

Csúszó betétes pászmák használata a tartók elő/utófeszítéséhez

Introducing Initial Effort Into the Beams with Non Bonded Tendons

MOLNÁR Lajos

doktorandusz
Kolozsvári Műszaki Egyetem

ABSTRACT

The material presents briefly the methods used to introduce the initial stresses in reinforced concrete beams, prestressed concrete-, steel-concrete composite structures and steel beams, using non bonded tendons for pre- or post-tensioning today

Keywords: civil engineering, steel beams, tensioning methods

KIVONAT

Az anyag röviden bemutatja a vasbeton-, feszített vasbeton, valamint az öszvérszerkezetű tartók acél gerendáinak csúszó betétes pászmák használatával történő elő- vagy utófeszítését napjainkban

Kulcsszavak: közlekedésépítés, acéltartók, feszítési módszerek

1. BEVEZETÉS

Az együttműködő acél-beton öszvérszerkezetek kivitelezése egy fontos lépést jelent a hidak építésének fejlődésében.

A két teljesen különböző anyag harmonikus együttműködésre való kényszerítése komoly műszaki-gazdasági előnyökhöz vezet. Az anyagban azon III típusú öszvérszerkezetű tartókat elemezzük, amelyek eredendő feszültségeit utófeszített kábelekkel érjük el annak érdekében, hogy a lehajlás ellenkező irányú legyen, mint a hasznos teher által okozott lehajlás.

2. ELŐ- VAGY UTÓFESZÍTÉSI MEGOLDÁSOK, RENDSZEREK

A fémszerkezetek elő- vagy utófeszítése azt jelenti, hogy a szerkezeti elemekbe néhány olyan alakváltozást és / vagy erőfeszítést kerül be, amely ellentétes azokkal az erőkkkel, amelyeket az üzemeltetési terhek hoznak létre az adott szerkezeti elemekben.

Azt az erőfeszítést és alakváltozást, amely az előfeszítést előidéző erő / deformáció / elmozdulás hatása okoz, „kezdeti” feszültség és alakváltozásnak nevezzük.

A „kezdeti” feszültség és alakváltozás, valamint a működési terhelés egyidejű hatásának következtében keletkező feszültségek és alakváltozásokat által létrehozott állapotot a szerkezet „végső” feszültség és alakváltozásnak nevezzük.

A feszültségek és alakváltozások "kezdeti" állapotának racionális, szabályozott bevitelével a szerkezetben kedvezőbb konfigurációt tudunk elérni, mint az egységes keresztmetszet erőfeszítés-eloszlás és alakváltozásában, mint a globális keresztmetszet "végső" feszültségek és a deformációk eloszlása esetében. Ily módon csökkenthető a szerkezetek és / vagy az elemek méret és lényegesen csökkenthető az acél teljes mennyisége a klasszikus szerkezeti megoldáshoz képest (előfeszítés nélkül).

A szerkezet előfeszítő megoldás kiválasztásánál a fent említett előnyökön kívül, azonban, figyelembe kell venni a klasszikus megoldásokhoz képest magasabb tervezési és kivitelezési költségeket, speciális anyagok és eszközök, valamint magasán képzett szakemberek igénybevétele a kivitelezés során.

A leggyakrabban alkalmazott módszer, a szálak /kábelek használata, amelyek jelenleg, a legjobban biztosítják az indukált feszültségek szabályozását mind a végrehajtás, mind a karbantartás során.

Feszítésre kerülő fémrészek vagy szerkezetek normál minőségű acélokból készülhetnek (mint a nem feszített fém szerkezetek esetében). Az előfeszítő erő bevezetéséhez különböző típusú, nagy vagy nagyon magas minőségű acélból készült szálakat / kábeleket használunk.

A szálak / kábelek fő típusai csavart huzalszál vagy párhuzamos huzalkötegből készülnek, hasonlóak az előfeszített betonelemek előállításánál használtakkal. A szálak és a kötegek rögzítése az előfeszített betonhoz hasonló eszközökkel történik

A külső előfeszítés felhasználására a hetvenes évek végén új alkalmazási területet találtak és pedig az előfeszített betonszerkezetek megerősítésére. Számos, főként szegmentális előregyártott típusú, hidat az építése idején nem sikerült megfelelően megfeszíteni, ezért szükségessé vált ezek megerősítése külső feszítéssel.

E javítások tapasztalatai alapján a külső feszítés új lendületet kapott. Ennek az alkalmazásnak a technikája az Egyesült Államokban nagyrészt 1978, míg Franciaországban 1980 óta alakult ki.

Azóta számos fontos hidat építettek a világon külső feszítéssel, mivel a technológia alkalmas hosszú hidak, szegmentális szerkezetben történő kivitelezéséhez, magas termelési sebességet biztosítva.

Tipikus alkalmazások, ahol a külső feszítés használata gazdaságosan megvalósítható:

- Javítási és konszolidációs munkák minden típusú struktúrán,
- Felfüggesztett szerkezetek
- Szegmentált előregyártott szerkezetek, egyszerű és folyamatos feszítése

A külső előfeszítést az alábbiak jellemzik:

- A feszítő- és előfeszítő elemek, a betétek, a szerkezet fizikai keresztmetszetén kerülnek elhelyezésre,
- Az előtömörítő erők, a betéteken keresztül, az erőknek a szerkezethez való eljuttatását csak a rögzítőelemek és az elosztókon keresztül végzik el,

A fentiek alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- A külső előfeszítés nem csak a betonhasználathoz kapcsolódik, hanem bármilyen építőanyaggal - kompozit, acél-fa, acél-beton és egyéb korszerű műanyagok felhasználásával is alkalmazható, ez jelentősen kibővítheti a feszítés alkalmazási területét.
- Mivel a betétek a szerkezeten kívül vannak, a kábelek jobban ki vannak téve minden környezeti hatásnak, és emitt a káros hatások elleni védelem különösen fontos.
- A hozzáférhetőség miatt a feszítő kábelek figyelemmel kísérhetők és karbantarthatók, így ezek az intézkedések könnyebbé válnak, mint a belső feszítésnél alkalmazott ragasztott rendszerek.
- A folyamatos ragasztás / kötés hiánya miatt lehet megfeszíteni, felengedni vagy megváltoztatni a feszítőerőt, ha a szerkezet lehetővé teszi e műveletek végrehajtását.

A külső feszítés előnyei és hátrányai

A belső, ragasztott feszített szerkezetekhez képest a külső feszítésnek az alábbi külön előnyei vannak:

- A véletlen szögváltozások által okozott súrlódási veszteségek csökkentése, amit rázásnak neveznek, gyakorlatilag megszűnik. Továbbá, ha polietilén bélést használnak, a súrlódási együttható drasztikusan csökken a belső/ragasztott előfeszítéshez vagy a bordázott fémcsövek használatával összehasonlítva.
- Az előre összenyomott külső ívek könnyen és jelentős költségátal nélkül cserélhetők. A szerkezeti részletterveknél figyelembe kell venni az ilyen munkák elvégzéséhez elegendő szabad hely biztosítását,
- A beton lemez vasalása ritkítható, ami egyszerűbb szerkezetet eredményez.

Általában megállapítható, hogy jobb minőségű betont, tartósabb szerkezetet eredményeznek és egyúttal megkönnyítik a kivitelezést.

Másrészt a következő hátrányok társíthatók a külső előfeszítéssel:

- A feszítő szerkezet jobban ki van téve a környezeti hatásoknak (tűz, vandalizmus, vegyszerek)
- Az irányváltoztató nyergek és a horgonylemezeket nagyon pontosan kell elhelyezni,
- Mivel a kábelek nincsenek beragasztva (vagy csak speciális pontokhoz), a teljes feszültséget, a szerkezet nem tudja átvinni, ami az előtömörített acél keresztmetszet növelését eredményezi.
- A keresztmetszet statikus magasságát általában nem lehet teljes mértékben kihasználni, ezért nagyobb mélységre vagy kiegészítő előfeszítésre van szükség.
- Bizonyos keresztmetszetek és építési eljárások esetén a feszítőeszközök kezelése nehezebb.

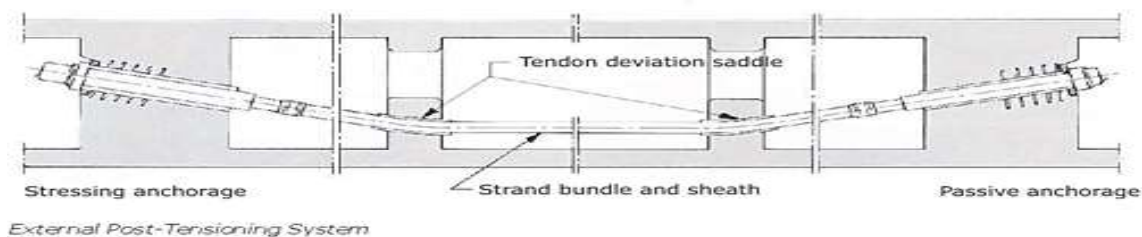
Az egyik feszítési rendszert a BBR VT svájci cég dolgozta ki, az alábbiakban röviden ismertetjük a felhasznált elemeket és ezek műszaki paramétereit:



BBR-VT

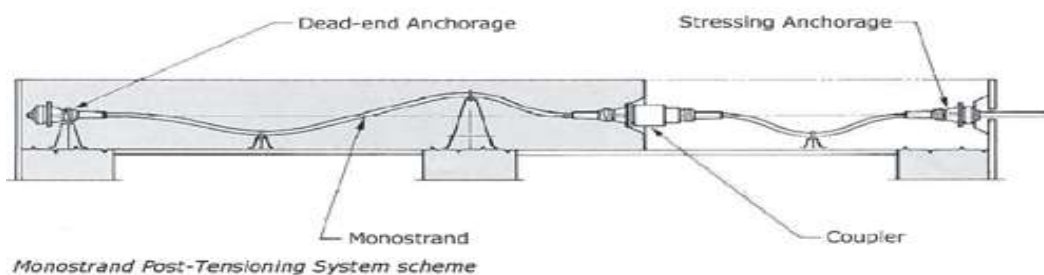
Az elő- vagy utófeszítő kábeleket számos különböző elemben használják, amelyek széles körű alkalmazásokat fednek le. Külső utófeszítés, amelyet a hídépítésben használnak, például azért, mert a szerkezet belsejében lévő kábeleknél nincs elegendő helyük, de különösen a magas korrózióvédelem tekintetében, szükség lehet a feszítőkábelek élettartamuk során történő ellenőrzésére és könnyű cseréjére. Ez nagy előny, gyakran az egyetlen megoldás a meglévő szerkezetek kapacitásának és ez által élettartamuk növelésére. A külső utófeszítés az épületek, silók és tartályok szerkezetének megerősítésére vagy rögzítésére is használható.

Külső csúszóbetétes pászmák -a beton- vagy fémszerkezetek külső felületére vannak felszerelve. Ez a fajta elő- vagy utófeszítés lehetővé teszi a karbantartáshoz és cseréjéhez való hozzáférést, ezáltal a hidak fejlesztésére és felújítására



2.1. ábra
Külső feszítési rendszer sémája

A csúszóbetétes, egysávú rendszerként ismert, egyfeszültségű huzalrendszer 15,2 mm (0,6 hüvelyk) vagy főként 15,7 mm (0,6 "S) kábeleket használ, amelyet egy zsírral kitöltött PEHD csőbe húznak. Ez kettős védelmet biztosít a korrózió ellen, és minimálisra csökkenti a súrlódási veszteségeket. A mono-kábelek külső átmérője 19 mm. A rendszer telepítése egyszerű és rendkívül gyors. Méretének köszönhetően nagyon vékony szerkezetekhez is használható, és nagyon rugalmas a megerősítő rudakhoz képest. A feszítés után a burkolatok azonnal eltávolíthatók, ami jelentős megtakarításokat eredményez a tartószerkezetek költségében.



2.2. ábra
Egy-pázmás utófeszítési rendszer sémája

Horgonyzás:



2.3 ábra. CONNA CME BT



2.4. ábra. CONNA CME SP

Kapcsolat:

A felhasznált kapcsolati szerkezetek: K típus (átfedéssel), 02-61 szál, vagy H típus (karmantyús) 01-73 feszítő szál használata esetében:



2.5. ábra. Cuplaj Fix K



2.6. ábra. Cuplaj Fix H

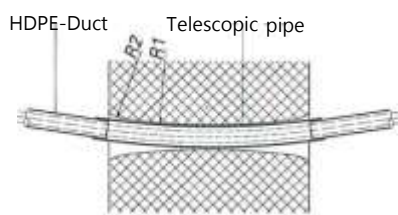
Váltók:

A váltók speciális rendszerek, amelyeket a külső feszítésnél használnak, kiemelkedő szerepet játszanak a feszültségek átadásában, és az alábbi követelményeknek kell megfelelniük:

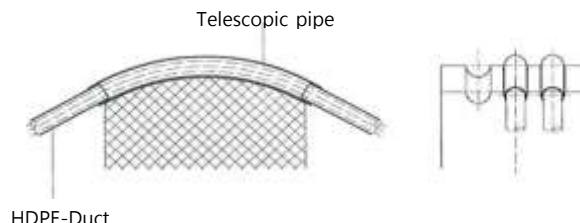
- ellenállni a keresztirányú, hosszanti erőknek és a kábelekben levő feszültségek átadása a szerkezetnek
- biztosítsa a kábelek sima, szögmentes irányvonalát
- abban az esetben mikor tervezéskor figyelembe veszik a kábelek cseréjét a szerkezet élettartama alatt, biztosítsák a folyamat zavartalan lebonyolítását.

A váltók két fő típusát említhetjük:

- az egyszerű cső, ha nem kerül sor a kábelek cseréjére az üzemeltetés alatt.
- kettős/dupla cső, ha a feszítőkábelek idővel cseréire szorulnak, a külső cső (fém) rögzítve van a váltóba a kábel védőcső (HDPE) pedig áthalad rajta.



2.7. ábra. Tipikus cserélhető betétes váltó



2.8. ábra. Nyereg váltó

Korrózióvédelem – a korrózióvédelem fő anyagainak műszaki paraméterei, Zsír/vazelin műszaki adatok (2.1. Táblázat)

Jellemzők	Vizsgálati Mód / Standard	Megfelelőség
Kúp penetráció, 60 ütés (1/10mm)	ISO 2137	250 - 300
Cseppont	ISO 2176	$\geq 150^{\circ}\text{C}$
Olaj kiválasztás 40°C fokon	DIN 51 817 72 óra után:	$\leq 2.5 \%$
	7 nap után:	$\leq 4.5 \%$
Oxidációs stabilitás	DIN 51 808 100 óra 100°C-on:	$\leq 0.06 \text{ MPa}$
	1000 óra 100°C-on:	$\leq 0.2 \text{ MPa}$
Korrózió ellenállás 168 óra 35 °C -on	NFX 41-002 (só spray)	Megfelelt
168 óra 35 °C -on	NFX 41-002 (desztillált víz spray)	Nincs korrózió
Korróziós teszt	DIN 51 802	0 osztály
Agresszív elem tartalom: Cl- , S2-, NO3	NFM 07-023	$\leq 50\text{ppm}$ (0.005%),
SO4 2	NFM 07-023	$\leq 100\text{ppm}$ (0.010%)

Viasz műszaki adatok (2.2. Táblázat)

Jellemzők	Vizsgálati Mód / Standard	Megfelelőség
Dermedési pont	NFT 60-128	$\geq 65 \text{ } ^\circ\text{C}$
Penetráció (1/10mm) at $-20 \text{ } ^\circ\text{C}$	NFT 60-119	Nincs repedés
Folyás $40 \text{ } ^\circ\text{C}$ fokon BS 2000:	PT121 (1982) módosított	$\leq 0.5 \%$
Oxidációs ellenállás 100 óra $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ -on	ASTM D942.70	$\leq 0.03 \text{ MPa}$
Réz-szalag korrózió 100 óra $100 \text{ } ^\circ\text{C}$ -on	ISO 2160	'a osztály
Korrózió ellenállás 168 óra $35 \text{ } ^\circ\text{C}$ -on	NFX 41-002 (só spray)	Megfelelt
	NFX 41-002 (deszillált víz spray)	Nincs korrózió
Agresszív elem tartalom: Cl ⁻ , S ²⁻ , NO ₃	NFM 07-023	$\leq 50\text{ppm}$ (0.005%),
SO ₄ ²⁻	NFM 07-023	$\leq 100\text{ppm}$ (0.010%),

Feszítópázmák

A feszítópázmák 07-31. acélszálból, amelyek 7 fonalból állnak, az alábbi (2.3. T) táblázatban a csavart szálak tulajdonságai mutatjuk be:

Csavart szálak feszítópázmák tulajdonságai (2.3. Táblázat)

Névleges átmérő /mm	Névleges felület /mm ²	Karakterisztikus maximális feszültség /MPa
15,3	140	1 860
15,7	150	

Megjegyzés: 1Mpa = 1 N/mm

Az EU országokban, alacsony relaxációs indexel rendelkező acél szálakból készült pázmákat, mint T13S (A_p= 100 mm², f_{pk}= 1860 MPa) vagy T15S (A_p= 150 mm², f_{pk}= 1770 MPa) használnak



2.9. ábra

A T15S pázma műszaki adatai (2.4. Táblázat)

Névleges átmérő	mm	15,7
Keresztmetszet felület A _p	mm ²	150
Szakító szilárdság, f _{pk}	MPa	1770
Folyási határ, f _{p0,1k}	MPa	1520
Maximális terhelés alatti nyúlás, e _{uk}	%	$\geq 3,5$
Rugalmissági modulus, E _p	GPa	195
Maximális relaxáció, 1000 óra, $20 \text{ } ^\circ\text{C}$, 0,7 f _{pk}	%	$\leq 2,5$
Súrlódási együttható	Fém védőcső	f=0,18; Df = 0,0005 / m
	Műanyag védőcső PE, PP	f=0,14; Df = 0,0007 / m

A huzalok és rudak rugalmassági (EP) modulusa 205 GPa lehet, valójában 195 és 210 GPa között változik, és a szálak esetében 195 GPa, ami ténylegesen 185 és 205 GPa között változik az alkalmazott gyártási folyamatától függően.

Például a **CONA CME n06-150** – 7 szálás pászma, névl-átm 15,7 mm, névleges keresztmetszet 150 mm² (2.5. Táblázat)

Szálak száma	N	---	04	07	09	12	15	19	22	24	27	31
Metsz.	Ap	mm ²	600	1050	1350	1800	2250	2850	3300	3600	4050	4650
Tömeg	M	Kg/m	4,69	8,20	10,55	14,06	17,58	22,27	25,78	28,13	31,64	36,33
Szakító szilárdság $f_{pk} = 1770$ MPa												
Szszil	F_{pk}	kN	1064	1862	2394	3192	3990	5054	5852	6384	7182	8246
Szakító szilárdság $f_{pk} = 1860$ MPa												
Sz szil	F_{pk}	kN	1116	1953	2511	3348	4185	5301	6138	6696	7533	8649

Metsz= a feszített pászma névleges keresztmetszetet, Tömeg=a feszített pászma névleges tömeget
Sz szil = a feszített pászma szakító szilárdsága

A pászma védőcső kitöltési együtthatója (2.6. Táblázat):

	f / kitöltési együttható	kd / cső együttható
Minimum	0,45	1,68
Standard	0,40	1,79
Hosszú pászma	0,30 0,35	2,05 – 1,90

Megjegyzés: $f=Ap/Ad$, $kd=\varnothing d/vAp$

A minimális hajlítási sugár és minimális védőcső falvastagsága (2.7. Táblázat):

Szálak száma			04	07	09	12	15	19	22	24	27	31
R min	Rmin	m	2,0	2,0	2,5	2,7	3,0	3,0	3,2	3,3	3,5	4,0
Műanyag g	tmin	mm	5,6	6,0	6,0	6,0	6,0	6,6	7,1	7,4	7,9	8,3
Fém	tmin	mm	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5

Súrlódási feszültség veszteség (2.8. Táblázat):

Pászma		HDPE	Acél
	ΔF_s		
	%	rad ⁻¹	rad ⁻¹
CONA CME 0406	1,2	0,10 – 0,12	0,16 – 0,24
CONA CME 0706	1,1		
CONA CME 0906	1,0		
CONA CME 1206 - 3106	0,9		

Megjegyzés: $F_x = F_0 e^{-\mu\alpha}$ unde F_x = feszítő erő az x távolságnál, F_0 = feszítő erő az x=0 távolságnál
 μ = súrlódási együttható, α = hajlítási elmozdulás x távolságon,
x = távolság a pászma hosszában

Az első és a második feszítési fázisban a horgonyok és a rögzített csatlakozók csúszása 6 mm, a húzóhorgony csúszása pedig 4 mm.

A megengedett maximális feszítőerő és a túlfeszítés elfogadott mértéke (2.9. Táblázat)

Kijelölés	Maximális feszítő erő 0,9 $F_{p0,1k}$				Maximális túlfeszítési erő 0,95 $F_{p0,1k}$				
	CONA CME								
		n06-140		n06-150		n06-140		n06-150	
Szakító szilárdság f_{pk}	MPa	1770	1860	1770	1860	1770	1860	1770	1860
	--	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN	kN
	04	767	806	824	864	809	851	870	912
	07	1342	1411	1443	1512	1416	1490	1523	1596

Szálak száma a pázsmában	09	1725	1814	1855	1944	1821	1915	1958	2052
	12	2300	2419	2473	2592	2428	2554	2611	2736
	15	2876	3024	3092	3240	3035	3192	3263	3420
	19	3642	3830	3916	4104	3845	4043	4133	4332
	22	4217	4435	4534	4752	4452	4682	4786	5016
	24	4601	4838	4946	5184	4856	5107	5221	5472
	27	5176	5443	5565	5832	5463	5746	5874	6156
	31	5943	6250	6389	6692	6273	6597	6744	7068

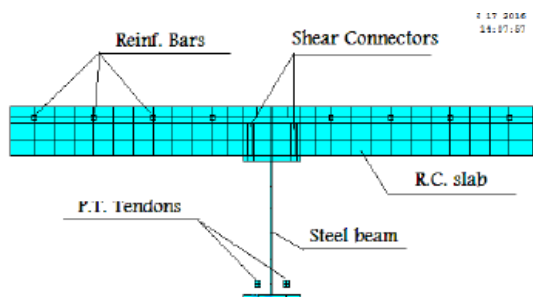
3. Kísérleti modellezés: a részleges felületi (csapok) csatlakozás és a külső, csúszóbetétes, útófesztített pázsmák nyomvonalának hatása az öszvérszerkezetű tartók esetében

A különböző szerkezeti és terhelési esetek modellezésére az ANSYS 14.0, véges elem módszert alkalmazó szoftvert és a következő paraméterekkel rendelkező anyagokat alkalmazták:

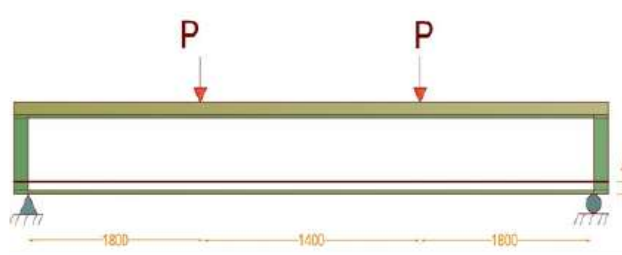
A felhasznált anyagok tulajdonságai (3.1. Táblázat)

Modell	Útófesztítési pázsmák				Beton fc (MPa)	I acél tartó			
	Fy (MPa)	Fu (MPa)	Ap (mm ²)	F (KN)		fy(MPa)		fu (MPa)	
						Gerinc	Talp	Gerinc	Talp
Modell 1 (Chen)	-	-	-	-	40	260	245	372	361
Modell 2 (A Aziz)	1 680	1 860	137,4	112,6	35	327,7	406,5	492,6	593,6
Ref. Modell	1 680	1 860	137,4	112,6	35	400	400	480	480

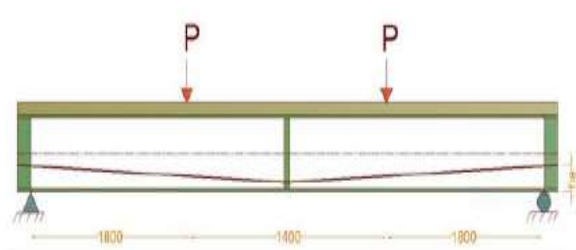
A felületi csatlakozások, terhelés alatti viselkedésének, tanulmányozása során kiderült, hogy ha 100%-osnak tekintjük a csapok számát abban a pillanatban amikor a szerkezet vagy a csapok eltörésével vagy a beton repedésével mehet tönkre akkor a csapok számának 40%, 60% vagy 80 %-ra történő csökkentése esetében biztosan a csapok mondják fel a szolgálatot és ezekben az esetekben figyelembe kell venni a részleges együttműködés hatását a beton és az acél csapok között. Ha a csapok számát 100% fölé emeljük nem lesz komolyabb hatása a szerkezet életképességére, mindenképp a beton repedésével megy tönkre.



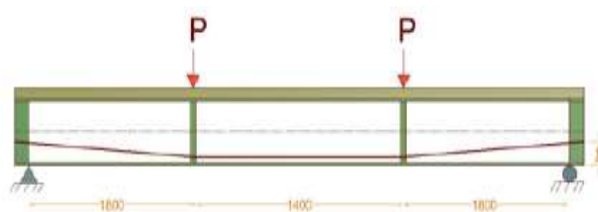
3.1. ábra. A keresztmetszet modellezése



3.2. ábra. Modell (A)



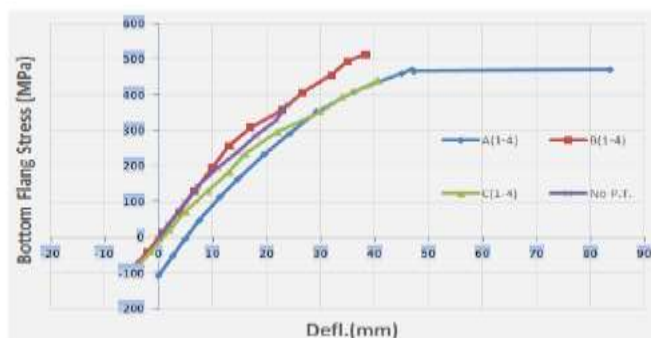
3.3. ábra. Modell (B)



3.4. ábra. Modell (C)

Az anyagok tulajdonságai és a szerkezet geometriája a vizsgált A, B, C modellek esetében (3.2. Táblázat)

Sorrend	Model	Feszítő erő (KN)	he (mm)			Együtműködő kapcsolat %
			kezdeti	középső	végső	
1	A	112,6	30	30	30	40 - 120
2	B	112,6	105	30	105	40 - 120
3	C	112,6	105	30	105	40 - 120



3.5 ábra Terhelés / lehajlás grafikon

Összehasonlítva a három A, B, C modell viselkedését terhelés alatt a lehajlások összehasonlításával arra a meglepő következtetésre juthatunk, hogy a legegyszerűbb, A Modell, majdnem hasonló alsó talp feszültségnél dupla lehajlást tud teljesíteni, ULS terhelésnél, mint a két másik (B, C modell) biztosítva a szerkezet rugalmasságát.

A vizsgálatok után az alábbi következtetésekre jutottak:

- a tűskék (csapok) számának csökkentésével és a kábelekben levő feszültség növelésével:
 - csökken a szakítószilárdság az ULS terhelésnél,
 - növekszik a kihajlás és a támaszok forgó mozgása is jelentősen megnő.
- a tűskék (csapok) számának 60% alá csökkenése, a támaszok feletti negatív terheléseknél, a két anyag (acél / beton) közötti csúszás miatt, ULS terhelésnél a tűskék elvesztik tulajdonságaikat és elszakadnak.
- a feszítőkábelek használata esetén a szakítószilárdság és egyben az ULS terhelésből származó nyomaték az alábbiak szerint változik a pászmák nyomvonalának függvényében egy hagyományos öszvérszerkezethez képest:

Modell A

+ 92,2 %

Modell B

+ 99,1 %

Modell C

+ 105,5 %

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az építőanyagipari fejlesztések, a felhasznált anyagok minőségének növekedése lehetővé tette az építőiparban is egyre fejlettebb technológiák alkalmazását. Az egyik legmodernebb és kifinomultabb alkalmazás ezek közül a szerkezetek elő- és / vagy utófeszítési folyamatának az alkalmazása.

A vasbeton-, acél- vagy acél-beton öszvér szerkezetű hidak felépítésével foglalkoztunk, bemutattuk ezen a területen használt legfontosabb rendszereket és komponenseket és a következőket állapítottuk meg:

A. pozitív hatásként említhetjük:











- a fémkomponensbe történő kezdeti feszültségek bevezetésével a szerkezet magassága csökkenthető és a hasznos terhelésekkel szembeni ellenállása növelhető;
- a karbantartás során a szerkezetbe bevezetett feszültségeket a hasznos terhelések függvényében újra kalibrálhatjuk,
- nő az esélye a vékony, figyelemre méltó, esztétikai szerkezetek kialakításának lehetősége.

B. Negatív hatásként pedig kiemelhetjük:

- magas kezdeti költségek;
- magas karbantartási költségek;
- a kifinomult technológia alkalmazása szakembereket igényel a végrehajtás során.

A legmodernebb építési technológia alkalmazásával, amely a felhasznált anyagok mennyiségének csökkentésével érezhetően csökkenti a termelésben felhasznált energia mennyiségét, valamint a szerkezet felépítése és a szerelési idők jelentős csökkentése akár 30% -kal csökkenti a szerkezet ökológiai lábnyomát a hasonló hagyományos felszerkezetű hidakkal összehasonlítva. A környezeti lábnyom, amelyet figyelembe kell venni a környezetre jelentős hatást gyakorló infrastrukturális munkák tervezésében és kivitelezésében.

A legfontosabb feszített acél öszvér hidszerkezetek – Steel-prestressed concrete composite bridges
(structurae.de)

#	elnevezés		ország	Kép / nyílás
1	Chavanon Viaduct	2000	France	 300 m
2	Pont du Bras de la Plaine	2002	Réunion	 280 m
3	Toyota Arrows Bridge	2005	Japan	 235 m
4	San Diego-Coronado Bay Bridge	1969	USA	 201 m
5	Lusitania Bridge	1991	Spain	 189 m
6	Millennium Bridge	1980	Spain	 180 m
7	Himi Bridge	2004	Japan	 180 m
8	Navia Viaduct	2006	Spain	 160 m
9	Vaux Viaduct	1999	Switzerland	 130 m
10	Trapagaran Viaduct	2010	Spain	 125 m

SZAKIRODALOM

1. Structuri compuse otel-beton , Stefan I. Gutiu, Catalin Moga - Editura UT Press 2014
2. Constructii metalice pretensionate, Dan Mateescu si col. – Editura Academiei RSR, 1989
3. Structuri compuse otel-beton si beton precomprimat – beton armat, C. Avram, V. Bota -- Editura Tehnica, 1975
4. BBR Cables External Prestressing, 1999
5. Dienstleistungen Bewertungsstelle ETAG 013, Annex C4, 2002
6. BBR VT CONA CMM European Technical Approval, ETA 06/0165, 2006
7. BBR VT CONA CME European Technical Approval, ETA 07/0168, 2007
8. Hidak utófesztése csúszópásmás kábelekkel – tervezési elvek, dr. Kovács Tamás BME, Tatabánya, 2017
9. Effect on partial shear connection on strengthened composit beams with externally post-tension tendons, El Shihy AM, Shabaan HF, Al-Kader HM, Hassanin Al - Journal of Material Sciences & Engineering, 2017
10. structurae.de - Die größte internationale Datenbank für Bauwerke und Bauingenieure
11. Wikipédia