

FÉMGYURUS FAKAPCSOLATOK PALÁSTNYOMÁSI TEHERBÍRÁSÁNAK VIZSGÁLATA PONTOSÍTOTT FELÜLETI NYOMÁSELOSZLÁS ALAPJÁN

Erdodi László - Bódi István***

RÖVID KIVONAT

A BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában számos fémggyurus fakapcsolatokat vizsgáltunk az elmúlt időszakban. Az kísérleti eredményeket numerikus vizsgálatok eredményeivel is összevetettük. A numerikus és kísérleti vizsgálatok eredményeinek tükrében megállapítható, hogy a számított illetve a mért teherbírási eredmények és a faszerkezetek tervezésével foglalkozó szabványok teherbírási értékei között egyes kapcsolati elrendezések esetében számottevő eltérések tapasztalhatók.

1. BEVEZETÉS

A faszerkezetek tervezésével foglalkozó Magyarországon is elfogadott Európai Szabvány (MSZ ENV-1995-1-1 Eurocode 5) számos olyan egyszerűsítő feltételezést alkalmaz csapos fakapcsolatok teherbírási meghatározásakor, amellyel a szabvány által szolgáltatott eredmények nem lesznek elegendően pontosak bizonyos geometriai elrendezésekben, vagy lokális terhelési esetekben. Ebben a cikkben zártgyurus fakapcsolatok teherbírási meghatározásával foglalkozunk, a szabvány említett eredményit hasonlítjuk össze numerikus vizsgálatok eredményeivel, valamint saját kísérleti eredményekkel, melyeket a Budapesti Műszaki Egyetem Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában mértünk.

Az elsőként bemutatott számítási eljárás az anizotrop anyagok elméletén alapszik. A szerkezeti elemek felületén fellépő feszültségeloszlásokat és a kapcsolóelemek felületén működő palástnyomás eloszlását az anizotropia figyelembevételével határozzuk meg. Ezáltal olyan lokális hatásokat veszünk figyelembe, melyeket rendszerint elhanyagoltunk a hagyományos szabvány szerinti számítási eljárások során.

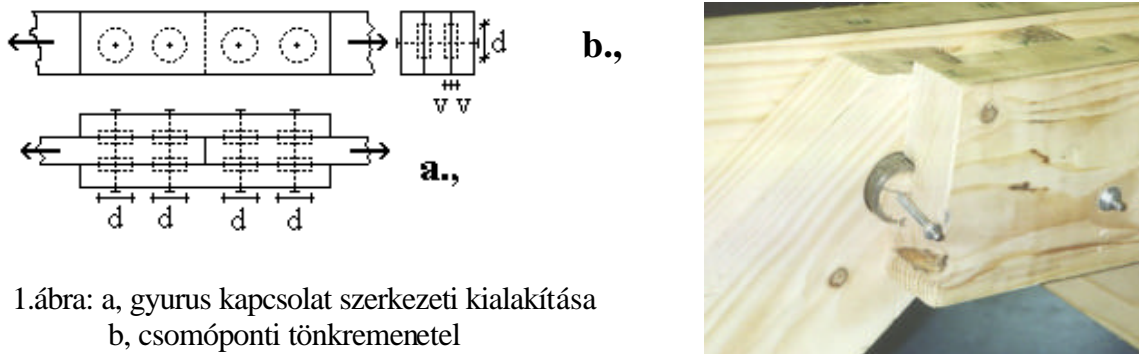
A szabvány eredményeit numerikus és kísérleti eredményekkel is összevetjük. Az alkalmazott 3 dimenziós ortotrop végeelemes analízis segítségével elsősorban a palástnyomás eloszlását próbáljuk meghatározni, a palástnyomási teherbírási értékére a felületi feszültségeloszlásból következtetünk.

* okl. építőmérnök, doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

** okl. építőmérnök, PhD, egyetemi docens, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

2. ZÁRTGYURUS FAKAPCSOLATOK SZERKEZETI KIALAKÍTÁSA

Gyurus kapcsolóelemeket gyakran alkalmazunk olyan esetekben, amikor a kapcsolatra működő erő akkora nagyságú, hogy szegezett vagy csavaros kapcsolóelemek számára nem lenne elegendő hely, hogy megfelelő nagyságú erőt közvetítsenek. Az ilyen típusú kapcsolatokban fémgyuruket alkalmazunk a faelemekbe beékelve az erő továbbítása céljából. (1.a ábra) Minden gyuruhöz tartozik egy fuzocsavar, amely az erő irányára merőlegesen fogja össze a kapcsolatot. Egy ilyen fémgyurus kapcsolat egy lehetséges tönkremeneteli módja látható az 1.b. ábrán.



1.ábra: a, gyurus kapcsolat szerkezeti kialakítása
b, csomóponti tönkremenetel

3. GYURUS KAPCSOLATOK PALÁSTNYOMÁSI VIZSGÁLATA

3.1. Vizsgálat az Eurocode 5 szerint (EC5)

Zártgyurus fakapcsolatok palástnyomási teherbírása az alábbi képlettel írható le az Eurocode 5 6.2.1. fejezete alapján:

$$R_d = f_{c,\alpha,d} d v, \quad (1)$$

ahol

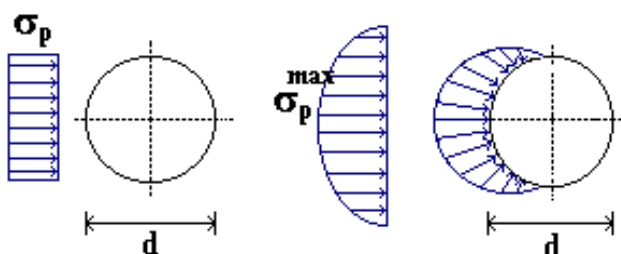
- α : az eróirány és a rostirány által bezárt szög mértékadó értéke,
- $f_{c,\alpha,d}$: a nyomószilárdság tervezési értéke a rostiránnyal α szöget bezárva,
- v a kapcsolóelem beeresztési mélysége,
- d a gyuru külső átmérete.

Mint azt az (1) kifejezés mutatja, az EC5 a palástnyomási teherbírást az eróirányú nyomószilárdság és a gyuru eróirányú felületének szorzataként számítja. Ebben az eljárásban egyenletes feszültségeloszlást feltételeznek a gyuru külső felületén (2.a ábra), a gyuru felületén működő feszültség ugyanakkor nem eróirányú (egy pont kivételével) a gyuru alakjának köszönhetően. (2.b ábra) Ez ellentmond annak, hogy a palástnyomási teherbírás képletében csak az eróirányú nyomószilárdság szerepelt. Acélanganyagok esetén ez elfogadható, de faszervezetek gyurus kapcsolatainak esetében, az anizotrop tulajdonságra tekintettel, érdemes a palástnyomási teherbírást részletesebben megvizsgálni.

3.2. Vizsgálat a pontosított feszültségeloszlás alapján (PF)

Acélszerkezetek hengeres kapcsolatainál általában koszinuszos feszültség eloszlást tételezünk fel a kapcsolóelem palástján (2.b ábra).

A fa nyomószilárdság diagramját és a feltételezett koszinuszos palástnyomás eloszlást ábrázolva meghatározhatjuk, hogy a gyuru palástjának melyik pontján észlelhető elször a tönkremenetel (3. ábra).



2.ábra: Palástnyomás eloszlás a gyuru külso felületén
a, egyenletes eloszlás b, koszinuszos eloszlás

A teherbírás pontos értékének meghatározásához a következő lépések szükségesek:

1. Annak az iránynak a meghatározása (α^*), ahol a lokális tönkremenetel elször bekövetkezik. Ehhez ábrázolni kell a fa nyomószilárdság diagramját, és egy olyan feszültség eloszlást, amely érinti a szilárdsági függvényt, de nem metsz bele. A keresett irány ott van, ahol a két függvény érinti egymást.
2. Az ero irányában muködo (maximális) feszültség meghatározása. Ez a feszültség könnyedén meghatározható a lokális tönkremeneteli irány ismeretében:

$$\sigma_p^{\max} = \frac{f_{c, \alpha, k}}{\cos \alpha}, \quad (2)$$

ahol α : a lokális tönkremenetel iránya,
 $f_{c, \alpha, k}$: a nyomószilárdsági érték ebben az irányban.

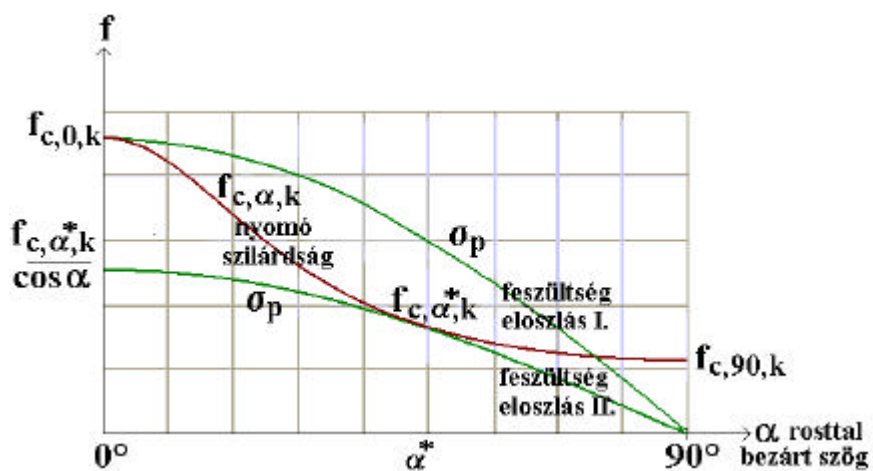
3. A palástnyomási teherbírás meghatározása a koszinuszos feszültség eloszlás figyelembe vételével a (3) integrál formula segítségével:

$$R_d = 2 \cdot d \cdot \int_0^{\frac{\pi}{2}} [(\sigma_p^{\max} \cdot \cos \alpha) \cdot \cos \alpha] d\alpha \cdot v, \quad (3)$$

ahol v : a kapcsolóelem beeresztési mélysége;
 d : a gyuru külso átméroeje.

A (3) képlet két $\cos \alpha$ szorzót tartalmaz. Az elso a feszültség eloszlását veszi figyelembe, a második pedig a feszültségek eroirányú komponensét képezi.

A 3. ábrán látható esetben az eróirány és a rostirány megegyezik. A gyuru külső felületén ható nyomófeszültségnek a gyuru felületének minden pontján kisebbnek kell lennie a fa nyomószilárdságánál.



3.ábra: A nyomószilárdság és a gyuru palástján működő koszinuszos feszültségeloszlás összehasonlítása

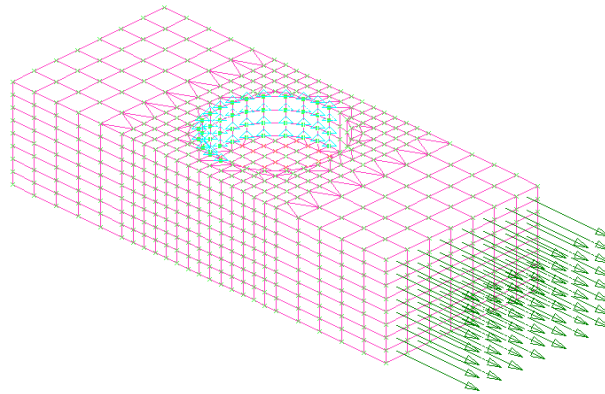
A 3. ábrán látható I. és II. esetekben csak a második (II.) feszültségeloszlás lehetséges az előbbi feltétel miatt. A lokális tönkremenetel ebben az esetben α^* irányból következik be először.

Ez az eljárás eltérő eredményt is adhat a következő okok miatt: A „koszinuszos” feszültségeloszlás csak feltételezés, minden más feszültségeloszlás más eredményt szolgáltat. Ugyanakkor az sem egyértelmű, hogy valóban a teherbírás felső határát kaptuk-e meg, ha a nyomószilárdságot a gyurunak csak egy pontján értük el. A feltételezett "koszinuszos" eloszlás helyett más lehetséges feszültségeloszlásokat is megvizsgáltunk. A palástnyomási teherbírás értékét azonban csekély mértékben befolyásolták a "koszinuszostól" eltérő feszültségeloszlások.

4. GYURUS KAPCSOLATOK VÉGESELEMES ANALÍZISE

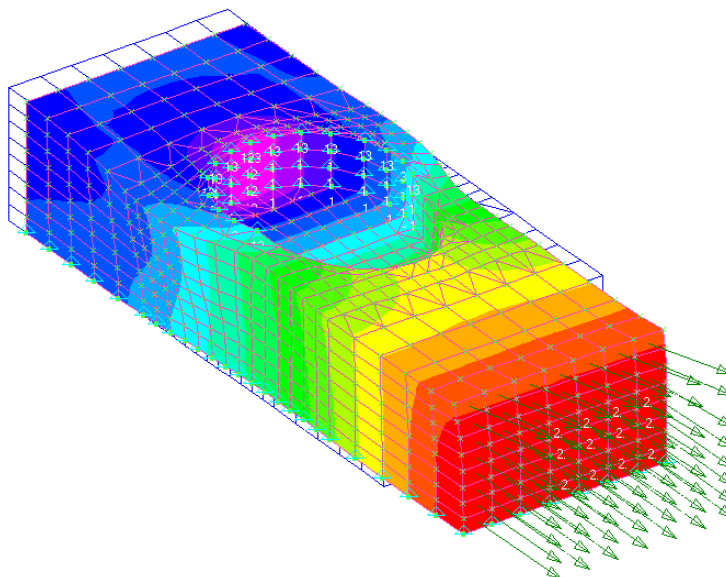
Mivel a nyomófeszültség eloszlása a gyuru külső felületén nem egyértelmű, a kapcsolatot egy végeelemes program (VEM) [4] segítségével is megvizsgáltuk. A vizsgált egyszerű modell egy faelemből és a hozzá tartozó gyuruból állt. (4. ábra)

A fémglyurut a „kivágott henger” palástján elhelyezett sugárirányú megtámasztásokkal modelleztük. Az anyagot ortotropnak definiáltuk különböző rostirányokkal. A modellt a külső felületen (a büttös végen) egyenletes húzófeszültséggel terheltek.



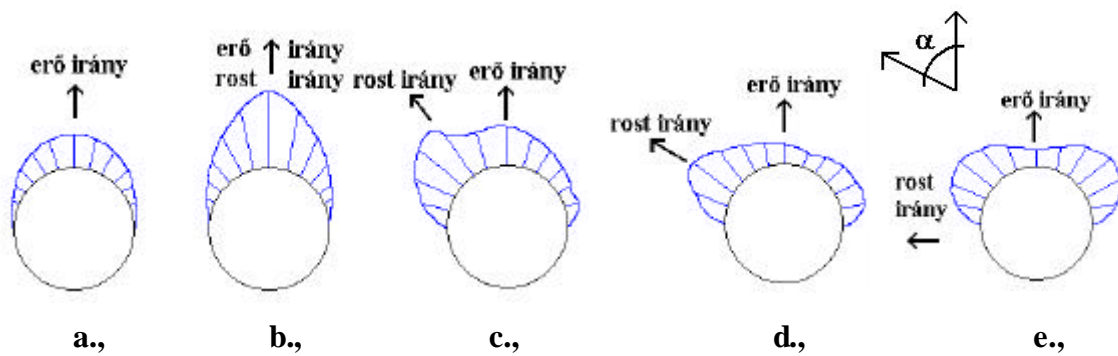
4. ábra: Gyurus kapcsolat végeleemes modellje

A rostirányban terhelt eset teljes elmozdulás ábráját mutatjuk be az 5. ábrán



5. ábra: A csomópont teljes elmozdulása

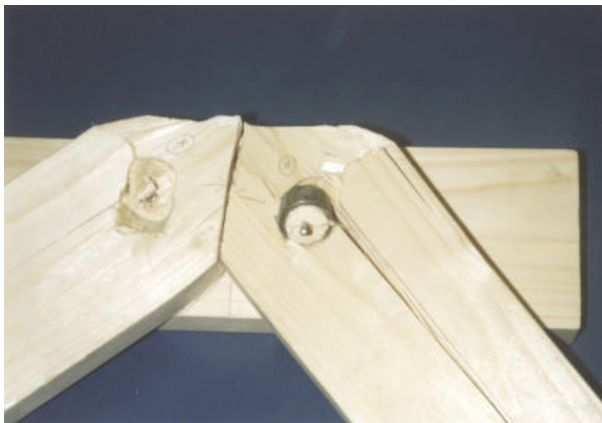
A különböző esethez tartozó eredmények láthatóak a 6. a-e. ábrákon. A végeleemes vizsgálat során nyert feszültségeloszlások jól mutatják a rostirány és az eróirány eltéréseinek hatását. A 6.a. ábra esetben a faanyagot izotropnak definiáltuk. Az eltérés a koszinuszos palástnyomás eloszláshoz képest ebben az esetben (6.b. ábra) nagyon kicsiny. Jelentős eltérés tapasztalható viszont a 6.b- 6.e esetekben, ahol a faanyag ortotropnak definiáltuk.



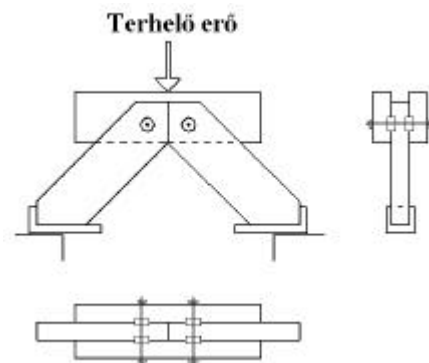
6.ábra: A sugárirányú feszültségek eloszlása az erőirány és a rostirány által bezárt szög függvényében a gyuru külső felületén a, izotrop b, ortotrop rostokkal párhuzamosan c, ortotrop rostokkal 30°-ot bezáró esetben d, ortotrop rostokkal 60°-ot bezáró esetben e, ortotrop rostirányra merolegesen (90°)

5. GYURUS KAPCSOLATOK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

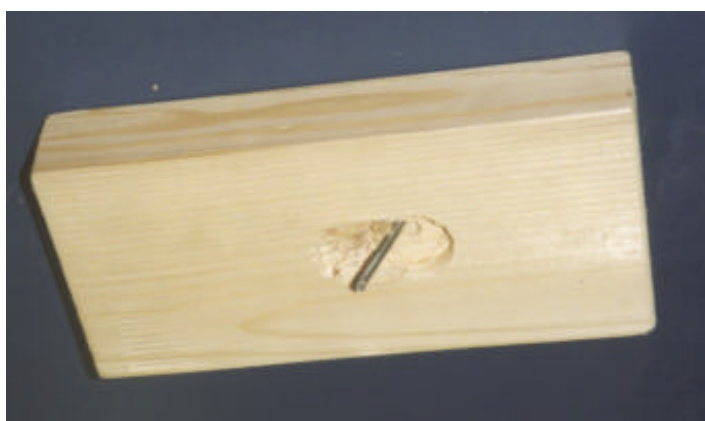
Számos zártgyurus fakapcsolatot vizsgáltunk a BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában. A vizsgált rácsostartó csomópont szerkezeti kialakítását a 8. ábrán vázoltuk fel. A fémgyurukat a rácsostartó csomópontjaiban helyeztük el, a ferde rácsrudak és a felső övek találkozásában. A rácsrudak 45°-ban csatlakoznak az övhöz (8. ábra), de hasonló kísérleteket végeztünk 30°, 60°, 90°-os esetekben is. A 7. és 9. ábrán a tönkrement csomópont képe látható. A fémgyuru palástján működő kis felületen megoszló erő miatt helyi tönkremenetel következett be a kapcsolóelem kis környezetében. (9. ábra)



7.ábra: A csomópont tönkremenetel utáni képe



8. ábra: A vizsgált rácsos tartó szerkezeti kialakítása

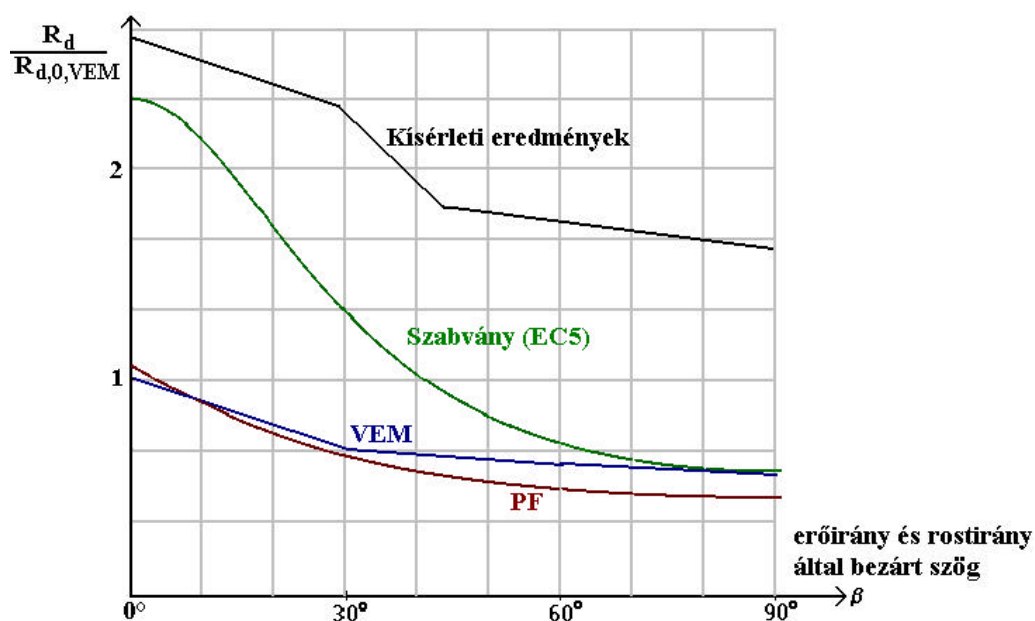


a., 9.a,b. ábra: Helyi tönkremenetel a kapcsolóelem környezetében



b.,

A kísérleti eredmények alapján meghatározott palástnyomási teherbírasi értékeket a 10. ábrán tüntettük fel. A kapott teherbírasi értékek között lineáris interpolációt alkalmaztunk. Az összehasonlítás érdekében, a végesselemes analízis (VEM) és a szabvány (EC5) képlete alapján számított relatív teherbírasi értéke ($R_d / R_{d,0,VEM}$) is feltüntettük a 10. ábrán.



10. ábra: Relatív palástnyomási teherbírasi a rostirány és az erőirány által bezárt szög függvényében

A 10. ábrán szemléltetett palástnyomási teherbírasi görbék közül a szabvány szerinti, a végesselemes analízis és az elméleti vizsgálat alapján készült görbék a fa nyomószilárdságának karakterisztikus értékét vették figyelembe. Ezzel szemben a kísérleti

eredmények alapján meghatározott görbében a nyomószilárdság várható értéke szerepel. A 10. ábrán tapasztalható eltérés a kísérleti eredmények görbéjében részben ezzel magyarázható.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a tanulmányban zártgyurus fakapcsolatok palástnyomási teherbírását vizsgáltuk. Bemutatásra került a faszerkezetek tervezésével foglalkozó Európai Szabvány (Eurocode 5) eljárása a palástnyomási teherbírás meghatározására az ero és a rostirány különböző eseteiben. A szilárdsági ortotropia figyelembe vételével javaslatot tettünk a palástnyomási teherbírás elméleti úton történő meghatározására. Továbbá egy végeelemes program segítségével azt is megvizsgáltuk, hogyan határozható meg a palástnyomási teherbírás numerikus úton. A kapott teherbírás értékeket egymással összehasonlítva és figyelembe véve a kísérleti vizsgálatok eredményeit az alábbi megállapítások tehetők:

- A pontosított feszültségeloszlás szerinti módszer és a végeelemes vizsgálat eredményei lényegesen kisebbek, mint az eredmények az Eurocode 5 és a kísérleti vizsgálat esetében. Ez az eltérés annak a lokális tönkremenetel feltételezésnek köszönhető, mely elégségesnek tekintette a tönkremenetel szempontjából, ha a gyuru palástjának egy pontján a nyomószilárdsági értéket elérte a nyomófeszültség.
- Ugyanakkor a palástnyomási teherbírás diagram sokkal több hasonlóságot mutat összehasonlítva a végeelemes vagy a pontosított feszültségeloszlás vizsgálatával, mintha az EC5 diagramjához hasonlítottuk volna. Ez azt jelenti, hogy a numerikus vizsgálatok magasabb szintű biztonságot vesznek figyelembe, de jobban tükrözik a teherbírás irány függőségét.
- A különbség az Eurocode 5 és a teszteredmények között nem állandó az eróirány és a rostirány által bezárt szög függvényében. Figyelembe véve a fa anizotrop tulajdonságát, nyilvánvaló hogy a merőleges irányhoz közeli palástnyomási teherbírás értékek nagyobb biztonságot tartalmaznak az EC5 esetében.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Erdodi L. – Bódi I.: Analysis of timber connections using split-ring connector considering the anisotropic characteristics of the wood, *Proceedings of the International RILEM Symposium on Joints in Timber Structures*, Stuttgart, Germany 12-14. September, 2001. pp 13-23.
- [2] J. Natterer. - Th. Herzog - M. Volz, *Holzbau Atlas Zwei*, Institute für IAD, München, (1990)
- [3] MSZ ENV 1995-1-1:2000, Faszerkezetek tervezése
- [4] MSC NASTRAN for Windows, *Felhasználói kézikönyv*, Enterprise Software Products, 1985-1997