

# **Végeselemes eljárások hatékonyságának növelése**

doktori (PhD) értekezés

**Kirchner István**

Tudományos vezető:  
Dr. Bojtár Imre

Budapest  
**2006**

**Előzmények**

Az értekezésben bemutatásra kerülő eljárások, módszerek és algoritmusok szerteágazó témakörökhez tartoznak. Az érintett tudományterületek száma is meglehetősen széles: szerepet kap az építőmérnöki, a biomechanikai, a geometriai, a számítástechnikai és a matematikai tudományterület is. A **közös**, ami összefogja és egységgé olvasztja ezeket az eljárásokat az, hogy valamennyit a végeelem-módszer inspirálta, egytől-egyig a végeelem-módszer hatékonyabb használatát segíti elő, illetve teszi lehetővé hangsúlyozottan a gyakorló építőmérnökök számára. Az elvégzett elméleti kutatások is e célt szolgálják.

Napjainkra a végeelem-módszer sok tekintetben meglehetősen kiforrott, az előző évtizedekhez képest viszonylag kevesebb földterítendő területet kínál a kutatók számára. Ugyanakkor a számítási modulokat kiszolgáló, illetve a számítások eredményeit kiértékelő, és a kiértékelést megkönnyítő eljárások, algoritmusok nagy léptékű fejlődésének lehetünk tanúi nap, mint nap. Ezen értekezés mintegy 19 év ilyen irányú kutató, fejlesztő munkájának fontosabb, válogatott eredményeit kívánja bemutatni.

A végeelemes szoftvereket fejlesztő szoftverházak az utóbbi években újszerű kihívásokkal kénytelenek szembenézni. A programokat használók felől egyre erősödik a nyomás a magas szintű automatizálás, a központi projekt-kezelés, az egységes platformon történő adattárolás, kommunikáció és adatsere biztosításának irányába. Igen erőteljes és természetes az az igény, hogy a végeelemprogram ne igényeljen speciális végeelemes jártasságot, ne követeljen meg a felhasználótól ilyen irányú, elmélyült elméleti ismereteket. A felhasználók például már egyáltalán nem szándékoznak a végeelemhálóval foglalkozni, még az átlagos elem-méret megválasztását is a programra bízják. Szintén a program elvárt automatizmusai közé sorolják továbbá a pontatlanul elkészített (például építészeti) rajzok korrigálását, azok alapján a statikai váz fölvetését, a statikai váz ésszerűtlen részeinek kiigazítását, stb. Már-már mondhatjuk, hogy a mérnöki intelligencia egyre nagyobb mérvű kiváltása kezd a szoftverházak fő feladatai közé tartozni. Ugyancsak fontos, hogy a program minél szélesebb körben biztosítson speciális, szabványfüggő tervezési lehetőségeket is. A hatékony működés, melynek legfontosabb eleme a nagy számítási sebesség, pedig mindig is alapvető követelmény volt a végeelemprogramokkal szemben.

Az egységes adatbázis alapú projekt-kezelés hatalmas fejlődésnek indult az utóbbi években. E célra a – nemzetközi együttműködés keretében fejlesztett – Industry Foundation Classes (IFC) objektumorientált, mérnöki adatleírási mód kezd általános szabvánnyá válni. Ez jelenti az egységes kommunikációs platformot az egyes mérnöki szakirányok között. Mára már szinte valamennyi mérvadó, mérnökök számára szánt szoftver képes ezen adatbázis intelligens kezelésére és földolgozására, de ha még nem, akkor annak fejlesztése nagy apparátussal folyik. E tekintetben a végeelemprogramokat fejlesztők számára az egyik legnagyobb kihívást a szerkezeti elemek tömörtestszerű IFC leírása alapján, azok statikai vázának automatikus földerítése, majd ezek felhasználásával a teljes mérnöki objektum statikai vázának összeállítása jelenti. Ezen eljárások elemeikben sok esetben heurisztikus jellegűek, összességükben pedig a mérnöki intelligencia kiváltására törekszenek, a körülmények adta lehetőségek tükrében.

Ezen értekezésben bemutatott tudományos eredmények legtöbbje éppen e most bemutatott célok elérése érdekében született, azokat vagy elérve, vagy elérésüket jelentősen közelebb hozva, megkönnyítve. A sokéves kutató, fejlesztő tevékenység eredményeképpen moduláris fölépítésű algoritmusok, eljárások és módszerek sokasága született meg, melyek közül néhány (egyelőre) még nem publikálható, hiszen azok üzleti titkot képeznek. E módszerek, eljárások egymást is modulárisan használják, nem egy esetben többszörös áttételen keresztül, közvetve.

## Az eredmények tézisszerű összefoglalása

Tekintettel arra, hogy az értekezés rendkívül szerteágazó, számos tudományterületet érint, továbbá a tézisek, altézisek meglehetősen széles körből kerültek ki, szükséges ezek rendszerezése. Ezt elvégezve hat tézis alakult ki, az első tézishez tartozóan hét, a másodikhoz öt altézissel. Mindezeket az alábbiakban részletezem.

Egy tézis elbírálásakor alapvető fontosságú adat annak keletkezési dátuma, ezért zárójelben föltüntettem a tézisben, altézisben foglalt eredmények keletkezésének évszámát is, hiszen itt egy sokéves pályafutás megítéléséről van szó. Ahol két évszám is szerepel, ott a második a le-írtak érdemi továbbfejlesztésére utal.

### 1. tézis

*Numerikus szempontból közel optimális sík végelelemháló automatikus kialakítását célzó algoritmus rendszert fejlesztettem ki és valósítottam meg, továbbá eme algoritmusok magasabb szintű szervezését és szinkronizálását hajtottam végre.*

Ezen belül a következő új tudományos eredményeket emelem ki:

#### 1.1 altézis (1987, 1999)

*Automatikus régiófölepítő algoritmust alakítottam ki egyenes és/vagy köríves szakaszokat (teljes kört) tartalmazó szakaszszeregből. Az algoritmus nemzetközileg forgalmazott szoftversomagban került alkalmazásra.*

#### 1.2 altézis (1999)

*Boole-függvényekkel analóg geometriai problémákat oldottam meg egyenes és/vagy köríves szakaszokkal határolt régiók esetére. Az algoritmust, továbbá ezen régiók speciális geometriai adatainak számítását (kereskedelmi forgalmazásra alkalmas) szoftverben realizáltam.*

#### 1.3 altézis (2001)

*Különböző típusú ofszet függvényeket alakítottam ki egyenes és/vagy köríves szakaszokkal határolt régiók esetére. Az algoritmusok nemzetközi forgalomban kapható szoftversomagban kerültek többirányú fölhasználásra.*

#### 1.4 altézis (1993)

*Automatikus sík háromszög végelelem alaphálót generáló algoritmust dolgoztam ki, melyet nemzetközi kereskedelmi forgalomban kapható szoftverben realizáltam.*

#### 1.5 altézis (1997)

*Globális alakú optimumra törekvő heurisztikus algoritmust fejlesztettem ki, háromszög síkbeli végelelem alapháló optimálishoz minél közelebbi négyyszögesítésére, melyet (kereskedelmi forgalmazásra alkalmas) szoftverben valósítottam meg.*

### 1.6 altézis (1989)

*Sík végeselemháló heurisztikus sűrítési technikáját dolgoztam ki három- és/vagy négyszögekből álló háló esetére, melyhez interaktív, felhasználóbarát számítógépes programot is kifejlesztettem.*

### 1.7 altézis (1989)

*Heurisztikus algoritmust és számítógépes programot dolgoztam ki sík végeselemháló csomóponti koordinátáinak optimalására.*

## 2. tézis

*Térbeli geometriai alakzatok modellezését lehetővé tevő algoritmusokat alakítottam ki, valamint térbeli szerkezetek síkbeli végeselemháló rendszerét, illetve térbeli végeselemhálót automatikusan fölépítő eljárásokat fejlesztettem ki és valósítottam meg, továbbá megoldottam térbeli alakzatok láthatóság szerinti megjelenítését.*

Ezen belül a következő új tudományos eredményeket emelem ki:

### 2.1 altézis (2002)

*Automatikus testfölepítő algoritmust fejlesztettem ki sík régiókkal határolt testek esetére. Az algoritmus nemzetközi forgalmazásban kapható szoftvercsomagban került felhasználásra.*

### 2.2 altézis (2002)

*Boole-függvényekkel analóg geometriai problémákat oldottam meg sík régiókkal határolt testek esetére. Az algoritmust, továbbá e testek egyes geometriai jellemzőinek számítását (nemzetközi kereskedelemben kapható) szoftvercsomagban realizáltam.*

### 2.3 altézis (1997)

*Stratégiát fejlesztettem ki sík felületekből összetett térbeli mérnöki szerkezetek síkbeli végeselemháló rendszerének automatizált elkészítésére, melyet (kereskedelmi forgalomban kapható) szoftverbe építettem be.*

### 2.4 altézis (1990)

*Megoldottam térbeli végeselemek geometriai fölépítését a vizsgált alakzat rétegenkénti sík metszeteiből kiindulva automatikus térelemépítéssel, melynek végrehajtásához számítógépes programot állítottam össze.*

### 2.5 altézis (1988)

*Megoldottam (és számítógépes programban megvalósítottam) sík háromszögekből összeállított tetszőleges térbeli alakzat láthatóság szerinti, takartvonalas perspektivikus megjelenítését és önárnyékolását a mozgathatóság és az alakzatba történő bejutás újszerű és numerikusan hatékony biztosításával.*

### 3. tézis (1991)

*Szövetorientációs analízisre alkalmas matematikai statisztikai módszert és algoritmust építettem föl, mely digitalizált képek (pl. CT felvételek) elemzésével az azon látható szövetszerkezet izotrop, ortotrop ill. anizotrop jellegének (határozottságának és irányítottságának) vizsgálatára alkalmas. Módszerem általánosan alkalmazható a természettudományok legkülönbözőbb területein (biomechanika, anyagtudomány stb.).*

### 4. tézis (2005)

*Algoritmust fejlesztettem ki lineáris algebrai egyenletrendszereket megoldó iterációs eljárások legtöbbször konvergencia gyorsítására progresszív pásztázó altér alkalmazásával. Az algoritmust e célra készített programmal teszteltem.*

### 5. tézis (2004)

*Térbeli prizmatikus rudak vasalásának automatizálhatósága érdekében a keresztmetszet semleges tengelyének mozgásvezérelt iteratív számítását végző eljárást dolgoztam ki, illetve erre alapozva megoldottam a keresztmetszet hosszvasalásának automatikus előállítását, továbbá ezen algoritmusokat beépítettem nemzetközileg forgalmazott tervezői programrendszerbe.*

### 6. tézis (1996)

*Valós együtthatós  $n$ -edfokú algebrai egyenlet valamennyi (valós és komplex) gyökének számítását végző eljárást állítottam össze, programját ellenőriztem alkalmazásokon és beépítettem nemzetközileg forgalmazott tervezői programrendszerbe.*

## Az eredmények fontosabb fölhasználási területei

### 1.1 altézis

(„*Automatikus régiófölepitő algoritmust alakítottam ki.*”)

- CAD rajzolósi funkciókban kerül alkalmazásra, lehetővé teszi egyszeresen összefüggő sík tartományokkal modellezhető mérnöki szerkezetek, szerkezeti elemek kezelését és földolgozhatóságát a végeelem-módszer számára.
- Az 1.2, 1.3, 1.4, 2.1, 2.2 és 2.3 altézisekben, az ott ismertett algoritmusokban mint elemi eljárás kerül fölhasználásra. Ezek megvalósíthatatlanok lennének nélküle.
- Fölhasználjuk összetett mérnöki szerkezetek testmodelljét automatikusan előállító algoritmusban.

### 1.2 altézis

(„*Boole-függvényekkel analóg geometriai problémákat oldottam meg régiók esetére.*”)

- CAD szerkesztési funkcióként kerül fölhasználásra, lehetővé téve például erkélyek utólagos födémlemezhez illesztését, a födémek áttöréseinek később történő megadását, falakban a nyílászárók kialakítását, stb.
- Lehetővé teszi falak, födémek, síkhéjak felületének, térfogatának, súlyának, súlypontjának meghatározását akár egyenletesen változó vastagság és köríves kontúr esetén is.
- Segítségével a sík végeelemeket csak részben terhelő, felületen megoszló különböző típusú terhek precízebb figyelembevétele valósítható meg.
- Vasbeton rúd nyomott zónájához tartozó régió automatikus előállítását teszi lehetővé.
- Felület menti vasalások régiójának megállapítására és így a vasak hosszának automatikus előállítására alkalmas.
- Segítségével megoldható hálós vasalás igénybevételek alapján történő generálása síkbeli mérnöki szerkezetekre.
- Alkalmazásra kerül több szelvényből összetett acél rudak automatikus alakfölismerő algoritmusában.
- Keresztmetszetek, síkidomok szimmetritási vizsgálata oldható meg segítségével.
- Fölhasználjuk összetett mérnöki szerkezetek testmodelljét automatikusan előállító algoritmusban.
- A mérnöki objektumok végeelemprogramokba történő intelligens importálása számára a függvények nélkülözhetetlenek. Gondolunk itt pl. az ArchiCAD vagy IFC formátumú adatfájlok beolvasására.
- Az 1.3 altézisben, az ott ismertett eljárásban mint elemieljárás kerül fölhasználásra.

### 1.3 altézis

(„*Különböző típusú ofszet függvényeket alakítottam ki régiók esetére.*”)

- Fölhasználásra kerül CAD szerkesztési funkcióként a programot használók számára.
- Nagy segítséget nyújt építészeti rajzok alapján a mérnöki szerkezetek helyes statikai vázának automatikus fölvetelésében.
- Szükség van rá tetszőleges keresztmetszeti alakú vasbeton gerenda kengyelgeometriájának automatikus előállításakor.
- Igen előnyösen alkalmazható sík háromszög végeelem alapháló generálásakor a belső pontok fölvetelésében.

- A hosszvasalási régiók módosításakor az iránymenti ofszet kerül alkalmazásra, melynek során a hosszvasak túlnyújtását vesszük automatikusan figyelembe.
- Mérnöki ofszet segítségével vesszük automatikusan figyelembe a felületi hálós vasalások átfedését.

## 1.4 altézis

*(„Automatikus sík háromszög végeelem alaphálót generáló algoritmust dolgoztam ki.”)*

- Alapját képezi a későbbi, 1.5, 1.6, 1.7, 2.4 és 2.5 altéziseknek.
- Alkalmazásra kerül a 2.3-as altézisben a végeelemek átlagos méretének automatikus megállapításakor.
- Rudak keresztmetszeti jellemzőit végeelem-módszerrel számító programba került beépítésre.
- Vasbeton keresztmetszetek semleges tengelyének számításakor, az 5. tézishez kapcsolódóan a keresztmetszet kicsiny háromszögekre bontásában hasznosítjuk.

## 1.5, 1.6 és 1.7 altézis

*(„Globális alakú optimumra törekvő heurisztikus algoritmust fejlesztettem ki, háromszög síkbeli végeelem alapháló négyyszögösítésére.”)*

*(„Sík végeelemháló heurisztikus sűrítési technikáját dolgoztam ki.”)*

*(„Heurisztikus algoritmust dolgoztam ki sík végeelemháló csomóponti koordinátáinak optimalására.”)*

- Numerikus szempontból minél előnyösebb sík végeelemháló kialakítását teszik lehetővé.
- Elengedhetetlenül szükség van ezekre a 2.3 és 2.4 altézisek algoritmusában.
- Rudak keresztmetszetei jellemzőit végeelem-módszerrel számító programba kerültek beépítésre.

## 2.1 altézis

*(„Automatikus testförléptető algoritmust fejlesztettem ki.”)*

- Fölhasználásra kerül CAD rajzoló funkciókban a programot használók számára.
- Lehetővé teszi egyszerűen összefüggő térbeli tartományokkal modellezhető mérnöki szerkezetek, szerkezeti elemek kezelését és földolgozhatóságát a végeelem-módszer számára.
- A 2.2-es altézis elemi eljárásaként hasznosul. Az megvalósíthatatlan lenne nélküle.
- Fölhasználjuk összetett mérnöki szerkezetek testmodelljét automatikusan előállító algoritmusban.

## 2.2 altézis

*(„Boole-függvényekkel analóg geometriai problémákat oldottam meg testek esetére.”)*

- Ez az altézis alapvető előfeltétele annak, hogy testként, térbeli végeelemhálós modellezhessünk mérnöki szerkezeteket vagy szerkezeti részeket és így pontosabb, a valósághoz jóval közelebb álló végeelemes vizsgálatot hajthassunk végre, mindezt a gyakorló mérnök számára egyszerűen lehetővé téve. Ilyen egzaktabb vizsgálatokra le-

het szükség például keretsarkok, szerkezeti kapcsolati elemek, rúdszerkezeti csomópontok, alapozási részletek pontosabb szilárdsági vizsgálatakor, valamint lokális hatások (pl. koncentrált erők, gépészeti áttörések, föltámaszkodások, stb.) környezetének precízebb elemzéséhez.

- Fölhasználásra kerül CAD szerkesztési funkcióként.
- Lehetővé teszi testek felületének, térfogatának, súlypontjának meghatározását.
- Fölhasználjuk összetett mérnöki szerkezetek testmodelljét automatikusan előállító algoritmusban.
- A testmodellből kiindulva alkalmazzuk vasbeton szerkezetek zsaluzatának mennyiségi becslésére.
- A testműveletek segítségével szerkesztett testek felszínét héjszerkezetként is fölhasználhatjuk, ezzel jelentősen kibővítve a modellezhető mérnöki szerkezetek tárházát.
- Fölhasználásra kerül vasalási rajzok készítésére alkalmas modulokban a vasak térbeli elhelyezkedését behatárodó testek előállításakor.
- A mérnöki objektumok végeelemprogramokba történő intelligens importálása számára e függvények nélkülözhetetlenek. Gondolunk itt pl. az ArchiCAD vagy IFC formátumú adatfájlok beolvasására.

## 2.3 altézis

*(„Stratégiát fejlesztettem ki térbeli mérnöki szerkezetek síkbeli végeelemháló rendszerének automatizált elkészítésére.”)*

- Összetett térbeli mérnöki szerkezet síkbeli végeelem hálózatának automatizált, adap-tív előállítására alkalmas, melynek során fölhasználja többek között az 1.1, 1.2, 1.4, 1.5, 1.6 és 1.7 altézisekben leírt algoritmusokat, azokat minőségileg magasabb szerve-zettségi szintre emelve. Mindennek eredményeképpen a fölhasználónak egyáltalán nem kell törődnie a végeelemhálóval, akár tudatában sem kell lennie annak, hogy tulajdonképpen végeelem-módszer alapú programmal dolgozik.

## 2.4 altézis

*(„Megoldottam térbeli végeelemek geometriai fölépítését automatikus térelemépítés-sel.”)*

- Speciálisan „hosszúkas” kialakítású, hossz menti metszetei által ismert geometriájú objektumokhoz tartozó térbeli végeelemháló számítógéppel segített kialakítására alkalmas.
- Kiválóan használható egyes biomechanikai problémák mérnöki megoldásában, így például hosszúkas csontok (emberi combcsont, gerinc, stb.) végeelemes elemzése során.

## 2.5 altézis

*(„Megoldottam térbeli alakzat láthatóság szerinti megjelenítését és önárnyékolását.”)*

- Tetszőleges, háromszögekből fölépíthető alakzat láthatóság szerinti megjelenítésére használható.
- Síkbeli végeelemháléhoz tartozó tetszőleges eredmény térbeli, láthatóság szerinti megjelenítésére alkalmazható.



### 3. tézis

*(„Szövetorientációs analízisre alkalmas matematikai statisztikai módszert és algoritmust építettem föl.”)*

- Digitalizált felvételeken látható szövetszerkezet vagy szövetszerkezeti részlet anyagi viselkedési jellegének földerítését célzó algoritmus. Az anyag izotrop, ortotrop, illetve anizotrop viselkedési jellegének és határozottságának meghatározására alkalmas. Fölhasználható például szemcsés mikrostruktúrák fő teherviselési irányának keresésére, közetcsiszolatok irányelemzésére, mesterséges kristályok irányítottságának földerítésére, élő szövetek sejtjei anyagcsere-folyamatainak irányelemzésére, a szövetburjánzás haladási irányának becslésére, stb.

### 4. tézis

*(„Algoritmust fejlesztettem ki lineáris algebrai egyenletrendszereket megoldó iterációs eljárások legtöbbjének konvergencia gyorsítására.”)*

- Tetszőleges, iteratív alapon működő, lineáris egyenletrendszereket megoldó eljárás konvergenciájának gyorsítására alkalmas.

### 5. tézis

*(„Vasbeton keresztmetszet semleges tengelyének iteratív számítását végző eljárást dolgoztam ki, illetve megoldottam a keresztmetszet hosszvasalásának automatikus előállítását.”)*

- Tetszőleges vasbeton rúd keresztmetszetében a semleges tengely, az alakváltozási ábra és a feszültségi ábra előállítására használható az anyagi nemlinearitás figyelembevételével az ismert belső erők és vaskiosztás alapján.
- Térbeli prizmatikus vasbeton rudak hosszvas-kiosztásának automatikus kialakítását teszi lehetővé.

### 6. tézis

*(„ $n$ -edfokú algebrai egyenlet valamennyi gyökének számítását végző eljárást állítottam össze.”)*

- Valós együtthatós  $n$ -edfokú algebrai egyenlet valamennyi gyökének számítását teszi lehetővé.
- Térben elhelyezkedő, axonometrikusan ábrázolt kör kurzorhoz legközelebb eső pontjának meghatározásakor a műveletek során adódó 4-edfokú algebrai egyenlet megoldása.
- Vasbeton gerendák kengyeleinek távolságára a Magyar Szabványból levezethető 6-edfokú algebrai egyenlet gyökének számítása.

## **A tézisek, és azok hasznosításának tárgyköreiben született publikációk**

### **Könyvfejezetek**

- Kirchner I. - Rechterisz Á.: *A FEM-Design programrendszer*. Bojtár I. - Gáspár Zs.: *Végeselem módszer építőmérnököknek* című könyv 13. fejezete, 267-285. oldal, ISBN 963 86303 2 9, TERC kiadó, Budapest, 2003
- Kirchner I.: *Végeselem háló*. A FEM-Design elméleti kézikönyv 3. fejezete, 19-22. oldal, Structural Design Software(StruSoft), Budapest, 2004
- I. Kirchner: *Finite element mesh*. 1.1.9. Chapter of FEM-Design Applied Theory Book, pp. 24-27., Structural Design Software(StruSoft), Malmö, Sweden, 2004

### **Külföldön megjelent idegen nyelvű cikkek**

- I. Kirchner: *Interactive Graphical Input-Output System for FEM Plate Bending Programs*. Microcomputers in Civil Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 97-103., Elsevier Science Publishers Ltd, Cambridge, Great Britain, Elsevier Science Publishing Co., Inc., New York, USA, 1993

### **Hazai megjelenésű idegen nyelvű cikkek**

- I. Kirchner: *Visibility Display in FEM Programs*. Periodica Polytechnica, Civil Engineering, Vol. 33. Nos. 3-4, pp. 201-210., Budapest, 1989
- P. Zaletnyik - I. Kirchner - L. Völgyesi: *Thin Plate Spline Interpolation of the Corrector Surface via Finite Element Method*. Periodica Polytechnica, Megjelenés alatt

### **Hazai megjelenésű magyar nyelvű cikkek**

- Kirchner I. - Lovas A.: *Grafikai lehetőségek a végeselem módszer segítésére*. Építés-, Építészettudomány, XX. kötet, 3-4. szám, 289-306. oldal, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1989
- Kirchner I.: *Szövetorientációs analízis*. Építés-, Építészettudomány, XXIV. kötet, 3-4. szám, 171-198. oldal, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1994
- Kirchner I.: *Heurisztikus algoritmus sík végeselem-hálózat csomóponti koordinátáinak optimális megválasztására*. Építés-, Építészettudomány, XXVII. kötet, 1-2. szám, 19-31. oldal, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998
- Kirchner I.: *Sík végeselem-hálózat heurisztikus sűrítési eljárása*. Építés-, Építészettudomány, XXVII. kötet, 1-2. szám, 33-40. oldal, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1998

### **Tudományos jelentések, beszámolók**

- Kirchner I.: *Végeselem hálózat automatikus generálása és optimalizálása görbült felületeken, eredmények implementálási lehetősége a vasbeton orientált FEM-Design rendszer környezetében*. NKFP 2002 2/16 „e-Design: acél, vasbeton és acél-vasbeton mérnöki szerkezetek komplex tervezését támogató Internetalapú tudásbázis” című project 2003. évi beszámolója. 30-39. oldal, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, KÉSZ Kft., StruSoft Kft., Budapest, 2003. december 20.
- Kirchner I. - Szlameniczky A.: *Tetszőleges keresztmetszetű, két irányban külpontos erővel terhelt vasbeton rúd szerkezeti elem vasalásának optimalizálása, a matematikai eljárás*

*kidolgozása.* NKFP 2002 2/16 „e-Design: acél, vasbeton és acél-vasbeton mérnöki szerkezetek komplex tervezését támogató Internet alapú tudásbázis” című project 2004.06.30. határidejű beszámolója. 64-71. oldal, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, KÉSZ Kft., StruSoft Kft., Budapest, 2004. június 30.

### **Idegen nyelvű nemzetközi konferencia kiadványok**

- I. Kirchner: *Interactive Graphical Input-Output System for FEM Plate Bending Programs.* Proceedings of COMPUGRAPHICS '91 First International Conference on Computational Graphics and Visualization Techniques, Portugal, Sesimbra, 16-20 September, 1991

### **Idegen nyelvű hazai konferencia kiadványok**

- G. M. Vörös - I. Kirchner: *Calculation of cross sectional properties.* Proceedings of GÉPÉSZET 2004 (Proceedings of the fourth conference on mechanical engineering), pp 421-426. Budapest, 27-28 May, 2004

### **Magyar nyelvű konferencia kiadványok**

- Kirchner I.: *Optimális sík végelem hálózat automatikus geometriai kialakítását célzó algoritmusok.* MTA-BME Mechanikai Kutatóközösség VI. Tudományos Ülésszaka, Budapesti Műszaki Egyetem, 45-50. oldal, Budapest, 1998. január

### **Filmek**

- Kirchner I. - Bojtár I. - Gálos M. - Martos J. - Szabó Z.: *Magyar kutatások a csípő protézisek tökéletesítésére a matematika és a számítástechnika eszköztárának felhasználásával.* Tudományos kisfilm a Magyar Televízió DELTA című tudományos híradójában, XXXII. évfolyam 15. szám, 3' 35", Magyar Televízió Tudományos-Oktatási és Ismeretterjesztő Stúdiója, Budapest, 1995

### **Idegen nyelvű előadások**

- I. Bojtár - I. Kirchner: *Graphical Input-Output Moduls for Finite Element of Plate Bending Problems.* Second Hungarian - Polish Joint Seminar on Numerical Analysis of Structures, Budapest, 28-29 October, 1988
- I. Bojtár - I. Kirchner - A. Lovas: *Finite Element Analysis of Human Femur.* Third Polish - Hungarian Joint Seminar on Mechanics of Inelastic Solids and Structures, Cracow, Poland, 23-24 February, 1990
- I. Kirchner: *Interactive Graphical Input-Output System for FEM Plate Bending Programs.* COMPUGRAPHICS '91 First International Conference on Computational Graphics and Visualization Techniques, Portugal, Sesimbra, 16-20 September, 1991
- I. Bojtár - I. Kirchner: *Teaching of Numerical Analysis of Plate and Plate-bending Problems with the Help of FEM Programs.* TEMPUS Workshop (TEMPUS JEP-0438-90), Teaching of Civil Engineering Students on Computer Aided Analysis and Design of Structures, Cracow University of Technology, Cracow, Poland, 22-24 June, 1992
- I. Bojtár - I. Kirchner: *Finite Element Analysis of Human Organs and Protheses.* Course in Biomedical Engineering, Balatonfüred, 1-6 March, 1993

- I. Bojtár - I. Kirchner - Á. Tornyos: *Statical and Dynamical Analysis of Human Femur and Skull by the Finite Element Method*. III. Semmelweis Science Fair, Budapest, 28 April, 1994
- I. Bojtár - I. Kirchner - Á. Tornyos: *Biomechanical Analysis of Human Femur*. Seminarium on 'Computers and Future of Structural Mechanics', Cracow, Poland, 14-17 May, 1995
- G. M. Vörös - I. Kirchner: *Calculation of cross sectional properties*. GÉPÉSZET 2004 (Fourth conference on mechanical engineering), Budapest, 27-28 May, 2004

### Magyar nyelvű előadások

- Kirchner I.: *Computer tomográf képfeldolgozás (a TOMO programrendszer ismertetése)*. V. Egészségügyi Informatikai Vándorgyűlés, Budapest, 1991. augusztus 23-24.
- Bojtár I. - Kirchner I.: *Emberi combcsont numerikus szilárdságvizsgálata*. Hatodik Magyar Mechanikai Konferencia, Miskolc, 1991. augusztus 28-30.
- Bojtár I. - Kirchner I. - Tornyos Á.: *Számítástechnika a mechanika oktatásában*. Számítástechnika az oktatásban, Második Magyar Mechanikai Konferencia, Miskolc, 1992. január 12-15.
- Kirchner I.: *LEMEZ 3.3V végeelemes lemezprogram*. microCAD-SYSTEM '92 Nemzetközi Számítástechnikai Találkozó, Miskolc, 1992. február 25-29.
- Vutskits Zs. - Bojtár I. - Tomka P. - Kirchner I.: *Az osteolysis csökkentését célzó null-generációs protézisszár összehasonlító szilárdságtani vizsgálata*. A Magyar Ortopéd Társaság Vándorgyűlése, Miskolc-Lillafüred, 1992. május 28-30.
- Vutskits Zs. - Bojtár I. - Kirchner I. - Gálos M.: *A null-generációs csípő protézisszár rögzítésének kísérleti vizsgálata*. A Magyar Ortopéd Társaság Vándorgyűlése, Pécs, 1993. június 3-5.
- Szabó Z. - Bojtár I. - Polgár K. - Kirchner I. - Juhász I.: *Kutatási fázisban lévő, új megoldású csípőízületi protézis bemutatása és biomechanikai elemzése*. A Magyar Ortopéd Társaság Kongresszusa, Szeged, 1995. június 8-11.
- Vutskits Zs. - Bojtár I. - Tomka P. - Kirchner I.: *Csípő protézisszár biomechanikai kísérleti vizsgálata*. A Magyar Ortopéd Társaság Kongresszusa, Szeged, 1995. június 8-11.
- Lovas A. - Kaliszky S. - Bojtár I. - Tornyos Á. - Kurutzné Kovács M. - Kirchner I.: *Emberi koponya statikai és dinamikai vizsgálata*. Hetedik Magyar Mechanikai Konferencia, Miskolc, 1995. augusztus 29-31.
- Kirchner I.: *Optimális sík végeelem hálózat automatikus geometriai kialakítását célzó algoritmusok*. MTA-BME Mechanikai Kutatóközösség VI. Tudományos Ülésszaka, Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest, 1998. január 27-28.