

Adatlap¹ témahirdetési javaslatához a Csonka Pál Doktori Iskola Tanácsa részére

Témavezető² neve: Pluzsik Anikó PhD
e-mail címe³: pluzsik.aniko@epk.bme.hu

Téma címe (magyar és angol nyelven):
FRP-vel erősített vasbeton betongerendák analitikus
modellezése
[Analytical modelling of FRP strengthened RC beams](#)

A **téma** rövid leírása⁴ (magyar és angol nyelven):

Vasbeton gerendák megerősítésére gyakran van szükség a szerkezet leromlása, funkcióváltás vagy a megnövekedett elvárások, megváltozott követelmények következtében. Napjainkban széles körben elterjedt technika a vasbeton gerendák kompozittal (FRP) történő megerősítése. Míg a laminált FRP lemezekkel történő megerősítés méretezése szabványban is rögzített, egyéb erősítés típusok esetén (pl. FRP rudakkal történő megerősítés NSM technikával) nincs szabvány az erősítés tervezéséhez.

A kompozittal erősített vasbeton gerendák számításához a szabvány tökéletes kapcsolatot feltételez az FRP lemez és a gerendafelület között. A tervezési irányelvek a lamellák leválási tönkremenetelének elkerülésére kiegészítő vizsgálatokat írnak elő. A teljes rúd tényleges viselkedésének pontos modellezésére (részleges kapcsolat) jelenleg csak végeselemes modellezéssel van lehetőség.

A kutatás célja kidolgozni egy olyan analitikus rúdmodellt FRP lamellákkal történő megerősítésekhez, amely figyelembe veszi a részleges kapcsolatot a vasbeton felület és a kompozit lemez között. További cél a modellt alkalmazhatóvá tenni egyéb megerősítéstípusok méretezéséhez is. Lehetőség szerint cél az új gerendamodell megállapításait kiterjeszteni egyéb szerkezet típusok, lemezek, külpontosan nyomott elemek vizsgálatára is.

A modellalkotás előtt első lépés a témát átfogó irodalom feldolgozása.

A következő lépés a kidolgozandó, új modell felépítése. Cél az új modell segítségével az erősített vasbeton gerendák teher-elmozdulás függvényének megadása, a hajlítási és nyírási teherbírás számítása. A kutatás során

¹ Az adatlapot egy példányban *kinyomtatva és aláírva* a Szilárdságtani Tanszék titkárságára, *elektronikus változatban* pedig a Doktori Iskola titkárnak (Fehér Krisztina, feher.krisztina@eptort.bme.hu) kell eljuttatni. A témahirdetés elfogadása esetén az adatlap felkerül a Csonka Pál Doktori Iskola (<http://cspdi.bme.hu/felveteli/temahirdeteselek>), 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 biztonsággal küldhetünk hivatalos értesítéseket.

⁴ A téma rövid leírása (szóközökkel) 1000-3000 leütés hosszú. A jelentkező hallgatókat bővebben tájékoztató változatot, (mely a téma fent megadott releváns nemzetközi irodalmára tételesen hivatkozik) kérjük a mellékletben megadni.

tervezünk megvizsgálni különböző megerősítéstípusokat, különböző tönkremeneteli módokat, különböző szerkezeti elemeket.

Végezetül, szükség lesz az elkészült, új, analitikus modell verifikációjára. Az eredményeket össze kell hasonlítani a már létező egyszerűsített analitikus, illetve a pontosabb numerikus modellek megoldásaival. Tervezett a kutatás folyamán a kidolgozott modell eredményeinek kísérleti értékekkel való összevetése is. A Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Czakó Adolf laboratóriumában lehetőség van gerendakísérletek elvégzésére. Emellett a Mapei cég is nyitott a közös munkára, lehetővé téve ezzel a kutatási eredmények gyakorlatba való átültetését.

Strengthening of reinforced concrete structures are often needed because of inadequate design or construction, changed environmental conditions or because of increased loading conditions due to functional changes.

Strengthening rc beams with FRP (fibre reinforced plastic) material is a widely used technique. Design standards are available for the designing of FRP externally bonded reinforcement but are not for any other types of strengthening (e.g.: strengthening with near surface mounted FRP bars).

In the standard and in all the available analytical beam models for strengthened rc elements perfect connection is assumed between the concrete surface and the FRP laminates. Debonding or delamination of the laminates are checked by additional examinations.

The real behavior of the strengthened beam (partial connection) can be described only by discrete FEM models.

The aim of the research is to work out a new analytical beam model for FRP strengthened rc beams which takes into consideration the partial connection of the FRP laminates to the concrete surface (slipping of the FRP). Further aim is to extend this new theory for other reinforcement types, too. It would be beneficial to extend the results of the new model not only for beams but also for other structures (plates, externally compressed elements).

First step is a comprehensive literature survey.

Next the new mechanical beam model will be worked out.

Applying the new model, the final aim is to gain the load-deflection curve and to determine the exact bending and shear loadbearing capacity of the strengthened rc beams.

Finally, the verification of the new model is essential. Results will be compared to the existing, simplified analytical models, and to FEM solutions. Experiments are also planned in the Adolf Czakó Laboratory of the Department of Mechanics, Materials and Structures which is well equipped for performing beam tests. While Mapei Kft is also ready to work together in order to make the theoretical results suitable for practical applications.

A **téma** meghatározó irodalma⁵:

- ACI 440.2R-17 (2017) „*Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*” ACI Committee
- Rosenbaum O., Rizkalla S. (2007) „*Analytical Modelling of Flexural debonding in CFRP Strengthened Reinforced or Prestressed Concrete Beams*” FRPRCS-8, University of Patras, Greece
- Wu Z., Yin J., (2003) „*Fracturing behaviors of FRP-strengthened concrete structures*” *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 70, Issue 10 pp. 1339-1355
- Wang J., Zhang C., (2008) „*Nonlinear fracture mechanics of flexural–shear crack induced debonding of FRP strengthened concrete beams*” *International Journal of Solids and Structures*, Volume 45, Issue 10, pp 2916-2936
- Zhou, Y., Wu, Y., and Yun, Y., (2010) “*Analytical Modeling of the Bond-Slip Relationship at FRP-Concrete Interfaces for Adhesively-Bonded Joints*”, *Composites: Part B*, V. 41, pp: 423-433.

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 and Composites (*)
- Composite Structures (*)
- Építés és Építészettudomány (*)
- Periodoca Polytechnica- Civil Engineering (*)
- Architecture Civil Engineering Environment
- Vasbetonépítés

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

- 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.
- Tóth M., Juhász K.P., Pluzsik A., (2017) „Effect of mixed fibers on the ductility of concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(9):1-12, Paper: 04017082
- Tóth M., Pluzsik A., Pluzsik T., Morlin B., (2018) „Experimental Investigations of Pull-out Behaviour of Synthetic Fibres”, *Architecture Civil Engineering Environment* 11(2):89-95
- Tóth M., Pluzsik A., (2018) „Semi-discrete analytical beam model for fibre reinforced concrete beams.” *Proceedings of The 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, pp.379-386

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

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

- Tóth M., Pluzsik A., (2020) „Verification of a New Semidiscrete Beam Model for Fiber-Reinforced Concrete Beams”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(7): paper: 04020156

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.

- Tóth M., Juhász K.P., Pluzsik A., (2017) „Effect of mixed fibers on the ductility of concrete”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(9):1-12, Paper: 04017082

- Tóth M., Pluzsik A., Pluzsik T., Morlin B., (2018) „Experimental Investigations of Pull-out Behaviour of Synthetic Fibres”, *Architecture Civil Engineering Environment* 11(2):89-95

- Tóth M., Pluzsik A., (2018) „Semi-discrete analytical beam model for fibre reinforced concrete beams.” *Proceedings of The 12th fib International PhD Symposium in Civil Engineering*, pp.379-386

- Tóth M., Pluzsik A., (2020) „Verification of a New Semidiscrete Beam Model for Fiber-Reinforced Concrete Beams”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(7): paper: 04020156

A **témavezető** eddigi doktoranduszai⁷:

(név/felvétel éve/abszolutórium megszerzésének éve/PhD fokozat éve)

- Erdélyiné Tóth Mária/2017/-

Melléklet: a téma bővebb leírása (magyar és angol⁸ nyelven)

Budapest,



Témavezető aláírása

⁷ Kérjük, a témavezetési tevékenységre vonatkozó adatokat abban az esetben is adja meg, ha témavezetőként a DI már korábban akkreditálta.

⁸ A téma bővebb leírása angol nyelven csak akkor szükséges, ha a témavezető vállalja külföldi hallgató fogadását.

Melléklet

FRP-vel erősített vasbeton betongerendák modellezése

Vasbeton gerendák megerősítésére gyakran van szükség a szerkezet leromlása, funkcióváltás vagy a megnövekedett elvárások, megváltozott követelmények következtében. Napjainkban széles körben elterjedt, bevett technika a vasbeton gerendák kompozittal (FRP) történő megerősítése. Figyelembe véve a kompozit anyag kedvező szilárdság-sűrűség arányát, tartósságát, korrózióállóságát, a könnyű kivitelezhetőséget a módszer versenyképes, sőt egyre inkább teret nyer a hagyományos megerősítésekkel szemben. Míg a laminált FRP lemezekkel történő megerősítés méretezése szabványban is rögzített, egyéb erősítés típusok esetén (pl. FRP rudakkal történő megerősítés NSM technikával) nincs szabvány az erősítés tervezéséhez.

A tervezési útmutatók, műszaki ajánlások [1] tartalmaznak egyszerűsített módszereket a kompozittal erősített vasbeton gerendák számításához. Azonban mind a szabványban, mind a szakirodalomban rendelkezésre álló analitikus módszerek mindegyike tökéletes kapcsolatot feltételez az FRP lemez és a gerendafelület között. Mivel az erősítés többnyire már terhelt, berepedt betonfelületre kerül, illetve a terhelés során a beton húzott oldalán egy mikrorepedésekkel hálózott zóna alakul ki, ezért a feltételezés, hogy a gerenda és a kompozit lemez tökéletesen együtt dolgozik nem állja meg a helyét. A tervezési irányelvek a kompozit lamellák megfelelő lehorgonyzódásának ellenőrzésére, a leválási tönkremenetel elkerülésére kiegészítő vizsgálatokat írnak elő [1]. A leválás jelenségének vizsgálatához törésmechanikai alapon mind numerikus mind analitikus modellek rendelkezésre állnak az irodalomban pl. [4], [5], [6], [8], [9], [10]. Ezen törésmechanikai modellek mindegyike azt feltételezi, hogy érvényes a Bernoulli-Navier hipotézis és a keresztmetszet anyagai rugalmasak. Azonban a Bernoulli-Navier hipotézis a rúdvégeken, az erősítő lemezek végeinél nem ad pontos közelítést, míg a rúd közepén (a repedések mentén történő leválás modellezésekor) a beton és a betonacél nincs rugalmas állapotban. A teljes rúd tényleges viselkedésének modellezésére (részleges kapcsolat) jelenleg csak végesesemes modellezéssel van lehetőség.

A kutatás célja kidolgozni egy olyan analitikus rúdmodellt, amely figyelembe veszi a részleges kapcsolatot a vasbeton felület és a kompozit erősítés között. Hasonló elven működő, a betonba kevert szálak kicsúszását figyelembe vevő, analitikus rúdmodell sikerrel alkalmazható volt FRC szálerősítésű betonok pontosabb vizsgálatához [7]. A kidolgozandó, új modell pontosabban követné az erősített vasbeton gerendák viselkedését, mint a jelenleg használatos egyszerűsített analitikus eljárások, alternatív eszközt jelenthetne a megerősítések tervezéséhez a bonyolultabb numerikus modellek mellett. További cél a modellt alkalmazhatóvá tenni egyéb megerősítéstípusok (pl. FRP rudakkal történő megerősítés NSM technikával) méretezéséhez is. Lehetőség szerint cél az új rúdmodell megállapításait kiterjeszteni nemcsak gerendák, de egyéb szerkezet típusok, lemezek, külpontosan nyomott elemek vizsgálatára is. A modellalkotás előtt első lépése a témát átfogó irodalom feldolgozása. Szükséges az anizotróp kompozit anyag viselkedésének megismerése [3], a

törésmechanika alapjainak megértése [2], a létező analitikus pl. [5], [10] és numerikus modellek pl. [6], [8], [9] összegyűjtése.

A következő lépés a kidolgozandó, új modell felépítése mely figyelembe veszi a kompozit és a beton (és a hagyományos acélbetétek) részleges együttműködését. A III. feszültségi állapotban az acélbetétek és a beton képlékeny, a húzott betonzóna berepedt. A hagyományos rúdleméletekben a beton húzószilárdságát zérusnak feltételezik, a repedés mentén nincs teherátadódás. A nem lineáris törésmechanika ehelyett a repedések mentén egy folytonos kontinuumot feltételez, mely képes (egy meghatározott függvény szerint) feszültséget továbbítani. Ezt figyelembe véve újra kell gondolni az acélbetétek és a beton kapcsolatát, hasonlóan a kompozit nyírási és hajlítási erősítések kapcsolatát a berepedt betonnal. Mivel a megerősítések rögzítéshez használt műgyanta anyagok nagyon erősek, a leválási tönkremenetel többnyire a húzott betonzóna egy részének lerepedésével történik. Cél az új modell segítségével az erősített vasbeton gerendák teherelmozdulás függvényének megadása, a hajlítási és nyírási teherbírás számítása különböző megerősítés típusok esetén. Ezután következhet a módszer általánosítása, alkalmazhatóvá tétele egyéb szerkezet típusok, lemezek, különösen nyomott elemek esetére is.

Végezetül, szükség lesz az elkészült, új, analitikus modell verifikációjára. Az eredményeket össze kell hasonlítani a már létező egyszerűsített analitikus, illetve a pontosabb numerikus modellek megoldásaival, meg kell adni a modell alkalmazhatósági határait, várható pontosságát. Hasznos volna a kutatás folyamán a kidolgozott modell eredményeinek kísérleti értékekkel való összevetése is. A Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék Czakó Adolf laboratóriumában lehetőség van gerendakísérletek elvégzésére. Emellett a Mapei cég is nyitott a közös munkára, lehetővé téve ezzel a kutatási eredmények gyakorlatba való átültetését.

A **téma** meghatározó irodalma⁹:

[1] ACI 440.2R-17 (2017) „*Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*” ACI Committee

[2] Bazant Z. P., Jaime Planas J. (1997) „*Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials*”, CRC Press

[3] Kollár L. P., Springer G.S., (2003) „*Mechanics of Composite Structures*” Cambridge University Press

[4] Lu, X.Z., Teng, J.G., Ye, L.P. and Jiang, J.J., (2005) “*Bond-Slip Models for FRP Sheets/Plates Bonded to Concrete*”, *Engineering Structures*, V. 27, pp: 920-937.

[5] Rosenbaum O., Rizkalla S. (2007) „*Analytical Modelling of Flexural debonding in CFRP Strengthened Reinforced or Prestressed Concrete Beams*” FRPRCS-8, University of Patras, Greece

⁹ Minimum 5, maximum 10 cikket vagy monográfiát kérünk felsorolni, amik között feltétlenül szerepelnie kell a legfrissebb, legismertebb eredményeknek.

- [6] Rabinovitch, O (2004) „*Fracture-mechanics failure criteria for RC beams strengthened with FRP strips—a simplified approach*” *Composite Structures*, V. 64, Issues 3–4, pp: 479-492
- [7] Tóth M., Pluzsik A., (2020) „*Verification of a New Semidiscrete Beam Model for Fiber-Reinforced Concrete Beams*”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(7): paper: 04020156
- [8] Wang J., Zhang C., (2008) „*Nonlinear fracture mechanics of flexural–shear crack induced debonding of FRP strengthened concrete beams*” *International Journal of Solids and Structures*, Volume 45, Issue 10, pp 2916-2936
- [9] Wu Z., Yin J., (2003) „*Fracturing behaviors of FRP-strengthened concrete structures*” *Engineering Fracture Mechanics*, Volume 70, Issue 10 pp. 1339-1355
- [10] Zhou, Y., Wu, Y., and Yun, Y., (2010) “*Analytical Modeling of the Bond-Slip Relationship at FRP-Concrete Interfaces for Adhesively-Bonded Joints*”, *Composites: Part B*, V. 41, pp: 423