

Szálakkal és textilszerkezettel erősített beton

Lázár Károly

Kulcsszavak/Keywords: Szálerősítésű beton, Textilbeton, Biaxiális kelme, Üreges kelme, 3D kelme

A beton már régóta széles körben alkalmazott szerkezeti anyag az építőiparban. Igen nagy mennyiségben használik, erős, és viszonylag nem drága. Hátránya azonban, hogy bár a nyomó terhelést nagyon jól bírja, húzószilárdsága ehhez képest jóval kisebb. A betonban általában már a betonozást közvetlenül követő kötési és szilárdulási folyamat során (a beton zsugorodása miatt) számos repedés keletkezik, de a tipikus használati igénybevételek (egészen kivételes esetektől és bizonyos feszített szerkezetektől eltekintve) rendszerint meghaladják a beton húzási ellenállását. Annak érdekében, hogy a repedések megnyílását korlátozzák, a szerkezetek ridegtörését elkerüljék (a kőszerű anyagok, mint amilyen a beton is, az első húzási repedés megjelenését követően azonnal, hirtelen leszakadnak, kettétörnek), illetve a szerkezeti elemnek – a berepedt keresztmetszeti részben a húzó igénybevételek felvételével – többletterebírást biztosítsanak, acélbetétet helyeznek a szerkezetbe. Az így készült betont nevezik vasbetonnak.

Szálerősítésű beton

Különböző anyagú szálakat már régebben is használtak a beton erősítésére: szívósságának, törőszilárdságának, fáradási szilárdságának, növelésére, repedésáthidaló képességének fokozására. A rómaiak szalmát



1. ábra. „Acélhaj”

vagy haját kevertek betonszerű anyagukhoz, hogy a repedések keletkezését megelőzzék. A beton acélhulladékkal történő megerősítésére az első szabadalmat A. Berard nyújtotta be 1874-ben. Ezt számos további szabadalmi bejelentés követte. Ma 25–50 mm hosszú, 0,5–1,0 mm vastag acélszálakat

(„acélhaj”) (1. ábra) alkalmaznak erre a célra.[1, 2, 3] Acélszálak bekeverésével nő a beton szívóssága (energiaelnyelő képessége), törési összenyomódása, fáradási szilárdsága, ütmunka-bírása és repedésáthidaló képessége.[3]

A nagyteljesítményű textilipari szálanyagok előretörésével felmerült annak a lehetősége, hogy ezeket is felhasználják betonerosztás céljára. Polipropilén-, poliakrilonitril-, valamint üveg- és szénszálakat is használnak erre a célra. Ezek hatására csökken a friss beton képlékeny zsugorodásából származó repedések száma és tágassága, sőt a repedések teljesen meg is szűnhetnek, növekszik a friss beton állékonysága. Polipropilén-



2. ábra. Fibrillált polipropilén-szálak beton-erősítésre

szál (2. ábra) tartalom esetén javul a beton tűzállósága (mert a polipropilén 145–160 °C között elolvad és helyén

pórusok maradnak vissza, amelyek csökkentik a betonban levő és a hőmérsékletnövekedés hatására elpárolgó víz gőznyomását). A poliakrilonitril viszonylag nagy nedvesszívó képessége miatt előnyösen keverhető előnedvesített betonhoz, antisztatizálás és hatékony utókezelés érdekében.[6] Az üvegszálak alkalmazása előnyös víz alatti betonozáskor, lőtt beton készítésekor csökkenti az anyagvesztést (kimosódást), vízzáró beton készítésénél megakadályozza a nyersbeton szétosztályozódását.[5] A betonba kevert szénszálak elsősorban nagy szakítószilárdságukkal és rugalmassági modulusukkal, valamint korrózióállóságukkal javítják a beton minőségét.[7, 8]

Újabban megjelentek poliolefin alapanyagú, mag/köpeny típusú bikomponens szálak is a betongyártásban, amelyek magja nagy szilárdságú, nagy rugalmassági (E-) modulusú komponens, az ezt körülvevő burkolat pedig a betonhoz való jó tapadást biztosítja.[4]

Míg az acélszál erősítésű betonokat főleg betonpadlók, emellett pincefalak, síkalapok, alagúttelek, pánccéltérmekek építésére használják, a műanyagszál erősítésű beton vakolatok, esztrich beton (nem túl vastag aljabeton), lőtt beton és kis terhelésű ipari padlók, mederburkolatok készítésénél válik be.[3]

Textilbeton

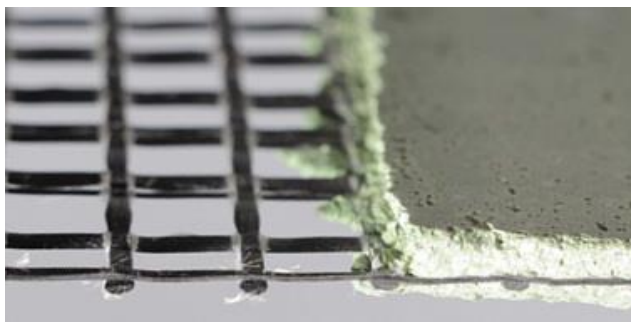
A betonszerkezet húzószilárdságának növelésére szolgál az acélszerkezettel történő megerősítése. Az ilyen szerkezetet nevezik *vasbetonnak*. Az acélszerkezet azonban nehéz és az idő előrehaladtával korrodálhat. Helyettesítésére fejlesztették ki a *textilbetont*, ami ezzel a hátránnyal nem rendelkezik, ugyanakkor egyéb jó tulajdonságai is vannak.

A textilbeton megjelenésében abban különbözik a szálbetontól, hogy míg az utóbbiban különálló szálakat kevernek a beton anyagába, a textilbeton esetében valamilyen fonalakból vagy szálkötegekből (ez utóbbiakat a szaknyelv *kábelnek* vagy *rovígnak* nevezi) létrehozott, összefüggő textil-kelmeszerkezetet építenek be, amely rácsot alkot, hasonlóan ahhoz, mint amit a vasbetonban a betonacélból képeznek. A vasbeton esetében az acélrudakat külön acélhuzalokkal erősítik egymáshoz, a textilbetonhoz a rácsszerkezetet a kelmeképzés közvetlenül hozza létre.

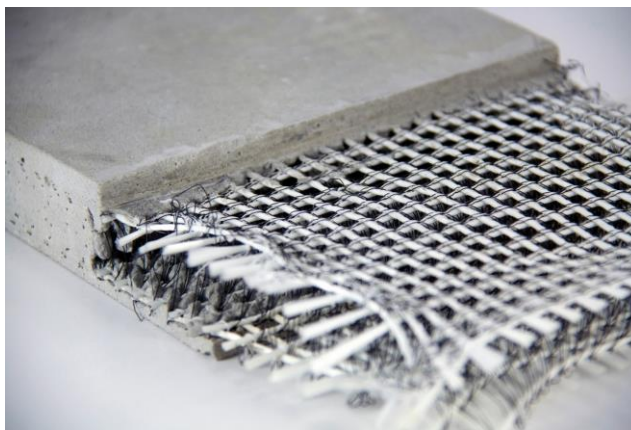
A textilbeton gondolatát a Drezdai Műszaki Egyetem kutatói vetették fel az 1990-es évek közepén, majd a fejlesztéshez 1999-ben az Aacheni Egyetem kutatói is csatlakoztak. Az első kísérleteket lügálló (AR típusú) üvegszál-

I. táblázat

Paraméter	Beton-acél	AR üvegszál	Szén-szál
Sűrűség, g/cm ³	7,9	2,7	1,8
E-modulus, GPa	200	76	240–600
Szakítószilárdság, GPa	0,3–0,6	2,0	3,0–5,0
Szakadási nyúlás, %	18–26	2,6	1,0–1,5
Korrózióállóság	rossz	jó	kiváló



1. ábra. Textilbeton egyrétegű („2D”) textil-vázszerkezettel



2. ábra. Textilbeton térbeli („3D”) textil-vázszerkezettel

lakból álló szálkötegekkel végezték, a kábelben több száz vagy akár több tízezer üvegszál van. Később szénszál-kábelek, sőt bazaltszál-fonalak alkalmazását is megkezdtek. Alapvető kritérium a textilanyag lúgállósága, nagy szilárdsága és megfelelő rugalmassági modulusa (E-modulus). Ezeknek az anyagoknak a textilbeton-gyártás szempontjából legfontosabb adatait az I. táblázat foglalja össze. Az üveg- és a szénszál legnagyobb előnye a betonacéllal szemben a sokkal kisebb sűrűség és a jelentős különbség a szakítószilárdság és az E-modulus értékében. A bazaltszálak alkalmazása egyelőre háttérbe szorult, mert nem annyira öregedésálló, mint az üvegszálak, és drágábbak is.

Alkalmaznak más nyersanyag-kombinációkat is, ezek az ún. hibrid szerkezetek. A textil erősítő szerkezetnek ugyanis – az alkalmazás módjától függően – nem kell szükségképpen minden irányban azonos igénybevételt elviselnie, így a kevésbé igénybe vett irányban kisebb teljesítményű, olcsóbb fonalak is alkalmazhatók.

A kábeleket ill. a belőlük készült textilszerkezetet erősítő és a továbbfeldolgozást elősegítő bevonattal látják el, ami megfelelő tapadást biztosít a szálakat körülvevő betonhoz. Az alkalmazott kábelek vastagságát és a kialakított rácsszerkezet sűrűségét és irányítottságát a felhasználási célnak megfelelően állítják be.

A textilbeton előnye, azon kívül, hogy az erősítő szálak nem korrodálnak, az is, hogy éppen ezért vékonyabb betonréteg szükséges a védelmükre, aminek eredményeképpen az ilyen betonszerkezet jóval könnyebb lehet, mint az azonos teherbírású vasbeton. Vasbetont esetében 3–6 cm vastag betonrétegnek kell körülvennie az acélrudakat, hogy kellően elszigeteljük azokat a nedvességtől és általában a környezeti hatásoktól, míg a textilbeton esetében 1 cm vastag réteg is elegendő. Így például egy szokásosan 90 mm vastag

vasbeton falazóelemet 20–30 mm textilbeton panellel lehet helyettesíteni. Ennek a kisebb lemezvastagságnak, azon kívül, hogy anyagmegtakarítással jár, egyéb előnyei is vannak. Mivel az ilyen betonelemek könnyebbek, mint a hasonló teherbírású vasbeton elemek, szállításuk egyszerűbb és olcsóbb lehet. Kisebb tömegük kisebb statikai követelményeket támaszt. Előállításuk kisebb energiaigényű és így kevesebb széndioxid-kibocsátással jár. Épület felújításoknál ugyanakkora teherbírású falat vastagabb hangszigeteléssel lehet elérni anélkül, hogy a teljes falvastagság megnőne. Új épületeknél könnyebb és filigránabb homlokzat kialakításra van lehetőség.

A textilbeton szerkezete

A betonacél helyettesítését textilszerkezettel első sorban két tényező tette lehetővé:

- az e célra legjobban megfelelő üveg- és szénszálak alkalmazástechnikájának fejlődése,
- a textiltégek – köztük főleg a kötőgépek – olyan szintre fejlődése, ami lehetővé tette az üveg- és szénszálak nagyüzemi feldolgozását és olyan összefüggő vázszerkezet textiltechnológiai eljárásokkal történő előállítását, ami a szokásos betonvasalásokat helyettesítheti.

A beton erősítése sík- („kétdimenziós”) vagy térbeli („háromdimenziós”) rácsszerkezet előállítását igényli (1. ill. 2. ábra). Ezek előállítására a kötőgépek speciális változatait fejlesztették ki. A rácspan az egyes szálkötegek – az alkalmazási céltól függően – 5–20 mm távolságban vannak. Ehhez kell igazodnia a beton szemcse nagyságeloszlásának is.

A háromdimenziós (más néven: üreges) vázszerkezet két egymástól független rácsszerű rétegből áll, amelyek mindegyike hossz- és keresztirányban (biaxiálisan) teherbíró kialakítású. A két réteget vastagság irányban viszonylag merev távolságtartó fonalak erősítik össze, így a két réteg között üreg keletkezik. Ennek a vázszerkezetnek a vastagsága néhány millimétertől 50–60 mm-ig terjedhet.

Textilbeton épületelemek előállítása

A textil erősítés előállításához először is szálkötegekre van szükség, amelyek sok ezer, néhány mikrométer vastagságú folytonos szálakból állnak. Ezekből speciális kötőgépen egy rácsszerkezetet készítenek, a kívánt nyílásméretekkel. Ezt ágyazzák be zsaluelemek között a finombetonba. Ezt minél erősebb kötés jöjjön létre a textilanyaghoz, a habarcs lehetőleg finomszemcsés és folyékony legyen.

A szokásos gyártási technológiák: kenés, öntés, szórás, centrifugálás.[9, 10]

Kenésnél a finombetont és a textil erősítővázat váltakozva fektetik a zsaluelemre, amíg a kívánt vastagságot el nem érik. Így készítik a kétdimenziós lemezeket. Ennek kivitelezése csak vízszintes helyzetben lehetséges.

Öntésnél a zsaluelembe helyezik a textil vázanyagot és kiöntik a betonnal. Ezzel a módszerrel nem lehet nagy szilárdító hatást elérni, mert a beton nem tud minden egyes szál körülvenni, hogy megfelelő kötés jöjjön létre a szálköteg és a betonmátrix között.

A **szórás** kivitelezése nagyon hasonlít a kenéséhez. Itt is váltakozva követik egymást a finombeton és a textil erősítőváz rétegek. Ezt az eljárást vízszintes és függőleges helyzetben egyaránt el lehet végezni és jó szilárdítási fokot eredményez.



4. ábra. Textilbeton homlokzati elemek

Centrifugálásnál a betont gyors forgással, a centrifugális erőt kihasználva, a zsaluzás hossza mentén haladva szórják rá a zsaluelemekre. Ezt a módszert főleg csövek, rudak, oszlopok készítésénél használják. A textil erősítíváz behelyezése folyamatosan történik a centrifugálás haladásával párhuzamosan, ami időigényes eljárás.

Teherbírás és méretezés

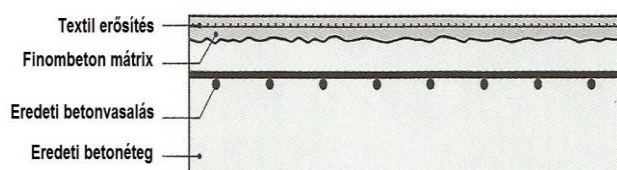
A textilbeton teherbírása szempontjából meghatározó a betonmátrixból származó erők átvitele a szálkötő egyes szálaira. Azonban a szálaknak csak egy kis része kötődik tökéletesen a betonhoz. Az érintkezési felület és a szál és a mátrix közötti kötési ereje határozza meg a textil erősítíváz kötési tulajdonságait és ez döntő a textil erősítés elméleti teherbírásának kihasználása szempontjából. Ebből következik, hogy a filamenteket először egy polimerrel egymáshoz kell tapasztani. A folyékony gyanta/kötőanyag keverék minden üreget kitölt és ott megkeményedik. A textil vázszerkezet ez után az „átítatás” után sokkal jobban kezelhető. A polimer diszperzió az átítatott textiliában kedvező erőelosztást hoz létre az egyes szálak között és ezáltal az egész kompozit mechanikai tulajdonságait megjavítja.[11]

A textilbeton teherbírása hasonlít a vasbetonéhoz, de a méretezést az eltérő anyag- és kötési tulajdonságok miatt másképp kell elvégezni. Erre vonatkozóan elméleti és kísérleti munkák folynak, hogy tapasztalati adatokat nyerjenek a méretezéshez.[12]

A textilbeton alkalmazásai

A német kutatók igen komoly munkát fektetnek a textilbeton kifejlesztésébe és minél szélesebb körű alkalmazásába. A Tudalit néven forgalmazott textilbetonnak számos felhasználását mutatták be.

A textilbeton nagyon alkalmas arra, hogy épületfelújításnál az eredeti vasbeton szerkezetet megerősítsék vele. Ilyenkor a textilbetont az eredeti vasbeton szerkezet felületén, kiegészítésképpen alkalmazzák (3. ábra). Ilyen célra a megerősítendő épületrészre a



3. ábra. Felületjavítás textilbetonnal



5. ábra. Textilbeton tető



6. ábra. Textilbeton szerkezetű híd

speciális finombeton réteget hordanak fel, amibe egy vagy több rétegben szénsszálak textilerősítést ágyaznak be. A textilbetonnal így különböző terhelési hatásoknak (hajlítás, keresztirányú terhelések, torziós hatások stb.) tudják ellenállóbba tenni az épületelemet és a felület állapotát is megjavítják.[13]

A textilbeton nagyon alkalmas homlokzatelemek készítésére. A vasbeton elemeknél szokásos 90 mm lemezvastagság helyett a textilbeton 20–30 mm lemezvastagságot tesz lehetővé. A 4. ábra például mindössze 20 mm vastag, kb. 2 m² felületű textilbeton-lemezekkel borított épületet mutat, amelynél a textil erősítő szerkezetet üvegszálakból állították elő. Itt a hagyományos vasbeton alkalmazásához képest 80 % anyagmegtakarítást értek el. Szénsszálakból készített textilerősítéssel ellátott betonból nagyobb, 1,5 × 4,1 m méretű, 50 mm vastag homlokzatburkoló lemezeket állítottak elő. Ipari csarnokoknál önhordó szendvics szerkezetű burkolólemezeket is használnak. Ilyet például 3,45 × 1,00 × 0,18 m méretben úgy állítottak elő, hogy két vékony, üvegszálak textilbeton réteg közé poliuretán keményhab réteget helyeztek el. Az 5. ábrán bemutatott építmény tetejét 6 cm vastag, 7 × 7 m méretű, szénsszálak textilbeton alkotja. A 6. ábra egy patakon átvezető, 15 m hosszú gyalogoshidat mutat, amely 6 cm vastag, 0,9 m hosszú, U alakú textilbeton-elemekből áll. Tömege kb. egyötöde annak, mintha vasbetonból készítették volna el.[13, 14]

Felhasznált irodalom

- [1] Acélhaj és műszál. – <http://www.acehajhelyettesites.hu/>

- [2] Ferrotransz. Acélhaj. – <http://www.ferrotransz.hu/termekek/termek/36-ancelhaj>
- [3] Kausay Tibor: Szálerősítésű beton. – <http://www.betonopus.hu/szakmernoki/172-szalerositesu-beton.pdf>
- [4] Konkrix makroszál. – http://www.proidea.hu/avers-fiber-kft-228729/concix-bikomponensu-makroszal-352275/a_23_d_7_1381157699651_avers-concix-makroszal_alt.pdf
- [5] Avers. AVE-R-Glass Optimo. – http://www.avers.hu/termekek/muszalak_es_uvegszalak/ave-r-glass_optimo
- [6] Avers. Avecrl Optimo. – http://www.avers.hu/termekek/muszalak_es_uvegszalak/avecrl_optimo
- [7] StoCretec. Tragwerkverstärkung. – http://www.sto.at/media/documents/download_broschuere/kategorie_betoninstandsetzung/Tragwerksverstaerkung.pdf
- [8] Maschinenmarkt. Carbonfaser verstärkt jetzt auch Beton. – <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/carbonfaser-verstaerkt-jetzt-auch-beton-a-392277/>
- [9] Herstellverfahren für Textilbeton. – www.textilbeton-aachen.de/information/herstellverfahren-fuer-textilbeton
- [10] Textilbeton – leicht, tragfähig und nachhaltig. – <http://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/textilbeton-leicht-tragfaehig-nachhaltig>
- [11] Joseph Hegger et al.: Textilbeton: Tragverhalten – Bemessung – Sicherheit – http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/7796/20_Schneider_web.pdf
- [12] Für Kovács István: Korszakváltás a szálerősítésben. – http://www.avers.hu/userfiles/files/_publikaciok/Epites-technika2013Juni.PDF
- [13] Erich Erhardt et al.: Anwendungsbeispiele für Textilbetonverstärkung. Beton- und Stahlbetonbau Spezial. Verstärken mit Textilbeton. 2015. január, 74–82. old.
- [14] Silke Scheerer, Manfred Curbach: Leicht Bauen mit Beton. – http://www.qucosa.de/fileadmin/data/qucosa/documents/17150/198_Sammelmappe1.pdf
- [15] Wikipédia, *Textilbeton és Szálerősítésű beton* szócikk