

Bevezetés

Az elmúlt évek, évtizedek egyik jellemző tendenciája a fém (leggyakrabban: acél) tartószerkezeteknél a vékonyfalú szerkezeti elemek terjedése, melyek alkalmazása nem csupán anyagtakarékos, hanem gyártási/szerelési szempontból is kedvező lehet. E tendencia következményeként nagy szerepet kapnak a stabilitási problémák. A vékonyfalú rudak jelenlegi méretezési eljárásaiban a stabilitási teherbírás meghatározása jellemzően a rugalmas kritikus teher (vagy: feszültség, erő) felhasználásával történik, azaz: első lépésben meg kell határozni a rugalmas kritikus terhet, melyből a tényleges teherbírás – az imperfekciók kedvezőtlen és az esetlegesen meglévő poszt-kritikus tartalékok kedvező hatásának figyelembe vételével – számítható.

Acél esetén a vékonyfalú rudak alapvetően hegesztéssel vagy hidegalakítással (leggyakrabban: hideghengerléssel) készülnek. Jelen kutatás elsősorban a hidegen alakított acélszelvények stabilitási jelenségeivel és méretezésével foglalkozott. Az ilyen szelvényeknél általában háromféle stabilitásvesztési típust különböztet meg az irodalom és a vonatkozó tervezési szabványok (a rúd hossz tengelyével párhuzamos irányú normálfeszültségek működése esetén): globális stabilitásvesztés (pl. kihajlás, kifordulás), torzulásos horpadás és lokális lemezhorpadás. Minthogy a különböző típusok jelentősen eltérő imperfekció-érzékenységgel és posztkritikus viselkedéssel jellemezhetőek, a kritikus teher és a tényleges teherbírás közötti kapcsolat alapvetően függ a stabilitásvesztés típusától. Kulcsfontosságú kérdés tehát a stabilitásvesztési mód és a hozzá tartozó kritikus teher helyes meghatározása. Erre elvileg számos numerikus eljárás rendelkezésre áll, mint például a végeselem módszer (VEM), a véges sávok módszere (VSM, ill. angol rövidítés alapján FSM), a „generalized beam theory” (továbbiakban: GBT, magyar neve nem terjedt el), illetve egyszerűbb esetekben analitikus vagy fél-tapasztalati képletek. Megállapítható azonban, hogy egyik módszer sem tekinthető igazán megfelelőnek, mert általános esetben egyik sem képes a kritikus erőket és a hozzá tartozó sajátalakokat nem pusztán kiszámolni, de osztályozni is: azaz megmondani, hogy egy adott sajátalak melyik típusba tartozik, vagy melyik típusok interakciójaként áll elő. Jelen kutatás keretében *olyan numerikus eljárás kifejlesztésére tettünk lépéseket, mely képes a vékonyfalú rúdelemek stabilitásvesztési módjainak automatikus számítására és osztályozására általános esetben.*

A kutatás eredményeinek ismertetése

A pályázat munkatervében – az általános célkitűzéssel összhangban – 6 feladatot foglalmaztunk meg. A kutatás közben újabb lehetőségek és problémák is felmerültek, melyek újabb feladatokat tettek lehetővé és/vagy szükségessé, konkrétan 4-et. Az alábbiakban az elvégzett munkát és az elért eredményeket a részfeladatok szerinti csoportosításban mutatjuk be.

(1) A stabilitásvesztési módok definiálása

Elemeztük a stabilitásvesztési módok lehetséges definícióit, lásd [B6]. Megállapítottuk, hogy a GBT által alkalmazott definíciók megfogalmazhatóak általánosan is, (a GBT-től függetlenül,) három – a különféle fajlagos alakváltozásokkal kifejezett – mechanikai feltétel alapján és egy ún. móddefiníciós táblázat segítségével, lásd pl. [B1,B6,A3]. Megállapítottuk, hogy a javasolt definíciók általában megfelelőek, de bizonyos esetekben az általános mérnöki gyakorlattól/szemlélettől eltérő eredményekre vezetnek, melyek az alábbiak.

(a) A szemlélet alapján „tisztá”-nak látszó stabilitásvesztési módok a javasolt és alkalmazott definíciók szerint sokszor interakciós módok, különösen a torzulásos horpadás esetén.

(b) Ha a – hidegen alakított acélszelvények esetén mindig jelenlévő – saroklekerekítéseket közvetlenül modellezzük, akkor a lokális és torzulásos horpadás tekintetében a javasolt definíciók nem megfelelő eredményekre vezetnek.

(c) Nagyon rövid rúdelemek esetén a klasszikus globális stabilitásvesztési megoldásokhoz képest (pl. Euler-rúd megoldása) jelentősen különböző kritikus erőket/nyomatékokat lehet számítani.

Fenti kérdések tisztázására új kutatási feladatokat foglalmaztunk meg, lásd a (8), (9) és (10) feladatokat.

(2) A tiszta módokhoz tartozó kényszerek definiálása

A stabilitásvesztési módokra javasolt definíciókat alkalmazva, ún. kényszer-mátrixokat lehet meghatározni, melyek tulajdonképpen általános értelemben vett „megtámasztások”-at jelentenek. Ezek biztosítják, hogy az elmozdulásmező feleljen meg a stabilitásvesztési módokra jellemző mechanikai feltételeknek. A kényszer-mátrixokat az ún. fél-analitikus véges sávos módszerre dolgoztuk ki. (Fél-analitikus VSM = a hosszirányú bázis-függvények szinusz függvény szerintiiek, amelynek segítségével két-csuklós rudakat lehet nagyon hatékonyan vizsgálni. A kényszer-mátrixokat használó véges sávos módszert cFSM-nek neveztük el (a „constrained Finite Strip Method” rövidítéseként). A kényszer-mátrixokat beépítettük a CUFSM nevű véges sávos módszert alkalmazó számítógépi programba is, lásd [B7]. (A CUFSM szoftver szabadon elérhető és letölthető, lásd: www.ce.jhu.edu/bschafer.) A kényszer-mátrixokat először elágazás nélküli keresztmetszetekre dolgoztuk ki [A1,A2], majd a levezetések általánosítottak tetszőleges nyitott keresztmetszetekre [A3].

(3) A tiszta módokhoz tartozó bázisfüggvények definiálása

A cFSM módszerrel elvileg lehetőség van általános, VSM-mel számított stabilitásvesztési alakok (vagy akár: általános deformációs alakok) identifikációjára, azaz annak számszerű meghatározására, hogy egy adott stabilitásvesztési módban a jellegzetes stabilitásvesztési típusok milyen mértékben vannak jelen. Ehhez valamilyen orthonormált bázisrendszert kell bevezetni. Többféle ortogonalizálási eljárás és többféle normálás lehetséges. Ezek közül néhányat elemeztünk, ezeket beépítettük a CUFSM szoftverbe is. Az eredményeket részben publikáltuk, lásd [B7,B11,C4], egy további összefoglaló folyóiratcikk készítése jelenleg folyamatban van, benyújtása 2009 május-június folyamán várható.

(4) A cFSM és a GBT összehasonlítása

A cFSM mellett a GBT az a módszer, mely viszonylag általánosan képes a vékonyfalú rúdelemek stabilitásvesztési módjainak identifikációjára, ill. képes bármelyik tiszta (azaz: interakció-mentes) módhoz tartozó kritikus erő/nyomaték számítására. Ezért részletes összehasonlítást végeztünk a GBT és a cFSM között, melyek alapján rámutattunk a fontosabb hasonlóságokra és különbségekre. Az összehasonlítás kiterjedt:

(a) a két módszer általános összehasonlítására (pl. terminológia, jelölésrendszer, módszertan), lásd [B2,B5],

(b) a tiszta módokhoz tartozó kritikus erő/nyomaték értékek összehasonlítására néhány tipikus keresztmetszet esetén [B8],

(c) az általános stabilitásvesztési módok identifikációjának összehasonlítására [B11],

(d) a két módszer alapösszefüggéseiben szereplő mátrixok fizikai és matematikai hasonlóságainak / különbözőségeinek vizsgálatára [B16].

Az (a), (b) és (c) részeket összefoglaltuk egy folyóiratcikkben is, lásd [A4].

(5) Az eredmények kísérleti ellenőrzése

Bár a pályázat beadásának idejében terveztünk saját kísérletek elvégzését, erre a projekt keretében nem került sor. Ennek okai az alábbiak.

- Az egyik ok az, hogy nem sikerült olyan külső forrást találni, amelyből a kísérletek költségét fedezni lehetett volna.
- A kutatás során olyan újabb részfeladatok merültek fel, melyek tisztázása alapvető fontosságú, ezért inkább erre törekedtünk, lásd a (7)-(10) részfeladatokat.
- Hozzájutottunk néhány évvel ezelőtt végzett kísérletek részletes eredményeihez, melyek feldolgozását el is kezdtük, az eredmények részben szerepelnek a közeljövőben benyújtásra kerülő [B14]-ben.

(6) A sajáthalakok alkalmazása helyettesítő geometriai imperfekcióként

A pályázat benyújtásának idején terveztük, hogy a cFSM módszerrel meghatározott sajáthalakokat imperfekcióként alkalmazzuk nemlineáris VEM számításokhoz. Ezzel a részfeladattal a projekt keretében végül nem foglalkoztunk, melynek okai az alábbiak.

- Ezzel a részfeladattal egy hallgató kezdett el foglalkozni. A terv az volt, hogy ő folytatja a témát doktoranduszként, de ez nem valósult meg.
- A kutatás során újabb részfeladatok merültek fel, melyeket fontosabbnak tartottunk, lásd a (7)-(10) részfeladatokat, ezért inkább ezekkel az új feladatokkal foglalkoztunk.

(7) A cFSM bázisfüggvények felhasználása végeelemes sajáthalakok osztályozására

A cFSM bázisfüggvényei felhasználhatóak más módszerrel, például VEM-mel meghatározott stabilitásvesztési alakok identifikációjára is. Ehhez az szükséges, hogy a véges elemek módszerével kiszámított sajáthalakokat közelítsük a cFSM ortonormált bázisfüggvényeinek lineáris kombinációjaként. Ennek az eljárásnak az ad jelentőséget, hogy a cFSM jelenleg nincs kidolgozva általános befogási és terhelési viszonyokra, ugyanakkor az általános esetek könnyen kezelhetőek VEM-mel. Ha tehát a cFSM segítségével el tudjuk végezni – még ha közelítően is – a VEM-mel kiszámított sajáthalakok mód-identifikációját, az így nyert eljárás minden eddiginél általánosabb módja lenne a sajáthalakok osztályozásának.

Ennek a részfeladatnak a keretében az alábbi fontosabb lépéseket tettük.

(a) Kidolgoztuk azt a módszert, amellyel a VEM sajáthalakokat cFSM bázisfüggvények lineáris kombinációjával közelítjük, majd a közelítő függvény alapján elvégezzük a mód-identifikációt. A kidolgozott módszert egyszerű alapfeladatokra alkalmaztuk, és bemutattuk, hogy a gyakorlat számára megfelelően végzi a mód-identifikációt [B4,C2].

(b) Paraméteres vizsgálatokat hajtottunk végre: vizsgáltuk a végeelemes diszkretizáció sűrűségét, a cFSM bázisfüggvények hullámhosszait, a vizsgált szerkezeti elem befogási viszonyait, a terhelés típusát, stb. Ezek alapján ajánlásokat fogalmaztunk meg [B12].

(c) Bemutattuk a módszer alkalmazhatóságát a gyakorlatban. Bemutattuk azt is, hogy a javasolt módszer valóban alkalmas olyan esetek kezelésére, amelyek a cFSM-mel önmagában nem volnának vizsgálhatóak [A5].

Ezen a témán jelenleg is dolgozunk. Egyrészt hozzákezdünk egy olyan számítógépi program kifejlesztéséhez, mely felhasználóbarát módon teszi lehetővé a számítások elvégzését. Másrészt elkezdünk újabb cFSM bázisfüggvények kidolgozását, melyekkel többfajta megtámasztást is megfelelően lehetne kezelni.

(8) Globális stabilitásvesztéséhez tartozó kritikus erő/nyomaték analitikus meghatározása felületmodell alapján

Minthogy a globális stabilitásvesztéséhez tartozó kritikus erőre/nyomatéokra a cFSM más eredményeket ad, mint a gerendaelméleten alapuló számítások, (pl. GBT vagy analitikus képletek,) az eltérés okait részletesen elemeztük. Síkbeli kihajlás [B3,C1] és a tisztán elcsavarodó kihajlás [B9] esetén analitikus megoldást vezettünk le a kritikus erőre a cFSM-hez hasonló alapfeltevések alkalmazásával (azaz úgy, hogy a rudat felületelemekkel modelleztük, és a lemez- és tárcsaelmélet feltevéseit alkalmazzuk). Megállapítottuk, hogy a numerikus eredményekben tapasztalt különbségek az alapfeltevések különbözőségéből származnak. A legfontosabb tényezők a harántkontrakció eltérő kezelése, illetve az elmozdulások és alakváltozások közötti kapcsolatban a másodrendű tagok közötti eltérések.

Ezen a témán jelenleg is dolgozunk. Egyrészt megoldást kívánunk adni általános keresztmetszetek térbeli elcsavarodó kihajlására a lemez- és tárcsaelmélet feltevései alapján, másrészt elkezdünk foglalkozni a kifordulással [B15].

(9) A VSM és cFSM közötti különbségek hatásának vizsgálata

Ahogy az (1)-ben is utaltunk rá, a cFSM eredmények és VSM eredmények között kis (néhány százalékos) eltérések mutatkoznak olyan esetekben, amikor egy látszólag tiszta VSM mód a cFSM szerinti értelemben interakciót mutat. A különbséget és annak hatását elemeztük: végrehajtottunk egy paraméteres vizsgálatot, melynek során az FSM szerinti interakciós, és a cFSM szerinti tiszta lemezhorpadásos és torzulásos horpadásos stabilitásvesztési módok közötti különbségeket vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a lemezhorpadás esetén ezek a különbségek gyakorlatilag elhanyagolhatóak, de torzulásos horpadás esetén általában nem, lásd [B10,B13,C3].

A továbbiakban ajánlásokat kívánunk megfogalmazni, hogyan lehet figyelembe venni a cFSM-VSM különbségek hatását a gyakorlati tervezésben. Ehhez az (5)-ben említett kísérleti adatokat fogjuk használni. A kísérleti eredményekkel történő összehasonlításhoz azonban meg kell oldani a saroklekerekítések problémáját, lásd a (10)-es pontot.

(10) A saroklekerekítés hatásának vizsgálata

Hidegen alakított acélszelvények mindig lekerekített sarkúak (a gyártástechnológia miatt). Ugyanakkor megállapítottuk, hogy a cFSM-ben alkalmazott mód-definíciók nem jól alkalmazhatóak, ha a saroklekerekítést a véges sávos modellben közvetlenül figyelembe vesszük. Meg kell tehát vizsgálni, hogyan küszöbölhető ki az az – általában néhány százaléknál nem nagyobb – hiba, amelyet az okoz, ha a saroklekerekítéseket a cFSM modellben nem vesszük figyelembe. Paraméteres vizsgálatot hajtottunk végre C-szelvényű gerendákon, az eredmények alapján kétféle ajánlást fogalmaztunk meg, melyeket a [B14]-ben fogunk publikálni. A téma azonban további vizsgálatokat igényel: más alakú szelvényeket és más terheléseket is vizsgálni kell, továbbá kísérleti eredményekkel kell kalibrálni az ajánlásokat.

A pályázatban szereplő tervek teljesítése

A projekt alapvetően a pályázatban szereplő tervek szerint haladt. A legfontosabb célkitűzések megvalósultak.

A munkatervben vállalt legfontosabb részfeladatokat teljesítettük. Néhány részfeladat nem valósult ugyan meg, de helyettük más részfeladatokkal foglalkoztunk, ahogy ezt fentebb részleteztük.

A publikációkra vonatkozó terveket teljesítettük.

- 3 folyóiratcikk már megjelent, 1 megjelenés alatt van, 1 pedig benyújtva, elbírálása jelenleg folyik.
- 13 cikket készítettünk és mutattunk be nemzetközi konferenciákon. 3 további konferenciacikk jelenleg készül (elfogadott absztrakt alapján).
- 4, csak absztraktban megjelent előadást tartottunk hazai és nemzetközi konferenciákon,
- Az egyik résztvevő kutató, Joó Attila, a projekt ideje alatt fejezte be PhD értekezését. A doktori eljárás folyamatban van, a védésre várhatóan 2009 közepén kerül sor.

A kutatók személyi összetételében nem volt olyan változás, ami a munkát érdemben befolyásolta volna.

- A pályázatban megnevezett résztvevő kutatók közül Gulyás Csaba a tervek szerint a kísérleti munkában vett volna részt. Minthogy kísérletekre végül nem került sor, ő a kutatásban ténylegesen nem vett részt.
- A pályázat benyújtása idején terveztük egy doktorandusz hallgató bevonását. Az eredetileg tervezett hallgató végül nem vett részt a munkákban, ugyanakkor egy másik doktorandusz hallgató (Beregszászi Zoltán), valamint további hallgatók közreműködtek.

A költségtervben foglaltaktól jelentős eltérések nem voltak.

- A keretek között kisebb átcsoportosításokat hajtottunk végre, minden esetben az OTKA előzetes engedélyével.
- A pályázatban 2 notebook és 1 PC beszerzése szerepelt. Ezt annyiban módosítottuk, hogy 3 notebookot vásároltunk, mert árban nem volt jelentős eltérés, ugyanakkor egy notebook rugalmasabban használható.

A kutatás keretében készített publikációk

Folyóiratcikkek

- A1. Ádány, S., Schafer, B.W.: „Buckling mode decomposition of single-branched open cross-section members via Finite Strip Method: derivation”, *Thin-Walled Structures* **44**(5), pp. 563-584, 2006. IF(2006): 0,694
- A2. Ádány, S., Schafer, B.W.: „Buckling mode decomposition of single-branched open cross-section members via Finite Strip Method: application and examples”, *Thin-Walled Structures*, **44**(5), pp. 585-600, 2006. IF(2006): 0,694
- A3. Ádány, S., Schafer, B.W.: “A full modal decomposition of thin-walled, single-branched open cross-section members via the constrained finite strip method”, *Journal of Constructional Steel Research*, **64** (1), pp. 12-29, 2008. IF(2007): 0,664 (doi:10.1016/j.jcsr.2007.04.004)
- A4. Ádány, S., Silvestre, N., Schafer, B.W., Camotim, D.: “GBT and cFSM: two modal approaches to the buckling analysis of unbranched thin-walled members”, *Int. Journal Advanced Steel Construction*, (cikk benyújtva, elfogadva, megjelenik: 2009 június)
- A5. Joó, A.L., Ádány, S.: “FEM-based approach for the stability design of thin-walled members by using cFSM base functions”, *Per. Pol. Civil Eng.*, (cikk benyújtva)

Konferencia cikkek

- B1. Schafer, B.W., Ádány, S.: „Modal decomposition for thin-walled member stability using the finite strip method”, *Proceedings of the Conference on Advances in Engineering Structures, Mechanics and Construction (Proceedings Book Series: Solid Mechanics and its Applications, Vol 140)*, May 14-17, 2006, Waterloo, Canada, Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction, pp. 411-422.
- B2. Ádány, S., Silvestre, N., Schafer, B.W., Camotim, D.: “Buckling Analysis of Unbranched Thin-Walled Columns: Generalised Beam Theory vs. Constrained Finite Strip Method”, *Proceedings of the III European Conference on Computational Mechanics (ECCM 2006)*, June 5-8, 2006, Lisbon, Portugal. (available on CD-ROM, paper nr 1443, p22)
- B3. Ádány S., “Flexural buckling of thin-walled columns: discussion on the definition and calculation”, *Proceedings of International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures* (eds: D. Camotim, N. Silvestre, P.B. Dinis), September 6-8, 2006, Lisbon, Portugal, pp. 249-258.
- B4. Ádány S., Joó A. L., and Schafer B.W., “Approximate identification of the buckling modes of thin-walled columns by using the cFSM modal base functions”, *Proceedings of International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures* (eds: D. Camotim, N. Silvestre, P.B. Dinis), September 6-8, 2006, Lisbon, Portugal, pp. 197-204.
- B5. Ádány S., Silvestre N., Schafer B.W. and Camotim D., “Buckling analysis of unbranched thin-walled members using cFSM and GBT: a comparative study”, *Proceedings of International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures* (eds: D. Camotim, N. Silvestre, P.B. Dinis), September 6-8, 2006, Lisbon, Portugal, pp. 205-212.
- B6. Ádány, S., Schafer, B.W.: „Uncertainties in the definition of buckling of thin-walled members”, *Proceedings of the IABSE Symposium on Responding to Tomorrow’s Challenges in Structural Engineering*, Budapest, Hungary, Sept 13-15, 2006. (on CD-ROM, paper nr: 0282, p8)
- B7. Schafer B.W. and Ádány S., “Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods”, *Proceedings of 18th International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures*, October 26-28, 2006, Orlando, USA, pp. 39-54.
- B8. Ádány, S., Silvestre, N., Schafer, B.W., Camotim, D.: “On the Identification and Characterisation of Local, Distortional and Global Buckling Modes in Thin-Walled Members Using the cFSM and GBT Approaches”, *Proceedings of the 6th International Conference on Steel and Aluminium Structures (ICSAS 2007)*, July 24-27, 2007, Oxford, UK, pp. 760-767.

- B9. Ádány, S.: “Torsional Buckling of Thin-Walled Columns: Analytical Solution Based on Shell Model”, Fifth International Conference on Thin-Walled Structures (ICTWS 2008), June 18-20, 2008, Brisbane, Australia, pp. 1113-1120. (in Vol 2)
- B10. Ádány, S., Beregszászi, Z.: “Local and Distortional Buckling of Thin-Walled Members: Numerical Study to Compare Conventional and Constrained Finite Strip Method”, Fifth International Conference on Thin-Walled Structures (ICTWS 2008), June 18-20, 2008, Brisbane, Australia, pp. 1121-1128. (in Vol 2)
- B11. Ádány, S., Silvestre, N., Schafer, B.W., Camotim, D.: “Buckling mode identification of thin-walled members: a comparison between cFSM and GBT approaches”, *Proceedings of the Fifth International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures (CIMS 2008)*, June 23-25, 2008, Sydney, Australia, pp. 249-256.
- B12. Ádány S., Joó A. L., Schafer B.W., “Identification of FEM buckling modes of thin-walled columns by using cFSM base functions”, *Proceedings of the Fifth International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures (CIMS 2008)*, June 23-25, 2008, Sydney, Australia, pp. 265-272.
- B13. Ádány, S., Beregszászi, Z.: “The Effect of Mode Coupling on the Design Buckling Resistance of Cold-Formed Members Calculated via the Direct Strength Method”, *Proceedings of the Eurosteel 2008 Conference (Eurosteel 2008)*, Sept 3-5, 2008, Graz, Austria, pp. 117-122. (in Vol A)
- B14. Beregszászi, Z., Ádány, S.: “The effect of rounded corners of cold-formed steel members in the buckling analysis via the direct strength method”, The Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Funchal, Madeira, Portugal, Sept 1-4, 2009. (absztrakt elfogadva, cikk beadása 2009 áprilisban)
- B15. Ádány, S., Joó, A.L., Visy, D.: “On the calculation of the critical moment to lateral-torsional buckling of beams: comparison of various methods”, The Twelfth International Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering Computing, Funchal, Madeira, Portugal, Sept 1-4, 2009. (absztrakt elfogadva, cikk beadása 2009 áprilisban)
- B16. Silvestre N., Ádány S., Camotim D., Schafer B.W.: “Comparing the matrix procedures between GBT and cFSM: from different roots to similar solution”, 7th EUROMECH Solid Mechanics Conference (ESMC 2009), Lisbon, Portugal, Sept 7-11, 2009. (absztrakt elfogadva)

Előadások

- C1. Ádány, S.: „Vékonyfalú nyomott rudak kihajlása – analitikus megoldás a kritikus erőre héjmodell alapján”, 10. Magyar Mechanikai Konferencia (MAMEK 2007), Miskolc, 2007. aug. 27-29.
- C2. Joó, A. L., Ádány, S.: „Vékonyfalú nyomott oszlopok végeelemes stabilitásvesztési alakjainak osztályozása végecsavos bázisfüggvények segítségével”, 10. Magyar Mechanikai Konferencia (MAMEK 2007), Miskolc, 2007. aug. 27-29.
- C3. Beregszászi, Z., Ádány, S.: „Vékonyfalú rudak torzulási horpadása – a tiszta és interakciós módok elemzése paraméteres vizsgálattal”, 10. Magyar Mechanikai Konferencia (MAMEK 2007), Miskolc, 2007. aug. 27-29.
- C4. Schafer, B.W., Ádány, S.: “Orthogonalization and Normalization in the context of Modal Decomposition and Identification of Thin-Walled Members via the Constrained Finite Strip Method”, The Inaugural International Conference of the Engineering Mechanics Institute, May 18-21, 2008, Minneapolis, USA.