HARRACH Dániel

Fa-beton öszvérszerkezetek szerkezeti kialakíthatóságának komplex vizsgálata

c. doktori tézisek

Témavezető:
Dr. habil. MOVAHEDI RAD Majid Ph.D., egyetemi docens
Széchenyi István Egyetem, ÉÉKK SZGT

Infrastrukturális Rendszerek Modellezése és Fejlesztése

Multidiszciplináris Műszaki Tudományi Doktori Iskola

Győr, 2023.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS 3
2. MOTIVÁCIÓ ÉS CÉLKITŰZÉSEK 6
3. A KUTATÁS TUDOMÁNYOS MÓDSZERTANA 7
4. TÉZISEK 9
5. ÖSSZEGZÉS 13
6. TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK, LEHETŐSÉGEK 14
IRODALOMJEGYZÉK 15
A szerző hivatkozott publikációinak listája 15
A szerző egyéb publikációinak listája: 16
A tézisfüzet további hivatkozott irodalmai 19

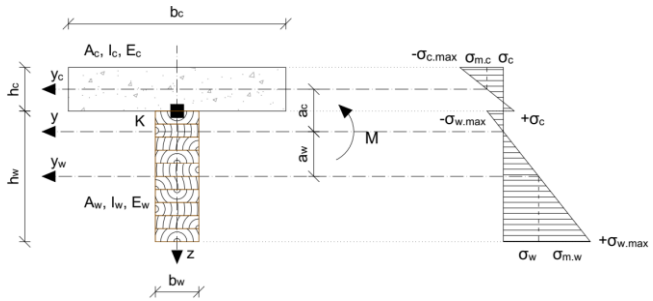
1. BEVEZETÉS

Doktori értekezésemben a fa-beton öszvérszerkezetek alkalmazhatóságának vizsgálatával és különleges kérdéseivel foglalkozom. Az acél-vasbeton öszvérszerkezetekhez hasonló, de azoknál esztétikusabb, környezettudatosabb öszvérszerkezet kialakításával, a két elemrész kedvező tulajdonságait felhasználó, gazdaságos tartószerkezeti rendszer alakítható ki.

A fa-beton öszvérszerkezeteket gerendatartóként célszerű alkalmazni. Optimális eset, amikor a kapcsolati sík és a semleges tengely egybeesik, ekkor a beton tartórész a hajlításból keletkező nyomó-, míg a fa tartórész a húzóigénybevételeket veszi fel. A két tartórész közé – általában – vízszintes síkú csúsztatófeszültségekkel terhelt nyírókapcsolat kerül. [32]

A fa-beton öszvérszerkezetek méretezése során a felhasznált anyagok merevségi aránya és szilárdsága azt mutatja, hogy a szerkezeti elemek optimális magassági aránya a beton és a fa között 1:10 kellene, hogy legyen, amennyiben a semleges tengely és a kapcsolati sík egybeesik. [33] Azonban érdemes a semleges tengelyt a fa tartórészben tartani (a betonlemez ekkor tisztán nyomottá válik), ez elérhető a szerkezeti arányok megváltoztatásával, vagy a húzott szélső szál megerősítésével. A disszertációmban azt az ideális esetet próbálom javaslat formájában elérni, hogy a beton nyomottként -, a fa (+erősítés) húzottként viselkedjen. Ebben az esetben, mivel a beton nyomott része nem berepedt, ezért számolható rugalmas alapon. Ha azonban a betonban húzás ébred, akkor a keresztmetszet nem méretezhető rugalmas alapon. A hidakkal szemben megfogalmazott tervezési előírások 15-20 cm-es minimális vasbeton lemezvastagságot követelnek meg [34]. Annak érdekében, hogy húzott oldali fagerendák méretét csökkenteni lehessen, a húzott szál környezetében történő megerősítésre van szükség.

A létrejövő kompozit rendszer a (tisztán) fa tartószerkezetekhez képest jelentősen nagyobb teherbírással és merevséggel rendelkezik, a beton-, vasbeton szerkezetekhez képest pedig jelentősen kisebb önsúllyal. Kültéri alkalmazás, felsőpályás kialakítás esetén, a fagerendák védett helyen, a vasbeton pályalemez alatt helyezkednek el, megvédve a fa tartórészt a környezeti hatásoktól (pl.: közvetlen eső, napsugárzás), ezáltal növelve annak élettartamát. [36]



1. ábra: A részlegesen kompozitként működő fa-beton öszvérszerkezet erőjátéka [38]

A tervezett szerkezetet lineáris rugalmas anyagmodellek, merev-, esetleg lineárisan rugalmas kapcsolatok feltételezésével, egy megengedett feszültségszinthez képest érdemes ellenőrzi, különböző vizsgálati időpontokban. [33] [35] [37] Az ilyen méretezési eljárás azonban nem tartalmazza a fa és beton alapanyag valós viselkedését, a kapcsolati rendszer esetleges nemlinearitását, valamint a vasbeton lemezben alkalmazott betonacélok merevítő hatását sem.

Az első fa-beton öszvérszerkezetű hidak ugyanazzal az analógiával kerültek megalkotásra, mint a vasbeton lemezzel erősített gerendafödémek. A fa-beton öszvérszerkezetű hidak külföldi térhódítása az 1930-as években kezdődött az USA-ban a gazdasági világválság után, a régi faszerkezetű palló- és gerendahidak felújítása során a hidakat vasbeton pályalemezzel látták el. [39] [40]

A fa-beton öszvérszerkezetek talán legnagyobb előnye, hogy városi környezetben esztétikus látványt nyújtanak. Egy fa-beton öszvérszerkezettel jelentősen kisebb szerkezeti magassággal megoldható egy adott fesztáv áthidalása, mint egy faszerkezettel.

2. ábra: Fa-beton öszvérszerkezetű híd a hollandiai Deventer-ben

A fa-beton öszvérszerkezetű hidak fő alkalmazási területe Nyugat- Európában a kis- és közepes nyílástartományú, kis forgalmi terhelésű közúti hidak és gyalogos-kerékpáros hidak. [41]

2. MOTIVÁCIÓ ÉS CÉLKITŰZÉSEK

Fa-beton öszvérszerkezetű hidak építése Nyugat- Európában és az USA-ban már közel száz éves múltra tekint vissza, hazánkban viszont egyáltalán nem alkalmazzák ezt a szerkezettípust. Gyakorló hídtervező szakemberekkel való egyeztetések alapján a fa-beton öszvérszerkezetek alkalmazása a hídépítésben azért nem valósítható meg jelenleg, mert nem áll rendelkezésre a szabályozási- előírási környezet a témában. A tervezésükhöz szükséges szabványok, előírások még nem állnak rendelkezésre.

A fa-beton öszvérszerkezetű hidaknak, olyan hagyományos hídszerkezetek között kell helyt állnia, melyeket a szakma, a társadalom már elfogadott. Szükség van olyan kézi, vagy gépi számításokkal, numerikus modellezéssel megadható eredményekre, melyek igazolják a fa-beton öszvérszerkezetű hidak létjogosultságát. Egy új szerkezettípus esetén fontos, hogy ne csak teherbíró, de gazdaságos szerkezet jöjjön létre a tervezési/kivitelezési folyamat végén.

A 2016-ban indult GINOP-2.2.1-15-2016-00030 azonosítószámú projekt keretein belül a „Fa-beton öszvérhidak” altémában, a kutatásban kiemelt szerepem volt. Nem kizárólag, mint a Széchenyi István Egyetem Szerkezetvizsgáló Laboratóriumának laborvezetőjeként vettem részt benne, hanem mint doktorandusz kutató is.

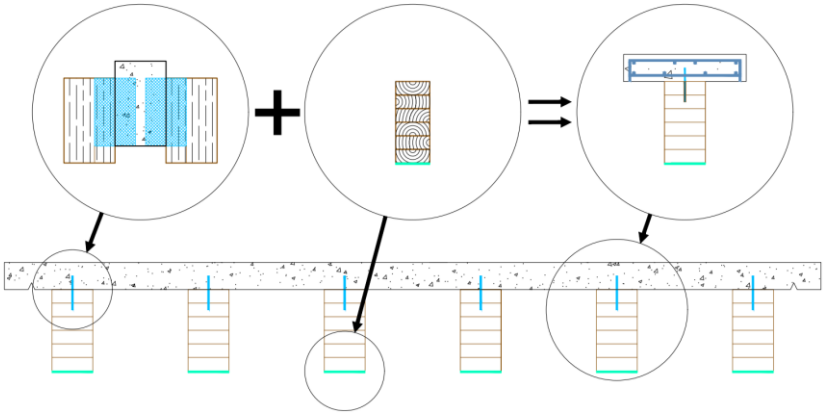
A kutatási munkámmal célom az volt, hogy a fizikai próbatesteken végzett laboratóriumi vizsgálatok segítségével, valamint az elvégzett vizsgálati eredmények alapján készített számítógépes szimulációk és véges elemes modellezések során kapott eredmények segítségével tudományos bizonyítással új ismereteket fogalmazzak meg. A kutatásom során fontos célként fogalmaztam meg, hogy magyarországi piaci körülmények között elérhető szerkezeti rendszerelemeket alkalmazzak, a fa-beton hidak hazai bevezetést megkönnyítendő.

A műszaki alkalmazhatóságra, a technológiai utasításokra vonatkozó javaslataim, ajánlásaim hasznosíthatók a mindennapi hídtervezési gyakorlatban. Az

eredményeim alapján a fa-beton öszvérszerkezetű hidak hazai tervezéséhez szükséges olyan adatok, megállapítások, szabályok állnak rendelkezésre, melyek alapján Műszaki Előírás készíthető, amely harmonizálható a hazai szabályozási környezettel.

3. A KUTATÁS TUDOMÁNYOS MÓDSZERTANA

A kutatási munka gerincét egy komplex, többlépcsős laboratóriumi kísérletsorozat adta. A célként kitűzött kistámaszközű gyalogos-kerékpáros hídig való eljutás érdekében a mérések során a lokális problémák taglalásából haladtam az egyre nagyobb, komplexebb szerkezetek felé. A laboratóriumban elvégzett, a fa és beton kapcsolatait vizsgáló Push-out típusú vizsgálatok során, majd a rétegelt-ragasztott fagerendák megerősítési és az öszvérszerkezetű T-gerendák hajlítóvizsgálatain át jutottam el, a teljes méretű fa-beton öszvérhidak laboratóriumi körülmények közötti próbaterheléséig.



3. ábra: A laboratóriumi vizsgálatok egymásra épülése

A fa-beton öszvérszerkezet kapcsolati kialakításait kisméretű, két nyírt síkos, push-out típusú fa-beton-fa (WCW) kialakítású próbatesteken vizsgáltam meg.

A rétegelt ragasztott (RR) fatartók keresztmetszeti méretének csökkentését céloztam meg előzetesen a fa-beton szerkezetekben, ennek érdekében szénszálas erősítést alkalmaztam a hajlított fagerendák húzott zónájában. Előzetesen elvégeztem a ragasztóanyag és az RR tartó kompatibilitás-vizsgálatát is.

A laboratóriumi vizsgálatok eredményeivel validált numerikus modellezést hajtottam végre AXIS VM és ABAQUS CAE végeselemes programok használatával, melyek alapján további elemzéseket végeztem az optimális kialakítás érdekében.

A korábbi laboratóriumi és a numerikus vizsgálati eredményeket felhasználva húzott szélső szálon erősített fa-beton öszvérgerendák hajlítási vizsgálatait is elvégeztem, melyekben a kapcsolatvizsgálati eredmények alapján optimális kapcsolati kialakítást tudtam megállapítani.

Az elvégzett vizsgálatok, az elkészített számítógépes szimulációk és véges elemes modellezések során kapott eredmények alapján javaslatokat, ajánlásokat fogalmaztam meg a műszaki alkalmazhatóságra, a technológiai utasításokra vonatkozóan.

Az új, bevezetés előtt álló tartószerkezeti rendszerek esetében elengedhetetlen az 1:1 méretű próbatesteken történő próbaterhelések végrehajtása. A kutatási projekt eredményeit, tapasztalatait felhasználva a doktori kutatás zárásaként megterveztem két eltérő kialakítású fa-beton öszvérszerkezetű hidat, melyeken laboratóriumi körülmények közti próbaterhelést hajtottam végre, vizsgálva a szerkezetek viselkedését szabványos koncentrált erőkre és a megoszló terhelésekre is.

4. TÉZISEK

1. Tézis:

Két nyírt síkú kinyomódás vizsgálatokkal elemeztem a fa-beton öszvérszerkezetek együttdolgozását jellemző K kapcsolati merevséget.

A kapcsolati merevség hajlított öszvérszerkezetű fa-beton gerendák alkalmazása esetén, a két tartórész csatlakozási felületén -a hajlításból keletkező vízszintes csúsztatófeszültségekből ébredő- a tartórészek egymáshoz képesti elcsúszással szembeni ellenállása.

A fa-beton öszvérszerkezetekre kidolgozott méretezési eljárásokban a kapcsolati merevség skalárértékkel történő közelítése kizárólag nagy kapcsolati merevség ($K \geq 50$ kN/mm) esetén alkalmas a kapcsolat viselkedésének jellemzésére.

A kis kapcsolati merevség ($K < 50$ kN/mm) esetén a megcsúszás nem mutat lineáris összefüggést a terhelőerő nagyságával. A kapcsolati merevségnek skalárértékkel történő helyettesítése ebben az esetben túlzottan nagy közelítést jelent a fa és beton közti elmozdulásainak pontos leírására. Ilyen kapcsolati kialakításoknál a numerikus modellezés során javaslom a kapcsolati merevségi függvények alkalmazását.

A vizsgálati eredmények alapján javaslatot tettem a különböző kapcsolattípusok esetén a méretezési eljárások során alkalmazott kapcsolati merevségi tényező értékeire és a merevségi függvényekre is.

Vonatkozó saját publikációk: [2] [4] [6]

2. Tézis:

Magyarországi piaci, gazdaságossági körülmények között elérhető tíz különböző kapcsolati kialakítást vizsgáltam laboratóriumban fa-beton öszvérszerkezetekben történő alkalmazásra.

Kísérletileg igazoltam, hogy a kapcsolatvizsgálati eredmények alapján a monolit vasbeton lemezzel rendelkező fa-beton öszvérszerkezetekhez az együttdolgozáshoz szükséges kapcsolati merevséggel (K > 50 kN/mm), valamint látszólagos képlékeny tartalékkal rendelkező kapcsolóelemtípus a fatartóba beragasztott perforált acéllemezes nyírókapcsolat.

A kapcsolatot képző perforált acéllemez a fa tartórészbe a fa rostirányával párhuzamosan nagy felületen történő epoxi ragasztással, a betonrészbe a beton kötése során megvalósuló lehorgonyzódással kapcsolódik, azaz a beton és fa rész közötti kapcsolat a beton szilárdulása során valósul meg. A kapcsolat tönkremenetele a fa tartórészben következik be, ahol perforált acéllemez mentén a fa tartórész rostirányban elnyíródik, eközben a kapcsolat továbbra is teherbíró marad, növekvő vízszintes elmozdulás mellett.

A kapcsolati merevség értéke az általam elvégzett vizsgálatok alapján a fatartóba beragasztott perforált acéllemezes nyírókapcsolat esetén teherbírási határállapotban K_u=70 kN/mm, míg használhatósági határállapotban K_{ser}=73.8 kN/mm értékre vehető fel.

Vonatkozó saját publikációk: [2] [6]

3. Tézis:

Valószínűségi nemlineáris végeselemes modelleket alkalmaztam az erősítés nélküli- és CFRP lamellákkal erősített rétegelt-ragasztott fagerendák elemzésére.

A Hill-féle képlékenyedési határfelület modelljét alkalmaztam a numerikus modell validálására, amelyben a laboratóriumi vizsgálatok eredményei megerősítették a numerikus előrejelzéseket. Továbbá írtam egy kódot, ami tartalmazza a megbízhatósági index elfogadását, mint olyan paramétert amely szabályozza a nemlineáris deformációkat, amelyben a faanyag tulajdonságait normális eloszlást követő valószínűségi változóknak tekintettem, átlagértékkel és szórással.

Az eredmények azt mutatják, hogy a megbízhatósági index β csökkenésével az átlagos Von-Mises feszültségek megfelelő értékei nőnek. A normálfeszültség-eloszlásának mintázata kevésbé volt intenzív a valószínűségi elemzés során, mint a determinisztikus elemzés esetében, így elmondható, hogy a β olyan ellenőrző határértékként működik, amely biztonságos kialakítást eredményez.

Megállapítottam, hogy a numerikus modellezés hatékony mind a nem megerősített, mind a megerősített gerendák hajlítási viselkedésének elemzésében, ezáltal csökkenteni lehet a laboratóriumi vizsgálatokra szánt várható erőforrásokat.

Vonatkozó saját publikációk: [1] [3] [8]

4. Tézis:

Összehasonlító elemzéssel bizonyítottam, hogy a szénszál erősítésű polimer lamellák elhelyezése a hajlított-nyírt, rétegelt-ragasztott fatartókban takarólamellás kialakítás esetén a leghatékonyabb. Ez a kialakítás nem eredményez jelentős teherbírás csökkenést az alsó szálon való elhelyezéshez képest, viszont az első hajlítási repedések kialakulása után a tartó további teherbírás-tartalékkal rendelkezik.

A Magyarországon kereskedelmi forgalomban elérhető szénszálas megerősítéseknek a rétegelt-ragasztott fagerendák húzott szélső szálán történő alkalmazásával a szerkezet viselkedése rideggé válik, míg a takarólamellás kialakítás gyakorlati felhasználás szempontjából is elegendő képlékeny tartalékkal rendelkezik.

Vonatkozó saját publikációk: [1] [5] [8]

5. Tézis:

Laboratóriumi vizsgálatok segítségével igazoltam, hogy olyan hajlított (összekapcsolt) erősített fa-beton gerendák esetén, melyeknél az optimális szerkezeti arányoktól eltérő a kialakítási forma, azaz kisebb fatartó kerül alkalmazása, a szerkezet öszvértartóként vehető figyelembe.

A fa-beton öszvérszerkezetek méretezése során a felhasznált anyagok merevségi aránya és szilárdsága alapján, az optimális szerkezeti elem magassági aránya a beton és a fa között 1:10, amennyiben a semleges tengely és a kapcsolati sík egybeesik.

Bebizonyítottam, hogy a vizsgált próbaszerkezetek esetén a tönkremenetelt a fa gerendák hajlító-húzó szilárdságának kimerülése okozza, a vasbeton fejlemez berepedésének nincs jelentős befolyása a szerkezeti viselkedésre.

Vonatkozó saját publikációk: [2] [7]

5. ÖSSZEGZÉS

Disszertációmban a hazai viszonyok között úttörőnek számító fa-beton öszvérszerkezetű hidak magyarországi bevezetésének alapjait készítettem elő.

Kisméretű két nyírt síkú kinyomódás vizsgálatokkal, fa-beton-fa elrendezésű próbatesteken végeztem el kapcsolatvizsgálatokat, melyek eredményeként arra jutottam, hogy a hazai piaci körülmények között a legcélravezetőbb kapcsolati kialakítás a fa tartórészbe epoxi ragasztóval beragasztott perforált acéllemez.

Laboratóriumi körülmények között három-, illetve négypontos hajlítóvizsgálatokat végeztem el erősítés nélküli és szénszálas lamellákkal (CFRP) erősített fagerendákon. A mérési eredmények alapján numerikus modelleket validáltam ABAQUS CAE általános végeselemes szoftverrel, melyekkel vizsgáltam a CFRP lamellák hatását a szerkezet viselkedésére. Az eredmények alapján a CFRP szalagnak az RR tartók gyártása közben (nem pedig utólagos megerősítési céllal) történő alkalmazásával olyan kompozit szerkezet hozható létre, mellyel csökkenteni lehet a fa keresztmetszeti méretet fa-beton öszvérszerkezet alkalmazása során.

Öszvérszerkezetű, CFRP szalaggal erősített fa-beton gerendák hajlítóvizsgálatait végeztem el laboratóriumi körülmények között. Ennek során kapcsolati kialakításként beragasztott perforált lemezes kapcsolatot, és összefeszített súrlódásos kapcsolatot alkalmaztam. A vizsgálati eredmények alapján a szerkezet teherbíró, hídépítési felhasználásra alkalmas.

Műszaki Előírás Tervezetet készítettem és javaslatokat fogalmaztam meg a fa-beton öszvérszerkezetű hidak méretezésének, kivitelezésének folyamatára.

Az általam megfogalmazott műszaki irányelvek alapján két 6,0 méter szabadnyílású fa-beton öszvérhídnak a próbaterhelését végeztem el. A mért legnagyobb lehajlási érték nem haladta meg az e-UT 07.01.12 [34] műszaki előírás és az MSZ EN 1995-2:2014 [42] szabvány által megfogalmazott határértéket.

6. TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK, LEHETŐSÉGEK

Jelen kutatásom folytatását illetve fejlesztését a következő irányokban tartom szükségesnek:

- A két szerkezeti részt együttdolgoztató további, egyedi mérnöki, műszaki kapcsolatkialakítások megvizsgálása;
- A rétegelt-ragasztott faszerkezetek gyártósoron történő erősítése, annak vandálbiztos kialakítása;
- A rétegelt-ragasztott fatartók és a kompozit erősítőanyagok esetében az optimális ragasztó- és erősítőanyag kiválasztása;
- A fa-beton öszvérszerkezetek numerikus modellezése;
- Az elkészült (laboratóriumban vizsgált) hidak kültérre való kitelepítése után, a hidak monitoring rendszerének kiépítése és az azok próbaterhelése. A beépítési körülmények közti és a laboratóriumban kapott mérési eredmények összevetése, kiértékelése;
- Olyan egyedi tervezési/méretezési eljárás kidolgozása a fa-beton öszvérszerkezetekre, ami töréselméleti alapokon nyugszik.

IRODALOMJEGYZÉK

A szerző hivatkozott publikációinak listája

[1] **HARRACH D, HABASHNEH, M & M. M. RAD, 2023.** „Numerical investigation of glue laminated timber beams considering reliability-based design", Acta Polytechnica Hungarica, Special issue on Up-to-date problems in modern railways and optimization in engineering structures, Volume 20, Issue Number 1, 2023. pp. 109-122. doi: http://doi: 10.12700/APH.20.1.2023.20.8

[2] **HARRACH D & M. M. RAD, 2023.** „Comprehensive laboratory test series of timber-concrete composite structures", Acta Polytechnica Hungarica, Special issue on Up-to-date problems in modern railways and optimization in engineering structures, Volume 20, Issue Number 1, 2023. pp. 231-250. doi: http://doi: 10.12700/aph..20.1.2023.20.16

[3] **HARRACH, D, HABASHNEH, M & M. M. RAD, 2022.** „Reliability-based numerical analysis of glulam beams reinforced by CFRP plate", Scientific Reports, vol. 12, no. 1. doi: http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-17751-6

[4] **HARRACH, D, MOLNÁR, V & MAJOR Z, 2022a.** „Fa-beton öszvérszerkezetek tervezési módszerei", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 245-257. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[5] **HARRACH, D, MOLNÁR, V & MAJOR Z, 2022b.** „Rétegelt-ragasztott fagerendák CFRP lamellával való megerősítése", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 273-286. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[6] **HARRACH, D, MOLNÁR, V & POLLÁK A, 2022.** „Fa és beton kapcsolata (elvi alapok, modellezés, laboratóriumi vizsgálatok)", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 258-272. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[7] **HARRACH, D & MOLNÁR, V, 2022. „**Fa-beton öszvérszerkezetű gerendák laboratóriumi vizsgálatai", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 287-302. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[8] **HARRACH, D & M. M. RAD, 2021a.** „Numerical flexural strengthening investigation of timber-CFRP composite beams", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1141, no. 1, p. 012010. doi: http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/1141/1/012010

A szerző egyéb publikációinak listája:

[9] **MAJOR, Z, IBRAHIM, SK, RAD, MM, NÉMETH, A, HARRACH, D, HERCZEG, G, SZALAI, S, KOCSIS SZÜRKE, S, HARANGOZÓ, D, SYSYN, M, KURHAN, D, BARANYAI, G, GÁSPÁR, L & FISCHER, S 2023.** „Numerical Investigation of Pre-Stressed Reinforced Concrete Railway Sleeper for High-Speed Application", Infrastructures, vol. 8, no. 3, p. 41, http://dx.doi.org/10.3390/infrastructures8030041

[10] **ELLER, B., M. M. RAD, M., FEKETE, I, SZALAI, S, HARRACH, D, BARANYAI, G, KURHAN, D, SYSYN, M, & FISCHER, S, 2023**. „Examination of Concrete Canvas under Quasi-Realistic Loading by Computed Tomography", Infrastructures Vol. 8, Issue 2, p. 23. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/infrastructures8020023

[11] **ELLER, B, SZALAI, SZ, SYSYN, M, HARRACH, D, JIANXING L., & FISCHER, S, 2023**. „Inner shear resistance increasing effect of concrete canvas in ballasted railway tracks", Naukovyi visnyk natsionalnoho hirnychoho universytetu / geotechnical and mining mechanical engineering, machine building paper: 00002, 2023. ResearchGate publ.: 368302817 INNER_SHEAR_RESISTANCE_INCREASING_EFFECT_OF_CONCRETE_CANVAS_IN_BALLASTED_RAILWAY_TRACKS

[12] **SZABÓ, V, HARRACH, D, FESZTY D & PERE B, 2023.** „A method for measuring normal stiffness of laminate stacks of electric motors", Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 2023. (Elfogadott)

[13] **HARRACH, D, MOLNÁR, V, MAJOR Z & POLLÁK A, 2022**. „Fa-beton öszvérszerkezetű hidak működési alapelve, külföldi térhódítása/elterjedése", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 235-244. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[14] **VIDRA, ZS, LIPÓT, Á, TAKÁCS Z Á, ŐS R, LAJTAI K, CSATÓ K & HARRACH D, 2022.** „Fa-beton öszvér hídszerkezet kutatása és kísérleti fejlesztése „hídépítős" szemmel", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 303-316. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[15] **SZALAI, S, ELLER, B, JUHÁSZ, E, M. M. RAD, NÉMETH, A, HARRACH, D, BARANYAI, G & FISCHER, S, 2022.** „Investigation of deformations of ballasted railway track during collapse using the Digital Image Correlation Method (DICM)", Reports in Mechanical Engineering, vol. 3, no. 1, pp. 258–282. doi: http://dx.doi.org/10.31181/rme20016032022s

[16] **LAJTOS, L, TÖRÖK, ZS, OROSZ, K, GOSZTOLA, D, SZÉP, J & HARRACH D. 2022.** „A félig előregyártott h-hídszegély teherbírásvizsgálata", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 227-231. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[17] **HARRACH, D, POLLÁK, A & BARANYAI, G, 2022.** „Az északnyugat-magyarországi régió adalékanyaiból készült nagy teljesítőképességű betonok laboratóriumi vizsgálatai", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 207-231. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[18] **HAJDÚ, G, HARRACH, D & M. M. RAD, 2022.** „Push-out kísérlet tapasztalatai", In: Borsos A. (szerk.), Kutatás-fejlesztés a hídépítésben, Universitas-Győr Nonprofit Kft., Győr, 2022., pp. 21-28. ISBN: 9786156491046 ISBN: 9786156491039

[19] **HARRACH, D & M. M. RAD, 2021b**. „Full scale laboratory tests of timber-concrete composite bridges", 12th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications (CogInfoCom 2021): Proceedings. ISBN:9781665424950; 9781665424943 2021. pp. 557-562. 5 p. 2021.

[20] **HARANGOZÓ, D & HARRACH, D 2021**. „Zömítő tompahegesztéssel toldott betonacél szálak alkalmazhatóságának vizsgálata", Műszaki Katonai Közlöny, vol. 31, no. 4, pp. 61–77. doi: http://dx.doi.org/10.32562/mkk.2021.4.5

[21] **MOLNÁR, V & HARRACH, D, 2021.** „Elkészült az első fa-betontartós öszvérhíd", konferenciaelőadás, Hidász napok, Siófok, 2021.

[22] **KÁROLYFI, KA, HARRACH, D & PAPP, F 2020**. „Investigation of the Effect of Formwork Shape on Packing Density of Aggregates", Pollack Periodica, vol. 15, no. 3, pp. 125–134, doi: http://dx.doi.org/10.1556/606.2020.15.3.12

[23] **NÉMETH, A, HARRACH, D, FEKETE, I & FISCHER, SZ, 2020.** „Korszerű műanyag vasúti hevederek laboratóriumi ciklikus fárasztási vizsgálatai", Nemzetközi Közlekedéstudományi Konferencia: X. Közlekedéstudományi Konferencia. A közlekedés jövője – A jövő közlekedés, Győr, (2020) pp. 571-577., 7 p., 2020.

[24] **MOLNÁR, V & HARRACH, D, 2019.** „Gerenda választás fa-beton öszvértartókhoz", konferenciaelőadás, Hidász napok, Siófok, 2019. https://docplayer.hu/163435147-Hidkonferencia-2019-gerenda-valasztas-fa-beton-oszvertartokhoz.html

[25] **HARRACH D, 2018.** Fa-beton öszvér felszerkezet modellezése, XXII. NEMZETKÖZI ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA, Kolozsvár, Románia, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2018) 236 p. pp. 69-73., 5 p.

[26] **MOLNÁR, V & HARRACH, D, 2018.** Bevezetésre váró új hazai hídtípus a fa-beton öszvérszerkezet: A jövő hídja Hidász napok, konferenciaelőadás, Siófok, 2018.

[27] **FISCHER, SZ, NÉMETH, A, HARRACH, D & JUHÁSZ, E 2018,** „Specific assessment method of railway ballast particle degradation based on unique laboratory test", Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, vol. 0, no. 3 (75), pp. 87–94, doi: http://dx.doi.org/10.15802/stp2018/134655

[28] **FISCHER, SZ, NÉMETH, A, HARRACH, D & JUHÁSZ, E 2018.** Vasúti zúzottkő ágyazati anyagok laboratóriumi fárasztással végzett aprózódásvizsgálatai, XXII. NEMZETKÖZI ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KONFERENCIA, Kolozsvár, Románia : Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) 236 p. pp. 58-61. 4 p., 2018.

[29] **HARRACH D, 2017a.** Fa-beton öszvértartós hídszerkezetek Kubinszki-konferencia, konferenciaelőadás, Sopron, 2017.

[30] **HARRACH D, 2017b.** Laboratory tests of timber-concrete composite connections, 13th Miklós Iványi International PhD & DLA Symposium - Abstract Book : Architectural, Engineering and Information Sciences Pécs, Magyarország : Pollack Press (2017) pp. 51-51. , 1 p.

[31] **NÉMETH, A, FISCHER, SZ & HARRACH, D, 2016.** „A Green Track környezetvédelmi gyűjtőtálca rendszer: A tálcák vizsgálatai", SÍNEK VILÁGA 58: 2 pp. 29-32. 4 p., 2016

A tézisfüzet további hivatkozott irodalmai

[32] **FRAGIACOMO, M, 2012**. „Experimental behaviour of a full-scale timber-concrete composite floor with mechanical connectors", Materials and Structures, vol. 45, no. 11, pp. 1717–1735. doi: http://dx.doi.org/10.1617/s11527-012-9869-3

[33] **GIRHAMMAR, UA, 2009**. „A simplified analysis method for composite beams with interlayer slip", International Journal of Mechanical Sciences, vol. 51, no. 7, pp. 515–530. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2009.05.003

[34] **e-UT 07.01.12:2011:** Erőtani számítás. Közúti hidak tervezése 2.

[35] **MSZ EN 1995-1-1:2010**: Eurocode 5: Faszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános szabályok. Közös és az épületekre vonatkozó szabályok

[36] **BAJZECEROVÁ, V & KANÓCZ, J, 2016**. „The Effect of Environment on Timber-concrete Composite Bridge Deck", Procedia Engineering, vol. 156, pp. 32–39. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.264

[37] **CVETKOVIC, R & STOJIC, D, 2003**. „Design methods of a timber-concrete T-cross-section", Facta universitatis - series: Architecture and Civil Engineering, vol. 2, no. 5, pp. 329–338. doi: http://dx.doi.org/10.2298/fuace0305329c

[38] **LUKASZEWSKA, E, JOHNSSON, H & FRAGIACOMO, M, 2008.** „Performance of connections for prefabricated timber–concrete composite floors", Materials and Structures, vol. 41, no. 9, pp. 1533–1550. doi: http://dx.doi.org/10.1617/s11527-007-9346-6

[39] **WACKER, JP, DIAS, AMPG & HOSTENG, TK, 2020**. „100-Year Performance of Timber–Concrete Composite Bridges in the United States", Journal of Bridge Engineering, vol. 25, no. 3. doi: http://dx.doi.org/10.1061/(asce)be.1943-5592.0001513

[40] **YEOH, D, FRAGIACOMO, M, DE FRANCESCHI, M & HENG BOON, K, 2011**. „State of the Art on Timber-Concrete Composite Structures: Literature Review", Journal of Structural Engineering, vol. 137, no. 10, pp. 1085–1095. doi: http://dx.doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0000353

[41] **RODRIGUES, JN, DIAS, AMPG & PROVIDÊNCIA, P, 2013**. „Timber-Concrete Composite Bridges: State-of-the-Art Review", BioResources, vol. 8, no. 4. doi: http://dx.doi.org/10.15376/biores.8.4.6630-6649

[42] **MSZ EN 1995-2:2014**: Eurocode 5: Faszerkezetek tervezése. 2. rész: Hidak