

CSAVAROS FA-FA KAPCSOLATOK MEGCSÚSZÁSI MEREVSÉGÉNEK VIZSGÁLATA

Ph.D. értekezés tézisei

Erdódi László
okl. építőmérnök

Tudományos vezető:

Bódi István, PhD.
egyetemi docens

Budapest, 2008.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. Kutatási előzmények	1
3. Célkitűzések, kutatási módszerek	2
3.1 Kísérleti vizsgálatok	2
3.2 Végeselemes vizsgálatok	2
3.3 Számítógépes iterációs eljárás	3
3.4 Analitikus számítási eljárás	4
4. Kutatási eredmények	4
4.1 Fémcsapok erő-benyomódás összefüggése	4
4.2 Egyszernyírt csavaros fa-fa kapcsolatok egy csavarjának merevségvizsgálata	5
4.3 Kétszernyírt csavaros fa-fa kapcsolatok egy csavarjának merevségvizsgálata	6
4.4 Több csavarból álló kapcsolatok megcsúszásának vizsgálata	7
Hivatkozások a tézisfüzetben	8
Tudományos közlemények az értekezés témakörében	8
További tudományos közlemények	9

1. BEVEZETÉS

Faszerkezetek szerkezeti elemeinek összekapcsolása több ezer éves múltra tekint vissza. Az ókorban kialakított fa-fa típusú kapcsolatoktól kezdve napjaink rétegelt ragasztott fatartóinak modern csomópontjáig számos megoldás lehetséges a teherhordó fa szerkezeti elemek összekapcsolására. Egy kapcsolat legfontosabb jellemzői az ellenállása és a merevsége. A teljes szerkezet globális modellezésénél elengedhetetlen az összekapcsolt elemek igénybevételek hatására bekövetkező elmozdulásainak ismerete, mivel a csomópont merevsége meghatározza az igénybevételek pontos eloszlását. Emellett az elmozdulások pontos ismerete a használati állapotok számításánál is fontos.

Fa kapcsolatok egyik gyakori formája a karcsú hengeres fém kötőelemmel kialakított csomóponti megoldás, a csapos kapcsolat. Csapos kötőelemek lehetnek szegek és csavarok is egyaránt. Dolgozatomban csavarozott fa-fa kapcsolatok merevségét vizsgálom tengelyükre merőlegesen működő nyíró típusú igénybevételekre. Megcsúszási merevségen az összekapcsolt faelemek egymás közötti egységnyi relatív elmozdulásához tartozó erőt értjük. A nemlineáris erő-megcsúszás kapcsolat miatt a megcsúszási merevség értelmezhető a terhelés kezdetén vagy bármely más szakaszában is. Dolgozatomban a erő-megcsúszás kapcsolat kezdeti értékét (kezdeti megcsúszási merevség vagy megcsúszási modulus) és a teljes erő-megcsúszás viselkedését is vizsgálom.

2. KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

Csapos kapcsolatok méretezésénél alapvető probléma a csap deformációjának figyelembe vétele. A fában elhelyezett csapok nem csak palástnyomásra és nyírásra vannak igénybe véve, jelentős hajlítónyomaték is terhelheti a deformálódó csapokat. A palástnyomási igénybevétel számításakor a csap deformációja általában nem elhanyagolható. A csap elfordulása, a csapban keletkező görbület, a csapnak a fába történő benyomódása és a keletkező palástnyomás egymással szoros kölcsönhatásban vannak, amelyet a számítási módszernek is tükröznie kell.

Faanyag esetében a számításokat nehezíti az anyagi anizotropia, amely miatt a számításnál különös figyelmet kell fordítani a terhelés iránya és a rostirány által közbezárt szögre. A csap felületén fellépő palástnyomási feszültséget a faanyag beágyazási szilárdsági jellemzőjével vesszük figyelembe. A beágyazási szilárdságot a rostirány is befolyásolja.

Csapos kapcsolatok csapjaiban fellépő nagy deformációk figyelembevételének szükségességére először Johansen [5] hívta fel a figyelmet. Az általa bemutatott és később az Eurocode 5 [2] által is átvett számítási eljárás egyenletes feszültségeloszlást feltételez figyelembe véve a feszültségek előjelének változását is. Johansen a szerkezeti kialakítástól függően többféle tönkremeneteli módot vizsgál, amelyek során a faanyagban történő palástnyomási illetve a csap megfolyása miatt bekövetkező tönkremenetekhez tartozó határerőket számítja (Johansen egyenletek). A Johansen egyenletek fa-fa és fa-fém típusú csapos kapcsolatok tönkremeneteléhez tartozó határerők meghatározására szolgálnak, de a kapcsolatok merevségének számítására nem adnak útmutatást.

Az Eurocode 5 [2] csapos kapcsolatok megcsúszási merevségének számítására vonatkozó jelenlegi előírásai nem veszik figyelembe az alábbi jellemzők egyikét sem:

- a faelemek keresztmetszeti méretei
- a kapcsolati kialakítás (egyszernyírt, kétszernyírt)
- a terhelés iránya

Foschi [3] 1974-ben rámutatott az erő-megcsúszás összefüggés nemlineáris mivoltára. Sawata és Yasamura [4] bemutatta, hogy a palástnyomási szilárdság és az egységnyi benyomódáshoz tartozó palástnyomási feszültség is függ a rostiránytól.

Több csapból álló kapcsolatok esetén a fent említett hiányosságokon túl az Eurocode 5 [2] a megcsúszási merevséget lineárisan arányosnak tekinti a nyírási síkok és a csapok számának szorzatával, amely nem feltétlenül ad pontos eredményt.

3. CÉLKITŰZÉSEK, KUTATÁSI MÓDSZEREK

Elvégzett kutatásaim során a jelenleg alkalmazott számítási módszerek (Eurocode 5 [2], MSZ15025 [1]) által – az előző fejezetben megfogalmazott - figyelmen kívül hagyott vagy nem megfelelően figyelembe vett hatások vizsgálatát és a számítási eljárás pontosítását tűztem ki főcélul.

A csapok faanyagba történő benyomódásának figyelembe vételéhez szükséges a benyomódási merevség definiálása, amely alapja egy kapcsolat vizsgálatának. Ezért kutatásom időben első célja a csapok erő-benyomódás összefüggésének megadása volt. Legfontosabb célom volt megalkotni egy vagy több általános összefüggést, amelyek a kezdeti megcsúszási merevség számításakor a jelenleg ismert összefüggéseknél pontosabb eredményt adnak, figyelembe veszik a faelemek méretének, a rostirányának és a kapcsolattípus hatásait is. Célom volt továbbá, hogy kidolgozzak egy olyan számítógépes eljárást, amely nem csak a kezdeti merevség meghatározására alkalmas, hanem a kapcsolat teljes erő-megcsúszás összefüggését szolgáltatja. Több csavarból álló kapcsolatok esetén megvizsgálom a kapcsolóelemek viselkedésének egymásra hatását nyíró típusú igénybevételek esetén.

Kitűzött céljaim eléréséhez négyféle kutatási módszert használtam.

3.1 Kísérleti vizsgálatok

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékének Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában a kutatási céljaim eléréséhez különböző típusú kísérleteket hajtottam végre. A csapok erő-benyomódás diagramjainak meghatározásához 93db kísérletet hajtottam végre, amelyekben különböző csapátmérőket, terhelési irányokat és faanyagokat alkalmaztam.

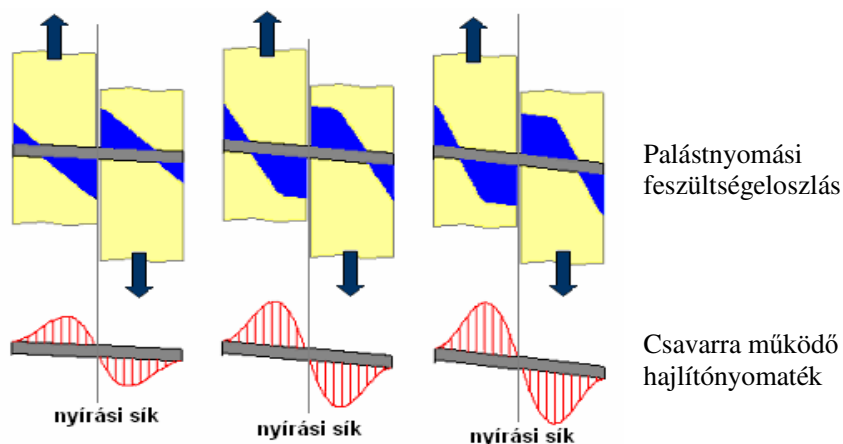
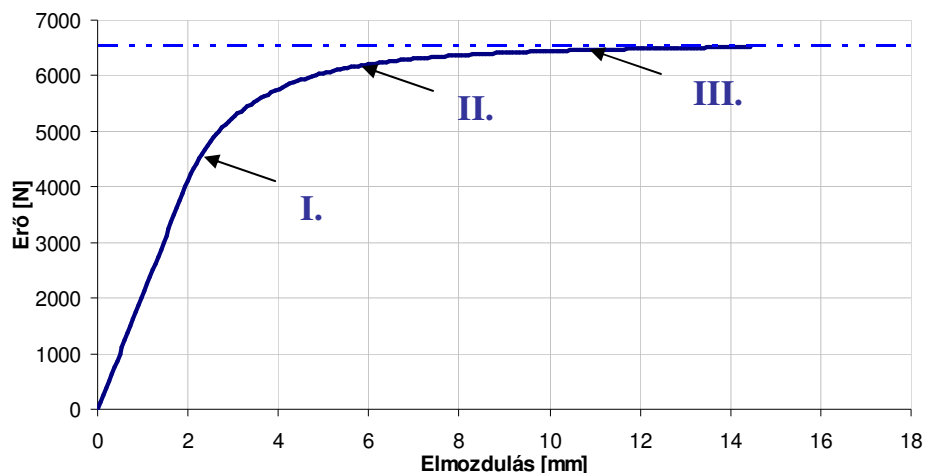
3.2 Végeselemes vizsgálatok

Különböző kapcsolatok teljes erő-megcsúszás görbéje végeselemes számításokkal is meghatározható. Ennek érdekében nyíróerővel terhelt egyszer- és kétszernyírt csavaros kapcsolatok végeselemes vizsgálatát hajtottam végre. A dolgozatban bemutatott vizsgálatok három dimenziós modelleken alapulnak, melyek téglatest elemekből épülnek fel. A modellek tartalmazzák az összekapcsolt faelemeket és a csavart, illetve csavarokat is. A csavar és a faelem közötti kapcsolatot a faelem és a csavar palástja között definiált kontakt elemek

biztosítják. Ugyancsak kontakt elemeket definiáltam a faelemek érintkező felületein. A modellbe beépített kontakt elemek, valamint a csavar anyagának nemlineáris anyagmodellje, nemlineáris végeleemes számítást igényelt. A végeleemes számításokat Ansys programmal [6] végeztem.

3.3 Számítógépes iterációs eljárás

A kapcsolatok erő-megcsúszás karakterisztikájának kísérlettel vagy végeleemes módszerrel történő meghatározása időigényes és bonyolult. Ezért kidolgoztam egy iterációs eljárást, amely szintén a teljes erő-megcsúszás viselkedést megadja, viszont alkalmazása gyors és egyszerű.



1. ábra Iterációs eljárás: erő-elmozdulás diagram, számított palástnyomási feszültségeloszlások

Az iterációs módszer során a tengelye mentén elemi hosszúságú részekre felosztott csavar egyik végéből elindulva a csavar másik vége felé haladva folyamatosan számítom a csavar minden egyes részének benyomódását, a fellépő palástnyomási feszültséget, a görbületet és az elfordulást. Az eljárás lényege, hogy a csavar kezdőpontjának benyomódását és elfordulását egy kezdeti értékből kiindulva folyamatosan addig változtatom, amíg mindkét egyensúlyi feltétel (függőleges vetületi, nyomatéki) nem teljesül. A kapcsolatra működő erő értékét fokozatosan növelve a kapcsolat teljes erő-elmozdulása összefüggése meghatározható.

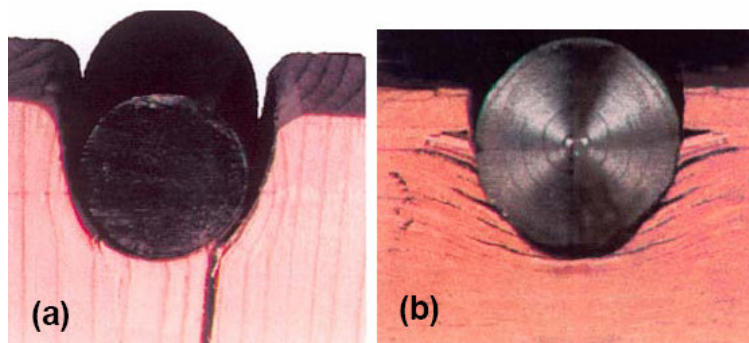
3.4 Analitikus számítási eljárás

A csapos kapcsolatok tönkremenetelét leíró Johansen egyenletek mindegyike egy feltételezett feszültségeloszláson alapszik, amely közvetlen a tönkremenetel előtt érvényes. A kezdeti megcsúszási merevség meghatározásához a legegyszerűbb megoldás a kapcsolat megcsúszási merevségének számítására egy lineáris feszültségeloszlás feltételezése, amely a terhelés kezdeti időtartalmában érvényes. Ezt feltételezve valamint a csapok benyomódási merevségét felhasználva analitikus számításokkal meghatározható a kapcsolati megcsúszási modulus.

4. KUTATÁSI EREDMÉNYEK

4.1 Fémcsapok erő-benyomódás összefüggése

Csapos kapcsolatok modellezésénél kulcsfontosságú a csapra vonatkozó erő benyomódás karakterisztika ismerete. Mivel a csap a faanyagban nagy elmozdulásokat végez, a faelem és a fémcsap közötti kapcsolat nem modellezhető egy egyszerű kontakt típusú problémával. A 2. ábra egy rostirányú és egy rostra merőleges benyomódást szemléltet.



2. ábra a, rostirányú benyomódás b, rostra merőleges benyomódás

Az elvégzett vizsgálatok bebizonyították, hogy a csapok benyomódási merevségét a fa fajtája, a rostirány és a csapátmérő is jelentősen befolyásolja.

1. Tézis

Kísérleti alapon megadtam öt különböző - Magyarországon szerkezetépítésben alkalmazott - fafajtának három különböző csapátmérőhöz tartozó palástnyomás-benyomódás összefüggését rostirányú és rostirányra merőleges terhelés esetén.

a, Bevezettem a benyomódási merevség fogalmát, amely a fémcsapok egységnyi erőhöz tartozó faanyagba történő benyomódását jelenti.

b, Tervezési függvényeket adtam meg, amelyekkel a palástnyomás-benyomódás összefüggés egyszerűsített módon figyelembe vehető rostirányú és rostirányra merőleges terhelés esetén.

c, Megmutattam, hogy rostirányú benyomódás esetén a csapátmérő nem befolyásolja a benyomódási merevséget, ezzel szemben rostirányra merőleges terhelés esetén a csapátmérő hatással van a benyomódási merevségre (nagyobb csapátmérőhöz kisebb merevség tartozik).

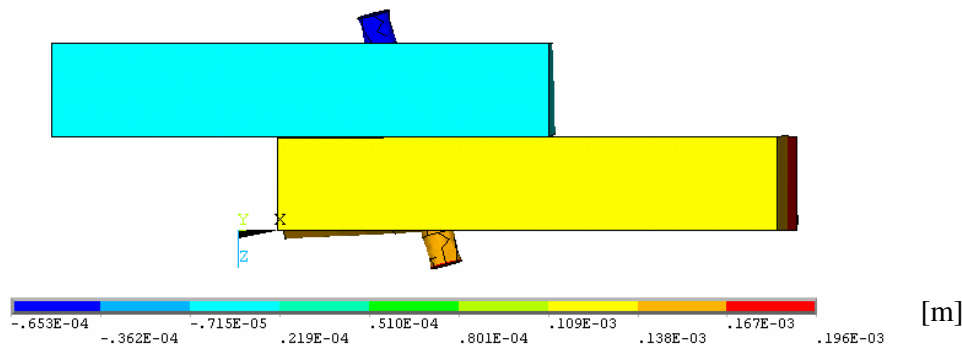
Kapcsolódó publikációk: [S1], [S3].

4.2 Egyszernyírt csavaros fa-fa kapcsolatok egy csavarjának merevségvizsgálata

Dolgozatomban paraméteres analízist hajtottam végre az egyszernyírt szimmetrikus és nem szimmetrikus kialakítású valamint kétszernyírt kialakítású fa-fa kapcsolatok erő-megcsúszás karakterisztikájának meghatározására. Vizsgáltam a faelemek keresztmetszeti méretének, a csavarátmérőnek és az erő rostiránnyal bezárt szögének a kapcsolat megcsúszási merevségére gyakorolt hatását. A kidolgozott számítási eljárásom (iterációs eljárás) pontosságát és megfelelőségét végelelemes számítási eredményekkel (2.ábra) igazoltam mind egyszernyírt szimmetrikus és nem szimmetrikus kapcsolati kialakítás esetén.

Egyszernyírt szimmetrikus kapcsolatok esetén az eredmények azt mutatták, hogy a faelemek szélessége abban az esetben jelentősen növeli a kapcsolat megcsúszási merevségét, ha a csavar nem túl karcsú, azaz a faelem szélességének (t) és a csavarátmérőnek (d) az aránya kisebb tíznél ($t/d < 10$). Az erő rostokkal bezárt szögének a kapcsolati merevségre gyakorolt hatását vizsgálva azt tapasztaltam, hogy a rostirányú terheléstől eltérve a megcsúszási merevség arányosan csökken, rostirányra merőleges terhelés esetén mintegy harmadára csökken a rostirányú terheléshez képest.

Nemszimmetrikus egyszernyírt kapcsolatok esetében az összekötött faelemekben kialakuló palástnyomási feszültségeloszlás nem azonos, így a csavar sem nyomatékmentes a nyírási síkban. Ez a kapcsolati viselkedés teljesen különbözik a szimmetrikus kialakítású viselkedéstől. Ennek ellenére az érvényben lévő szabályzatok [2] [1] a kapcsolati merevséget mindkét esetben ugyanúgy határozzák meg. Számítási eredményeim (amelyeket a szimmetrikus kapcsolathoz képest módosított iterációs eljárással kaptam) azonban azt mutatják, hogy a mindkét faelem szélességi mérete és a rostiránya is jelentősen befolyásolják a megcsúszási merevséget.



3. ábra Elmozdult alak

Nyírt kapcsolatok analitikus számításához levezettem egy képletet, amely megadja a kezdeti megcsúszási merevséget külön szimmetrikus és nem szimmetrikus kialakítás esetén is. A számítás pontosságát iterációs eljárással és végelelemes eljárással is igazoltam.

2. Tézis

Iterációs eljárást dolgoztam ki egyszernyírt fa-fa típusú csavaros kapcsolatok erő-megcsúszás viselkedésének meghatározására, amely figyelembe veszi a faelem sűrűségét, geometriai méreteit, az alkalmazott csavar átmérőjét és anyagminőségét, a terhelés irányát és a tönkremenetel módját. Az iterációs eljárás pontosságát végelelemes számításokkal igazoltam.

a, Megmutattam, hogy amennyiben a kapcsolóelem nem „túl karcsú” (faelem vastagság/átmérő < 10), akkor a kapcsolati megcsúszási merevség kezdeti értékét valamint a teljes erő-megcsúszás karakterisztikát a faelemek szélességi mérete is befolyásolja: nagyobb faelem szélességhez nagyobb merevség tartozik.

b, Megmutattam, hogy a rostiránytól függő különböző erő-benyomódás összefüggések miatt az egyszernyírt kapcsolatok teljes megcsúszási viselkedését - így a kezdeti megcsúszási merevséget is - jelentősen befolyásolja az erő és a rostirány viszonya: a rostirányú merevség hozzávetőleg háromszorosa a rostra merőleges értéknek.

c, Levezettem egy összefüggést, amely a csapban lejátszódó kezdeti deformáció közelítő felvételén alapszik és egyszerűen alkalmazható egyszernyírt fa-fa kapcsolatok kezdeti megcsúszási merevségének közelítő meghatározására. Az összefüggés pontosságát az iterációs eljárással és végeleemes számításokkal is igazoltam.

Kapcsolódó publikációk: [S1].

4.3 Kétszernyírt csavaros fa-fa kapcsolatok egy csavarjának merevségvizsgálata

Kétszernyírt fa-fa típusú csapos kapcsolatoknak négyféle tönkremeneteli módja lehetséges az Eurocode 5 [2] szerint. Hasonlóan az egyszernyírt esethez, a faanyag palástnyomási tönkremenetele és a csap folyása vezethet a teherbírás kimerüléséhez. Mind a négy esetben a tönkremenetel szimmetrikus, így a csap deformációi is szimmetrikusak.

Egyszernyírt kialakítás esetén a számítási eredményeim azt mutatták, hogy a csavar átmérője lineáris arányban áll a megcsúszási merevséggel, azonban kétszernyírt esetben ez az arányosság nem áll fenn.

Hasonlóan az egyszernyírt kialakításhoz, legnagyobb megcsúszási merevség rostirányban tapasztalható. Rostirányra merőleges terhelésnél a kapcsolat megcsúszási merevsége akár háromszor kisebb is lehet.

Kétszernyírt fa-fa típusú kapcsolatok megcsúszási viselkedésének vizsgálatánál az egyszernyírt kapcsolatok vizsgálatához hasonlóan kutatási következtetéseimet egy önállóan kidolgozott numerikus iterációs módszerrel, végeleemes vizsgálatok eredményeivel valamint az irodalomban publikált kísérleti eredményekkel támasztottam alá.

3. Tézis

Iterációs eljárást dolgoztam ki kétszernyírt fa-fa típusú csavaros kapcsolatok erő-megcsúszás viselkedésének meghatározására. Az eljárás figyelembe veszi a faelem sűrűségét, geometriai méreteit, a csavar átmérőjét és anyagminőségét, a terhelés irányát és a tönkremenetel módját. Az iterációs eljárás pontosságát végeleemes számításokkal valamint az irodalomban található kísérleti eredményekkel igazoltam.

a, *Megmutattam, hogy teljesen megegyező kapcsolati kialakítás esetén (faelemek mérete és rostiránya, csavarátmérő azonos) a kétszernyírt kapcsolatok egy nyírási síkra jutó megcsúszási merevsége geometriától függően négy-ötszöröse a megegyező kialakítással készült egyszernyírt kapcsolatok merevségének.*

b, *Igazoltam, hogy kétszernyírt csavaros kapcsolatok merevsége a csavarátmérőnek nem lineáris függvénye, szemben az Eurocode 5 által előírt számítási képlettel. Vizsgálataim*

alapján a megcsúszási merevség és a csavarátmérő viszonya a kapcsolat kialakításának függvényében más és más, a csavarátmérő átlagosan másfeledik hatványával arányos.

c, Megmutattam, hogy a rostiránytól függő különböző erő-benyomódás összefüggések miatt a kétszernyírt kapcsolatok teljes megcsúszási viselkedését- így a kezdeti megcsúszási merevséget is- jelentősen befolyásolja az erő és a rostirány viszonya: a rostirányú merevség hozzávetőleg háromszorosa a rostra merőleges értéknek.

d, Kidolgoztam egy összefüggést, amely egyszerűen használható kétszernyírt csavaros fa-fa kapcsolatok kezdeti megcsúszási merevségének közelítő meghatározására abban az esetben, ha a nyírási síkokra jutó faelem szélességi méretei közelítőleg megegyeznek, azaz ha $t_2 \approx 2t_1$.

Kapcsolódó publikációk: [S2], [S4].

4.4 Több csavarból álló kapcsolatok megcsúszásának vizsgálata

Az Eurocode 5 [2] és az MSZ15025 [5] egyenesen arányosnak tekinti a kapcsolat teherbírási és megcsúszási merevségét a nyírási síkok és a csapok számának szorzatával. Végeselemes analízissel valamint a Lantos-modell [7] segítségével azt vizsgáltam, hogy az előzőekben bemutatott erő-megcsúszás diagrammok alapján hogyan változik a kapcsolatok megcsúszási merevsége a csavarok számának növelésével.

Végeselemes vizsgálattal megmutattam, hogy a csavarokban lejátszódó deformációk kis eltéréssel de megegyeznek, azaz az általuk felvett erők is közel azonosak. A kapcsolatok merevség növekedése közel egyenesen arányos a csavarok számmal, egészen pontosan egy-két százalékos merevségcsökkenés következik be az egy csavarra vonatkozó megcsúszási merevség és a csavarszám szorzatához képest. Figyelembe véve a számított erő-megcsúszás összefüggéseket a csavarok különböző (kis különbség) benyomódásából meghatározható a csavarok közötti erőeloszlás. Mivel az erő-megcsúszás összefüggés kezdeti szakasza a kapcsolat fajtájától és geometriai paramétereitől függetlenül lineárisnak tekinthető, a csavarokban lévő erők átlaga megegyezik az egy csavarból álló kapcsolatok esetén a csavarra jutó erővel. Mindez azt jelenti, hogy a kapcsolat teljes megcsúszása is lineáris arányban van a csavarok számával. Az Eurocode 5 [2] szerinti számítás egyszernyírt kapcsolatok esetében ezzel összhangban van. Kétszernyírt esetben az Eurocode 5 [2]-tel ellentétben a teljes megcsúszási merevség nem az egyszernyírt egy darab kötőelemet tartalmazó kapcsolatra vonatkozó merevségi érték kétszerese és a kötőelem számának szorzata, mivel két darab egyszernyírt kötőelemet tartalmazó kapcsolat merevsége nem azonos az egy darab kétszernyírt kötőelemet tartalmazó kapcsolatével. Kétszernyírt esetben a teljes megcsúszási merevség az egy darab kétszernyírt kötőelemre vonatkozó merevség és a kötőelemek számának szorzataként nyerhető.

4. Tézis

A csavarok fába történő benyomódási viselkedése alapján, a különálló csavarokra meghatározott erő-megcsúszás összefüggéseket alapul véve megvizsgáltam a csavarszámnak a kapcsolat teljes erő-megcsúszás viselkedésére gyakorolt hatását. A Lantos-moddal valamint végeselemes vizsgálatokkal igazoltam, hogy az erőeloszlás a csavarok között nem teljesen egyenletes, ennek ellenére a kezdeti megcsúszási merevség számítható az egy csavarra vonatkozó megcsúszási merevség és a csavarok számának szorzataként.

Bebizonyítottam, hogy ez a számítási eljárás a jelenleg érvényben lévő számítási eljárásoknál pontosabb eredményt ad kétszernyírt kapcsolati kialakítás esetén.

Kapcsolódó publikációk: [S2], [S4].

HIVATKOZÁSOK A TÉZISFÜZETBEN

- [1] MSZ15025 Építmények teherhordó faszerkezeteinek tervezése, 1986.
- [2] MSZ EN 1995-1-1:2004 Eurocode 5: Faszerkezetek tervezése 1-1.rész: Általános szabályok. Közös és az épületekre vonatkozó szabályok, 2004.
- [3] Foschi, R., O. Load-slip characteristics of a nail, Wood Sci. 7(1), 1974, pp. 69-76.
- [4] Sawata K., Yasumura M., Determination of embedding strength of wood for dowel-type fasteners, Wood Sci (2002) Vol.48. pp. 138-146, 2002
- [5] Johansen, K., W. Theory of timber connections, International Association of Bridge and Structural Engineering (IABSE), Publications, Ninth Volume, Zürich, Switzerland, 1949, pp. 249-262.
- [6] Ansys Realase 11.0, Ansys Inc, 2007.
- [7] Lantos, G., Load distribution in a row of fasteners subjected to lateral load. Wood Science. Vol. 1(3), 1969: pp:129-136

TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Lektorált idegen nyelvű folyóiratcikkek:

- [S1] László Erdődi, István Bódi, *Numerical determination of the slip modulus of dowel-type timber joints*, Pollack Periodica Vol. 2, Pécs, 2007. pp.35-44.
- [S2] László Erdődi, István Bódi, *Analysis of the moment-rotational stiffness of dowelled timber joints*, Pollack Periodica Vol. 3, Pécs, 2008. pp.57-64.

Cikk szerkesztett könyvben:

- [S3] Erdődi László, Bódi István, *Fémcsapokkal terhelt faanyagok benyomódási viselkedésének vizsgálata*, A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki kar, Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, Budapest, 2008. (Közlésre elfogadva)
- [S4] Erdődi László, Bódi István, *Kétszernyírt csavarozott fakapcsolatok erő-megcsúszás viselkedésének vizsgálata*, A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki kar, Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, Budapest, 2008. (Közlésre elfogadva)

TOVÁBBI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

Lektorált magyar nyelvű folyóiratcikk:

- [S5] Erdődi László, Bódi István, *A fa száliránytól függő szilárdsági jellemzőinek összehasonlítása az Eurocode 5 és a kompozit törési elméletek alapján*, Építés – Építésztudomány XXX(3-4), 2002. pp. 241-256.

Nemzetközi konferencia kiadványban megjelent publikációk:

- [S6] László Erdődi, István Bódi, *Numerical and experimental analyses of engineering timber joints*, High Performance Structures and Materials II, WITPRESS, 2004 pp. 201-210.
- [S7] László Erdődi, István Bódi, *Load-carrying capacity analyses of timber joints using mechanical fasteners*, Progress in Structural Engineering, Mechanics and Computation (ed:Alphose Zingoni), Cape Town, South Africa, 2004. pp 259, 1233-1237.
- [S8] László Erdődi, István Bódi, *Comparison of The Strength Characteristics of Wood According to Combined Stress Theories and EC5*, IABSE Conference Lahti 2001, Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 2001. pp. 125-130.
- [S9] László Erdődi, István Bódi, *Load-dependent Behavior of Wood Fiber Reinforced Concrete*, IABSE Conference Lahti 2001, Innovative Wooden Structures and Bridges, Lahti, Finland, 2001. pp. 543-548.
- [S10] László Erdődi, István Bódi, *Carrying capacity analysis of timber connections using split-ring connector considering the anisotropic property*, Proceedings of the International PhD Symposium in Civil Engineering (Ed: Konrad Bergmeister) Vienna, Austria, October 5-7, 2000. pp. 465-473.
- [S11] László Erdődi, István Bódi, *Analysis of timber connections using nailboards*, Proceeding of the International PhD Symposium in Civil Engineering (Ed: Peter Schießl) Munich, Germany, September 19-21, 2002. pp. 143-148.
- [S12] László Erdődi, István Bódi, *Comperative analyses of timber joints using nail-plates*, 5th International PhD Symposium in Civil Engineering (ed:Joost Walraven), Delft, The Netherlands, 2004. pp. 1245-1252.
- [S13] László Erdődi, István Bódi, *plates*, International Conference on Joints in Timber Structures, Stuttgart, Germany, 2001. pp. 13-23.

Cikk szerkesztett könyvben:

- [S14] Erdődi László, Bódi István, *Keresztirányú feszítés hatása mérnöki faszerkezetek kapcsolataira*, A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki kar, Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, Budapest, 2001. pp 29-36.
- [S15] Erdődi László, Bódi István, *Fémgyűrűs fakapcsolatok teherbírásának numerikus és kísérleti vizsgálata*, A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki kar, Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, Budapest, 2002. pp 103-112.
- [S16] Erdődi László, Bódi István, Koris Kálmán, *Torokgerendás fedélszék számítása az Eurocode 5 szerint*, Tetőszerkezetek A-tól Z-ig, Átfogó gyakorlati kézikönyv tervezőknek, kivitelezőknek, 11. aktualizálás és kiegészítés, Verlag Dashofer, Budapest, 2003. május, 4.rész, 10.fejezet 1-29.oldal, 4.rész, 11.fejezet 1-7.oldal
- [S17] Erdődi László, Bódi István, *Szeglemezes kötésű tartószerkezetek gyakorlati kialakítása és általános méretezése*, Tetőszerkezetek A-tól Z-ig, Átfogó gyakorlati kézikönyv tervezőknek, kivitelezőknek, 14. aktualizálás és kiegészítés, Verlag Dashofer, Budapest, 2004. február, 4.rész, 5.2.6.fejezet 1-17.oldal