

Prométheusz béklyói

The Chains of Prometheus

Dr. BENCZE Zsolt

Ferrobeton Zrt, 2400 Dunaújváros, Papírgyári út 18-22.,
bencze.zsolt@ferrobeton.hu,
www.ferrobeton.hu

Abstract

Transportation, as the foundation of our civilization, has posed new and new challenges for civil engineers for centuries. Today, we have reached the point where we can no longer develop further with traditional construction materials according to the previous terminology, unless we start using completely new materials and technologies. Ferrobeton Zrt. completed 2 research projects in the past year, in which it began to push the boundaries of the traditional approach in order to overcome the physical limitations of beam bridge construction.

Keywords: CFCM, CFCC, CFRP, bridge, beam

Kivonat

A közlekedés, mint a civilizációnk alapja, újabb és újabb kihívásokat jelentett az építőmérnökök számára évszázadokról évszázadokra. Ma elértük azt a pontot, ahonnan már nem tudunk - az eddigi terminológia szerinti hagyományos építőanyagokkal - tovább fejlődni, csak ha merőben új anyagokat és technológiákat kezdünk használni. A Ferrobeton Zrt. az elmúlt esztendőben fejezett be 2 olyan kutatást, amelyben a hagyományos szemlélet határait kezdte feszegetni annak érdekében, hogy a gerendás hidépítés fizikai korlátait le tudjuk küzdeni.

Kulcsszavak: CFCM,CFCC,CFRP, híd, gerenda

1. BEVEZETÉS

A görög mitológia egyik kulcsszereplője Prométheusz, akit azért büntetett Zeus, mert az emberiség fejlődéséhez nélkülözhetetlen technológiai újítást – a tűzgyújtás tudományát – megtanította a görögöknek, úgy, hogy egy sziklához láncolta, hogy nap, mint nap szenvedjen egy speciális büntetéstől. Titánként túlélte a tartarosi száműzetést és az emberiséget is Ő teremtette. Segítsége és emiatt rákirótt büntetése, akárcsak a szabadulása, mind-mind egy olyan metaforikus eseményláncolat, amely jól illik a mai modern világ technikatörténeti kronológiájába. A tűz, mint a kohászat alapja, egy olyan utat nyitott meg az emberiségnek, amely folyamatos fejlődését vetítette előre. A láncokat, amelyekkel Prométeuszt a sziklához rögzítették, nem lehetett az adott kor technológiájával eltörni, akárcsak a mai kor környezeti feltételrendszerét. Ezek a feltételek folyamatosan gúzsba kötik a mérnököt és napról napra újra és újra kihívások elé állítják, mindig próbára téve a tudását.

Az elmúlt évek kutatásai egyértelműen kimutatták, hogy az acéllal ellentétben, amely hajlamos a környezet okozta korrózióra a megfelelő betontakarás ellenére is, a szénszálak kompozitok teljesen immunisak rá, ami jelentősen, akár több mint 100 évre is meghosszabbítja a hidak élettartamát. A gyártási és tervezési tapasztalatok alapján már ajánlások állnak rendelkezésre a tervezési biztonsági tényezőkre vonatkozóan, így a szabályozások bővítése már folyamatban van annak érdekében, hogy a tervezés mindennapi rutinná váljon.

A szénszál építőmérnöki fejlődése három különálló módszertanra ágazott szét a tartósság, a szilárdság és a tűzbiztonság kezelésére. Két kutatási projekt fejeződött be tavaly a Ferrobeton Zrt-nél, amelyek fő célja ezen anyagok hidépítési technológiában való alkalmazásának bemutatása, kutatása és alkalmazhatóságának igazolása volt.

2. CFC_x, AZAZ A SZÉNSZÁLTECHNOLÓGIÁK VÁLTOZATOSSÁGA

A szénszálalás anyagok technológiai sokszínűsége elért arra a szintre, hogy nagy biztonsággal lehet már alkalmazni hídépítési vagy hídfenntartási megoldásként is. Minden nagyobb építőipari vegyipari vállalat rendelkezik technológiai megoldással és szabályozott tervezési és használati utasításokkal a polimerrel erősített szénszálalás (CFRP) lemezerősítésekre. A cement- és kompozit alapú technológiák (CFCM és CFCC) még nem rendelkeznek ilyennel, de a folyamat elindult, hogy lehetővé tegyék alkalmazásukat nagyobb projekteknél, ahol a környezeti feltételek ezt indokolják. A nemzetközi kutatások mellett [1-4] a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) kutatásai több mint két évtizede a CFRP, CFCM és CFCC anyagok szerkezeti integritására és hosszú távú tartósságára is koncentrálnak. A BME-n Balázs L. György vezette kutatások széles körben vizsgálták a különböző szénszálalás technológiák előnyeit és hátrányait [5-6].

2.1 CFRP

A szénszállal erősített polimer (CFRP) továbbra is a legszélesebb körben használt megoldás a beton hídgerendák külső megerősítésére. A CFRP-t szénszálalás epoxigyantával való impregnálásával állítják elő, így nagy merevségű laminátumokat vagy lemezeket hoznak létre. A CFRP elsődleges mechanikai előnye a szakítószilárdsága, amely nagy igénybevételű alkalmazásokban meghaladhatja a 3000 MPa-t. A standard tervezési módszertan azonban figyelmeztet, hogy a CFRP hatékonyságát korlátozza a betonfelület „leválási” feszültsége. A tervezési tapasztalatok azt mutatják, hogy a CFRP-vel erősített gerendák gyakran hirtelen tönkremennek, amikor a betonburkolat nagy nyírófeszültség alatt leválik. Ennek enyhítésére a gyártók „közeli felületre szerelt” (NSM) CFRP rudakat fejlesztettek ki, amelyeket a beton hornyaiba ágyaznak.

2.2 CFCM

A szénszálalás cement mátrixot (CFCM), más néven FRCM-et, a CFRP hő- és párazáró tulajdonságkorlátai miatt fejlesztették ki. A CFCM egy nagy teljesítményű szervesetlen cement alapú habarcsba ágyazott szénszálalás rács. A CFCM előállítására speciális „nedves a nedvesen” felhordási eljárást igényel annak biztosítására, hogy a habarcs teljesen körül vegye a szénrácot. Előállításánál ügyelni kell a végső hasznos hosszra és a rúd felületének kialakítására is. A kutatások kimutatták, hogy a CFCM kapacitásának akár 80%-át is megtartja 400°C-on, míg a CFRP 100°C-on teljesen elszakad. A CFCM előnyösebb lehet alagutak és hidak esetében, ahol szigorúak a tűzvédelmi előírások, vagy nagyon magas a beton korróziójának kockázata. A hagyományos vasbeton szerkezetekhez képest a CFCM technológia előnye a hídszerkezetekben aknázható ki leginkább. A téli útkarbantartási munkálatok során használt jég- és hóolvasztó szerek káros hatásai, amelyek a betonacél korrózióját okozzák, minimalizálhatók ezzel a technológiával, ha megfelelően választják meg az alkalmazási területet (1. ábra). A budapesti hidak és felüljárók romlási folyamata az elmúlt években drámaian felgyorsult a szakmai érveket elárnyékoló döntéshozatalok miatt. Ezért a Flórián tér felújítási pályázata során örömmel fogadták, hogy létezik egy olyan technológiai megoldás, amely kiküszöböli a téli útkarbantartás okozta károsodás egyik neuralgikus pontját. A technológiával készült termékek Nemzeti Műszaki Értékelésének elkészítése és validálása után ez a megoldás bárhol alkalmazható, ahol a környezeti kitéti osztályok ezt indokolják. A Nemzeti Műszaki Értékelésben két, alapvetően eltérő mechanikai terhelésű termékcsoporthatároztunk meg:

- önhordó szerkezet (AVCP 4)
- statikailag hasznos teher viselésére alkalmas szerkezet (AVCP 2+)



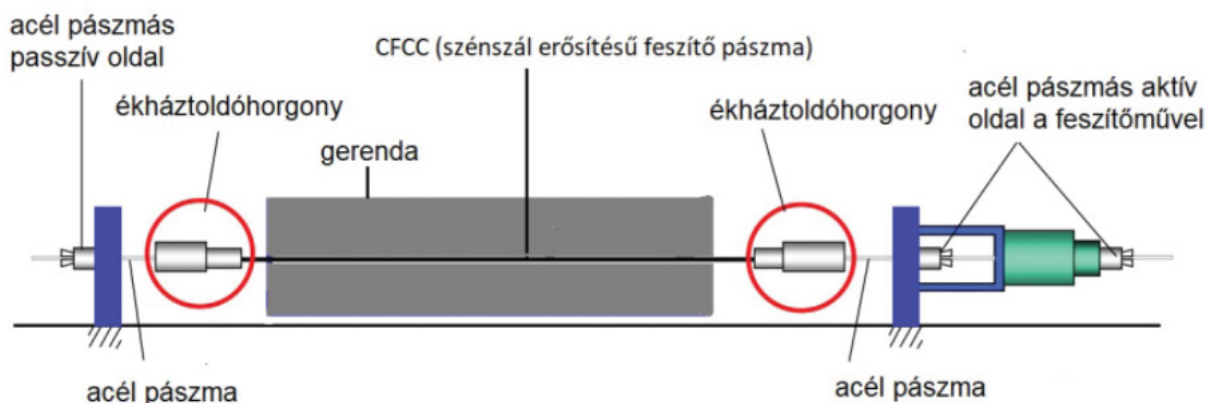
1. ábra. A hídszegély CFCM váza a szilikonsablonban

A hídszegély az első csoportba tartozik. A monolit pályaszerkezetbe egy egyszerű szögvas tartót öntenek, amely rögzíti a hídszegély elemét, és egyben kiegészítő horgonyként is szolgál a későbbi munkákhoz.

A beton műanyag szálerősítésű, így a kengyelek is elhagyhatók. A gyártáshoz szilikon sablont használtunk annak érdekében, hogy az elemek tökéletesen egyenletesek legyenek

2.3 CFCC

A szénszál kompozit kábel (CFCC) szintén a szénszál technológia egy speciális formája, amelyet elsősorban előfeszített pászmástechnológiaként használnak. A CFCC szálakat szénszál fonalak sodrásának és gyanta keverésének a komplex eljárásával állítják elő. A Tokió ROPE gyártási irányelvei hangsúlyozzák, hogy a CFCC 80%-os súlycsökkentést kínál a hasonló acélkábelekhöz képest. A CFCC egyik fő tervezési akadálya a „rögzítési zóna”, ahol a kábelt a keresztirányú szénszálak összenyomódása nélkül kell megfogni. A japánok által kifejlesztett horgonyok a hatalmas húzóerők átvitelére alkalmasak alakváltozás nélkül így acélpászmástechnológiával is lehet használni. A CFCC kifáradási élettartama jelentősen magasabb, mint az acélé, több mint 2 millió ciklust bír ki nagy feszültségtartományban meghibásodás nélkül. A kutatás során azt használtuk ki, hogy maga a CFCC technológia nem sokban különbözik a hagyományos acélpászmástechnológiától. A technológia megoldás lényege, hogy a tartószerkezetben lévő szakaszban az acélpászmát CFCC pálcával helyettesítettük. Ez elméletileg gyorsan megoldható, de a gyakorlatban a Tokio Rope szabadalmaztatott eljárása nélkül nem oldható meg könnyen (2. ábra). A COVID-19 közepén indult kutatás végül sikeresen lezárult, de a jelenlegi technológiai megoldás még nem piacorientált [8].



2. ábra. A szénszál pászma-technológia elméleti rajza

3. A GEOMETRIAI KORLÁTOK „ÁTHIDALÁSA”

A kutatás másik iránya a geometriai lehetőségek maximalizálása volt. 2025-ig hazánkban az FI-150 hídgerenda típus volt az a megoldás, amellyel a tervező 45 méteres fesztávolságot tudott áthidalni [7]. A BME és a Ferrobeton (az FI gerendacsalád gyártója) közös kutatásának részeként létrejött az FU-150 és az FI-200 gerenda típus, amely utóbbi egy 200 cm magas hídgerendát jelent, és 51,6 méteres fesztávolságot lehet vele áthidalni.

Az FI 150 hídgerendák (150 cm magasak és általában 44,8 méter hosszúak) továbbfejlesztése számos technológiai kérdést vetett fel, amelyek befolyásolják a gyárthatóságot:

1. Vajon a tartóvég elbírja-e a szükséges szálak okozta feszültséget?
2. Mekkora lesz a saját súlya a gerendának, és szállítható-e közúton?
3. Növelhető-e a beton szilárdsága jelentős többletköltségek nélkül, ha könnyíteni szeretnénk a fajlagos önsúlyt?
4. Milyen erők keletkeznek a feszítőkeretekben és a feszítőágyban, ha minden sort kihasználunk a termelési hatékonyság érdekében?

Mindezekre a kérdésekre sikerült választ adni, és kísérletekkel bizonyítani a számítások helyességét. A kutatás és a tesztek során számos kihívással szembesültünk (3. ábra), de sikerült elkészítenünk a tervezett gerendákat (4. ábra), és a teszterhelések (5. ábra) is sikeresek voltak, bár folyamatosan nagy figyelmet kellett

fordítani a technológiai fegyelemre, mert a certyd nem kegyelmezett, ha hibáztunk a könnyített beton keverésénél.



3. ábra. A hídgerendák öntéséhez használt certydes beton vizsgálata



4. ábra. Az elkészült 200 cm magas hídgerenda és a sablonja



5. ábra. A hídgerendák próbaterhelése

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatási projektek keretében bemutattuk, hogy a szén-szálalás technológiák elsődleges hatékonysága a magas szilárdság-tömeg arányukban rejlik, ami nagymértékben csökkenti a logisztikai és a szerelési költségeket. A megrendelői oldal szempontjából bár az egyes gerendák bekerülési költségei magasabbak, de hosszú távú gazdasági hatékonyságukat a jelentősen alacsonyabb karbantartási igény és a hosszabb szerkezeti élettartam bizonyítja. Ezekkel a kutatásokkal bebizonyítottuk, hogy elértük a hídgerendák geometriai és súlykorlátainak határát, ami a vasbeton és kompozit betonszerkezetek esetében mérföldkőnek tekinthető. Akár úgy is megfogalmazhatjuk a kérdést, hogy levetítettük azokat a képzeletbeli béklyókat, amelyeket az eddigi technológiai gyakorlati alkalmazások jelentettek számunkra. Mint minden történetnek, úgy ennek a technológiai problémának is lehet majd egy másik megoldása is és a titánok, istenek és emberek hétköznapi civakodása helyett jön majd egy kis egér és vascsőppentővel megoldja Prométheusz minden problémáját...

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani minden Ferrobeton Zrt. dolgozónak, akik megalkották a hídgerendákat, a vezetésnek, hogy támogatták az ötletet, Gábornak, hogy lankadatlan kitartásával végig vitte és a finanszírozóknak, hogy támogatták a GINOP PLUSZ 2.1.1-21-2022-00095 és a 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00142 pályázati projekteket!

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Meier U.: Carbon Fibre Reinforced Polymers in Bridge Engineering, IABSE Congress Report 18(31), 2012, DOI:10.2749/222137912805110411
- [2] Vijayan et al: Carbon Fibre-Reinforced Polymer (CFRP) Composites in Civil Engineering Application—A Comprehensive Review , <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/6/1509> 2012.02.13.
- [3] Hossein H, A. Nussbaumer, Masoud M, Elyas G.: Strengthening of Steel Connections in a 92-Year-Old Railway Bridge Using Prestressed CFRP Rods: Multiaxial Fatigue Design Criterion, Journal of Bridge Engineering 26(6):04021023, 2021, DOI:10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0001714
- [4] Yamashita H.: Carbon Fiber Composite Cable (CFCC®), The Proceedings of Mechanical Engineering Congress Japan, 2019, DOI: 10.1299/jsmemecj. 2019.F04202

- [5] Gy. L Balázs, F. Csurgai, S. Sólyom.: Bond of CFCM – a new form of bond, Conference Paper Conference: Bond in Concrete 2022 – Bond, Anchorage Detailing, Stuttgart, Germany, 2022
- [6] S Solyom, G.L Balázs: Bond of FRP bars with different surface characteristics, Construction and Building Materials Vol 264 pp 119839, 11.08.2020, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119839>
- [7] Bedics T, Kovács T, Dubrovsky G.: The design method of FI 150 bridgebeam , Concrete Structure, X/2 (2008), pp. 34-41, http://www.fib.bme.hu/folyoirat/vb/vb2008_2.pdf 31.01.2026.
- [8] Bencze Zs., Dubróvszky G., Balázs L.Gy, Sólyom S., Novoszáth T, Bedics A., Szabó J.: Szénszál erősítésű feszítőpásmás tartók kísérleti gyártása a Ferrobeton Zrt.-nél, Beton Vol. XXIX/III. pp.