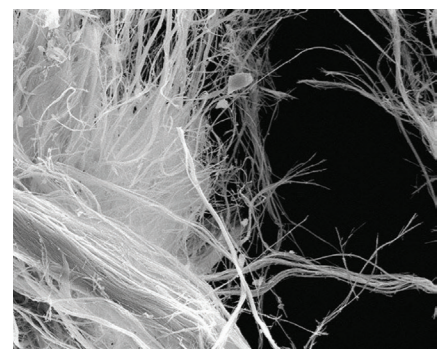
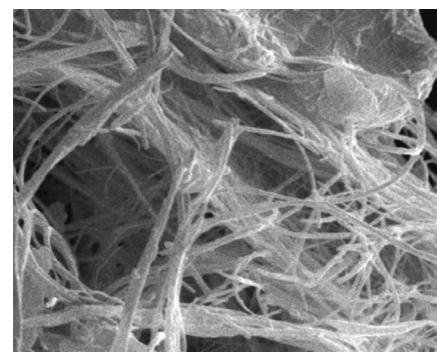


Polimerszálak cementkötésű mátrixban – ipartörténeti párhuzamok a szálfejlődésben

FÜR-KOVÁCS ISTVÁN FEJLESZTÉSI VEZETŐ AVERS FIBER KFT.

Ma már nagyjából mindenki elfogadja, hogy a polimerszálás szálerősítéses beton a jövő építési technológiája. Meglepően gyors a fejlődése, de tudjuk-e hová tart? Egy rokon iparág, a szálcementipar történetének egy izgalmas szakasza következtetésekre adhat okot a szálerősítésű betonok prognosztizálható jövőjére vonatkozóan is. Érdekes ezt tanulmányoznunk, mert ott már a betonipari nyersanyagokhoz hasonló alapanyagokból több 10 MPa hajlító-húzószilárdságú termék gyártása nagy tömegben szinte száz százalékosan automatizált gépsorokon történik.

Ha a cementkötésű mátrixban használatos polimerszálak fejlődését vizsgáljuk, akkor az utóbbi jó száz év tapasztalatait kell fókuszba helyeznünk. Szálerősítéses technológiánk kialakulását a textilipar és a szálcementipar, korábbi nevén azbesztcementipar fejlődése alapozta meg. Ez a két iparág kéz a kézben teremtette meg azokat az anyagokat, amiket ma sikeresen használunk.



A feldolgozott azbeszt mikroszkópi képei



Szálcement burkolólemez 32 MPa hajlító-húzószilárdsággal

Kezdjük a textiliparral. A textiliparnak a polimerek szálásítása adta a nagy lökést. Az olcsó, hatalmas tömegben gyártott egyenletes minőségű szintetikus szálak új fonási és szövési eljárásokat hoztak. És itt álljunk meg egy pillanatra! Mit tekinthetünk polimernek? Az egyszerűség kedvéért fogadjuk el azt az egyszerű meghatározást, miszerint *a polimer egy monomerekből álló hosszú molekulalánc*. Számos kutató, szerző az üvegszál anyagokat is polimernek tekinti, így az üvegszál és a történetünk szempontjából fontos azbesztszál is polimerszálnak minősül. Itt most folytassuk a történetet az azbesztcement vonalán.

Az azbesztcementipar a múlt évszázad 60-as éveig egy rendkívül jövedelmező, gondtalanul prosperáló tevékenység volt. Az azbeszt kiváltására az első kényszer a II. világháború idejére tehető, nagy tömegben használtak üvegszálát, többnyire E-üvegszálát a háború miatt hiányzó azbeszt helyettesítésére. Az azbesztcementiparban az azbeszttel kapcsolatos viharfelhők az 1960-as években jöttek. A civilizált világban egyre növekvő tüdőrákszerű megbetegedés a gyanút a több millió tonna mennyiségben felhasznált azbesztre terelte. Gőzerővel elkezdődött a kutatás – elsősorban az akkori nyugati országokban – az azbesztszál helyettesítő anyaga után. Ezek a kutatások vezettek végül is azokhoz a modernnek tekinthető polimer szálakhoz, amelyeket a mai betonipar is használ.

Az első komoly lépést a polimerszálás cementmátrix megerősítésre az akkor piacvezető Eternit AG Nyugat-Németországban, a heidelbergi gyárában kezdte meg a hatvanas években. Mint mindenütt a világon, a legolcsóbb polipropilén- (PP) szálakkal történtek az első lépések. 1968-ban a Höchst AG felkínálja a később Dolan 10 néven ismertté váló poli(akril-nitril) PAN szálát az Eternit AG-nek, és elkezdődnek a kísérletek ezzel a nagyobb szilárdságú és nedvesíthető polimerszál-típussal, elsősorban tetőfedő lemezek gyártására fókuszálva. Az 1980-as években a hangsúly a Kuraray japán cég Kuralon nevű polivinil-alkohol (PVA) szálára helyeződött át. (Nemhiába: szakítószilárdsága közel van a 2.000 MPa-hoz!) E termékek filament típusú műszál-tartalma akár az 5 térfogatszázalékot is elérhette. És ennél talán még fontosabb, hogy a monofilament szálak mellett nagyjából ugyanakkora tömegszázalékban cellulóz vagy később *fibrillált polimerek, vagyis szálásított polimerek is használatosak*. Ez lényeges szempont, amelyet később még részletesebben megvizsgálunk. A technológiaváltás után, miután sikeresen kiváltották az azbesztcementet polimer szálakra, ezek a gyártók a kompromittáló *azbesztcement* megnevezést szálcementre változtatták.

Mit mutathat nekünk a szálcement-technológia, mik lehetnek a szálerősítés jövőbe mutató útjai, mik azok a fontos tényezők, amelyek miatt a szálcement mechanikai tu-

lajdonosságait, különösen a hajlító-húzószilárdságot tekintve felette áll a mai szálbetontechnológiánk eredményeinek? A legfontosabbak:

1. Rendkívül nagy a szálmennyiség-tartalom. Azbesztből 12–15 tömegszázalék, műszál és más fibrillált rost összesen 5–10 tömegszázalék a szálak részaránya.
2. A mátrix extrém magas finomszál-tartalma. A szálcement-technológiában valójában hiányzik az adalékanyag. Durva megközelítésben: szál, cement esetleg mészköliszt vagy valami hasonló. Tekinthejük úgy is, hogy az adalékanyag szerepét a szál tölti be. Az egyik szálcementes elmélet szerint az a leghatékonyabb szálerősítéses struktúra, ahol „szendvicsszerűen” a szálak között csak egy vékony cementréteg van, amelynek vastagsága kb. a legnagyobb cementszemcse méretének felel meg. (Ez a technológia nem is kedveli korunk finomra őrölt cementjét!)
3. Hatékony szálalakok. A nyolcvanas évek második felében a PAN-szálak tűntek a megfelelő szálerősítő anyagnak. A Dolanit PAN-szálai a nagyobb felületű beágyazódás érdekében „vese” keresztmetszetűek voltak. Ez igen kedvező kihúzóerővel szembeni tulajdonságokat mutatott. A jelenleg alkalmazott szálak fele körkeresztmetszetű monofilament, de a másik fele fibrillált, akár a jól bevált azbesztszál.
4. Nagy szakítószilárdságú szál. A szálhelyettesítés a PP-szállal (300–700 MPa) kezdődött. Majd a PAN- (600–900 MPa) szálon keresztül a PVA (kb. 2.000 MPa) szálal jutott. Az azbeszt szakítószilárdsága hozzávetőleg az igen jó minőségű minőségű acélok közelében, 2.000 MPa környékén volt.
5. Szálfinomság. Az alkalmazott szálak a 12–30 mikron szálátmérő tartományban mozognak, vagyis ezáltal a magas szálszám, a nagy szálfelület a preferált. A szálcementiparban a makrószálak (sem az acélszálak) mindez ideig nem terjedtek el.
6. Szálkeverékek alkalmazása. A végtermék tulajdonságaitól, elvárt szilárdsági paramétereiktől függően szálkeverékek alkalmazása. PVA vagy PAN, monofilament vagy fibrillált stb.
7. A szálcementipar hatalmas mennyiségű vegyszert használ. Jellemzően habzás-gátlókat és koaguláló szereket. Az óriási szálmennyiség akkora levegőmennyiséget kever be, hogy azt nem lehet kezeletlenül hagyni. A koaguláló szerek használatának technológiai okai vannak.
8. Utókezelés. A szálcementipar az utókezelés változatos formáit alkalmazza külön-külön vagy kombinálva: hőérlelés, víz alatti érlelés, autoklavozás.

Összefoglalva: milyen következtetéseket vonhatunk le, ha a szálcementtermékekhez hasonló, nagy szilárdságú, vékony falú,

könnyed betonszerkezeteket vizionálunk a szálerősítésű betonok jövőjére vonatkozóan?

1. Magasabb száltartalom;
2. kisebb szemnagyságú adalékanyag;
3. hatékonyabb szálalakok;
4. nagyobb szilárdságú szálak;
5. mikroszálak alkalmazása, a makrószál véltetően csak egy átmeneti állapot lesz;
6. szálkeverékek alkalmazása;
7. újabb, a szálerősítésre optimalizált adalékszerek;
8. az utókezelés fontosságának megerősítése.

Mielőtt a betonipari vonatkozással folytatnánk, röviden térjünk vissza a textilipar releváns innovációira. A 20. században a súlypont az eredeti, ruházati célú termékekről az ipari célú termékek gyártására helyeződött. Ezen belül is a kompozitok szálkomponense a fő csapás iránya. Nagy teljesítményüknek köszönhetően a szál- és textilalapú szerkezeti anyagok egyre inkább helyettesítik a hagyományos anyagokat. Az iparban mind gyakrabban használnak textil kompozitokat, membránokat. A jövő szempontjából talán a karbonszálak kell kiemelnünk.

A szálak anyagokat igen gyakran keverékekben használják fel. Ennek célja bizonyos tulajdonságok létrehozása. A textiliparban rengeteg féle szálkeverékkel dolgoznak, amelyek sokszor lényegesen befolyásolják a késztermék használati tulajdonságait. Igen gyakori például a pamut-poliészter keverék alkalmazása. Különböző tulajdonságú szálak anyagok gondosan kikísérletezett keverésével nagyon széles skálán állíthatók be a kész textília tulajdonságai. Ez egy hasonló megfontolás, mint ami a kompozitok alkalmazását is indokolja: olyan összetett anyagok létrehozása, amelyek a hasznos tulajdonságok kiemlése és a káros tulajdonságok csökkentése céljából két vagy több különböző tulajdonságú anyagkombinációkból épülnek fel. A szálerősítés szempontjából itt is figyelemre méltó, hogy a finom szálak irányába tolik el a kereslet, gondoljunk csak a nanokutatások eredményeire pl. a karbonszálak területén.

A polimerek fejlődése ugyanakkor új textilipari technológiák bevezetését is lehetővé tette. Ilyen pl. a fibrillálás, aminek leggyakoribb kiinduló terméke valamilyen fólia, amelynek felhasználásával alakítják a szálásított terméket. Nagyon különböző tulajdonságú fibrillált termékek hozhatók létre a kiinduló anyag (fólia) tulajdonságaitól, a hasogatás sűrűsége, formája és a termék utókezelésétől függően. Közlelbi szakmánkban pl. az MSZ EN 14889-2 egy kalap alá veszi a fibrillált szálakat. Ez nagyjából olyan meghatározás, mintha a vasbe-

tonok acélangagát leegyszerűsíténék egy „vas” megnevezésre.

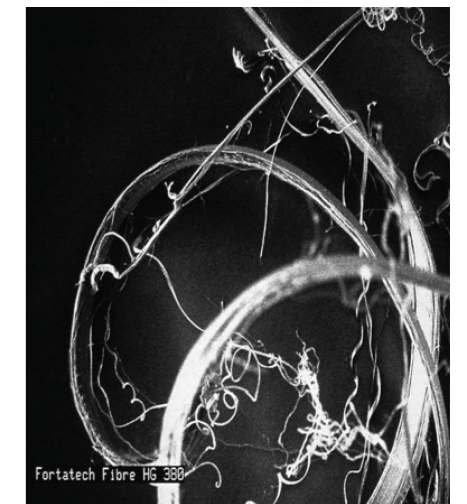
Ismét visszatérve a beton világába, ezekből az eredményekből leghamarabb az üvegszál került át a betoniparba a 70-es évek elején, az angol Pilkington gyártott alkáliálló üvegszál, amelyekből vékony falú, filigrán betontermékek készültek: homlokzati panelek, könnyen szerelhető csatornaelemek stb. A szintetikus szálak közül először a polipropilén mikroszálak jelentek meg (Magyarországon talán Fibrin márkanév alatt a legemlékezetesebb). A PAN-szálak magas árak mellett a technológiai fegyelem iránti nagy érzékenységük, nagyfokú hozzáértés-igényük miatt kevésbé terjedtek el.

A szálcementipar mögött utcahosszal lemaradva, 15–20 évnek kellett eltelnie, mire a szálak – beleértve az acélszálakat is – mind a betontechnológiában, mind az építészetben a káosz és a bizalmatlanság világából a nekik megfelelő helyre kerültek. Ebben szerepe volt Magyarországon az MSZ EN 14889 szabvány-párnak és az angol, német, valamint osztrák szakmai irányelveknek. Így ma már egy olyan technológiáról beszélhetünk, amely évről évre egyre nagyobb teljesítményt mutat fel.

Az Avers Fiber Kft. száltermékein keresztül is kimutatható az eddig bemutatott fejlődési ív. A szálak első generációjához tartoznak és minden tekintetben hagyományosnak mondható mikroszálak a **Fibrofor Multi** PP, az **Avekri Conti** PAN-szál és az **Aveglass** termékcsalád.

Ezek közül szeretném kiemelni az **Aveglass Hybrid** szálakat. A textilipari fejlesztések előző részben említett azon vonalát képviseli, ahol két nagyon különböző tulajdonságú szál keveréke ad egy új minőséget. Az üveg brutálisan nagy húzószilárdsága ötvöződik a PP rugalmasságával. A jobb bekötődés érdekében a PP szálkomponens újszerűsége továbbá a hullámsítás.

A betontechnológiában 1988-ban jelentek meg a **Fibrofor High Grade**, majd két évvel később a **Fibrofor Standard** fibrillált szálak.



A High Grade fibrillált szál képe mikroszkóp alatt

Ezekről szeretnék bővebben értekezni. Kiemelkedő az alkalmazásának költség-hatékonysága: 1 kg/m³ adagolásban akár 3–5 kg/m³ makrószálas (polipropilén) betonnal egyenértékű tud lenni. Mi lehet ennek a magyarázata? A szálerősítések történeténél láthattuk, hogy a fibrillált szál alakját, geometriáját tekintve milyen meglepő hasonlóságot mutat az azbesztszállal. Ezt mikroszkópi felvételekkel szeretném szemléltetni.

Az azbesztcement tetőfedőlemezek és a fibrillált szállal (High Grade, Standard) készült ipari padlók abszolút, vagyis 100%-ig tökéletes repedésmentességének elvárása és repedésmentes tervezése között összefüggés lehet. Ez az összefüggés a hasonló ágas-bogas szálszerkezet, amely kihúzózással szemben a sima szálakénál jobb teljesítményt mutat. Hasonló és beszédes az azbesztcement, a szálcement és a High Grade-szálas betonok törési felülete. Az azbeszt, a fibrillált cellulóz és a High Grade törési felületén elvéve lehet kihúzózással fibrillált szálát látni, mert ezeknek a szálaknak mindegyike szakadásig részt vesz a deformálóerőkkel szembeni küzdelemben, szemben a monofilament szálakkal, me-



Ez a jövő már itt van: polimerszál a 3D nyomtatásban

lyeknél a szálak egy része nem vesz részt ebben, „feladja” és kihúzózik. Ez lehet a High Grade-szál titka is: minden egyes szálcskája felveszi az ébredő erőket. (Vagyis az MSZ EN 12390-5, illetve az MSZ EN 14651 szabványok szerinti vizsgálatok-

kal azoknak a szálaknak a hatását vizsgáljuk, amelyek a beton megerősítése, a repedés megakadályozása szempontjából csődöt mondtak, a beton tényleges megerősítésében nem közreműködtek.)

A műanyagok fibrillálásában óriási lehetőségek vannak. Úgy gondolom, hogy ez a szálerősítési technológia a jövő egyik esélyes anyaga. Az ehhez vezető út a szálmennyiség növelése lesz, de ennek előfeltétele a fenti 8 pontban való előrelépés is a betontechnológiában.

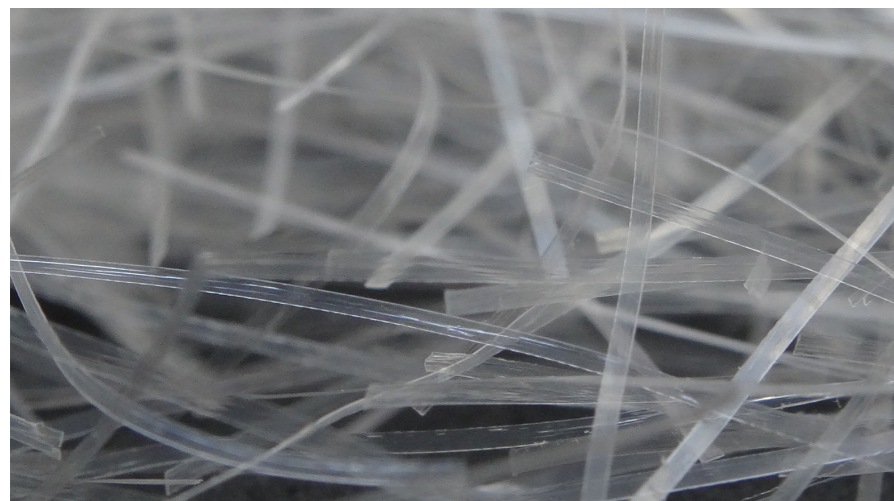
Az utóbbi öt év egyik innovációja a **Fibrofor Diamond** PP-szál. Ez fóliából hasított 0,9 mm széles, 42 mikron vastag szál. Bár nem minősül makrószálnak, mégis 2–4 kg/m³ adagolható belőle, akár a makrószálas esetében. Ennek ellenére padlóépítésnél a hajszálvékonyosságú, 42 mikron fóliavastagság miatt a felületen nem jelenik meg kellemetlen zárványként.

A Concrix szálcsalád ugyanolyan úttörő, mint a Fibrofor High Grade volt a maga korában. Európában rengeteg makrószál jelent meg a 2000-es évek elején, de méretezési háttér nélkül. Az Avers Fiber Kft. a Concrix bevezetésének első pillanatától rendelkezett azokkal a kísérleti eredményekkel, amelyekkel biztonságosan lehetett az ezzel a szállal készült betontesteket méretezni.

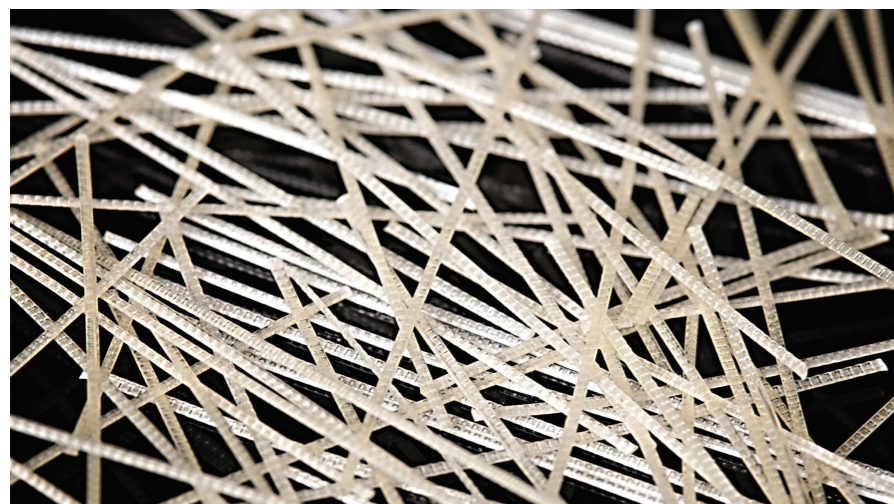
A végére hagytam a Concrix család legújabb tagját a Concrix HPC-A-t. Használható ultranagy szilárdságú betonok szálerősítésére (UHPC). Ez a szál is határozottan a jövőbe mutat, egy lépés a magas dóziszú száladagolás irányába. Ez már az az út, amit a fejlesztések irányának vizionáltam a fenti 6 pontban.

(fotók: AVERS)

AVERS



Fibrofor Diamond szál



Concrix ES

A „zöld” elkötelezettségéért díjazták a DDC-t



A Duna-Dráva Cement Kft. (DDC) hosszú távú üzleti célkitűzésének nélkülözhetetlen alapfeltétele és meghatározó eleme az, hogy összhangot teremtsen a vállalatcsoport és környezete között. Éppen ezért folyamatosan cselekszik egy élhetőbb, fenntarthatóbb jövőért. A vállalat „zöld” elkötelezettségét most díjjal is elismerték.

A PPH kiadó azzal a céllal hirdette meg a **Greengage elnevezésű zöld elkötelezettség díjat**, hogy megtalálják azokat a vállalatokat, amelyek ma **Magyarországon fenntarthatóan, kiemelt fontossággal és környezetkímélően gyártanak innovatív termékeket**, vagy fejlesztéseikkel, folyamataikkal támogatják a piacot.

Manapság a környezettudatos vállalati működés alapkövetelmény; **minden cégnek kötelessége a működését a társadalmi és a természeti környezete figyelembevételével kialakítani.**

A DDC, mint az ország meghatározó építőanyag-ipari szereplője, aktívan dolgozik azon, hogy működési régiója zöldebb legyen, bevonva mindebbe a különböző társadalmi szereplőket is. Emellett a vállalat a fenntartható fejlődés elvét stratégiai szinten kezeli és környezetkímélő technológiákat alkalmaz, valamint arra törekszik, hogy a **cementgyártás során a lehető legalacsonyabba csökkentse az alapanyag- és energiafelhasználást** olyan lehetőségeket feltárásával, amelyeknek köszönhetően kiválthatók a természetes ásványkincsek.

A DDC a Greengage versenyen a „karbonlábnyom csökkentése” kategóriában indult; a benyújtott pályázati anyagot a szakmai zsűri különleges, **special mention díjjal jutalmazta** az ünnepélyes átadó keretében.

A DDC fenntarthatósági törekvéseiről a vállalat honlapján tájékozódhatnak.

(fotó: DDC)

DUNA-DRÁVA CEMENT
HEIDELBERGCEMENT Group

Komplett osztályozó üzemek tervezése és gyártása



3B

3B Hungária Kft. H-8900 Zalaegerszeg, Wlassics Gyula u. 13.
Tel.: +36 70/489-4466 • info@3bh.hu • www.3bh.hu

HIVATALOS MAGYARORSZÁGI **metso** KÉPVISELET

