

# NYÍRT ÖNFÚRÓCSAVAROS KAPCSOLATOK VISELKEDESI FORMÁI – KÍSÉRLETI VIZSGÁLAT

Fóti Péter\*

## RÖVID KIVONAT

Jelen cikkben felvázolom a vékonyfalú szerkezetek és kapcsolataik fejlődését és bemutatok egy kísérletsorozatot, amely a progresszív irányokat támogatja.

Vékonyfalú, hidegen hengerelt acéllemezek egyszernyírt önfúrócsavaros kapcsolatait vizsgáltam. Kísérleteket végeztem egy, ketto és három önfúrócsavarral összekötött húzott lemezeken. A kísérleteket a felvett ero-eltolódás karakterisztikák alapján osztályoztam, és részletesen foglalkoztam a tönkremeneteli módokkal. Az eredményeket összevettem méretezési táblázatban szereplo, illetve szabvány (Eurocode 3) szerint számolt teherbírási értékekkel. A kísérleti eredményeket felhasználtam kapcsolatok modellezésében.

## 1. BEVEZETÉS

Vékonyfalú, hidegen hengerelt acélszerkezeteket hagyományosan burkolati rendszerekben és másodlagos teherviselő szerkezetekben alkalmaznak (trapézlemez, szelemen, falvázartó stb.). Az elmúlt években megfigyelhető két fő tendencia:

1. a gazdaságosabb tervezést eredményező burkolati merevítő hatás (stressed skin effect) figyelembevétele, és a szelemen-trapézlemez kölcsönhatás vizsgálata;
2. a vékonyfalú szelvények (hidegen hengerelt rúdszelvények) megjelenése elsodleges teherviselő szerkezetekben (könnyuszerkezetes épület földem-, fal- és tetoszerkezete; rácsos tartó).

Mindkét fejlődési úton szükséges a kapcsolatok *teherbírása* mellett a *duktilitás* és a *merevség* ismerete. E három jellemző ideális kielégítésére fejlesztettek ki újfajta kapcsolati megoldásokat illetve vizsgálták létező kapcsolatok tulajdonságait. Egyes felmérések szerint vékonyfalú szerkezetek létesítési költségének körülbelül 40%-át a kapcsolat és annak kialakítása emészti fel. Ha az *ár - szerelési idő - mechanikai jellemzők* tulajdonsághármast nézzük, az önfúrócsavaros kapcsolatok igen előkelő helyen állnak.

Nyírt önfúrócsavaros kapcsolatok viselkedését már többen vizsgálták mind kísérletekkel [1], mind numerikusan [2]. A kísérletek a hagyományos acélkapcsolatokénál jóval összetettebb viselkedést mutatnak, a numerikus vizsgálatok emiatt nagy szabadságfokú modellt igényelnek. A témában további kutatások szükségesek. A meglévő bizonytalanságok ösztönöztek kísérletek végrehajtására.

---

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

## 2. CÉLOK

A kísérletekkel egyrészt reprodukálni akartam az irodalomból ismert tönkremeneteli módokat Lindab kötoelemekre (4.), másrészt célom volt az ero-eltolódás összefüggések eloállítását amit tervezéshez (5.1.) és modellezéshez (5.2.) használhatok fel. A kísérletek kutatási területem mind elméleti, mind gyakorlati (tervezési) oldalaihoz szervesen kapcsolódnak.

Részletesen vizsgáltam a csavarelfordulás és csavarszakadás jelenségek interakcióját.

Az egycsavaros kísérletek mellett végeztem ketto- illetve háromcsavaros vizsgálatokat. Az egymás alá helyezett csavarok gátolják a lemez meghajlását lemezsíkra merolegesen, így egyfajta „hajlítási merevséget” adnak a kapcsolatnak, ami (ld. 4.1. és 4.2.) a tönkremeneteli mód típusának megváltozásához vezethet.

## 3. A KÍSÉRLETI FELÁLLÁS

A kísérletekben SD6 jelu, 5.3 mm átméőőu, horganyzott acél önfúrócsavarokat alkalmaztam tömitogyuru nélkül, a 2. ábra jobb oldalán látható módon. Az acéllemezek hidegen hengerelt Lindab C-szelvénybol kivágott sávok, FeE 350G ( $R_y=350$  MPa,  $R_m=420$  MPa) minoséggel.

A nyírt kapcsolatok ero-eltolódás karakterisztikáját akartam felvenni. Ennek érdekében programmal vezérelve mértem a szakítógéő (1. ábra) által kifejtett erot valamint a mozgó befogó pofa helyzetét. A lemez nyúlását illetve a befogó pofák megcsúszását a lemezeken végzett szakító-kísérletek alapján elimináltam. Az ero mérése a terhelo berendezés eroméőőjével közvetlenül történt, míg a befogó pofa eltolódása induktív adó segítségével. Az adatokat A/D átalakítóon keresztül számítógéően röőzítettem, adott idoközönként. A kísérleti felállásról, a kapott eredményekrol és azok értékeléséről kutatási jelentést [3] készítettem.

Összesen 19 kísérletet végeztem húzott csavar-kapcsolatokon a következő paraméterekkel:

- lemezvastagság (1.0-3.0 mm),
- csavarszám (1-3),
- csavarelhelyezés.



1. ábra: Kísérleti felállítás

A kísérletekben használt lemezeken szakító-kísérleteket végeztünk, lemezvastagságonként egyet, összesen hatot.

## 4. TÖNKREMETELI MÓDOK

Vékonyfalú önfúrócsavaros szerkezetek teherbírása igen változatos módokon merülhet ki. Hancock és társai kísérleteiből [1] kiderül, hogy a tönkremeneteli mód nagymértékben függ a geometriai és anyagjellemzőktől, ezen jellemzők kismértékű megváltozása a tönkremeneteli mód típusának megváltozásához vezethet.

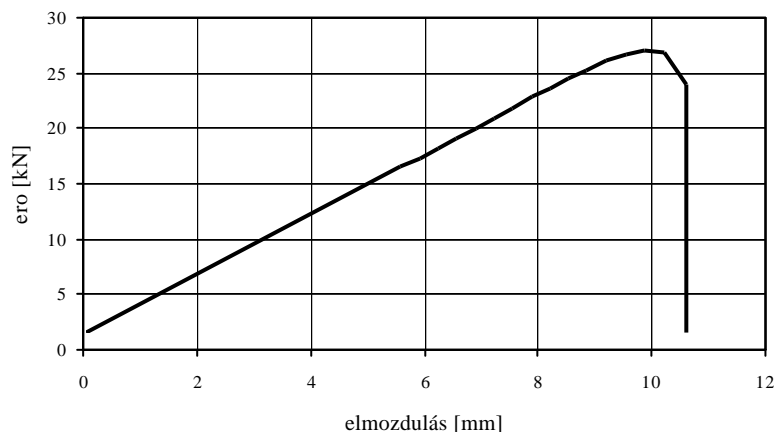
A kísérletek során felvett F-u karakterisztikákat a tönkremeneteli mód alapján osztályoztam. A kísérletekben tapasztalt viselkedési és tönkremeneteli módok:

1. csavar tönkremenetel
  - tisztán nyírási szakadás,
  - kihúzódás + nagymértékű csavarferdülés + tisztán húzási szakadás,
  - kihúzódás + csavarferdülés + kombinált nyírási és húzási szakadás,
2. alapanyag tönkremenetel
  - csavar ferdül és kiszakadás,
  - tiszta kihúzódás.

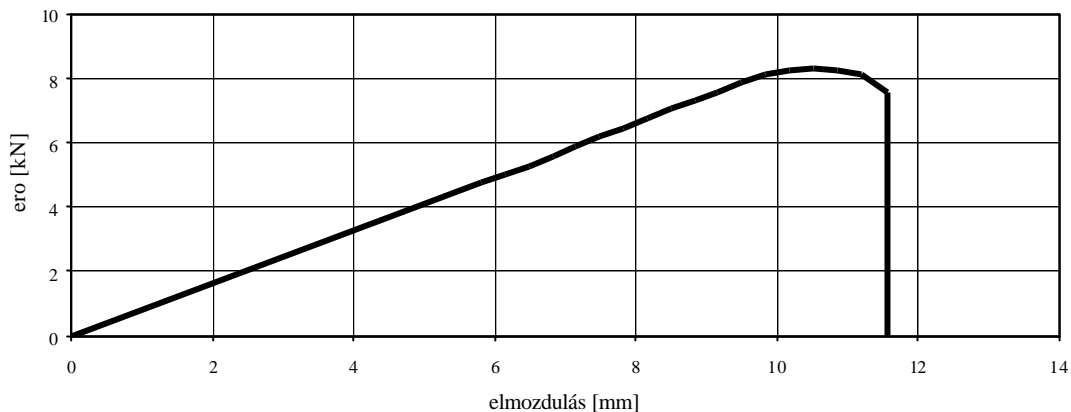
Ezen jelenségeket a következő alfejezetekben mutatom be részletesen.

### 4.1. Nyírási csavarszakadás

- *Jelenség:* A csavar hirtelen, robbanásszerű hanghatással elnyíródik, mintegy elpattan. Csavarelfordulás nincs vagy elhanyagolható.
- *Kialakulás feltétele:* Vastag lemez (2.0-3.0 mm), melyben a csavar nem tud elfordulni. Ha a csavar elfordul, megnövekszik a nyírási felület, így nagyobb lesz a nyírási ellenállás és más tönkremeneteli mód alakulhat ki.
- *Jellemző ero-eltolódás diagram:* Vastag lemeznél (pl. 3.0 mm, 2. ábra) a lineáris, tökéletesen rugalmas szakaszt függőleges esés követi, a teherbírás teljesen kimerül. Középvastagságú lemeznél (2.0 mm – 3. ábra) a váltás nem annyira éles, enyhe domborulat figyelhető meg.



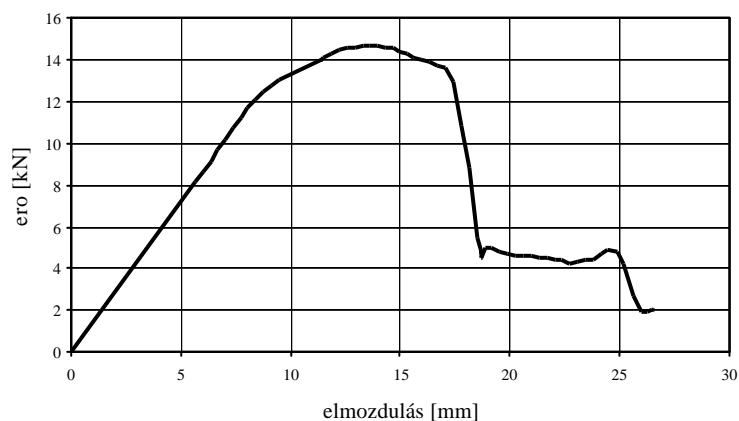
2. ábra: Nyírási csavarszakadás vastag lemeznél



3. ábra: Nyírási csavarszakadás középvastag lemeznél

#### 4.2. Csavarelfordulás és húzási szakadás

- *Jelenség:* Az ero növelésével a csavarok elfordulnak, majd a lemezek nagyfokú deformálódásával tovább fordulnak, miközben egyáltalán nem vagy csak kis mértékben húzódnak ki a lemezből. A jelenség fokozódásával eljutunk addig, hogy a csavarok  $90^\circ$ -ot elfordulva függőlegesen állva kötik össze a lemezeket. A tönkremenetel az egyik csavar szakadásával következik be.
- *Kialakulás feltételei:* Közepesen vastag lemez (1.5 mm) amely könnyen „hajlítható” és két csavar vízszintesen egy sorban, vagy függőlegesen közvetlenül egymás mellett.
- *Jellemző ero-eltolódás diagram:* A lineáris szakaszt elnyúlt, domború plató követi. Mivel a kísérletekben a két csavar közül csak az egyik szakadt el, alacsonyabb szinten, de maradt teherbírás.



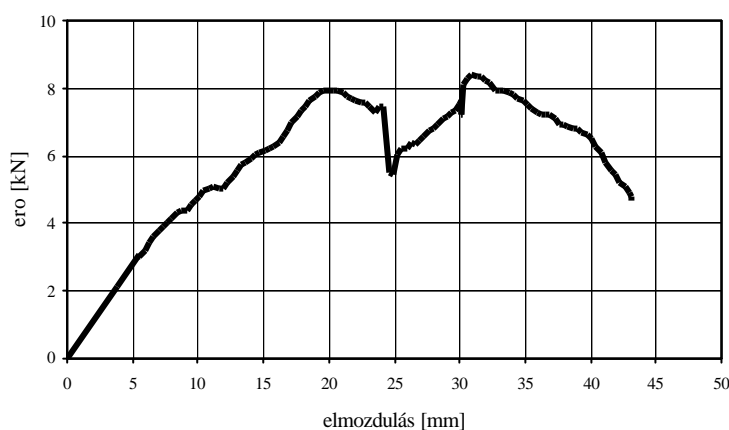
4. ábra: Csavarelfordulás és húzási szakadás

### 4.3. Csavarelfordulás és kombinált nyírási-húzási szakadás

- *Jelenség:* Az 1. és 2. mód kombinációjaként alakul ki, amikor a nagymértékű csavarelfordulás miatt már nem beszélhetünk tisztán nyírásról, de még nem is tisztán húzási a szakadás.
- *Kialakulás feltétele:* Lemezvastagság a vékony (4.1.) és vastag (4.2.) közötti tartományban van. Egy vagy kétszavaras kísérletnél, ahol a „nyomatéki ellenállás” (ld. 2.) nem jelentős mértékű.

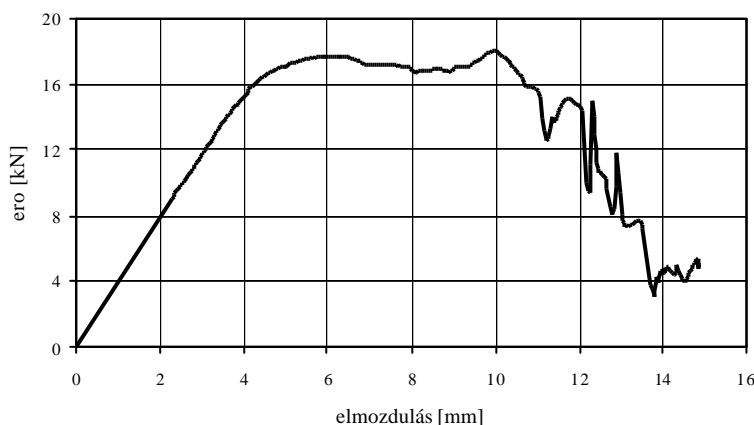
### 4.4. Csavarkihúzóadás

- *Jelenség:* A csavarok elfordulnak, a lemezek nagymértékben elhajolnak. A csavar kihúzóódik – paraméterektől függően – viszonylag folyamatosan vagy ugrásokkal.



5. ábra: Csavarkihúzóadás – 1 csavaros próbatest

- *Kialakulás feltétele:* Vékony (1.0-1.2 mm) lemez.
- *Jellemző ero-eltolódás diagram:* A plató hosszú; duktilis viselkedés figyelhető meg. A csavar ugrásokkal húzóódik ki, menetenként, ami a diagramon (5. ábra) is ugrások-

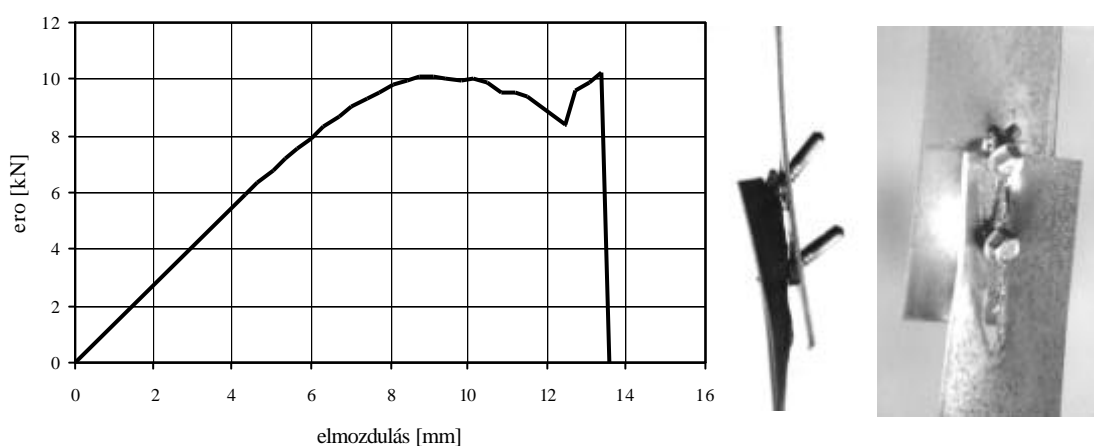


6. ábra: Csavarkihúzóadás – 2 csavaros próbatest

ként jelenik meg. Két (vagy több) csavar alkalmazásakor (6. ábra) azonban az ugrások nem esnek egybe, így az erőfelvétel egyenletesebb, a plató pedig sima.

#### 4.5. Csavarelfordulás és kiszakadás

- *Jelenség:* A csavar kismértékben elfordul (nem húzódik ki) majd az alapanyagot végigszakítja (7. ábra).
- *Kialakulás feltétele:* Az alapanyag nyírási ellenállása kisebb legyen a kötőelemnél. Ez bekövetkezhet vastagabb csavar alkalmazásánál illetve (mint esetünkben) ha a csavar elfordul és így megnöveli a nyírt felületét.
- *Jellemző erő-eltolódás diagram:* A lineáris szakaszt domború plató követi. Az ugrás a csavar kihúzódását mutatja.



7. ábra: Csavarelfordulás és kiszakadás

### 5. AZ EREDMÉNYEK FELHASZNÁLÁSA

#### 5.1. Az eredmények felhasználása a tervezésben

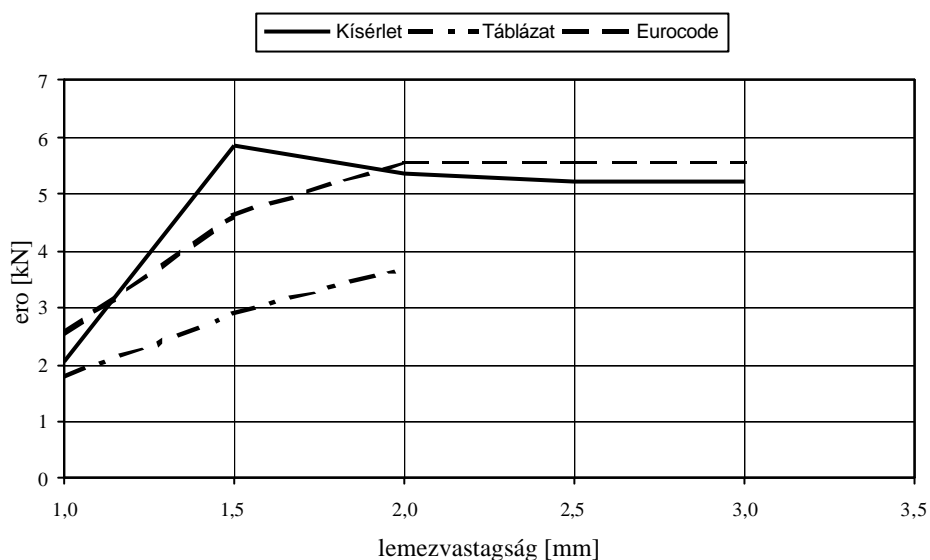
Az Eurocode 3 vékonyfalú szabvány [4] lehetőséget ad a *kísérleten alapuló tervezésre*. Eszerint egy csavar ellenállásához a mért töroerobol ( $F_{test}$ ) karakterisztikus teherbírási értéket (1) szerint nyerhetünk, ahol  $\eta_k = 0,9$  képlékeny törés esetén,  $n$  pedig a csavarszám.

$$F_k = \frac{0,9 \cdot h_k \cdot F_{test}}{n} \quad (1)$$

A tervezési érték meghatározása (2) alapján történhet, ahol  $\gamma = 1,25$ .

$$F_{t,Rd} = \frac{F_k}{\gamma} \quad (2)$$

Ezeket a tervezési értékeket az *Eurocode* [4] alapján számolt illetve a (szintén kísérleteken alapuló) Lindab csavarterhbirás táblázatokban [5] megadott értékekkel veti össze az 8. ábra. A vízszintes tengelyen az összekapcsolt lemezek vastagsága (azonos lemezek), a függőlegesen a teherbirás látható. A *kísérleti* értékek egy csavaros kapcsolatokra vonatkoznak. A kísérletek során az 1.0 és 1.5 mm-es lemezeknél kihúzóadás illetve kiszakadás volt a tönkremenetel oka. Az 1.5 illetve 2.0 mm-es lemezeknél a csavarferdülés következtében (ld. még 4.4) nagyobb szakítóerőt kaptunk, mint vastagabb lemezeknél. Az Eurocode-os értékeknél a tiszta nyírás esetére a 3.0 mm lemezvastagságú, két csavaros kísérletet vettem alapul, az egy csavaros kísérletben – ahogy a diagramon is látható – alacsonyabb volt a teherbirás 2.0 mm lemezvastagság felett. A táblázatban közölt értékek, a kísérletekből számolt tervezési értékekhez képest nagy biztonságot mutatnak.



8. ábra: Tervezési értékek

## 5.2. Az eredmények felhasználása a modellezésben

Kutatásom vékonyfalú keretszerkezet kapcsolatainak vizsgálatára irányul. A kapcsolatok kialakításában a statikai szempontok mellett a következőknek kellett érvényesülni: lehetőleg minél kevesebb „nem Lindab” elem használata, gyors szerelés, az utólagos szelvényalakítás elkerülése (korrózió veszély miatt).

A kifejlesztett rendszer csomópontjai ennek megfelelően egyszerűek. A C-szelvények egymásnak hátlappal, a gerincükön keresztül kapcsolódnak önfúrócsavarral. Az így létrejött kapcsolat a keretsarokban ébredő nyomatékot a csavarszár nyírásával közvetíti a gerenda és az oszlop között. Kísérleteket végeztünk szeparált keretsarkokon. A kapcsolatok viselkedését valamint a tönkremeneteli módok szerinti osztályozást [7] tartalmazza. A csavarszár a lemezek egymáshoz képesti elcsúszásának hatására elfordul (esetleg ki is húzódik a lemezből) így húzás is megjelenik a csavarszárban. *A kialakuló viselkedés lokálisan igen hasonló az alapkísérletekben tapasztaltakhoz.*

Az alapkísérletek során felvett  $F-u$  diagramok segítségével lehetőség nyílik a kapcsolat viselkedésének követésére a nemlineáris tartományban is, az egyes csavarpontokban speciális elmozdulástól függő eróket alkalmazva. Így – iterációs folyamat segítségével – adott nyomatéki szinthez meghatározható az egyensúlyi állapot és az elfordulás mértéke.

## ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELES

Doktorandusi kutatásom az 5.2 fejezetben bemutatott keretsarok vizsgálatára irányul. Az összetett önfűrócsavar viselkedés követésére a csavarokat szeparáltan akartam vizsgálni. A cikkben bemutatott vizsgálat során önfűrócsavarokkal összekapcsolt vékonyfalú lemezekből egyszernyírt próbatesteket szakítottam.

A kísérletek során az ismert tönkremeneteli módokat megfigyeltem, ezenkívül definiáltam interaktív tönkremeneteleket.

A mért teherbírási adatokból nyírt csavarkapcsolatok tervezési értékeit állítottam elő, a felvett  $F-u$  diagramokat pedig keretsarok modellezéséhez használtam fel.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a T03514 jelu OTKA és az ALK00074/2000 jelu OM projektek támogatásával készült. Az alapanyagokat a Lindab Kft. biztosította. Ezúton is köszönöm Dr. Kálló Miklósnak a kísérleti összeállításban nyújtott segítségét, valamint témavezetomnek, Dr. Dunai Lászlónak elméleti és gyakorlati tanácsait.

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Rogers C.A. – Hancock G.J.: *Screwed Connection Tests of Thin G550 and G300 Sheet Steels*, Journal of Structural Engineering, February, 1999.
- [2] Fan C. – Rondal J. – Cescotto S.: *Finite element Modelling of Single Lap Screw Connections in Steel Sheeting under Static Shear*, Thin-Walled Structures, Vol. 27, No. 2, 1997, pp. 165...185.
- [3] Dunai L. – Fóti P. – Kálló M.: *Vékonyfalú, Hidegen Alakított Acéllemezek Szakítóvizsgálata és Nyírt Önfűrócsavaros Kapcsolatai - Kutatási Jelentés*, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, Budapest, 2002.
- [4] ENV 1993 Eurocode 3: Design of Steel Structures - Part 1.3: *General Rules - Supplementary Rules for Cold Formed Thin Gauge Members and Sheeting*, 1996.
- [5] Dunai L. – Néző J.: *SFS Rögzítőelemek Teherbírási Adatai Lindab Profillemek kapcsolataiban - Tervezési útmutató*, Lindab Kft., 1997.
- [6] Dunai L. – Fóti P. – Kaltenbach L. – Kálló M.: *Vékonyfalú C-profilok Csomópontjainak Kísérleti Vizsgálata – Kutatási Jelentések (1-3)*, BME Acélszerkezetek Tanszék, 1999-2000.
- [7] Fóti P. – Dunai L.: *Interaction Phenomena in Cold-Formed Frame Corner Behaviour*, The Third Int. Conf. On Coupled Instabilities in Metal Structures, Lisbon, CIMS 2000.