

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Pluzsik Anikó PhD

e-mail címe³: apluzsik @t-email.hu

Téma címe: Szintetikus szálerősítésű betongerendák modellezése

A **téma** rövid leírása⁴:

A szálerősítésű betonok használata napjainkban széles körben terjed. A különböző típusú szálak viselkedésének, betonra gyakorolt hatásának vizsgálata folyamatosan zajlik. Szintetikus szálerősítésű betonok elméleti modellezéséhez a szakirodalomban jelenleg rendelkezésre álló analitikus számítási modellek a szálak hatását elkenve, a beton megnövelt húzószilárdságával veszik figyelembe. Ezek a modellek az anyagjellemzők várható átlagértékét szolgáltatják, a tapasztalat szerint konkrét gerendakísérletek elemzéséhez nem használhatóak a kísérleti eredmények nagy szórása miatt. A kísérleti eredmények nagy szórásának oka, hogy azonos száltartalom esetén is jelentősen különbözhet a kritikus (bepedtet) keresztmetszetbe kerülő szálak mennyisége és eloszlása.

A kutatás célja kidolgozni egy olyan analitikus rúdmodellt, amely figyelembe veszi a gerenda bepedit keresztmetszetében a szálak eloszlását. Ez a modell jól használható lenne kísérleti eredmények elemzéséhez, ezenkívül alternatív eszközt jelenthetne tervezéskor az irodalomban található elkent analitikus és diszkrét numerikus módszerek mellett.

A modellalkotás előtt szükséges a témát átfogó irodalom feldolgozása, a törésmechanika alapjainak megértése és a törésmechanikán alapuló elméleti modellek megismerése.

A kidolgozandó modell segítségével lehetőség nyílik új anyagok, technológiák kísérleti elemzésére. Laborkísérletek végzése során rendelkezésre áll az eltört gerendafelületen a szálak eloszlása. Ezt figyelembe véve, az új modell már kisszámú kísérlet esetén is elegendően pontos összehasonlítási alapot teremt a kísérleti eredmények elemzéséhez. A tervezett laborkísérletek szorosan kapcsolódnának a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Czakó Adolf laboratóriumában évek óta folyó szintetikus szálerősítésű betonkísérletekhez.

¹ Az adatlapot egy példányban kinyomtatva és aláírva a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, elektronikus változatban pedig a Doktori Iskola titkárának (Kóródy Anna, korody@eik.bme.hu) kell eljuttatni. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola (<http://www.szt.bme.hu/index.php/oktatás/csonka-pál-doktori-iskola>), a témahirdetés rövid leírása pedig az Országos Doktori Tanács (<http://www.doktori.hu/>) honlapjára.

² A témahirdetés elfogadása automatikusan a témavezető akkreditációját is jelenti az azévi felvételi eljáráshoz.

³ Kérjük, olyan elérhetőséget adjon meg, ahová biztonssággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

⁴ A téma (szóközökkel) 2000-4000 leütés hosszú. A jelentkező hallgatókat bővebben tájékoztató változatot, (mely a téma fent megadott releváns nemzetközi irodalmára tételesen hivatkozik) kérjük a mellékletben megadni.

Ahhoz, hogy az új rúdmodell szálerősítésű beton szerkezetek tervezéséhez is használható legyen, további vizsgálatokra lesz szükség.

A szálerősítésű betongerenda hajlítása során a szálakban ébredő erő a szálerősítésű betonok jellemző paramétere. A kutatás célja a lehorgonyzódás jelenségének kísérleti és elméleti vizsgálata. Laborkísérletek segítségével megvizsgáljuk, hogy az irodalomban található elméleti modellek közül melyik közelíti megfelelően a polimer szálak kihúzódnását. Milyen feltételek mellett és milyen változtatásokkal használhatóak ezek a modellek a hajlított betongerenda berepedt keresztmetszetében lévő szálak viselkedésének leírására. 2016 őszén a Czákó Adolf laboratóriumban megkezdődtek laborvizsgálatok a polimer szálak lehorgonyzódásának vizsgálatára. A további tervezett laborkísérletek ezen PhD kutatás keretein belül valósulnának meg. Tervezés során a berepedt keresztmetszetbe kerülő szálak eloszlása még nem ismert. A kutatás célja meghatározni a száleloszlás várható értékét a betonkeresztmetszetben az anyagjellemzők függvényében. Ez történhet irodalomkutatást követően az irodalomban talált meglévő modell felhasználásával, vagy empirikus úton, nagyszámú kísérleti eredmény elemzése révén.

A kutatás utolsó fázisában a hallgatónak be kell építenie az egyszerűsített szálkihúzódnási modellt és a várható száleloszlást a kiindulási rúdmodellbe. Végezetül, szükség lesz az elkészült, új, analitikus modell verifikációjára. Ez történhet az analitikus megoldások numerikus (FEM), illetve kísérleti eredményekkel való összehasonlításával.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- Bazant, Z. P. and Oh B. H. (1984). "Crack Band Theory for Fracture of Concrete," *Materials and Structures*, Vol. 16, 1984, pp. 155-177
- Bernard, E. S. and Xu G. G. (2007). "Statistical Distribution of Fiber-Reinforced Concrete Beam Test Data." *Journal of ASTM International*, Volume 4, Issue 3 (March 2007) ISSN: 1546-962X
- fib Bulletin 79 (2016) „Fibre reinforced concrete: From design to structural applications” *FRC ACI-fib International Workshop*, Montreal, Canada, 2014
- Lee, S.C., Cho, J.Y., and Vecchio, F. J. (2011). „Diverse Embedment Model for Steel Fiber-Reinforced Concrete in Tension: Model Development.”, *ACI Materials Journal*, V. 108, No. 5, Sept.-Oct. 2011, pp. 516-525.
- Lin, Z., Kanda, T., and Li, V. C. (1999) „On interface characterization and performance of fiber-reinforced cementitious composites.” *Concrete Science and Engineering*, Vol. 1, pp 173-174
- Macanovskis A. (2014) „Short Fiber Composite Internal Geometry Influence on the Material’s Load Bearing Capacity and Strength.” PhD Thesis
- Radtke, F.K.F., Simone, A., Sluys, L.J.(2010) „A computational model for failure analysis of fibre reinforced concrete with discrete treatment of fibres.” *Engineering Fracture Mechanics* 77(4):597-620
- Vandewalle, L., et al. (2002) RILEM TC 162-TDF „Test and design methods for steel fibre reinforced concrete.” *Materials and Structures*, Vol.

⁵ Minimum 5, maximum 10 cikket vagy monográfiát kérünk felsorolni, amik között feltétlenül szerepelnie kell a legfrissebb, legismertebb eredményeknek.

33, January-February, 3-5.

A **téma** hazai és nemzetközi folyóiratai⁶:

- Journal of Materials in Civil Engineering(*)
- Journal of Applied Mechanics(*)
- International Journal of Solids and Structures; (*)
- Journal of Computational and Applied Mechanics (*)
- Journal of Reinforced Plastics a Composites (*)
- Építés és építészettudomány(*)
- Concrete Structures
- Periodica Polytechnica- Civil Engineering; (*)
- Anyagvizsgálók lapja
- Vasbetonépítés

A **témavezető** fenti folyóiratokban megjelent 5 közleménye:

- Pluzsik A., Kollár L.P., (2006) „ Torsion of closed section, orthotropic, thin-walled beams”, *International Journal of Solids and Structures* 43. pp 5307-5336.
- Kollár L.P., Pluzsik A., (2012) „Bending and torsion of composite beams (torsional-warping shear deformation theory)”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 31. (7) pp. 441-480. -3 db cikk az újság szerkesztőjének kérésére összefűzve. A különálló részek alcímei:
 - Part I: General Theory
 - Part II: Open Section Composite Beams
 - Part III: Closed Section Composite Beams
- Tóth M., Juhász K.P., Pluzsik A.,(2017) „Effect of mixed fibers on the ductility of concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, publikálásra elfogadva

A **témavezető** utóbbi tíz évben megjelent 5 legfontosabb publikációja:

- Kollár L.P., Pluzsik A., (2012) „Bending and torsion of composite beams (torsional-warping shear deformation theory)”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 31. (7) pp. 441-480.
- Kollár L.P., Pluzsik A., (2002) „Analysis of thin-walled composite beams with arbitrary layup”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 21. (16) pp. 1423-1465.
- Pluzsik A., Kollár L.P., (2006) „ Torsion of closed section, orthotropic, thin-walled beams”, *International Journal of Solids and Structures* 43. pp 5307-5336.
- Pluzsik A., Kollár L.P., (2002) „Effects of Shear Deformation and Restrained Warping on the Displacements of Composite Beams”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 21. pp. 1517-1541-480.
- Tóth M., Juhász K.P., Pluzsik A., (2017) „Effect of mixed fibers on the ductility of concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, publikálásra

⁶ Minimum 5, maximum 10 folyóirat megadását kérjük, melyek között feltétlenül szerepelnie kell a PhD fokozatszerzés szempontjából elengedhetetlen (Scopus és/vagy Sci illetve Iconda minősítésű idegen nyelvű folyóiratoknak is. Kérjük, ezeket a periodikákat a felsorolásban jelöljék meg.

elfogadva

(A témavezető 2000-től kezdődően folyamatosan GYES/GYED/GYET mellett végzi kutatási tevékenységét. Ezért kéri figyelembe vételét a témavázlat bírálatakor a 10 évnél régebbi publikációknak, illetve, hogy a 2012-es publikáció 3db cikket tartalmaz (előző alpontban részletezve).)

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:
(név/felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)
- Eddig nem volt doktorandusza

Melléklet: a téma bővebb leírása

Budapest, 2017 január 3.

Témavezető aláírása

⁷ Kérjük, a témavezetési tevékenységre vonatkozó adatokat abban az esetben is adja meg, ha témavezetőként a DI már korábban akkreditálta, vagy törzstagként témavezetői akreditációja nem szükséges.

Melléklet

Szintetikus szálerősítésű betongerendák modellezése

A szálerősítésű betonok használata napjainkban széles körben terjed. A különböző típusú szálak viselkedésének, betonra gyakorolt hatásának vizsgálata folyamatosan zajlik. Szintetikus szálerősítésű betonok elméleti modellezéséhez a szakirodalomban jelenleg rendelkezésre álló analitikus számítási modellek [1], [2], [6], [5], [11], [18] a szálak hatását elkenve, a beton megnövelt húzószilárdságával veszik figyelembe. Ezek a modellek az anyagjellemzők várható átlagértékét szolgáltatják, a tapasztalat szerint konkrét gerendakísérletek elemzéséhez nem használhatóak a kísérleti eredmények nagy szórása miatt. A kísérleti eredmények nagy szórása jól ismert jellemzője a szálerősítésű betonoknak. Oka, hogy azonos száltartalom esetén is jelentősen különbözhet a kritikus (bepedert) keresztmetszetbe kerülő szálak mennyisége és eloszlása [4].

A kutatás célja kidolgozni egy olyan analitikus rúdmodellt, amely figyelembe veszi a berepedt keresztmetszetben a szálak eloszlását. Ehhez a szálerősítésű betonok anyagtulajdonságainak mezo illetve makroszkopikus szinten való vizsgálatára van szükség. A modellalkotás interdiszciplináris kutatási területen történik a szerkezetek mechanikája és az anyagtudomány módszertani érintkezésével. A kidolgozandó rúdmodell jól használható lenne kísérleti eredmények elemzéséhez, ezenkívül alternatív eszközt jelenthetne tervezéskor az irodalomban található elkent analitikus és diszkrét numerikus módszerek mellett. A modell alapját [17] tartalmazza, mely a jelen PhD értekezés kiinduló pontja lehet.

A modell továbbfejlesztése előtt **a hallgatónak szükséges a témát átfogó irodalom feldolgozása [7], a törésmechanika alapjainak megértése és a törésmechanikán alapuló elméleti modellek [3], [9], [11], [13], [18] megismerése.**

A száleloszlást figyelembe vevő modell [17] segítségével lehetőség nyílik új anyagok, technológiák kísérleti elemzésére. Laborkísérleteknél lehetőség van a próbatestek teljes törésig való terhelésére. Az eltört gerendafelületen jól látható a szálak eloszlása. Ezt számításba véve az új modell segítségével meghatározható a tönkremenetelkor a szálakban ébredő erő fiktív értéke. Az így meghatározott elméleti szálerő szórása lényegesen kisebb, mint a gyakorlatban jelenleg használt egyéb jellemzőké, így már kisszámú kísérlet esetén is elegendően pontos összehasonlítási alapot teremt a kísérleti eredmények vizsgálatához. **A hallgató a kutatás során laborkísérletek segítségével vizsgálja majd a szintetikus szálak hatását a beton mechanikai tulajdonságaira és eközben teszteli az új módszer alkalmazhatóságát az eredmények kiértékelésekor.** A tervezett laborkísérletek szorosan kapcsolódnának a Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Czákó Adolf laboratóriumában évek óta folyó szintetikus szálerősítésű betonkísérletekhez.

Ahhoz, hogy a rúdmodell nemcsak kísérleti eredmények kiértékeléséhez, hanem szálerősítésű beton szerkezetek tervezéséhez is használható legyen, további vizsgálatokra lesz szükség.

A szálerősítésű betongerenda hajlítása során a szálakban ébredő erő a szálerősítésű betonok jellemző paramétere. A gyártók a szálak szakítószilárdságát adják meg mechanikai jellemzőként, jóllehet normál szilárdságú betonokban a szálak jellemzően kihúzóással mennek tönkre, nem szakadnak el. **A hallgató feladata a szintetikus szálak lehorgonyzódásának kísérleti és elméleti vizsgálata. Ez alapján olyan egyszerűsített szálkihúzóási modell felállítása a cél, mely használható hajlított vb gerendák berepedt keresztmetszetében a szálak viselkedésének leírására.** Az irodalomban a kihúzóásra jól megalapozott, elméleti modellek találhatók mind vasbeton szerkezetek esetén [8], mind acélszálerősítésű betonok esetén [10], [18]. Szintetikus szálakkal nagyon kevés tanulmány foglalkozik [11], [20]. A kutatás során laborkísérletek segítségével megvizsgáljuk, hogy az irodalomban található elméleti modellek közül melyik közelíti meg megfelelően a polimer szálak kihúzóását. Milyen feltételek mellett és milyen változtatásokkal használhatóak ezek a modellek a hajlított betongerendában a berepedt keresztmetszetben lévő szálak viselkedésének leírására. Keressük továbbá azt a határt, ahonnan a szálak szakadóással és nem kihúzóással mennek tönkre a gerendában. Ez a betonminőség és a száljellemzők együttes függvénye. Ismerete alapvető fontosságú lenne, hiszen a szálerősítésű beton gerenda tönkremenetelének jellegét alapvetően befolyásolja [12]. 2016 őszén megkezdődtek laborvizsgálatok a polimer szálak lehorgonyzódásának vizsgálatára. Mivel a beágyazott szálhossz a gerendákban az építőiparban elvárható pontosság nagyságrendjét közelíti, ezért a kísérletek folytatásához kapcsolatba léptünk a Polimertechnika Tanszék Kompozit laboratóriumával is. A további tervezett laborkísérletek ezen PhD kutatás keretein belül valósulnának meg. Tervezés során a berepedt keresztmetszetbe kerülő szálak eloszlása még nem ismert. A felállítandó, új modellnek tervezéskor a száleloszlás egy várható értékét kell figyelembe vennie. **A hallgató feladata meghatározni a száleloszlás várható értékét a betonkeresztmetszetben az anyagjellemzők függvényében.** Ez történhet irodalomkutatást követően az irodalomban talált meglévő modell felhasználásával, vagy empirikus úton, nagyszámú kísérleti eredmény elemzése révén [22]. **A kutatás utolsó fázisában a hallgatónak tovább kell fejlesztenie [17]-ben közölt analitikus rúdmodellt, be kell építenie az egyszerűsített szálkihúzóási modellt és a várható száleloszlást a rúdmodellbe. Végezetül el kell végeznie az elkészült, új, analitikus modell verifikációját.** Ez történhet az új modellel nyert megoldások numerikus (FEM) [15], [19], illetve kísérleti eredményekkel való összehasonlításával. A PhD kutatás eredményeképpen tehát egy olyan analitikus rúdmodellt várunk szintetikus szálerősítésű betonokhoz, amely figyelembe veszi a berepedt keresztmetszetben a szálak eloszlását. Az új modell az irodalomban található FEM módszerek és elkent analitikus módszerek között félúton helyezkedne el. Egyszerűbb lenne, kevesebb bemenő adatra támaszkodna, mint a diszkrét, végeeselemes modellek. Azonban, mivel az információtartalma nagyobb, mint a jelenlegi, elkent, analitikus modelleknek, így a felhasználási köre is szélesebb lehet. Különösen előnyös lehet konkrét kísérleti eredmények összehasonlításakor, mert kiküszöböli a kísérleti paraméterek különböző száleloszlásból adódó nagy szórását.

- [1] ACI Committee 544. (1998). "Design considerations for steel fiber reinforced concrete." *ACI Structural Journal*, Vol. 85, No. 5, Sept.-Oct. 1998, pp. 563-580.
- [2] ACI Committee 544. (2002). "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete." *ACI Structural Journal*, 544.1R-96.
- [3] Bazant, Z. P. and Oh B. H. (1984). "Crack Band Theory for Fracture of Concrete," *Materials and Structures*, Vol. 16, 1984, pp. 155-177
- [4] Bernard, E. S. and Xu G. G. (2007). "Statistical Distribution of Fiber-Reinforced Concrete Beam Test Data." *Journal of ASTM International*, Volume 4, Issue 3 (March 2007) ISSN: 1546-962X
- [5] British-Adopted European Standard (2006) „Fibres for concrete. Polymer fibres. Definitions, specifications and conformity." *Standard BS EN 14889-2:2006*.
- [6] fib Model Code 2010 (2011) fib Model Code 2010 Final Draft. *Model Code prepared by Special Activity Group 5, Lausanne, 2011*
- [7] fib Bulletin 79 (2016) „Fibre reinforced concrete: From design to structural applications" *FRC ACI-fib International Workshop, Montreal, Canada, 2014*
- [8] Hong, S. and Park, S. K. (2012) „Uniaxial Bond Stress-Slip Relationship of Reinforcing Bars in Concrete." *Hindawi Publishing Corporation, Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2012, Article ID 328570, 12 pages
- [9] Juhász K.P. (2011) „Fibre reinforced concrete calculations in ultimate and serviceability limit state." *Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures: CCC2011*. pp. 277-280, paper 55. ISBN: 978-963-313-036-0.
- [10] Lee, S.C., Cho, J.Y., and Vecchio, F. J. (2011). „Diverse Embedment Model for Steel Fiber-Reinforced Concrete in Tension: Model Development.", *ACI Materials Journal*, V. 108, No. 5, Sept.-Oct. 2011, pp. 516-525.
- [11] Lin, Z., Kanda, T., and Li, V. C. (1999) „On interface characterization and performance of fiber-reinforced cementitious composites." *Concrete Science and Engineering*, Vol. 1, pp 173-174
- [12] Macanovskis A. (2014) „Short Fiber Composite Internal Geometry Influence on the Material's Load Bearing Capacity and Strength." PhD Thesis
- [13] McCormac, J. C., and Brown R. H. (2014). „Design of Reinforced Concrete." U.S.A.
- [14] Nishiwaki, T., Kwon, S., Homma, D., Yamada, M., Mihashi, H. (2014) „Self-Healing Capability of Fiber-Reinforced Cementitious Composites for Recovery of Watertightness and Mechanical Properties." *Materials* pp. 2141-2154. ISSN 1996-1944.
- [15] Radtke, F.K.F., Simone, A., Sluys, L.J. (2010) „A computational model for failure analysis of fibre reinforced concrete with discrete treatment of fibres." *Engineering Fracture Mechanics* 77(4):597-620

- [16] Soranakom, C., Mobasher, B. (2009) „Flexural Analysis and Design of Fiber Reinforced Concrete”, *ACI Materials Journal*, September-October, pp. 461-469
- [17] Tóth M., Juhász K.P., Pluzsik A., (2017) „Effect of mixed fibers on the ductility of concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, publikálásra elfogadva
- [18] Vandewalle, L., et al. (2002) RILEM TC 162-TDF „Test and design methods for steel fibre reinforced concrete.” *Materials and Structures*, Vol. 33, January-February, 3-5.
- [19] Voo, J. Y. L., and Foster, S. J. (2003). “Variable Engagement Model for Fibre Reinforced Concrete in Tension.” Uniciv Report No. R-420, School of Civil and Environmental Engineering, the University of New South Wales, Sydney, NSW, Australia, June 2003, 86 pp.
- [20] Wang, Y., Li, V. C., and Backer, S. (1988) „Modelling of fibre pull-out from a cement matrix.” *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, Volume 10, Number 3
- [21] Zhan, Y., Meschke, G., (2014) „Analytical model for the pullout behaviour of straight and hooked-end steel fibers.” *Journal of Engineering Mechanics*, 140(12), 04014091(1-13)
- [22] Zirgulis, G., Svec, O., Geiker, M. R., Cwirčen, A., Kanstad, T., (2016) „Variation in fibre volume and orientation in walls: experimental and numerical investigations.” *Structural Concrete*, No. 4:576-587