

## 4.5 | Erősített műanyagok építőmérnöki 1.5 | alkalmazásokban

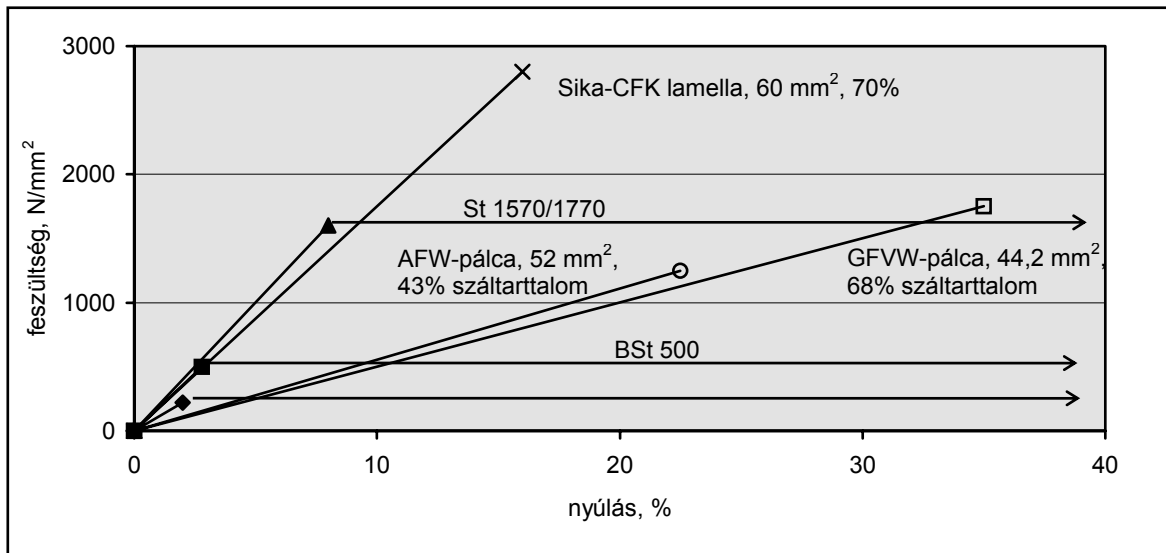
*Tárgyszavak: szálerősítésű anyagok; vasbeton szerkezet;  
javítás; szénszálal lamella;  
hidak megerősítése; hídépítés;  
előfeszített szerkezet.*

### Vasbeton hidak utólagos megerősítése szénszálal műanyagokkal

A vasbeton elemek utólagos erősítése ragasztott acélhéjakkal már az 1960-as évek óta ismert, elfogadott és az egész világon alkalmazott módszer. Mintegy tíz éve terjedőben van egy másik technológia is, különösen az USA-ban, Japánban és Svájcban, amelynek lényege, hogy az utólagos erősítéshez szénszálal műanyagrétegeket használnak. Ennek vannak bizonyos előnyei az acélhéjakkal szemben. Ilyenek a következők:

- a rendkívül kis tömeg lehetővé teszi, hogy a ragasztást közvetlenül összekössék a felhordással, nincs szükség további rögzítésre,
- könnyen kezelhető, 250 m hosszú csévékkel dolgoznak, nincs szükség hegesztésre,
- az erősítő anyag könnyen szállítható nehezen hozzáférhető helyekre is, a csévék tömege mindössze 25–30 kg,
- az erősítő anyag könnyen és gyorsan dolgozható fel,
- a rétegek szakítószilárdsága  $2800 \text{ N/mm}^2$  körüli érték,
- a rétegek nagyon vékonyak (1,2–1,4 mm a kb. 10 mm vastag acél-szerkezetekkel szemben),
- a szerkezet jól ellenáll a környezeti hatásoknak (korrózió és lúgállóság),
- a szerkezet nagyon jól tűri a dinamikus igénybevételt (nem fárad el).

A Sika cég CarboDur márkanevű szénszálal-erősítésű lamelláinak erőnyúlás diagramja az 1. ábrán látható más szálerősítésű rendszerek és acélok mechanikai viselkedésével összehasonlítva.



1. ábra Egy Sika-CarboDur lamella feszültség-nyúlás görbéje más szálerősítősű (FVW) anyagok és acélok (St) görbéivel összehasonlítva. (A szálerősítésű rétegek tulajdonságainak számításakor csak az erősítőanyag jellemzőit és térfogattörtjét vették figyelembe, mert a gyanta hatása szálirányú szilárdság esetében elhanyagolható.)

## Az erősített rétegek kifejlesztése

1995 óta Németországban rendszerint 170 GPa vagy 210 GPa rugalmassági modulussal rendelkező CarboDur típusú erősítő réteget használnak szerkezetek utólagos megerősítéséhez. Az egyik első alkalmazás (eseti engedély alapján) Magdeburg városában 6 méteres előfeszített loggiamellvédek utólagos erősítése volt. A teherhordó képességet 55%-kal sikerült növelni úgy, hogy közben az erősítő anyag tömege mindössze 1,8 kg volt. Ezt követően további munkákra került sor, amelyekben ugyancsak bebizonyosodott a technológia előnye, és a szakmunkások felmérhették az eljárás egyszerűségét más technológiákkal szemben. A Sika cég CarboDur rétegei először 1997-ben kaptak általános engedélyt, a már bevált alkalmazások biztosították a módszer gyors bevezetését és elterjedését. Az idő előrehaladásával egyre bővül a technológia alkalmazásának referencialistája. A statikai méretezést példaszámításokkal, majd egy egyszerű méretező szoftverrel segítették. Az utólagos erősítés leggyakoribb okai a szerkezetek túlterhelése, a hibás vagy kihagyott vasalások, rozsdásodás vagy tűzkárok. A kivitelezést olyan szakcégek végezték, amelyek a szénszálalás rétegek alkalmazására és ragasztására a szükséges engedélyt megkapták. Az 1997-es általános engedélyt 2002-ben meghosszabbították.

## Alkalmazás hidak erősítésére

Az alkalmazási engedély birtokában könnyebb volt bevezetni a szénszál-  
las rétegeket a hídépítés területére, különösen hidak felújításakor. Első próba-  
ként 1996-ban három, az 1930-as évekből származó acélszerkezetes híd javítá-  
sával próbálkoztak Drezdában. Teherhordó képességüket, amely az acél-  
erősítés rozsdásodása miatt jelentősen lecsökkent, sikerült 98%-kal megnö-  
velni. Az engedélyezéshez készítettek egy kísérleti gerendát, amelyet a  
Braunschweigi Műszaki Egyetemen fárasztási vizsgálatnak vetettek alá. A ge-  
renda 2 millió terhelési ciklus után sem tört el. Hasonlóan jó eredményeket ér-  
tek el Zürichben is, egy másik vizsgálatban. Az eredményeken felbátorodva  
több hídrekonstrukciónál is alkalmazták a szénszál-  
las rétegeket. Az újabb vizsgálatok szerint az erősítés az öntött aszfaltréteg alá is beépíthető.

## Előfeszített szénszál-erősítésű rétegek kötőanyaggal

Feszített betonhidakon a csatlakozási fugáknál gyakran repedések jelen-  
nek meg, ha az előfeszítés nem elegendő. Ilyenkor (az ún. II. állapotban)  
fennáll a feszítőelemek vagy a vasalás meghibásodásának veszélye. A II. ál-  
latban a forgalom által okozott rezgések amplitúdója sokkal nagyobb, mint  
az I. állapotban. Felújításkor két módszer áll rendelkezésre a rezgési amplitú-  
dó csökkentésére:

- további nagy acélkeresztmetszetet kell csatolni a korábbi szerkezet-  
hez, hogy az átlagos feszültség a forgalom által okozott megterhelés  
hatására csökkenjen,
- utólagos előfeszítéssel vissza kell állítani az I. állapotot.

Az előfeszítéshez CarboDur rétegek is alkalmazhatók. A beton felületén a  
rétegeket elrendezik, előfeszítik, majd felragasztják. A rögzítő- és feszítőele-  
mek egyszerűek és jól használhatók az építőipari környezetben. A prést kézi  
pumpákkal működtetik, amelyekkel 1500 bar nyomás érhető el. Az első olyan  
híd, amelyet ezzel a módszerrel újítottak fel, 1968-ban épült, a felújítás idő-  
pontja 1998 volt. A túl nagy előfeszítés miatt az alátámasztásoknál repedések  
keletkeztek. A kivitelezés előtt részletes számításokat végeztek, és a Sika  
GmbH, a szénszál-  
las termékek gyártója Zürichben kiterjedt vizsgálatokat vé-  
geztetett előfeszített, 6 méter hosszúságú kísérleti betongerendákkal. Az ala-  
pozás és a ragasztóréteg kiegyenlítése után a repedéseket Icosit-K típusú ön-  
tőgyantával öntötték ki, és a horgonyfejek alaplemezeit 8 méter távolságban  
helyezték el. Az S 512 (50x1,2 mm) típusú standard lamellákat feszítetlen ál-  
latban, epoxigyanta ragasztóval hordták fel. Ezután felcsavarozták a feszítő-  
fejekre és 1160 N/mm<sup>2</sup> feszültséggel előfeszítették – ami a szakítószilárdság-  
nak kevesebb, mint 40%-a. Az előfeszítés 44 mm-es előfeszítési út esetén kb.  
5‰ volt. A nyúlás mértékének rögzítése után a prést eltávolították. Egy előfe-

szítési ciklus kb. egy órát vett igénybe. A Sika-rétegek mechanikai adatait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

Néhány szénszállal erősített Sika gyártmányú réteg  
mechanikai jellemzői

Rendszer	LC I	LC II	LCIII
Forgalmazás kezdete	1998	2001	2002
Sika CarboDur lamellatípus	S 512	V 914	2x V 914
Keresztmetszet	60 mm <sup>2</sup>	126 mm <sup>2</sup>	252 mm <sup>2</sup>
Számított terhelhetőség (legalább)	168 kN	350 kN	700 kN
Előfeszítés (húzással)	6‰	9‰	9‰
Sajtolási nyomás	1450 bar	900 bar	400 bar
Előfeszítő erő	60 kN	200 kN	450 kN

## A csatlakozó fugák felújítása

Egy 1964-ben épült hétnyílásos hídhöz hossz- és keresztirányban előfeszített, kétrétegű lemezgerendákat alkalmaztak, és itt a csatlakozó fugákban erős repedezés lépett fel. A számítások azt mutatták, hogy az acélelemekben a feszültség túlságosan lecsökkent, ami megnöveli a fáradási törés veszélyét. Ezt utólagos előfeszítéssel lehetett kivédeni. A javaslat szerint a csatlakozó fugák repedéseit kívülről felvitt, előfeszített, szénszál-erősítésű rétegekkel el-lensúlyozták, amelyet az illetékes hatóságok elfogadtak. A kilengés mértékét jelentősen csökkenteni lehetett a helyben előfeszített, ragasztott Leoba-CarboDur (SLC III) elemekkel. A hűvös idő és a gyorsan előrehaladó repedezés miatt a ragasztó keményítését melegítéssel gyorsították (egy speciális transzformátor alkalmazásával). A teljes kikeményedés 2–3 óra alatt bekövetkezett, az időleges rögzítő elemeket el lehetett távolítani.

## Kötőanyag nélküli erősítő elemek – a termékek harmadik generációja

A külső feszítőelemeket tartalmazó betonhidakra vonatkozó, 1998-as minisztériumi irányelvek alapján új típusú (acél) feszítőelemeket javasoltak, amelyek már nem a dobozszerű elemek járófelületén, hanem azok belsejében futnak. Természetesen ezeket is védeni kell a korróziótól, de mivel (beton) kötőanyagot nem tartalmaznak, a későbbi felújítási munkák során könnyen cserélhetők. A kötőanyagmentes feszítőelemek abban különböznek a kötőanyagotól, hogy törési állapotban már csak csekély feszítőerő-növekedést tudnak mozgósítani. Ezt a növekedést a kötőanyaggal rendelkező feszítőelemek általában mozgósítják, hogy a feszítőacél csak a repedezések területén nyúl meg erősen. A repedés két oldalán az acél és a beton közti nyúlás gyorsan lecsök-

ken. Ilyen nagy helyi megnyúlás a kötőanyagmentes előfeszítés esetében nem lehetséges, mert a nyúlásnak az egész hossz mentén egyenletesen kell eloszlania. Ezért a kötőanyagmentes feszítőelemek alkalmazásakor nagy plasztikus nyúlási lehetőségről kell gondoskodni.

Hasonló E-modulus mellett (és nagyobb feszültségfelvétel mellett) a CarboDur feszítőelemek rendelkeznek a szükséges nyúlással, tömegük kicsi és nem korrodálódnak. A vandalizmustól és egyéb mechanikai behatásoktól itt is úgy lehet megvédeni a feszítőelemet, mint az acél esetében, hogy a modulok belsejében vezetik őket. Az acélszalag másik hátránya, hogy azokat kör alakú csöveken át kell bevezetni, és az irányváltoztatás károsíthatja az acélszalagot. A szalag alakú CarboDur feszítőelemek, amelyek könnyen hajlanak, mentesek ettől a veszélytől. Itt jól lehet a V914 (90x1,4 mm) előfeszítő lamellákat használni, amelyeknek rögzítése könnyen megoldható. Ha nagyobb feszítőerőre van szükség, a lamellák könnyen összefűzhetők több rétegbe. Az alkalmassági vizsgálatokban egy lipcsei hídnál 400 kN-os előfeszítést minden további nélkül kibírtak a szénszálalag feszítőelemek. Ezt a megoldást egyelőre egyedi engedélyek birtokában alkalmazzák.

## **Hídépítés pultrudált, erősített műanyag elemekből**

Világszerte nagy az érdeklődés a hosszú szállal erősített, pultrudált (szálatartós profilhúzással készített) műanyag elemekből épített hidak iránt, mert könnyűek, szilárdak, gyorsan összeszerelhetők és kevés karbantartást igényelnek. Az USA-ban már eléggé elterjedt ez a megoldás, még hozzá olyan éghajlaton, amely az európaihoz nagyon hasonlít. Ezek az elemek különösen jó ellenállnak a gyakori fagyási-olvadási ciklusoknak. Németországban eddig mindössze egyetlen ilyen híd épült, és most vizsgálják a lassú elterjedés okait, és egyben megpróbálják népszerűsíteni ezt a megoldást. Az ódzkodás egyik oka, hogy a helyi hatóságok nem szívesen vállalják az esetleges kockázatot, és további referenciákat szeretnének látni. Egy másik, kommunikációs jellegű probléma, hogy az amerikai gyártócégek csak angol nyelvű információkat kínálnak, és angol nyelvű előadásokat tartanak – csupa angolszász mértékegységgel, amelyet az európai mérnökök nem jól ismernek. Ezen fordítással és átszámítással egyszerűen lehet segíteni. További problémát jelent, hogy az amerikai szállítók csak lassan találták meg a megfelelő német kereskedelmi partnert és képviselőt. Remélhető, hogy az okok azonosítása és a problémák elhárítása hozzájárul a technológia európai elterjedéséhez.

**(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)**

Peter, H.: CFK bei der Brückenverstärkung. = Strassen und Tiefbau, 56. k. 7/8. sz. 2002. p. 27–30.

Im Projekt zum Produkt. = Kunststoffe, 92. k. 11. sz. 2002. p. 24–25.