

Javaslatok rétegelt-ragasztott fatartók tervezéséhez, gyártásához és üzemeltetéséhez, felmérési és modellezési eredmények alapján

I. rész: Irodalmi áttekintés és a rétegelt-ragasztott fatartók tönkremeneteleinek felmérési eredményei

VANYA Csilla¹

¹ Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar

Kapcsolat: vanya.csilla@pmmik.pte.hu

Kivonat

A rétegelt-ragasztott fatartók egyre elterjedtebbé váltak az elmúlt 50 évben. A megfelelő minőségű anyagokból készített rétegelt-ragasztott tartók minőségi beszerelést és üzemeltetést követően időállóak, azonban egyre több esetben fordul elő a rétegelt-ragasztott tartók károsodása és a károsodás miatt egész tetőszerkezetek életveszélyessé válása. A felmerülő problémák miatt Magyarország jelentősebb komplexumait felmérték, ahol rétegelt-ragasztott tartók a teherhordó szerkezetek. A tartók rétegrepedéseit és egyéb tönkremeneteli problémáit, az épületek üzemeltetési jellegzetességeinek figyelembevételével határozták meg. A hibák ok-okozati összefüggéseit mérésekkel és számítási eljárásokkal vizsgálták. Ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok születtek, a tervezésre, a gyártásra és az üzemeltetésre vonatkozóan.

Kulcsszavak: rétegelt-ragasztott faszerkezet, delamináció, felmérés

Design, fabrication and operation proposals for glued-laminated timber, based on measuring and modelling results

Chapter 1: Literature review and the results of examinations of the spoil of the glue laminated timber beams

Abstract

Glue laminated timber beams have been used in an increasing number of cases in the past 50 years. Glue laminated beams are durable constructs if they are manufactured from adequate quality materials and if their installation and operation are performed to a high quality standard. There are however an increasing number of cases of glue laminated beams suffering damage and as a result entire roof structures becoming life-threatening. Because of the arising problems the most important building complexes in Hungary-in which glue laminated beams are used as bearing structures- have been examined, considering both the damage problems of the existing structures and the operating features of the buildings. Later the reasons for the damages were examined with measurements and calculations. From all these observations conclusions and suggestions have been outlined both for the design, construction and operation.

Keywords: glue laminated timber structures, delamination, examinations

Bevezetés

A rétegelt-ragasztott fatartók egyre elterjedtebbé váltak az elmúlt 50 évben. Jelenleg számos építőipari cég foglalkozik rétegelt-ragasztott faszerkezetek gyártásával és tartók építésével. A megfelelő minőségű anyagokból készített rétegelt-ragasztott tartók, minőségi beszerelést és üzemeltetést követően időtállóak, azonban egyre több esetben fordul elő a rétegelt-ragasztott tartók károsodása és a károsodás miatt egész tetőszerkezetek életveszélyessé válása (pl. pécsi uszoda, berettyóújfalui uszoda, harkányi III. sz. medence, stb.). A felmerülő problémákat és azok okait átfogóan kell vizsgálni, melynek megvalósítása nem kis feladat. A Nyugat-magyarországi Egyetem Simonyi Károly Karának Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézete elnyert egy pályázati támogatást (Baross Gábor RRTARTO1 OMFB-00398/2010). Ezen a pályázaton belül Magyarország jelentősebb komplexumait mérték fel, ahol rétegelt-ragasztott tartók a teherhordó szerkezetek. A tartók rétegrepedési és egyéb tönkremeneteli problémáit, az épületek üzemeltetési jellegzetességeinek figyelembevételével határozták meg. A hibák okait mérésekkel és számítási eljárásokkal vizsgáltuk. Ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok születtek, mind a tervezésre, gyártásra és üzemeltetésre vonatkozóan.

A cikksorozat első része egy részletesebb irodalmi áttekintést, az elnyert pályázatban szereplő – a Bartal és Rabb Kft. által elvégzett – 16 épület felmérését, illetve a rétegelt-ragasztott tartószerkezetek lehetséges tönkremeneteli módjainak ismertetését tartalmazza. A 16 épületen tapasztalt tönkremeneteli módok tudományos magyarázatát a jelen cikk nem tárgyalja, csupán általánosságban tesz felvetéseket.

A cikksorozat második része a felmérési eredményeket bizonyító számítási modellt, az ezzel elvégzett példákat, és az ezekből levont általános következtetéseket mutatja be.

A cikksorozat harmadik része a felmérési eredményeket bizonyító vizsgálatokat, méréseket tartalmazza, ezek után az összes tapasztalatból iránymutató következtetések és javaslatok kerülnek bemutatásra, a tervezésre, a gyártásra és az üzemeltetésre vonatkozóan.

Irodalmi áttekintés

Hansson és Larsen (2005) két viszonylag fiatal rétegelt-ragasztott tetőszerkezet tönkremenetelének okait mutatja be. Az egyik csarnok a dán Siemens Super Aréna, míg a másik a finnországi Jyväskylä csarnok. A publikáció bemutatja a szerkezetek kialakítását, tervezését, a szerkezet tervezése és kivitelezése során felmerülő problémákat, valamint az összeomlás lehetséges okait. A két szerkezet két különböző okból ment tönkre. Az egyik esetben már a tervezés fázisában, míg a másik esetben a gyártás és az építés során merültek fel a hibák.

Frese és Blaß (2011) átfogó elemzést készítettek németországi faszerkezetek károsodásairól. 550 kár került rögzítésre, melyeket osztályozni és értékelni próbáltak. A károk többségét a rétegelt-ragasztott tartók esetén a rétegelválás, vagyis a ragasztás nem megfelelő minősége, illetve a váltakozó klímaviszonyokból következő túlterheltség okozhatta. A károk felmérésének rendszerezéséből próbáltak előremutató következtetéseket levonni. A csoportosításuk során megállapítottak beruházói, tervezési, statikai, anyagminőségi, gyártási, kivitelezési, épületfizikai, nedvesedési, váltakozó klimatikus hatású, rovarok okozta és karbantartási problémákat.

Frühwald és Thelandersson (2008) munkájukban számos faszerkezet összeomlásának hátterét vizsgálták. Leggyakoribb hiba a rossz tervezés, például a forma kialakítása volt. Probléma a kivitelezés pontatlansága, a hibás faanyagvédelem. Megállapították, hogy a hibáknak csak kis részét okozza a fa minősége.

A tartókban keletkező feszültségek nem egyedül a külső terhelésből származnak. Vannak úgynevezett sajátfeszültségek is. Gyakorlatban ezekkel a belső feszültségekkel nem foglalkoznak, pedig igen jelentősek is lehetnek. A gyártás során keletkező és a klimatikus hatásokból származó sajátfeszültségeket Szalai (1985), (1984-85), (1994), (2001) illetve Szalai és Kánnár (2002 a), (2002 b) határozta meg.

A rétegelt-ragasztott faszerkezetekre a páratartalom befolyásoló hatását is többen kutatták, kutatják. Több tanulmány, publikáció jelent meg már ezzel kapcsolatosan is.

Gustafsson, Hoffmeyer és Valentin (1998) munkájukban a ragasztott LVL gerendákat vizsgálták állandó és ciklikus páratartalom esetén. Megállapításuk szerint a páratartalom és a nedvességingadozás jelentősen befolyásolja a gerendák teherbíró képességét, mind rövid távú, mind hosszú távú terhelés esetén is.

Niemz, Bärtschi, és Howald (2005) a több rétegű tömörfa panelek homlokzati repedéseinek okait vizsgálták, eltekintve a statikus terhektől. A repedések okai a nedvességsökkenés, vagyis a különböző klimatikus hatások. Azt vizsgálták, hogy mennyire befolyásolják a faanyag különböző felületi kezelése a fában ébredő feszültségeket, és hogyan csökkenthetőek a repedések a tartókban ezen felületkezelő anyagok segítségével.

Häglunk (2009) a nedvesség befolyásoló hatásairól ír faszerkezetek esetén. A nedvesség okozta feszültség fő okának a környező levegő nedvességváltozását adja meg.

Angst és Malo (2012) munkájukban a nedvesség okozta feszültségeket vizsgálják rétegelt-ragasztott keresztmetszetek esetén. A környezet okozta nedvességváltozás befolyásolja a biztonságot és a használhatóságot. Repedések alakulnak ki, de ezek függenek a geometriai kialakításoktól.

Major (2010) TDK dolgozatában a faanyag nedvességtartalmának változását vizsgálta klimatikus hatások figyelembevételével. A próbatesteket a kísérlet előtt klimatizálásnak vetette alá. Ciklikus klimatikus terhelést alkalmazott. Végül mérte a nedvességtartalmakat, melynek eredményeiből arra lehetett következtetni, hogy a rétegelt-ragasztott tartókban a klimatikus hatásokra létrejövő nedvességeloszlás miatt a lamellák deformálódnak, és közöttük húzó és nyomó igénybevételek jönnek létre. A keletkező feszültségek a ragasztórétegre hatnak, a lamellák száradásakor a ragasztó húzó igénybevételnek van kitéve, míg a lamella nedvedésekor a dagadás következtében nyomó igénybevételt szenved. Ez a folyamatos igénybevétel tönkre teheti a lamellákat, ezért erre a hatásra is méretezni kell a ragasztót, ha tudjuk, milyen klímába kerül majd a szerkezet.

Garab és tsai. (2010) munkájukkal egy új értékelési módszert fejlesztettek ki rétegelt-ragasztott gerendák vizsgálatára. Dolgozatuk bemutatja a rétegelt-ragasztott tartók esetén a tipikus hibákat is. Szemrevételezés mellett roncsolásmentes méréseket is alkalmaztak. A roncsolásmentes vizsgálatok alkalmasak belső rejtett hibák kimutatására is. A módszer ötvözi a szemrevételezés és a roncsolásmentes technikákat.

Ipari adatgyűjtés, tönkremeneteli problémák behatárolása

A Bartal és Rabb Kft. a Baross Gábor pályázatához 16 épület felmérését végezte el (Kánnár 2012). A projektbe bevont jelentős klimatikus kitettséggű rétegelt-ragasztott fa tetőszerkezetek vizsgálati helyszínei:

- Harkány, III. sz. medence időközben lebontott térlefedő szerkezete
- Harkány, „legyező” medence térlefedő szerkezetei
- Harkány, „B” medence térlefedő szerkezetei
- Harkány, élményfürdő térlefedő szerkezetei
- Harkány, Zsigmond Vilmos Gyógykórház balneológia medence lefedés
- Soproni uszoda gömbsüveg kupola
- Eger, élményfürdő 2 kupolája
- Eger, sportuszoda
- Hajdúszoboszló, élményfürdő
- Hajdúszoboszló, városi uszoda
- Mohács, városi uszoda.

Állandó légállapotúnak tekinthető térlefedések: Sopron MKB Aréna edzőterem és sportcsarnok; Harkány, városi tornacsarnok; Pécs, vásárcsarnok; Kisharsány, református templom tetőszerkezete.

A megvizsgált 16 épületnél 4 épület esetében észleltek gyártási, kivitelezési hibát. A harkányi III. sz. medence lefedésénél a tartókat gyártás közbeni *ragasztóréteg elválás*¹ miatt menet közben facsavarral megerősítették. Az egri sportuszodánál a tartókat – vélelmezhetően gyártási problémák miatt – kivitelezés közben a tartó hossz tengelyére merőlegesen összecsavarozták, majd ezt ledugózták, és egy újabb lamellával lefedték. A hajdúszoboszlói városi uszoda esetében a kivitelezés közben évekig lefedés nélkül álló tartók lamellái szétváltak, a tartókat utólagos pántolással látták el. Ugyanitt a tanmedencénél a tartón belül lamellaméret-változtatás miatt a tartók lamellái szétrepedtek, a tartókat utólagos pántolással látták el.

Jellemző repedés a tartók végein, a kapcsoló elemeknél a lamella-szétválás. A csavarkötés elemei között a lamellák gátolt alakváltozásúak, ezért ezeken a helyeken a tartó rendszerint szétreped.

A vékonyabb lamella kevésbé veszélyes, de a nagyobb terhelés miatt ott is lehet repedés. A harkányi tornacsarnok három darab vastag lamellából álló tartója szétrepedt, a vékony lamellás nem (1. ábra).

Az egri élményfürdőnél a két gömbkupola összemetsződésében levő vápa tartó vékonyabb lamellákból áll, mint a többi tartó, mégis ez reped, mert jóval nagyobb igénybevétel éri. A mohácsi városi fürdő esetében

¹ Rétegelválásnak nevezzük azt, amikor a ragasztórétegben fellépő feszültségek meghaladták a ragasztás szilárdságát, repedésnek pedig azt nevezzük, amikor a faanyagban a feszültségek meghaladták a szilárdságot és elrepedt.

a túlméretezett nyomott oszlopokon – mivel egyenletes a feszültség a tartóban – alig van repedés; míg a szelemenekben – melyek végein jelentős a nyíró igénybevétel is – a tartók felrepedtek. (A csavarkötés hatása is ott jelentkezik.)

A koncentrált erő bevezetése repedési hajlammal jár. Kisharsányban a templom tetőszerkezetén a vonórúd bekötésnél a tartó lamellái elváltak (2. ábra).

Az egyenletes klímában a tartók kevésbé repednek. A harkányi élménymedence nyitható tetejű, a tartók felrepedése jelentős. Az egrí élményfürdő, valamint a hajdúszoboszlói élményfürdő esetén a stabil, éjjel-nappal működő klíma megfelelő egyenletes légállapotot mutat. A harkányi városi tornacsarnokban nincs szellőzés, a légállapot általában stabilnak mondható, a felmérés során a legnagyobb mértékű repedések itt jelentkeztek.

A bütük és a kifutó lamellás kialakítás jelentős rétegelválasí kockázati tényező. A harkányi elbontott III. sz. medence tartóinál törvényszerű volt a „fogyószálás” rész lerepedése. A harkányi új medencék közül a „B” medencénél a kifutó lamellás sarok keretek repedtek. Pécssett az uránvárosi piacnál a kifutó lamellás keretek inkább a bütüknél repedtek. A mohácsi városi uszoda esetén a keretek kifutó lamellásak, de láthatóan jelentős mértékben túlméretezettek. A nyomott oszlopokban a lamellákban közel azonos feszültség van, így a lamellaszétválasí-hajlam nem jelentős. Tapolcán a városi rendezvénycsarnokban, 2012 márciusában a kifutó lamellás rész lerepedt a tartóról (3. ábra), a gerincáttörések mentén további bütü felületek alakultak ki a tartón, ahol a bütü jelentősebb párafelvételi hajlama további többlet feszültséget vitt a tartóba, klimatikus sajátfeszültség formájában.

A tartók inhomogenitásának problémái is felmerültek a felmérések során. A harkányi új medencék közül a „B” medence 3-as tartójának ultrahangos vizsgálata az egyes lamellák jelentős szilárdsági inhomogenitását mutatta. A tapolcai rendezvénycsarnok műszeres és vizuális vizsgálata kimutatta, hogy a tartó jelentős számban belet tartalmazó lamellából állt.



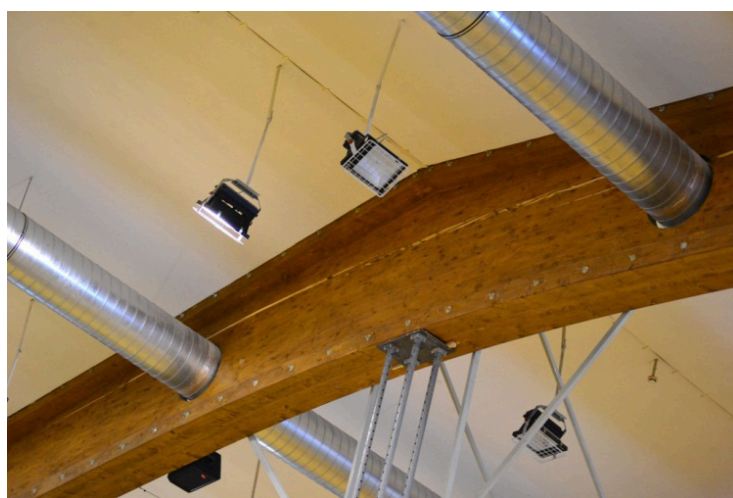
1. ábra A harkányi tornacsarnok vékony lamellás ép és vastag lamellás repedt tartói

Figure 1 Cracked beams made of thin and thick lamellas in the gym hall in Harkány



2. ábra A kisharsányi templom tetőszerkezetének repedése az erőbevezetésnél

Figure 2 Crack at the loading point in the roof-construction of the church in Kisharsány



3. ábra Tapolca, városi rendezvénycsarnok: fogyószálás rész lerepedése

Figure 3 Crack of the outrunning grain in the Tapolca town-hall

A bél körüli anyaggal (ún. juvenilis fával) kapcsolatban a legnagyobb probléma, hogy ebben az anyagban jelentősen nagyobb a fában egyébként többnyire elhanyagolható mértékű hosszirányú zsugorodás-dagadás. (Ez annak köszönhető, hogy a juvenilis fa sejteinek falában sokkal nagyobb a mikrofibrillaszög, emiatt a sejtek, és a sejtekből felépülő faanyag is nagyobb méretmozgást mutat.) A bél körüli fa anatómiai és szilárdsági tulajdonságainak jelentős eltérése miatt, a tartó inhomogenitása és ezáltal a változó klimatikus körülmények között keletkező belső feszültségei jelentősen növekednek (4. ábra). Az inhomogenitás jelen esetben túl a lamella ortotrop tulajdonságain, a lamellák eltérő rugalmassági modulusa következtében az előállított keresztmetszettel jellemezhető tartó további, a tartó élettartamára jelentős kihatással bíró inhomogenitást mutat. Az eltérő rugalmassági modulusú (szilárdsági kategóriájú) lamellák az egyébként szeszélyesen változó klimatikus környezetben eltérő módon viselkednek, emiatt a tartóban jelentős, az igénybevételekből számítható feszültségekkel összemérhető nagyságú, és azokhoz hozzáadódó belső, ún. saját feszültségek keletkeznek. Az inhomogén lamellás tartók lamella elválása fizikailag törvényszerű.

Tönkremenetek lehetséges okai

A rétegelt-ragasztott fa tartószerkezet lamelláinak szétválása több tényező együttes hatására következhetett be, ezek:

- gátolt zsugorodási-dagadási alakváltozás
- kifutó lamella
- a lamellák eltérő nedvességtartalma
- a tartó hossz tengelyére merőleges feszültségek
- ragasztási probléma
- a faanyag anizotrop, inhomogén anyagi tulajdonságai
- az egyes tartók lamelláinak csupán vizuális és nem gépi szilárdsági osztályozáson alapuló osztályozása.

A rendkívüli környezeti feltételeknek kitett rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetnél a repedések megjelenése gyakran előforduló jelenség. A felvett víz hatására a fa rostjai dagadnak, száradáskor zsugorodnak. Változó klimatikus környezetben gyors zsugorodás és dagadás mellett a fa belső feszültségei repedésekhez vezethetnek (klimatikus saját feszültségek). Az iker főtartós kialakításoknál alkalmazott betétfák rostiránya merőleges a főtartó rostirányára, és emiatt a két faelem zsugorodása-dagadása különböző, illetve részben gátolt folyamat, a két faelem gyakorlatilag egymást repeszti szét.

Mivel a fa ortogonálisan anizotrop, a vízfelvétel során fellépő alakváltozás is – az egyéb fizikai jellemzőkhöz hasonlóan – jelentős mértékben függ az iránytól. Rostirányban a zsugorodás-dagadás mértéke legalább egy nagyságrenddel kisebb, mint sugár vagy tangenciális irányban. A szabad tartóvégeken, ami a lamellák nyitott bütü felületét jelenti, a gyorsabb nedvesedés vagy száradás következtében hamar keletkeznek repedések.

A kifutó lamellák, melyek a tartó változó magasságú kialakításának következményei, szintén jóval több nedvességet vesznek fel, mint a többi lamella. A nedvesebb lamellák dagadnak, és a fa tartóban jelentős belső feszültségek alakulnak ki. Eltérő nedvességtartalmú lamellák esetén még rezorcin-formaldehid ragasztó alkalmazása esetén is történhet lamella szétválás, elsősorban a tartó zsugorodásból eredő belső feszültségei következtében. Statikai számításokkal egyébként is bizonyítható, hogy a változó keresztmetszetű tartó kiegészítő, kifutószálas részében nagyobb rosttal párhuzamos normálfeszültségek ébrednek, mintha nem lenne ott a kiegészítés. Építészeti okokból szükséges kiegészítést ezért csak ráhelyezik (együttműködés nélkül) a párhuzamos övű tartóra. Ez a megoldás egy kedvezőbb erőjátékú szerkezetet eredményez.

A tartó alakjából és az igénybevételekből fakadóan szintén keletkeznek a tartó hossz tengelyére merőleges nyomó-húzó feszültségek, és a zsugorodási-dagadási feszültségek ezekkel összegződnek. Mivel a repedések jelentős mértékben a lamellák között, a ragasztás síkjában fordulnak elő, nem lehet kizárni a ragasztási problémát sem.



4. ábra A tapolcai rendezvénycsarnok repedt tartójának bütüje

Figure 4 End grain of the cracked beam in the Tapolca town-hall

A csomóponti kötésekhez alkalmazott acélbetétek, lemezek mérete és alakja a nedvesség hatására nem változik, és emiatt a faelem zsugorodása-dagadása részben gátolt folyamat.

Ugyanezeket állapította meg Kánnár (2011) is.

Összefoglalás

Sokan kutatták és kutatják a rétegelt-ragasztott fatartók viselkedését, mint azt az irodalmi áttekintés mutatja. De sokkal átfogóbb kutatásokra van szükség, hogy ténylegesen meg tudjuk érteni a rétegelt-ragasztott fatartók viselkedését, károsodásainak okait. Megállapítható, hogy a rétegelt-ragasztott fa tartószerkezetek tönkremeneteleinek és meghibásodásainak problémáit sok okra vezethetjük vissza, mint azt a felmérési eredményekből is láthatjuk.

Hogy ezen okokat megértsük és kiküszöbölhessük, számítómódellet dolgoztunk ki, mellyel különféle eseteket vizsgáltunk. A számítómódellet, az ezekkel megvizsgált esetek, és ezekből levonható következtetések kerülnek bemutatásra a cikksorozat második részében.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- Angst V., Malo A. K.: 2012: Moisture-induced stresses in glulam cross sections during wetting exposures; Springer-Verlag 2012, Wood Science Technology DOI 10.1007/s00226-012-0493-8,
- Bartal és Rabb Kft.: 2010: KUTATÁSI JELENTÉS A BAROSS RRTARTO1 OMFB-00398/2010 számú pályázathoz, 118.
- Frese M., Blaß H. J.: 2011: Statistics of damages to timber structures in Germany, Contents lists available at SciVerse ScienceDirect, Engineering Structures, journal homepage: www.elsevier.com/locate/engstruct, Engineering Structures 33 (2011) 2969–2977
- Frühwald, E., Thelandersson S.: 2008: Design of safe timber structures, http://www.ewpa.com/Archive/2008/june/Paper_269.pdf
- Garab J., Karácsonyi Zs.: 2010: Engineering strength of European ash (*Fraxinus excelsior* L.), Proceedings of “Hardwood Science and Technology, the 4th Conference on Hardwood Research and Utilisation in Europe 2010” xxx
- Garab J., Tóth Á., Szalai J., Bejő L., Dívós F.: 2010: Evaluating glued laminated beams using a nondestructive testing technique, Transactions of Famena 34(4):33–46
- Gustafsson P. J., Hoffmeyer P., Valentin G.: 1998: DOL behaviour of end-notched beams, Holz als Roh- und Werkstoff 56 (0998) 307–317, Springer-Verlag 1998
- Häglunk M.: 2009: Parameter influence on moisture induced eigen-stresses in timber, European Journal of Wood and Wood Products (2010) 68:397–406, Springer-Verlag 2009, DOI 10.1007/s00107-009-0377-2
- Hansson M., Larsen H.J.: 2005: Recent failures in glulam structures and their causes, Engineering Failure Analysis 12 (2005) 808–818
- Kánnár A.: 2011: Theoretical and experimental investigations of damage development of glulam beams The 17th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium 2011. szept 14–16. Sopron Hungary. Proceedings 367–374
- Kánnár A.: 2012: Szakmai zárójelentés: Rétegelt ragasztott fatartók méretezési és technológiai innovációja a klimatikus sajátfeszültségek figyelembevételével projekt REG-ND-09-2-2009-0019
- Major B.: 2010: Faanyag nedvességtartalmának változása klimatikus hatásokra, Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar, 1–23
- Szalai J.: 1984–85: Rétegelt-ragasztott íves fatartók gyártása során, valamint klímaváltozás következtében fellépő sajátfeszültségeinek és alakváltozásainak meghatározása, Kandidátusi értekezés tézisei, 11.
- Szalai J.: 1985: Rétegelt ragasztott íves fatartók gyártása során, valamint klímaváltozás következtében fellépő sajátfeszültségeinek és alakváltozásának meghatározása, Kandidátusi értekezés; Sopron, 151.

- Szalai J.: 1992: Indirekte Bestimmung der Scherfestigkeit des Holzes mit Hilfe der anisotropen Festigkeitstheorie, Holz als Roh- und Werkstoff 50:233-238
- Szalai J.: 1994: A faanyag anizotrop rugalmasságtana. I. rész. A mechanikai tulajdonságok anizotrópiája. Hillebrand nyomda. Sopron
- Szalai J.: 1996: Az erdei fenyő (Pinus sylvestris) technikai szilárdságai, Bútor- és Faipar (6-7):14-15
- Szalai J.: 1997a: Technische Festigkeiten des Buchenholzes (Fagus sylvatica), Drevársky Vyskum (Wood Research), 42(3): 1-14
- Szalai J.: 1997b: A faanyag anizotrop szilárdsági jellemzői, az MTA Doktori tudományos cím megszerzéséért benyújtott disszertáció; Sopron, 248.
- Szalai J.: 1998a: Technische Festigkeiten der Akazie (Robinia pseudo-Acacia) und der Fichte (Picea abies), Drevársky Vyskum (Wood Research), 43(3-4):39-61
- Szalai J.: 1998b: Design values of acacia and spruce (Robinia pseudo-Acacia and Picea excelsa), Drevarsky Vyskum 43(3-4):39-51
- Szalai J.: 1999: Technische Festigkeiten der Eiche (Quercus robur). A Soproni Egyetem Tudományos Közleményei. (Scientific Bulletin, University of Sopron), 42-45:189-198
- Szalai J.: 2001: A faszerkezetek méretezését és gyártását befolyásoló sajátosságok; (Wittmann Gy. szerk.) Mérnöki faszerkezetek II., Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 143-258.
- Szalai J., Kánnár A.: 2002a: Réteges felépítésű faszerkezeti elemek klímaváltozás során bekövetkező vetemedésének és sajátfeszültségeinek számítása. 1. rész: elméleti összefoglaló. Faipar L. évf. 2002/1. 19-23.
- Szalai J., Kánnár A.: 2002b: Réteges felépítésű faszerkezeti elemek klímaváltozás során bekövetkező vetemedésének és sajátfeszültségeinek számítása. 2. rész: Az elméleti levezetések eredményeinek alkalmazása. Faipar L. évf. 2002/4. 7-12.
- Szalai J.: 2005: Technische Festigkeiten der Pannonia Pappel (Populus x euramericana cv. Pannonia) und Zerreiche (Quercus cerris L.), Acta Sylvatica Lignaria Hungarica 1:93-103
- Vanya Cs.: 2012: Damage problems in glued laminated timber; Drewno – Prace, Naukowe, Donesienia, Komunikaty, No. 188, pp.115-128; ISSN 1644-3985