén a feszítőpázsma határnyúlása $\varepsilon_{pu} = 0,9\varepsilon_{puk} = 22,5$ ‰ értékre veendő fel.

A feszítőbetétek lehetséges kialakítási módjai:

- **feszítőhuzal:**

= melegen hengerelt kör keresztmetszetű huzalból hideg húzással előállított, sima-, hullámosított-, csavart-, rovátkolt- vagy érdesített kiképzéssel

= meleg hengerléssel, s ezt követő edzéssel és nemesítéssel előállított, kör vagy ellipszis keresztmetszetű, sima vagy bordás kiképzéssel

- **feszítőrúd:**

= melegen hengerléssel előállított, sima vagy bordás kiképzéssel

= hideg nyújtással és megeresztéssel előállított, sima vagy bordás kiképzéssel

= hideg csavarással előállított, sima vagy bordás kiképzéssel

- **feszítő pászma:**

= 2,3,7 vagy több huzal összefonásával előállított feszítőbetét



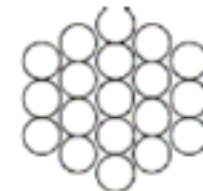
2 eres pászma



3 eres pászma



7 eres pászma

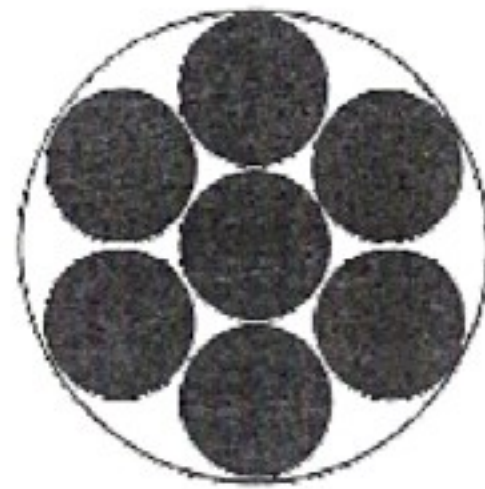


19 eres pászma

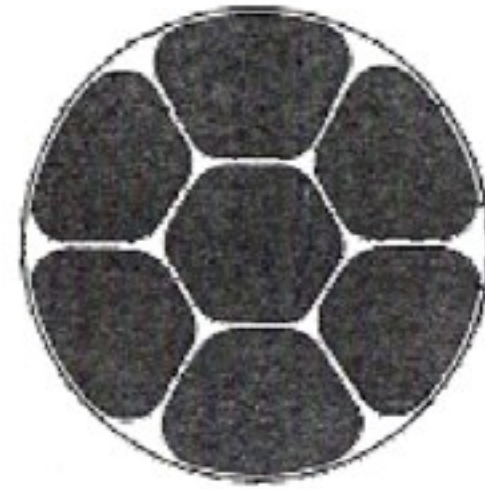
- **drótkötél:**

= több pászmaából, sodrás útján előállított feszítőbetét

A pászmakialakítás az azonos külső átmérőhöz tartozó nagyobb teherbírás érdekében lehet kompakt kialakítású.



normál



kompakt

Feszítőpázmák jellemzői (7 eres pázmák):

Jel	f_{pk} [N/mm ²]	$f_{p0,1k}$ [N/mm ²]	f_{pd} [N/mm ²]	$\sigma_{0,max}$ [N/mm ²]	ϕ [mm]	A_p [mm ²]
Fp 38/1770	1770	1500	1539	1275	8,0	38
Fp 55/1770	1770	1490	1539	1267	9,6	55
Fp 100/1770	1770	1500	1539	1275	12,9	100
Fp 150/1770	1770	1500	1539	1275	15,7	150
Fp 55/1860	1860	1580	1617	1343	9,6	55
Fp 100/1860	1860	1580	1617	1343	12,9	100
Fp 139/1860	1860	1580	1617	1343	15,2	139
Fp 150/1860	1860	1580	1617	1343	15,7	150
Fp 139/1670	1670	1415	1452	1203	15,2	139

Feszítőpászma: Fp-100/1770-R2

- 100 - 1 db pázma keresztmetszeti területe [mm²]
- 1770 - a pázma szakítószilárdságának karakterisztikus értéke [N/mm²]
- R2 - a relaxációs osztály (R2 = stabilizált, feszültség alatt megeresztett acél)

A feszítőbetétek osztályozása:

a.) szilárdsági kategória szerint (az $f_{p0,1k}$ 1‰-es egyezményes folyáshatár és az f_{pk} szakítószilárdság értékek alapján)

b.) relaxációs viselkedés szerint:

1. osztály - feszítőhuzalok és pászmák, nagy relaxáció
2. osztály - feszítőhuzalok és pászmák, kis relaxáció
3. osztály - feszítőrudak

c.) méret szerint

d.) felületi jellemzők szerint (sima, hullámosított, csavart, rovátkolt, érdesített, bordás, stb.)

A feszítőbetétek **erőátadódási (lehorgonyzási) hossza**: $l_{bp} = \beta_b \cdot \phi$ ahol ϕ a pászma helyettesítő átmérője, β_b értékeit az alábbi táblázat tartalmazza:

Beton	C25	C30	C35	C40	C45	C50
β_b	75	70	65	60	55	50

Az erőátadódási hossz tervezési értéke: $l_{bpd} = \begin{cases} 0,8 \cdot l_{bp} \\ 1,2 \cdot l_{bp} \end{cases}$ (kedvezőtlenebb)

(megj.: feszítéskor (t_1) valamint végleges állapotban (t_3) a beton szilárdságának változása miatt az erőátadódási hossz is változik)

Felhasznált irodalom:

Koris K. „*ELŐFESZÍTETT VASBETON TARTÓ TERVEZÉSE AZ EUROCODE SZERINT*”, BME oktatási segédlet v1.14, 2009.

Koris K., Péczely A. „*ELŐFESZÍTETT VASBETON TARTÓ TERVEZÉSE AZ EUROCODE SZERINT*”, BME oktatási segédlet v2.4, 2000.

Szalai K. „Beton-(vasbeton- és feszített vasbeton) szerkezeti elemek vizsgálata Eurocode (ENV) szerint”, BME jegyzet, 2005.

„Utófeszített lemezek”, Pannon-Freyssinet katalógus

Bölcskei E., Tassi G. „Feszített tartók”, Budapest, 1970.

Farkas, Huszár, Kovács, Szalai „Betonszerkezetek méretezése az EUROCODE alapján”, Budapest, 2006.