

Szénszálas szerkezetmegerősítő anyagok alkalmazása műszaki
munkákban

Jelige: szénszál

Pályamunka lezárásának időpontja: 2013. november 10.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	4
1.1	Témaindoklás	4
1.2	A téma helye, szerepe.....	4
2.	A szénszálal anyagok fejlődéstörténete.....	6
2.1.	A korai évek	6
2.2.	A modern szénszálalak kialakulása	6
2.2.1.	Kutatások az USA-ban.....	7
2.2.2.	Európai és Japán kutatások.....	7
2.2.3.	További fejlesztések	8
2.3.	Napjainkban.....	9
2.4.	A szénszálalak jövője	10
3.	A szénszál tulajdonságai.....	12
3.1.	Általános tulajdonságok.....	12
3.2.	Különbségek a többi műanyag erősítőszálhoz képest.....	13
3.3.	A szénszálalak felosztása alapanyaguk szerint	14
4.	Szénszálal szerkezetmegerősítő rendszerek.....	15
4.1.	Típusok és gyártók.....	15
4.1.1.	Sika	16
4.1.2.	Mapei.....	16
4.1.3.	Sto	17
4.2.	A megerősítő rendszerek részei	17
4.2.1.	Ragasztók	17
4.2.2.	Húzott sajtolással készített szénszálal lamellák:	18
4.2.3.	Szénszálal rudak	20
4.2.4.	Szénszálal szövetek.....	22
4.2.5.	Jellemző árak az összehasonlítás során.....	23
5.	Tervezési szempontok, alkalmazástechnika, valamint gyakorlati példák bemutatása a szénszálal szerkezetmegerősítő anyagok esetében	25
5.1.	Tervezés	25
5.1.1.	Elvek a megerősítések tervezése során	25
5.1.2.	Tervezési szempontok hajlítási megerősítésnél.....	27

5.1.3.	Tervezési szempontok nyírási igénybevétel esetén.....	31
5.1.4.	Tervezési szempontok csavarási igénybevétel esetén.....	32
5.2.	A kivitelezés folyamata.....	33
5.2.1.	Szövet-alapú rendszer kivitelezése.....	33
5.2.2.	Lamellás rendszer felhelyezése.....	36
5.3.	Alkalmazásbeli bemutatás	37
5.3.1.	Gerenda megerősítés (oszlop eltávolítása miatt).....	37
5.3.2.	Födémlemez megerősítése.....	38
5.3.3.	Előregyártott, előfeszített hídgerenda megerősítése.....	38
5.3.4.	Födémáttörés miatti lemezmegerősítés	39
5.3.5.	Tetőszerkezet megerősítés	40
5.3.6.	Hídszerkezet teherbírásának növelése.....	41
6.	Egyéb megoldások a tartószerkezetek utólagos megerősítésére	43
6.1.	Megoldások a polgári építésben.....	43
6.1.1.	Külső utófeszítés	43
6.1.2.	Lövellt beton alkalmazása	44
6.1.3.	Ragasztott acéllemezes megerősítés.....	46
6.2.	Katonai megoldások	47
6.2.1.	A katonai alkalmazás igénye hazánkban	48
7.	A szénszálas szerkezetmegerősítő anyagok alkalmazásának lehetőségei a katonai infrastruktúrában	52
7.1.	Laktanyaépületek	52
7.1.1.	Legénységi épületek	53
7.1.2.	Raktárak	53
7.1.3.	Technikai kiszolgáló épületek (gép- és harcjármű tárolók, hangárok, javítóállomások).....	54
7.2.	Állami erődítési létesítmények.....	54
7.3.	Csapaterődítések	55
7.3.1.	Meglévő szabványosított építményeknél történő felhasználás	55
7.3.2.	Művelési területen történő felhasználás	55
7.4.	Átkelők megerősítése	56
7.4.1.	Hidak megerősítése.....	56
7.4.2.	Géphidak megerősítése	57

7.5. Javaslat egy katonai egységcsomagra	58
7.5.1. Lamellák.....	58
7.5.2. Szövetek.....	59
7.5.3. Segédeszközök	59
8. Összegzés.....	61
Irodalomjegyzék	62
Ábrajegyzék.....	64

1. Bevezetés

1.1 Témaindoklás

Témámat több ok miatt választottam. Legfontosabbnak a napjainkban is zajló kutatásokat tartom: a mai ipari fejlesztések olyan termékeket és eljárásokat adnak a szakemberek kezébe, amelyekkel az eddig lehetetlennek vagy nehezen megvalósíthatónak tartott elképzelések is konkrét formát tudnak ölteni. Ilyenek például a térbeli rácsos szerkezetek, amelyekhez ma már rendelkezésre állnak a megfelelő számítási kapacitások, vagy a szálerősítésű anyagok, amelyek az anyagtudományi kutatásoknak köszönhetően jöttek létre.

Fontos kihangsúlyozni a folyamatosan változó felhasználói igényeket, amelyekre mai felgyorsult világunkban minél hamarabb választ kell adni, még az olyan magas erőforrás igényű munkáknál is, mint az épület-átalakítások, építkezések.

Megemlíteném továbbá a Magyar Honvédség híd-helyreállítási képességeinek mai helyzetét, ez ugyanis a korábbi állapotokhoz képest jelentősen csökkent. Vannak azonban olyan helyzetek, amikor az alegységek a jelenlegi technológiákkal és szabályzókkal nem, vagy csak korlátozottan képesek ilyen feladatokat végrehajtani, pl.: nehezen hozzáférhető, de stratégiaiilag fontos hídátkelőhelyek és átereszek javítása, megerősítése. Az itt ismertetésre kerülő eljárás segítségével olyan nehezen hozzáférhető hídátkelők megerősítése is lehetségessé válna, amelyek a jelenleg használatban levő technológiával nagyon költségesek vagy túlságosan bonyolultak lennének.

1.2 A téma helye, szerepe

Az emberek számára környezetük földrajzi adottságai egyszerre tudnak előnyök és hátrányosak lenni. Előny, mert képes védeni és óvni, hátrány, mert akadályozni is tud a mozgásban. Azonban az idő előrehaladtával, az ember képes lett ezeket az adottságokat változtatni vagy megszüntetni kénye-kedve szerint. Falakat, utakat épít, alagutat fúr, hidat ver, árkot ás, akár még folyókat is képes más irányba terelni! Azonban sem a természet, sem az ember nem képes egykönnyen felvenni a harcot az idő vasfogával, ami képes ezeket apró, lassú munkával tönkretenni. Így a különböző építőanyagok is változnak: a fa elkorhad, a vas és az acél korrodál, a vasbeton elporlad, hogy csak a legelterjedtebb anyagokat említsem.

Ezek ellen az ember különféle eszközöket vet be: különböző faápoló szerek, korrózióvédő bevonatok, mechanikai hatások ellen védő szerkezetek és bevonatok.

Ezen problémák majdhogynem függetlenek attól, hogy éppen polgári vagy katonai célra építenek ilyen építményeket. A polgári építésben szinte csak a megrendelő pénztárcája és a rendelkezésre álló technológia szab határt. A katonai építés azonban gyakran mostoha körülmények között, anyag- vagy emberhiány által sújtva valósul meg, néha kezdetleges eszközökkel. Ezek a fent említett behatároló tényezők késztetik a katonai építés résztvevőit (főként a műszaki szakcsapatokat) a minél egyszerűbb, hatékonyabb és olcsóbb anyagok, technológiák és eljárások alkalmazására.

2. A szénszálak anyagok fejlődéstörténete

2.1. A korai évek

A szénszálak anyagok, mint a nevéből is sejthető, alapvetően szén-molekulákból épülnek fel. Ez az elem nagyon fontos szerepet játszik a Föld történetében, hiszen köztudott, hogy szén nélkül az élet sem létezne mai formájában. Szénből épül fel az egyik legpuhább (grafit), de az egyik legkeményebb anyag (gyémánt) is.

A szénszál már a XIX. században is ismert és alkalmazott anyag volt: már Edison izzólámpáiban is megtalálható volt. A XX. században már cégek is foglalkoztak szénszálak kutatásokkal. Ezek közül is kiemelkedő az amerikai **Union Carbide vállalat**, amely a II. világháború alatt elszenesedett műselyemmel akarta pótolni a szénszálakat. Mindez katonai célból történt az amerikai haditengerészet pénzéből. Ugyanis a hadihajókon a hatvanas évekig klasszikus szénszálak izzókat alkalmaztak, mert a nyílt vízben keletkező rezgéseket a wolframszálak izzók nem voltak képesek elviselni. A háború végével a katonai források megszűntek, de a kutatások civil támogatással tovább folytatódtak. Az így létrehozott szénszálak anyagok azonban nagyon rossz mechanikai jellemzőkkel bírtak, így korlátozott volt a felhasználásuk.

2.2. A modern szénszálak kialakulása

A Union Carbide 1956-ban nyitotta meg Clevelandben új fejlesztőközpontját, ahol fiatal tudósokat alkalmaztak, nagyfokú kutatási szabadságot biztosítva nekik. Ilyen volt **Roger Bacon** is, aki ebben az évben kezdett a vállalatnál dolgozni, és a grafit hármaspontját kutatta. A hármaspont olyan hőmérséklet és nyomás páros, ahol az anyag szilárd, folyékony és légnemű halmazállapotai találkoznak. Ennek megállapításához pedig a régi szénszálak izzókhoz hasonló lámpákat használt. Megfigyelte, hogy kis mértékben a légnemű karbidok képesek a szál másik végén folyékony állapotba lecsapódni. Amikor csökkentette a nyomást, légneműből rögtön szilárd, sztalagmit (álló cseppkő) formába alakultak át a karbidrészecskék. Ezek szerkezetét megvizsgálva fedezte fel az első nagy teljesítményű szénszálakat (High Performance Carbon Fiber).

1958-ra Bacon a szénszálakat már komolyabb vizsgálatok alá tudta vetni: kiderült, az új anyag szakítószilárdsága $20\,000\text{ N/mm}^2$ rugalmassági modulusa pedig $700\,000\text{ N/mm}^2$.

Összehasonlításként az átlagos szerkezeti acéloknál ugyanezek az értékek $1-2000 \text{ N/mm}^2$ és $200\,000 \text{ N/mm}^2$ között mozognak!

Bacon végül 1960-ban a Journal of Applied Physics című szakmai folyóiratban publikálta kutatási eredményeit. Azonban még mindig nem lehetett a gyakorlati életben is felhasználható mennyiséget gazdaságosan előállítani. Számításai alapján ezzel a kezdetleges technológiával 1 kilogramm szénszál előállítása 20 millió, mai inflációval számolva 78 millió dollárba került volna (ez kb. 17,5 milliárd forint). Így a további kutatások főként az anyag minél gazdaságosabb előállítására fókuszáltak.

2.2.1. Kutatások az USA-ban

1959-re a szintén a vállalatnál dolgozó Curry Ford és Charles Mitchell kutatók műselyemből állítottak elő szénszálakat. Az új eljárás költséghatékonyabb volt, mint Bacon kezdeti megoldása, de az így kapott szálak csak $40-50\,000 \text{ N/mm}^2$ -es rugalmassági modulussal rendelkeztek. Az addig elterjedt bőr- és üvegszálak anyagokkal szemben viszont még így is sokkal könnyebbek voltak. Ennek köszönhetően 1963-ra a cégnek sikerült betörnie a továbbfejlesztett kompozitok piacára.

1964-ben Baconnak Wesley Schalamonnal közösen sikerült megoldania a rugalmassággal kapcsolatos problémákat. Szintén műselyemből, de úgynevezett „hot-streching” módszerrel állítottak elő olyan szénszálakat, melyeknek jellemzői már jobban közelítettek az eredetiek tulajdonságait. Az így előállított szálak Thorneel-25 márkanéven jelentek meg 1965 végén, rugalmassági modulusuk pedig $172\,000 \text{ N/mm}^2$ volt.

Érdemes megemlíteni, hogy ebben az időben a légierő Anyagkutató Laboratóriuma támogatta a Union Carbide kutatásait: hajtóműfűvókák, rakétaorrkúpok és repülőgép vázszerkezetek megerősítésére kívánták az új anyagot felhasználni.

2.2.2. Európai és Japán kutatások

Habár az Amerikai Egyesült Államok volt a szülőföldje a nagyteljesítményű szénszálnak, a gyakorlatba mégsem itt sikerült a lehető a legjobban és a leggyorsabban átültetni. A titok az alapanyagban rejtőzött: Japán és brit kutatók hozzá tudtak férni jó minőségű poliakrilonitrilhez (PAN), amely sokkal alkalmasabb volt szénszálak előállítására, mint a műselyem. Az USA-ban a vegyipar nem állított elő megfelelő minőségű PAN-t, így kerülhette el az Újvilág kutatóinak figyelmét.

Dr. Akio Shindo-nak Japánban már 1961-ben sikerült PAN-ból szénszálat előállítani, mely $140\,000\text{ N/mm}^2$ -es rugalmassági modulussal rendelkezett. Ez mintegy háromszorosa az akkori amerikai szénszálak értékeinek. A kutatási eredményeket más japán tudósok is felhasználták, így 1964-re már a gyártás is elindulhatott.

Ugyanebben az évben, Angliában Dr. William Watt-nak sikerült még ennél is rugalmasabb szálakat előállítani és ezek is gyorsan gyártásba kerültek. Az USA egyre nagyobb hátrányba került a fejlesztések ezen területén.

Ennek ledolgozására a japán Toray cég, amely napjainkban is vezető szerepet játszik a szénszál gyártásban, 1970-ben együttműködési megállapodást írt alá a Union Carbiddal, amely így visszakerült az iparág élvonalába.

2.2.3. További fejlesztések

Habár az eddig előállított szénszálak valóban kivételes tulajdonságokkal rendelkeztek, nem lehetett 100%-ban karbonizálódott anyagokról beszélni. Így az anyagban rejlő magas fokú elektromos és hővezető képességet nem lehetett teljes mértékben kihasználni.

Leonard Singer az ötvenes évek közepén érkezett Parmába és nem sok tapasztalattal rendelkezett még a szén és grafit kutatások terén. Azonban őt is megérintette a hely szelleme, és elektron paramágneses rezonanciával kapcsolatos kutatásokat végzett, amelyek a karbonizálódás folyamatának megfigyelésére irányultak. Ehhez szén- és petróleum alapú anyagokat melegített fel: így jutott el a kátrányig. Mivel a Union Carbiddnál eddigre mindenki a szénszállal foglalkozott, Singer egyik munkatársával, Allen Cherryvel együtt elhatározta, hogy megpróbálnak szénszálat gyártani kátrányból.

1970-ben próbálkozása sikerrel járt, ráadásul sikerült a kátrány molekuláit réteges formába rendezni, és így sokkal jobb tulajdonságokkal rendelkező szénszálakat létrehozni. A vizsgálatok során kiderült, nemcsak a $1\,000\,000\text{ N/mm}^2$ -es rugalmassági modulussal rendelkezik az anyag, hanem még ultramagas hővezető képességgel is. Így a szénszálak ezen ága kiemelkedően keresetté vált a repülőgépek fékbetétjeinél, áramköröknél és az űrkutatásban.

A kiemelkedő tulajdonságok ellenére a kátrány-alapú szénszálak anyagok nem váltak igazán elterjedtté. Hiába olcsó és könnyen hozzáférhető alapanyag a kátrány, a technológia és a kívánt anyagminőség miatt a késztermékek ára magasra rúg.

2.3. Napjainkban

Manapság egyre több területen ismerik fel a szénszálak jelentőségét. Leggyorsabban azok az iparágak reagáltak, amelyek alapvetően is fogékonyak az új felfedezésekre vagy maguk is szorosan kapcsolódnak a kutatásokhoz.

Ilyen a már korábban is említett űripár, amelynél igen lényeges szempont volt az anyag igen kis tömege, és az ezzel fordított arányban álló szakítószilárdsági, és rugalmassági tényezői. Mivel jól tűri a nagy hőmérséklet ingadozásokat, amelyek az űrben gyakran jelentkeznek, előszeretettel alkalmazzák műholdak és földi vevőegységek antennáihoz. Az emberes űrutazásban leggyakrabban orrkúpok és hővédő pajzsok anyagaként fordul elő, de az amerikai Space Shuttle-nél a teherajtók és az rakományok űrbéli mozgatását segítő robotkar is szénszálakat tartalmazott.

A katonai fejlesztésekben is nagy hasznát tudták venni az új anyagnak. Napjaink korszerű fegyverei, a UAV-k (Unmanned Aerial Vehicle = Pilóta nélküli repülőgép) is szénszálak technológiával érik el könnyű tömegüket és nagyfokú merevségüket. Jellemzően a törzset és a hajtóműgondolákat, de gyakran a farokrészt is szénszálból készítik a gyártók.

Kézifegyvereknél is nagy hasznát veszik, hiszen például egy könnyebb karabéllyal a katona is könnyebben tud a harcmezőn manőverezni, kevésbé hamar fárad el, és adott esetben akár a fegyver is tartósabbá válhat. Jellemzően válltámaszok és a különböző sínrendszerek készülnek szénszálból.

Azonban nem csak emberi életek kioltásánál, hanem a gyógyításban is nagy hasznát veszik e nagyszerű anyagnak. A legismertebb példa Oscar Pistorius Dél-Afrikai futó múltábai, amelyekkel a 2012-es londoni olimpián részt is vett. Sporthoz kapcsolódóan említést érdemelnek a tenisz-és golfütők, ahol a nyél szénszál erősítésű műanyag, de lehetne sorolni a kajakokat, kenukat, csónakokat és azok evezőit, jégkorong ütőket, horgászbotokat, különböző védőfelszereléseket, sátor vázokat, bicikliket.

Az autóipar már-már teljesen megszokottan használja a NASCAR, és Forma-1-es autók vázához a szénszálakat. A hétköznapi autóknál azonban ez nem volt eddig jellemző. Az elektromos autók fejlesztéséhez azonban kapóra jön, hiszen így a karosszérián megspórolt tömeget fel lehet használni az akkumulátorokhoz, így növelve a hatótávolságukat. Az építőipar a későbbiekben részletezett megoldásokon kívül vasbeton betétanyagaként is

használja néha a szénszálakat, illetve vízcsöveket is készítenek belőle, mivel nem lép reakcióba a vízzel, és hosszú ideig képes probléma nélkül ellátni feladatát. A napjainkban terjedő szélenergia is az egyik fő felhasználója a szénszálaknak, hiszen a nagy turbinalapátoknak egyszerre kell könnyűnek, erősnek és rugalmasnak lenniük.

A fentieken kívül számos olyan terület is van, ahol nem kifejezetten szükséges a használata: pénztárcák, nadrágövek, igazolványtokok, telefontokok, napszemüvegek, tollak, sőt még szivarvágók is készülnek belőle, mégis, ez is bizonyítja, milyen sokoldalúan felhasználható anyag a szénszál.

2.4. A szénszálak jövője

A rövid- és középtávú kilátásokat legjobban az iparági pénzügyi becslések mutatják meg. A legfrissebb adatokat az alábbi táblázat tartalmazza. Látható, hogy a kereslet bővülésére lehet számítani, ennek megfelelően az árak is csökkenése is várható. Ezt több tényezővel is indokolni lehet. A legjelentősebb ezek közül az autóipar, ahol a BMW kifejlesztette a világ első szénszál utascellával rendelkező karosszériáját, amelyet „i3” fantázianevű autójában tervez alkalmazni. Amennyiben a bajor járműgyártónál beindul a típus sorozatgyártása, úgy meredeken emelkedni fog a szénszál iránti kereslet



1. ábra BMW i3 látványterve

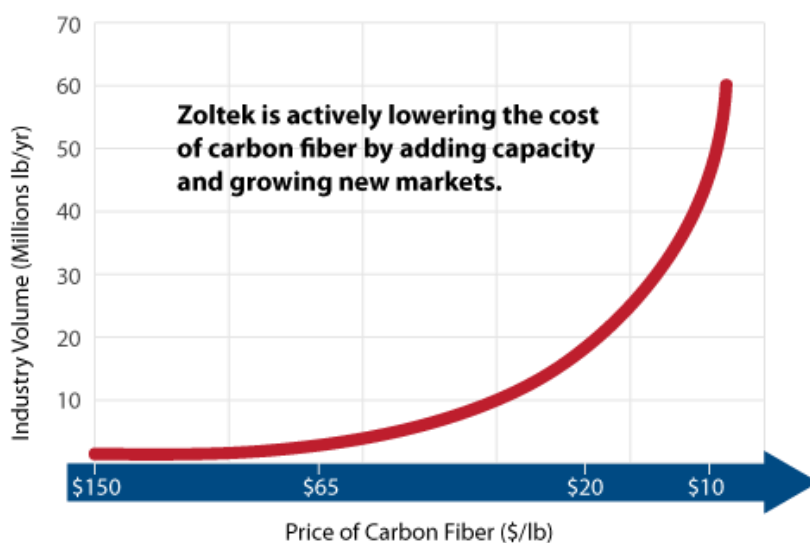
A jelenlegi legnagyobb felvevőpiac, a repülőgépipar kissé bizonytalan jövő elé néz.

A nagy légitársaságok még mindig a 2008-as válság hatása alatt vannak, emiatt az új repülőgépek vásárlása is alulmúlja a várakozásokat. Azonban mindenhol derűlátóak, és bizakodással tekintenek a jövőbe.

A kínálati részen is történnek változások. Habár a piacvezető gyártó, a Toray (JPN) piaci részesedése nincs veszélyben, a kisebb cégek (Zoltek (USA), Toho Tenax (JPN), Mitsubishi Rayon (JPN), SGL Group (GER)) komoly versenyben vannak egymással a második helyért. Még érdekesebbé teszi a helyzetet, hogy megjelentek új gyártók is (Hyosung (KOR), SABIC (KSA), DowAksa (USA/TUR), Alabuga Fiber (RUS), Kemrock (IND) és maga az iráni

állam(!)), akik viszont gyengébb minőségű szénszálakat tudnak egyelőre gyártani, így kimaradva például a repülőgép-ipari szegmenséből a piacnak.

Fontos kérdés, hogy maga a gyártástechnológia mennyit tud fejlődni. Folyamatosan zajlanak kutatások arra vonatkozóan, hogyan lehetne a PAN-alapú anyagokhoz hasonló, olcsóbb prekursorzt (olyan vegyületet, ami a szénszálát előállító reakcióban vesz részt) találni, így tovább csökkentve az árakat. Jelenleg a különböző poliolefinnek kecsegtetnek a legjobb lehetőségekkel, de a jelenleg is zajló kutatások során eddig még nem sikerült megfelelő minőségű szálakat előállítani.



2. ábra A Zoltek árcsökkentési terve: a gyártási kapacitások növelése és új piacok szerzése

3. A szénszál tulajdonságai

3.1. Általános tulajdonságok

A szénszál változatos anyagi tulajdonságokkal bír. Lemezes felépítésűek, kétdimenziós kovalens kötésekkel rendelkeznek. Nagy orientációjuk és parakristályos szerkezetük van, ezért is rendelkeznek kiemelkedő mechanikai tulajdonságokkal. Az egyes száltípusok azonban különböznek a hő- és elektromos vezetőképességükben, illetve hőtágulási együtthatójukban is, ezért részletesebb bemutatásukat később fogom megtenni.

A szénszálak a szerkezetmegerősítő lamellákban, mint mechanikai tulajdonságokért felelős anyag találhatóak meg, míg a különböző műanyag ágyazatanyagok (mátrixanyag) a fizikai formát, a hőállóságot és a felületi minőséget biztosítják.

Minden termékre jellemzőek viszont az alábbi előnyök és hátrányok:

Előnyök:

- **Sokféle formában, méretben és technikai jellemzőkkel kapható:** A gyártók különböző szélességű és vastagságú változatos mechanikai tulajdonságokkal bíró termékekkel vannak jelen a piacon, így lehetőség van a lehető leggazdaságosabb megoldást választani a különböző feladatokhoz.
- **A kátrány-alapú szálak nagy rugalmassági modulussal rendelkeznek:** A rájuk nehezedő terhelés ideje alatt képesek rugalmasan viselkedni, és a terhelés megszűnte után eredeti méretükbe visszaállni. A szénszál az acélhoz képest ugyanannyi vagy sokszor nagyobb terhet is képes maradó alakváltozás nélkül elviselni.
- **A PAN-alapú szálak nagy szakítószilárdsággal rendelkeznek:** A szénszálak ezen változata négyszer akkora mechanikai feszültséget képes elviselni, mint az átlagos szerkezeti acélok, negyedannyi anyagsűrűség mellett.
- **Kis sűrűség, így viszonylag kis tömeggel rendelkeznek:** Megerősítésnél a tartószerkezet plusz terhet kap a megerősítő anyag tömegének formájában. Minél kisebb a megerősítés tömege, annál kevésbé befolyásolja a tartót ez a tényező.
- **Nagyfokú hőstabilitás:** A szénszálak hőtágulása nem számottevő, ellentétben más anyagokkal.
- **Nagyfokú ellenállás a kémiai behatásokkal szemben:** A különböző káros, maró, mérgező anyagokkal nem lép reakcióba.

- **Elektromos vezetőképesség:** A szénszál vezeti az elektromos áramot.

Hátrányok:

- **Magas ár:** A szénszálak a gyártási technológia és a viszonylag alacsony elterjedtség miatt sok olyan feladatra nem alkalmazhatóak, amelyekre tulajdonságai képessé tennék. Ennek gazdasági okai vannak, ugyanis sokkal drágább, mint más azonos felhasználásra való anyagok.
- **A nyomóerő-ellenállása alacsony:** A szénszálak igen rosszul viselik a nyomást, ezért nem ajánlott, hogy irányú erő hasson rájuk.
- **Elektromos vezetőképesség:** Mivel jól vezeti az elektromosságot, ezért fokozottan kell ügyelni elektromos rendszerek közelében történő használatánál.
- **Gyúlékonyság:** A szálak nem tűzállóak, így erről külön anyaggal kell gondoskodni.

3.2. Különbségek a többi műanyag erősítőszálhoz képest

Joggal merül fel a kérdés, hogy az alapanyag típusán kívül milyen tulajdonságokban különböznek egymástól napjaink szálerősítő anyagai, így milyen előnyökkel és hátrányokkal rendelkeznek.

Az iparban az **üvegszálak** jelentek meg a legkorábban, mint szálerősítő anyagok, így mára az összegyűlt tapasztalatoknak köszönhetően gyártása a legolcsóbb a többi mesterséges szálhoz képest. Előnye továbbá a nagy húzószilárdsága (azonos illetve néha nagyobb a szénszálnál), UV és vegyszerállósága illetve elektromos szigetelőképesége. Azonban gyártása során a megmunkáló eszközök gyorsan erodálnak, maga az anyag pedig nagyon törékeny, ennek köszönhetően pedig a rugalmassági modulusa nagyon alacsony.

Az **aramidszálak** közel egy időben lettek felfedezve a modern szénszálakkal, és gyakran együtt, úgynevezett hibrid erősítőrendszerként is alkalmazzák őket. Előnyük, hogy sűrűségük kisebb, mint a szénszálaknak, nagyon szívósak, és így ütésállóságuk is kiemelkedő. Ennek köszönhetően napjainkban különböző védőfelszerelések anyagaként előszeretettel alkalmazzák (repszálló mellények, védősisakok). Hőállóságuk is kiváló, ezért tűzálló védőruházatok és gumibroncsok gyártásánál is felhasználják. Hátrányuk, hogy érzékenyek az UV sugárzásra, és a vízre, illetve rugalmassági modulusuk elmarad a szénszálhoz képest.

Megállapítható, hogy a szénszál kis sűrűsége, illetve nagy szakító- és rugalmassági tényezői miatt egyedülálló. Jelenlegi tudásunk szerint nincs még egy anyag, ami ugyanezen tulajdonságokkal együttesen rendelkezne, így a szénszál sok esetben kizárólagos megoldás a szálerősítések terén.

3.3. A szénszálak felosztása alapanyaguk szerint

Műselyem

Az első szálak ebből készültek, azonban gazdaságtalannak és túl bonyolultnak bizonyultak, továbbá nem is grafitizáltak. A grafitizáció egy olyan eljárás, melynek során a szálat inert atmoszférában nyújtják és hevítik 1000-3000 °C-ig. Ennek hatására a szénatomok rendkívül erős kötésekkel kristályokba rendeződnek. Manapság már csak a több évtizedes üreszközökön találhatók meg.

Sűrűség	1350-1450 kg/m ³
Húzószilárdság	0,66-0,82 kN/mm ²
Rugalmassági határ	34-41 kN/mm ²

PAN

Napjainkban a legelterjedtebb alapanyag, a világ szénszálgyártása jelentős mértékben erre épül. A legmagasabb húzószilárdsági értékekkel ezek a szálak rendelkeznek, de mivel nem grafitizált, ezért szakítószilárdsága elmarad a kátrány alapú termékektől.

Sűrűség	1750-1870 kg/m ³
Húzószilárdság	0,9-6,37 kN/mm ²
Rugalmassági határ	40-588 kN/mm ²
Nyúlás	0,7-2,2 %
Szálvastagság	4,4-7,2 μm

Kátrány

Grafitizált, ezért ezek a szálak képesek a legmagasabb szakítószilárdsági értékek elérésére (megközelíti a grafitkristályét, ami 1 000 000 N/mm²). Hátrányuk, hogy a piacon ezek bírnak a legmagasabb árral.

Sűrűség	1900-2200 kg/m ³
Húzószilárdság	1,38-4,05 kN/mm ²
Rugalmassági határ	159-966 kN/mm ²
Nyúlás	0,27-1,21%
Szálvastagság	6-11 μm

4. Szénszálas szerkezetmegerősítő rendszerek

Ebben a fejezetben röviden ismertetni fogom a napjainkban kapható szénszálas megerősítésű műanyagok (CFRP = Carbon-Fiber-Reinforced Polymer) típusait. Rövid jellemzést adok a hazánkban is jelen levő gyártókról, és bemutatom a rendszerkomponenseket: a ragasztókat, a lamellákat, a rudakat és a szöveteket. Ezután a tervezési és alkalmazási szempontokat fogom ismertetni, majd konkrét példákkal fogom szemléltetni a rendszer alkalmazását.

4.1. Típusok és gyártók

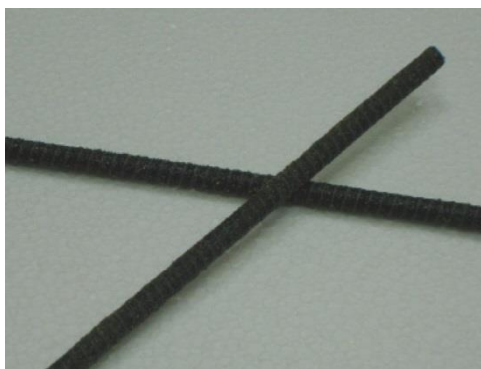
A szénszálas szerkezetmegerősítő anyagok számos formában vannak jelen a piacon:

- Zsinórok, csövek: geotechnikában használatos injektálásos és lehorgonyzásos technológiák kellékei;



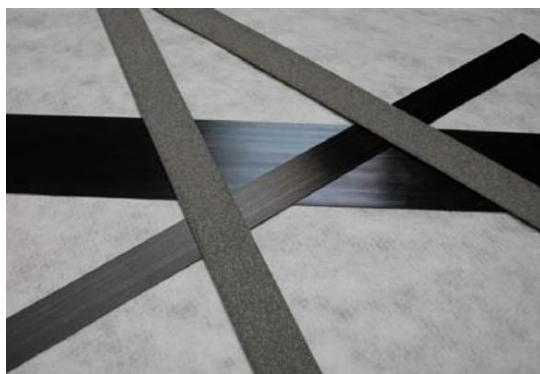
3. ábra Szénszálas zsinór

- Betonszerkezetek szénszál-erősítésű polimer betétekkel: A betonépítés jelenleg még korai fázisban lévő területe;



4. ábra Szénszálas feszítőbetét szálerősítésű betonhoz

- Lamellák, kengyelek, rudak, szövetek: **Tartószerkezetek utólagos megerősítése;**



5. ábra Szénszálas lamella

Kutatásaim során három gyártó termékeiről (Sika, Mapei, Sto) sikerült információkat találnom, amelyek itthon is forgalmazzák rendszereiket. A következő sorokban őket fogom pár mondatban bemutatni.

4.1.1. Sika

A vállalatot Kaspar Winkler alapította 1910-ben, és első nagyobb megbízásuk a svájci Gotthard-alagút víztelenítése volt. A cég a szigetelések, kötések, zajcsökkentések, megerősítések és tartószerkezetek védelme terén, nemcsak a kontinensen, de a világon is a legnagyobbak között van.

Magára a szénszálas szerkezetmegerősítésre is itt figyeltek fel először, és a cég megbízásából végzett 1987-től kezdve ilyen irányú kutatásokat az EMPA (Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt – Svájci Szövetségi Anyagvizsgáló Intézet)¹. Mára széles termékpalettával rendelkeznek a szénszálas szerkezetmegerősítés terén: lamellákat, rudakat, kengyeleket és szöveteket egyaránt forgalmaznak. Magyarországon 1993 óta vannak jelen önálló leányvállalattal.

4.1.2. Mapei

Milánóban alapította Rodolfo Squinzi 1937-ben, kezdetben három főt foglalkoztatott a cég. Fő céljuk a festékipacon történő terjeszkedés volt, de idővel más területeken is saját megoldásokat tudtak kínálni a vásárlóknak. A név rövidítése a „Materiali Ausiliari Per l'Edilizia e l'Industria” kifejezésnek, ami annyit tesz: „Segédanyagok az ipar és építőipar

¹ <http://www.epito.bme.hu/eat/oktatas/feltoltesek/BMEEOEMMST3/szenszalmegerosites.pdf>

számára”. Jelenleg a MAPEI Csoport a világ 5 kontinensén 27 országban tevékenykedik, és 67 leányvállalatból és 58 gyártóegységből áll.²

4.1.3. Sto

1835-ben alapították a cég elődjét a Dél-Badenben (Németország). 1936-ban vásárolta meg Wilhelm Stotmeister a vállalatot, ami azóta is családi kézben van. Fő profiljuk homlokzati hőszigetelő- és bevonatrendszerek gyártása, de az építőipar egyéb területein is jelen vannak termékeikkel. A hazai képviselőt 1990-ben alapították, a jelenlegi forma 2002-ben alakult ki.



4.2. A megerősítő rendszerek részei

A szénszálalás szerkezetmegerősítés egy komplex rendszert takar, amely két részből áll: magából a megerősítő anyagból és a rögzítéshez használt ragasztó anyagból. Előbbi a rendszer mechanikai tulajdonságait biztosítja, utóbbi a megerősítendő felülettel való együttműködésért és a különböző behatásoktól való védelemért felel. Ezen túlmenően, bizonyos esetekben még korlátozott felületi kiegyenlítésre is alkalmazhatóak, amennyiben ezt a megerősítési folyamat megkívánja..

4.2.1. Ragasztók

Mindegyik rendszer esetében az alkalmazott ragasztóanyag epoxigyanta. Az epoxigyantáknak számos előnye van más kötőanyagokhoz képest: hosszú nyitott időt lehet vele elérni, kevésbé zsugorodik, szemben a poliészter vagy akril- alapú ragasztókkal, és tixotróppá (állékonyvá) készíthető, így lehetséges függőleges felületeken való alkalmazása. Ez az anyag két komponensére (törzsgyanta és edzője) bontva kerül kiszerezésre. Két fontos jellemzője a ragasztóknak a fazékidő és a teljes kötési idő.

² <http://www.mapei.com/HU-HU/document.asp?IDCartella=390>

A fazékidő azt fejezi ki, hogy az adott ragasztót meddig lehet formázni, vagyis mennyi idő alatt köt meg. A fazékidőt a környezeti hőmérséklet befolyásolja: alacsonyabb hőmérsékletnél nő, míg magasabb hőmérsékletnél csökken. Ennek megfelelően, a komponensek előmelegítésével vagy előhűtésével is lehetséges a fazékidő változtatása. Időtartama 15-150 perc között változhat.



6. ábra SikaDur 30 ragasztó komponensenkénti csomagolásban

A kötési idő azt mutatja meg, mennyi idő múlva éri el a ragasztó a teljes

kötési szilárdságát. CFRP megerősítésnél ennek lejárta után lehet teljes mértékben terhelni a tartót, hiszen ekkortól dolgozik együtt a megerősítő anyag és az eredeti tartószerkezet. A fazékidőnél is leírt módon ez az érték is függ a környezeti hőmérséklettől. Időtartama 1 és 16 óra között változhat.

4.2.2. Húzott sajtolással készített szénszálak lamellák:



7. ábra Szénszálak lamella felhelyezés után

A leggyakoribb megerősítő anyag a szénszálak termékek között. Fától egészen a feszített vasbetonig szinte bármilyen anyagú tartószerkezeten használható. Alapvetően olyan esetekben alkalmazzák, ahol a hajlítási igénybevétel okozza a problémát. Ez a gyakorlatban födémeket, gerendákat, hossztartókat jelent. Napjainkban ez a leggyakrabban megjelenő szénszálak megerősítési mód. Előnyei közé tartozik csekély súlya, könnyű méretre vághatósága, ezáltal pedig gazdaságossága.

Alkalmazási területek:³

Tartószerkezetek károsodásakor

- Tartószerkezetek előregedésekor
- Acéltartók, vasalás elkorrodálásakor
- Járművek nekiütkezésekor
- Tűzkárosodáskor

Terhek növekedésénél

- Hasznos terhek növekedésénél, födémeknél és gerendáknál
- Megnövekedett forgalomnál hidakon
- Nehezebb gépek beépítésekor ipari épületekben
- Rezgőmozgást végző szerkezeteknél
- Használati mód változásakor

Működőképesség javítására

- Alakváltozások csökkentésére
- Vasalás feszültségcsökkentésére
- Repedésméretetek csökkentésére

Szerkezeti rendszer megváltozásánál

- Falak, oszlopok eltávolításakor
- Tervezési vagy kivitelezési hibák
- Vas-keresztmetszet túl kevés
- Nyílások kialakításakor födémlemezeken
- Födémkivágáskor vasaláskiváltására
- Szerkezeti magasság nem elégséges

	Rugalmasági modulus (N/mm ²)	Szakítószilárdság (N/mm ²)	Vastagság (mm)	Száltérfigat-tartalom (%)
Sika CarboDur S	170 000	3100	1,2	>68
			1,4	
Sika CarboDur M	210 000	3200	1,4	>68
Sika CarboDur H	300 000	1500	1,4	>68
Mapei Carboplate E 170	170 000	3100	1,4	68
Mapei Carboplate E 250	250 000	2500	1,4	65
Sto S&P CFK 150/2000	168 000	2800	1,2	N/A
			1,4	
Sto S&P CFK 200/2000	210 000	2500	1,4	N/A

³ Sika CarboDur Lamella Termék Adatlap 03/2009, 4. verzió

Mint a táblázatban is látható, a rugalmassági értékek gyártótól függetlenül is jól elkülöníthető sávokba esnek. Ez praktikussági okokból alakult így, mivel minden anyagnál célszerű a leginkább azonos értékekkel bíró lamellák használata. Így pl.: acélszerkezeteknél a $210\,000\text{ N/mm}^2$ körüli értékkel bíró anyagokat érdemes használni.

Érdemes megemlíteni a húzószilárdság és a rugalmassági modulus közötti összefüggést, mely a Hooke-törvényre vezethető vissza. Eszerint a húzófeszültség és a rugalmassági modulus fordított arányosságban állnak. Ez látható is a táblázat adatain. Minél nagyobb az anyag rugalmassági modulusa, annál jobb merevítő képességgel rendelkezik. Azonban ezt egy idő után a húzószilárdság rovására már nem lehet növelni, mert az anyag nem lesz elég rugalmas a terhelés felvételéhez.

4.2.3. Szénszálas rudak

Felhasználási területük a lamellákkal közel megegyezik, méretükben és alkalmazási technikájukban viszont eltérnek. Beton, kő és falazott szerkezetek megerősítésére, illetve szénszálas szövetek rögzítésére alkalmazható. Az alkalmazandó felületen előre elkészített horonyba ragasztással kell rögzíteni. Fontos megjegyezni, hogy ugyanez a megoldás lamellákkal is lehetséges, amennyiben a velük elérhető mechanikai értékek szükségesek.



8. ábra Mapei Maperod C
szénszálas rúd

Termékelőnyök:

- Pozitív és negatív nyomatéki helyeken növeli a hajlítószilárdságot
- Növeli a tengelyirányú terhelés alatt lévő oszlopok hajlítószilárdságát
- Növeli a gerendák nyírószilárdságát
- Növeli a falazatok szilárdságát

Alkalmazási területek:⁴

Terhek növekedésénél:

- Födémlemezek, gerendák és hídszakaszok teherbírásának növelésekor
- Nehezebb gépek beépítésekor
- Rezgőmozgást végző szerkezetek stabilizálására
- Használati mód változásakor

Szerkezeti elemek károsodásakor:

- Eredeti szerkezeti anyagok károsodása esetén
- Acélbetétek korróziója esetén
- Balesetek (jármű ütközés, földrengés, tűz)

Működőképesség és tartósság javítására:

- Alakváltozások és repedésméretok csökkentésére
- Vasalás feszültségcsökkentésére
- Javítja a kifáradási ellenállást

Szerkezeti rendszer megváltozásakor:

- Falak és/vagy oszlopok eltávolításakor
- Padló és falszakaszok eltávolításakor, nyílások kialakításához

Tervezési vagy kivitelezési hibák javítására:

- Hiányos / nem megfelelő megerősítés
- Hiányos / nem megfelelő szerkezeti mélység

Más szerkezetmegerősítő termékkel történő alkalmazás esetén:

- Rögzítő csapok készítésére
- Szénszálas szövet rögzítésekor

Lehetséges eseményekkel szembeni ellenállóság növelésére:

- Földrengés, ütközés, robbanás, stb.

	Rugalmassági modulus (N/mm²)	Szakítószilárdság (N/mm²)	Átmérő (mm)	Száltérfogat-tartalom (%)
Sika CarboDur BC Rods	140 000	3100	6	65
			8	
			10	
			12	
Mapei Maperod C	155 000	2000	9,7	71

⁴ Sika CarboDur BC Rods Termék Adatlap 06/2012

A táblázat adatai alapján látható, hogy a rudak mechanikai értékei elmaradnak a lamelláktól, valószínűsíthetően a sokkal kisebb méret az oka.

4.2.4. Szénszálas szövetek

Míg az előző két típus lényegében nem különbözött egymástól, a szövetek már egy másfajta alkalmazásra, főként nyomott vagy hajlított szerkezetek köpenyezésére valók. Ez a gyakorlatban oszlopokat, pilléreket, kéményeket, boltozatokat jelent. A célfelületre való felhelyezés is két technikával történhet: száraz vagy nedves rendszerben. Előbbi megoldásnál az impregnáló anyagot előbb felkenik a felületre, és utána ebbe fektetik a szövetet, míg az utóbbinál a szövetet mártják bele a gyantába és utána helyezik fel a felületre.



9. ábra A Mapei cég CFRP szerkezetmegerősítő szövetei

Alkalmazási területek:⁵

- Szeizmikus mozgások okozta hibák megelőzésére
- Robbanás utáni helyreállításra (baleset vagy terrorizmus)
- Téglafalak szeizmikus teljesítőképességének javítására
- Hiányzó betonacél helyettesítésére
- Oszlopok megerősítésére és hajlíthatóságára
- Szerkezeti elemek teherbírásának növelésére
- Az épület hasznosításának változásakor

⁵ Sika SikaWrap -600 C/120 Termék Adatlap 08/2010

- Építési hibák javítására
- Javítja az alkalmasságot
- Szabványok vagy előírások változásának találkozásokor

	Rugalmassági modulus (N/mm ²)	Szakítószilárdság (N/mm ²)	Szakadási nyúlás (%)
SikaWrap 150 C/30	242 000	3800	1,55
SikaWrap 230 C/45	234 000	4300	1,8
SikaWrap 300 C/60	230 000	3900	1,5
SikaWrap 450 C/90	242 000	3800	1,55
SikaWrap 600 C/120	242 000	3800	1,55
SikaWrap 900 C/150	242 000	3800	1,55
Mapewrap C UNI-AX	230 000	4800	2,1
Mapewrap C UNI-AX HM	390 000	4410	1,1
Mapewrap C BI-AX	230 000	4800	2,1
Mapewrap C Quadri-AX	230 000	4800	2,1

A táblázatban látható anyagok közül mindegyik egyirányú szövésű, a Mapewrap C BI-AX és a Mapewrap C Quadri-AX termékek kivételével (ezek két- és négyirányú szövessel készültek). Jól látható, hogy a szövetek között az UNI-AX HM kivételével nincs kiugró eltérés a rugalmassági modulusban. Szakítószilárdság tekintetében már nagyobb az eltérés. Ez a különbség a gyártók szintjén van jelen, így valószínűnek tartom, hogy a különböző alapanyag-gyártó miatt van ekkora különbség. Szakadási nyúlás terén az ismét az UNI-AX HM mutat lényegesen kisebb értéket, ez összefügg a kiugróan nagy rugalmassági modulusával.

4.2.5. Jellemző árak az összehasonlítás során

Erőforrás-hiányos napjainkban sok egyéb mellett a pénz igen jelentős tényező egy-egy munka során. Nincs ez másként a szerkezetmegerősítések esetében sem. Sajnos jelenleg a szénszál nem tartozik az olcsó anyagok közé. Ez főként a drága prekurzornak köszönhető.

A megerősítő anyagok árai a pályamű írásának idején a táblázatban látható módon alakultak. Összehasonlításkepp feltüntettem a hasonló méretű és minőségű acéllemezek árait.

Termék neve	Bruttó ár (HUF) / m²⁶
Sika Carbodur S-512 (lamella)	166 580
Mapei Carboplate E170 (lamella)	152 030
SikaWrap 230 C/45 (szövet)	13 806
MapeiWrap C UNI-AX 300/40 (szövet)	14 602
3mm- es melegen hengerelt acéllemez (S235 JRG2)	6 050

Látható hogy a szénszálal szövet ára legjobb esetben is 2,3-szorosa az acéllemeznek, lamellák esetében pedig 25-szöröse. Ezt azonban a szénszálal anyagok kivételes tulajdonságai ellensúlyozzák.

⁶ 2013. október 28-i kiskereskedelmi árak

5. Tervezési szempontok, alkalmazástechnika, valamint gyakorlati példák bemutatása a szénszálás szerkezetmegerősítő anyagok esetében

Habár a gyártók általában közzétesznek saját, kizárólag a termékeikre érvényes tervezési és alkalmazási útmutatókat, léteznek általános érvényű, minden terméknél figyelembe veendő elvek és szabályok. Jelen sorok írásához két forrást használtam fel: az egyik a Nemzetközi Betonszövetség egyik, vasbeton szerkezetek szénszálás megerősítéssel foglalkozó munkacsoportjának kiadványa (fib Bulletin 14, 2001), a másik pedig az S&P cég használati útmutatója (Guide for the application of S&P FRP Systems, 2006). Előbbit a tervezési-, utóbbit az alkalmazási szempontoknál vettem kiemelten alapul.

Fontos megemlíteni, hogy léteznek számítógépes segédprogramok, melyek hathatós segítséget tudnak nyújtani a tervezőknek a méretezésnél, így használatukkal meg lehet gyorsítani a folyamatot.

5.1. Tervezés

5.1.1. Elvek a megerősítések tervezése során

A tervezés során az általános tartószerkezeti tervezési elveket kell alkalmazni. Így a szerkezetnek meg kell felelnie a használhatósági és teherbírasi határállapotoknak, ezen kívül pedig különös tekintettel kell lenni a következő helyzeti állapotokra és az emiatt jelentkező szempontokra:

- **Tartós állapot:** a szerkezet normál használati módja és az ebből keletkező terhelések;
- **Rendkívüli állapot:** a szénszálás megerősítés váratlan elvesztése (tűz, mechanikai behatás) és ennek következményei;
- **Speciális tervezési szempontok:** például a kötésben fellépő feszültségek az eltérő hőtágulási tényezők miatt.

A tervezés során elsődlegesen az Eurocode statikai méretezési szabványsorozatnak a vonatkozó részét kell alkalmazni. Kivétel ez alól, ha a gyártó, vagy más szervezet (pl.: fib) nem ír elő mást. A szabványsorozat elemei:

Szabvány száma	Szabvány neve
Eurocode 1	A tartószerkezetet érő hatások
Eurocode 2	Betonszerkezetek tervezése
Eurocode 3	Acélszerkezetek tervezése
Eurocode 4	Acél és beton kompozit szerkezetek tervezése
Eurocode 5	Faszerkezetek tervezése
Eurocode 6	Falazott szerkezetek tervezése
Eurocode 7	Geotechnikai tervezés
Eurocode 8	Tartószerkezetek földrengésállóságának tervezése
Eurocode 9	Alumíniumszerkezetek tervezése

A használhatósági határállapot (SLS) követelményei

A használhatósági határállapotnak meg kell mutatnia, hogy a tartó az átlagos, hétköznapi alkalmazásban előforduló behatásokra megfelelően viselkedik. Figyelembe kell venni:

- **Feszültségeket:** Korlátozottaknak kell lenniük, nehogy a betonba vagy a szénsszálakba kúszás, vagy a betonacélokból folyás keletkezzen.
- **Deformációkat vagy lehajlásokat:** Korlátozhatja a tartószerkezet normális használatát, sérülhetnek a nem teherviselő elemek vagy negatívan befolyásolhatja a megjelenést.
- **Töréseket:** Ronthatják a tartósságot, használhatóságot és a tartó kinézetét. Ezek a veszélyesek lehetnek a szénsszálak és a beton közötti kötésre is.

Amennyiben a használhatóság megnövelése a célunk (pl.: teherbírás növekedés), akkor ez a határállapot lesz a meghatározó. A teherkombinációk a használhatósági határállapothoz az eredeti szerkezetre vonatkozó Eurocode-ban vannak meghatározva.

Teherbírési határállapot (ULS) követelményei

A teherbírési határállapotnál a különböző tönkremeneteli módokat kell vizsgálni. A tönkremenetek két nagyobb részre oszthatók: amelyeknél a tartó és a megerősítő anyag közötti kötés stabil marad, és amelyeknél a kötés megszűnik. A teherkombinációk és a biztonsági tényezők a teherbírési határállapothoz szintén az eredeti szerkezetre vonatkozó Eurocode-ban vannak megadva, azonban néhány adat (pl.: az anyag biztonsági tényezője) vagy a vonatkozó fib előírásban vagy a gyártók által megadott tervezési segédletben van meghatározva.

Baleseti tervezési szempontok

Ebben az esetben azt számolják, hogyan viselkedik az szénszálak betét elvesztése esetén (tűz, szándékos rongálás) az eredeti tartószerkezet. A számítások során a megerősített tartó teherkombinációi a megerősítetlen tartót terhelik, amely teherbírasi határállapotban van. Figyelembe kell venni az Eurocode 1 szerinti csökkentett biztonsági tényezőket és a terhek egyidejűségi tényezőit.

Különös fontossággal bír a megfelelő tűzvédelem biztosítása. Mivel a szénszálak gyúlékonyak és a ragasztógyanták üvegesedési hőmérséklete (az a hőmérséklet, amelytől megszűnik az anyag teljesen szilárdnak lenni) 60 °C környékén van, gondoskodni kell a megfelelő tűzálló bevonatról. Ehhez itthon különböző tűzvédő lapokat és tűzvédő habarcsokat alkalmaznak, melyekkel 1-1,5 órás tűzvédelmi határértékeket lehet biztosítani. Ezek az értékek megfelelnek a vasbeton födémlemezek átlagos tűzvédelmi határértékeinek.

Speciális tervezési szempontok

A hőtágulás miatt fellépő extra feszültségek a szénszál és az eredeti szerkezeti anyag között és a ciklikus terhelések ide tartoznak. A tűz és mechanikai behatások, bár előzőleg a baleseti tervezési szempontoknál voltak feltüntetve, ide is besorolhatóak, amennyiben követelmény a szerkezettel szemben.

Tartósság

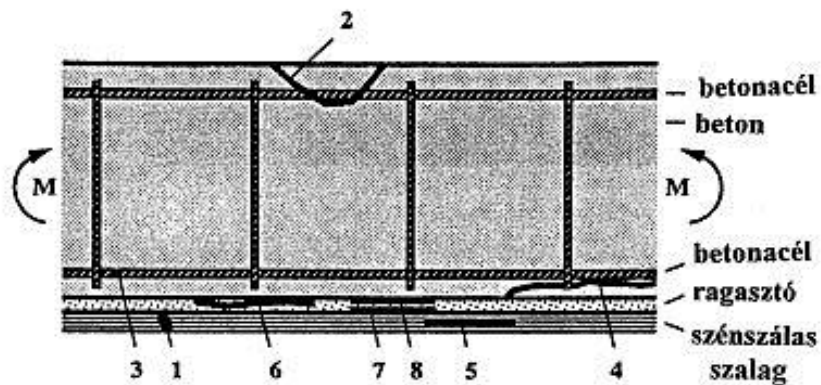
A környezeti körülményeket és hatásaikat a tartósságra már a tervezési folyamat elejétől figyelembe kell venni. Itt például az esetleges hőmérséklet ingadozásokra, az UV sugarak káros hatásaira és a maró kémiai anyagokra lehet gondolni. Amennyiben szükséges, úgy megfelelő védelmi intézkedéseket kell tenni (megfelelő habarcsok és egyéb védőrétegek alkalmazása). Pontosabb meghatározások a rendszerek gyári leírásaiban találhatók.

5.1.2. Tervezési szempontok hajlítási megerősítésnél

Általános

Hajlítási igénybevételekkel szemben megerősítendő tartóknál a szénszálak kompozitokat a feszültségi zónákban párhuzamosan a feszültség irányával felragasztva lehet megerősíteni. Hajlításnál a teherbírasi határállapotok vizsgálata után lehet pontosan meghatározni ezeket a helyeket. Az alábbi sorok egy hajlításra igénybevett tartószerkezet külső megerősítését veszik át nagy vonalakban.

Lehetséges tönkremeneteli módok



10. ábra Lehetséges tönkremeneteli módok ábrázolása

- 1 - A szénsszálak szakadása
- 2 - A nyomott betonöv tönkremenetele
- 3 - Az acélbetétek szakadása
- 4 - A betonfedés leválása
- 5 - A megerősítő réteg berepedése
- 6 - A ragasztóanyag berepedése
- 7 - A beton és a ragasztó elválása
- 8 - A szalag és a ragasztó elválása

A tönkremeneteli módokat két nagy részre oszthatjuk: egyik csoport esetében a tartó és a megerősítés a tönkremenetel pillanatáig együtt dolgoznak, a másik csoportnál pedig a megerősítés és a tartó közötti kapcsolat megszűnése okozza a tönkremenetelt. Vasbeton tartóknál például az alábbi esetek lehetségesek:

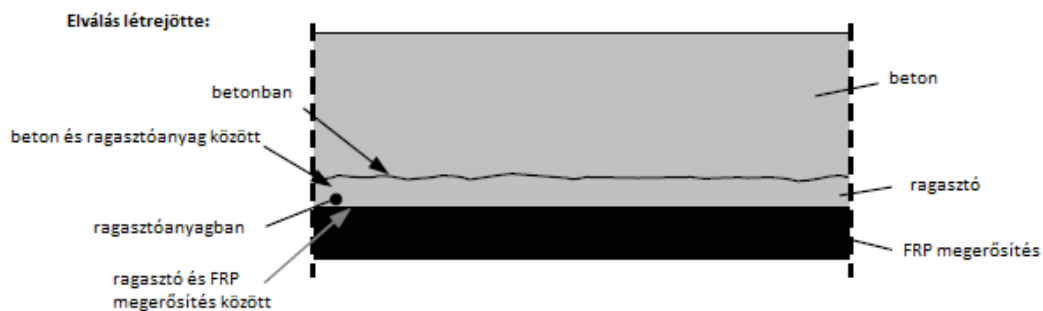
Teljes együttdolgozásnál:

- **A betonacél folyása, ezt követően pedig a beton szétmorzsolódása:** A beton armatúráját alkotó acélbetét túllépi folyáshatárát és a nyomott öv beton része (ahol a megerősítés a tartóhoz csatlakozik) teljesen szétmorzsolódik.
- **A betonacél folyása, ezt követően pedig a szénsszál megerősítés szétszakadása:** Bár ez az eset elég ritka, nem kizárható, hogy a betonacél megfolyása után az FRP is szétszakadjon.
- **A beton törése:** Nagyarányú megerősítéseknel előfordulhat, hogy a nyomott övben a beton előbb szétmorzsolódik, minthogy a betonacél megfolyyna. Ez egy nagyon nem kívánatos jelenség, de sajnos a gyakorlatban gyakran előfordul. Amennyiben ilyen

problémával állunk szembe, úgy a beton nyomóellenállásának növelését érdemes megoldani.

A megerősítőanyag elvesztésénél:

- **A betonfedés és a megerősítés leválása:** Ebben az esetben nem csak a megerősítő réteg és a ragasztó válik le, hanem a beton azon része is, amelyhez a ragasztó tapadt. Előfordulhat, olyan is, hogy ez a leválás az armatúra mentén megy végbe.



11. ábra Tönkremeneteli módok a megerősítő anyag elvesztésénél

- **A ragasztó leválása (kohéziós hiba):** Itt a ragasztón belüli molekuláris kötések engednek el magukat. Bár a ragasztók szakító és nyírószilárdsága magasabb értékű, mint a betonoké, mégis előfordulhat, hogy megszűnik, jellemzően extrém magas hőmérsékletnél, vagy amikor valamilyen tényező miatt a beton szilárdsága szokatlanul nagy. A ragasztóréteg leválhat tisztán is a betonról, de az is előfordulhat, hogy egy néhány milliméteres betonréteget magával ránt.
- **A ragasztó kapcsolatának megszűnése a betonnal vagy a megerősítő anyaggal (adhéziós hiba):** Ebben az esetben a ragasztó és a másik anyag közötti molekuláris kötés szűnik meg. Jellemzően a kivitelezés során végzett nem megfelelő felületi tisztítás miatt következik be ilyen tönkremenetel.
- **A szénszálak anyagban megszűnő kötés:** Mivel maga a szénszálak megerősítő anyag is kompozit, ezért előfordulhat a szálak és a gyanta közötti kötés megszűnése, így a lamella esik szét.

A tervezés folyamata hajlítási igénybevétel esetén:

A tervezési folyamatot a következőképp lehet összefoglalni röviden:

- A kiindulási helyzet felmérése, az ULS meghatározása és az SLS ellenőrzése. Az utóbbi nem feltétlen szükséges a tervezéshez, de támpontként szolgálhat a megerősített tartó használhatósági határállapotára.
- Meghatározzuk a kiinduló szerkezetre ható nyomatékokból a megerősítésre vonatkozó kezdeti alakváltozást.
- Teljes együttes viselkedést feltételezve és a megerősítés utáni nyomatékokat figyelembe véve meghatározzuk a szükséges szénzálalas megerősítés keresztmetszetét, kielégítve ezzel az ULS követelményeit a tartóval szemben. Bizonyítjuk, hogy a tartó megfelelő hajlékonysággal rendelkezik.
- Kiszámoljuk SLS-hez tartozó lehajlásokat. Ha a maximális megengedett lehajlási értéket túlléptük, újra meghatározzuk a szükséges keresztmetszetet a megerősítő anyag számára, amellyel már teljesülnek a követelmények.
- Kiszámoljuk a beton, a betonacél és a szénzálalas megerősítés feszültségi értékeit SLS-ben. Ha megengedett értékeket túlléptük, az előző pontban leírt módon újraszámoljuk.
- Ellenőrizzük, hogy a tervezett szénzálalas megerősítés szélessége elegendő-e ahhoz, hogy a betonban keletkező esetleges törés szélességét kontrollálni tudja az SLS-ben. Amennyiben szükséges, növeljük a megerősítés szélességét. Ha elértük a maximumot, de még mindig nem elegendő, növeljük a megerősítés vastagságát. A kötéssel ebben az esetben nem kell foglalkozni.
- Ellenőrizzük a nyíróerő ellenállást, hogy az így keletkező nyírási repedések mennyire okozhatják a ragasztás elengedését. Amennyiben ez a tönkremeneteli mód a jellemző, határozzunk meg a szénzálalas megerősítésnek egy új keresztmetszeti értéket.
- Ellenőrizzük, hogy az esetleges szélső lehorgonyzásoknál és a megerősítés teljes hosszán (azon részeken, ahol hajlítási repedések jellemzőek) a ragasztás elengedése nem következik be. Amennyiben mégis, úgy mechanikai lehorgonyzás szükséges.
- Ellenőrizzük, hogy a megerősítés végének esetleges nyírása el lett kerülve. Ha igen, úgy a végek nyírási megerősítése szükséges.
- Ellenőrizzük le az esetleges baleseti helyzeteket.
- Ellenőrizzük, hogy megfelel-e a megerősített szerkezetet nyírásra is. Ha szükséges, tervezzük át, hogy megfelelő legyen.

Speciális esetek

A fenti leírás feszítetlen vasbeton tartóra és megerősítésre vonatkozott. Máshogy kell számolni az elő- és utófeszített vasbeton tartók és az előfeszített szénsszálal megerősítések esetében, különösen, ha lehorgonyzással is számolni kell. Továbbá nem szabad elfelejteni, hogy maguk a külső szerkezetmegerősítő rendszerek nem alkalmasak nagy nyomóerők elviselésére, így ilyen alkalmazásuk kerülendő.

5.1.3. Tervezési szempontok nyírási igénybevétel esetén

A szénsszálak a szálak hosszanti irányában képesek a legnagyobb erők felvételére, tehát így is érdemes alkalmazni őket. Ez hajlítási igénybevételnél teljesül is, hiszen az igénybevétel irányával párhuzamosan kerülnek felhelyezésre a megerősítő anyagok. Nyírásnál azonban a nyírás-kritikus zónákban a maximális nyíróerők a tartókban durván 45°-os szögben lépnek fel (például oszlopoknál szeizmikus erők hatására). Tapasztalatok alapján azonban így is a legpraktikusabb a tartó tengelyére merőlegesen felhelyezni a megerősítést nyíró igénybevétel esetén.

Komolyabb kutatások bebizonyították, hogy szénsszálal külső megerősítésű gerendáknál a megerősítés szálirányba megnyúlik ugyan, de nem a lehetséges maximális értékre, így nem olyan hatékony, mint hajlításnál. Az ily módon elért megnyúlást hasznos megnyúlásnak nevezték el. A hasznos teherbírás pontos kiszámítása bonyolult, de egyszerű modellekkel és a kísérleti adatok elemzésével meg lehet becsülni. Fontos megjegyezni, hogy a tartó tönkremenetelét mindig a beton átlós feszültsége határozza meg.

A leggyakoribb tönkremenetek nyírási igénybevételnél a következők (bekövetkezési sorrendben):

- Nyírórepedések és az erősítés leválása
- Nyírórepedések és az erősítés szétrepedése
- Nyírórepedések
- Erősítés szétrepedése

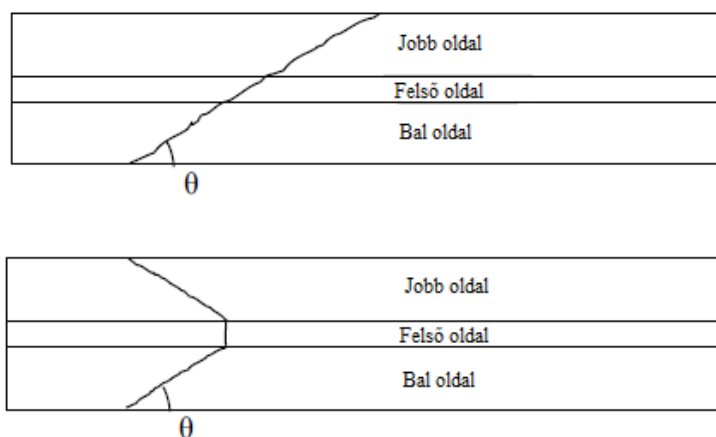
A megerősítés keresztmetszetének befolyásoló hatása a tönkremenetelre

Amennyiben a legvalószínűbb tönkremenetel a nyírórepedések megjelenése és az erősítés leválása (oldal- vagy U-alakú köpenyezés), úgy a megerősítés során a nyírási teherbírás csekély mértékben növekedett. Azonban ha a tönkremenetel mindkét anyag repedése miatt

következik be (teljes köpenyezés), úgy a nyírási teherbírásban játszott szerepe a megerősítésnek sokkal jelentősebbé válik. Ebből is következik, hogy a teljes köpenyezés a leghatásosabb eljárás nyírási teherbírás növelésére. Amennyiben ez nem lehetséges, úgy a szövetek vagy lamellák végeit mindenképpen ajánlott a nyomási zónához horgonyozni.

5.1.4. Tervezési szempontok csavarási igénybevétel esetén

A csavarási igénybevétel során fellépő repedések ugyanazon okok miatt alakulnak ki, mint a nyírási repedések. A fő különbség a törésképpen mutatkozik meg. A csavarási repedések is átlósak, de a tartó két oldalán különböző irányúak, egyfajta spirálhoz hasonló mintát követve. Ezért csavarási megerősítésnél a szövettel történő teljes körbeburkolás a legjobb, tehát nyírás és csavarás esetében is ugyanaz a megoldás.



12. ábra A tartóban keletkező repedések képe nagyfokú csavarási (felül) és nyírási (alul) terhelésnél

5.2. A kivitelezés folyamata

A kivitelezési folyamatok két részre oszthatóak: szövetes rendszerekre és lamellás rendszerekre.

5.2.1. Szövet-alapú rendszer kivitelezése

Követelmények a megerősítendő felülettel szemben

A ragasztandó alapfelülettel szemben alapvető követelmény a tapadó-húzó szilárdságának megfelelése. Ez általában 1 N/mm^2 szöveteknél. A felületi érdességnek átlagosan 0,5-1 mm-es értékek közé kell esnie. Ez az érdesség a ragasztó és a beton közötti mechanikai kötést javítja. A felület egyenetlensége 2 m-es hosszön nem haladhatja meg az 5 mm-t. Ha ezt meghaladja, abban az esetben ki kell egyenlíteni a megfelelő mértékig a felületet. A felületen található esetleges repedéseket is meg kell szüntetni különböző javítóhabarcsok alkalmazásával. A beburkolandó szerkezeti eleinek sugarai nem lehetnek nagyobbak, mint 2 cm. Amennyiben mégis, úgy kalapáccsal vagy más hasonló eszközzel le kell törni ezeket. A felületet meg kell tisztítani a különböző szennyeződésektől (olaj-, por-, cementtej- és más szennyeződések), ezt leggyakrabban homokfúvással végzik. A felület nedvességtartalma nem haladhatja meg a 4 %-ot. E fölött az érték fölött a ragasztó és a beton között nem jön létre megfelelő kötés.

Előkészületek

A megerősítő anyagok helyét ki kell jelölni a felületen, ezután pedig méretre kell vágni a szöveteket. Ezalatt el lehet kezdeni a ragasztóanyag bekeverését. Innentől a művelet két részre oszlik: a felhelyezés történhet „nedves” vagy „száraz” rendszerben.

Felhordás „nedves rendszerben”

A ragasztó(ka)t a már kijelölt és megfelelően előkészített felületre felhordjuk. Ezután elkészítjük az impregnáló anyagot, a méretre vágott ollókat impregnáljuk. Két módszer létezik:

- **Kézi impregnálás:** Egy megfelelő méretű négyszögletes tálat az impregnáló anyaggal 1/3-ad részig megtöltünk. Ebbe pár másodpercre belemerítjük a szövetet és miután kivettük hagyjuk egy kicsit lecsöpögni. Ezután csavarás nélkül, gumikesztyűs kézzel kinyomjuk a felesleges gyantát a szövetből.



13. ábra Szénszálas szövet impregnálása kézzel

- **Gépi impregnálás:** Egy speciális gépet is alkalmazhatunk impregnálásra, ez meggyorsítja a folyamatot. A gép egy tálból és két sor görgőből áll. Ugyanúgy a tálba belemerítjük a szövetet, de a görgők segítségével préseljük ki a fölösleges gyantát a szövetből.



14. ábra Géppel történő impregnálás

Az impregnálás után azonnal felhelyezzük a szövetet a helyére.

A szövet felhelyezése, átlapolások

Ellenőrizni kell, hogy a ragasztó még fazékidőn belül van-e. Ha igen, úgy azonnal fektessük rá az impregnált szövetet, ügyelve, hogy ráncmentes legyen a felhelyezés után. Kézi átsimítás után szálirányban többször át kell hengerelni keménygumi hengerrel, így biztosítva a lehető legnagyobb fokú együttdolgozást a ragasztóval. Ezután érdemes még egy alumínium-spirál hengerrel végigmenni a szöveten, nehogy légbuborékok maradjanak a rétegek között. Oszlopok, gerendák köpenyezésekor a szövet végét át kell lapolni ugyanazon szövet

kezdetével, általában 15-20 cm hosszúságban (rendszerenként eltérő). Ugyanekkorá átlapolást kell készíteni, amennyiben hosszirányú toldást készítünk. Szélesség növelése esetén azonban elég csak szorosan egymás mellé illeszteni a szövetelemeket. A feldolgozott elemeket nem szabad mozgatni.

Felhordás száraz rendszerben

A ragasztót vagy a ragasztókat itt is felkenjük, ezután pedig az impregnáló anyagot elkészítés után erre a ragasztórétegre visszük fel kb. 0,5 mm vastagságban. Erre azonnal ráfektetjük a szövetanyagot, a ráncok kisimítására ügyelve. Ezt követően kenjük fel még egy réteget, és menjünk rajta végig az előző rendszernél ismertetett módon. Átlapolás esetén ugyanazok a szabályok érvényesek itt is.



15. ábra Száraz rendszerű impregnálóanyag felhordása a szövetrétegre

Több réteg felhordása

Amennyiben több réteget kell egymásra helyezni, úgy a felületre még egy réteg ragasztót kell felvinni, és felragasztani a szövetet. Nedves rendszernél felragasztás előtt természetesen impregnálni kell, míg száraz rendszernél a következő réteg ragasztót kell felhordani.

Fontos megjegyezni, hogy amennyiben az újabb rétegek felhordása az előző rétegek felhelyezése után több mint 24 órával történne, úgy a már kikeményedett réteget általában fel kell érdesíteni csiszolással.

A megerősítés védelme, betartandó szabályok

A művelet befejezése után a felületet legalább 5 °C-on kell tartani. Ha a hőmérséklet +15 °C-nál magasabb, akkor legalább 24 órán keresztül, alacsonyabb érték esetén viszont legalább 3 napig védeni kell az esőtől. A védőbevonatot kb. 1-2 nap után lehet felhelyezni, ami általában cement-habarccsal vagy akrilfestékekkel történő bevonást jelent, melyek védelmet nyújtanak az UV-sugárzás káros hatásai ellen.

Az eszközök tisztítása

A felhasznált eszközöket, mielőtt az anyag rájuk kötne, etilalkohollal vagy toluollal lehet lemosni.

5.2.2. Lamellás rendszer felhelyezése

A lamellás rendszerek felhelyezése néhány pontban hasonlít a szövetes felhordáshoz, de nem fedik egymást. Az alábbiakban a főbb különbségekre térek ki.

A felülettel szemben támasztott követelmények nagyjából megegyeznek a szövetekével, különbség csak a tapadó-húzó szilárdság mértékében van ($1,5 \text{ N/mm}^2$). A lamellákat egy fehér ronggyal meg kell teljesen tisztítani a szennyeződésektől. A tisztítás akkor befejezett, ha egy ugyanolyan fehér ronggyal végighúzva a felületet a rongy tiszta marad.

A ragasztóanyagból fel kell vinni kb. 2 mm vastagságban egy-egy réteget a tartó és a lamella felületére is. Utóbbi megoldásához gyakran fából készítenek kis adagolót, amelyen átdugva a lamellát egyenletesen eloszlik az anyag. A felhelyezés ugyanúgy kézzel történik, de ujjainkkal enyhe nyomást is kifejtünk. Ezután egy gumihengerrel végigmenve a lamella felületén elosztjuk az alatta levő ragasztóanyagot, a maradékot pedig eltávolítjuk. A szomszédos lamellák között 5 mm-t ki kell hagyni.



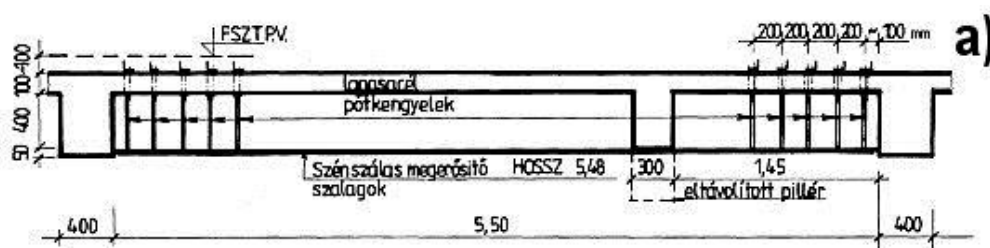
16. ábra Egyenletes felhordást segítő eszköz

A ragasztó megszilárdulása után 1-2 napig ajánlott, hogy a tartó megerősített része környékén a vibrációk minimalizálva legyenek. Tűz- és egyéb behatások ellen a lamellákat megfelelő védelemmel kell ellátni.

5.3. Alkalmazásbeli bemutatás

A polgári építésben számtalan alkalommal fordul elő olyan helyzet, amikor egy tartószerkezet valamilyen okból nem tudja ellátni eredeti feladatát, vagy új feladatkör hárul rá. Néhány ilyen esetet szeretnék bemutatni:

5.3.1. Gerenda megerősítés (oszlop eltávolítása miatt)



17. ábra A megerősítés metszete

Egy budapesti gyárépületben a gyártástechnológiai okokból egy fejlemezés vasbeton gerendát alátámasztó közbülső vasbeton oszlop eltávolítása vált szükségessé. A számítások megmutatták, hogy a megnövekedett nyomatéki megerősítés mellett szükség van a nyírási teherbírás növelésére is. Míg az előbbit szénszálas szalagokkal (Sika CarboDur S512) oldották meg, utóbbit külső vezetésű acél kengyelekkel. Itt jegyezném meg, hogy napjainkban már tisztán szénszálas technológiával is megoldhatóak az ilyen kihívások, köszönhetően a már elérhető szénszálas kengyeleknek.



18. ábra Kivitelezés után (piros nyíllal jelölve a hiányzó oszlop helye)

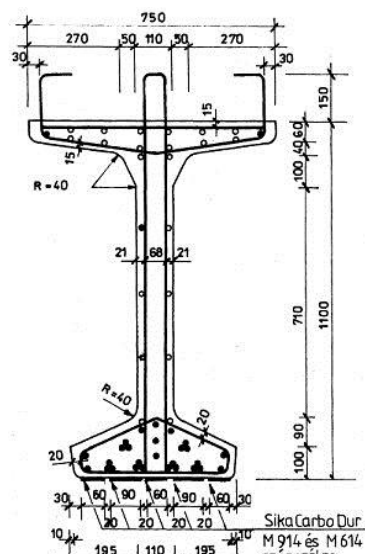
5.3.2. Födémlemez megerősítése

Egy pesti belvárosi épületben az első emeleti mennyezetről betondarabok kezdtek hullani. Mint kiderült, a felette levő emeleten fürdőszoba volt található, és a rossz szigetelés miatt a födém átázott. A feltárás során kiderült, hogy a födém salakbetonból épült, amelybe 0,85 m-enként „I” 160-as acéltartók lettek elhelyezve. A víznek köszönhetően az acéltartók elkezdtek korrodálni, így teherbírása is csökkent. A megerősítést Sika CarboDur S512-vel végezték, de a salakbeton kis szilárdsága és porózussága miatt az „I” tartókra lettek felhelyezve a lamellák.



19. ábra A födém a megerősítés után

5.3.3. Előregyártott, előfeszített hídgerenda megerősítése



20. ábra A gerenda metszete a megerősítő szalagokkal

A Petőfi-híd Boráros téri felüljárója EHGT típusú előregyártott, előfeszített hídgerendás egyenes pályalemezzel. A villamosmegálló alatti szélső főtartó alsó pázmasorában 5 db feszítőpázsma teljesen, további 4 db pedig részlegesen elkorrodált.

Több változat átgondolása után a szénszálas szalagokkal való megerősítés mellett döntöttek. 5 db, 28 m hosszú szénszálas szalag került fölragasztásra a 2-es villamos éjféli üzemzárása és hajnali indítása közötti 4,5 óra időtartamba. A különböző rugalmassági modulusú és szilárdságú szalagok- közül az acéllal azonos modulusúra esett a választás (Sika CarboDur M914 és M614). A megerősített tartó alsó övére végezve

sóvédő bevonat és mechanikus sérülés elleni védőlemezek kerültek.



21. ábra A hídgerenda a megerősítés után

5.3.4. Födémáttörés miatti lemezmegerősítés

A kanadai Montrealban az egyik hulladékfeldolgozó üzemben különleges módszerrel lett a feldolgozás megoldva. A beérkezett hulladékot az épület emeleti részén osztályozzák és válogatják, a födémen vágott nyílásokon pedig leszórják a földszintre a 25 különböző alagútba. Itt az anyagokat tömörítik, bálázzák és szállítás-készé teszik.



22. ábra A hulladéklerakó kívülről

Az épület azonban eredetileg más célra épült és a födémáttörések az armatúrát is roncsolták, ez pedig csökkentette a lemez szilárdságát. Mivel az emeleti részen nehéz munkagépek mozognak, szükségessé vált a födémlemez megerősítése. Az alsó szinten szintén munkagépek közlekednek, ezért a keresztmetszetet nem lehetett csökkenteni acélgerendákkal vagy alátámasztásokkal, így a szénszálas megerősítésre esett a választás.



23. ábra Munka közben

A munkálatok első fázisában hat darab 3,65 X 6,09 méter keresztmetszetű, 30 méter hosszú alagutat erősítettek meg, 50 és 100 mm széles Mapei Carboplate E170-es szalagokkal és Mapewrap 11 ragasztóanyaggal. A munkálatokat péntek és szombat esténként, éjféltől reggel 7-ig végezték három egymást követő hétvégén, így zavarva a legkevésbé a feldolgozó üzem munkarendjét.

5.3.5. Tetőszerkezet megerősítés

Soazza-ban, egy svájci településen egy garázs tetőszerkezetének hiányzó vasalását, pontosabban annak mechanikai tulajdonságait kellett pótolni. A megerősítés során Sika CarboDur S 1525 lamellákat alkalmaztak, amiket a beton felületébe vájt résekbe függőlegesen illesztettek be. Ezután a réseket ragasztóval befedték, amelyek az együttdolgozás mellett védetté is teszik a szálakat. Előnye a vízszintesen leragasztott megoldással szemben, hogy itt kevesebb a felületi munka és csökken a rétegelválás kockázata.



24. ábra A szálak behelyezése a résekbe

5.3.6. Hídszerkezet teherbírásának növelése



25. ábra A megerősített főtartók

A Bulgáriában, Gulubovo település mellett épülő új szénérőmű építése során problémaként merült fel a részegységek szállítási útvonalán található híd elégtelen teherbírása. A híd előfeszített vasbeton szerkezet, sima és „T”-alakú tartókkal. A munkát a 2007/08-as téli időszak alatt kellett elvégezni, ezért a munkaterületet téliesíteni kellett. A munka során hajlítási megerősítésre Sika CarboDur S1012 lamellákat, nyírásra pedig SikaWrap 230 C/45 szövetet alkalmaztak. Az ellenőrzés során a híd pontosan úgy viselkedett, ahogy a statikai számítások alapján várták, és a tényleges terhek is különösebb gond nélkül átjutottak a túlpartra.



26. ábra Az erőmű generátorának szállítása

A fenti esetekben közös, hogy kizárólag acél és vasbeton tartók megerősítését mutatták be. Ez pusztán csak annak köszönhető, hogy napjainkban ezek a legelterjedtebb tartószerkezeti építőanyagok. Természetesen fa és kő tartóknál is alkalmazható.

A szénszálas szerkezetmegerősítés alkalmazható statikus (raktárak) és dinamikus terheléseknél (hídszerkezetek), lassú alakváltozás mérséklésére, szerkezeti elemek tartósságának biztosítására (Petőfi-híd példája). Gyakran alkalmazzák amennyiben helyszűke áll fenn, vagy nehezen tudjuk az adott szerkezetet megközelíteni, illetve ha kiemelten fontos a tartó esztétikus megjelenése.

A fentieknek megfelelően jellemzően hidak teherviselő elemein, földémeken, gerendákon, lépcsőkön, gabonasilókon lehet találkozni ilyesfajta megerősítéssel.

6. Egyéb megoldások a tartószerkezetek utólagos megerősítésére

Az építőiparban sokféle eljárást találhatunk szerkezetek megerősítésére, nem csak a szénszálas technikát. Vannak több évszázados, és vannak alig pár éves módszerek is. Munkámban ezeket két részre csoportosítom. Egyik csoport alkotja a polgári építésben jelen levő és elterjedt technikákat, a másik csoport pedig a katonai építés speciálisabb eljárásait.

6.1. Megoldások a polgári építésben

A polgári építésben három megoldás terjedt el: külső utófeszítés alkalmazása, lövellt beton használata, és az acéllemezes megerősítés. Ezen megoldásokat mutatom most be.

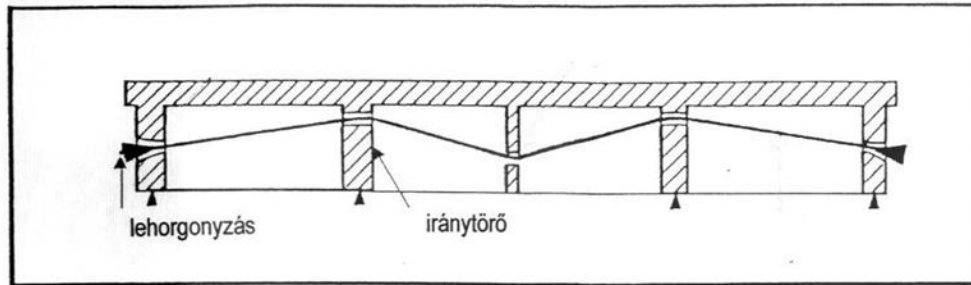
6.1.1. Külső utófeszítés

Főleg vasbeton szerkezeteknél alkalmazott megoldás az acélsodronyokkal történő utófeszítés. Ennek során a tartó alatt kihúzott acélhuzalokat feszítik meg, erre pedig a tartó felül és így a huzalok is részt vesznek a terhek felvételében. Fontos, hogy a beton nem érintkezhet a feszítés előtt a sodronyokkal, hiszen lehetetlenné válna a kivitelezés, és sérülne a beton és a huzal is. Előnye, hogy egyszerű alapokon nyugvó és régi technológia (a módszert már 1926-ban szabadalmaztatták), így nagy tapasztalattal rendelkeznek vele a kivitelezők. Fontos megemlíteni, hogy a technológiát új építésű betonszerkezeteknél is alkalmazzák, ahol a vasaláshoz bádoggal csatornába helyezett huzalokat vagy műanyag burkolatú, zsírozott acélsodronyokat rögzítenek, és kibetonozás után ezeket megfeszítik. A csatornás módszer esetén a csatornát ezután még ki is töltik betonnal vagy cementhabarccsal.



27. ábra Külső utófeszítés vasbeton tartószerkezeten

Hátránya, hogy speciális, úgynevezett feszítőpuskákat kell hozzá alkalmazni, ezek elég drága és speciális eszközök. A huzalok nincsenek izolálva a környezettől, ezért acélsodronyok esetén fennáll a korrózió veszélye. Amennyiben nagy az esélye a mechanikai rongálásnak, úgy a feszítésnek még beton védőréteget is kell kapnia, amihez zsaluzat és minimum C20-as beton szükséges, nem is beszélve a régi és új beton együttdolgozásának problémájáról.



28. ábra Külső utófeszítéssel megerősített tartó metszete

Leggyakrabban hídszerkezeteknél alkalmazzák, a mechanikai behatás alacsony valószínűsége miatt.

6.1.2. Lövellt beton alkalmazása

A lövellt beton kifejezés nem egy egyszerű betonfajtát takar, hanem egy betonkészítési eljárást, magába foglalva a beton előállítását, szállítását, bedolgozását és tömörítését is. Ez a technológiai lánc kizárólag egyben működő folyamat, a lépések egymástól nem elválaszthatók. Maga a folyamat az utófeszítéshez hasonlóan önmagában is használható új szerkezetek létrehozására; főleg vékony betonrétegeket készítenek vele (héjszerkezetek, alagút- és tartályfalak). További hasonlóság, hogy a kettőt együtt is lehetséges alkalmazni (így elkerülhető az előfeszítésnél említett zsaluzat készítés).



29. ábra Lőttbeton alkalmazása sérült vasbeton szerkezetről

A megerősítés a meglévő szerkezet vastagításával jön létre, a régi és új betonok együttdolgozásának biztosításával.

Az eljáráshoz speciális, gyorsan szilárduló keveréket alkalmaznak. A felhelyezést két módon lehet elvégezni:

- **Száraz betonlövés** esetén sűrített levegővel juttatják el a keveréket a fúvókán keresztül a felületre. A keverővíz a rendszerbe a fúvóka egy másik bemenő csövén keresztül jut be. Ennél a technológiánál a fúvóka és a lövetett felület között 60-90 cm lehet a távolság.
- **Nedves betonlövésnél** a keverékhez már a szállítás elején hozzáadják a vizet, ezután pedig hidraulikusan vagy itt is sűrített levegővel szállítják a betont a fúvókáig. A fúvókánál ismét sűrített levegőt juttatnak be, így biztosítva a megfelelő nyomást a csövön kilépő betonnak. A fúvóka és a felület közötti távolságnak 20-50 cm között kell lennie.

A lőtt beton alkalmazásához, először az esetleges kilógó vagy beépítésre váró betonacélt műgyantával kezelik, ezután (csak ha szükséges) megépítik a zsaluzatot, majd a lövetett felületet előnedvesítik. A lövés történhet többféle anyaggal, akár több rétegben is. Fontos a megfelelő távolság és a megfelelő szög, melyekért a fúvókát kezelő szakember a felelős. A lövés után el kell simítani vagy egyengetni a betont, majd meg kell kezdeni az utókezelést (megegyezik a normál betonokéval).

Gerenda és pillér megerősítésnél a lőtt beton, mint burkoló és védőanyag játszik szerepet. A terhek felvételét a vasalás, gerendák esetében a kengyelek végzik.

A lőtt beton előnyei közé tartozik a mechanikai behatásokkal szembeni nagy ellenálló képesség. Amennyiben a megerősítendő betonfelület sérült, úgy a sérülést is lehetséges ezzel az eljárással javítani.

Vasbeton lemezfödémeknél a legegyszerűbb megerősítési mód, hiszen elég csak a födém alsó vagy felső részére készíteni egy megfelelő vastagságú réteget, máris növekedni fog a tartó teherbírása. Az eredeti felülettel való együttdolgozást dübelekkel lehet fokozni. Héjszerkezeteknél is előszeretettel alkalmazzák a vékony rétegek készítésének lehetősége miatt. További előnye, hogy más anyagú tartóknál is lehetséges alkalmazni (csapos gerendafödém).



30. ábra Lövellt beton géplánc alkalmazás közben

Hátránya, hogy rövid idő alatt nagy önsúlynövekedés következik be a megerősítendő tartón, ehhez pedig nem társul időarányosan a teherbírás növekedése. A felhordás minősége nagyban függ a fúvókát irányító mester gyakorlottságától és ügyességétől. Továbbá a technológiai lánc kötött és nagy erőforrás-igénye van (sűrített levegő, beton), így költségek szempontjából sem olcsó.

6.1.3. Ragasztott acéllemez megerősítés

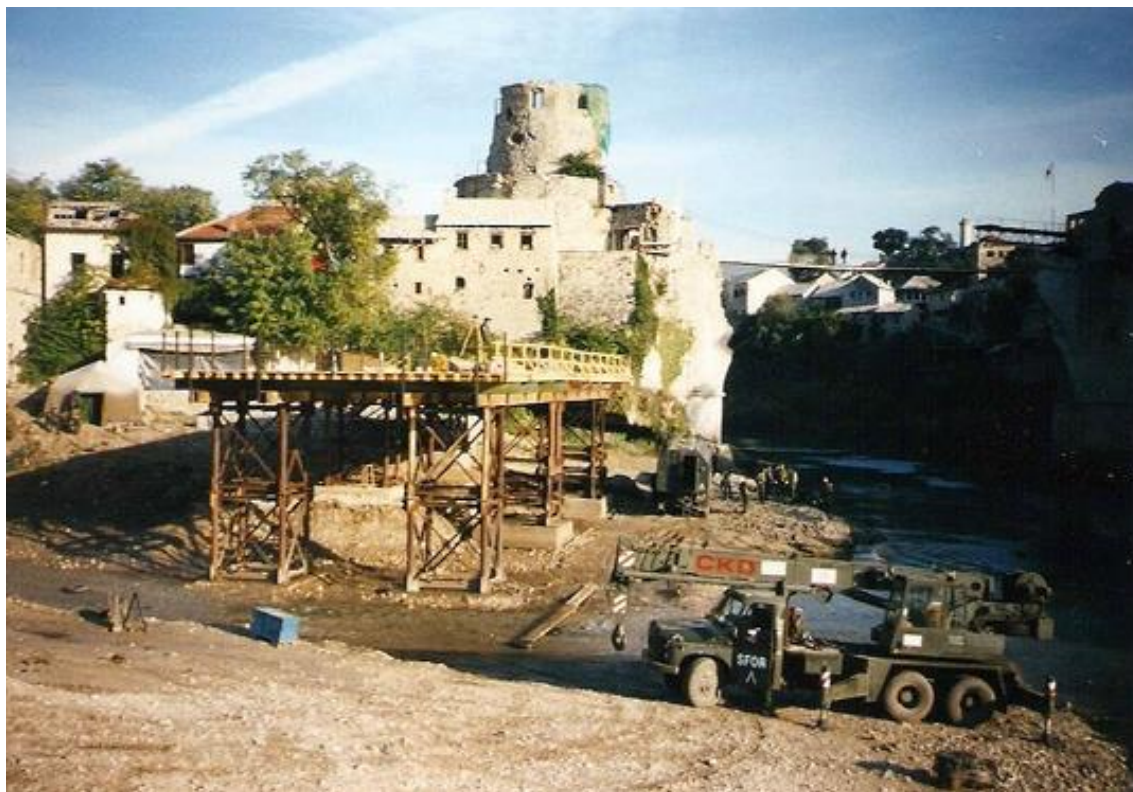
A ragasztott acéllemez megerősítés nagyon hasonló a szénszál megerősítéshez. A kötőanyag itt is epoxigyanta, és főleg hajlítási igénybevétel ellen alkalmazzák. A felülettel kapcsolatos követelmények is megegyeznek. Előnye, hogy nem függ a megerősítendő tartó anyagától. Árban az egyik legolcsóbb megoldás.

Azonban az acél fizikai tulajdonságai miatt sok mindenben különböznek egymástól. A rugalmassági modulus és a húzószilárdság értéke sokkal korlátozottabb intervallumban mozog, ellentétben a szénszálakkal. Fajsúlya is sokkal nagyobb. Amennyiben nagyobb lemezméret szükséges, úgy hegesztésre van szükség. A lemezek vastagsága átlagos esetben 5-6 mm, ez néhány helyen probléma lehet.

A nagyobb méret és az arányaiban nagyobb tömeg miatt szükség van állványozásra és sokkal nagyobb a tartó felülettől történő elválás, ezért gyakrabban van szükség lehorgonyzásra illetve dübelezésre. Az állványozás azért is szükséges, mert a ragasztó megszilárdulásáig a lemezeket állandó és egyenletes mechanikai nyomás alatt kell tartani. Továbbá pillérek és oszlopok megerősítésére az acél merevsége miatt ez a megoldás nem alkalmazható.

6.2. Katonai megoldások

A katonai építésben alapvetően a polgári eljárások és technológiák kerülnek alkalmazásra, hozzáigazítva a speciális katonai igényekhez. A komolyabb építőipari beruházásokat a Honvédelmi Minisztérium közbeszerzés útján kiválasztott tervezőkkel és kivitelezőkkel bonyolítja le, így ma már nem beszélhetünk kifejezetten műszaki építő csapatokról a Honvédség szervezetén belül.



31. ábra A MH MMK hídépítés közben Mostarban

A katonai építést alapvetően behatárolja a korlátozott anyagi- és eszközkészlet, illetve a jelenleg hatályos szabályzók.

6.2.1. A katonai alkalmazás igénye hazánkban

Feladatok

Hazánkban a Magyar Honvédségen belül a műszaki csapatok alkalmasak szerkezetmegerősítési feladatok végrehajtására. Ez a feladatkör jól illeszthető a műszaki támogatás feladatrendszerébe, melyek az alábbiak:⁷

- Saját csapatok mozgékonyságát biztosító feladatok;
 - a mozgási pályák (út-, vasút-, víziút-, stb.) műszaki felderítése;
 - **menetvonalak építése, javítása;**
 - aknameletesítési műveletek végrehajtása;
 - műszaki záruk leküzdése;
 - **átkelőhelyek berendezése és fenntartása;**
 - a hajózható vizeken a mozgás hadihajós támogatása;
 - az előretelepített csapatlégierő támogatása.
- Az ellenség mozgékonyságát akadályozó feladatok;
 - Műszaki záruk (robbanó és nem robbanó) telepítése, fenntartása.
- A túlélőképesség fenntartását, fokozását biztosító feladatok;
 - **Erődítési feladatok végrehajtása;**
 - Az álcázás műszaki rendszabályainak végrehajtása.
- Egyéb (más vagy általános) műszaki feladatok.
 - Speciális műszaki szakfelderítés végrehajtása;
 - **A csapatok ellátását biztosító fő ellátási útvonalak javítása, fenntartása;**
 - **Résztétel a pusztító fegyverek csapásai következményeinek felszámolásában a csapatok harcképessége helyreállításának érdekében;**
 - **résztétel természeti és civilizációs katasztrófák megelőzésében és a következmények felszámolásában;**
 - Résztétel repülőgépek, helikopterek részére szükséges fel- és leszállóhelyek berendezésében és fenntartásában;

⁷ Prof. Dr. Szabó Sándor ny. mk. ezds.: A műszaki támogatás alapjai (előadás, 2004, ZMNE)

- Részvétel a repülőtéri károk kijavításában, a repülőtér működőképességének helyreállításában;

Megállapítható, hogy a másodikat leszámítva mindegyik pontnál találunk olyan alpontokat, melyekbe a szerkezetmegerősítés, mint tevékenység beilleszthető. Ezeket a felsorolásban vastagon szedtem.

Csapatok

Szervezeti szempontból két egység képes különböző fokú megerősítések kivitelezésére: az MH 37. II. Rákóczi Ferenc Műszaki Ezred és a MH 5. Bocskai István Lövészdandár Művelettámogató Műszaki Zászlóalja.

MH 37. II. Rákóczi Ferenc Műszaki Ezred

Az ezred a Magyar Honvédség legnagyobb műszaki szervezete, amely Szentes helyőrségben diszlokál. Fő feladatai:⁸

- Külön tervekben meghatározottak szerint a válságkezelés feladataiban való részvétel;
- A határbiztosításra kijelölt összefegyvernemi alegységek tevékenységének műszaki támogatása keretében terepszakaszok lezárása akadályokkal, ellenőrző-áteresztő pontok létesítése;
- Objektumok védelmi feltételeinek javítása, menekültek kezelésével kapcsolatos feladatok végrehajtásában való részvétel;
- A természeti katasztrófák megelőzésében és következményeinek felszámolásában való részvétel;
- Állami szervek részére térítés ellenében katonai szakértelmet és speciális eszközöket igénylő feladatok ellátása.

Az ezred állományában két pontonos hídépítő, egy víztisztító és egy alacsonyvízi hídépítő század található.

Szerkezetmegerősítésre ez utóbbi alegység a legalkalmasabb. Az alacsonyvízi hídépítő század képességei lefedik a teljes faanyag megmunkálási folyamatot, képesek légnyomással működő berendezések üzemeltetésére (pl.: kompresszoros utánfutó), fa és acél anyagú cölöpök leverésére (USZM-2) illetve korlátozottan képesek fémmegmunkálásra (kovácsműhely). Így

⁸ http://www.honvedelem.hu/szervezet/mh_37_rakoczi

kijelenthetjük, hogy ez az alegység a legmegfelelőbb esetleges szerkezet megerősítések végrehajtására, azonban még így is vannak ezen belül olyan feladatok, melyeket csak igen korlátozott mértékben tudnak ellátni (fém- és vasbeton szerkezetek).

MH 5. Bocskai István Lövészdandár Művelettámogató Műszaki Zászlóalj

A zászlóalj Hódmezővásárhely helyőrségben diszlokál, fő feladatai közé pedig a dandár lövésszállóaljainak műszaki támogatása áll zászlóaljanként egy-egy műszaki modulszakasszal (1. század), illetve különböző, a jogelőd szervezet megszüntetésével átháruló feladatok továbbvitele (robbantásvezetői tanfolyamok, műszaki karbantartási feladatok végzése).

A zászlóalj technikai képességei alapján igen korlátozottan képes szerkezetmegerősítési munkákra. Eszközökkel rendelkeznek oszloputak és földmunkák javítására, illetve korlátozott mértékben famegmunkálásra (fűrészek, ácseszközök). Erődítési feladatok szempontjából csak a hatályban levő csapaterődítési építmények építését és üzemeltetését tudják végrehajtani.

Statikai megerősítések, javítások esetén kizárólag faanyag felhasználása jöhet szóba, az is csak igen korlátozottan. Így komolyabb teherbírású tartószerkezetek (közúti hidak, erődítmények, komolyabb kiépítettségű vezetési pontok) utólagos megerősítésére a zászlóalj nem rendelkezik megfelelő eszközökkel. Ez főként az egység kiterjedt feladatrendszere miatt van, így részben emiatt a konkrét műszaki építési feladatok csak sokadlagos szerepűek.

Eddigi eredmények

Az újkori Magyar Honvédség első komolyabb, egység méretű, külszolgálati tevékenysége a NATO csapatok műszaki támogatása volt Horvátországban (NATO SFOR Magyar Műszaki Kontingens, Okucani). Kis túlzással ez a misszió alapozta meg a magyar katonák hírnevét a NATO-n belül. Jelenleg is van műszaki szakcsapatokat érintő felajánlásunk a szövetség felé (víztisztító képesség, „TISZA” Magyar- Román Többnemzetiségű Zászlóalj). Elmondható hogy (bár egyre csökkenő létszámban) a Magyar Honvédség kötelékében sok nagy tapasztalattal és tudással rendelkező katona teljesít szolgálatot, így valószínűsíthetően nem okozna problémát új technológiák és eljárások bevezetése.



32. ábra Hídépítés a vörösiszap sújtotta Kolontáron

7. A szénszálas szerkezetmegerősítő anyagok alkalmazásának lehetőségei a katonai infrastruktúrában

Ebben a fejezetben a már korábban ismertetett utólagos CFRP megerősítés alkalmazási lehetőségeivel kívánok foglalkozni a Magyar Honvédségen belül, tekintettel annak bel- és külföldi feladataira. Úgy gondolom a korábbi fejezetekben ismertetett technológia képességhiányt tudna megszüntetni a műszaki csapatoknál, a Honvédség a faanyagú tartószerkezeteken kívül képessé válna más anyagokból épített tartók utólagos megerősítésére és javítására. Katonai szempontból előnyei közé tartozik, hogy könnyű, akár két-három ember, vagy egy igásállat is képes a komplett felszerelést szállítani. Különösen veszélyes anyagot nem tartalmaz, alkalmazása hatékonyan megoldható egyszerűbb eszközökkel, komolyabb korlátozások nélkül.

7.1. Laktanyaépületek

A Magyar Honvédség épületei rendkívül heterogén képet mutatnak szerkezeteik szempontjából. Közeli példa számomra a Zrínyi Miklós Laktanya és Egyetemi Campus, melynek területén ugyanúgy található XIX. században épített klasszikus téglapépület (pl.: 4. épület) és előregyártott elemekből álló építmény („A” épület) a 80-as évekből. A különböző korok magukban hordozzák azokat a problémákat is, hogy az épületek különböző minőségűek és eltérő használati időtartamra lettek tervezve. Ezek közül jó néhány tervrajza és dokumentációja az évtizedek során elveszett, így előfordul, hogy költséges és nagyobb beavatkozást igénylő munkák árán tudunk csak pontosabb képet kapni egy-egy épület szerkezetéről.

Mint már az 5. fejezetben említettem, a laktanyák épületeinek építését, javítását és felújítását külső cégek végzik, akik (általában) megfelelő felmérések után gazdaságossági és mechanikai számításokkal alátámasztott tervek alapján dolgoznak, így nem feltétlen végeznek minden munkát ezzel a rendszerrel. Azonban véleményem szerint nem árt tisztában lenni ezzel az építési technológiával a csapatoknál dolgozó elhelyezési szakállománynak, hiszen fontos, hogy a gondjaikra bízott épületek átalakítása, felújítása során minél több információval rendelkezzenek, beleértve a munkák során alkalmazott technológiákat.

7.1.1. Legénységi épületek

A Honvédség kezelésében levő ingatlanok nagy hányada mára igen elhasználódott állapotban van. Az állandó forráshiány nem teszi lehetővé a nagyobb jellegű felújításokat. Ezen az elmúlt néhány évben zajlott laktanya-rekonstrukciós program valamelyest javult, de az összkép nem sokat változott. Az Önkéntes Tartalékos Rendszer bevezetésével ráadásul még nagyobb állomány elszállásolását kell majd (még ha csak ideiglenes jelleggel is) megoldani. Így elképzelhető, hogy korábban nem használt, bontásra ítélt épületeket is be kell vonni újra az üzemeltetésbe.

Ezeknél az épületeknél előfordulhatnak olyan födém szerkezetek, melyek az évek során meggyengültek, vagy funkcióváltás miatt nem elégséges a teherbírása. Funkcióváltáskor az oszlopok is akadályozó tényezők lehetnek, kiváltásuk pedig utólagos megerősítést igényel. Ezeknél a feladatoknál egyértelműen alkalmazható a szénszálas lamellákkal való megerősítés. Amennyiben az oszlopokat nem kiváltani, hanem megerősíteni akarjuk, úgy szövetekkel erre is lehetőség nyílik. Vizesblokkok, illetve egyéb korrózió szempontjából veszélyes helyiségek megerősítése is lehetséges. Ezeket a kivitelezéseket ráadásul idő- és helyszűke mellett kell végrehajtani.

7.1.2. Raktárak

Kis túlzással ezek teszik ki az épületállomány legnagyobb hányadát, felújításuk azonban nagyon ritka. Köszönhető ez az alacsonyabb követelményszintnek, hiszen személyi állomány nem tartózkodik itt állandó jelleggel. Elvárás azonban az időjárás viszontagságaitól történő védelem, ehhez pedig szükséges a mechanikai szilárdság. Nagyobb raktárakban gyakran dolgoznak targoncákkal és munkagépekkel, így a szerkezetek sérülésveszélye is felmerül.

Ugyan itt egy-egy esetleges épület rehabilitáció és a vele járó felvonulás nem okoz olyan nagyságú problémát, mint egy legénységi épületnél, de így is felmerülhet az igény a gyors és kis helyet igénybevevő javításra. Ezeknél az épületeknél is födém vagy tetőszerkezetek megerősítésére, illetve oszlopkiváltásokra és oszlop megerősítésekre lehet alkalmazni a CFRP rendszereket.

7.1.3. Technikai kiszolgáló épületek (gép- és harcjármű tárolók, hangárok, javítóállomások)

A réskitöltő radarszázadok kis telephelyeitől kezdve a dandárok és logisztikai raktárak terebélyes karbantartó komplexumaiig bezárólag hazánk minden laktanyájában található ide sorolható épület. Nagy értékű technikai eszközök tárolásának és javításának színhelyei, így fontos a stabilitásuk, különösen, ha még futódaruk és egyéb nehéz épületgépészeti berendezések is helyt kapnak bennük.

Ezeknél az épületeknél állandóan különböző méretű járművekkel (harckocsik, PSZH-k, teherautók, légi járművek) zajlanak mozgások, így nagy a tartóoszlopok sérülésveszélye. Előfordul, hogy a darukat (ha csak rövid ideig is) túlterhelik, a többletterher pedig a darut tartó szerkezetet is igénybe veszi. Ezek javítása és megerősítése történhet lamellákkal vagy szövetekkel is. Repülőgéphangároknál fontos a nagy fesztávolság a repülőgépek miatt. Amennyiben a hangár csarnokszerkezetén emiatt változtatni kell (pl. oszlopkiváltás), úgy szintén felhasználható az CFRP rendszer.

7.2. Állami erősítési létesítmények

Az állami erősítési létesítmények és vezetési pontok alapvetően tartós használatra és jó minőségű építőanyagokból épültek. Egy részük kettős rendeltetésű létesítményként épült, így folyamatosan használják és karbantartják őket (pl. a budapesti 2-es és 3-as metró vonala), de akadnak olyanok is, melyeket már megtépázott az idő.



33. ábra Óvóhelyi berendezések ellenőrzése a kettős metróon

Ezeket a szerkezeteket a tervezés során szándékosan túlméretezték, hogy a különböző behatásoknak jól ellenálljanak (bombateher, kémiai reakciók, stb.). Azonban a terhek is

nagyobbak, hiszen nemritkán több tíz méterrel a föld alatt helyezkednek el. Így ha bármilyen okból a tartószerkezet sérülést szenved, annak komoly következményei lehetnek az egész létesítmény használhatóságára nézve. Ezért fontos az esetleges szerkezeti hibák mihamarabbi észrevétele és javítása. Amennyiben ez a teherbírás csökkenését jelenti, úgy a CFRP rendszereket itt is kiválóan lehet alkalmazni.

7.3. Csapaterődítések

7.3.1. Meglévő szabványosított építményeknél történő felhasználás

A Magyar Honvédségnél rendszeresített tábori erődítési építmények anyaguk szerint két részre oszthatók: előregyártott és helyszíni építőanyagokból épült létesítményekre. Amennyiben ezek acélból, vasbetonból vagy műanyagból épültek, úgy nem zárható ki a CFRP rendszerek alkalmazása a födém és más tartószerkezeti elemek megerősítéseként.



34. ábra Páholy II óvóhely

7.3.2. Művelési területen történő felhasználás

Művelési területen az alegységek a terep adottságainak minél nagyobb fokú kihasználására törekednek. Ebbe beletartozik a meglévő építmények kihasználása; vezetési pontokká vagy

tűzelőállásokká történő átalakításuk. Ezek gyakran kisebb-nagyobb szerkezeti károkat elszenvedett épületek, melyeknél már rendeltetés szerinti használatnál is szükség lenne beavatkozásra. Katonai használatnál viszont már felmerülnek nem hagyományos mechanikai terhelések is (pl. robbanásteher), melyekre külön ügyelni kell.



35. ábra Amerikai katonák egy afgán háznál

Amennyiben harccselekmény nem azonnal, hanem pár napos időn belül várható, úgy lehetőséget látok ezen objektumok megerősítésére, akár szakalegységek bevonásával, akár egy, a harcot vívó alegységből erre speciálisan felkészített katona vezetésével. Ebben segítségre lenne egy katonai egységkészlet, amellyel az anyag- és eszközszükségletet könnyebben és gyorsabban ki lehetne elégíteni. Az ezzel kapcsolatos gondolatok egy későbbi fejezetben kerülnek kifejtésre.

7.4. Átkelők megerősítése

Korábban már kiemeltém, hogy a műszaki szakcsapatok szakfeladata a mozgási útvonalak fenntartása és szükséges mértékben történő javítása. Ebben az utólagos CFRP megerősítés, mint meglévő hídátkelők és katonai mobil hidak erősítő megoldásaként kerülhet szóba.

7.4.1. Hidak megerősítése

Az alapvetően polgári közlekedést biztosító hidak és átkelők katonai célokra nem mindig alkalmasak. Leggyakrabban az alacsony teherbírás vagy a túl keskeny úrszelvény okoz problémát. Jelenleg a Magyar Honvédség technikai- és eszköz felszereltsége csak fa- és acél elemek beépítésével történő megerősítés végrehajtására képes. Ezek az anyagok csak bizonyos mértékig képesek a hidak teherbírásának növelésére. Továbbá nagy, több tíz méteres

fesztávolságú, többtámaszú- vagy függőhidaknál ez a lehetőség kivitelezhetetlen vagy túl sok időt venne igénybe.

Ilyen esetekben kiválóan alkalmazható a CRFP megerősítés, különösen akkor, ha a megerősítendő szerkezet gépekkel nehezen megközelíthető. A művelethez egy raj is elég lehet, a megerősítés időtartama pedig csak a tartó méretétől és a megerősítés fokától függ.

7.4.2. Géphidak megerősítése

A Magyar Honvédségben rendszeresített mobil hídtelépítő eszközök (BLG-60, TMM-3) hídelemeinek teherbírása maximum 60 tonna. Ez bizonyos esetekben kevés lehet, hiszen ezeknek az elemeknek a kifejlesztése több mint 40 éve történt, azóta pedig a technikai eszközök tömege növekedett és nemcsak szovjet/országi hanem nyugati NATO technika átjutását lehetővé kell tenni. Ilyen jármű például az M1 Abrams harckocsi, amely 61,3 tonnás tömegével nem használhatná az ezekből épült átkelőket. Ilyen esetben CFRP lamellák vagy szövetek segítségével lehetőség lenne utólagos megerősítésre.



36.

ábra TMM nehéz hídrakó felszerelés telepítés közben

Felmerülhet a kérdés, hogy ideiglenes jellegű vagy tartós megerősítés lenne ez, hiszen ezeknek a hidaknak a szerkezetei „mozognak”, szétnyitják és összecsuksukják őket, továbbá a szállítás során is érhetik behatások őket. Véleményem szerint ez megfelelő védelemmel és a hídrakó eszközök kezelőinek odafigyelésével nem lenne probléma, azonban alkalmazásuk előtt vizsgálatokat kellene végezni a gyakorlati működést illetően, különös tekintettel a mozgatás folyamatára (akadályozza-e a mozgatást, kap-e ez alatt a CFRP réteg bármilyen sérülést).



37. ábra BLG 60 telepítése

7.5. Javaslat egy katonai egységcsomagra

Mint már korábban említettem az utólagos szénszálas megerősítés egyik fő előnye az alacsony tömeg és erőforrásigény, illetve a kompaktság. Amennyiben a jövőben a Magyar Honvédség ezt a megerősítési módot alkalmazni kívánja, úgy véleményem szerint előnyös lenne az egységcsomagokként történő rendszeresítés.

Ennek alapját véleményem szerint a ragasztóanyag kell, hogy képezze, mivel felhasználása ennek a leglimitáltabb a felbontást követő rövid fazékidő miatt. Továbbá a lamellák és a szövetek méretre vághatóak, így lehetőség lenne annyit rendszeresíteni belőlük egységcsomagonként, amennyit egy adag ragasztóval fel lehet rögzíteni.

7.5.1. Lamellák

Név	Kiszerelés (A+B)	Szükséges mennyiség (g/mm)*	Kezelhető hossz (m)
Sika SikaDur 30	6 kg (4,5 + 1,5)	800	3,75
Mapei Adesilex PG1	2 kg (1,5 + 0,5) 6 kg (4,5 + 1,5)	640 - 800	2,5 - 3,12
Mapei Adesilex PG1 Rapido	6 kg (4,5 + 1,5)		4,69 - 3,75
Mapei Adesilex PG2	6 kg (4,5 + 1,5)		
Sto StoPox SK 41	5 kg (3,75 + 1,25)	700-900	5,55 - 7,14

* = 1 mm vastagságra értendő

Az itt látható táblázat megmutatja, adott kiszerelésű ragasztóval hány folyóméternyi lamellát lehet felragasztani. Az adatokat a gyártók által kiadott termékleírásokból vettem át. A lamellás rendszerhez érdemes lenne egy fajta rugalmassági modulussal rendelkező, maximum

két-három különböző szélességű típust rendszeresíteni. Ezek biztosítanák a megfelelő variálhatóságot, és gazdaságosabb felhasználást eredményezne. A konkrét típusok kiválasztása azonban további kutatásokat és számításokat igényel.

7.5.2. Szövetek

Név	Kiszerelés (A+B)	Szükséges mennyiség (g)/m ² *	Kezelhető felület (m ²)
Sika SikaDur 330	5 kg (4 + 1)	700 - 1200	4,16 - 7,14
Mapewrap 31 & UNI-AX	5 kg (4 + 1)	1000 - 1550	3,22 - 5
Mapewrap 31 & BI-AX	5 kg (4 + 1)	1000 - 1400	3,57 - 5
Mapewrap 31 & QUADRI-AX	5 kg (4 + 1)	2000 - 3700	1,35 - 2,5

* = 1 mm vastagságra értendő

A lamellákhoz hasonlóan itt is látható, hogy egységnyi ragasztóval mekkora felületet lehet a megerősítendő szerkezet felületére rögzíteni. Az adatokat itt is a gyártók által kiadott termékleírásokból használtam fel. A szövetes megoldásnál véleményem szerint érdemes lenne két külön rugalmassági modulussal rendelkező, de azonos méretű szövettípust beszerezni. Amennyiben szükséges a nagyobb szélesség, a szövetek átlapolásával ez a probléma megoldható. A két fajta rugalmassági modulus az különböző mértékű megerősítések miatt szükséges.

Fontos kérdés szöveteknél az impregnálás módja. Véleményem szerint érdekesebb lenne a száraz rendszerű impregnálást választani, így nem kell külön foglalkozni a szövetek impregnáló anyaggal történő átitatásával. A táblázatokban is a száraz rendszer ragasztóanyagait tüntettem fel.

7.5.3. Segédeszközök

Mint már korábban említettem, a tervezéshez rendelkezésre állnak írásos segédletek és számítógépes programok is. Előbbieket véleményem szerint egyszerűsítve, a fölösleges részek elhagyásával, illetve kisebb átalakításokkal fel lehetne használni egy katonai szabályzóhoz. A programokat viszont változtatás nélkül fel lehetne használni.

Az alkalmazáshoz szükséges eszközök nagy része hétköznapi, barkácsboltban beszerezhető termék, pl. kompresszor (homokfúvó pisztollyal), spatulya, fúrógép és a hozzá tartozó keverőszár, megfelelő védőruházat. A lamellák alkalmazásánál felmerülhet egy speciális, boltban nem kapható eszköz alkalmazása: ez a ragasztóanyag lamellákra történő felvitelét

elősegítő kis eszköz, amely egyszerűen előállítható egy fa lécből is. Ezt külön le kellene gyártatni, ez azonban helyben is megoldható, nem feltétlenül szükséges külső szállítótól beszerezni. Szükség esetén el lehet tőle tekinteni, de nagyban megkönnyíti a lamellák felhordását a felületre.

Ezen eszközök mennyisége függene a leendő technológiai szabályzótól, hiszen ez írná elő, mennyi ember lenne szükséges egy adott munkához.

8. Összegzés

Munkámban bemutattam a szénszálak kialakulását, tulajdonságait, az ezekből készült építőipari megerősítő rendszereket, ezek tervezési követelményeit. Hazai és külföldi példákkal igyekeztem bemutatni a CFRP rendszerek alkalmazását az utólagos szerkezetmegerősítési munkákban, bemutattam a területen jelenlevő egyéb megoldásokat. Igyekeztem bemutatni a Magyar Honvédség jelenlegi képességeit az utólagos szerkezetmegerősítési munkák terén, ezután pedig ajánlásokat tettem, hogy mely területeken lehet érdemes ezt a polgári célokra már bevált rendszert alkalmazni, illetve igyekeztem megfogalmazni egy esetleges egységcsomag rendszeresítése esetén a felmerülő főbb kérdéseket.

Véleményem szerint az utólagos szénszálalás szerkezet megerősítésnek sok hasznát vehetné a Magyar Honvédség akár itthon, akár külföldön. Az élőerő védelmét nagymértékben növelni lehetne, továbbá elősegítené a szállítási műveleteknél a rövidebb menetútvonalak kialakítását, üzemanyagot, üzemórát spórolva, és adott esetben akár emberéletet is kímélve, gondolok itt az esetleges biztonságosabb útvonalak használatára a kevésbé biztonságosabbakkal szemben.

A hazai katonai infrastruktúra is profitálni tudna a CFRP rendszerek használatából, azonban ez a karbantartási és felújítási munkák függvénye lenne. Alkalmazásuk előtt azonban további kutatásokat kellene végezni (pl.: TEMPEST és a CFRP szalagok viszonya).

Egy esetleges rendszerbe állítás esetén azonban még rengeteg kérdés merülne fel: az egységcsomagok kialakítása, pontos meghatározásuk, a vonatkozó technológiai leírás, adott esetben számítógépes program használata.

Összességében úgy gondolom, hogy érdemes lenne foglalkozni a jövőben a szénszálalás megerősítéssel komolyabb szinten is. A technológia nem tökéletes: előnyei és hátrányai is vannak, de hosszabb távon mindenképpen megérné rendszeresítése a Magyar Honvédségben.

Irodalomjegyzék

Balázs L. György [1999]: Szerkezetek megerősítése szénszálas anyagokkal - hazai tapasztalatok. *Vasbetonépítés*. I. évfolyam 4. szám, 114-122.old.

Litvinov Artem [2010]: Applying carbon fiber in building structures. Szakdolgozat.

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

fib 9.3-as Munkacsoport [2001]: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, Technikai segédlet. Nemzetközi Betonszövetség

Dr. Seidl Ágoston[2000]: Löttbeton. Előadás.

Szautner Csaba [2001]: Mapei FRP rendszer. *Beton*. IX. évf. 5. szám, 6-9. old.

Guide for the application of S&P FRP Systems [2006]. Technikai segédlet. S&P Cleveer Reinforcement Comany AG

Szerkezetek megerősítése [2004]. Segédlet. Budapesti Műszaki Egyetem

Dr. Józsa Zsuzsanna – Dr. Balázs L. György [2005]: Új anyagok és technológiák című választható tárgy 2005. őszi előadásainak vázlata. Budapesti Műszaki Egyetem

Sika Carbodur Lamella Termék Adatlap, 03/2009, 4. verzió. Sika Hungária Kft

Sika CarboDur BC Rods Termék Adatlap 2012/06/11. Sika Hungária Kft

Sika SikaWrap-150 C/30 Termék Adatlap, 2010/08/06, 4. verzió. Sika Hungária Kft

Sika SikaWrap-230 C/45 Termék Adatlap, 2010/08/06, 4. verzió. Sika Hungária Kft

Sika SikaWrap-300 C/60 Termék Adatlap, 2010/08/06, 4. verzió. Sika Hungária Kft

Sika SikaWrap-450 C/90 Termék Adatlap, 2010/08/06, 4. verzió. Sika Hungária Kft

Sika SikaWrap-600 C/120 Termék Adatlap, 2010/08/06, 4. verzió. Sika Hungária Kft

Sika SikaWrap-900 C/150 Termék Adatlap, 2010/08/06, 4. verzió. Sika Hungária Kft

Sika Sikadur-30 Termék Adatlap 2011/08/24, 4.verzió. Sika Hungária Kft

Sika Sikadur-300 Termék Adatlap 2011/08/24, 4.verzió. Sika Hungária Kft

Sika Sikadur-330 Termék Adatlap 2011/08/24, 4.verzió. Sika Hungária Kft

Mapei MapeWrap C UNI-AX Termék adatlap. Mapei Kft

Mapei MapeWrap C BI-AX Termék adatlap. Mapei Kft

Mapei MapeWrap C Quadri-AX Termék adatlap. Mapei Kft

Mapei MapeRod C Termék adatlap. Mapei Kft

Mapei Carboplate Termék adatlap. Mapei Kft

Mapei Adesilex PG1 ragasztó Termék Adatlap, Mapei Kft

Mapei Adesilex PG1 Rapido ragasztó Termék Adatlap, Mapei Kft

Mapei Mapewrap 31 ragasztó Termék Adatlap, Mapei Kft

Nagy rugalmassági modulusú Sto S&P CFK lamella Műszaki ism., Sto Építőanyag Kft

Kis rugalmassági modulusú Sto S&P CFK lamella Műszaki ism., Sto Építőanyag Kft

StoPox SK 41 EP ragasztó Műszaki ismertető, Sto Építőanyag Kft

Sika At Work - Roof Strengthening No. 15.11., 2011 május, Sika AG

Sika At Work – Bridge Strengthening with CFRP No. 08.08., 2008. július, Sika AG

Rebuts Solides Canadien: MAPEI FRP System Strengthens Recycling Structure. Beszámoló.
Rebuts Solides Canadien

<http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/carbonfibers.html>

<http://www.muanyagipariszemle.hu/2008/03/erositoszalak-valaszteka-es-tulajdonsagaik-01.pdf>

http://hun.sika.com/hu/Termekes_megoldasok/Epitoipar/Szerkezetmegerosites.html

<https://www.caseyresearch.com/cdd/from-golf-clubs-to-the-space-shuttle-and-everything-in-between-carbon-fiber>

<http://www.compositesworld.com/articles/market-outlook-surplus-in-carbon-fibers-future>

<http://textilefashionstudy.com/physical-and-chemical-properties-of-carbon-fiber/>

http://www.tmte.hu/07projektek/071texplat/071_texplat_anyagok_091112/071_texplat_kompozitok.pdf

Ábrajegyzék

Minden kép elérhetősége ellenőrizve 2013. november 14-én.

1. ábra:

http://d2n4wb9orp1vta.cloudfront.net/resources/images/cdn/cms/0313HPC_MarketOut_cf_2.jpg

2. ábra:

<http://www.zoltek.com/wp-content/uploads/2011/08/History-of-CF-Pricing.png>

3. ábra:

http://www.edilportale.com/immagini/prodotti-thumb/b_prodotti-39772-reledbe3d11-a448-4265-a953-14f684df1236.jpg

4. ábra:

http://www.karbonfiberguclendirme.com/Products/_large_karbon_fiber_cubukjpg20110710064309.jpg

5. ábra:

<http://www.payon-co.com/images/Products/Images/40b1cae6be42491390aa7684b73a3325.jpg>

6. ábra:

<http://www.batimatghana.com/sites/default/files/sikadur30.jpg>

7. ábra:

http://www.proidea.ro/noutati-produse-1/sika-sistem-consolidare-carbodur-nsm-7171/sika_sistem_consolidare_carbodur_nsm_1.jpg

8. ábra:

http://www.mapei.com/public/COM/products/FG%20Maperod%20C_3.jpg

9. ábra:

<http://www.infobuild.it/infobuild/archive.img/5307b5292da2055238e9516e39a2a486Foto5.jpg.jpg>

10. ábra:

Balázs L. György [1999]: Szerkezetek megerősítése szénszálal anyagokkal - hazai tapasztalatok. Vasbetonépítés I. évfolyam 4. szám, 120. old.

11. ábra:

fib 9.3-as Munkacsoport [2001]: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, Technikai segédlet, 30. old.

12. ábra:

fib 9.3-as Munkacsoport [2001]: Externally bonded FRP reinforcement for RC structures, Technikai segédlet, 67. old.

13. ábra:

<http://www.infobuild.it/infobuild/archive.img/25b52deb5da58512583a48d43cf009ffFoto12.jpg.jpg>

14. ábra:

<http://www.infobuild.it/infobuild/archive.img/bc2d0b5d069c35af2606381a15d0ed5dFoto13.jpg.jpg>

15. ábra:

<http://www.fidal.hr/images/karbonska/1034889210zoom.jpg>

16. ábra:

<http://www.youtube.com/watch?v=4KKvJkbs2aA>

17. ábra:

Balázs L. György [1999]: Szerkezetek megerősítése szénszálas anyagokkal - hazai tapasztalatok. Vasbetonépítés I. évfolyam 4. szám, 117. old.

18. ábra:

Balázs L. György [1999]: Szerkezetek megerősítése szénszálas anyagokkal - hazai tapasztalatok. Vasbetonépítés I. évfolyam 4. szám, 117. old.

19. ábra:

Balázs L. György [1999]: Szerkezetek megerősítése szénszálas anyagokkal - hazai tapasztalatok. Vasbetonépítés I. évfolyam 4. szám, 120. old.

20. ábra:

Balázs L. György [1999]: Szerkezetek megerősítése szénszálas anyagokkal - hazai tapasztalatok. Vasbetonépítés I. évfolyam 4. szám, 119. old.

21. ábra:

Balázs L. György [1999]: Szerkezetek megerősítése szénszálas anyagokkal - hazai tapasztalatok. Vasbetonépítés I. évfolyam 4. szám, 119. old.

22. ábra:

http://www.mapei.com/public/US/references/big/_MG_1867C.JPG

23. ábra:

http://www.mapei.com/public/US/references/big/_MG_1640.JPG

24. ábra:

Sika At Work - Roof Strengthening No. 15.11., 2011 május, Sika AG

25. ábra:

http://bgr.sika.com/content/bulgaria/main/bg/solutions_products/references/construction_references/_jcr_content/parCenter/referenceoverview_0/teasers/___3/image.thickbox.jpg/1328111161932.jpg

26. ábra:

Sika At Work – Bridge Strengthening with CFRP No. 08.08., 2008. július, Sika AG

27. ábra:

Az utófesztítés új felhasználási területei. Előadás. Baranya Megyei Mérnöki Kamara, Pécs
2007. október 30. 6. dia

28. ábra:

Az utófesztítés új felhasználási területei. Előadás. Baranya Megyei Mérnöki Kamara, Pécs
2007. október 30. 8. dia

29. ábra:

http://www.prodomokft.hu/prodomo/images/techn_02.jpg

30. ábra:

<http://www.reedpumps.com/retainingwall3650488.jpg>

31. ábra:

http://www.honvedelem.hu/files/9/17372/mostar_hid_03.jpg

32. ábra:

<http://www.honvedelem.hu/files/9/22837/vagott4n.jpg>

33. ábra:

http://iho.hu/img/111118_metro_katved/IMG_74540.jpg

34. ábra:

Dr. Horváth Tibor ezredes: A személyi állomány védelmét biztosító erődítési építmények fejlődésének vizsgálata és a továbbfejlesztés lehetséges irányai. Doktori (PhD) értekezés, Budapest, 2002. 112. old.

35. ábra:

<http://news.antiwar.com/wp-content/uploads/2012/10/Afghanistan-house-raid-1024x682.jpg>

36. ábra:

<http://www.honvedelem.hu/files/9/24983/hidepites02.jpg>

37. ábra:

<http://www.pib-11.de/Fotos/blg60.jpg>