

## TEXTILBETON SZERKEZETI ELEMÉK

## TEXTILE-REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS

Libotean Dan Alexandru<sup>1</sup>, Chira Alexandru<sup>2</sup>, Gobesz Ferdinánd-Zsongor<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicovicu u. 15, II. em., 204, Tel. +40-264-401313, liboteandanalexandru@yahoo.com

<sup>2</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicovicu u. 15, II. em., 204, Tel. +40-264-401313, alexandru.chira@mecon.utcluj.ro

<sup>3</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicovicu u. 15, III. em., 305, Tel. +40-264-401351, go@mecon.utcluj.ro

### Abstract

The textile reinforced concrete is a material with increased mechanical properties that can allow the production of lighter structural elements. The alkali-resistant textile reinforcement is not affected by corrosion. A structural facade panel and a light pole were modelled in order to study their behavior in case of wind pressure. The developed numerical simulations were calibrated upon the available data from the literature. These simulations revealed some information that may worth to be taken into consideration in order to plan further experimental tests.

**Keywords:** *textile reinforced concrete, alkali-resistant glass-fibers, finite element method, numerical simulations.*

### Összefoglalás

A textilbeton olyan lúgálló hálóval megerősített beton, amely ellenáll a korróziónak. Mechanikai tulajdonságainak köszönhetően könnyebb szerkezeti elemek megvalósítására is alkalmazható. Egy homlokzati lemez meg egy lámpaoszlop szélnyomás alatti viselkedése lett modellezve és tanulmányozva. A szakirodalombeli adatok alapján kalibrált numerikus szimulációk olyan információkat nyújtottak, melyeket a további gyakorlati kísérletek tervezésekor lehet, hogy érdemes figyelembe venni.

**Kulcsszavak:** *textilbeton, lúgálló üvegszálak, végelem módszer, numerikus szimulációk.*

## 1. Bevezetés

A nagyszilárdságú (HPC) és ultra nagy szilárdságú (UHPC) betonok megjelenésével párhuzamosan felmerült a vasbeton szerkezetek fenntartható fejlődését elősegítő technológiák kifejlesztésének a szükség-

essége és alkalmazása. Az utóbbi években az építészek és a szerkezettervezők részéről egyre nagyobb érdeklődés nyilvánult meg az innovatív és a nagyszilárdságú anyagok alkalmazása iránt, s ez az építőanyagok meg a kompozit elemek folyamatos fejlődéséhez vezetett. A tűzvédelmi előírások és a

korrozíóvédelem miatt a hagyományos acél vasalások kivitelezéséhez minimálisan 5 cm vastagság szükséges bármely szerkezeti vasbeton elemnél. A nagyszilárdságú betonok szálerezítésekkel és hálókkel (lúgálló polimer bevonatú üveg-, bazalt-, szénszálaból) kombinálva akár tízszeresen vékonyabb elemek gyártását is lehetővé tehetik, nagyobb mechanikai szilárdsággal a hagyományos rendszerekhez képest. A fenntarthatósági követelmények szempontjából a textilbeton (TRC) alkalmazása előnyös lehet, a csekélyebb anyagszükséglet és a kisebb ökológiai lábnyom miatt. Számos tanulmányt végeztek e téren a szerkezeti megfelelőség, időtállóság, gyártás, alkalmazási lehetőségek vagy formatervezés szempontjából.

A TRC elemek előállításához általában finomszemcsés betont használnak, olyan adalékanyaggal melynek a szemmagysága nem haladja meg a 2 mm-t. Ez az apró szemmagyság nemcsak a beton szilárdságát növeli (egyébként is HPC és UHPC betonféléket alkalmaznak), hanem a szövet-szálak jobb rögzítését is biztosítja a cement mátrixban [1]. A TRC elemek megerősítéséhez általában olyan sík vagy térbeli hálók alkalmaznak, melyeknek a rostjait lúgálló üveg- (ARG), szén-, bazalt-, polipropilén szálak, polivinil-klorid (PVC) bevonatú polivinil-alkohol (PVAc), vagy ezek hibrid változatai alkotják [2].

A TRC egy olyan kompozit anyag, mely nagyon széles körben alkalmazható, akár szerkezeti rehabilitációknál [3-7], könnyű teherhordó szerkezetekhez [8, 9], vagy homlokzati lemezekhez [10-14]. A TRC elemek geometriájától függően többféle formázási módszert alkalmaznak: zsaluzást, szórást vagy laminálást [15].

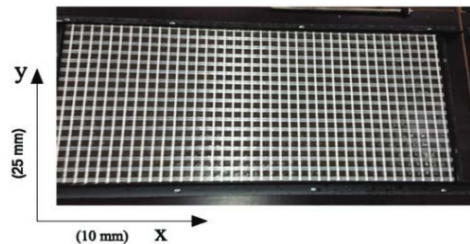
A jelen tanulmány célja olyan információk gyűjtése volt, amelyek néhány szélterhernek kitett TRC szerkezeti elem (esetünkben teherbíró homlokzati lapok és lámpa-oszlopok) viselkedésére vonatkoznak. E célból néhány numerikus szimulációt vé-

geztünk el ezekre az elemfajtákra, az Abaqus [16] végelem programcsomag használatával. Ezek a vizsgálatok ugyanakkor egy kezdeti, a későbbi gyakorlati kísérleteket megelőző fázist is képviselnek.

## 2. Anyagok és eljárások

### 2.1. Anyagmodellek

A textilerősítésekhez olyan sík üveg-szálalás háló alkalmazását modelleztük, amilyen az **1. ábrán** látható. A hálót képző rostok egyenként körülbelül 1500-2000 szálból vannak fonva és epoxigyanta alapú polimer bevonattal vannak borítva. A csomópontok láncszemként vannak kialakítva és a hálószemek méretei 10x25 mm. A rostok keresztmetszeti felülete 3,80 mm<sup>2</sup> és a számításokhoz 33250 MPa értékű rugalmassági modulus, illetve 475 MPa értékű szakítószilárdságot vettünk figyelembe.



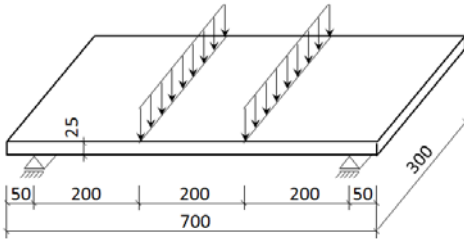
**1. ábra.** „2D AR-Glass” textilerősítés [11].

Többféle típusú beton volt a numerikus modellezés során figyelembe véve, így, a hagyományosnak számító közönséges C25/30 és C20/25 osztályú betonok mellett az alábbi textilbetonok jellemzőivel készültek a modellek:

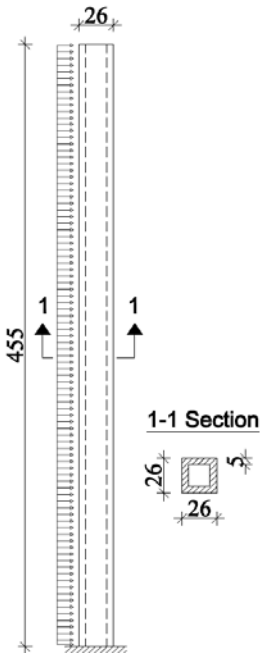
- TRC106 / C106 (nyomószilárdság: 106 MPa, E = 49 GPa);
- TRC90 (nyomószilárdság 90 MPa, E = 40 GPa);
- TRC70 (nyomószilárdság 70 MPa, E = 35 GPa).

## 2.2. A szerkezeti elemek

A 25x300x700 mm-es homlokzati lemezek a **2. ábrán** látható feltámasztással és terhelési móddal lettek modellezve (az öt említett betontípussal, külön-külön, 6 mm-es betonfedéssel). Ez a terhelési mód megegyezik a majdani gyakorlati kísérletekben alkalmazandóval.



**2. ábra.** Homlokzati lemezmodell, fektetve (a méretek mm-ben vannak feltüntetve).



**3. ábra.** Lámpaoszlop modell (a méretek cm-ben vannak feltüntetve).

A 260x260x4550 mm-es TRC lámpaoszlop 10x10 mm-es hálózsem méretű meg-

erősítéssel lett modellezve (ugyanazokat a mechanikai jellemzőket alkalmazva, mint a már említett „2D AR-Glass” hálónál). A hosszanti erősítések a keresztmetszeti fal közepébe voltak elhelyezve. A homlokzati lemezektől eltérően, itt csak három eset volt tanulmányozva: C106-os textilbeton, C106-os beton (erősítés nélkül), illetve C20/25-ös osztályú közönséges beton szintén erősítés nélkül. E modellek rögzítési és terhelési módja a **3. ábrán** látható.

## 2.3. Számszerű vizsgálati módszer

Az erősítések modellezéséhez rúd alakú, két csomóponttal rendelkező végelemek (T3D2) lettek alkalmazva, míg a betonfajtákhoz téglaszerű, 8 csomópontos tömör végelemek (C3D8R), 8 mm-es diszkrétizálással. A beton és az erősítés között tökéletes tapadás (*Perfect Bond*) volt elképzelve. A betonfajták viselkedése CDM (*Concrete Damage Plasticity*) alapján történt, az erősítésekhez pedig olyan anyagviselkedési mód lett rendelve, mely szintén megengedte a nem-lineáris válaszokat (*Material Plasticity*).

Öt összehasonlító vizsgálat lett elvégezve a homlokzati lemezek esetében és három a lámpaoszlop modellre, a betontípusok anyagának a függvényében. Mindegyik esetenél egy olyan nem-lineáris *Riks*-féle eljárás lett alkalmazva, mely fokozatosan növeli a terhelést addig, amíg a szerkezeti elemek ki nem merítik a teherbírásukat, vagy el nem veszítik a stabilitásukat.

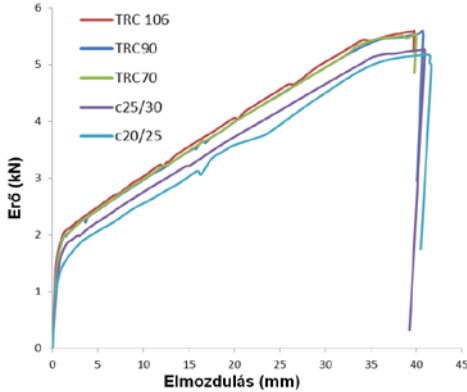
## 3. Eredmények

### 3.1. Homlokzati lemezek

A numerikus szimulációkból származó eredményeket grafikus formában ábrázoltuk mind a két szerkezeti elem esetében. A homlokzati lemezek esetében megfigyelhető, hogy az alacsonyabb nyomószilárdságú osztályoknál az első képlékeny alakváltozások kisebb erőknél jelennek meg, de a teherbírási tartalékok hasonlóak a maga-

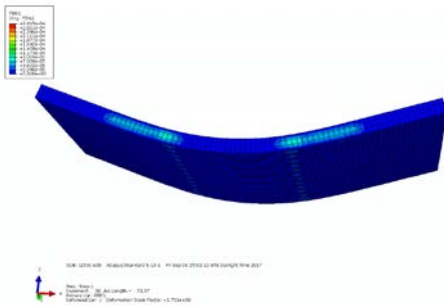
sabb osztályú betonból modellezett lemezekéhez (4. ábra).

Az 5. ábrán a nyomásra, illetve a 6. ábrán a feszítésre jellemző maradandó alakváltozások kialakulását lehet követni.

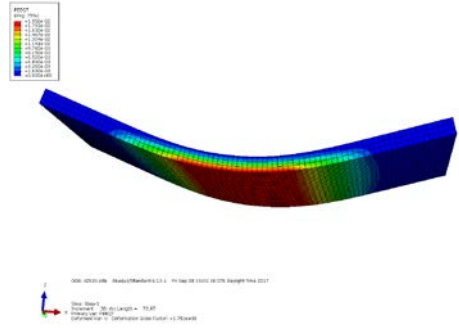


4. ábra. Erő-út diagramok a homlokzati lemezek esetében (az anyag-modellek jelölései a görbék sorrendjét követik).

Az alacsonyabb osztályú betonból készült modellek gazdasági megfontolásokból voltak számításba véve. Bár, elvileg lehetséges lenne ilyen alacsonyabb osztályú betonokat használni a TRC lemezeknél, a műszaki követelmények miatt (melyek finom szemcsés adalékot írnak elő, a szálak közti hatékonyabb behatolás miatt) az alkalmazott beton recept magasabb osztályú anyagot kell eredményezzen a nyomószilárdság szempontjából [17].



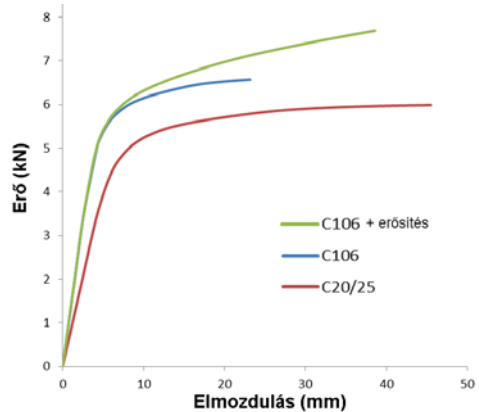
5. ábra. A nyomott részekre jellemző képlékeny alakváltozások kialakulása.



6. ábra. A feszülő részekre jellemző képlékeny alakváltozások kialakulása.

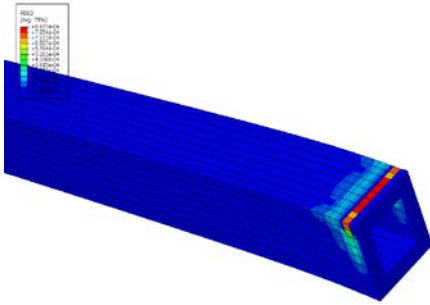
### 3.2. Lámpaoszlopok

A lámpaoszlopok viselkedésének a tanulmányozásánál, a modellezésénél merev befogás volt alkalmazva az alpnál, a terhelés pedig az oszlop magasságára kiterjedő egyenletesen eloszló volt (mint a már említett szélteher esetében).

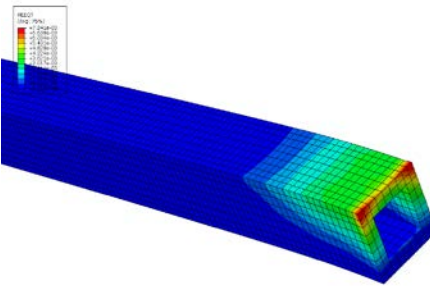


7. ábra. Erő-út diagramok a lámpaoszlopok esetében (az anyag-modellek jelölései a görbék sorrendjét követik).

A 7. ábrán látható, hogy az erősítés hatása aránylag csekély a TRC lámpaoszlopoknál. A textil erősítés az első képlékeny zónák kialakulásakor fejt ki igazán a hatását (az oszlop alján, a merev befogásnál), így a szerepe inkább abban nyilvánul meg, hogy teherbírási tartalékot biztosítson.



8. ábra. A nyomott részre jellemző képlékeny alakváltozások a lámpaoszlop tövében.



9. ábra. A feszülő részre jellemző képlékeny alakváltozások a lámpaoszlop tövében.

#### 4. Következtetések

A bemutatott számszerű vizsgálatok egyik célja az volt, hogy előzetes adatokkal szolgáljanak a későbbi gyakorlati kísérletek tervezéséhez (például a kísérletek számának az optimalizálásához, meg, hogy előre sugallják a vizsgálendő szerkezeti elemfajták viselkedését olyan életúti vizsgálatoknál, ahol minden nem-linearitási forrást figyelembe lehet venni.

Műszaki feltételek miatt nem lehetséges 4 mm-nél nagyobb szemcseméretű adalékanyag alkalmazása a textilbeton elemeknél,

s ez nagyobb nyomószilárdsághoz vezet. Karcos szerkezeti elemek gyártásához olyan erősítéseket kell alkalmazni, melyek korrózióállóak (így a hagyományos acél vasalás használata kizárt).

Az elvégzett számszerű vizsgálatok alapján a következőket lehet megállapítani:

- Alacsonyabb osztályú (kisebb nyomószilárdságú) textilbeton alkalmazása homlokzati lemezekben nem okoz lényeges merevségi és teherbírási eltéréseket;
- Úgy a homlokzati lemezek, mint a lámpaoszlopok esetében, a nagyobb nyomószilárdságú beton alkalmazása növeli az üzemeleti teherbírást (a TRC homlokzati lemezeknél körülbelül 40%-kal, a TRC lámpaoszlopoknál körülbelül 15%-kal);
- A textil-erősítés szerepe a teherbírási tartalék olcsóbb biztosítása, hogy a szerkezeti elem tönkremenetele előre észlelhető (jelzett) lehessen.

Fontos célkitűzés a fenntarthatósági feltételek teljesítési mértéke is (a megvalósításhoz szükséges anyagmennyiség, meg a bevitt energia csökkentése, az élettartam növelése mellett), illetve a gazdaságosság. A textilbeton alkalmazása nem feltétlenül olcsóbb, de előnyösebb, lehet.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Brameshuber, W. (ed.): *Report 36: Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC*. Vol. 36. RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, Franciaország, 2006.
- [2] Williams Portal, N.: *Usability of Textile Reinforced Concrete: Structural Performance, Durability and Sustainability*. PhD thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Svédország, 2015.
- [3] Contamine, R., Si Larbi, A., Hamelin, P.: *Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beams*. Engineering Structures, vol. 46, nr. 1/2013, Elsevier (DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.07.024), 2013, 447-458. oldal.
- [4] Brückner, A., Ortlepp, R., Curbach, M.: *Anchoring of shear strengthening for T-beams*

- made of textile reinforced concrete (TRC). *Materials and Structures*, vol. 41, no. 2/2008, Springer (DOI: 10.1617/s11527-007-9254-9), 2008, 407-418. oldal.
- [5] Papanicolaou, C. G., Triantafillou, Th. C., Papathanasiou M., Karlos, K.: *Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: out-of-plane cyclic loading*. *Materials and Structures*, vol. 41, no. 1/2008, Springer (DOI: 10.1617/s11527-007-9226-0), 2008, 143-157. oldal.
- [6] Bernat-Maso, E., Gil, L., Roca, P.: *Numerical analysis of the load-bearing capacity of brick masonry walls strengthened with textile reinforced mortar and subjected to eccentric compressive loading*. *Engineering Structures*, vol. 91, Elsevier (DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.02.032), 2015, 96-111. oldal.
- [7] Verbruggen, S., Aggelis, D. G., Tysmans, T., Wastiels, J.: *Bending of beams externally reinforced with TRC and CFRP monitored by DIC and AE*. *Composite Structures*, vol. 112, Elsevier (DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.02.006), 2014, 113-121. oldal.
- [8] Hegger, J., Kulas, Ch., Horstmann, M.: *Spatial textile reinforcement structures for ventilated and sandwich façade elements*. *Advances in Structural Engineering*, vol. 15, Issue 4, SAGE Publications (DOI: 10.1260/1369-4332.15.4.665), 2012, 665-675. oldal.
- [9] Schneider, H. N., Schätzke, Ch., Feger, Ch., Horstmann, M., Pak, D.: *Modulare Bausysteme aus Textilbeton- sandwichelementen*, *Textilbeton - Theorie und Praxis: Tagungsband zum 4. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung*, T. U. Dresden, Németország, 2009, 565-576. oldal.
- [10] Chira, A., Kumar, A., Vlach, T., Laiblová, L., Škapin, A. S., Hájek, P.: *Property improvements of alkali resistant glass fibres/epoxy composite with nanosilica for textile reinforced concrete applications*. *Materials & Design*, vol. 89, 2016, Elsevier (DOI: 10.1016/j.matdes.2015.09.122), 2016, 146-155. oldal.
- [11] Chira, A., Kumar, A., Vlach, T., Laiblová, L., Hájek, P.: (2016). *Textile-reinforced concrete facade panels with rigid foam core prisms*. *Journal of Sandwich Structures & Materials*, vol. 18, Issue 2/2016, SAGE Publications (DOI: 10.1177/1099636215613488), 2016, 200-214. oldal.
- [12] Gopinath, S, Kumar, V. R., Sheth, H., Murthy, A. R., Iyer, N. R.: *Pre-fabricated sandwich panels using cold-formed steel and textile reinforced concrete*. *Construction and Building Materials*, vol. 64, Elsevier (DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.068), 2014, 54-59. oldal.
- [13] Shams, A., Hegger, J., Horstmann, M.: *An analytical model for sandwich panels made of textile-reinforced concrete*. *Construction and Building Materials*, vol. 64, Elsevier (DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.025), 2014, 451-459. oldal.
- [14] Dey, V., Zani, G., Colombo, M., Di Prisco, M., Mobasher, B.: *Flexural impact response of textile-reinforced aerated concrete sandwich panels*. *Materials & Design*, vol. 86, 12/2015, Elsevier (DOI: 10.1016/j.matdes.2015.07.004), 187-197. oldal.
- [15] Hegger, J., Voss, S.: *Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete*. *Engineering Structures*, Vol. 30, no. 7/2008, Elsevier (DOI: 10.1016/j.engstruct.2008.01.006), 2008, 2050-2056. oldal.
- [16] ABAQUS, Finite element software, Hibbit, Karlsson & Sorensen Inc., USA.
- [17] Kausay, T.: *Beton. A betonszabvány néhány fejezetének értelmezése*, Mérnöki Kamara Nonprofit Kft, Budapest, Magyarország, 2013.