

Öszvérszerkezetű hidak feszítése

Methods of Introducing Initial Effort Into Composite Bridge Structures

Metode de întroducerea eforturilor inițiale în poduri cu structură compusă

MOLNÁR Lajos, doktorandusz

Kolozsvári Műszaki Egyetem

ABSTRACT

The material presents the methods used to introduce the initial stresses in reinforced concrete beams, prestressed concrete-, steel-concrete composite structures and steel beams, chronology of the methods and systems used for pre- or post-tensioning and the phases of their development up to our days.

Keywords: civil engineering, steel beams, tensioning methods

ÖSSZEFOGALÓ

Az anyag az öszvérszerkezetű hidakban történő kezdő feszültségek létrehozását ismerteti vasalt beton, feszített beton és öszvérszerkezet acél elemeinek megfeszítésével, valamint az elő- és utófeszítési rendszerek és módszerek fejlődését napjainkig.

Kulcsszavak: közlekedésépítés, öszvérszerkezetű hidak, feszítések

1. BEVEZETÉS

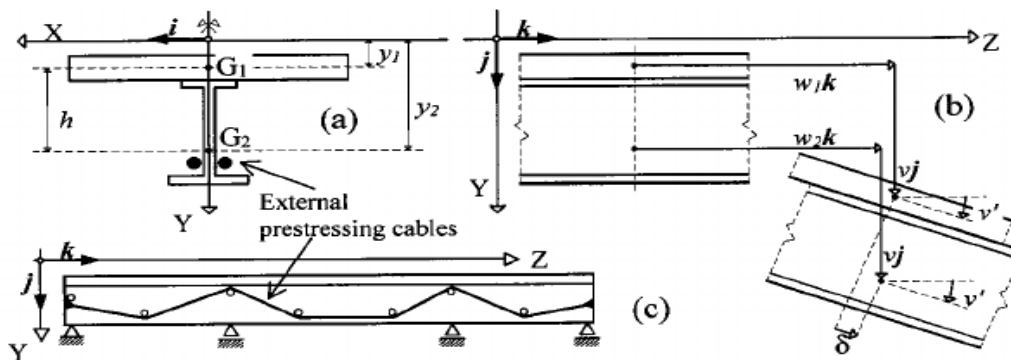
A hidak építésénél alkalmazott együttműködő acél-beton öszvérszerkezetek fontos lépést jelentenek a hidak fejlődésében.

A két teljesen különböző anyag harmonikus együttműködésre való kényszerítése komoly műszaki-gazdasági előnyökhöz vezet, mint:

- a szerkezet merevségének növekedése a tisztán acélból készütekkel szemben,
- a szerkezet önsúlyának lényeges csökkenése a tisztán vasbetonból készütekkel szemben,
- az állandó terhelések csökkentése az öszvérszerkezetek esetében, ezáltal a földrengésekből adódó különleges terhelések arányának csökkenése a beton (vasbeton, feszített beton) szerkezetekkel szemben, egyúttal az alszerkezet valamint az alapokra való hatások csökkenése,
- a kivitelezési idő lényeges csökkenése az acél szerkezetek gyárban történő előkészítésével, párhuzamosan a helyszíni alapozási és alszerkezeti munkálatokkal,
- egyszerűbb megoldások alkalmazásának lehetősége a kivitelezés alatt,
- nagy nyílások kivitelezésének lehetősége, nagy akadályok átívelése, mederbeli munkák kiküszöbölése,
- esztétikai szempontból tág lehetőségek állnak a tervezők rendelkezésére,
- karcsú, esztétikus, látványos szerkezetek tervezhetőek,
- komoly műszaki-gazdasági előnyökkel számolhatunk a hibrid/kompozit szerkezet elemeinek megfelelő kiaknázásával (az acél elem, nyúlásra, a beton elem, nyomásra viselkedik előnyösebben),
- az acél elem feszítésével csökkenthető a szerkezet magassága és növelhető a hasznos teher.

Ebben az anyagban a III. típusú tartók feszítésével foglalkozunk

A III. típusú tartók alatt értjük azon öszvérszerkezetű tartókat, amelyek eredendő feszültségeit a támaszok elmozdításával vagy utófeszített kábelekkal érjük el annak érdekében, hogy a lehajlás ellenkező irányú legyen, mint a hasznos teher által okozott lehajlás.



1. ábra

F2. Feszített tartó hossz- és keresztmetszete,

2. FESZÍTÉSI MEGOLDÁSOK

A továbbiakban „eredendő feszültségi és alakváltozási állapotnak” – az előfeszítéssel létrehozott feszültségi állapotot és elmozdulást valamint „végleges feszültségi és alakváltozási állapotnak” nevezzük az előfeszítéssel és az üzemeltetéssel létrehozott feszültségi állapotot és elmozdulásokat.

Az ésszerű, ellenőrzött körülmények között létrehozott eredendő feszültségi állapot lehetőségét biztosít arra, hogy az egységnyi feszültségi erők eloszlása az öszvérszerkezet hossz- és keresztmetszetében jobban kihasználják a szerkezetben résztvevő anyagok pozitív tulajdonságait (beton-nyomás, acél-húzás) a végleges feszültségi állapotban. A klasszikus szerkezetekkel szemben ilyenkor lényeges méret- és súlycsökkenést lehet elérni, igaz, gazdaságossági előszámításakor figyelembe kell venni a bonyolultabb tervezési és kivitelezési költségek növekményét is (további különleges anyagok és felszerelések valamint magasan képzett munkaerő igénybevétele).

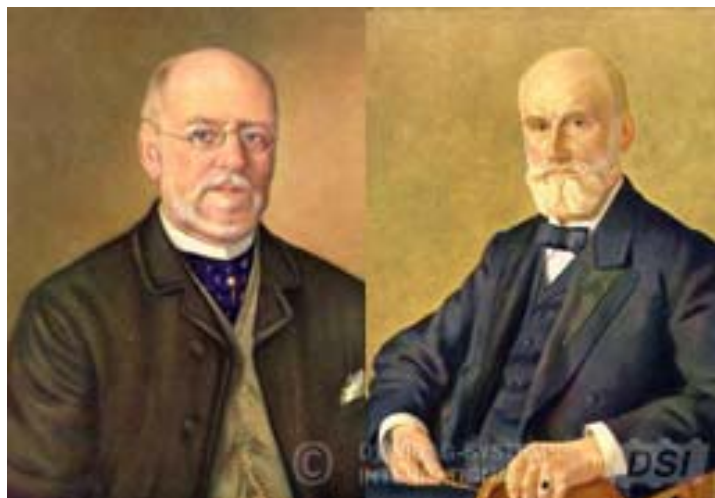
A feszültségek átvitelére az adott szerkezetbe több megoldás áll rendelkezésre a felhasznált anyagok függvényében – feszítőhuzal, feszítőpászma feszítőkábel, feszítórúd.

A felhasznált acél minőségek tekintetében a feszített szerkezet normál minőségű acélból (mint a hagyományos szerkezetek esetében), a feszítésre használt acél viszont különleges minőségű, akár 6000 – 11000 kg/cm² (0,58 – 1,07 GPa) szakítószilárdságú anyagból áll.

Az eltelt 100 év alatt több feszítési megoldás született, belső- vagy külső-, tapadó- vagy csúszóbetétes, amelyek kivitelezésére négy letisztult rendszert alkalmaznak napjainkban a Dywidag-DSI (D), Freyssinet (F), BBR-VT (CH), valamint a VSL (CH). Ezen rendszerek rövid bemutatása az alábbiakban következik:



2.1. Dywidag



2. ábra

1869, Gottlieb Widmann és Eugen Dyckerhoff, Dyckerhoff & Widmann AG

W.G. Dyckerhoff (1805-1894) 1865-ben alapította cégét Lang & Co. néven Karlsruhe-ban (D) betonelem gyártás céljából. 1869-ben fia, E. Dyckerhoff (1844-1924) és apósa, G. Widmann (1817-1894) átnevezik Dyckerhoff & Widmann-ra, és Németország egyik legfontosabb, betont felhasználó, építőipari cégévé fejlesztik. A XIX. sz. végére kifejlesztik a „Stampfbeton” technológiát, mely az épületek és hidak beton alapjainak nyomás alatti kivitelezését szabályozza. 1907-ben a cég székhelyét áteszik Wiesbaden-ba. 1913-ban csatlakozik a céghez F. Dischinger, aki megalapozza a feszített acélrudak bevezetését a hídépítésbe, valamint U. Finsterwalder, aki alkalmazza ezt híd terveiben. (1925-1927 Alsleben (D) Saale íves alsópályás betonhíd $L= 26,10+28,60+68,00+11,50+10,50+9,75$ m). Az 1920-as évek végére pedig kifejlesztik a Zeiss-Dywidag rendszert, amely beton héjak kivitelezésére alkalmas. A II. Világháború után a cég székhelye Münchenbe kerül. 1951-53 között megépítik Worms-ban (D) az első nagy feszített szekrénytartós beton hidat a Rajna fölött ($L= 744$ m, $l_{max} = 114,20$ m, tervező U. Finsterwalder). A feszített acél dywidag rúd annyira sikeressé válik, hogy a cég 1950-ben a nemzetközi piacra lép a dywidag licenc értékesítésével. Ettől kezdve Európa szerte és távol-keleten ezzel a rendszerrel épülnek az utófeszített beton elemekkel tervezett nagy nyílású hidak. 1962-65 között elkészül a Rajna fölött Koblenz-Bendorf között az utófeszített tartós betonhíd, ($L= 1029$ m, $l_{max}= 208$ m, világrekord, tervező U. Finsterwalder). 1972-ben a Siemens Bauunion valamint 1991-ben az Union-Bau AG bekebelezésével nő a cég. 1979-ben létrehozzák a DSI (Dywidag System International) céget, amely a Dywidag rendszer licencének forgalmazásával foglalkozik. 2005-ben a Dywidag céget feldarabolják, és legnagyobb része a Strabag AG tulajdonába kerül. 2011-ben a Triton európai befektetési társaság tulajdonába kerül a DSI, amely már komoly nemzetközi hálózattal rendelkezik. 2018 januárjától négy önálló üzletágra bomlik a tevékenység: Utófeszítés, Geotechnika, Nemzetközi szolgáltatások valamint Beton kiegészítők.

A továbbiakban az első üzletág által ajánlott feszítópászma, feszítőkábel rendszerek elemeinek bemutatásával foglalkozunk.

a.) horgonyok



3. ábra

Többsíkú horgony (MA)
max. terhelés 1 201 – 15 354 KN



4. ábra

Sík horgony (SD) max. terhelés 721 – 2 511 KN

b.) kapcsolók



5. ábra

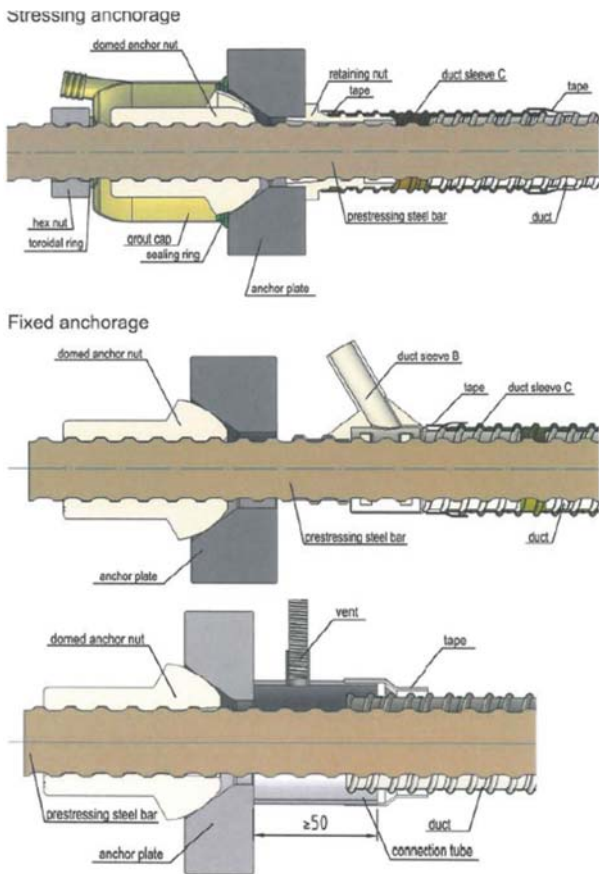
Rögzített kapcsoló (R)
max. terhelés 1 201 – 10 323 KN



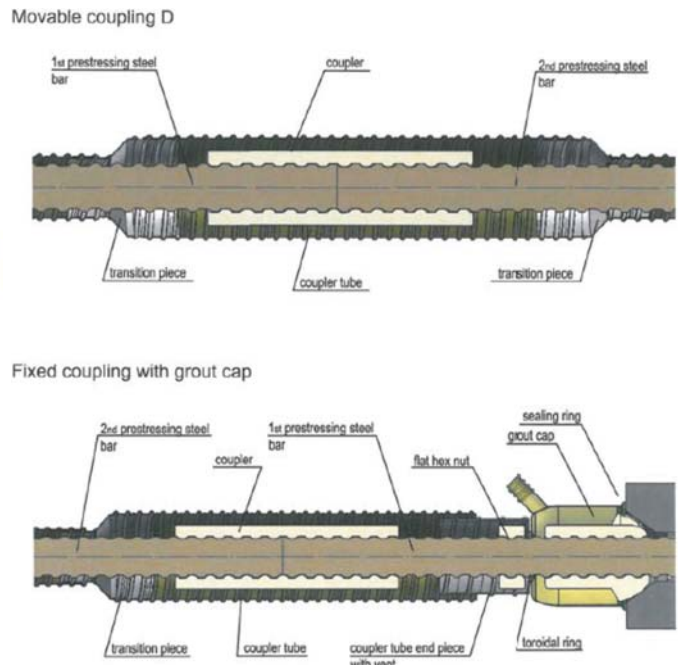
6. ábra

Lebegő kapcsoló (D) max. terhelés 1 201 – 10 323 KN

c.) a Dywidag márka első képviselője a feszített acélrúd rendszer:

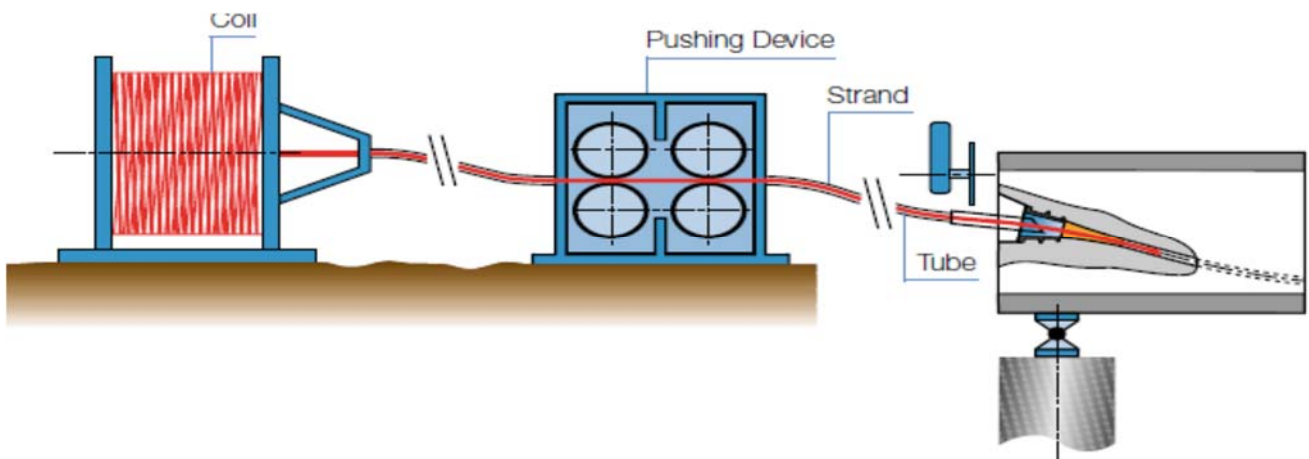


7. ábra
Rögzített és lebegő horgony



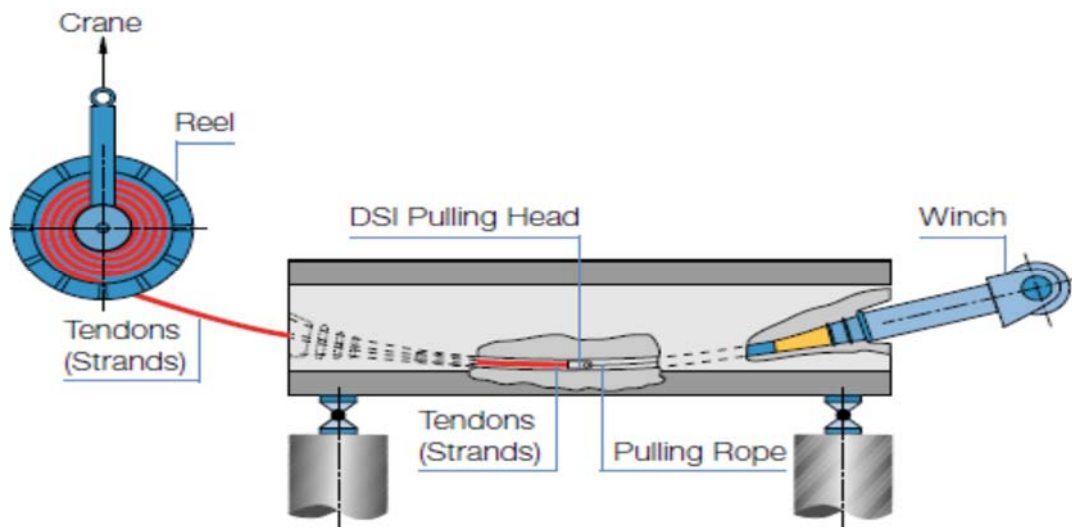
8. ábra
Rögzített és lebegő kapcsoló

d.) A feszítőpászsza betolással, 8 m/s sebességgel



9. ábra
Pászsza betolás

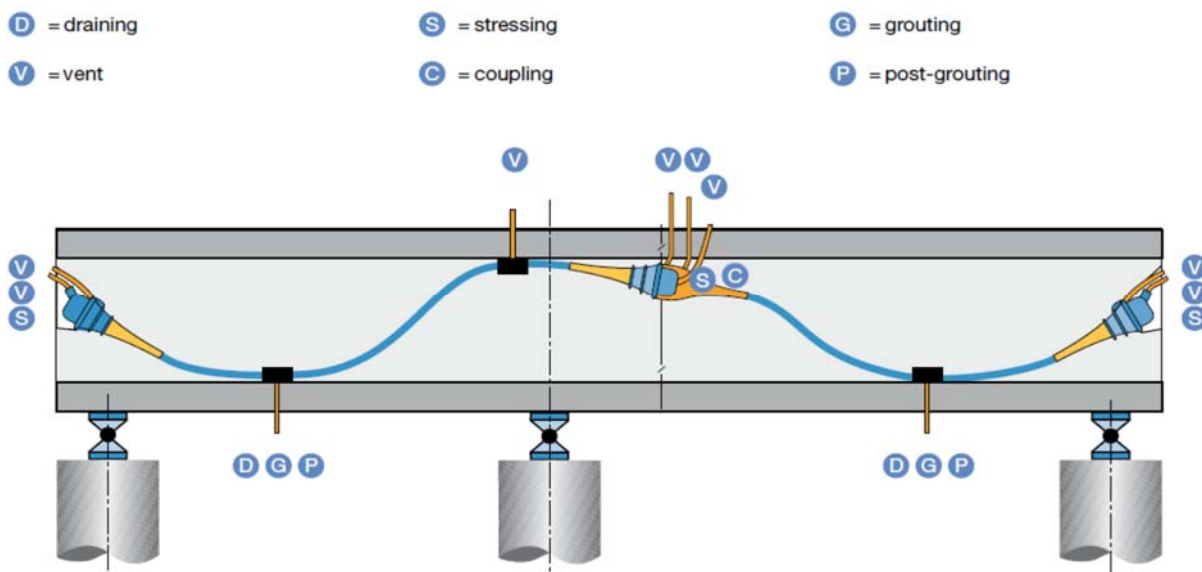
e.) A feszítőpászma behúzása



10. ábra
Pászma behúzás

f.) Tapadóbetétes feszítőrendszer kivitelezése

A pászma, kábelek szigetelésének valamint a szerkezethez való tapadásának biztosítása érdekében a feszítési folyamat lezárása után a hüvelybe különleges maltet injektálnak.



11. ábra
Hüvely/pászma nyomvonal

2.2. FREYSSINET

Eugene Freyssinet (1879-1962), Charles Rabut tanítványaként, tanulmányai elvégzése után (1905) a párizsi École Nationale des Ponts et Chaussées-ben tevékenykedett, az első világháború kitöréséig több forradalmi betonhidat is tervezett itt;





12. ábra
Eugene Freyssinet
a nyolcvanas éveiben

- 1911-ben Pont le Verdure, Vichy mellett, háromnyílású íves felsőpályás betonhíd $L=3 \times 72,5$ m,
- 1919-ben a Pont de la Liberation, Villeneuve-sur-Lot íves betonhíd $L=96,25$ m,
- 1923-ban a St. Pierre du Vauvaray íves, üreges, betonhíd $L=132$ m,
- 1930-ban pedig a Plougastel híd $L=180$ m.

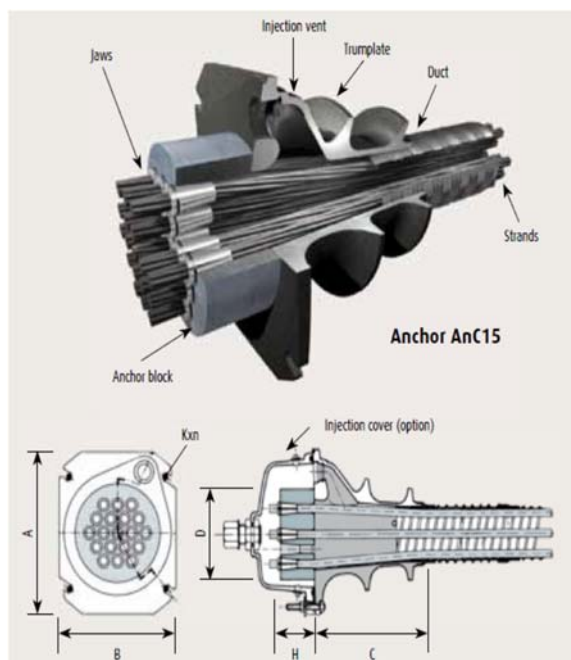
1935-től a Campenon-Bernard cég alkalmazottjaként folytatja tevékenységét a feszített betonhidak tervezésére koncentrálni.

1943-ban létrehozza saját cégét, Société Technique pour l'Utilisation de la Précontrainte (STUP), amely 1976-ban felveszi a Freyssinet nevet. Freyssinet úttörőnek számít, habár nem ő fedezte fel és dolgozta ki az előfeszítés rendszerét, de alkalmazása közben komoly tapasztalatokra tett szert, ami a beton és az acél viselkedését illeti a vasbeton és feszített vasbeton szerkezeten belül.

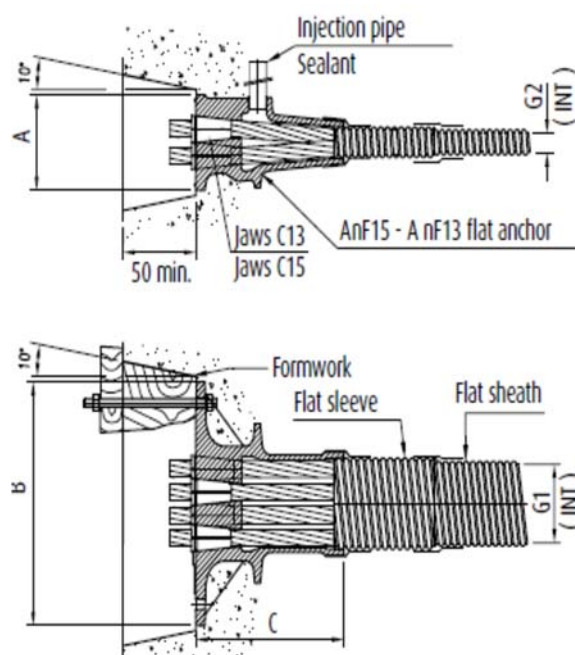
Olyan rendszert fejlesztett ki, amely biztosítja a szerkezetek üzemeltetés alatti biztonságos működését, korrózió elleni jótállását, valamint a feszítésben résztvevő elemek karbantartását, ráfeszítését a terhelés függvényében, esetleg cseréjét, ha szükségessé válik a szerkezet élettartamának meghosszabbítása érdekében.

Az utófeszítést alapvetően a hidak építésénél vagy felújításánál, kikötő móló építésénél, atomerőművek tartályainál, cseppfolyós gáztartályoknál, tengeri platformoknál, szélturbinák kivitelezésénél alkalmazzák. A feszítési rendszerek fontosabb elemei az alábbiak:

a.) Horgonyok:

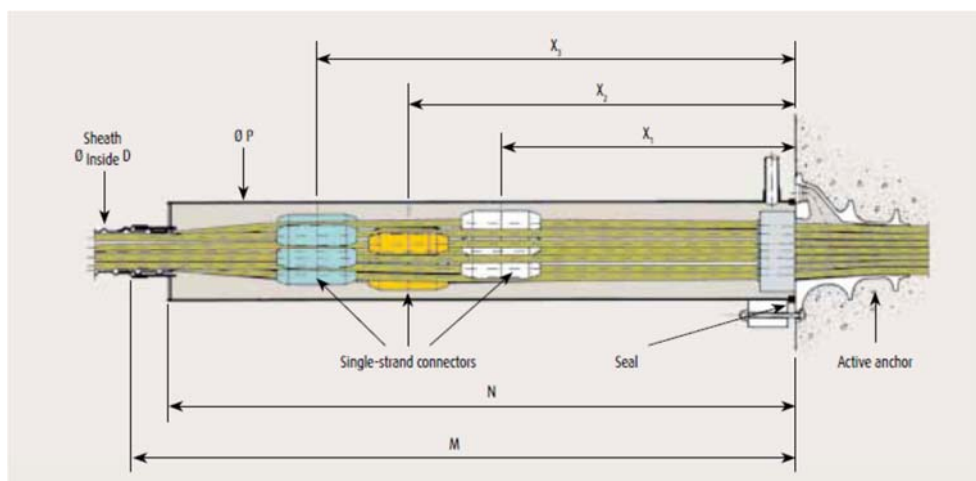


13. ábra
C típusú, 3-55 pázsma használata esetében



14. ábra
F típusú, 1-4 pázsma használatakor

b.) *kapcsolók:*



15. ábra
CI típusú rögzített kapcsoló

c.) *pázmák:* $\varnothing 15,7 \text{ mm}$ vagy $0,6''$

2.3. BBR-VT



BBR A Global Network of Experts



16. ábra
A BBR – alapítói Max Birkenmaier, Antonio Brandestini és Mirko Robin Ros

1944-ben három mérnök, Max Birkenmaier (1915-2002), Antonio Brandestini (1915-2003) és Mirko Robin Ros (1912-1968) létrehozta Svájcban a BBR céget, amely a függőkábeles technológia fejlesztését és alkalmazását tűzi ki célul.

A BBR technológia felhasználása az elmúlt 70 év alatt:

- 1945 Az első BBR termék, előfeszített pászma a szabadon szerelt hídelemek összekötésére,
- 1948 Megjelenik a BBR V utófeszítési, hidegen sajtolt acélhuzal,
- 1952 Az első komoly híd kivitelezése, az Adelfingen (CH) vasúti viadukt,
- 1960 A világ első ferdekábeles (HiAm) gyalogoshídja, Schillersteg Brücke, Stuttgart,
- 1972 BBR HiAm kábelekkel épül a müncheni olimpiai stadion. Kifejlesztik a BBR CONA PT rendszert,
- 1985 Részvétel a King Fahad, Szaud Arábiát Bahrein-el összekötő 25 km hosszú híd kivitelezésében
- 1999 Tataru híd (JP) kivitelezése, a XX sz. leghosszabb központi nyílású (890 m) ferde kábeles hídja
- 2005 Az EU által elfogadott BBR VT CONA CMX PT rendszer bevezetése,

- 2008 A BBR HiAm CONA kábel rendszer bevezetése,
- 2012 A ferdekábeles Ada híd a Száva felett Belgrádban (SRB), pilon H=200 m, L=964 m, 80 kábel használatával.

Az utófesztítés (PT) több mint 25 méretű pászma, kábel, horgony és kapcsoló felhasználásával történik a szükséges erőigény függvényében. Három alapvető megoldást különböztetünk meg:

a.) Belső tapadó pászmás – a műanyag vagy fém hüvelyeket bevezetik a szerkezet betonelemeibe és a feszítés után a hüvelyeket kitöltik különleges cement – vagy műgyanta alapú tapadást biztosító malterrel. Alapvetően a feszített betonhidaknál, beton héjaknál alkalmazzák.



17. ábra
Cona CMI-BT horgony



18. ábra
BH lebegő kapcsoló



19. ábra
Műanyag
horgonyzáró elem

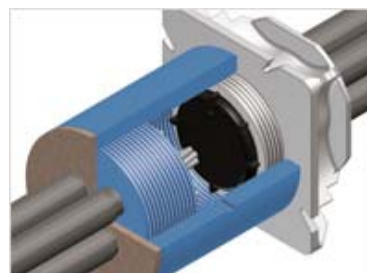


20. ábra
Védő hüvely

b.) Belső csúszó pászmás – ebben az esetben a hüvely beépül a betonszerkezetbe, de a pászma nem tapad a hüvely falához, az erő csak a horgony és a beton felületen keresztül adódik át. Infrastruktúra szerkezetek kivitelezésénél használják, előnye, a feszítési erő ellenőrzésének és időbeni ráfeszítésének a lehetősége.



21. ábra
CONNA CMM kettő/négy

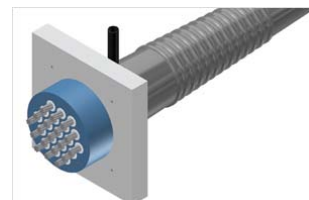


22. ábra
H kapcsoló

c.) Külső csúszó pászmás – ebben az esetben a pászmákat a beton- vagy acélszerkezet külsejére fogják fel és feszítik meg, általában védőhüvelybe vezetve. Ez az a megoldás, amelyet a létező beton/acél hidak felújításakor vagy az öszvérszerkezetű hidak kivitelezésénél alkalmaznak. A szerkezet teher alatti viselkedésének ellenőrzését és a feszítő erő szintentartását, esetleg az igénybevétel növekedését ennek növelésével lehet elérni.



23. ábra
CONNA CME BT



24. ábra
CONNA CME SP



25. ábra
K rögzített kapcsoló

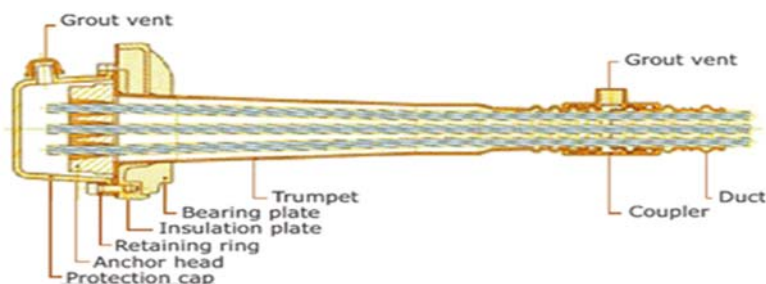


26. ábra
H rögzített kapcsoló

2.4. VSL – member of Bouygues Construction



27. ábra



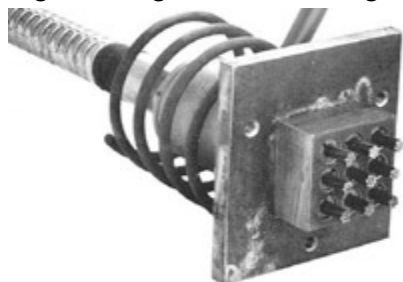
28. ábra
VSL rendszer

A VSL vezetése a VSL Systems kifejlesztése alatt (27. ábra, balról jobbra): Hans Dietrich, feltaláló, Hans Elsässer, vezető, valamint Giovanni Crivelli, helyettes vezető.

1943-ban Eugen Losinger (1891-1951), svájci építőmérnök fantáziát lát a betonfeszítésben és vásárol egy Svájcra érvényes licencet. 1954-ben, 10 év tapasztalattal a háta mögött létrehozza a Précontrainte SA céget lausannei székhellyel, melynek fő célja egy saját, modern, feszítési rendszer létrehozása. 1955-ig sikerül is bejegyeztetni és levédeni a VSL (Vorspann System Losinger) feszített kábel rendszert, melyet már 1956-ban, a Pont de Cygnes építésénél Yverdon-ban (CH) használnak is. 1962-től Vinzenz Losinger (1935 –), Eugen Losinger fia vezeti a céget, és 1965-ig kidolgozzák a nagyobb kapacitású feszített pászmákat használó

– VSL strand system – rendszert. Ezáltal a vállalkozók, tervezők és kivitelezők egy olyan rugalmas pászma/kábelfeszítési rendszert alkalmazhatnak, amely révén 15–1200 to feszítési erő tartományt használhatnak a kivitelezésben.

A külső csúszó pászmás VSL feszítési rendszer nem csak olcsóbb, de gyakorlatiasabb is. Ez biztosítja a szerkezet tervezőket arról, hogy abban az esetben, ha előregyártott elemeket használnak, a szerkezet élettartama alatt ellenőrizhetik és módosíthatják a feszültségeket. A külső feszítési rendszerek fejlődése megengedi a feszítő erők beállításán és a terhelésekhez való alkalmazásán túl, akár a pászmák cseréjét is, ha időben szükségessé válik.



29. ábra
Pászma horgon



30. ábra
PT plus rendszer

A "PT PLUS" rendszer fejlesztése 1988-ban készült el. A teljes rendszer elemei műanyagból készülnek, ezáltal biztosítják a rozsdásodás gátlását, és egyúttal lényegesen csökkentik a súrlódási ellenállást.



31. ábra
Composite Systems

A kompozit CS – Composite System – rendszer 1992-ben kerül a piacra. A legfrissebb, magas minőségű betonok és malterok kutatási eredményeinek figyelembevételével dolgozták ki a különleges acélhorgonyzó fej és műanyag kiegészítő alkatrészek együttesét, amely alacsony súly és méret mellett magasabb fáradási- és korrózióálló tulajdonságokkal rendelkezik.



31. ábra
Nagy kapacitású prés

A VSL utófeszítési rendszerei megfelelnek az ETA (European Technical Approval) követelményeknek. A VSL többszálás pászmái akár 55 db. 7x15,7mm szálak kábelből állhatnak, amelyek szakítószilárdsága 1860 Mpa. A felhasznált acélszál megfelel az EURONORM 138-79, ASTM A 416-85, BS 5896 szabványoknak. A csúszóbetétes rendszereknél a HDPE hüvelyeket egy különleges zsírral tömítik, amely a súrlódás csökkentésén kívül tovább biztosítja a pászmák rozsdamentességét.

3. ÖSZVÉRSZERKEZETEK FESZÍTÉSE – ÖSSZEFOGLALÓ

Az öszvérszerkezetekben mind a két – belső és külső – feszítési mód megtalálható, a belsőt a hidak pályalemezében, vagy a csarnokok betonpadlójában, míg a külsőt a hidak acél tartójának feszítésénél alkalmazzák.

A külső feszítéseket Karl Dischinger alkalmazta először a 20-as években, sajnos a feszített pászma/kábel nem megfelelő szigetelési eljárása miatt a rozsdásodás időben komoly károkat okozott, ezért egyre ritkábban alkalmazták. A 70-es évek végén viszont a már korosodó betonhidak felújításánál a növekvő terheléseknek való megfelelés céljából újra alkalmazni kezdték komoly sikerekkel, mivel a felhasznált anyagok és a közben kifejlesztett szigetelés technológiák megoldották a rendszer „gyerekbetegségeit”. A 80-as évektől az előregyártott betonelemekből vagy öszvérszerkezetekből összerakott nagy nyílású függő- vagy ferdekábeles hidak fő eleme a külső feszítés lett, amellyel gyors kivitelezési ütemet sikerült biztosítani, lényegesen csökkentve a költségeket és a kivitelezési időt.

A csúszóbetétes külső feszítési rendszer alkalmazásának előnyei:

- a vékony betonlemezeken könnyebben betonozhatóak, mivel a feszítés kívülről készül,
- vékonyabb és könnyebb betonlemezeken készülhetnek, mivel a vasalás keresztmetszete is csökkenthető,
- magasabb, különleges beton minőségek (C55 –C100) használatának lehetősége,
- a feszítési rendszer könnyebben szerelhető a szerkezetre, több hely áll rendelkezésre,
- a szerkezetbe épített védőhüvely helyenként eltérhet az ideális nyomvonalától, ezáltal növelve a súrlódást,
- műanyag hüvely használatával pedig tovább csökkenthető a súrlódási veszteség,
- a külső feszített pászmák cserélhetők vagy módosíthatók bennük a feszítési erő a szerkezet élettartama alatt,

A csúszóbetétes külső feszítési rendszer alkalmazásának hátrányai:

- a rendszer érzékenyebb a környezeti hatásokkal szemben – tűz, vegyszerek, korrózió, vandalizmus,
- mivel az erő csak a horgonyzásnál adódik át, nagyobb feszítőerőt, és feszített keresztmetszetet kell használni,

- mivel nincs a szerkezet teljes statikai keresztmetszete kihasználva, növelni kell a feszítő erőt,
- bizonyos szerkezetek keresztmetszete és az alkalmazott technológia megnehezítheti a feszítés végrehajtását.

Napjainkra tehát, az öszvérszerkezetek elő- vagy utófeszítéssel történő kivitelezésének technológiái, a felhasznált anyagok, valamint ezek tervezése eljutottak arra a szintre, hogy bátran alkalmazhatókká váltak, mind a magasépítés, mind a mélyépítés területén. A szerkezetek esztétikusabbak, látványosabbak, már-már a „józan ész” határait súrolják, és minden újabb épület vagy híd a következő lépést jelenti a fejlődés útján. Folyamatosan csökkentjük a felhasznált anyagok mennyiségét, a kivitelezési időt, ezzel az új megoldással pedig több mint 30%-al csökken az „ökológiai lábnyomunk” a környezetben.

SZAKIRODALOM

- [1] Structuri compuse otel-beton
a.Stefan I. Gutiu, Catalin Moga – Editura UT Press 2014
- [2] Structuri compuse otel-beton si beton precomprimat – beton armat,
a.Avram, V. Bota – Editura Tehnica 1975
- [3] www.bbrnetwork.com
- [4] www.dywidag-systems.com
- [5] www.freyssinet.com
- [6] www.vsl.com
- [7] structurae.de – Die größte Internationale Datenbank für Bauwerke und Bauingenieure
- [8] Wikipedia