

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
POLLACK MIHÁLY MŰSZAKI ÉS INFORMATIKAI KAR
BREUER MARCELL DOKTORI ISKOLA

SZERKEZETVIZSGÁLAT SZIMULÁCIÓS TECHNIKÁK ALKALMAZÁSÁVAL

Tervezés, gyártás, rekonstrukció

A disszertáció új tudományos eredményei

FÜLÖP Attila MSc.

Témavezető:

Dr. IVÁNYI Miklós, DSc.
Professor Emeritus

2011

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a számítógépes szimulációs technikák nagyon fontos szerepet játszanak a mindennapi mérnöki gyakorlatban. Szimulációs technikák alkalmazásával számos lehetőség kínálkozik a különböző mérnöki és építészeti feladatok megoldására. A számítógépes programok és eszközök fejlődése megfelelő támogatást nyújt e fontos munkához. Munkám során néhány fontos mérnöki feladatot vizsgáltam meg a számítógépes szimuláció nézőpontjából:

- Monte-Carlo szimuláció alkalmazása a szerkezettervezésben
- rácsrudak gyártásának és teherbírásának szimulációs vizsgálata
- régi téglafalazatok megerősítése keresztirányú megerősítéssel

A tervezési gyakorlat szempontjából vizsgálva a jelenlegi, valószínűség számítási feltételezéseken alapuló eljárások a szerkezeti elemek és teljes rendszerek vonatkozásában nem használják ki teljes mértékben a számítógépes szimulációban lévő teljes potenciált. A Monte-Carlo szimuláció (MCS) jelentős szerepet játszhat az adatok kiértékelésében, melyek különböző forrásból érkehetnek, beleértve a kísérleteket, a tervezők, felhasználók és mások által nyújtott tapasztalatokat és feltételezéseket. A Monte-Carlo módszert alkalmazó szimuláció nagyon erős és alkalmas eszköz a teherkombinációk vizsgálatára, az ellenállás meghatározására, a szerkezetek és szerkezeti részletek tönkremeneteli valószínűségének kiértékelésére és a használhatósági feltételek vizsgálatára.

Ezenkívül a mérnöki gyakorlatban leggyakrabban alkalmazott tervező programok a véges elemes módszeren (FEM) és a véges sávok módszerén (FSM) alapulnak. Az elméleti mechanika és matematika adja e programok alapját és nagyon hasznosak a szerkezettervezésben. A munkám során ilyen

elven működő programokat ABAQUS és AXIS programokat alkalmaztam a szimulációk elvégzésére.

2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

2.1 Szerkezeti elemek tervezése a Monte-Carlo módszer alkalmazásával

A Monte-Carlo módszer közvetlenül megadja a tönkremenetel valószínűségét tetszőleges külső teherkombinációnak (S) és az ellenállásnak (R) megfelelően. A számítógép több tízezer pontot állít elő, mely reprezentálja a lehetséges ellenállás R és teherhatás S kombinációkat. A tönkremenetel valószínűségét megkapjuk, ha a tönkremeneteli zónába eső pontok számát, mely zóna a határvonaltól jobbra található, elosztjuk a pontok össz-számával. Ezt a valószínűséget azután összehasonlítjuk a tönkremeneteli valószínűség elfogadható szintjével.

Professzor Pavel Marek volt a Tereco projekt koordinátora, ahol a jelölt és a témavezető partnerként vettek részt. Egy tankönyv és összesen öt számítógépes program (beleértve az M-StarTM és az AntHillTM programokat) készült el, hogy bevezessék az olvasót a szimuláció-alapú valószínűség meghatározási eljárás világába. Mind az öt program alapja az egyszerű véletlen mintavételes Monte-Carlo szimuláció.

A számítógépes programok legfeljebb 30, hisztogrammal adott valószínűségi változót tartalmazó egyenletek (algebrai, logaritmikus, exponenciális és trigonometrikus) megoldását teszik lehetővé. A Monte-Carlo módszer és a számítógépes programok alkalmasak az ellenállás, a teherkombinációk, a tönkremenetel valószínűsége, károsodás felhalmozódás és a használhatósági feltételek meghatározásával kapcsolatos feladatok megoldására. A javasolt eljárás továbbá alkalmas másodrendű analízis

végrehajtására is, mint például az oszlop kihajlás vizsgálatára. Két- vagy többparaméteres változókat tartalmazó feladatok az úgynevezett "anthill" módszerrel vizsgálhatók. Válogatott különleges feladatok, mint például főfeszültségek számítása több-komponensű szerkezeti válasz alapján vagy különböző forrásból származó különféle terhek együttes kezelése szintén megoldható.

Számos mérnöki tervezési feladat megoldható, mint például egy rácsrúd tönkremeneteli valószínűsége, négyszög alakú zártszelvény biztonsága, egy keretoszlop biztonsága, csomólemez hegesztési varratának biztonsága, csavarozott kapcsolat biztonsága, stb. Továbbá a Monte-Carlo módszer alkalmazható egy hegesztett I keresztmetszetű gerenda kifordulási görbéjének előállítására.

A Monte-Carlo módszert még nem alkalmazzák a tényleges méretezési gyakorlatban, de bemutattam ebben a szimulációs technikában rejlő tervezési lehetőségeket.

2.2 Szerkezet modellezése ABAQUS szimulációval

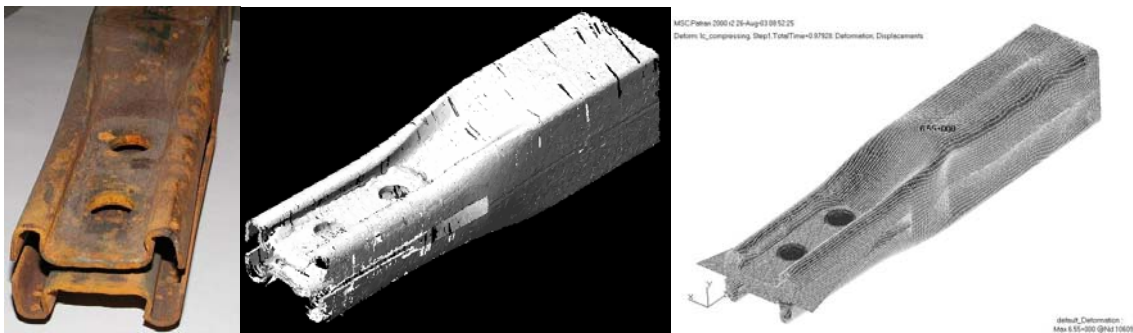
Numerikus szimulációk elvégzéséhez a végelem módszert alkalmazó ABAQUS programot alkalmaztam. Ez a végeleemes program is alkalmas szerkezetek gyártásának, szerkezeti elemek terhelésének és tehermentesítésének, felújításának és megerősítésének, stb. modellezésére. A munkám során a következő szimulációkat végeztem el az ABAQUS programmal.

2.2.1 Speciális gyártási eljárás szimulációja

Teljes léptékű kísérleteket hajtottam végre egy azonos rudakból álló acél térrácson. A rudak végei speciális kialakításúak a csomóponti csavarozott bekötés kialakítása miatt. A számítógépes szimuláció részeként a rúdvégek

speciális gyártási folyamatát is modellezni kellett. A DUNAFERR Acélszerkezeti Kft gyártósorát meglátogattam, a gyártási folyamat szerszámainak megvizsgáltam, s ezek alapján az ABAQUS programmal lemodelleztem a gyártási folyamatot.

Egy új, egyedi módszerrel ellenőriztem a numerikus eredményeket: 3D-s lézeres szkenneléssel. A Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetében (MTA SZTAKI) lehetőségem nyílt a kísérletben szereplő rudak háromdimenziós lézeres beolvasására, digitalizálására. A berendezést ezt megelőzően ipari formatervezők alkalmazták új termékek elkészült modelljeinek digitalizálására, én voltam az első, aki egy építőmérnöki feladatban alkalmaztam az eljárást. A szimuláció kitűnő eredménnyel zárult.



A valódi rácsrúd, a 3D-s lézer szkennerek eredménye és az ABAQUS numerikus modellje.

2.2.2 Nyomott rudak teherbírás vizsgálata

Munkám következő feladatául az elkészült rúdmodell segítségével vizsgáltam a nyomott rácsrúd viselkedését. Az analízis ABAQUS 6.3-2 verziójú véges elemes programmal készült, az adatbevitelre és az eredmények kiértékelésére az MSC Patran 2000 r2 programot alkalmaztam. A számításokat a WOCO Gumitech Kft. budapesti üzemében hajtottam végre.

A számítások során a nyomott rácsrudakat különböző terheléseknek vettem alá: központos nyomás, tiszta hajlítás az x és az y keresztmetszeti tengelyek körül, tiszta csavarás a hossz tengely körül, kétirányban nagy

külpontosságú nyomás és egyirányú kis külpontosság. A kis külpontosság mértéke a rúd szélességének egytizede volt.

A numerikus eredmények megadták a rúd viselkedését és teherbíró képességét a különböző teheresetekben. A kísérlet és az analízis legfontosabb eredménye, hogy a térrács csuklós és központosnak feltételezett csomópontjaiban kimutattam a másodrendű nyomatékokat, melyek befolyásolják a rúd teherbírását és tönkremeneteli módját.



A kis külpontosságú nyomás numerikus eredménye, a teljes léptékű kísérlet tönkremeneteli állapota és a rúdvég 3D-s lézer szkenneres modellje

2.2.3 Régi téglafalazatok megerősítése keresztirányú megerősítéssel

A megerősítés egy nagyon fontos eszköz a szerkezetek élettartamának növelésére. Régi téglafalazatú épületeknél (falak, tornyok, épületek, stb.) nagyon gyakran alkalmazott módszer vas illetve acél keresztirányú megerősítések használata. Elvégeztem egy vége-selemes szimuláció sorozatot a fenti módszer téglafalakon történő alkalmazására az ABAQUS program segítségével. A szimuláció fő célkitűzése a megerősítés hatékonyságának kimutatása volt a téglafal teherbíró képességére. Különböző paramétereket változtattam a vizsgálatok során: falvastagságot, az erősítő lemezek távolságát, az erősítő lemezek területét és meghatároztam a teherbírás növekedést.

Közel azonos lemeztávolság és falvastagság arány esetén ($D_{\text{lemez}}/T_{\text{fal}}$) az elérhető szilárdságnövekedés is közel azonos az egyes falaknál. Ugyanerre a következtetésre jutott *G. Ballio* és *G.M. Calvi*, akik a falazatok teljes léptékű kísérleteit elvégezték. Eredményeik szerint a lemeztávolság és falvastagság

arány egy alapvető paraméter a megerősítés tervezése során. Összegzésül megállapítható, hogy fontos korlátozni az erősítő lemezek élének egymástól mért távolságát, míg a lemez területének és az acélrúd területének aránya egy elválasztó érték körül tartandó ($A_p/A_b \approx 100$).

A vázolt erősítési technika legfontosabb hatása, hogy lehetővé teszi a feszültség átrendeződést helyi tönkremenetek nélkül. Az acélrudak anyagjellemzőit teljesen kihasználtuk, beleértve a szilárdságot és az energiaelnyelő képességet is.

2.3 Szerkezetek kísérleti vizsgálatai

A következő szimulációs technika a szerkezetek teljes léptékű kísérleti vagy modellkísérleti analízise. A kísérletek drágák, sok előkészületet, precíz megvalósítást és kiértékelést kívánnak, és a független ellenőrzés nagyon fontos a durva hibák kizárására. A kísérletek segítségével a numerikus analízisben felépített modellek kalibrálása, beállítása elvégezhető, s további parametrikus vizsgálatokat végezhetünk valós kísérletek végrehajtása nélkül. A munkám során a következő kísérleteket hajtottam végre.

2.3.1 Kísérleti kifordulási görbék igazolása

A gerenda kifordulás méretezésénél alkalmazott kifordulási görbék a tervezési szabványokban, mint például az Eurocode sorozatban, kísérleteken alapulnak. A Monte Carlo módszer segítségével teljes valószínűségi elven előállítottam a kifordulási tervezési görbét. A vizsgálatomban egy hegesztett, acél, I- keresztmetszetű, kéttámaszú gerendatartó kifordulásával foglalkoztam.

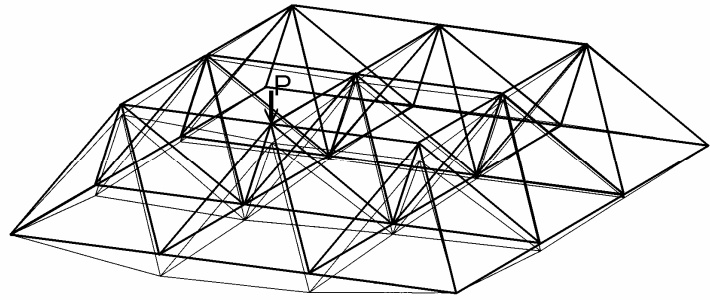
A számítás a differenciálegyenlet elméleti megoldásán alapult, figyelembe véve a különböző országokban elvégzett kísérletek eredményeit is.

A számítógépes szimuláció az M-StarTM programmal készült. A szimuláció során a gerenda támaszközét módosítottam, s a kifordulási kritikus hajlító nyomatékot számítottam minden esetben 100000-szer, s az eredményeket statisztikailag értékeltem ki a program segítségével. Az AntHillTM program segítségével közvetlenül előállítottam a szimulált gerenda kifordulási görbéjét.

2.3.2 Teljes léptékű kísérlet sorozat végrehajtása egy térrácson és az alkotó rács rudakon

Ahogy a 2.2.1 fejezetben említettem, teljes léptékű kísérleteket hajtottam végre egy azonos rudakból álló acél térrácson. A kísérleteket a Budapesti Műszaki Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tartószerkezeti Laboratóriumában végeztem. Az előkészítő, szerelési, munkálatok egy évig tartottak, a kísérletek végrehajtása további két hónapig tartott és az eredmények kiértékelése is még néhány hónapot vett igénybe. Három kísérletet hajtottam végre a térrács szegmensen, s minden egyes terhelési lépcső után 375 digitális mérést hajtottam végre a nyúlásmérő bélyegeken, induktív elmozdulás mérőkön és a hidraulikus sajtón. A kísérlet numerikus szimulációja AxisVM10 FEM vége-selemes programmal készült.

A numerikus modell kalibrálásánál figyelembe vettem a csavarozott csomóponti kapcsolatoknál fellépő fél-merev hatást. A másodlagos hajlító nyomatékok jelenléte a nyúlásmérő bélyegek mérési eredményeiből mutatható ki. Az ellenőrzött numerikus modell segítségével további virtuális kísérletek végrehajtására van lehetőség tényleges teljes léptékű kísérlet elvégzése nélkül.



A vizsgált térrácsos tetőszerkezeti szegmens és az első kísérletnél kialakuló lehajlások

2.3.3 Virtuális kísérletek végrehajtása a megerősített téglafalakon

A megerősített téglafalazat numerikus modelljeit teljes léptékű kísérletsorozat segítségével kalibráltam. A kísérleteket *G. Ballio* és *G.M. Calvi*, végezte el Paviában. A kísérleti eredményekből kapott paraméter sokaság segítségével egy jó numerikus modellt építettem fel az ABAQUS programban. A kísérlet dokumentációjából a következő adatokat használtam fel: a tönkremenetel típusa (vízszintes rudak elszakadása, az erősítő lemez alatti téglafalazat pecsétnyomása, falazat húzó-nyíró tönkremenetele a megerősített zónák között); a fal, az acélrúd és az erősítő acéllemez geometriai adatai; az erősítő lemezek száma; a téglafalazat és az acél elemek mechanikai tulajdonságai (folyáshatár, Young-féle rugalmassági modulus, feszültség-alakváltozási görbék, stb.).

A kísérleti paraméterek segítségével modelleztem az elvégzett kísérletsorozatot, s az így kalibrált numerikus modell már alkalmas volt egy virtuális kísérletsorozat elvégzésére a téglafalazatok megerősítési hatékonyságának igazolására.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

3.1 Tézis 1: Szerkezet szimuláció a Monte-Carlo módszer alkalmazásával

a) kifordulási görbék

Monte Carlo módszert alkalmaztam egy hegesztett I-keresztmetszetű, kéttámaszú acélgerenda kifordulási viselkedésének meghatározására. A vizsgálat az ideális elméleti modellből indulva készült. A gerenda állandó nyomatékmal terhelt. A geometriai adatok (lemez szélesség és vastagság és a gerenda támaszköze) feltételezett eloszlása Gauss-féle valószínűség eloszlást követi. A számítógépes szimuláció során a gerenda támaszközét változtattam és a megfelelő kritikus kifordulási hajlítónyomatékokat számoltam. Így előállítottam a hegesztett I- keresztmetszetű gerenda kifordulási görbéjét numerikus szimulációval.

Kapcsolódó publikációk: [1], [2], [8], [11],

b) szerkezeti elemek vizsgálata

Monte Carlo módszert, s így teljes valószínűségi elven történő méretezést alkalmaztam különböző szerkezeti elemek megbízhatóságának ellenőrzésére. A választott feladatok tipikus szerkezetvizsgálati kérdéseket mutatnak be:

- húzott rácsrúd biztonsága
- összetett igénybevételű, négyszög keresztmetszetű, zártszelvényű rúd biztonsága
- keretoszlop biztonsága
- csomólemez hegesztési varratának biztonsága
- csavarozott gerenda-gerenda kapcsolat biztonsága

A számítások során rámutattam a Monte Carlo módszerben lévő, a mérnöki gyakorlatban alkalmazható potenciálra, s megmutattam néhány esetben a lehetséges előnyöket a mostani tervezési szabványokkal szemben.

Kapcsolódó publikációk: [1], [2], [4]

c) acél keret stabilitási viselkedése

Paraméteres vizsgálatot végeztem Monte Carlo módszer segítségével egy egyszerű oszlop-gerendás kereten. A számítások során az oszlop és a gerenda hosszát változtattam s az oszlopra vonatkoztatott kritikus kifordulási megoszló teherintenzitást határoztam meg.

Rugalmas másodrendű analízist alkalmaztam, így a normálerő hatását a stabilitási függvényekkel vettem figyelembe.

A számítások eredményeként előállítottam a kritikus megoszló teherintenzitások segítségével az oszlop kihajlási felületét.

Kapcsolódó publikációk: [1], [2], [4], [8], [11],

3.2 Tézis 2: Szerkezet gyártásának és teherbírásának szimulációja

a) rácsrudak speciális előállításának szimulációja

A gyártási eljárás alapján kidolgoztam a speciális előállítási folyamat numerikus modelljét. A gyártási eljárás numerikus modelljét a préselt rúdvég numerikus modelljének előállítása miatt kellett megalkotnom. Az alakítás csak a rúdvégek közvetlen környezetét befolyásolja, ezért csak a préselt rúdvéget modelleztem a teljes rúd helyett. Ezen túlmenően a zártszelvényű acélrúd negyedét, illetve a prészerszám felét modelleztem, az elem és a

gyártási folyamat szimmetria viszonyai miatt. A préselés során a terhet elmozdulás vezérléssel kontrolláltam.

A numerikus analízis eredményeit egy új módszerrel ellenőriztem, egy 3D-s lézer szkennel segítségével. A numerikus eredmények jó egyezést mutattak a valós rúdvéggel.

Kapcsolódó publikációk: [6], [7], [13], [14], [15], [16], [17]

b) nyomóerővel terhelt rudak numerikus analízise

A préselt rúdvég numerikus modelljének felhasználásával elkészítettem a teljes rúd numerikus modelljét. Ezen a rúdon egy virtuális kísérlet sorozatot hajtottam végre az ABAQUS programmal különböző külső terheket alkalmazva a rúdelem viselkedésének vizsgálata céljából. Az alkalmazott teheresetek a következők:

- központos nyomóerő
- tiszta hajlítás mindkét anyagi tengely körül
- tiszta csavarás a rúd hossz tengelye körül
- nagy külpontosságú nyomóerő (normálerő és kétirányú hajlító nyomaték)
- kis külpontosságú normálerő

A kis külpontosság mértéke az oldalhossz egytizede volt. A beépített rácsrúd viselkedését legjobban leíró modellt az utóbbi esetben kaptam, ami a normálerő mellett fellépő másodlagos nyomatékok jelenlétét igazolja.

A rudakon elvégzett numerikus számításokat a teljes léptékű rúdkísérletek eredményeivel hasonlítottam össze.

Kapcsolódó publikációk: [3], [5], [6], [7], [9], [10], [12], [13], [14], [15], [16], [17]

c) acél térrács numerikus analízise

Elkészítettem a teljes léptékű kísérletben vizsgált acél térrács numerikus modelljét. A modell speciális csomóponti kapcsolatokat tartalmaz, melyek figyelembe veszik a másodlagos nyomatékok félmerev hatását a kapcsolati viselkedésre. Az elkészült modell alkalmas a három elvégzett kísérlet modellezésére.

- a felső síkon, külpontosan működő koncentrált erő viselkedése a lineárisan rugalmas tartományban
- a felső síkon középen működő koncentrált erő viselkedése a lineárisan rugalmas tartományban
- a felső síkon középen működő koncentrált erő modellezése a teherbírási határ eléréséig

Az elkészült modell segítségével újabb terhelési eseteket lehet virtuálisan vizsgálni a tényleges teljes léptékű kísérlet elvégzése nélkül.

Kapcsolódó publikációk: [3], [5], [6], [7], [9], [10], [12],

3.3 Tézis 3: Régi téglafalazatok megerősítése

a) a keresztirányú átkötés numerikus szimulációja

Kifejlesztettem néhány numerikus modellt régi téglafalazatokhoz a keresztirányú átkötés módszerének modellezésére. A geometriában és a terhelésben lévő szimmetriát felhasználva csak a téglafalazat egynyolcada került feldolgozásra. A fő geometriai és anyagparamétereket, mint például a falazat méreteit, erősítő rudak számát, a falazat anyagi tulajdonságait a rendelkezésre álló kísérleti eredmények alapján alkalmaztam.

Az előbb említett paraméterek alkalmazásának köszönhetően a kísérleti eredményeket sikerült a numerikus modellekkel reprodukálni.

Kapcsolódó publikációk: [18]

b) parametrikus analízis sorozat a keresztirányú átkötési módszer alkalmazására

Parametrikus számítási sorozatot hajtottam végre a keresztirányú átkötési módszer alkalmazásával. A tervezési ajánlást dolgoztam ki a megerősítés hatékonyságának kísérletek elvégzése nélküli megállapításához számítógépes szimuláció segítségével.

A paraméteres vizsgálat során különböző falvastagságokat, erősítő lemezméreteket és lemezvastagságokat alkalmaztam, tervezési szabályt adtam megerősítés hatékonyságának kimutatására.

Közel azonos lemeztávolság és falvastagság arány esetén ($D_{\text{lemez}}/T_{\text{fal}}$) az elérhető szilárdságnövekedés is közel azonos az egyes falaknál. Ez az eredmény szemlélteti, hogy lemeztávolság és falvastagság arány egy alapvető paraméter a megerősítés tervezése során.

Kapcsolódó publikációk: [18]

4. KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Könyvek, könyvfejezetek

- [1] Dr. Iványi Miklós – Fülöp Attila, szerkesztők: *Acélszerkezetek szimulációs vizsgálatai megbízhatósági eljárással - Examination of Steel Structures using Simulation-based Reliability Assessment (SBRA-method)*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001, ISBN 963 420 680 8, p.286
- [2] Marek, P., Brozzetti, J. and Gustar, M. editors: *Probabilistic Assessment of Structures using Monte Carlo Simulation*, TeReCo Product, ITAM CAS CR, Prague, 2001 June, ISBN 80-86246-08-6. (14 mintapélda nyomtatásban további 21 mintapélda a CD mellékleten A. Fülöp – M. Iványi szerzői név alatt 5 különböző fejezetben)

Szerkesztett könyvben cikk

- [3] Fülöp A., Iványi M. *Acél térrácsos tetőszerkezet kísérleti vizsgálata*. Tassi Géza, Hegedűs István, Kovács Tamás, szerkesztők: A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, Halász Ottó születésének 75. évfordulója

alkalmából, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002, HU ISSN 1586-7196, p. 37-42.

- [4] Dr. Iványi M., Fülöp A. *Acélszerkezetek szimulációs vizsgálatai*. Bársony János szerkesztő: Tartószerkezeti kutatások. Évfordulós kötet Lenkei Péter tiszteletére, Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki Főiskolai Kar, Pécs, 2003, pp. 37 – 43.

Külföldön megjelent idegen nyelvű folyóiratcikk

- [5] Fülöp A., Iványi M. *Experimentally Analyzed Stability and Ductility Behaviour of a Space-Truss Roof System*. International Journal of Thin-Walled Structures, Elsevier Science Ltd, February 2004, Vol 42, pp. 309-320., ISSN: 0263-8231, IF: 0.517 L E URL:
<http://authors.elsevier.com/sd/article/S0263823103000624>

Magyar nyelvű folyóiratcikk

- [6] Fülöp Attila, Iványi Miklós *Acél térrács kísérleti és numerikus vizsgálata*. MAGÉSZ – Acélszerkezetek különszám, 2004, ISSN 1785-4822, pp. 37-40.
- [7] Fülöp Attila *Acél térrács rúdjaiknak numerikus vizsgálata és kalibrálási lehetőségei*. MAGÉSZ – Acélszerkezetek, III. évfolyam 1. szám, 2006, ISSN 1785-4822, pp. 50-53

Nemzetközi konferencia-kiadványban megjelent idegen nyelvű előadás

- [8] Fülöp A., Iványi M. *Computer Simulation of the Buckling Curves for Steel Structures using Monte-Carlo Method* In: Li Hyung Lee, Ginzler János, editors, Proceedings of the 3rd Korean-Hungarian Symposium on “New Methods in structural engineering”, (organizer: Hungarian Academy of Engineering), Budapest, Hungary, 2001. June 22., Seoul, KAIST, 2002
- [9] Fülöp A. *Effect of semi-Rigid Joints of Space-Truss Steel Structures*. In: Peter Schießl, Norbert Gebbeken, Manfred Keuser, Konrad Zilch, editors, Proceedings of the 4th Ph.D.Symposium in Civil Engineering, Munich, Germany, September 19-21, 2002. Springer-VDI-Verlag GmbH & Co.KG, Düsseldorf, 2002, Volume 1, ISBN 3-935065-09-4, pp. 169-177.
- [10] Fülöp A., Iványi M. *Full-Scale tests of a Space-Truss Roof System*. In: Iványi Miklós, editor, Proceedings of the Stability and Ductility of Steel Structures, Professor Ottó Halász Memorial Session, September 26-28. 2002, Budapest, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002, ISBN 963 05 7950 2, p. 387-393.
- [11] Fülöp A., Iványi M. *Computer Simulation of the Buckling Curves for Steel Structures Using Monte-Carlo Method*. In: Iványi Miklós, editor, Proceedings of the Stability and Ductility of Steel Structures, Professor Ottó Halász Memorial Session, September 26-28. 2002, Budapest, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002, ISBN 963 05 7950 2, pp. 119-126.
- [12] Fülöp A., Iványi M. *Full-scale tests of a space truss roof system*. In: Jármái Károly and Farkas József, editors, Metal Structures: Design, fabrication, Economy, Proceedings of the International Conference on Metal Structures –

- ICMS-03, Miskolc, Hungary, April 3-5, 2003, Millpress Rotterdam Netherlands 2003, ISBN 90 77017 75 5, pp. 93 – 97.
- [13] Fülöp A., Iványi M. *Buckling Modes of Flattened Edges Rectangular Hollow Members*. In: B.H.V. Topping, editor, Proceedings of The Ninth International Conference on Civil and Structural Engineering Computing, 2-3 September 2003, Egmond-aan-Zee, The Netherlands, Civil-Comp Press, Stirling, Scotland, 2003, pp. 105-106 + CD-ROM: Paper 42, 10 pages, ISBN 0-948749-87-3 book, ISBN 0-948749-88-1 CD, ISBN 0-948749-89-X combined set.
- [14] Fülöp A., Iványi M. *Coupled Buckling Modes of Rectangular Hollow Members*. In: M. Pignataro, J. Rondal and V Gioncu, editors, Proceedings of the Fourth International Conference on Coupled Instabilities in Metal Structures, CISM 2004, Rome, Italy, 27-29 September 2004, Editura Orizonturi Universitare, Timisoara, 2006, pp. 191-202, ISBN 10: 973-638-268-0, ISBN 13: 978-973-638-268-0.
- [15] Iványi M, Fülöp A. *Buckling Behaviour of Rectangular Closed Cross Sectional Members*. In: Dan Dubina and Daniel Grecea, editors, Recent Advances and New Trends in Structural Design, International Colloquium Dedicated to the 70th Anniversary of Professor Victor Gioncu, Editura Orizonturi Universitare, Timisoara, 2004, ISBN 973-638-119-6, pp. 155-164.
- [16] Fülöp A., Iványi M. *Numerical Analysis of the Buckling Behaviour of Rectangular Hollow Members*. In: B.H.V. Topping, C.A. Mota Soares, editors, Proceedings of The Seventh International Conference on Computational Structures Technology, 7-9 September 2004, Lisbon, Portugal, Civil-Comp Press, Stirling, Scotland, 2004, pp. 347-348 + CD-ROM: Paper 156, 10 pages, ISBN 0-948749-93-8 book, ISBN 0-948749-94-6 CD, ISBN 0-948749-95-4 combined set.
- [17] Fülöp A., Iványi M. *Buckling Analysis of Space-truss Roof System. Experimental and Numerical Investigations*. In: B. Hoffmeister, and O. Hechler, editors, Proceedings of the Fourth European Conference on Steel and Composite Structures, Research-Eurocodes-Practice, EUROSTEEL 2005, Maastricht, The Netherlands, June 8-10, 2005, Druck und Verlagshaus Mainz GmbH, Aachen, 2005, Volume A, pp. 1.2-155 – 162, ISBN 3-86130-812-6.

Kutatási jelentés

- [18] Fülöp A. *Strengthening of masonry structures by lateral confinement* In: Iványi M., Hegedűs L., editors, Refurbishment of Structures, Report, TEMPUS S_JEP 09524-95 Use of Steel in Refurbishment, as an Environmentally Friendly Activity, Budapesti Műszaki Egyetem, Acélszerkezetek Tanszéke, 1997, pp. 83-96., ISBN 963-421-549-1