

Szerkezetépítés I.

Feszített szerkezetek

2013.02.08.

Szerkezetépítés I.

- Tárgyfelelős : Szép János D410
 - www.sze.hu/~szej
 - email : szej@sze.hu
 - Konzultációs időpont : Hétfő : 10⁴⁵-12¹⁵ D410
- Gyakorlatvezető : Fehér Zoltán D410
- Előadás : Péntek 11⁴⁰-13¹⁰
- Gyakorlat : Csütörtök 8⁰⁰-9³⁰ (kéthetente)

Nem Feszített Vasbeton Szerkezetek

- Beton
 - Nagy nyomószilárdság
 - Kis húzószilárdság
- Vasbeton:
 - Nyomás – beton
 - Húzás – acélbetét
 - Terhelés hatására a tartó megreped
repedéstágasság

Nem Feszített Vasbeton Szerkezetek

- Vasbeton:

Nem használható ki:

A beton keresztmetszet egy része

Nagy szilárdságú betonacélok

Nagy (acél)szilárdság kihasználásához
nagy nyúlások tartoz(ná)nak

Feszített Vasbeton Szerkezetek

- Feszítés célja:
 - A beton km jobb kihasználása
 - A betonban keletkező húzófeszültségek csökkentése, kiiktatása
- „külső” nyomóerő működtetése a tartóra

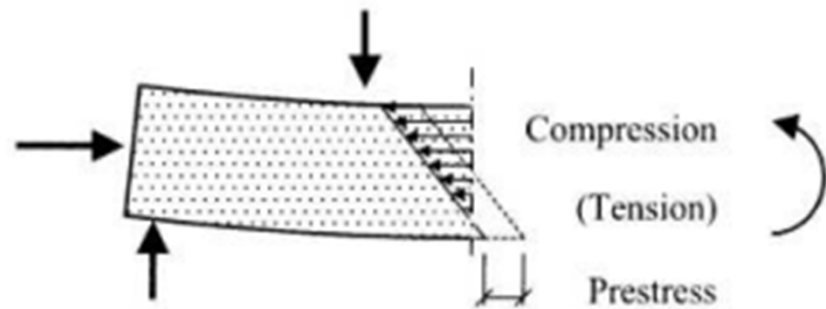
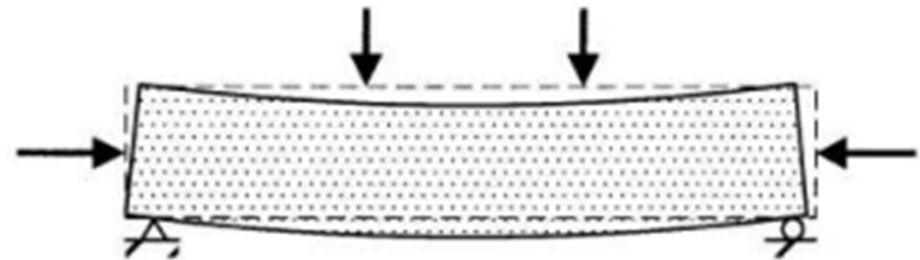
Feszített Vasbeton Szerkezetek

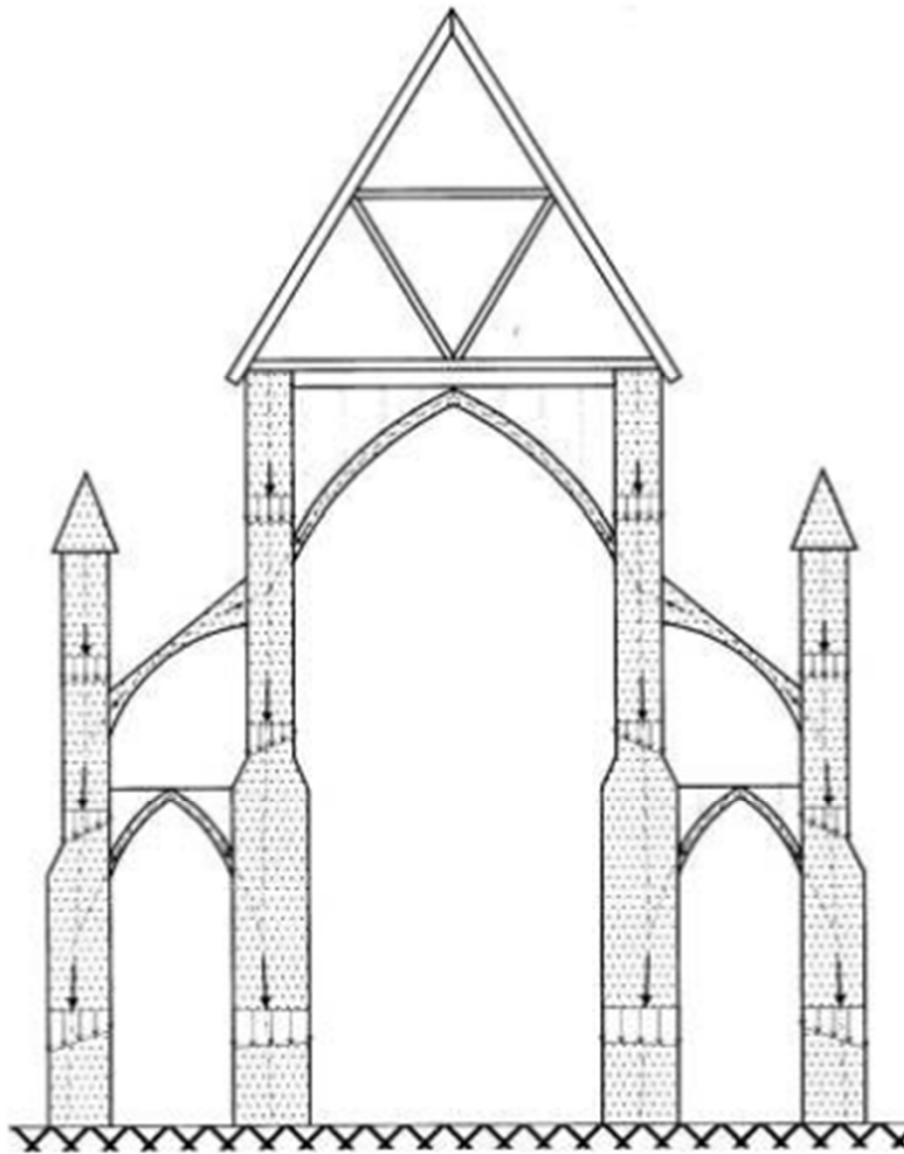
- Az olyan szerkezetek amelyek anyagának húzószilárdsága zérus, hajlítást nem tudnak felvenni. (hajlítónyomaték – húzófeszültség)
- Ha a hajlítónyomatékkal együtt nyomóerő is hat a km-re akkor a hajlítás és a nyomás együttesen a km-en belül mindenhol nyomást eredményezhetnek.
 - boltváll feletti leterhelő falazat
 - Gótikus katedrális támpillér felette szobor - leterhelés



Probléma: egyes építőanyagok húzószilárdsága kicsiny, ezért se húzást, se hajlítást nem tudnak felvenni.

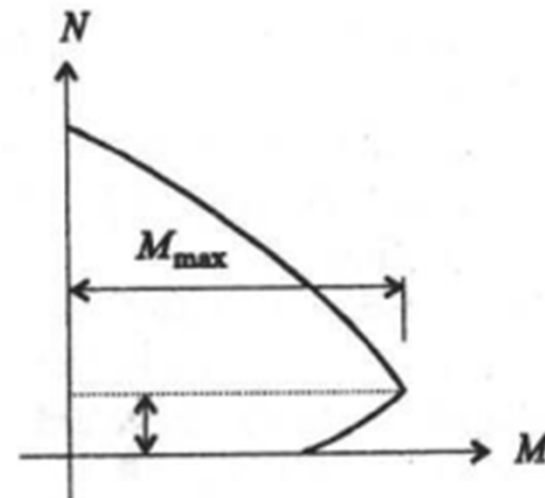
Ötlet: nyomófeszültségek alkalmazásával (feszítés) a húzófeszültségek csökkennek, vagy akár teljesen el is tűnnek.





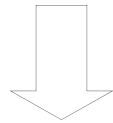
Ez a történeti építészetben is megjelenik, például a gótikus katedrálisok fiatornyai szükségesek a szerkezet állékonyságához. (Erről még a XIX. században is komoly vita folyt!)

Külpontosan nyomott vb. oszlopoknál a nyomóerő növelése a nyomatéki teherbírás növekedését eredményezi:

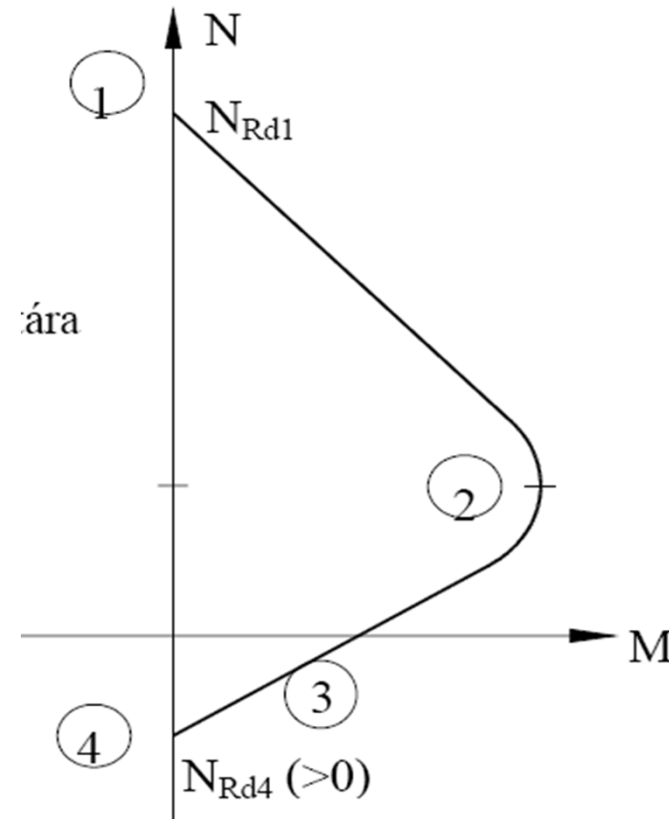


A Feszítés Alapgondolata

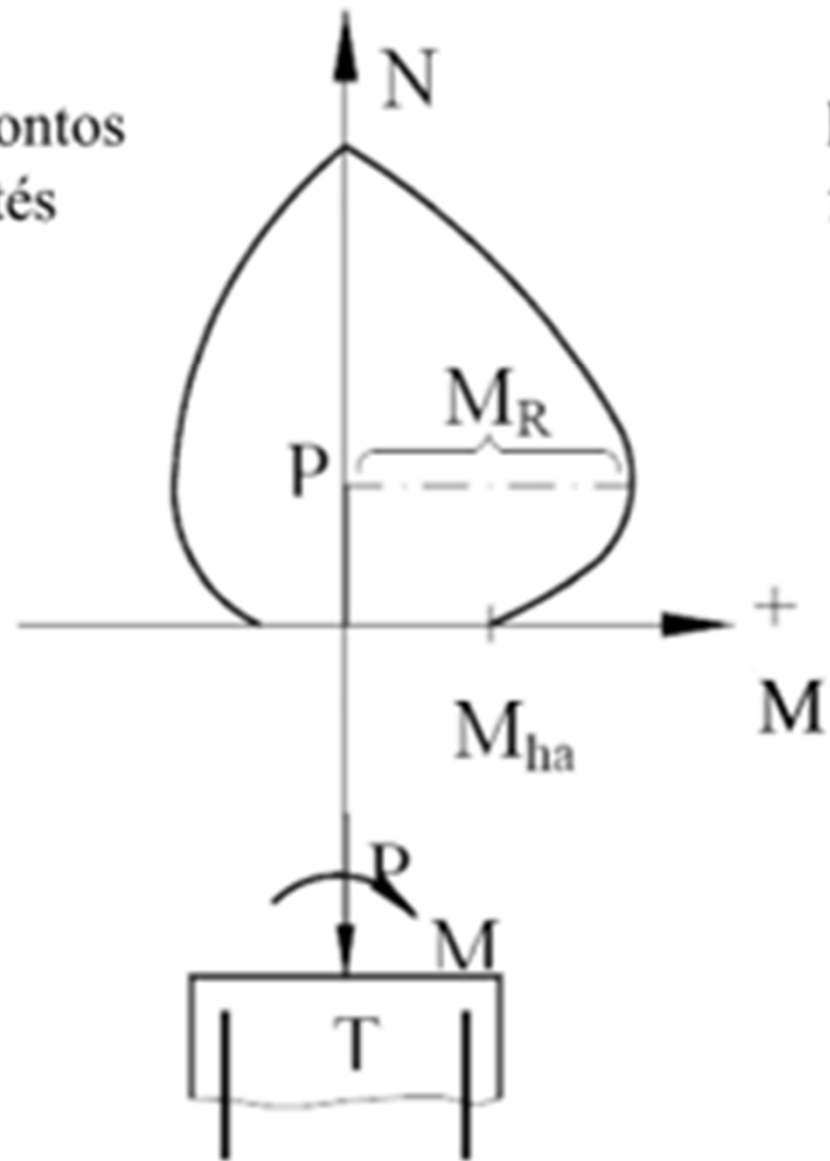
nyomatéki
teherbírás nő ha a
keresztmetszetet
bizonyos nagyságú
nyomóerő terheli.



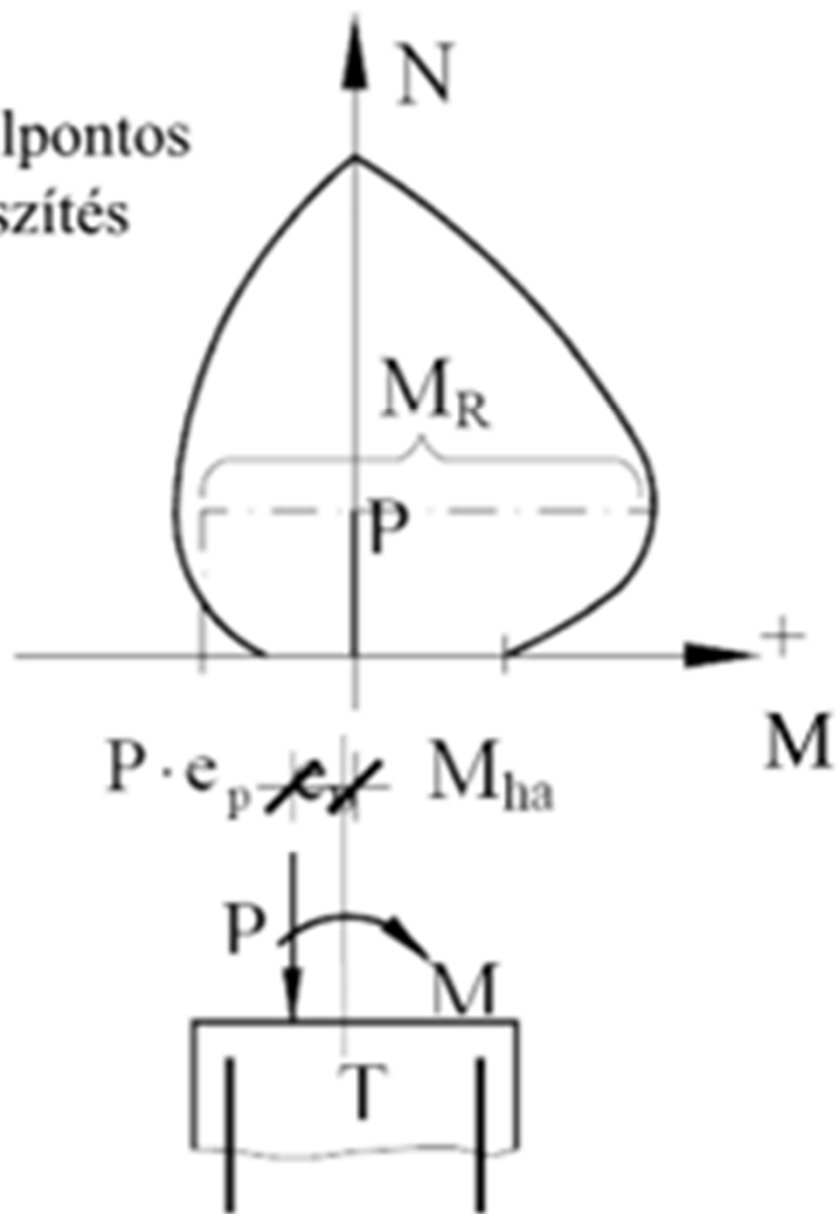
a külső nyomóerő
jelenléte sok
esetben növeli a
tartó teherbírását



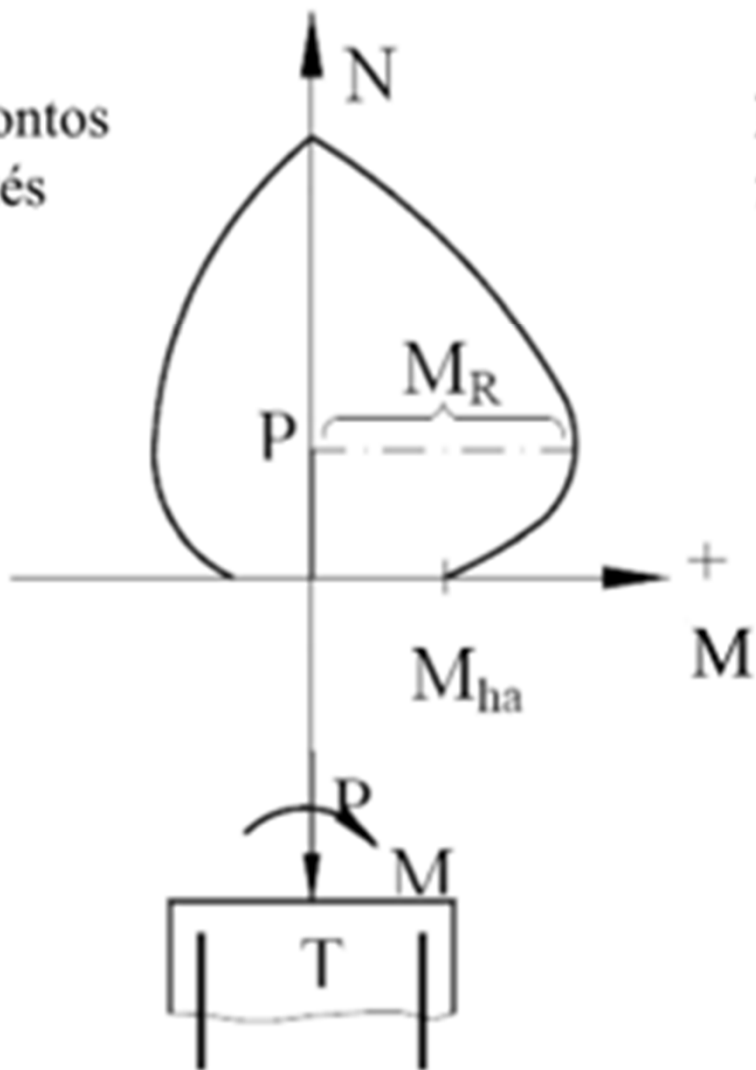
központos
feszítés



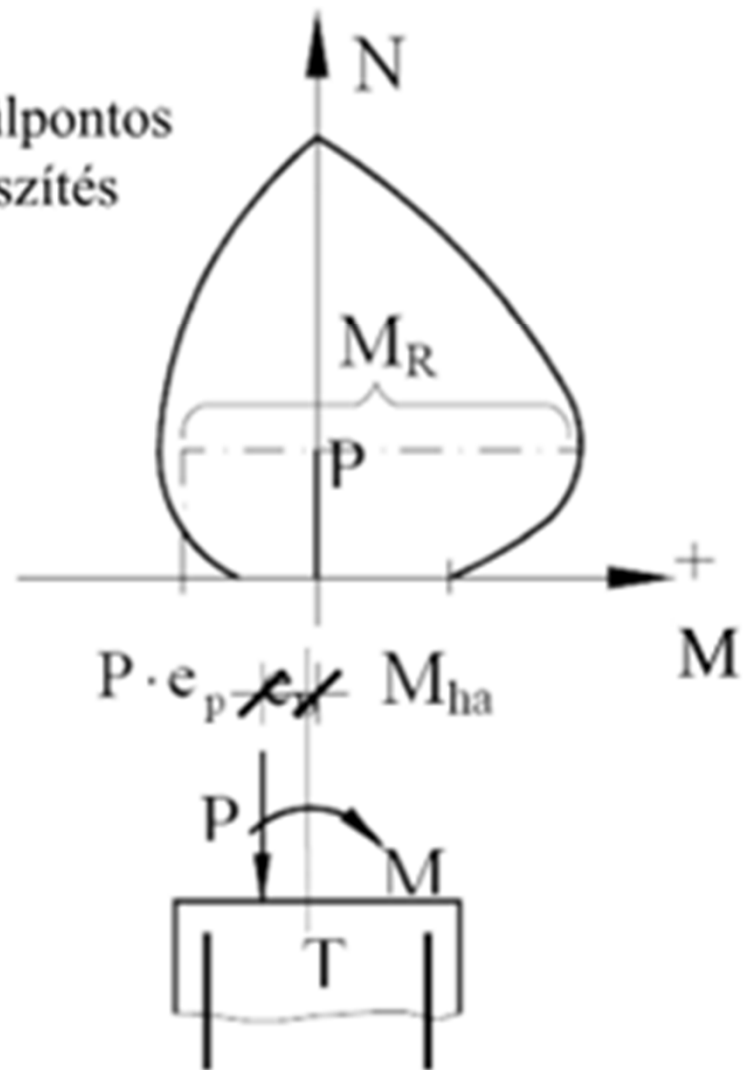
külpontos
feszítés



központos
feszítés



külpontos
feszítés

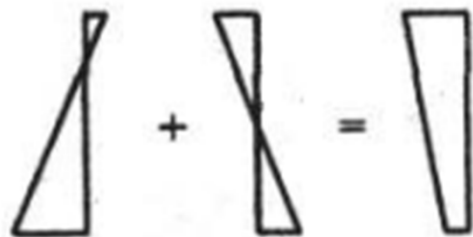
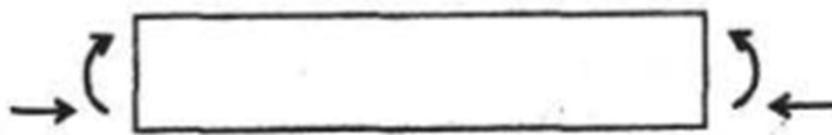
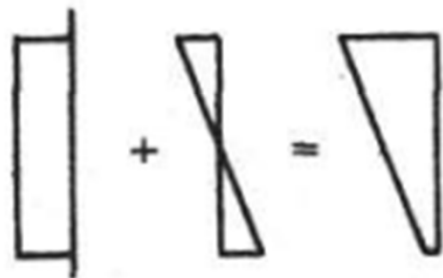
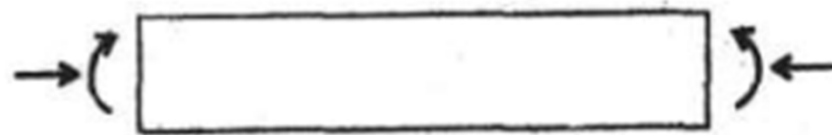


A Feszítés Alapgondolata

- A feszítés nem külső erő!
- A feszítés a km-ben belül létrehozott
 - „saját-feszültségállapot”.
- „saját-feszültségállapot”: a szerkezetben terheletlen állapotban is vannak feszültségek

- a külső terhek által keltett beton-húzófeszültségekre nyomófeszültségek halmozódnak, ezáltal a feszített szerkezet a feszítetlennél jóval nagyobb terheket képes repedésmentesen elviselni,
- az acélbetétekben a terhekből keletkező feszültségekhez húzófeszültség adódik, így lehetővé válik a nagyszilárdságú acélbetétek magas szilárdságának a kihasználása.

Központos feszítés



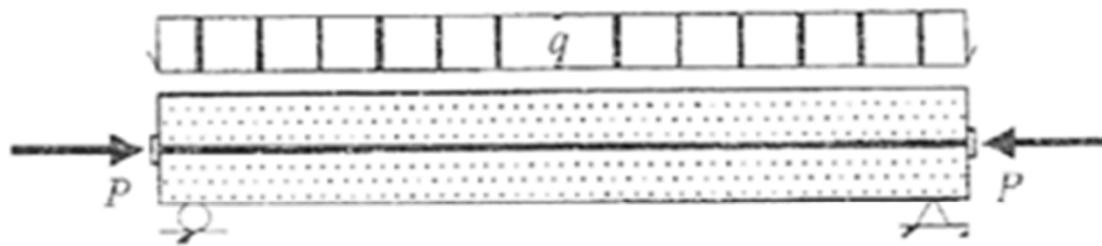
Külponos feszítés

A feszítés nem külső erő, ún. *sajátfeszültség-állapot*. Vasbeton szerkezeteknél az acélbetétek megnyújtásával a beton összenyomódását idézzük elő.

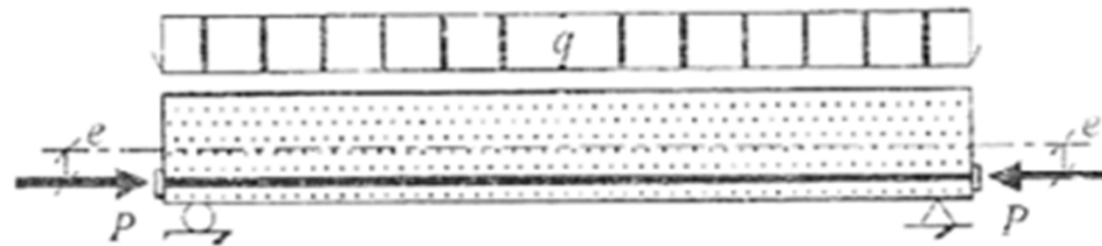
Ha a külső teher iránya nem egyértelmű (pl: oszlopok), akkor érdemes központosan feszíteni, egyértelmű irány esetén (pl: gerendák), azonban külponos feszítést alkalmazunk.

A feszítés hatása a normálfeszültségek eloszlására

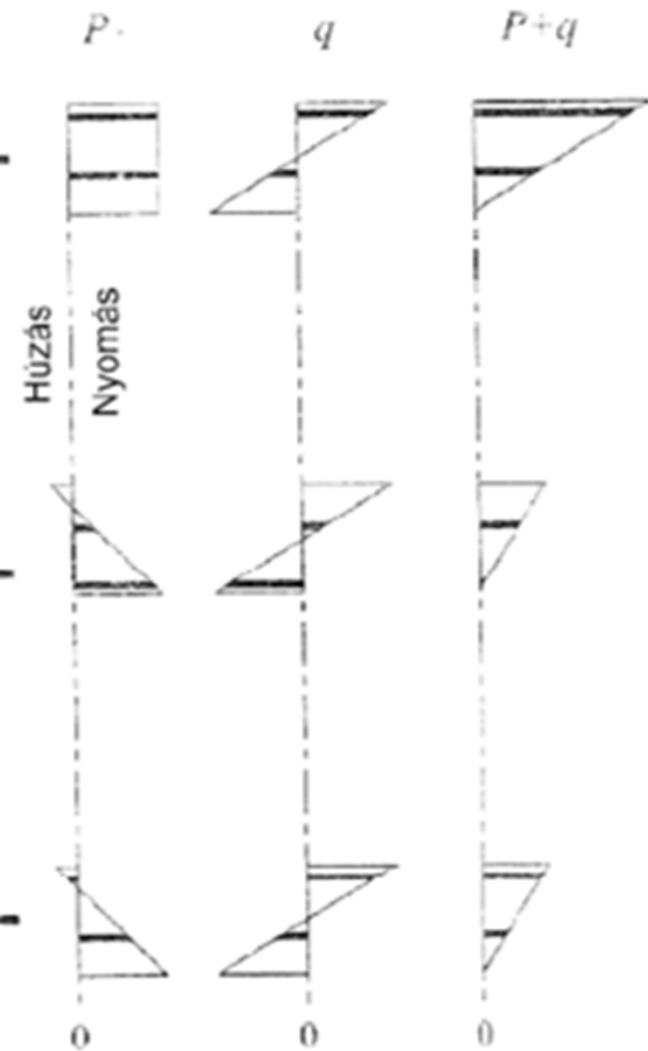
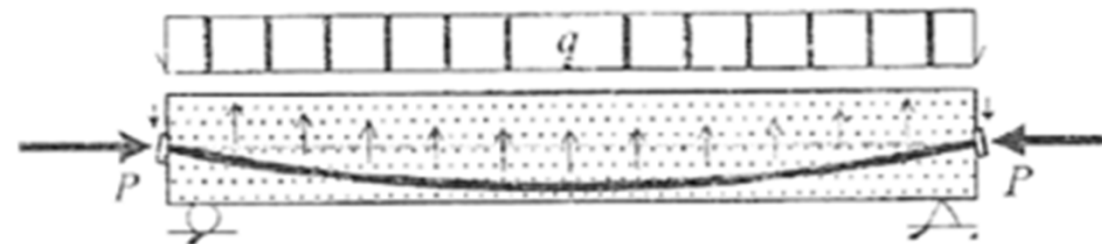
a) Központos normálerő hatása



b) Kültpontos normálerő hatása



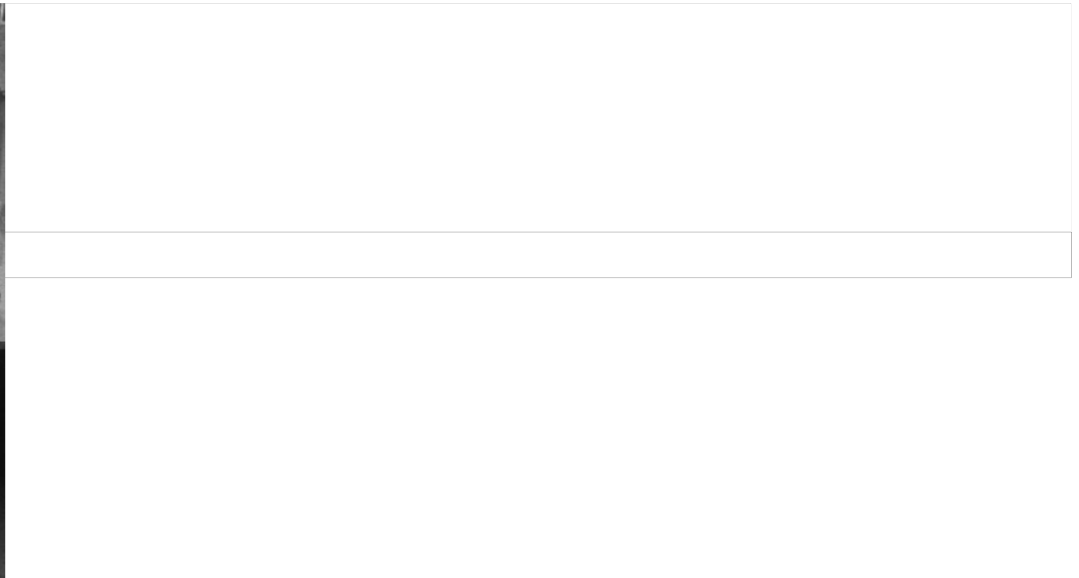
c) Központos normálerő íves kábelkialakítással

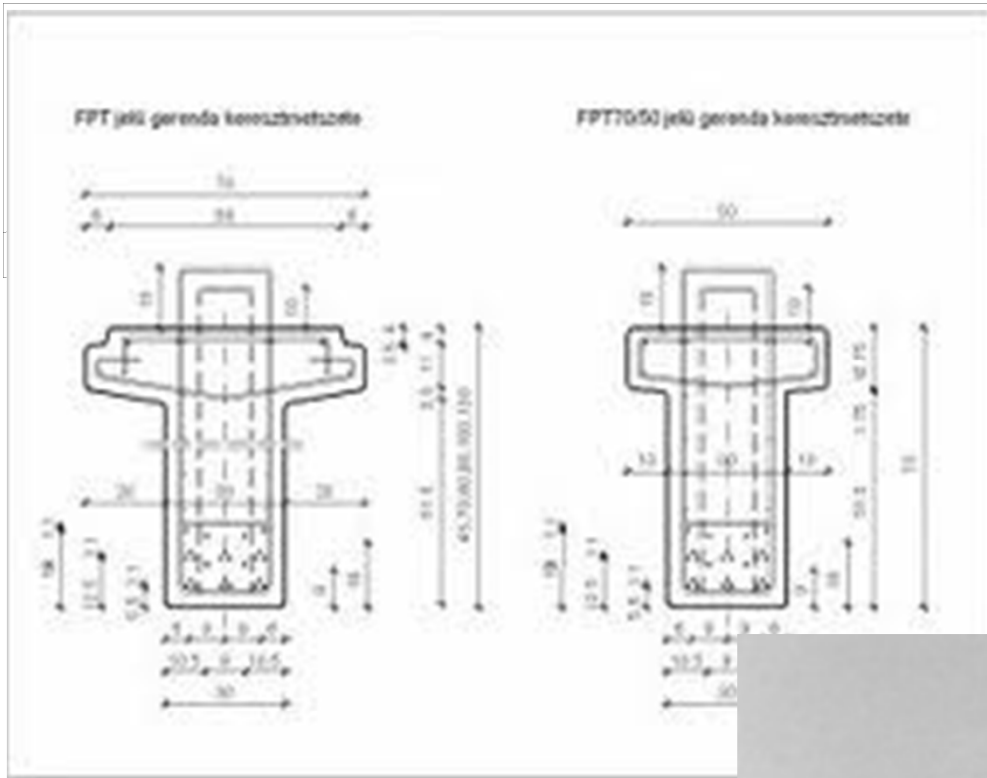












Feszített Vasbeton Szerkezetek

A feszítés a keresztmetszeten belül létrehozott „saját-feszültségállapot”.

A vasbeton szerkezetekben úgy tudunk létrehozni saját-feszültségállapotot, hogy a behelyezett acélt megfeszítjük, ez az acél megnyúlását és a beton összenyomódását eredményezi. Erre a feszültségállapotra szuperponáljuk a tartó hajlításból származó feszültségeit.

Mindezekből azt gondolhatnánk, hogy a vasbeton tartószerkezetek teherbírását az acélbetétek megfeszítése növeli.

EZ AZONBAN (általában) NEM ÍGY VAN!

Feszített Vasbeton Szerkezetek

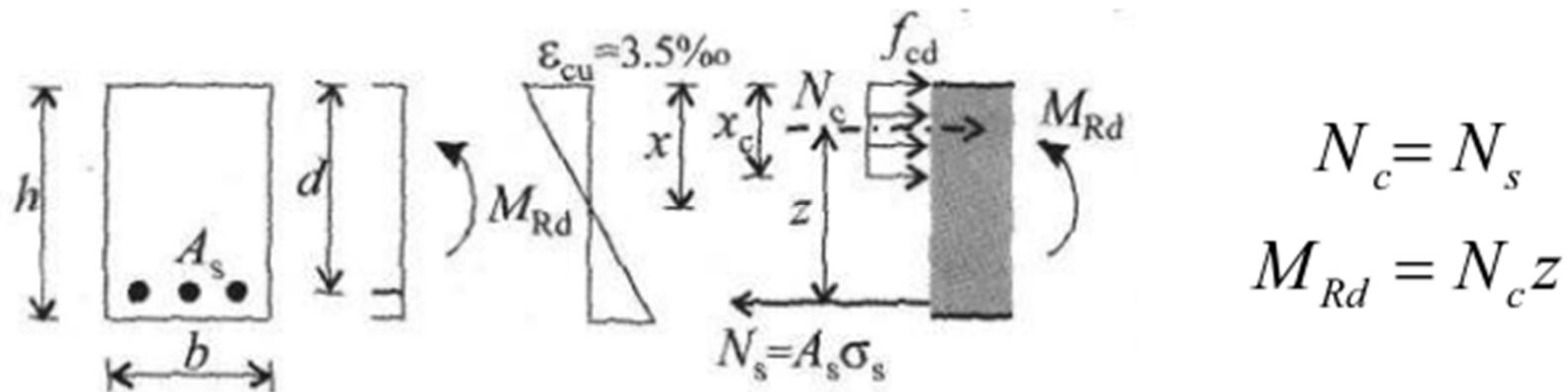
- A vb. szerkezetek teherbírását az acélbetétek megfeszítése (általában) nem növeli meg. Miért?
- Teherbírás meghatározása képlékeny alapon
- Normálisan vasalt tartó hajlítási teherbírása, függ:
 - az acélbetét folyási feszültségétől,
 - Az acélbetétek km-i területétől
 - belső erők karjától

$$M_{Rd} = z \cdot A_s \cdot f_{yd}$$

Feszített tartó esetén ugyanez a helyzet:

$$M_{Rd} = z \cdot A_s^p \cdot f_{yd}^p$$

A feszítés a vasbetonszerkezetek teherbírását tipikusan NEM növeli. Ennek oka, hogy a feszítés nélküli vasbetont is képlékeny alapon méretezzük:



Feszítés esetén az acélbetétben ugyanúgy folyási feszültség ébred, mint feszítés nélkül, azaz csak az z erőkar változása okozhat kisebb, néhány százalékos eltérést! (Bilineáris acél anyagtvény esetén N_s is eltérhet kis mértékben).

Feszített Vasbeton Szerkezetek

- A vasbeton tartószerkezetek feszítésének az oka:
 - a tartó repedésmentességének biztosítása ill. a repedéstágasság csökkentése
 - a lehajlások, alakváltozások csökkentése
- A tartó méreteit gyakran nem a teherbírás kimerülése, hanem a lehajlás vagy a repedéskorlátozás határozza meg, ezért a feszítés alkalmazásával vékonyabb karcsúbb szerkezetek készíthetők, mint feszítés nélkül.
- Repedésmentes tartó kialakításával a folyadékzárás is biztosítható, → a költséges szigetelés elhagyható

A feszítés előnyei

Repedések:

- repedésmentesség elérhető,
- vagy tetszőleges előre megadott mértékre korlátozhatók,
- tehermentesítés után a repedések záródnak.

A feszítés előnyei

- karcsúbb szerkezetek alakíthatók ki
- a tartó önsúlya ~10-15%-al csökkenthető.
- az acél tömege csökkenthető ~40-60%-al, nagy szilárdságú acélok alkalmazása miatt
- A beton teljes vagy csaknem teljes km-e, részt vesz a teherviselésben, → nagyobb szilárdágú beton, kisebb önsúly.
- Alakváltozás (lehajlás) jelentősen kisebb ~60-70 %-al

A feszítés előnyei

- nagyobb fesztávok áthidalhatók
- nyírási teherbírás nő
- Feszítéskor tulajdonképpen anyagvizsgálatot is végzünk, mert a szerkezetben a feszítőerő ráengedésekor lépnek fel a legnagyobb feszültségek.
- Az acélban a hasznos teher hatására fellépő feszültség a folyási határhoz viszonyítva igen kis mértékben változik, ez az ismételt és dinamikus terhek szempontjából előnyös

A feszítés hátrányai:

- bonyolultabb technológia szükséges a feszítés végrehajtásához,
- nagyobb szakértelem, bonyolultabb felszerelés szükséges a szerkezetek kialakításához
- plasztikus tartalékok kisebbek
- számítása bonyolultabb (számítógépes programok)

A feszítés hátrányai:

- építési költség (egységnyi tömegre vonatkoztatva drágább)
- ridegtörés veszélye fennáll, a tartón a törést okozó teher viszonylag nagy hányadáig repedésmentes ill. a feszítőpászma szakadónyúlása a betonacélénál kisebb (egy részét a feszítés felemésztí)

Felhasznált anyagok:

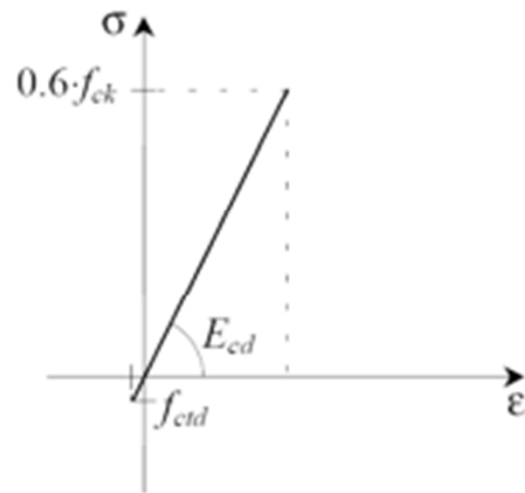
- Beton is nagyszilárdságú legyen min C25/30 de inkább C35/45 C40/50:
 - nagyobb az E_{eff} alakváltozási tényező
 - kisebb a kúszása
 - alkalmasabb helyi igénybevételek felvételére
 - nagyobb a nyomott betonöv (nyomóerő van a szerkezetben) nagyobb a betonrész nyomatéki teherbírása → nagyobb a tartó merevsége → kisebb a tartó lehajlása és nagyobb a beton által felvehető nyíróerő nagysága

Beton:

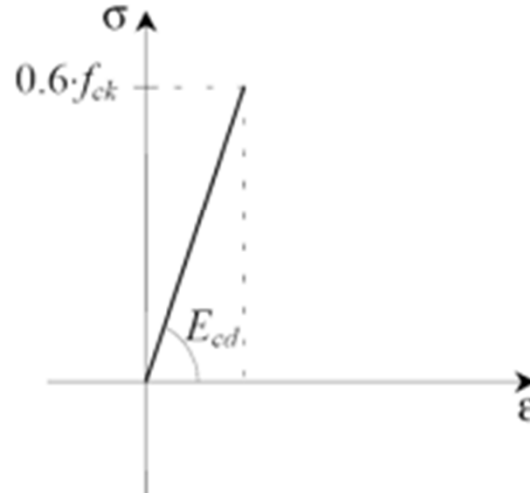
Jel		C20/25	C25/30	C30/37 ¹⁾	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck}	[N/mm ²]	20	25	30	35	40	45	50
$0.6 \cdot f_{ck}$		12	15	18	21	24	27	30
f_{ctm}		2,21	2,56	2,90	3,21	3,51	3,80	4,07
f_{ctd}		1,03	1,20	1,35	1,50	1,64	1,77	1,90
E_{cm}	[kN/mm ²]	28,8	30,5	31,9	33,3	34,5	35,7	36,8

1) előfeszített tartóknál alkalmazható legalacsonyabb szilárdsági osztály

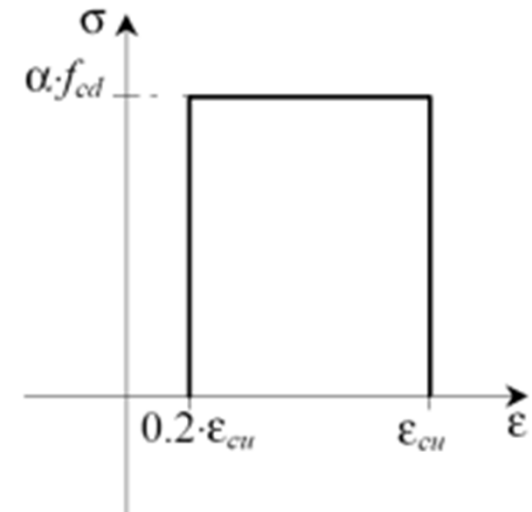
Beton anyagmodellek



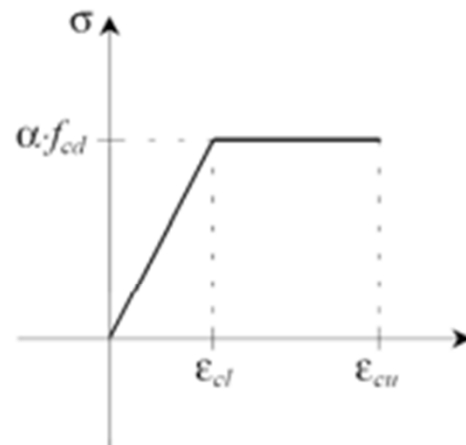
Lineáris diagram (rugalmas-repedésmentes km. számításához)



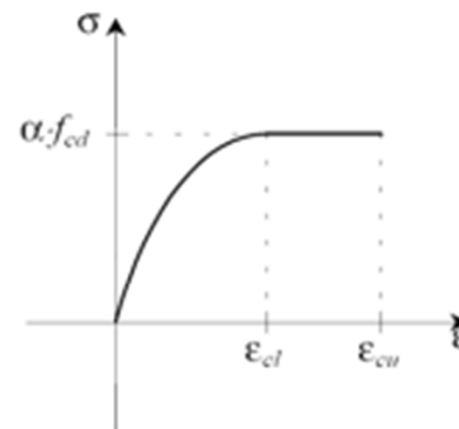
Lineáris diagram (rugalmas-berepedt km. számításához)



Téglalap alakú diagram (képlékeny számításhoz)



Bi-lineáris diagram



Parabola-téglalap alakú diagram

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

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



huzal

feszítőrúd



pászma

kábel

A feszítéshez nagyszilárdságú acélt használunk: rugalmassági modulusa (195 GPa) közel azonos a normál betonacél rugalmassági modulusával (205-210 GPa), ezért jelentős nyúlások tartoznak a nagy szilárdsághoz. Azaz feszítés nélkül csak jelentős repedések kialakulása mellett tudnánk kihasználni a betét szilárdságát!

A normál betonacélnál a veszteségek az előfeszültség nagy részét felemésztik. (Ez okozta a feszített tartók kifejlesztésének nehézségét! Az ötlet már az 1880-as években felmerült, de az első működő megoldást – nagyszilárdságú acél alkalmazásával - Freyssinet csak 1928-ban szabadalmaztatta)

huzal

- $E_p = 205 \text{ kN/mm}^2$
- Szakadási nyúlás
($L_0 \geq 100 \text{ mm}$), min. 3,5 %.
- Maximum relaxáció 1000 óránál:
70% Fm: 2,5 %
80% Fm: 4,5 %
- Kifáradási határ $0,7 F_m > 2 \times 10^6$ ciklus

Átmérő	Szakító szilárdság	Keresztmetszet	Folyómétersúly	Minimális szakítóerő	Maximális szakítóerő	0,1 %-os folyási határ
(mm)	(Mpa)	(mm ²)	(g/m)	(kN)	(kN)	(kN)
6,9	1860	29,0	226,5	53,9	62,0	46,4
9,3	1770	52,0	406,1	92,0	106,0	79,1
	1860			96,7	111,0	83,2
9,6	1770	55,0	429,6	97,4	112,0	83,8
11,0	1770	70,0	546,7	124,0	143,0	107,0
12,5	1770	93,0	726,3	165,0	190,0	142,0
	1860			173,0	199,0	149,0
12,9	1770	100,0	781,0	177,0	204,0	152,0
	1860			186,0	214,0	160,0
15,2	1770	139,0	1086,0	246,0	283,0	212,0
	1860			259,0	298,0	223,0
15,7	1770	150,0	1172,0	266,0	306,0	229,0
	1860			279,0	321,0	240,0

Névleges átmérő	Névleges szakítószilárdság	Névleges keresztmetszet	Névleges folyómétersúly	Szakítóerő	Maximális szakítóerő	0,1 %-os folyási határ	Hajtogatás	Bordamélység
(mm)	(Mpa)	(mm ²)	(g/m)	(kN)	(kN)	(kN)	R= min	(mm)
4,0	1670	12,6	98,4 ± 2 %	21,0	24,2	18,5	10	0,10 ± 0,03
	1770			22,3	25,6	19,6		
5,0	1670	19,6	153,1 ± 2 %	32,7	37,6	28,8	15	
	1770			34,7	39,9	30,5		
6,0	1670	28,3	221,0 ± 2 %	47,3	54,4	41,6	15	0,12 ± 0,04
	1770			50,1	57,6	44,1		
7,0	1670	38,5	300,7 ± 2 %	64,3	73,9	56,6	20	
	1770			68,1	78,3	59,9		

pászma



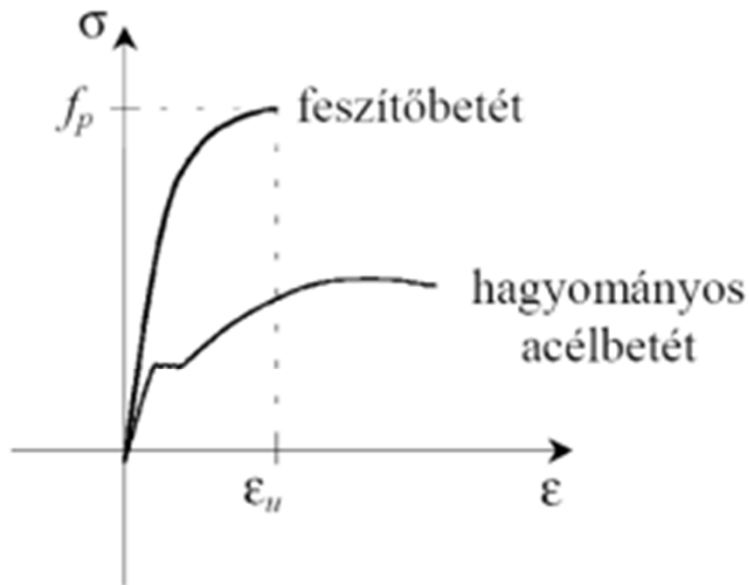
- $E_p = 195 \pm 10 \text{ kN/mm}^2$
- Minimális szakadási nyúlás
($L_0 = 600 \text{ mm}$), min. 3,5 %.
- Maximum relaxáció 1000 óránál:
70% Fm: 2,5 %
80% Fm: 4,5 %
- Kifáradási határ $0,7 F_m > 2 \times 10^6$ ciklus

Felhasznált anyagok:

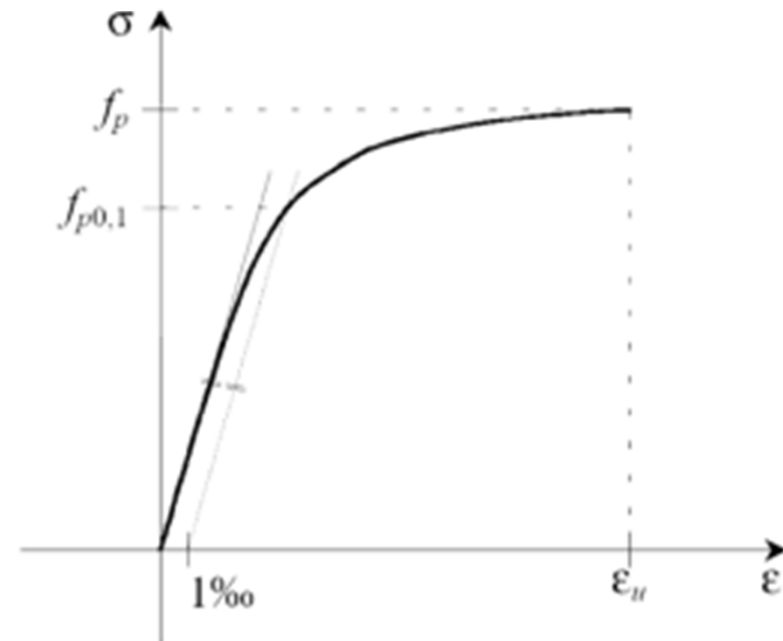
- A feszítéshez nagyszilárdságú feszítőpászmát alkalmaznak pl. feszítőpászma Fp-100/1770 R₂
 - ahol az első szám a km területe mm²-ben
 - a második a névleges szakítószilárdság
 - R₂ – kis relaxáció
 - $f_{yk} 1540\text{N/mm}^2 \rightarrow f_{yd} 1339\text{N/mm}^2$

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.

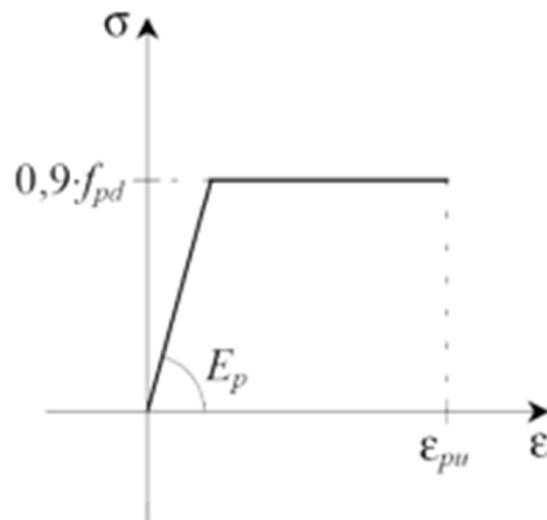


Feszítőbetétek és betonacélok σ - ϵ diagramja

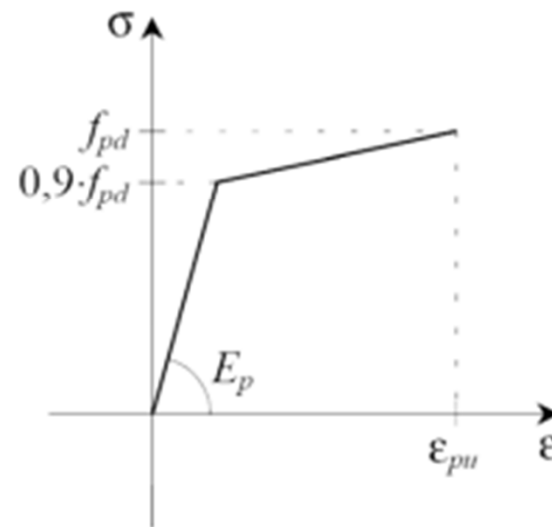


Feszítőbetétek tipikus σ - ϵ diagramja az EC2 szerint

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, feszítópászma esetén $E_p = 195$ kN/mm² érték alkalmazható.

$\epsilon_{pu} = 40$ ‰-es korlát alkalmazása javasolt. A rugalmas-felkeményedő anyagmodell alkalmazása esetén a feszítópászmák határnyúlása $\epsilon_{pu} = 0,9\epsilon_{pak} = 22,5$ ‰ 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

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

Feszítőpázsma: Fp-100/1770-R2

100 - 1 db pázsma keresztmetszeti területe [mm²]

1770 - a pázsma szakítószilárdságának karakterisztikus értéke [N/mm²]

R2 - a relaxációs osztály (R2 = stabilizált, feszültség alatt megeresztett acél)

Felhasznált anyagok:

- Az acélok rugalmassági modulusa alig függ a szilárdságtól → a szilárdság kihasználásához az acélban nagy nyúlást kell elérni
- ($\sigma = E \times \varepsilon$, Hooke törvény), ha az acélt nem feszítenénk meg akkor a nagy acélnyúlásokhoz, nagy betonrepedések tartoznának.
- Tehát a feszítés egyik célja az acél nagy szilárdságának kihasználása
- A feszültségveszteségek nagysága min. ~180-200 N/mm² → lágyvasbetétet nem érdemes megfeszíteni

Feszített Vasbeton Szerkezetek

- A feszítési veszteségek nagy része, a feszítési feszültségtől független. Ezért célszerű a feszítéshez minél nagyobb szilárdságú, minél jobban megfeszíthető acélt használni, mivel így a feszültségveszteségek után maradó u. hatásos feszültségi veszteség nagyobb.
- feszítőpászma Fp-100/1770 R₂

Feszített Vasbeton Szerkezetek

- A feszültségveszteségek nagysága min. $\sim 180-200\text{N/mm}^2$
→ lágyvasbetétet nem lehet megfeszítés során a külső teher működése előtt olyan sajátfeszültségi állapotot hozunk létre amely biztosítja a tartó előnyös viselkedését.
- A kezdeti feszítési feszültség azonban az idő előrehaladtával különböző hatások következtében csökken.
 - A legfőbb feszültségveszteségeket:
 - az acél relaxációja
 - a beton kúszása
 - a beton zsugorodása okozza.

Feszítési Eljárások

- Előfeszítés:
 - Az acélbetéteket megfeszítjük, és ebben az állapotban végeit a feszítőpadhoz rögzítjük, majd bebetonozzuk. A beton megszilárdulása után a rögzítést feloldjuk, a betonacél igyekszik visszanyerni eredeti hosszát, de a megszilárdult beton és az acél közötti kapcsolat ezt megakadályozza, így a betonra nyomás adódik át.
- Utófeszítés:
 - a betonozáskor a betonban kábelüreget képzünk ki és abba helyezzük el a feszítési acélbetéteket
 - A feszítőbetéteket a megszilárdult betonra támaszkodó eszközökkel feszítjük meg, majd azokat a végükön a betonhoz rögzítjük, lehorgonyozzuk.
- A feszítés lényege tehát az, hogy a betont a külső teher fellépte előtt hozzuk a kívánt feszültségállapotba.

FESZÍTÉSI ELJÁRÁSOK

- Utófeszített szerkezet:
 - Tapadóbetétes – a kábelüreget utólag kiinjektálják
 - Véglehorgonyzásos a feszítőelemek csak a végeiken vannak a betonhoz rögzítve.
 - szabadkábeles tartók
 - belsőkábeles v. csúszóbetétes szerkezet
- előfeszítés:
magasépítés
- utófeszítés:
hídépítés

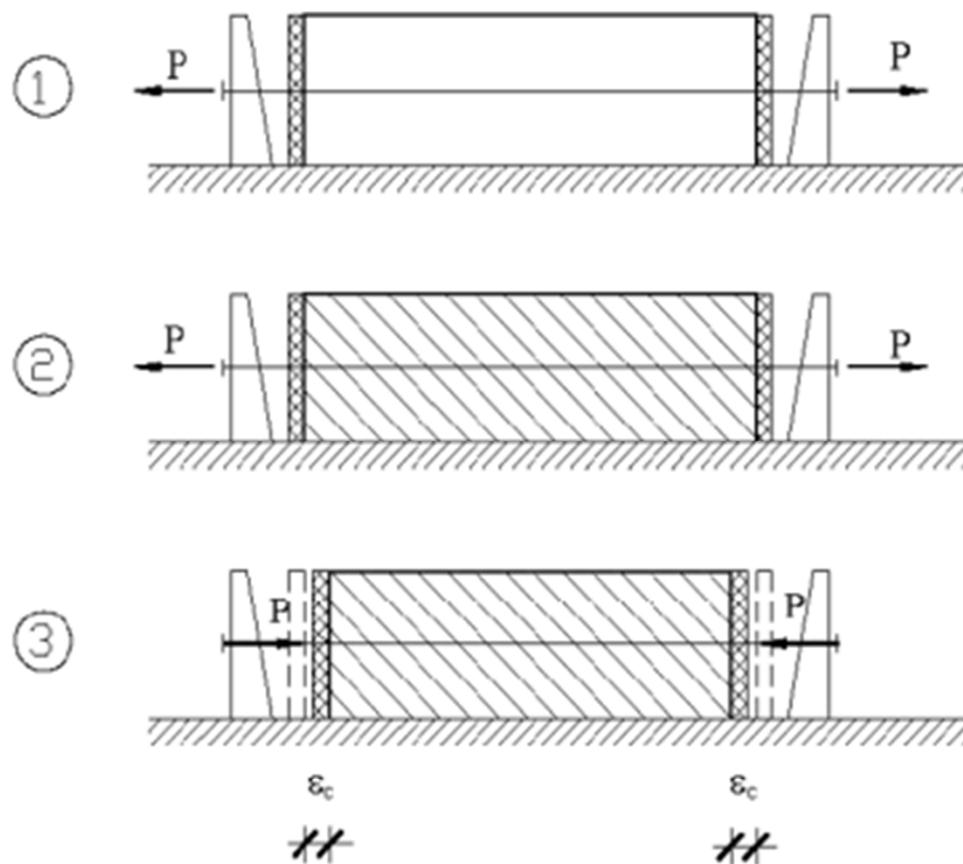
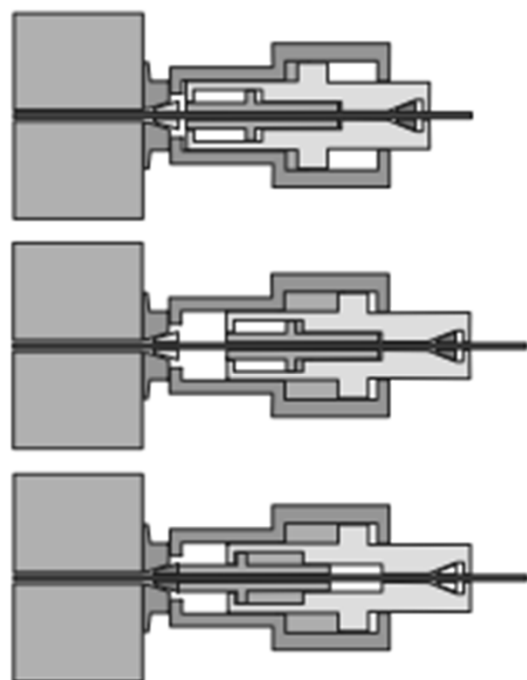
Tapadóbetétes (előrefeszített) rendszer

- 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

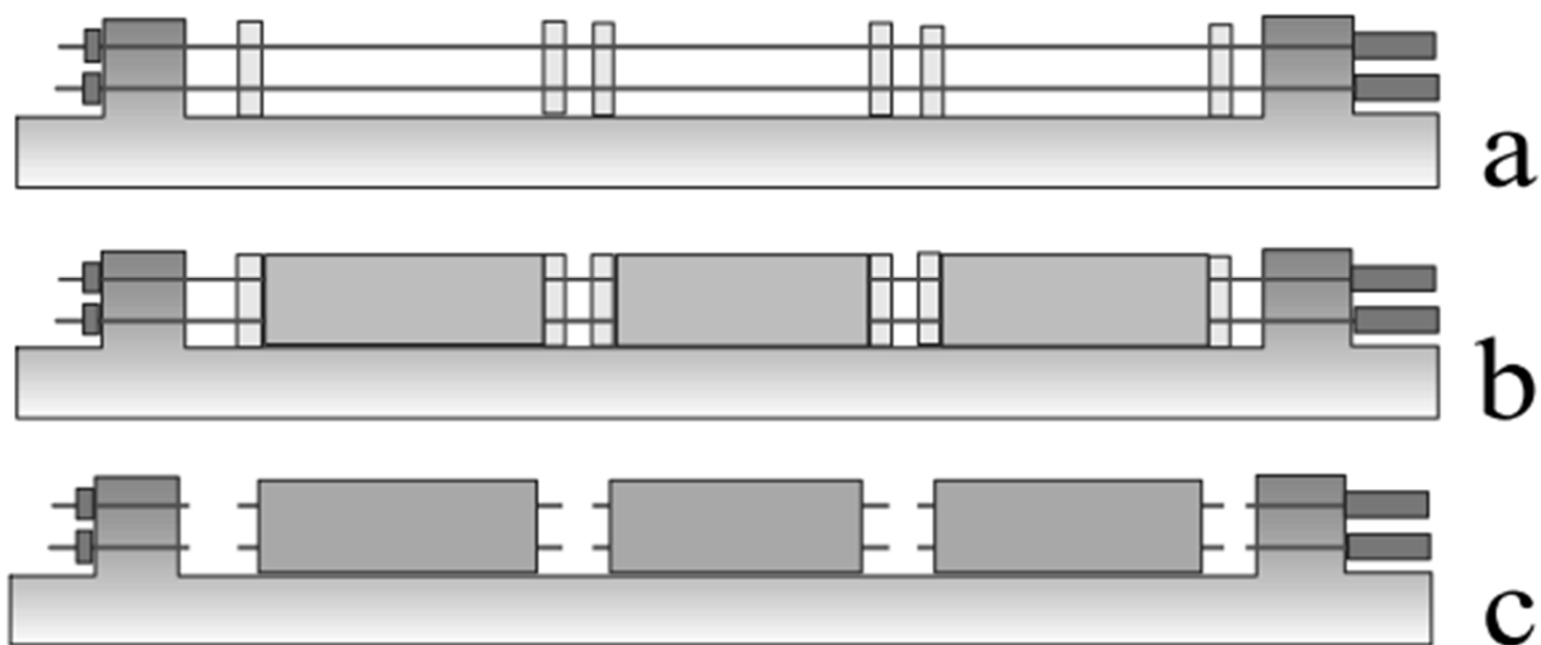


Gyűrűs olajterű kettős hidraulikus sajtó

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

A hosszúpados előrefeszítés elvi vázlata

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 legtöbbszor 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)

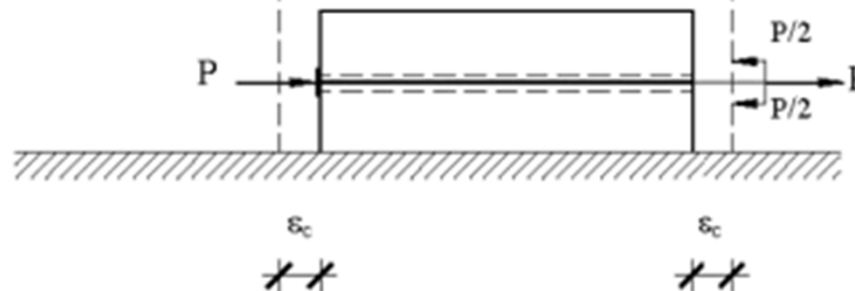
①



②

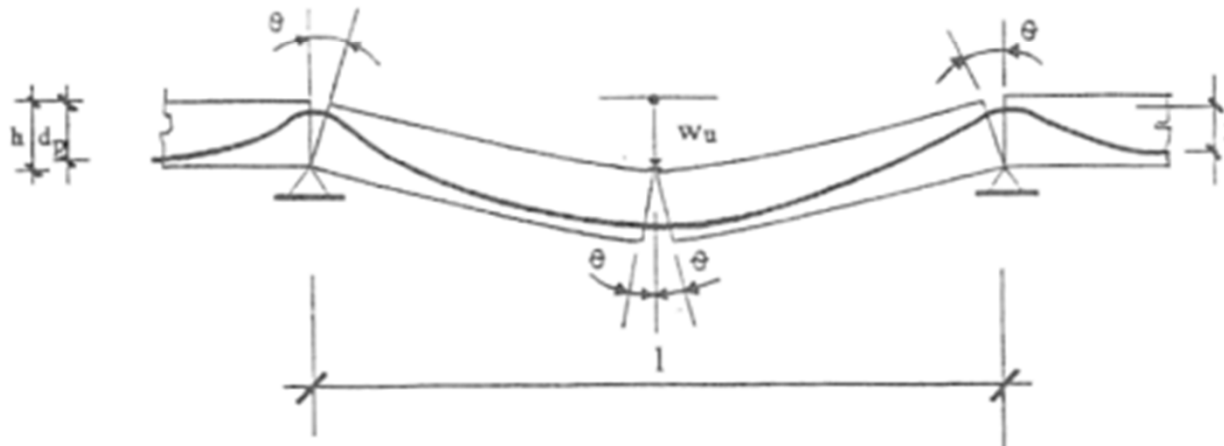
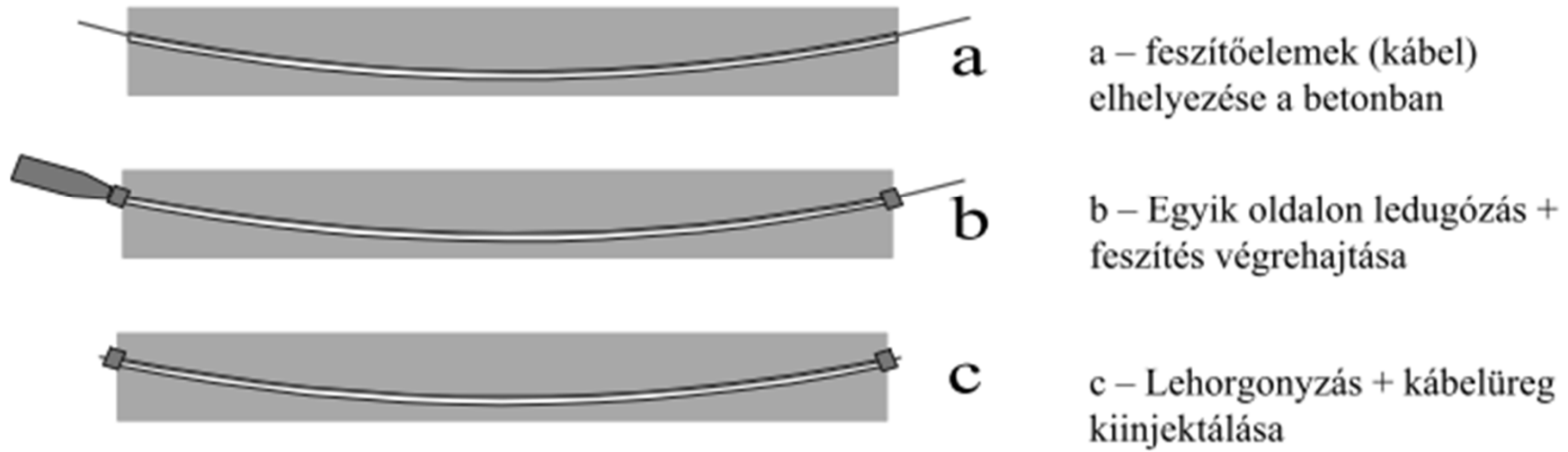


③



Egyenes kábelvezetés

Utóeszítés íves kábelvezetéssel



Feszültségvesztések

- Előfeszített és utófeszített szerkezetben egyaránt létrejövő feszültségi veszteségek származnak:
 - A beton rugalmas összenyomódásából
 - A beton kúszásából
 - A beton zsugorodásából
 - Sokszor ismétlődő teher esetén maradó alakváltozásból
 - acél relaxációjából

Feszültségveszteségek

- Előfeszített tartó esetén:
 - A feszítőpad és a feszítőbetét hőmérsékletkülönbségéből adódó feszítési veszteség
- Utófeszített tartó esetén:
 - súrlódási
 - ékcsúszási veszteség

