

INTERNATIONAL UNION OF THEORETICAL
AND APPLIED MECHANICS
MAGYAR NEMZETI BIZOTTSÁGA

**X. MAGYAR MECHANIKAI KONFERENCIA
AZ ELŐADÁSOK ÖSSZEFOGLALÓI**



MISKOLCI EGYETEM
MISKOLC
2007. augusztus 27–29.

INTERNATIONAL UNION OF THEORETICAL
AND APPLIED MECHANICS
MAGYAR NEMZETI BIZOTTSÁGA

**X. MAGYAR MECHANIKAI KONFERENCIA
AZ ELŐADÁSOK ÖSSZEFOGLALÓI**

MISKOLCI EGYETEM
MISKOLC
1999. augusztus 27–29.

A szervezésben résztvevő intézmények

IUTAM Magyar Nemzeti Bizottsága

**Magyar Tudományos Akadémia
Szilárd Testek Mechanikája Bizottság**

**Miskolci Akadémiai Bizottság
Műszaki Mechanikai Albizottság**

Budapesti Műszaki és Közgazdaságtudományi Egyetem

**Építőmérnöki Kar
Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék**

**Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar
Mechanikai Tanszék**

Tudományos Bizottság		Szervező Bizottság
Kurutzné Kovács Márta <i>elnök</i>	Ádány Sándor <i>titkár</i>	Szeidl György <i>elnök</i>
Csizmadia Béla	Michelberger Pál	Szekeres András
Czibere Tibor	Kozák Imre	<i>titkár</i>
Domokos Gábor	Páczelt István	Baksa Attila
Gáspár Zsolt	Stépán Gábor	Jármai Károly
Kalischky Sándor	Tarnai Tibor	Kalmár László
Kollár László	Vajna Zoltán	Kerekes István
		Sárközi László
		Szabó Zsolt

Támogatást nyújt

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Tartalomjegyzék

<i>ALLERAM A.-DUNAI L.-JOÓ A. L.</i> : Ortotróp pályalemez fáradása: modellezés, analízis, jellemzés.....	1
<i>ÁDÁNY S.</i> : Vékonyfalú nyomott rudak kihajlása - analitikus megoldás a kritikus erőre héjmodell alapján.....	2
<i>ÁDÁNY S.</i> ... lásd <i>BEREGSZÁSZI Z.</i>	
<i>ÁDÁNY S.</i> ... lásd <i>JOÓ A. L.</i>	
<i>ÁRVA P.-SAJTOS I.</i> : Falazatok tönkremeneteli feltételeinek meghatározása homogenizációs modellekkel.....	3
<i>BACHRATHY D.-INSPERGER T.-STÉPÁN G.</i> : Felületi minőség számítása csavart élű szerszámmal történő marás során.....	4
<i>BAGI K.</i> ... lásd <i>TÓTH AXEL R.-ORBÁN Z.</i>	
<i>BAGI K.</i> ... lásd <i>KUHN, MATTHEW R.</i>	
<i>BAKSA A.</i> ... lásd <i>NÁNDORI F.-SZABÓ T.</i>	
<i>BAKSA A.</i> ... lásd <i>PÁCZELT I.-MROZ Z.</i>	
<i>BARKÓCZI I.</i> ... lásd <i>SÁRKÖZI L.</i>	
<i>BENDE M.-KARACSNÉ MINDSZENTY K.</i> : A mechanika oktatás helyzete a Bologna-folyamatban 2. rész.....	5
<i>BEREGSZÁSZI Z.-ÁDÁNY S.</i> : Vékonyfalú rudak torzulási horpadása - a tiszta és interakciós módok elemzése paraméteres vizsgálattal.....	6
<i>BERTÓTI E.</i> : Többmezős variációs elvek és végeelem-modellek a szilárd testek mechanikájában.....	7
<i>BÉDA P.</i> : A Portevin - le Chatelier hatás egy mechanikai interpretációja.....	8
<i>BÍRÓ I.</i> : Az emberi térd három-hengeres kinematikai modellje.....	9
<i>BOJTÁR G.-CSIZMADIA B.</i> : Textil kompozitrétegek anyagjellemzőinek becslési módszere.....	10
<i>BOJTÁR I.</i> ... lásd <i>NASZTANOVICS F.</i>	
<i>BOJTÁR I.</i> ... lásd <i>TÓTH B. K.</i>	
<i>BOJTÁR I.-GÁSPÁR ZS.-TARNAI T.</i> : Az MSc szintű építőmérnöki mechanika oktatásában használt tárgyak és témák a Muegyetemen és néhány környező ország egyetemén.....	11
<i>CSÁK B.</i> ... lásd <i>KEGYES-BRASSAI O.</i>	
<i>CSÁK B.-KEGYES-BRASSAI O.-NAGY G.</i> : Új irányzatok a vasbeton keretszerkezetek földrengés elleni védekezésben.....	12
<i>CSERNÁK G.-STÉPÁN G.</i> : A kétdimenziós mikro-káosz leképezés vizsgálata.....	13
<i>CSÉBFALVI A.</i> : Optimális szerkezet-tervezés és érzékenység vizsgálat.....	14
<i>CSIZMADIA B.</i> ... lásd <i>BOJTÁR G.</i>	
<i>CSIZMADIA B.-KATONA G.</i> : A hallgatóság hozzáállásának, tudásának változása az elmúlt években saját véleményük alapján.....	15
<i>CSIZMADIA B.-KATONA G.</i> : Kadaver (emberi holttest) térden végzett mérések kiértékelési eljárása.....	16
<i>CSUKA B.-VARGA L.-KULCSÁR B.-KOLLÁR L.</i> : Külpontosan terhelt száltekerccseléssel erősített	17

vasbeton oszlopok kísérleti és elméleti vizsgálata.....	
<i>DANI P.</i> ... lásd <i>KAKUCS A.-SZÁVA J.</i>	
<i>DEÁK GY.</i> ... lásd <i>S. RÁKÓCZY K.</i>	
<i>DEMENDY Z.</i> : Százszorszépek egy kétrétegű atmoszférában.....	18
<i>DEMETER P.</i> ... lásd <i>SZILÁGYI A.-PATKÓ GY.</i>	
<i>DÉNES I.</i> ... lásd <i>SZÖLLŐSI Á.</i>	
<i>DLUHI K.</i> ... lásd <i>ECSEDI I.</i>	
<i>DOMBÓVÁRI Z.-STÉPÁN G.</i> : Nagysebességű forgácsolás során fellépő öngerjesztett rezgések....	19
<i>DOMOKOS G.</i> ... lásd <i>SIPOS A. Á.</i>	
<i>DOMOKOS G.</i> ... lásd <i>SIPOS A. P.</i>	
<i>DOMOKOS G.</i> ... lásd <i>TÓTH K. -VÁRKONYI P.</i>	
<i>DUDRA J.-SZEIDL GY.</i> : Peremelem módszer síkfeladatokra ortotróp testek esetén duál rendszerben.....	20
<i>DULÁCSKA E.</i> : Összedőlt egy templom. Vajon miért?.....	21
<i>DULÁCSKA E.-VISNOVITZ GY.</i> : Berepedt vasbeton keresztmetszet inercianyomatékának egyszerűsített meghatározása.....	22
<i>DUNAI L.</i> ... lásd <i>ALLERAM A.-JOÓ A. L.</i>	
<i>DUNAI L.</i> ... lásd <i>JAKAB G.</i>	
<i>DUNAI L.-JOÓ A.-VIGH L. G.</i> : A Dunaújvárosi Duna-híd stabilitásvizsgálatai.....	23
<i>ECSEDI I.</i> : Egy közelítő módszer a tömör keresztmetszetű prizmatikus rudak csavarási feladatának a megoldására.....	24
<i>ECSEDI I.-DLUHI K.</i> : Állandó görbületű, több rétegű piezoelektromos rudak hajlítási feladata...	25
<i>ÉCSI L.</i> ... lásd <i>ÉLESZTŐS P.</i>	
<i>ÉCSI L.-ÉLESZTŐS P.</i> : Bányászati műveletek 2d numerikus szimulációja diszkrét elem módszer segítségével.....	26
<i>ÉGERT J.</i> ... lásd <i>PERE B.</i>	
<i>ÉGERT J.-SZABÓ T.-PERE B.</i> : A mechanika oktatás kilátásai a Széchenyi István Egyetem Gépész-, Informatikai és Villamosmérnöki Intézetében a kétlépcsős képzésre történő átállás során.....	27
<i>ÉLESZTŐS P.</i> ... lásd <i>ÉCSI L.</i>	
<i>ÉLESZTŐS P.-ÉCSI L.</i> : Hőcserénél keletkező kvázistacionárius hőmérséklet és feszültségmezők számítása Fourier módszerrel.....	28
<i>FARKAS J.-JÁRMAI K.-ORBÁN F.</i> : Külső nyomásnak kitett gyűrűmerezített kúpos héjak költségminimalizálása.....	29
<i>FARKAS M.</i> ... lásd <i>IMRE E. -RÓZSA P.</i>	
<i>FORNET B.</i> ... lásd <i>KURUTZNÉ KOVÁCS M.-GÁLOS M.-VARGA P.</i>	
<i>GÁLFI B.-SÁROSI P.-SZILÁGYI L.-VAJDA T.-SZÁVA J.</i> : Számítógépes program Moiré sávok kiértékelésére.....	30
<i>GÁLOS M.</i> ... lásd <i>KURUTZNÉ KOVÁCS M. -VARGA P.-FORNET B.</i>	

<i>GARAB J. ... lásd SZALAI J.</i>	
<i>GÁSPÁR ZS. ... lásd BOJTÁR I.-TARNAI T.</i>	
<i>GÁSPÁR ZS.-PEZER F.: Szerkezetek tökéletlenségérzékenysége kettőscsúcs-katasztrófa esetén..</i>	31
<i>GOMBOS Á.-SZABÓ L.: Mikropoláris testek kis rugalmasképlékeny alakváltozásának elméleti és numerikus vizsgálata.....</i>	32
<i>GYÖRGYI J.-SZABÓ G.: Szél dinamikai hatásának vizsgálata generált szélsősebesség-függvény alkalmazásával.....</i>	33
<i>HARIS I.-HORTOBÁGYI ZS.: Téglafallal merevített monolit vasbeton keret modellezése VEM programmal.....</i>	34
<i>HEGEDŰS A.: Mechanikai fogalmak értelmezése a magyar és idegen nyelvű szakirodalomban..</i>	35
<i>HEGYI D.: Ponyvaszerkezetek analízise térbeli görbült végelem segítségével.....</i>	36
<i>HONFI D.: Vékonyfalú acélgerendák optimális tervezése genetikussal.....</i>	37
<i>HORTOBÁGYI ZS. ... lásd HARIS I.</i>	
<i>HORVÁTHNÉ DR. VARGA Á.: Földalatti üregek repedésképződéssel.....</i>	38
<i>HORVÁTH P.-SZABÓ T.: Zongora felharmonikus rezgéseinek harmonizálása.....</i>	39
<i>IMRE E.-FARKAS M.-RÓZSA P.: A pontszimmetrikus konszolidációs modellek hasonlósága.....</i>	40
<i>IMRE E. ... lásd LŐRINCZ J.-TRANG P.-PUSZTAI J.-PUCHARD Z.</i>	
<i>INSPERGER T. ... lásd BACHRATHY D.-STÉPÁN G.</i>	
<i>INSPERGER T.-STÉPÁN G.: Beavatkozom-és-várok szabályozási technika késleltetett visszacsatolást tartalmazó rendszerekre.....</i>	41
<i>JAKAB G.-DUNAI L.: Vékonyfalú rácsos tartó csomópontjának viselkedése, analízise és méretezése.....</i>	42
<i>JÁRMAI K. ... lásd FARKAS J.-ORBÁN F.</i>	
<i>JOÓ A. L. ... lásd ALLERAM A.-DUNAI L.</i>	
<i>JOÓ A. L. ... lásd DUNAI L. -VIGH L. G.</i>	
<i>JOÓ A. L.-ÁDÁNY S.: Vékonyfalú nyomott oszlopok végeelemes stabilitásvesztési alakjainak osztályozása végessávós bázisfüggvények segítségével.....</i>	43
<i>JÓZSA J.: Szabadszélű sekély vizek áramlástan: elméletmérés-numerikus modellezés.....</i>	44
<i>KAKUCS A.-SZÁVA J.-DANI P.: Felhabzó festékek végeelemes modellezése.....</i>	45
<i>KARACSNÉ MINDSZENTY K. ... lásd BENDE M.</i>	
<i>KATONA G. ... lásd CSIZMADIA B.</i>	
<i>KATONA G. ... lásd CSIZMADIA B.</i>	
<i>KEGYES O. ... lásd CSÁK B. -NAGY G.</i>	
<i>KEGYES-BRASSAI O.-CSÁK B.: Téglapépületek sérülékenysége.....</i>	46
<i>KEPPLER I.: Természetes boltozódás mechanikai modellje.....</i>	47
<i>KISS R.: A dinamikus érzékelés vizsgálatának mechanikai alapjai.....</i>	48
<i>KOCSÁN L. GY.: Kétmezős lineáris körhengerhéj-modell elsőrendű feszültségfüggvényekkel...</i>	49
<i>KOLLÁNYI T. ... lásd PATKÓ GY.</i>	

<i>KOLLÁR L. ... lásd CSUKA B.- VARGA L.-KULCSÁR B.</i>	
<i>KOLLÁR L. ... lásd KULCSÁR B.</i>	
<i>KOLLÁR L. ... lásd VIGH A.</i>	
<i>KOLLÁR L.: Bevezetés a tartószerkezetek tervezésébe (új, bevezető tárgy a BSc képzésben)....</i>	50
<i>KOSSA A.-SZABÓ L.: Rugalmas-képlékeny testek konstitutív egyenleteinek integrálása lineáris izotróp és kinematikai keményedés esetén.....</i>	51
<i>KOVÁCS P. Z.: Piezoelektromos elemeket is tartalmazó szerkezetek elasztostatikai peremérték-feladata a lineáris rugalmasságtan primál rendszerében.....</i>	52
<i>KOVÁCS Á.-VÍZVÁRY Zs.: Kétrétegű porózus nanoszűrő membrán rugalmassági modulusának meghatározása numerikus szimulációval.....</i>	53
<i>KOVÁCS F. ... lásd TARNAI T.</i>	
<i>KOVÁCS F.-TARNAI T.: Gömbi rácsos tartók statikai és kinematikai vizsgálata.....</i>	54
<i>KOVÁCS L. L.-STÉPÁN G.: Kis csillapítású lengőrendszerek digitális erőszabályozásának stabilitása és optimalizálási lehetősége.....</i>	55
<i>KOVÁCS N.-ROBERT L.: Nyomatékbíró oszlop-gerenda kapcsolatok viselkedésének modellezése.....</i>	56
<i>KOZÁK I.: Geometriailag nemlineáris héjelmélet véges forgásmező és kis alakváltozásmező esetére.....</i>	57
<i>KUHN, MATTHEW R.-BAGI K.: Mintázatok kicsi és nagy szemcsehalmazokban: diszkrét elemes szimulációk tapasztalatai.....</i>	58
<i>KULCSÁR B. ... lásd CSUKA B.- VARGA L.-KOLLÁR L.</i>	
<i>KULCSÁR B.-KOLLÁR L.: Oszlop-gerenda megtámasztású fa- és fa-beton öszvérfödémek lengései.....</i>	59
<i>KURUTZNÉ KOVÁCS M. ... lásd NÉDLI P.</i>	
<i>KURUTZNÉ KOVÁCS M. ... lásd OROSZVÁRY L. - KUTRIK A.</i>	
<i>KURUTZNÉ KOVÁCS M.-GÁLOS M.-VARGA P.-FORNET B.: Osteoporotikus lumbális csigolyák regionális nyomószilárdsági jellemzői az életkor és a nemek függvényében.....</i>	60
<i>KUTRIK A. ... lásd OROSZVÁRY L.-KURUTZNÉ KOVÁCS M.</i>	
<i>LADÁNYI G.-SZABÓ L.: A képlékeny izotróp keményedő peridinamikus anyagmodell.....</i>	61
<i>LÁMER G.: Erő - nyomaték - feszültség - megoszló nyomaték?.....</i>	62
<i>LENGYEL A.: A bambusz szárának mechanikai vizsgálata.....</i>	63
<i>LENKEI P.: Mit változtathat a tartószerkezetek mechanikai vizsgálatain a várható éghajlat változás?.....</i>	64
<i>LÓGÓ J. ... lásd SZŐKE D.</i>	
<i>LŐRINCZ J.-IMRE E.-TRANG P.-PUSZTAI J.-PUCHARD Z.: A száraz homokok sűrűsége a szemeloszlás függvényében.....</i>	65
<i>LUKÁCS A. ... lásd SZABÓ Zs.</i>	
<i>MATÉ M.-SZÁVA J.: A mechanika oktatásának sajátosságai a Sapientia erdélyi magyar tudományegyetemen.....</i>	66
<i>MROZ Z. ... lásd PÁCZELT I. -BAKSA A.</i>	

<i>NAGY G. ... lásd CSÁK B. - KEGYES O.</i>	
<i>NASZTANOVICS F.-BOJTÁR I.: Agyi aneurizma numerikus vizsgálata.....</i>	67
<i>NÁNDORI F.-SZABÓ T.-BAKSA A.: Légrugó végeeselemes analízise.....</i>	68
<i>NÉDLI P.-KURUTZNÉ KOVÁCS M.: Gerinc-szegmentum numerikus vizsgálata nem sima anyag és kapcsolat esetén.....</i>	69
<i>NÉMETH F.: Tenzorkörök és polárgörbék alkalmazása vasbeton lemezek és héjak optimális méretezésénél.....</i>	70
<i>NÉMETH R.: Nyírásmentes rúd stabilitási indexének számítása.....</i>	71
<i>OLDAL I.: Szemcsés anyagok silókból való kifolyásának vizsgálata.....</i>	72
<i>ORBÁN F.... lásd FARKAS J.-JÁRMAI K.</i>	
<i>ORBÁN Z. ... lásd TÓTH AXEL R. -BAGI K.</i>	
<i>ORBÁN Z.: Boltozott hidak biztonságának megítélése.....</i>	73
<i>OROSZVÁRY L.-KURUTZNÉ KOVÁCS M.-KUTRIK A.: Lumbális gerincszegmentum viselkedésének szimulálása finomított végeeselemes modell alapján nyújtási terápiaiban.....</i>	74
<i>PATKÓ GY. ... lásd SZILÁGYI A. -DEMETER P.</i>	
<i>PATKÓ GY.-KOLLÁNYI T.: Szíjágak transzverzális lengéseinek stabilitásvizsgálata.....</i>	75
<i>PÁCZELT I.-MROZ Z.-BAKSA A.: Állandósult kopás numerikus vizsgálata.....</i>	76
<i>PÁLFALVI A.: Polipropilén alkatrész ciklikus mechanikai viselkedése.....</i>	77
<i>PÁLMAI Z.: Kaotikus jelenség fémek nagy, gyors deformációjánál (a forgácsolás példáján).....</i>	78
<i>PERE B.... lásd ÉGERT J.-SZABÓ T.</i>	
<i>PERE B.-ÉGERT J.: Csővezetékek sérüléseinek környezetében kialakuló szilárdságtani állapotok numerikus vizsgálata.....</i>	79
<i>PERE B.-SZABÓ T.: Tengelyszimmetrikus nagy alakváltozású érintkezési feladat vizsgálata p-verziós végeeselem modellezéssel.....</i>	80
<i>PEZER F. ... lásd GÁSPÁR ZS.</i>	
<i>POMÁZI L.: Többrétegű szendvics-típusú kör alakú lemez stabilitásának peremérték-feladata....</i>	81
<i>POMEZÁNSKI V.: Topológia optimalizációs módszerek eredményei és azok összehasonlítása.....</i>	82
<i>PUCHARD Z. ... lásd LŐRINCZ J.-IMRE E.-TRANG P.-PUSZTAI J.</i>	
<i>PUSZTAI J. ... lásd LŐRINCZ J.-IMRE E.-TRANG P. -PUCHARD Z.</i>	
<i>ROBERT L. ... lásd KOVÁCS N.</i>	
<i>RÓZSA P. ... lásd IMRE E.-FARKAS M.</i>	
<i>S. RÁKÓCZY K.-DEÁK GY.: Statikailag határozatlan vasbeton elemek vizsgálata a használati határállapotban.....</i>	83
<i>SAJTOS I. ... lásd VAJK R.</i>	
<i>SAJTOS I. ...lásd ÁRVA P.</i>	
<i>SAJTOS I.: Nyírófeszültségek számítása változó keresztmetszetű gerendákban, "mérnöki megközelítés".....</i>	84
<i>SÁRKÖZI L.-BARKÓCZI I.: Védő és fázisvezető sodronyok analitikus szilárdságtani vizsgálata rugalmas viselkedés esetén.....</i>	85

<i>SÁROSI P.</i> ... lásd <i>GÁLFI B.-SZILÁGYI L.-VAJDA T.-SZÁVA J.</i>	
<i>SCHARLE PÉTER</i> : Mechanikai ismeretek a szakmai esettanulmányokban.....	86
<i>SIPOS A. Á.-DOMOKOS G.</i> : Mérnöki példák tökéletlen szimmetriájú, optimális szerkezetekre....	87
<i>SIPOS A. Á.-DOMOKOS G.</i> : Tetszőleges alakú, húzószilárdság nélküli keresztmetszet semleges tengelyének és görbületének számítása.....	88
<i>STÉPÁN G.</i> ... lásd <i>INSPERGER T.</i>	
<i>STÉPÁN G.</i> ... lásd <i>BACHRATHY D.- INSPERGER T.</i>	
<i>STÉPÁN G.</i> ... lásd <i>CSERNÁK G.</i>	
<i>STÉPÁN G.</i> ... lásd <i>DOMBÓVÁRI Z.</i>	
<i>STÉPÁN G.</i> ... lásd <i>KOVÁCS L. L.</i>	
<i>STÉPÁN G.</i> ... lásd <i>TAKÁCS D.</i>	
<i>SZABÓ G.</i> ... lásd <i>GYÖRGYI J.</i>	
<i>SZABÓ L.</i> ... lásd <i>GOMBOS Á.</i>	
<i>SZABÓ L.</i> ... lásd <i>KOSSA A.</i>	
<i>SZABÓ L.</i> ... lásd <i>LADÁNYI G.</i>	
<i>SZABÓ T.</i> ... lásd <i>ÉGERT J.-PERE B.</i>	
<i>SZABÓ T.</i> ... lásd <i>HORVÁTH P.</i>	
<i>SZABÓ T.</i> ... lásd <i>NÁNDORI F. -BAKSA A.</i>	
<i>SZABÓ T.</i> ... lásd <i>PERE B.</i>	
<i>SZABÓ V.</i> : Hőszigetelés elleni védőpajzs termomechanikai szimulációja és optimalizálása.....	89
<i>SZABÓ ZS.-LUKÁCS A.</i> : Mobiltelefonokban alkalmazandó új típusú elektromágneses aktuátor dinamikai vizsgálata.....	90
<i>SZALAI J.-GARAB J.</i> : Anizotrop tönkremeneteli elméletek összehasonlítása faanyagon végzett kísérletek eredményei alapján.....	91
<i>SZÁVA J.</i> ... lásd <i>GÁLFI B.-SÁROSI P.-SZILÁGYI L.-VAJDA T.</i>	
<i>SZÁVA J.</i> ... lásd <i>KAKUCS A -DANI P.</i>	
<i>SZÁVA J.</i> ... lásd <i>MÁTÉ M.</i>	
<i>SZEIDL GY.</i> ... lásd <i>DUDRA J.</i>	
<i>SZEIDL GY.-SZŰCS N.</i> : A direkt módszer integrálegyenletei saját síkjában is terhelt lemezre.....	92
<i>SZEKERES A.</i> : Fourier és Fick a termo-higro-mechanikában.....	93
<i>SZEKRÉNYES A.</i> : Előfeszített kompozit rudak alkalmazása törésmechanikában.....	94
<i>SZILÁGYI A.-PATKÓ GY.-DEMETER P.</i> : Szuperfiniselő berendezés dinamikai vizsgálata.....	95
<i>SZILÁGYI L.</i> ... lásd <i>GÁLFI B.-SÁROSI P.-VAJDA T.-SZÁVA J.</i>	
<i>SZIRBIK S.</i> : Duál rendszerbeni peremkontúr-módszer vegyes peremérték feladatokra.....	96
<i>SZŐKE D.</i> : Az abroncs által módosított útegységatlenség tulajdonsága.....	97
<i>SZŐKE D.-LÓGÓ J.</i> : A jármű felfüggesztési paramétereinek optimalizálása.....	98
<i>SZÖLLŐSI Á.-DÉNES I.</i> : Piezoelektromos fóliaaktuátorok kifáradásának vizsgálata.....	99
<i>SZŰCS N.</i> ... lásd <i>SZEIDL GY.</i>	

SZŰCS N. ... lásd SZEIDL Gy.

TAKÁCS D.-STÉPÁN G.: Vontatott kerek kvázi-periódikus rezgéseinek kísérleti elemzése..... 100

TARNAI T. ... lásd BOJTÁR I.- GÁSPÁR Zs.

TARNAI T. ... lásd KOVÁCS F.

TARNAI T.-KOVÁCS F.: Csillagpoliéderek merevsége..... 101

THAMM F.: Külső helyszíneken végzett mechanikai vizsgálatok feladatai és lefolytatásuk különleges kérdései..... 102

TÓTH B.: A háromdimenziós Hellinger-Reissner-féle variációs elv alkalmazása forgáshéjakra.. 103

TÓTH AXEL R.-ORBÁN Z.-BAGI K.: Falazott ívhíd diszkrétteles vizsgálat..... 104

TÓTH B. K.-BOJTÁR I.: Áramló folyadékban lévő szilárd részecskék vizsgálata..... 105

TÓTH K.-DOMOKOS G.-VÁRKONYI P.: Statikailag határozott rácsostartók aszimmetrikus optimumai és neutrális viselkedése..... 106

TRANG P. ... lásd LŐRINCZ J.-IMRE E. -PUSZTAI J.-PUCHARD Z.

TRIESZ P.: A felütközés, mint nemlineáris jelenség stabilitásvizsgálata a rotordinamikában..... 107

VAJDA T. ... lásd GÁLFI B.-SÁROSI P.-SZILÁGYI L.-SZÁVA J.

VAJK R.-SAJTOS I.: Vasbeton gerendák viselkedésének és duktilitásának méretfüggése..... 108

VARGA L. ... lásd CSUKA B.- KULCSÁR B.-KOLLÁR L.

VARGA P. ... lásd KURUTZNÉ KOVÁCS M.-GÁLOS M. -FORNET B.

VÁRKONYI P. ... lásd TÓTH K.-DOMOKOS G.

VIGH A.-KOLLÁR L.: Hídszerkezetek közelítő számítása útvonalengedélyezéshez..... 109

VIGH L. G. ... lásd DUNAI L. -JOÓ A. L.

VIGH L. G.: Összetett igénybevételekkel terhelt, többszörösen merevített lemezek rugalmas stabilitásvesztése..... 110

VISNOVITZ Gy. ... lásd DULÁCSKA E.

VÍZVÁRY Zs. ... lásd KOVÁCS Á.

VÖRÖS G.: Gátolt csavarás hatása merevítő rúdelemekben..... 111

ORTOTROP PÁLYALEMEZ FÁRADÁSA: MODELLEZÉS, ANALÍZIS, JELLEMZÉS

Alleram Anikó, Dr. Dunai László, Joó Attila László

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszéke

E-mail: anikoalleram@gmail.com

Az előadás az ortotrop pályalemezek hosszborða és pályalemez kapcsolatánál kialakított varratok numerikus fáradásvizsgálatával foglalkozik. Egy olyan módszer kidolgozása volt a cél, amellyel ezeknek a szerkezeti részleteknek a fáradási élettartama numerikus modelleken végrehajtott analízis alapján határozható meg, a korábbi vizsgálatokhoz képest megalapozottabban és nagyobb pontossággal.

A hídépítésben gyakran alkalmazott ortotrop pályaszerkezeti rendszer elterjedését kis önsúlyának és egyszerű gyárthatóságának köszönheti. Két típusa közül előnyösebb a zárt hosszborða alkalmazása, mivel merevebb pályaszerkezetet tesz lehetővé és gyártáskor kevesebb hegesztett kapcsolatra van szükség. A kialakítás hátránya viszont, hogy fáradásra igen érzékeny.

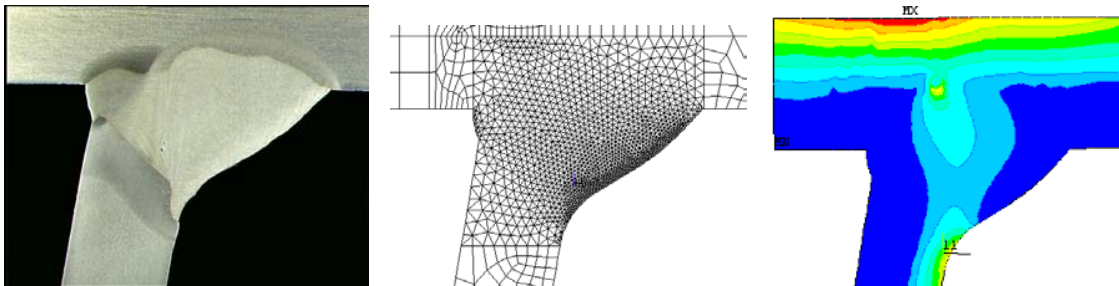
A fáradásvizsgálatok elvégzésének egyik alternatívája az Eurocode 3 [1] szerinti geometriai feszültségek meghatározásán alapul. Ebben az esetben a vizsgált szerkezeti pontot a kapcsolati varrat kialakítása alapján részletesztályba sorolják, és ez alapján meghatározzák fáradási szilárdságát. Ezen túl szükség van a szerkezeti pont mértékadó igénybevételére, azaz a terhelési történetből számítható geometriai feszültség ingadozására. Ennek legfontosabb lépése a lokális hibákkal terhelt pontban a geometriai feszültségek számítása.

A szerkezeti pontban kialakuló geometriai feszültségek számítására kétféle végeselemes modellt használtam: egy kétlépcsős héj és tárcsamodellt valamint egy vegyes héj és test modellt. Az első esetben egy globális héjszerkezeti modellen az Eurocode 1 [2] szabványos kerékterheiből – a járművek haladásának a sáv középvezonától való eltéréseit is figyelembe véve – határoztam meg az elmozdulásokat, majd ezeket az elmozdulásokat alkalmaztam a tárcsa modellre, mint kinematikai terhet. A második globális héjszerkezeti modellben a vizsgált varratkörnyezetet testmodellként építettem fel.

Az elemzéshez a pályalemez és hosszborða kapcsolatánál kialakuló feszültségeket használtam fel az International Institute of Welding (IIW) [3] ajánlásában a geometriai feszültségek meghatározására vonatkozó végeselemes számításoknál használt képletetek alapján. Az EC1 által előírt járműszám függvényében a geometriai feszültségekből kapható meg a szerkezeti pont terhelési története.

A vizsgálat végeredménye a szabványos terhelésekből származó feszültségek alapján a szerkezeti pont fáradási élettartamának becslése.

Az előadásban a módszer elvét és lépéseit konkrét ortotrop pályaszerkezet esetén mutatom be. A modellekben a varratgeometriákat valós kialakítások alapján definiáltam.



1. ábra: Egy vizsgált varrat geometriája, a modell kialakítása és a húzási főfeszültségek eloszlása

HIVATKOZÁSOK

1. Eurocode 3: Design of steel structures, Part 1-9: Fatigue, 2003
2. Eurocode 1: Actions on structures, Part 2 : Traffic loads on bridges, 2002
3. A. Hobbacher: *Recommendations for fatigue design of welded joints and components*. INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING - IIW / IIS, University of Applied Sciences, Germany, 2003

VÉKONYFALÚ NYOMOTT RUDAK KIHAJLÁSA – ANALITIKUS MEGOLDÁS A KRITIKUS ERŐRE HÉJMODELL ALAPJÁN

Ádány Sándor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: sadany@epito.bme.hu

Nyomott rudak kritikus terhének számítása egy klasszikus mechanikai feladat. A kritikus erőre vonatkozó képletek évtizedek óta, sőt, a síkbeli kihajlás esetén több mint 200 éve (Euler munkája nyomán) ismertek. Ezek az analitikus megoldások a klasszikus gerendaelmélet alapján születtek meg, annak *a priori* feltételezésével, hogy a rúd keresztmetszetének deformációi elhanyagolhatóan kicsinyek, s így a rúd elmozdulásai jellemezhetőek pusztán középvonalának elmozdulásaival.

A számítástechnika fejlődése és a végeelem módszer elterjedése ugyanakkor lehetővé teszi, hogy a kritikus terhet a gerendaelméletnél általánosabb elmozdulás-alakváltozás mező feltételezésével határozzuk meg. Az általánosabb modellre szükség is van, például vékonyfalú rudak esetén, amelyeknél a keresztmetszet deformációinak fontos hatása lehet. A vékonyfalú szelvényeket tehát előnyösen modellezhetjük héj végeelemekkel, mely lehetővé teszi a globális stabilitásvesztés (úm. síkbeli vagy térbeli kihajlás) és a lokális, a keresztmetszet torzulásaival járó stabilitásvesztés (úm. lemezhorpadás) egységes kezelését, a különböző módok interakciójának vizsgálatát, a klasszikus megoldásoknál általánosabb geometria, terhelés és peremfeltételek esetén is.

Ugyanakkor általános tapasztalat, hogy a héjelemekkel végrehajtott kritikus erő számítás gyakorlatilag soha nem ad a klasszikus analitikus megoldásokkal egyező eredményt, még akkor sem, ha egyébként a feladat és a rúd sajátalakja látszólag megfelel a gerendamodell feltevéseinek. Jelen kutatás arra a kérdésre keresi a választ, hogy mi okozza ezeket a mindig meglévő (bár általában kicsiny) eltéréseket, valamint hogy van-e mód arra, hogy a héjmodell segítségével pontosan visszakapjuk a gerendamoddal meghatározott analitikus megoldásokat.

A kérdés megválaszolásának választott módja egy olyan analitikus összefüggés levezetése, mely a héj végeelemek elmozdulás-alakváltozás mezőjéből indul ki. A megoldás főbb logikai lépései az alábbiak:

- a vékonyfalú rúdelemet annak sík alkotólemezeivel modellezzük,
- az alkotólemezek viselkedését saját síkjukban a klasszikus tárcsaelmélettel, saját síkjukra merőlegesen pedig a klasszikus (Kirchoff-féle) lemezelmélettel vizsgáljuk,
- a rúd rugalmas, azaz az anyagmodell az általános Hooke-törvény,
- a rúd globális kihajlása esetén feltesszük, hogy a keresztmetszet nem deformálódik,
- a kritikus állapotban az elmozdulások szinuszos eloszlásúak a hossz tengely mentén,
- az alakváltozások és elmozdulások kapcsolatánál figyelembe vesszük a (szokásos) másodfokú tagokat,
- a kritikus erőt az energiamódszerrel (a potenciálfüggvény minimumpontjaként) határozzuk meg.

A fenti feltételezésekkel és lépésekkel zárt képletek vezethetők le a kritikus erőre. A képletek természetesen hasonlóak a klasszikus képletekhez, de nem egyeznek meg velük, az alábbiak szerint.

- Különbség származhat az alakváltozások lemezzvastagság menti változásának figyelembe vételéből a potenciális energia felírásánál. Konkrétan: szokás csak a középvonal alakváltozással számolni, de figyelembe vehetjük a vastagság menti (lineáris) eloszlást is.
- Különbség származik az alakváltozás-elmozdulás függvény másodrendű tagjaiból, illetve abból, hogy pontosan mely másodrendű tagokat vesszük figyelembe. A klasszikus megoldások általában csak a hossz tengelyre merőleges irányokhoz tartozó másodrendű tagokat veszik figyelembe, míg héjmodell esetén a hosszirány és keresztirány általában nem különböztethető meg.
- Különbség származik abból, hogy a gerendaelmélet szerint a keresztmetszet elmozdulásai elhanyagolhatóan kicsinyek, (de nyilvánvalóan léteznek a harántkontrakció miatt,) míg a héjmodellel alapuló megoldásnál a globális stabilitásvesztés esetén valódi merev keresztmetszetet tételezünk fel, (mert a gerendamodell feltevései általánosan nem szimulálhatóak héjmodellel).

Fenti különbségek ismeretében megállapítható, hogy elvileg van mód arra, hogy a héjmodellel a gerendaelmélet szerinti kritikus erőket pontosan visszakapjuk, bár ennek gyakorlati megvalósítása nem feltétlenül egyszerű.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönetét fejezi ki a Bolyai ösztöndíj és az OTKA K62970 projekt keretében kapott támogatásért.

FALAZATOK TÖNKREMETETELI FELTÉTELEINEK MEGHATÁROZÁSA HOMOGENIZÁCIÓS MODELLEKKEL

Árva Péter és Sajtos István
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék
E-mail: peterarva@freemail.hu
E-mail: sajtos@silver.szt.bme.hu

Falazatok teherbírását hagyományosan kísérleti úton határozzák meg. A falak tervezéséhez használt szilárdsági jellemzőket a kísérletek eredményeire illesztett görbékkel, empirikusan adják meg [2, 3, 4]. Kutatásunkban elméleti mechanikai modellekkel vizsgáljuk és írjuk le a falazatok viselkedését.

A vizsgálati módszerünk alapja egy egyszerűsített homogenizációs modell [1], amely a falazat „makroszintű” mechanikai tulajdonságait a falazatot alkotó falazóelem és habarcs „mikroszintű” mechanikai tulajdonságaiból illetve a kötési módból adja meg. A modellhez egy olyan alapcellát használunk, melyből az egész falazat kirakható eltolással és tükrözéssel. Az alapcella viselkedése megadja a falazat viselkedését. (A reprezentatív térfogat meghatározása elkerülhető, mivel az alapcellából előállítható a teljes falazat.) Az alapcellán végzett számításokkal meghatározható a falazat „makroszkopikus” anyagtörvénye és tönkremeneteli feltétele.

A fenti modellt több irányban fejlesztettük tovább:

- vasalatlan modellt kibővítettük fekvőhézagba helyezett vasalással
- új modellt alkottunk a kitöltetlen állóhézagú falazat leírására
- eltérő kötési módú falazatra is modellt alkottunk (figyelembe véve a falsíkkal párhuzamos fekvőhézag hatását)

A megfelelően kiválasztott homogenizációs modellek megfeleltethetők a terhelt falazat tönkremeneteli állapotainak, és felfoghatók úgy, mint a tönkremeneteli folyamat egyes diszkrét állapotai. A falazat tönkremeneteli folyamata így leírható diszkrét modellek összekapcsolásával is, ahol a homogenizációs modellek rendszere írja le a tönkremeneteli folyamatot és határozza meg a tönkremeneteli feltételeket.

Előadásunkban bemutatjuk a homogenizációs modelleket, és példákat mutatunk a tönkremeneteli feltételekre különböző módon kialakított falazatok esetében.

HIVATKOZÁSOK

1. Zucchini, A., Lourenço, P. B.: *A micro-mechanical model for the homogenisation of masonry*, Int. J. Solids Struct. 39 (2002) 3233-3255
2. Page, A. W.: *The biaxial compressive strength of brick masonry*, Proc. Instn Civ. Engrs, Part 2, 1981, 71, Sept., 893-906
3. Magyar Szabvány- Eurocode 6: *Falazott szerkezetek tervezése*, MSZ EN 1996-1-1:2006, Magyar Szabványügyi Testület
4. Andrejev, Sz. A.: *Falazott szerkezetek tervezése és számítása*, É. M. Építőipari Könyv- és Lapkiadó, Budapest, 1953

FELÜLETI MINŐSÉG SZÁMÍTÁSA CSAVART ÉLŰ SZERMÁMMAL TÖRTÉNŐ MARÁS SORÁN

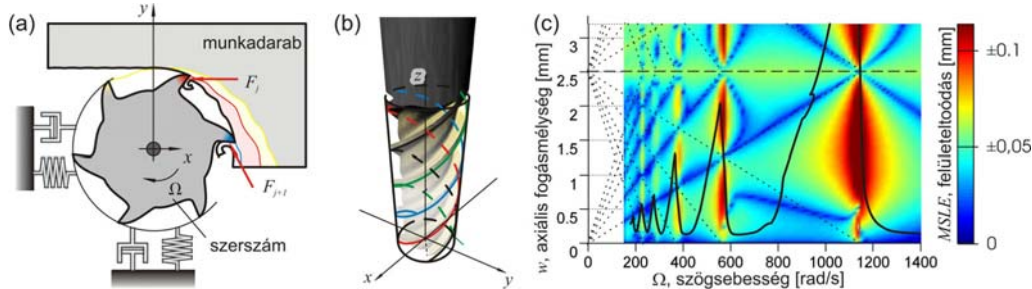
Bachrathy Dániel, Insperger Tamás, Stépán Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: bachrathy@mm.bme.hu

A szerszámgepek rezgése fontos probléma a forgácsolási eljárások során. A marási folyamat során kialakuló nagy amplitúdójú öngerjesztett-rezgés, az úgynevezett „chatter” csökkenti a szerszám élettartamát, valamint rossz minőségű felületet okoz. Ennek megfelelően a legtöbb kutatás [1,2,3] arra irányul, hogy meghatározza azokat a technológiai paramétereket, amelyek mellett a megmunkálás stabil. Az így kapott térképről választhatóak olyan technológiai paraméterek, amelyekkel nagy anyagleválasztási-sebesség érhető el stabil megmunkálási folyamat mellett, de a legtöbb esetben ezeknél a paramétereknél jelentős erő-gerjesztett rezgés jön létre, amely szintén rossz felületi minőséget okoz. Az irodalomban az így kialakult felületi érdességet többnyire egyenes élű szerszám esetén vizsgálták [2,3].

A számításaink során [4] egy két-szabadságfokú (1. ábra a), csavart élű szerszám modelljét (1. ábra b) használtuk a stabilitás és a felületi minőség meghatározására.



1. ábra: (a) 2 szabadságfokú marómodell, (b) csavart élű marószerszám, (c) stabilitási határ (fekete vonal) és felületi minőség (színskála)

A stabilitás meghatározásához a szemidiszkrétizációs módszert használtuk [5]. Ezek után meghatároztuk a forgácsoló erő által létrehozott gerjesztett rezgés pályáját, amelyből a megmunkált felületet állítottuk elő. A felület leírására három paramétert használtunk. Az első a felületi profil teljes magassága elöltozás irányában, amely a tipikus lokális felületi hiba egyenes élű marók esetén. A második a felületi profil teljes magassága axiális irányában, amely csak a csavart élű szerszámnál jelentkezik, tehát egyenes élű szerszámnál ez a hiba zérus. Végül a maximális felületi eltolódás, amely a felület egészének a helyzetét adja meg a megkívánt felülethez képest. Számításaink során azt tapasztaltuk, hogy egyenes élű szerszám esetén az effektív technológiai paramétereknél a forgácsoló erő felharmonikusai gerjesztik a rendszert, így rossz felületi minőség alakul ki. Ezzel szemben a csavart élű marónál megfelelő axiális fogásmélység választásával az erő-gerjesztett rezgés eltűnik és igen jó felületi minőség alakul ki.

Köszönetnyilvánítás: A kutatás a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja és a Magyar Nemzeti Kutatási Alapítvány (OTKA F047318 és OTKA T043368) támogatásával készült.

HIVATKOZÁSOK

1. Zatarain, M., Munoa, M., Peigné, G., Insperger, T., *Analysis of the influence of mill helix angle on chatter stability*, 2006, Annals of the CIRP, 55(1), pp. 365-368.
2. Mann, B.P., Young, K. A., Schmitz, T.L., Diley, D.N., *Simultaneous Stability and Surface Location Error Predictions in Milling*, 2005, Journal of Manufacturing Science and Engineering, 127, 446-453.
3. Insperger, T., Gadišek, J., Kalveram, M., Stépán, G., Weinert, K., Goverkar, E., *Machine tool chatter and surface quality in milling processes*, 2004 Proceedings of ASME International Mechanical Engineering Conference and Exposition, Anaheim CA, paper no. IMECE2004-59692 (CD-ROM).
4. Bachrathy, D., *A study of the milled surface in the dynamics of milling*, 2006, Msc. Thesis, University of Bristol and Budapest University of Technology and Economics.
5. Insperger, T., Stépán, G., *Semi-discretization method for delayed systems*, 2002, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 55, 503-518

A MECHANIKAOKTATÁS HELYZETE A BOLOGNA-FOLYAMATBAN

2. RÉSZ

Bende Margit, Karacsné Mindszenty Klára

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: margit@mm.bme.hu, kmk@mm.bme.hu

Az 1. rész a 2003-as MOHR konferencián hangzott el. Akkor a Bologna nyilatkozatban megfogalmazott célkitűzéseket tekintettük át, a körvonalazódó magyarországi felsőoktatási reform és azon belül a mérnökképzésre vonatkozó tervezett intézkedések hatását próbáltuk felmérni. Javaslatokat fogalmaztunk meg, felhasználva a GAMM és a SEFI ajánlásait.

Jelen előadásban megpróbáljuk áttekinteni, hogy a meghozott intézkedéseknek milyen közvetlen és közvetett hatásuk van az alapképzésben a mechanika oktatására. Bemutatjuk a BME Gépészmérnöki Kara Műszaki Mechanikai Tanszékén összegyűlt tapasztalatokat.

Ezen tapasztalatok alapján javaslatokat lehetne megfogalmazni a kedvezőtlen tendenciák megállítására, a tanulás és tanítás harmóniájának helyreállítására az alapképzésben. Ehelyett azonban csak kérdéseket tudunk feltenni. Némely kérdésre nincs válasz, némely kérdésre a válasz egyben javaslat, de a javaslat megvalósíthatósága a Tanszék hatáskörén kívül eső tényezőktől függ.

VÉKONYFALÚ RUDAK TORZULÁSI HORPADÁSA – A TISZTA ÉS INTERAKCIÓS MÓDOK ELEMZÉSE PARAMÉTERES VIZSGÁLATTAL

Beregszászi Zoltán és Ádány Sándor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: zbereg@hu.inter.net és sadany@epito.bme.hu

Vékonyfalú rudak viselkedésében a stabilitásvesztésnek elsődleges jelentősége van. A stabilitásvesztés sokféle formában kialakulhat, de általában három alaptípust szokás megkülönböztetni: globális stabilitásvesztést (úm. síkbeli vagy térbeli kihajlás, kifordulás), lemezhorpadást, és ún. torzulási horpadást. Bár széles körben elfogadott definíciók nem ismertek, leggyakrabban a keresztmetszet deformációja alapján különböztetik meg az egyes típusokat: (a) globális a stabilitásvesztés akkor, ha a keresztmetszet gyakorlatilag nem torzul, (b) lemezhorpadás akkor, ha a keresztmetszet úgy torzul, hogy a kapcsolódó alkotólemezek sarokélei nem mozdulnak el, (c) és torzulási horpadás akkor, ha a sarokélek is elmozdulnak. A típusok megkülönböztetésének fontos gyakorlati jelentősége van, mivel az egyes típusokhoz más és más posztkritikus viselkedés társul, azaz a rúd tényleges teherbírása jelentősen függ nem csak a kritikus teher értékétől, de a stabilitásvesztés módjától is.

A három típus közül – mind elméleti, mind gyakorlati szempontból – a legtöbb problémát a torzulási horpadás okozza, mivel számítására egyszerű analitikus modell és/vagy formula nem áll rendelkezésre. A talán leghatékonyabb eljárás a végessávós módszer (angol rövidítés alapján: FSM, lásd 1.) alkalmazása (pl. a CUFSM szoftverrel, lásd 2.). Ennek segítségével (a) a kritikus teher meghatározható különféle kihajlási hosszakhoz, (b) a kritikus értékek ábrázolhatóak a kihajlási hossz függvényében, és (c) az így kiadódó görbéről a torzulási horpadáshoz tartozó kritikus teherparaméter értéke leolvasható (általában a görbe második minimumpontja).

Bár ez az eljárás sok gyakorlati esetben jól működik, alkalmazása két fontos problémát vet fel: (a) nem mindig létezik a torzulási horpadáshoz tartozó minimum, és (b) sok esetben a minimumponthoz tartozó stabilitásvesztés láthatólag nem tisztán torzulási horpadás, hanem különböző módok interakciója. Ezen problémák kiküszöbölhetőek a nemrégiben javasolt speciális végessávós módszerrel (angol rövidítés alapján: cFSM, lásd 3.), amely képes a tiszta esetek számítására. Ugyanakkor az tapasztalható, hogy az FSM megoldás mindig valamelyest kisebb kritikus erőt ad, mint a cFSM, ami nyilvánvalóan az említett interakció miatt van. Jelen kutatás célja ennek az eltérésnek a vizsgálata, elsősorban a torzulási horpadás, másodsorban a lemezhorpadás tekintetében: (a) az eltérések mértékének megállapítása gyakorlati esetekben, (b) a tendenciák és azok okainak feltárása, és (c) a teherbírásra gyakorolt hatásuk elemzése.

A kitűzött célok elérésére egy több tízezer esetre kiterjedő paraméteres vizsgálatot hajtottunk végre, melynek során (a CUFSM szoftver felhasználásával) különböző szelvényeknek a lemezhorpadáshoz és torzulási horpadáshoz tartozó kritikus teherparamétereit számítottuk ki mind tiszta, mind interakciós módban. A számításokat a gyakorlatban leginkább alkalmazott C és Z keresztmetszetű profilokra végeztük el, de a gyakorlatban alkalmazott geometriai arányoknál valamelyest szélesebb tartományokban, változtatva a gerincmagasságot, az övszélességet, az övmerevítő méretét és a lemez vastagságát. A terhelés tekintetében tiszta nyomást, tiszta hajlítást és kombinált nyomás-hajlítást vizsgáltunk.

Az eredmények azt mutatják, hogy a lemezhorpadásnál a tiszta és interakciós módban a kritikus teherparaméterek és kihajlási hosszak értékében általában nincs számottevő eltérés, mivel a horpadási kritikus teher minimumhoz tartozó kihajlási hossz általában olyan kicsi, hogy az egyéb módokkal való interakció hatása elhanyagolható. A torzulási horpadás esetében viszont jelentős különbségek is kialakulhatnak, mind a kritikus teher, mind a kihajlási hossz tekintetében. Az eredményeket, a megfigyelt tendenciákat és a lehetséges magyarázatokat az előadásban mutatjuk be.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a Bolyai ösztöndíj és az OTKA K62970 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Schafer, B.W., Ádány, S.: *Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods*, 18th Int. Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, Oct 26-28, 2006, Orlando, USA, pp. 39-54.
2. CUFSM: Elastic Buckling Analysis of Thin-Walled Members by Finite Strip Analysis, CUFSM v3.11, <http://www.ce.jhu.edu/bschafer/cufsm>
3. 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.

TÖBBMEZŐS VARIÁCIÓS ELVEK ÉS VÉGESELEM-MODELLEK A SZILÁRD TESTEK MECHANIKÁJÁBAN

Bertóti Edgár

Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: mechber@uni-miskolc.hu

A kontinuummechanika feszültségmezőre, mint alapváltozóra épülő, anyagegyenletektől független alapelve a kiegészítő virtuális munka elv, amely elméletileg egyenértékű az elmozdulásmezőre épülő – az anyagegyenletektől ugyancsak független – virtuális munka elvvel. A kiegészítő virtuális munka elv alkalmazása viszont korántsem olyan széleskörű, mint a virtuális munka elvé. Ennek oka elsősorban az elvhez tartozó mellékfeltételek *a priori* kielégítésével kapcsolatos nehézségekkel, valamint a szimmetrikus, egyensúlyi feszültségmezőt előállító másodrendű feszültségfüggvényekre vonatkozó alapegyenlet negyedrendűségéből következő C^1 -folytonossági approximációs követelménnyel magyarázható.

Az egyensúlyi feszültségmező közvetlen approximációján alapuló végelem-modellek kidolgozásában Fraeijs de Veubeke [1] végzett úttörő munkát. A síkrugalmasságtani feladatok numerikus megoldására kifejlesztett, *a priori* szimmetrikus feszültségmezőn alapuló (*h*-verziós) végelem-modellek azonban, annak ellenére, hogy különböző technikai megoldások születtek, nem bizonyultak – a fentebb említett problémák és nehézségek miatt – numerikus szempontból hatékonyak.

Az *a priori* szimmetrikusnak feltételezett feszültségmezőn alapuló végelem-modellekkel kapcsolatos numerikus nehézségek a feszültségi tenzor szimmetriájának variációs úton történő biztosításával kerülhetők el. Ekkor a translációs egyensúlyi egyenlet kielégítése csak elsőrendű feszültségfüggvényeket kíván, amelyek C^0 -folytonos approximációja egyben a megfelelő feszültségkoordináták elemek közötti folytonosságát is biztosítani fogja. Háromdimenziós, nemlineáris rugalmasságtani feladatok megoldására alkalmas kiegészítő energia elvet Fraeijs de Veubeke [2] dolgozott ki elsőként, aki az I. Piola-Kirchhoff feszültségi tenzor mellett az ortogonális forgástenzort is független változóként kezelte, a kiegészítő alakváltozási energiát pedig a Biot feszültségi tenzor függvényének tekintette.

Az előadás a Fraeijs de Veubeke-féle kétmezős (*dual-mixed*) variációs elven [2] alapuló, az elsőrendű feszültségfüggvényeket és a szögelfordulásokat közvetlenül approximáló *hp*-verziós végelem-modelleket mutat be két-dimenziós és háromdimenziós rugalmasságtani feladatokra. A kidolgozott elemek numerikus teljesítőképességét egyszerű példákon keresztül szemlélteti, összevetve azokat az elmozdulásmezőn alapuló *hp*-verziós végelem-modellek alkalmazásával kapott eredményekkel. Kimutatja, hogy a kifejlesztett elemek konvergencia sebessége független a Poisson tényezőtől (angol szakkifejezéssel élve az elem *locking-free*), és erősen inkompresszibilis anyagok esetén jobb eredményeket ad, mint az elmozdulásmezőre épülő hagyományos végelem-modellek.

Köszönetnyilvánítás. A bemutatásra kerülő eredmények az OTKA T49427 projekt támogatásával valósultak meg.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Fraeijs de Veubeke, B. M.: Displacement and Equilibrium Models in the Finite Element Method, In: *Stress Analysis*, Zienkiewicz, O. C. and Holister, G. S. eds., John Wiley & Sons, London, 1965, pp. 145–197. (Reprinted in *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol. 52, 287–342, 2001).
- [2] Fraeijs de Veubeke, B. M.: A new variational principle for finite elastic displacements, *International Journal for Engineering Sciences* Vol. 10, (1972), 745–763.

A PORTEVIN - LE CHATELIER HATÁS EGY MECHANIKAI INTERPRETÁCIÓJA

Béda Péter

MTA-BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport

E-mail: bedap@kme.bme.hu

Az anyagvizsgálatból ismert Portevin - Le Chatelier hatást dinamikus anyagi instabilitási jelenséggént vizsgáljuk. Az anyagi instabilitás fogalma Drucker [1], illetve Hill [2] munkáin alapszik, és két alapvető instabilitási jelenséget különböztet meg a konstitutív akusztikus tenzor sajátértékeinek felhasználásával. Zérus sajátérték *divergencia* instabilitást, míg komplex sajátértékek *flutter* instabilitást váltanak ki az anyagban.

Az előadásban bemutatjuk, hogy miként lehet a szilárd kontinuumokat leíró

$$\varepsilon = \frac{1}{2}(u\nabla + \nabla u), \quad \rho\ddot{u} = \sigma\nabla, \quad F(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \sigma, \dot{\sigma}, \dots) = 0 \quad (1)$$

egyenleteknek olyan megoldását találni, amely a Portevin - Le Chatelier hatásként említett öngerjesztett oszcillációs viselkedést mutatja. Megjegyezzük, hogy az (1) egyenletrendszerben az F függvény egy általános alakú konstitutív függvény, a jelöléseket pedig a szakirodalommal összhangban alkalmazzuk.

A kontinuumot dinamikai rendszerként vizsgáljuk [3]. Ez például az (1) egyenletrendszernek a sebességmezőre történő transzformációjával, majd alkalmas differenciáloperátorok bevezetésével valósítható meg [3]. Ezek után megmutathatóvá válik, hogy klasszikus esetben a lokalizáció (illetve divergencia instabilitás) során a dinamikai rendszer sajátértékei nullán át negatívból pozitívba váltanak előjelet, míg a flutter instabilitás esetében a komplexek valós része válik pozitívvá. Mindezek alapján a jelen előadásban az egyes instabilitási típusokat a hagyományosan az akusztikus tenzor sajátértékeivel definiált divergencia és flutter elnevezések helyett *statikus* és *dinamikus bifurkáció*-nak fogjuk hívni.

A fentiek alapján végzett, és az előadásban bemutatandó vizsgálataink eredménye az, hogy a Portevin - Le Chatelier hatás és a dinamikus bifurkáció jelenségei azonos feltételek mellett észlelhetők uniaxiális esetben.

HIVATKOZÁSOK

1. Drucker, D.C.: A definition of stable inelastic materials, *J. Appl. Mech.* **26**. 101-106, 1959.
2. Hill, R.: A general theory of uniqueness and stability in elastic-plastic solids, *Journal of the Mech. and Phys. of Solids*, **6**. 236-249, 1958.
3. Béda, P.: *Az anyagi instabilitás dinamikai elmélete*, MTA Doktori Értekezés, Budapest, 2003.

AZ EMBERI TÉRD HÁROM-HENGERES KINEMATIKAI MODELLJE

Bíró István,

Szolnoki Főiskola, Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, Alapozó és Műszaki Tanszék

E-mail: biro@mfk.hu

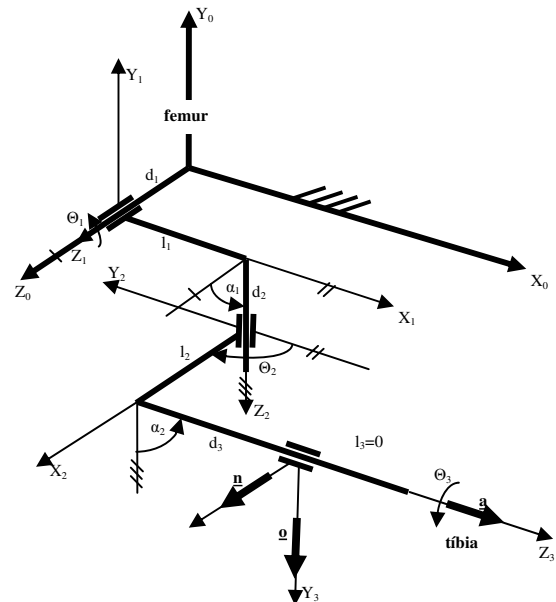
Az emberi térd mozgásviszonyait évtizedek óta számos biomechanikai kutatócsoport vizsgálja. Műszaki szempontból nézve rendkívül összetett, és sajátos jellemzőkkel bíró problémáról van szó. Ennek oka részben a szerkezet bonyolultsága, részben a szerkezeti elemek (csontok, porc és más lágy szövetek) jellegzetes reológiai tulajdonságai. Szerző, a SZIE GEK Biomechanikai Kutatócsoportjának tagjaként első ütemben a combcsont (femur) condylusaihoz és a lábszárcsont (tibia) platójához anatómiai jellemzők alapján koordináta-rendszereket rögzített, majd ezt követően a koordináta-rendszerek tengelyeihez modellként három-hengeres mechanizmust illesztett.

A modell a rögzített tengelyek (transepicondylar tengely, tibia hossz tengelye) és egyéb koordinátatengelyek helyzetétől függetlenül működőképes. Hasonló térbeli szerkezetek esetén, ha a kinematikai párok hengerek vagy (térben mozgó) síksuklók, előnyösen alkalmazhatók a **Denavit-Hartenberg (HD)** koordináták. A szerkezet kinematikai láncára a

$$\begin{bmatrix} \cos \Theta_1 & -\sin \Theta_1 * \cos \alpha_1 & \sin \Theta_1 * \sin \alpha_1 & l_1 * \cos \Theta_1 \\ \sin \Theta_1 & \cos \Theta_1 * \cos \alpha_1 & -\cos \Theta_1 * \sin \alpha_1 & l_1 * \sin \Theta_1 \\ 0 & \sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos \Theta_2 & -\sin \Theta_2 * \cos \alpha_2 & \sin \Theta_2 * \sin \alpha_2 & l_2 * \cos \Theta_2 \\ \sin \Theta_2 & \cos \Theta_2 * \cos \alpha_2 & -\cos \Theta_2 * \sin \alpha_2 & l_2 * \sin \Theta_2 \\ 0 & \sin \alpha_2 & \cos \alpha_2 & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos \Theta_3 & -\sin \Theta_3 * \cos \alpha_3 & \sin \Theta_3 * \sin \alpha_3 & l_3 * \cos \Theta_3 \\ \sin \Theta_3 & \cos \Theta_3 * \cos \alpha_3 & -\cos \Theta_3 * \sin \alpha_3 & l_3 * \sin \Theta_3 \\ 0 & \sin \alpha_3 & \cos \alpha_3 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & P_x \\ n_y & o_y & a_y & P_y \\ n_z & o_z & a_z & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

mátrix-egyenlet írható fel, amelyből az alábbi mennyiségek számíthatók:

- Θ_1 – a hajlítás-feszítés szöge, az ábrázolt helyzetben nulla fok,
- Θ_2 – a távolítás-közelítés szöge, az ábrázolt helyzetben 90 fok,
- Θ_3 – a tibia-rotáció szöge, az ábrázolt helyzetben nulla fok.
- d_1 – oldalirányú elmozdulás a femurhoz rögzített Z_0 - Z_1 tengely mentén,
- d_2 – elmozdulás a változó helyzetű Z_2 tengely mentén,
- d_3 – elmozdulás a tibia tengely (Z_3) irányában.



HIVATKOZÁSOK

1. Pennock, G. R., Clark, K. J.: An anatomybased coordinate system for the description of the kinematic displacements in the human knee. J. Biomechanics Vol. 23, No. 12, pp. 1209-1218, 1990.
2. Grood, E. S., Suntay, W. J.: A joint coordinate system for the clinical description of three-dimensional motions: application to the knee. J. biomech. Engng 105, pp. 136-144, 1983.

10. Magyar Mechanikai Konferencia, 2007. augusztus 27-29.

TEXTIL KOMPOZITRÉTEGEK ANYAGJELLEMZŐINEK BECSLÉSI MÓDSZERE

Bojtár Gergely

Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék, Győr

E-mail: bojtarg@szegye.hu

Dr. M. Csizmadia Béla

Szent István Egyetem, Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék, Gödöllő

E-mail: csizmadia.bela@mek.szie.hu

A textil kompozitokat preimpregnált rétegekből hozzák létre megfelelő nyomás és hőhatás alatt. Az egyes rétegek anyagtulajdonságainak ismeretében a kompozitlemez anyagtulajdonságai számíthatók. A rétegek anyagtulajdonságai azonban a gyártási technológiának és a preimpregnált textil-mátrix anyagösszetételének is függvénye. Jelen előadás ez utóbbit vizsgálja. Textil, azaz hossz- és keresztirányú erősítéssel is rendelkező anyagnál nem egyértelmű, hogy a hossz- és keresztirányú szálazás aránya, a kompozitban az erősítő anyag mennyisége hogyan határozza meg az eredő anyagtulajdonságokat.

Egyirányú szálerősítés esetén az eljárás a szakirodalomban már kidolgozott. Numerikus modellek segítségével egyszerű ajánlásokat teszünk a textil kompozitok tervezőinek és gyártóinak. Célunk az volt, hogy az anyagtulajdonságok becsléséhez megfelelő segédletet dolgozzunk ki a felhasználó részére.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T 048 359 projekt keretében kapott támogatásért.

**AZ MSc SZINTŰ ÉPÍTŐMÉRNÖKI OKTATÁSBAN HASZNÁLT
TÁRGYAK ÉS TÉMAIK A MŰEGYETEMEN
ÉS NÉHÁNY KÖRNYEZŐ ORSZÁG EGYETEMÉN**

Bojtár Imre, Gáspár Zsolt, Tarnai Tibor
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék
E-mail: ibojtar@mail.bme.hu

Az előadás áttekinti a környező országok ismertebb műszaki egyetemein folyó vagy éppen most induló kétlépcsős képzés második szintjének mechanikai programjait és összeveti azokat a mi terveinkkel.

Ezt követően részletesen ismerteti azokat a tárgyprogramjainkat, ahol az eddigi munka eredményeképpen már heti bontású ütemtervek illetve előadásvázlatok is rendelkezésre állnak, és ezeket a részleteket is összehasonlítja a külföldi adatokkal.

A BME Építőmérnöki Karán a 90 kredités MSc képzésben minden hallgató számára kötelező a „Mechanika MSc” illetve a „Végeselemmérszék matematikai alapjai”. Valamivel szűkebb körben, már csak a szerkezetes jellegű szakirányok számára kerül előadásra a „Szerkezetek statikája”, „Szerkezetek dinamikája”, „Mechanikai anyagmodellek” és a „Végeselemek módszere” (ez utóbbi nemlineáris feladatok vizsgálatával foglalkozik).

A harmadik, legszűkebb szintet a szerkezetinformatikus hallgatók jelentik, az ő részükre összeállított differenciált szakmai törzsanyag 12 mechanikai témájú tárgyból 6-7 előadás választását teszi lehetővé.

A Tartószerkezetek Mechanikája Tanszéken elkezdődött az egyes tárgyakhoz tartozó órarendek, előadásvázlatok és gyakorlati anyagok kidolgozása. A korábban oktatott témakörök felhasználása mellett – a szaktanszékek képviselőivel folytatott egyeztetéseket figyelembe véve – túlnyomórészt új anyagrészek kerülnek be a tanítandó anyagokba. Az előadás részletesen bemutatja ezeket is, minden egyes résznél kitérve arra, milyen szempontok alapján tartjuk szükségesnek az adott témakör oktatását.

ÚJ IRÁNYZATOK A VASBETON KERETSZERKEZETEK FÖLDRENGÉS ELLENI VÉDEKEZÉSBEN

Dr. Csák Béla¹, Kegyes-B. Orsolya² és Dr. Nagy Gábor³

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szilárdságtani Tszk.

²Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési Tszk. ³Polinvent Kft.

E-mail: kegyesbo@sze.hu

Az irányított törési mechanizmus elvének lényege: ha elfogadjuk, hogy a korrekt módon megtervezett szerkezet is törhet a földrengés hatására, akkor a törési mechanizmus ne spontán, hanem a tervező irányításával alakuljon, ahogy a legbiztonságosabb. Ne az első földlökésre omoljon össze, maradjon idő, lehetőség a menekülésre.

A megfigyelések, tapasztalatok azt igazolják, hogy egy ilyen törés úgy alakulhat ki, hogy a függőleges teherhordó oszlopok nem törnek hirtelen össze. Ez esetben az energiát elnyelő nagy alakváltozások az oszlop-gerenda csomópontokban, a gerendavégeken kialakuló képlékeny csuklóban jönnek létre. Ezek a törési helyek alkalmasak a földrengés hatására keletkező, többször ismétlődő, alternáló igénybevételek felvételére, és igen nagy alakváltozások révén az energiák elnyelésére – abszorpciójára.

Hagyományos vasbeton képlékeny csuklók vizsgálatával nagy laboratóriumok és nagynevű kutatók [1],[2], [3] foglalkoztak. A kísérleti eredmények azt igazolják, hogy a vasalás – elsősorban a kengyelezés – módosítása nem képes megakadályozni a beton összeroppedését, végül morzsolódását (degradációját). Emiatt kimerül a teherbírási, illetve energia-abszorpciós készség, az épület instabil állapotba jut. Eddig több próbálkozás ismert a beton rideg törésének kiküszöbölésére, ezek közül hatásosak a „szálerősített” betonok, melyek lehetnek fém, üveg, szén, stb. szálak.

Az általunk javasolt megoldás a rugalmas-képlékeny beton, ahol az adalékot összekötő cementet műgyantával helyettesítjük. A szilárdsági jellemzői jól egyeznek a betonéval, viszont alakváltozási képessége pedig nagyságrenddel nagyobb a betonénál. A vasalás semmiben nem különbözik a vasbeton képlékeny csuklótól.

A javasolt megoldás hatékonyságának igazolására kísérleteket végeztünk. A kísérleteket M=1:1 méretarányú elemeken végeztük, illetve egy négyszintes kísérleti vasbeton tornyot építettünk, melyet belengettünk annak legfelső szintjén rögzített MTS gyártmányú aktuátorral, ami változtatható frekvenciával és amplitúdóval 3t tömeget mozgatott megszabott pályán. Mértük a torony sajátfrekvenciáit, illetve lengési módusait.

Az oszlop-gerenda kapcsolatokat úgy alakítottuk ki, hogy egy szinten az egymással szembeni csomópontokban hagyományos beton, illetve 3P gyanta kiöntésű gerendavégek csatlakozzanak az oszlopokhoz. A célunk az volt, hogy megismerjük egy-egy azonos szinten, azonos igénybevételek mellett és azonos elmozdulás hatására a hagyományos vasbeton, illetve az új (3P gyanta) kapcsolatok viselkedését, és az azok közötti különbséget.

Mind a nemzetközi, mind a hazai laborkísérletek eredményei meggyőzően bizonyítják, hogy a hagyományos vasbeton csuklók $n=10-15$ alakváltozási ciklusszám után összetörnek a beton elmorzsolódása miatt. Az oszlopok is súlyosan megsérülnek. Emiatt két vonatkozásban is tönkrementnek kell tekinteni a vázszerkezetet:

- függőleges irányban kimerül az oszlopok teherbírása
- vízszintes irányban, elsősorban a nagy elmozdulások miatt instabillá válik az épület.

Szemben mindezekkel – legalábbis az elvégzett kísérleti eredmények alapján – a 3P gyanta csomópontok $N \sim 60-70$ ciklus után sem mutatnak kimerülést, az oszlopokon látható érülések nem alakulnak ki. A csomóponti degradáció mértéke: $\eta_p < 10\%$.

HIVATKOZÁSOK

1. Clough, Ray W.: *Predicting the Earthquake Response of Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones*, Aci Publication, Sp-53. 1977
2. Bertero V.V., Popov E.P.: *Seismic Behaviour of Ductile Moment Resisting R.C. Frames*, Aci Publication, Sp-53. 1977.
3. Uzumeri S.M.: *Beam-Column Joints*, Aci Publication, Sp-53. 1977.
4. Henager C.H.: *Steel Fibrous Joints*, Aci Publication, Sp-53. 1977.
5. Pauly T., Bachmann H., Moser K.: *Erdbeben Bemessung Von Stahlbeton Hochbauten*
6. Mazzolani F.M., Piluso V.: *Theory and Design of Seismic Resistant Steel Frames*, E. and Spon. an Impirnt of Chapman and Hall 1992.

A KÉTDIMENZIÓS MIKRO-KÁOSZ LEKÉPEZÉS VIZSGÁLATA

Csernák Gábor, Stépán Gábor
MTA-BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport
E-mail: csernak@mm.bme.hu

Digitálisan szabályozott gépek esetében a digitális hatások – a mintavételezés és a kerekítés – szabálytalan, nem periodikus viselkedéshez vezethetnek [1]. Az ilyen rendszerek alapmodelljéről, az egydimenziós mikro-káosz leképezéséről ismert, hogy egyes megoldásai valóban kaotikusak [2]. A leképezés egy olyan szabályozási kör modellje, mely csak egy differenciális tagot tartalmaz, proporcionális tagot nem, és a feldolgozási idő elhanyagolható. Proporcionális tag hozzáadásával illetve a feldolgozási időkézés figyelembe vételével a mikro-káosz leképezés kétféle kétdimenziós illetve egy háromdimenziós változatát állíthatjuk elő. Proporcionális tag nélkül, de az időkézés figyelembe vételével a következő kétdimenziós leképezést kapjuk egy digitálisan szabályozott polírozógép matematikai modelljeként [3]:

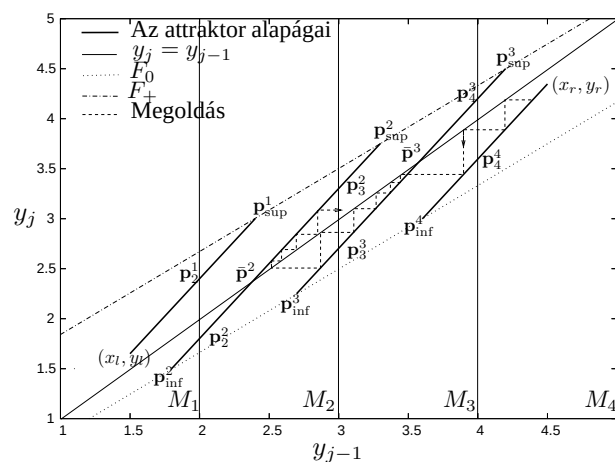
$$\begin{bmatrix} v_{j+1} \\ u_{j+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_j \\ u_j \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ bh \text{Int} \left(\frac{Dv_j}{h} \right) \end{bmatrix},$$

ahol v_j és u_j a t_j pillanatban mérhető sebességet és a kifejtett szabályozó erőt jelöli, h a kerekítési hiba, az a és b együtthatók pedig a konkrét szerkezetre jellemző paraméterek, valamint a mintavételezési idő kifejezései.

Az $y_j = Dv_j/h$ változó bevezetésével a fenti egyenlet az alábbi alakra hozható:

$$y_{j+1} = ay_j - b \text{Int}(y_{j-1}).$$

Előadásunkban megmutatjuk, hogy bizonyos véges paramétertartományokban a következő kritériumok teljesülnek erre a leképezésre: 1) létezik egy vonzó invariáns halmaz, 2) a megoldások érzékenyen függenek a kezdeti feltételektől, és 3) teljesül a topologikus tranzitivitás. Ezek alapján kijelenthető, hogy a kétdimenziós mikro-káosz leképezés is kaotikus [4]. Amint az 1. ábrán is látható, a kétdimenziós mikro-káosz leképezés attraktora egyenes



1. ábra. A 2D mikro-káosz leképezés attraktora, $a = 1.5$, $b = 0.6$

szakaszokból áll, alakja így nagyon hasonlít az egydimenziós leképezés grafikonjához. Ez a hasonlóság segíthet az 1D leképezésre kapott eredmények magasabb dimenziójú esetekre történő kiterjesztésében.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Enikov, E., Stépán, G.: *Microchaotic Motion of Digitally Controlled Machines*, Journal of Vibration and Control, **4**, pp. 427-443, 1998.
- [2] Haller, G., Stépán, G.: *Micro-Chaos in Digital Control*, J. Nonlinear Sci. **6**, pp. 415-448, 1996.
- [3] Csernák, G., Stépán, G.: *Life Expectancy of Transient Microchaotic Behaviour*, J. Nonlinear Sci., **15**(2), pp. 63-91, 2005.
- [4] Wiggins, S.: *Introduction to Applied Nonlinear Dynamical Systems and Chaos*, Texts in Applied Mathematics 2, Springer, New York, 1990.

OPTIMÁLIS SZERKEZET-TERVEZÉS ÉS ÉRZÉKENYSÉG VIZSGÁLAT

Csébfalvi Anikó

Pécsi Tudományegyetem, Szilárdságtan és tartószerkezetek Tanszék

E-mail: csebfalvi@pmmf.hu

Előadásunkban lapos térbeli szerkezetek diszkrét optimalizálási feladataira egy olyan új vegyes eljárás alapján alapuló meta-heurisztikus módszert ismertetünk, amely nevében hordozza az alkalmazott heurisztikus elemeket. Az ismertetésre kerülő ANGEL módszer az *ant colony* (hangyaboly) eljárás, a *genetic algorithm* (genetikus algoritmus) és a *local search* (helyi keresés) módszerek alkalmas kombinációja, melynek nevét az angol nyelvű kezdőbetűk, összeolvasása adja. A kombinált módszer kiindulási alapját az elemcsoportok tervezési változóira (pl. keresztmetszet) vonatkozó véletlen minta (induló populáció) szolgáltatja. A generált szerkezetek jóságát egy célszerűen megválasztott „fitness” (alkalmassági) függvénnyel jellemezzük, amely a szerkezet súlyának és a szerkezet teherbíró képességének nemlineáris függvénye, ahol a szerkezet teherbíró képességét egy nemlineáris útkövető módszerrel kapott maximális teherintenzitási paraméterrel ($0 \leq \lambda \leq 1$) adja. A következő lépésekben,

váltakozva, a hangyaboly, illetve a genetikus eljárást használjuk az optimális szerkezet keresésére.

Hangsúlyoznunk kell, hogy az ismertetendő eljárás a keresési teret minden tervezési változó tekintetében folytonosnak tekinti, a diszkrét megoldások egy „optimális” kerekítési eljárás segítségével adódnak. A kerekítési eljárás a tervezési változók lokális környezetére felírt lineáris programozási feladat formájában írható le, amelynek megoldására egy kiemelkedően gyors belső pontos primál-duál eljárást (BPMPD) használtunk. A módszerbe beépített helyi keresés hasonló elveken alapszik és szerkezet optimalizálás diszkrét vagy folytonos jellegére invariáns.

Első lépésként az *ant colony* (ACO) módszerrel meghatározunk egy kiinduló kezdeti populációt a lehetséges megoldások terében. Ezután a GA

A módszer hatékonyságának bizonyítására különböző tesztfeladatokat készítettünk. A szakirodalomból jól ismert összehasonlító példák alapján az ismertetésre kerülő módszer gyorsnak, hatékornak és stabilnak minősült a korábban publikált diszkrét heurisztikus módszerekhez képest.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T046822 keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. A. Csébfalvi, *A non-linear path-following method for computing the equilibrium curve of structures*, Annals of Operation Research, 81: 15-23, 1998 <http://www.springerlink.com/content/g77514159671857p/fulltext.pdf>
2. A. Csébfalvi, *A simulated annealing algorithm for discrete minimal weight design of shallow space trusses with stability constraints*, WCCM-V Fifth World Congress on Computational Mechanics, July 7-12, 2002, Vienna, Austria, eds. H. A. Mang, F. G. Rammerstorfer, J. Eberhardsteiner, On-line publication (ISBN 3 9501554-0-6) Paper-ID: 81234, Session: RS 207.4, 2002
3. A. Csébfalvi, *Probabilistic Diversification and Intensification in Local Search for Optimal Design of Shallow Space Trusses*, Proc., European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering (ECCOMAS 2004) P. Neittaanmäki, T. Rossi, K. Majava, and O. Pironneau (eds.) I. Lasiecka (assoc. ed.), Vol.I, p.355 +CD, 2004
4. Csébfalvi A (2005) *Evolution Methods for Discrete Minimal Weight Design of Space Trusses with Stability Constraints*, J. Computational and Applied Mechanics, Vol. 6, No. 2., pp. 159-173 <http://mab.mta.hu/~szeidl/>
5. Csébfalvi A and Csébfalvi G (2006) *A new hybrid meta-heuristic method for optimal design of space trusses with elastic-plastic collapse constraints*, Proceedings of The Eighth International Conference on Computational Structures Technology, Edited by B.H.V. Topping, G. Montero and R. Montenegro, Civil-Comp Press, Stirling, UK, ISBN 1-905088-07-8, paper 199
6. Csébfalvi A. and Csébfalvi G (2007) *Optimum Design and Sensitivity Analysis of Shallow Space Structures using an Improved Meta Heuristic Method*, Proceedings of the 15th UK Conference of the Association of Computational Mechanics in Engineering, B.H.V. Topping (Editor), Civil-Comp Press, Stirlingshire, Scotland ISBN 978-1-905088-13-3 paper 59

A HALLGATÓSÁG HOZZÁÁLLÁSÁNAK, TUDÁSÁNAK AZ ELMÚLT ÉVEKBEN BEKÖVETKEZETT VÁLTOZÁSA A SAJÁT VÉLEMÉNYÜK ALAPJÁN

Csizmadia Béla, Katona Gábor

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanikai és Géptani Intézet

E-mail: csizmadia.bela@gek.szie.hu, katona.gabor@ek.szie.hu

A mechanikát oktatók körében – sajnálatos módon – egyértelmű az utóbbi években bekövetkezett átlagos hallgatói színvonal csökkenése. A Szent István Egyetem Gépészmérnöki Karán hosszú évek óta a második félév elején, a bennmaradt és az akkor kezdő hallgatók körében egy statisztikai felmérést végzünk. Ebben a tudás megszerzésének hatékonyságára, eszközrendszerére, az oktatás színvonalára és érthetőségére, a hallgatói elégedettsége, vonatkozó kérdéseket teszünk fel. A feldolgozás, az adott válaszok elemzését évről évre elvégeztük és a következtetéseket levontuk. Most azonban a válaszok az elmúlt évtizedben bekövetkezett változását vizsgáltuk. Így megalapozottabb eredményeket kaptunk, amelyek alapján javaslatokat fogalmazunk meg.

CADAVER (HULLA) TÉRDEN VÉGZETT MÉRÉSEK KIÉRTÉKELÉSI ELJÁRÁSA

Csizmadia Béla, Katona Gábor

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

Mechanikai és Géptani Intézet – Mechanika és Műszaki Ábrázolás Tanszék

E-mail: katona.gabor@gek.szie.hu, csizmadia.bela@gek.szie.hu

Az emberi térd mechanikai modellje megalkotásának kettős célja van. Egyrészt a láb mozgásviszonyainak leírása, másrészt a térden belüli jelenségek (pl. a csontfelületek csúszása, görbülete) tisztázása. A térd legjobb kísérleti modellje egy cadaver térd. Ilyen kísérleteket végeztünk a láb mozgásának leírására. A térbeli helymeghatározó mérések a lábszár (tibia) combcsont (femur) viszonyított helyzetét Euler-szögekkel adják meg. Ezekből az adatokból megfelelő kiértékelési eljárás ismeretében le lehet írni a tibia mozgását a femurhoz képest. Ezt a kiértékelési eljárást kívánjuk bemutatni az előadásban.

A kiértékelési eljárás kidolgozásához a vizsgálóberendezés olyan pontjaihoz rögzítettünk koordináta-rendszereket, amelyekhez a térd is mereven rögzítve volt. Az eljárás alkalmazásával a kapott adatokból a koordináta-rendszerek egymáshoz, ezen keresztül a tibiának a femurhoz viszonyított mozgása írható le. Jelentős szerepe van az eljárásban annak, hogy meghatároztunk egy kezdeti kiindulási pozíciót. Ez a láb kinyújtott helyzete volt. Ehhez viszonyítva határoztuk meg a mozgást, így a mérések eredményei összehasonlíthatóvá váltak.

KÜLPONTOSAN TERHELT SZÁLTEKERCELÉSSSEL ERŐSÍTETT VASBETON OSZLOPOK KÍSÉRLETI ÉS ELMÉLETI VIZSGÁLATA

Csuka Bernát*, Varga László**, Kulcsár Béla* és Kollár László*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

*Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

**Hidak és Szerkezetek Tanszéke

E-mail: csukab.sil@silver.szt.bme.hu

Kör keresztmetszetű beton- és vasbeton oszlopok megerősítése az oszlop köré spirálisan üveg- vagy szénszálas kompozit elemek feltekerésével történhet. Axiális terhelés esetén a szálak gátolják a beton Poisson-hatásból származó harántirányú alakváltozását. A beton így háromirányú feszültségállapotba kerül és a tengelyirányú nyomószilárdsága megnő. A szerkezet működése a csavarkengyeles oszlopokéhoz hasonló, de az erősítő anyag nagy szilárdsága miatt a beton szilárdságát akár a többszörösére is növelheti.

A kísérletekhez 1:8 átmérő-magasság arányú oszlopok és 1:3 átmérő-magasság arányú zömök oszlopok készültek. Tíz oszlopra 3 réteg üvegszál tekerés, tíz oszlopra 2 réteg szénszál tekerés került, három oszlop erősítetlen volt.

A kísérletek során megfigyelhető volt, hogy a megerősített oszlopok esetében a magasabb szilárdság miatt az oszlop töréshez tartozó kigömbülése megnövekedett és a megerősített oszlopok tönkremenetelét a külpontos terhelésből adódó alakváltozás erősen befolyásolta.

Az oszlopok teherbírását az irodalomban található méretezési összefüggésekkel ellenőriztük. Azt találtuk, hogy kis külpontosság esetén az összefüggések elfogadható pontossággal adják meg a teherbírás értékét, nagy külpontosság esetén viszont jelentősen túlbecsülik.

A jelenlegi modellek nem adnak magyarázatot a külpontos esetben tapasztalható jelentős teherbírás csökkenésre. A bemutatott munkában arra keressük a választ, mi az oka a teherbírás csökkenésének. Új modellt alkottunk a külpontosan nyomott oszlop számítására, melynek alapján a tervező mérnök számára is használható összefüggések is nyerhetők.

Köszönetnyilvánítás:

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Polinvent Kft.-nek a mintadarabok elkészítéséért és rendelkezésünkre bocsátásáért.

SZÁZSZORSZÉPEK EGY KÉTRÉTEGŰ ATMOSZFÉRÁBAN

Demendy Zoltán

Miskolci Egyetem, Fizikai Tanszék

E-mail: fizdemz1@uni-miskolc.hu

Megvizsgáljuk, hogy földi atmoszféra sugárzási és hőtadási paramétereinek megváltozására a bioszféra úgynevezett százsorszép modellje hogyan reagál. Az üvegház hatást figyelembe vesszük. Az atmoszféra paramétereinek megválasztása azon alapul, hogy a légkörbe belépő $S_0 = 342 \text{ W/m}^2$ sugárzási fluxus spektrális maximuma 500nm környezetében van (UV), míg a kimenő fluxus maximuma $10 \mu\text{m}$ körüli (IR). Ennek megfelelően az atmoszféra és a felszín jellegzetes sugárzási paramétereit:

α_A az atmoszféra UV abszorptivitása, r_A az atmoszféra UV reflexivitása, r_S a felszín UV reflexivitása, ε_S a felszín IR emisszivitása, ε_A az atmoszféra IR emisszivitása, h a dimenziótlan nemsugárzásos hőtranszport, f_d az atmoszféra által a felszín felé visszasugárzott IR fluxus hányada.

A felszín r_S reflexivitása (albedója) a növényzet megjelenése miatt összetett:

$$r_S = \alpha_b N_b + \alpha_w N_w + N_r \alpha_r,$$

ahol α_i ($i = b, w, r$) rendre a fekete, a fehér százsorszépek, illetve a sziklás talaj albedói míg N_i a növényzetek által a felszínből elfoglalt területhányad. Nyilvánvalóan fennáll, hogy

$$N_r + N_b + N_w = 1.$$

A modellben előforduló hőmérsékletek:

T_A : az atmoszféra átlagos hőmérséklete,

T_S : a felszín átlagos hőmérséklete

T_i : ($i = b, w, r$) rendre a növényzet és a talaj hőmérsékletek.

A százsorszépek és a sziklás talaj reflexivitásai különböznek a felszín r_S albedójától, így a növényzettel borított felszín darabok között hőmérséklet gradiens lép fel, amely horizontális hőáramot hoz létre. Ezt a tényt a hőtadás elméletében szokásos módon vesszük figyelembe

$$T_b = q(r_S - \alpha_b) + T_S,$$

$$T_w = q(r_S - \alpha_w) + T_S,$$

$$T_r = q(r_S - \alpha_r) + T_S,$$

ahol $1/q$ a hőtadási együttható a modell egyik bemenő paramétere.

Az S_0 besugárzás az időben lassan változik, a százsorszépek lassan beborítják a bolygót. Terjeszkedésüket a populáció dinamikában szokásos legegyszerűbb Lotka – Volterra -egyenlettel írjuk le:

$$dN_b/dt = N_b[\beta(T_b)N_r - \gamma], \quad dN_w/dt = N_w[\beta(T_w)N_r - \gamma],$$

ahol γ a kihalási hányad(bemenő paraméter), $\beta(T)$ a növekedési együttható, alakja lényeges [3]:

$$\beta(T) = 4(T - T_{\min})(T_{\max} - T)/(T_{\max} - T_{\min})^2, \quad T_{\min} = 5^\circ\text{C}, \quad T_{\max} = 40^\circ\text{C}.$$

A növényzet növekedése gyors, az atmoszféra eközben sugárzási egyensúlyban van. A mérlegegyenletek az alábbi alakban adják a felszín és az atmoszféra hőmérsékletét [1,2]:

$$T_S = \{S_0(t)/\sigma [f_d(A_{\text{atm}} + h) + (A_{\text{surf}} - h)]/g\}^{1/4},$$

$$T_A = \{S_0(t)/\sigma [(h + A_{\text{atm}})/\varepsilon_A + p]/2\}^{1/4},$$

$$A_{\text{atm}} = \alpha_A(1 - r_A)[1 + k_M(1 - r_A)^2 r_S],$$

$$A_{\text{surf}} = k_M(1 - r_A)(1 - r_S)(1 - \alpha_A),$$

$$p = [f_d(A_{\text{atm}} + h) + (A_{\text{surf}} - h)]/g,$$

$$g = (1 - \varepsilon_A f_d), \quad h = S_{\text{NR}}/S_0,$$

ahol $k_M = 1/(1 - r_A r_S)$ a felszín és az atmoszféra közötti sokszoros reflexiót veszi figyelembe, σ pedig a Stefan–Boltzmann konstans. A planetáris albedó, az atmoszféra modellek alapvető mennyisége a fenti mennyiségekkel már kifejezhető: $\alpha_p = 1 - A_{\text{atm}} - A_{\text{surf}}$. Ez a formula megkönnyíti az atmoszféra stabilizáló hatásának vizsgálatát. A kiinduló paraméter együttes a földi atmoszférában és felszínen mért szokásos értékekkel egyenlő.

HIVATKOZÁSOK

1. Knox, R. S.: *Am. J. Phys.* **67** 1227-1237, (1999)
2. McGuffie K. and A. Henderson-Sellers: *A Climate Modeling Primer* (Wiley, 2003) pp. 101-102
3. Lovelock, J.: *Homage to Gaia*, (Oxford University Press, 2000)

NAGYSEBESSÉGŰ FORGÁCSOLÁS SORÁN FELLÉPŐ ÖNGERJESZTETT REZGÉSEK

Dombóvári Zoltán, Stépán Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

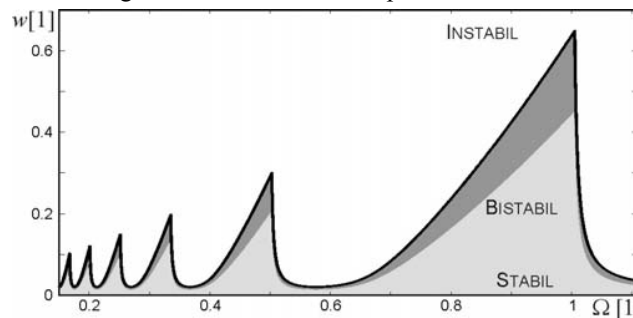
E-mail: dombo@mm.bme.hu, stepan@mm.bme.hu

Forgácsolási folyamatok termelékenysége szempontjából az időegység alatt leválasztott forgácstérfogat növelése a cél. A modern megmunkáló-központok a szerszám nagy fordulatszámaival érik ezt el. Ebben az esetben, amikor a gerjesztés frekvenciája közel összemérhető a rendszer sajátfrekvenciájával, már nem alkalmazhatóak a klasszikus módszerek az optimális forgácsolási paraméterek meghatározásához. Jelentős szerephez jut az ún. regeneratív hatás, melynek során a már megmunkált felület, időközönként újra gerjeszti a szerszám-munkadarab rendszert [1]. A forgácsolóerő karakterisztika nemlineáris jellege miatt öngerjesztett rezgések alakulhatnak ki, melyek rontják a felületi minőséget ill. a szerszám élettartamát is csökkenthetik.

Az ortogonális forgácsolás egyszerűsített modellje a legegyszerűbb olyan dinamikai modell, melyen ezek a hatások még analitikusan vizsgálhatóak. Ezen egyszerűsített nemlineáris differenciálegyenlet lineáris stabilitás vizsgálatával a stabil megmunkálás technológiai paraméterei elvileg kiválaszthatóak. A stabilitás határán azonban – a nemlineáris hatások miatt – instabil periodikus pályák keletkeznek, melyek külső zavarás hatására a lineárisan stabil megmunkálásból “kilökhettek” a forgácsolási folyamatot egy stabil rezgésbe. Technológiai szempontból ez a dinamikai értelemben stabil rezgés is nemkívánatos, ezért gyakran ezt is instabilitásnak nevezik.

A nemlineáris vizsgálathoz egy kevésbé ismert empirikus forgácsoló erő karakterisztikát használtunk fel, mely több speciális tulajdonsággal rendelkezik. Bebizonyítottuk, hogy az instabil pályák létezése szoros összefüggésben van a nemlineáris forgácsolóerő egyes tulajdonságaival. Analitikus becslést tudunk adni arra a tartományra, ahol a stabil anyagleválasztás ill. a stabil öngerjesztett rezgés együtt létezhet. Ezt a tartományt bistabil tartománynak nevezhetjük, mivel dinamikai szempontból két stabil pálya létezik ugyanazon technológiai paraméterek mellett. Megmutattuk, hogy a bistabil tartomány szélessége függ a megválasztott forgácsvastagságtól, mely eredmény megfelel a szakirodalomban fellelhető kísérleti eredményeknek [2].

Az analitikus számítás (normálforma transzformáció) jellegéből adódóan csak becsülni tudjuk az instabil periodikus pályák amplitúdóját. Pontosabb eredmények ill. az analitikus számítás megerősítése érdekében periodikus pálya követő algoritmust (DDE-BIFTOOL [3]) használtunk fel. Ezzel az eljárással pontosabb képet kaptunk a bistabil tartomány tulajdonságairól. A bistabil tartomány nagysága fontos kiegészítő információ a technológiai tervezés számára az eddigi lineáris stabilitási térképek mellett.



1. ábra. Ortogonális forgácsolás stabilitási térképe a dimenziótlan forgácsszélesség (w) és a dimenziótlan fordulatszám függvényében (Ω).

Köszönetnyilvánítás: A kutatás a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíja és a Magyar Nemzeti Kutatási Alapítvány (OTKA F047318 és OTKA T043368) támogatásával készült.

HIVATKOZÁSOK

1. Stépán, G., Kalmár-Nagy, T., 'Nonlinear Regenerative Machine Tool Vibrations', ASME Design Engineering Technical Conferences, 1997, Sacramento, California
2. Shi, H. M., Tobias, S. A., 1984, 'Theory of finite amplitude machine tool instability', Int. J. of Machine Tool Design and Research, **24**, pp. 45-69
3. Engelborghs, K., Luzyanina, T., Hout, K. J., Roose D., 2000, 'Collocation Methods of the Computation of Periodic Solutions of Delay Differential Equations', SIAM Journal on Scientific Computing, **22 No. 5**, pp. 1593-1609

PEREMELEM MÓDSZER SÍKFELADATOKRA ORTOTRÓP TESTEK ESETÉN DUÁL RENDSZERBEN

Dudra Judit és Szeidl György
Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: dudrajudit@freemail.hu, Gyorgy.SZEIDL@uni-miskolc.hu

A rugalmasságtan duál rendszerében Szeidl vezette le a direkt módszer integrálegyenletét izotróp testek síkfeladataira belső, illetve külső tartomány feltételezése mellett. [1, 2]. Az idézett cikk és könyvrészlet numerikus példákat is közöl. Nyitott maradt azonban a kérdés a direkt módszer kapcsán, hogy mi a teendő ortotróp (anizotróp) testek esetén.

Az alábbiakban indexes jelölésmódot és kartéziuszi KR-t használunk. Görög index értéke 1 és 2, latiné 1, 2 és 3 lehet, néma index szerint összegezni kell. A vizsgálat tárgyát képező belső, illetve külső tartományt rendre A^+ és A^- jelöli. A két tartománynak $\mathcal{L}$ a közös peremgörbéje és s a peremgörbe mentén mért ívkoordináta. Legyen u_λ az elsőrendű feszültségfüggvények vektora és jelölje t_λ a $-du_\lambda/ds$ deriváltat, ahol u_λ az elmozdulásvektor. Az M és Q a sík két pontját jelöli. Ha a pontok az $\mathcal{L}$ peremre lokalizáltak akkor kis karika áll a betű felett.

A jelen előadás célja ortotróp testek síkfadatai esetén:

- (1) Az alapegyenletrendszer levezetése az elsőrendű u_λ feszültségfüggvényeket és a $u_3 = \varphi$ forgásmezőt, azaz az u_k vektort tekintve alapváltozónak.
- (2) A duál rendszerhez tartozó $\mathfrak{U}_{k\lambda}$ első- és $\mathfrak{T}_{k\lambda}$ másodrendű alapmegoldás előállítás, továbbá az alapmegoldások tulajdonságainak vizsgálata.
- (3) A duál SOMIGLIANA identitás és képletek levezetése és ezzel annak igazolása, hogy belső tartományra nézve

$$u_k(Q) = \oint_{\mathcal{L}_o} \mathfrak{U}_{k\lambda}(\overset{\circ}{M}, Q) t_\lambda(\overset{\circ}{M}) ds_{\overset{\circ}{M}} - \oint_{\mathcal{L}_o} \mathfrak{T}_{k\lambda}(\overset{\circ}{M}, Q) u_\lambda(\overset{\circ}{M}) ds_{\overset{\circ}{M}} \in A^+$$

alakú a megoldás, ha nincs tartományi teher.

- (4) Mivel a fenti egyenletben egy adott perempontban csak $t_\lambda(\overset{\circ}{M})$ vagy $u_\lambda(\overset{\circ}{M})$ ismert a peremfeltételekből, a két mennyiség közül az ismeretlent adó

$$c_{\kappa\lambda}(\overset{\circ}{Q}) u_\lambda(\overset{\circ}{Q}) = \oint_{\mathcal{L}_o} \mathfrak{U}_{\kappa\lambda}(\overset{\circ}{M}, \overset{\circ}{Q}) t_\lambda(\overset{\circ}{M}) ds_{\overset{\circ}{M}} - \oint_{\mathcal{L}_o} \mathfrak{T}_{\kappa\lambda}(\overset{\circ}{M}, \overset{\circ}{Q}) u_\lambda(\overset{\circ}{M}) ds_{\overset{\circ}{M}} \quad Q = \overset{\circ}{Q} \in \mathcal{L}_o$$

integrálegyenlet levezetése ahol $c_{\kappa\lambda} = \delta_{\kappa\lambda}/2$, ha síma a peremgörbe, egyéb esetben pedig $c_{\kappa\lambda}(\overset{\circ}{Q})$ a $\overset{\circ}{Q}$ pontbeli érintők szögétől függ. (Az utóbbi egyenlet a direkt módszer integrálegyenlete).

- (5) A fenti két egyenlet analogonjának levezetése külső tartományra.
- (6) Megoldási eljárás kidolgozása kvadrátikus peremelemek feltételezése mellett.
- (7) Számítóprogram készítése Fortran 90 nyelven és számítások végzése illetve a számítási eredmények bemutatása néhány tesztfeladaton.

Köszönetnyilvánítás: A T 046834 számú OTKA által nyújtott támogatásért ezúton fejezik ki a szerzők köszönetüket.

HIVATKOZÁSOK

- [1] G. Szeidl. Boundary Integral Equations for Plane Problems in Terms of Stress Functions of Order One. *Journal of Computational and Applied Mechanics*, 2(2):237–261, 2001.
- [2] G. Szeidl and S. Szirbik. *New Developments in the Boundary Element Method: Boundary Contour Method for Plane Problems in a Dual Formulation with Quadratic Shape Functions*, chapter 14. Springer-Verlag, 2002.

ÖSSZEDŐLT EGY TEMPLOM

Dr.Dulácska Endre
SÁMSON Építés-Statikai Kft.
E-mail: duli@samson.co.hu

Belvárdgyula egy Pécestől mintegy 20 kilométerre, délkeletre fekvő kis falu. 1854-ben épült katolikus temploma. A templom tornya 2006, május 22.-én éjjel megroppant, rádőlt a templomhajóra, és a templomhajót kettévágva a templomot nagyrészt összedöntötte.

A boltozatos lefedésű templomok egy részénél a boltozat oldalnyomásának jelentős részét a fa tetőszerkezet kötőgerendája vette fel, és az oldalnyomásnak csak a viszonylag kis része jutott a vékony oldalfalra, és az esetleges támpillérekre.

A helyszíni szemle, és több, mint 50 fénykép alapján sikerült előállítani a templom valószínű alaprajzát. Megtekintve a templomalaprajzot, láthattuk, hogy a templomhajó fölé behúzott torony templom felé eső pillérei nem voltak kellően letámasztva, hanem a boltozatra voltak állítva.

Az elmúlt évben kapott új cserépfedést a templom az új kötőgerenda nélküli torokgerendás fa tetőszerkezetre.

Az adatokat végigelve arra az eredményre jutottunk, hogy a templom összeomlás alapvető oka az volt, hogy a tornyot annakidején kiváltás nélkül ráépítették a hajó boltozatára. Eredetileg az oldalnyomásokat a homlokfalban és a hajó közepén lévő hevederívben lévő falkötő vasak, és a fedélszék kötőgerendája együttesen vette fel. A szükséges biztonság ugyan nem volt meg, de a templom állt. A tető felújításakor nem gondoltak arra, hogy a faszerkezetnek is szerepe lehet az állékonyság biztosításában, és a korábbi fedélszék kapcsolatokat feloldották, és olyan kötőgerenda nélküli torokgerendás fedélszéket készítettek, melynek oldalnyomása nagyobb a normál fedélszéknél. Miután a szerkezetnek igen kevés tartaléka volt, idővel a gyámfalelmozdulás következtében a torony templom felőli pillérei beroppantották a boltozatot, és a torony a templomhajóra csapódott. Az építési őrangyalok szerepének tulajdonítható, hogy a templom éjszaka omlott össze, mert ha még 12 órát várt volna, akkor a másnapi menyegző százfős közönségre zuhant volna.

BEREPEDT VASBETON KERESZTMETSZET INERCIAANYOMATÉKÁNAK EGYSZERŰSÍTETT MEGHATÁROZÁSA

Dulácska Endre¹, Visnovitz György²

¹SÁMSON Építés-Statikai Kft.

²BME Szilárdságtani és tartószerkezeti Tanszék

E-mail: duli@samson.co.hu

Vasbeton tartók alakváltozásainak és repedéstágasságának számításához nélkülözhetetlen a rugalmas berepedt keresztmetszet hajlítási merevségének meghatározása. Az erre vonatkozó számítási módszer régóta ismert, és lényegében két lépésből áll: először a rugalmas nyomott betonöv magasságát kell meghatározni, majd ennek segítségével már a berepedt, inhomogén keresztmetszet inercianyomatéka is számítható.

Húzott és nyomott vasalással rendelkező derékszögű négyszög keresztmetszet esetére mindkét lépésre zárt számítási képlet írható fel, ezek számos egyetemi tankönyvben, vagy [1] 4.52 fejezetében könnyen hozzáférhetők. Az összefüggések memorizálása és alkalmazása azonban munkaigényes és könnyen elhibázható, ezért pl. a magyar vasbeton szabvány [2] segéd táblázatokkal, más kiadványok pedig diagrammokkal segítik az inercia meghatározását.

Az előadás alap gondolata, hogy a gyakorlat számára legfontosabb, nyomott vasalás nélküli négyszögmetszet inercianyomatéka jól közelíthető egy egyszerű és könnyen értelmezhető modellen alapuló bilineáris függvényvel.

Alacsony keresztmetszeti vashányadok esetén – amikor a nyomott betonöv kicsi – a berepedt keresztmetszet inerciája közelítőleg csak az n -szeres húzott vasalás és a hatékony magasságnégyzet szorzatának függvénye. (n az acél és a beton rugalmassági modulusának arányszáma).

Nagyobb vashányadok esetén a betonkeresztmetszet inerciájától függő konstans tagot is tartalmazó, de szintén lineáris közelítés adható a húzott vasmennyiség függvényében.

Bemutatjuk, hogy ez a közelítés a hagyományos, pontosnak mondott megoldáshoz képest csak kis eltéréseket eredményez.

A továbbiakban az előadás azt is vizsgálja, hogy a fenti közelítés hogyan alkalmazható fejlemezés, illetve nyomott vasalással is rendelkező keresztmetszetek esetén.

A javasolt módszer egyszerűségénél fogva rendkívül előnyös gyors, közelítő előszámításokhoz, de helye lehet az oktatásban, sőt a tervezési segédletek ökölszabályai között is.

HIVATKOZÁSOK

1. Bölcskei-Dulácska: Statikusok könyve, Műszaki könyvkiadó, 1974.
2. MSz 15022-1:86 Építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése. Vasbeton szerkezetek.

A DUNAÚJVÁROSI DUNA-HÍD STABILITÁSVIZSGÁLATAI

Dunai László, Joó Attila László és Vigh László Gergely

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszéke

E-mail: ldunai@epito.bme.hu

A Dunaújvárosi Duna-híd nagy méretei – 307,8 méter, a kategóriájában a világ legnagyobb fesztávú hídja – és a beúsztatással végrehajtott szerelési eljárása szükségessé tette a globális és lokális stabilitásvizsgálatok szabványos eljárásainak igazolását. Az úgynevezett kosárfül alakú, szekrény keresztmetszetű íveket párhuzamos kábelek kötik össze a merevítőtartóval; az ív globális viselkedését a síkbeli és a síkra merőleges kihajlási módok, illetve azok kéttengelyű hajlítással való kölcsönhatása határozzák meg. A híd szerelési állapotában az ív és a merevítőtartó merevített lemezmezőinek horpadása a mértékadó viselkedési mód; az ív 3720–1960mm, a merevítőtartó 3100–2400mm befoglaló méretű, 20–50 mm lemezvastagságú és laposacél, illetve T-keresztmetszetű bordákkal merevített.

Az ezen kialakításokra és jelenségekre összpontosító elméleti és kísérleti kutatás célja az ívstabilitásra vonatkozó méretezési eljárások alkalmazhatóságának igazolása, illetve a globális és lokális stabilitásvizsgálatok alternatív (független) ellenőrzésére fejlett tervezési módszer kidolgozása és alkalmazása.

Egy 1:34 méretarányú modellkísérlet segítségével megvizsgáltuk a kosárfül alakú, párhuzamos kábelekkel függesztett ív globális stabilitási viselkedését. A 9 méter támaszközü modellen meghatároztuk a jellegzetes tönkremeneteli módokat totális – síkra merőleges kihajlás – és féloldalas megoszló teher – síkbeli kihajlás – esetén. A kísérleti eredmények alapján értékeltük a különböző szabványos tervezési módszereket (validációs kísérlet) és igazoltuk a magyar szabvány szerinti eljárás alkalmazhatóságát a tényleges híd méretezése során. A hagyományos – redukciós tényezők alapuló – szabványos eljárások mellett megvizsgáltuk az Eurocode 3 helyettesítő geometriai imperfekción és végeselemes szimuláción alapuló módszerét is. A statikai és méretezési modell pontosítását a szerkezet kihajlási ellenállással szembeni biztonsága alapján elemeztük. A kísérleti eredményeket egyben a különböző szintű végeselemes modellek pontosságának ellenőrzésére is felhasználtuk (verifikációs kísérlet).

A tervezett híd végső és szerelés közbeni állapotának vizsgálatára olyan többszintű végeselemes modellel dolgoztunk ki, amelyek segítségével globális és lokális stabilitásvizsgálatokat hajtottunk végre. A szerelés közbeni állapotra vonatkozóan a merevítőtartó és az ív erőbevezetési környezetének ellenőrzését az alábbi eljárások alapján hajtottuk végre:

- Az elkülönített, idealizált megtámasztási és terhelési viszonyokkal rendelkező ortotróp lemez horpadásának vizsgálata a merevítőborda – kihajlási – és a lemezsáv – horpadási – stabilitási viselkedésének interakciója alapján.
- A szerkezetben lévő – nem elkülönített – merevített, adott feszültségállapotú lemezelemek instabilitási analízise során meghatározott kritikus teherszorzó alapján végrehajtott horpadási ellenállás számítás.
- A helyettesítő geometriai imperfekciókkal rendelkező merevített lemezek anyagi és geometriai nemlineáris analízisen és a szabványos kísérleti teherbírási módszeren alapuló horpadási ellenállás számítása.

A fenti eljárások alapján végrehajtott számítások eredményeit elemezve meghatároztuk a különböző szerkezeti kialakítású és merevségi viszonyú lemezmezők horpadással szembeni biztonságát. Ezen eredmények alapján kerültek megtervezésre az ív és a merevítőtartó koncentrált erőbevezetések környékén a mértékadó merevített lemezmezők.

Köszönetnyilvánítás: Az összefoglalóban ismertetett kutatómunka a Főmterv Zrt. Dunaújvárosi Duna-híd tervezése keretében támogatott projektben valósult meg. A szerzők köszönetüket fejezik ki ezen kívül az OTKA T049305 projekt keretében, a fejlett méretezési módszer kidolgozásához nyújtott támogatásért.

EGY KÖZELÍTŐ MÓDSZER A TÖMÖR KERESZTMETSZETŰ PRIZMATIKUS RUDAK CSAVARÁSI FELADATÁNAK A MEGOLDÁSÁRA

Ecsedi István
Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék
E-mail: mechecs@uni-miskolc.hu

E tanulmány tárgya rugalmas anyagú prizmatikus rudak szabad csavarási feladatára vonatkozik. Az ismertetésre kerülő, elemi megfontolásokra épülő közelítő módszer a kiegészítő energia minimum elvén alapul [2]. A rúd anyaga hengeresen anizotróp [1]. Az előadásban alkalmazott statikailag megengedett feszültségek kifejezései Navier [3] által a csavart rúdban ébredő csúsztató feszültségek számítására használt képlet célszerű átalakítása révén lettek megkonstruálva, oly módon, hogy mind az egyensúlyi egyenletben, mind statikai peremfeltételben megfogalmazott előírások kielégítettek. Az előadás vázolja a bemutatott módszer funkcionálisan gradiens anyagú rúdra való kiterjesztését is, mikor is az anizotróp rúd anyagjellemzői a radiális és axiális koordináták sima függvényei. Amennyiben a nyírási rugalmassági együtthatók az axiális koordinátától is függenek, akkor a fajlagos elcsavarodás (rate of twist) változik a rúd hossza mentén. Az ismertetésre került módszer és M. Serra [4] által kifejlesztett közelítő eljárás kapcsolatának az elemzésével is foglalkozik a tanulmány. M. Serra módszere döntően a Bredt képletek alkalmazásán alapul és homogén izotróp tömör keresztmetszetű rudakra vonatkozik. A közelítő módszer alkalmazását több példa szemlélteti, amelyek pontos megoldását ismervén, lehetőség van az alkalmazás során adódó korlátok megadására és a fellépő hibák számítására is.

Köszönetnyilvánítás: Az előadás elkészítését az OTKA TO 49115 számon nyilvántartott szerződése támogatta.

HIVATKOZÁSOK

1. Lehnickij, S. G.: *Torsion of Anisotropic and Nonhomogeneous Bars*, Izdatelstvo Nauka, Moscow, 1971 (oroszul).
2. Besdo, D.: *Examples to Extremum and Variational Principles in Mechanics*, CIMS. No. 65. Springer-Verlag, Wien-New York, 1973.
3. Navier, L.: *Résumé des leçons (ed. 3. edited by Saint-Venant)*, Gauthier Willars, Paris, 1864.
4. Serra, M.: Approximated calculus of torsional rigidity of beams with solid cross section. *Comp. Struc.* 62, 771-774, 1997.

ÁLLANDÓ GÖRBÜLETŰ, TÖBB RÉTEGŰ PIEZOELEKTROMOS RUDAK HAJLÍTÁSI FELADATA

Ecsedi István¹ és Dluhi Kornél²
Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék¹
E-mail: mechecs@uni-miskolc.hu
EDS Magyarország Kft²
E-mail: dluhi@freemail.hu

E tanulmány tárgyát állandó görbületű, téglalap keresztmetszetű, szimmetria síkjában hajlított, több rétegű görbe rudak statikai peremérték-feladatainak a vizsgálata alkotja. A réteg elrendezés több fajta kombinációját elemzi az előadás. A piezoelektromos rétegek minden esetben radiálisan polarizáltak. Először egyetlen állandó görbületű piezoelektromos (aktív) réteg alakváltozási és feszültségi állapotait határozzuk meg az egyidejűleg alkalmazott mechanikai és villamos terhelés hatására. A megoldás a síkrugalmaságtan és a radiálisan polarizált piezoelektromos testekre vonatkozó mechanikai és villamosságtani egyenletek, valamint a kapcsolódó peremfeltételek felhasználásával van levezetve. Alapváltozók a feszültségi tenzor és a villamos eltolási vektor skalár koordinátái. A tökéletesen kapcsolódó rétegek közös határain az előírt illesztési feltételek biztosítják az elmozdulás és villamos feszültség, valamint a mechanikai normál feszültség és a villamos eltolási vektor normál komponensének a folytonosságát. A mechanikai probléma megoldása egy alkalmasan definiált feszültség függvény felhasználásával egy közönséges másodrendű differenciálegyenlet integrálására van visszavezetve. Az analitikus megközelítés eredményeként explicit képletek felhasználásával tudjuk meghatározni a radiális és a tangenciális irányú elmozdulásokat, a nem azonosan zérus normál feszültségeket, valamint a villamos feszültség változását az aktív rétegekben. A levezetett eredmények alapján több fajta réteg elrendezés mechanikai tulajdonságai lesznek megvizsgálva, mint például, anizotróp piezoelektromos réteggel erősített izotróp rugalmas görbe rúd esete. Az állandó görbületű, szimmetria síkjában terhelt görbe rúd mechanikai és villamosságtani állapotával kapcsolatos mennyiségeknek a rúd geometriájától és az egyes rétegek anyagi tulajdonságaitól való függései is a vizsgálatok tárgyát képezi.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA TO 49115 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Cady, W. G.: *Piezoelectricity*, Dover Publication, New York, 1964.
2. Rogacheva, N. N.: *The Theory of Piezoelectric Shells and Plates*, CRC Press, London, 1993.
3. Tzou, H. S.: *Piezoelectric Shells. Distributed Sensing and Control of Continua*, Dordrecht, Kluwer, 1993.
4. Ryu, D. H. and Wang, K. W.: Characterization of surface-bonded piezoelectric actuators on curved beams, *Smart. Mater. Struc.* 11, 337-388. 2002.
5. Larson, P. H. and Winson J. R.: The use of piezoelectric materials in curved beams and rings, *Adaptive Struc. Mater. Sys. ASME AD* 35, 277-285, 1993.
6. Sonti, V. R. and Jones, J. D.: Curved piezoactuator model for active vibration control on cylindrical shells, *AIAA. J.*, 34, 1034-1040, 1996.

NÉHÁNY BÁNYÁSZATI MŰVELET 2D NUMERIKUS SZIMULÁCIÓJA DISZKRÉT ELEM MÓDSZER SEGÍTSÉGÉVEL

Écsi László, Élsztős Pál

Pozsonyi Szlovák Műszaki Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: ecsi.ladislav@stuba.sk

A diszkrét elem módszer (DEM) képviseli az egyetlen olyan numerikus módszert, amellyel törékeny szilárd anyag intenzív törési folyamata numerikusan modellezhető. A matematikai leírás szempontjából a DEM nem más, mint a véges elem módszer alkalmazása olyan nagyszámú deformálható test esetében, amely testek mindegyike a szimuláció folyamán bármely más testtel kontaktusba léphet. Éppen ezek a tulajdonságok teszik lehetővé ennek a módszernek a törés fenomenológiai leírásán alapuló szimulációját.

A szerzők néhány bányászati művelet illetve technológia diszkrét elem módszerrel történt kétdimenziós (2D) numerikus számításának eredményeit fogják ismertetni. A számítások egyik csoportja az alagútásás a másik pedig a Block Caving metódusú bányászati eljárásnál keletkező törések illetve anyagfolyás numerikus szimulációival foglalkozik. Az elvégzett explicit dinamikai számítások a nagy elmozdulásokat / nagy deformációkat figyelembe vevő aktuális Lagrange leírásán alapulnak [4],[6]. A törékeny anyag viselkedéséhez [1],[7],[9],[10],[12] a kombinált Mohr-Coulomb és Rankine anyag törvény volt felhasználva izotróp lágyulással és nem asszociatív plaszticitással [14]. A törés szimulációjánál az objektív törési energia disszipációt lehetővé tevő forgó törés modell [2],[11] volt alkalmazva a törési folyamat utolsó szakaszában a matematikai modellbe berakott diszkrét repedésekkel.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a VEGA 1/2084/05, 1/4103/07 projektek keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. BANGASH, M.Y.H., *Concrete and concrete structures: Numerical modelling and applications*, Elsevier science publishers LTD, Essex, 1989.
2. BAŽANT, Z.P., PLANAS, J., *Fracture and size effect in concrete and other quasibrittle materials*, CRC Press LLC, N.Y., 1998.
3. BAŽANT, Z.P., OH, B.H., *Crack band theory for fracture of concrete materials and structures*, (RILEM Paris), Vol. 16, pp. 155-177, 1983..
4. BELYTSCHKO, T., LIU, K., MORAN, B.: *Nonlinear finite element analysis for continua and structures*, Chichester, Wiley & Son INC., 1999.
5. BRADY, B. H. G., BROWN, E. T.: *Rock mechanics for underground mining*, 2nd. Ed, Chapman & Hall, 1993.
6. CLERK, P. A.: *The finite element modeling of discrete fracture in quasi-brittle materials*, Thesis, UWS Swansea, 2000.
7. ÉCSI, L., ÉLESZTŐS, P.: *Finite element analysis of structures on the base of heterogeneous models*, Journal of Computational and Applied Mechanics, JCAM 5, No. 1, pp. 33-48, 2004.
8. ÉCSI, L.: *Disintegration models using discrete element method (DEM)*, In proceedings of The 8th International conference MECHANICAL ENGINEERING 2004, (SI2004), 7-8 September 2004. Sjf STU Bratislava
9. HÄGGBLAD, B., NORDGREN, G., *Modelling nonlinear soil-structure interaction using interface elements, elastic-plastic soil elements and absorbing infinite elements*, Computers & Structures, Vol. 26, No. 1/2, pp. 307-324, 1987.
10. HINTON, E., OWEN, R.D.J.: *Computational modeling of reinforced concrete structures*, Pineridge press, Swansea, 1986.
11. LI, Y.J., ZIMMERMAN, Th., *Simulation of concrete cracking. A numerical evaluation of the rotating crack model*, Transaction of Fracturing and Damage of Concrete and Rock, Int. Conf., Wien, pp. 95-106, 1992.
12. PARRY, R. H. G., *Mohr circles, stress paths and geotechnics*, E & FN SPON, Suffolk, 1997.
13. SHEOREY, P.R., *A theory for in situ stresses in isotropic and transversely isotropic rock*, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech., Vol. 31, No. 1, pp. 23-34, 1994.
14. SIMO, J. C., HUGHES, T.J.R.: *Computational inelasticity*, Springer-Verlag, N.Y., 1998.
15. RIO TINTO, *Caving study*, End of project report Nov97 to Nov00.

A MECHANIKA OKTATÁS KILÁTÁSAI A SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM GÉPÉSZ-, INFORMATIKAI ÉS VILLAMOSMÉRNÖKI INTÉZETÉBEN A KÉTLÉPCSŐS (BSc, MSc) KÉPZÉSRE TÖRTÉNŐ ÁTÁLLÁS SORÁN

Égert János, Pere Balázs és Szabó Tamás

Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék

E-mail: egert@sze.hu, perebal@sze.hu, sztamassze@sze.hu

A hagyományos főiskolai/egyetemi képzés megszűnésével és az új rendszerű BSc, MSc képzés bevezetésével a mechanikai tantárgyak oktatását mind tartalmi, mind szerkezeti vonatkozásban újra kellett gondolnunk. Nyilvánvaló volt ugyanis, hogy az egyetemi tananyag a BSc képzésben – már csak az alacsonyabb óraszámok miatt – sem oktatható teljes terjedelemben, viszont a BSc képzés a főiskolai képzéshez képest magasabb színvonalú mechanikai oktatást igényel. Az MSc képzés azonban lehetőséget teremt a hagyományos egyetemi tananyag elmaradt részeinek pótlására, valamint a hallgatóság mechanikai ismereteinek további elmélyítésére.

A tanszék koncepciója az volt, hogy az egyes BSc és MSc szakokhoz nem állítunk össze szakspecifikus mechanika tantárgyakat, hanem a tantárgyaink a mechanika tudományának egyes klasszikus fejezeteit és alkalmazásait tartalmazzák, amiből a szaktanszékek kiválaszthatják azokat a fejezeteket (tantárgyakat), amelyeket az adott szakhoz szükségesnek tartanak.

1. táblázat: A BSc tantárgyak áttekintése

Tantárgy	Előadás/gyakorlat/konzultáció/ kreditpont/számonkérés	Szak
Mechanika-Statika	2/2/2/4/v	Gépészmérnöki, Mechatronikai mérnöki, Műszaki szakoktató, Közlekedésmérnöki, Műszaki menedzser
Mechanika-Szilárdságtan	2/2/2/4/v	Gépészmérnöki, Mechatronikai mérnöki, Műszaki szakoktató, Műszaki menedzser
Mechanika-Mozgástan	2/2/2/4/v	Gépészmérnöki, Mechatronikai mérnöki, Műszaki szakoktató, Közlekedésmérnöki
Mechanika-Rezgéstan	2/2/2/4/v	Gépészmérnöki, Mechatronikai mérnöki
Végeselem módszer	2/2/2/4/gy	Gépészmérnöki
Mechanizmusok (köt. vál.)	2/2/2/4/gy	Gépészmérnöki, Mechatronikai mérnöki,

2. táblázat: Az MSc tantárgyak áttekintése

Tantárgy	Előadás/gyakorlat/konzultáció/ kreditpont/számonkérés	Szak
Alkalmazott mechanika	2/2/2/4/v	Mechatronikai mérnöki, Mérnökstanár, Közlekedésmérnöki, Járműmérnöki
Végeselem analízis	2/2/2/4/gy	Mechatronikai mérnöki, Mérnökstanár, Járműmérnöki
Szerkezetek dinamikája	2/2/2/4/v	Járműmérnöki

Ezt a rendszert tartalmi oldalról a jó áttekinthetőség, oktatásszervezési oldalról pedig a rendelkezésre álló meglehetősen szűkös oktatási kapacitás (8 oktató) indokolja. A BSc és Msc tantervek szerkezete olyan, hogy a tantárgyakat minden félévben meghirdetjük. Egy tantárgy több előadással történő meghirdetésére csak akkor kerül sor, ha a tárgy felvevő hallgatók száma meghaladja az előadótermi kapacitás korlátot (300 fő). Egyébként a tantárgyat bármely szak hallgatója felveheti, aki teljesítette a tárgy előtanulmányi követelményeit.

A hallgatóság felkészüléséhez kétféle típusú tankönyvet, jegyzetet kínálunk. Az egyik típust (egyetemi tankönyveket) azoknak az érdeklődő hallgatóknak, akik az órákon elhangzott anyagon túlmenő ismeretekre is igényt tartanak a tárgyból. A másik típusú oktatást segítő anyag (jegyzet) csak az órákon elhangzott ismereteket tartalmazza. Ezen kívül internetes formában elméleti kérdéseket és kidolgozott, valamint gyakorló feladatokat is bocsátunk a hallgatóság rendelkezésére.

Az előadás szóban az új rendszerű oktatás további tartalmi és oktatásszervezési vonatkozásainak részleteire is kitér.

A szerzők úgy látják, hogy az új rendszerű oktatásra történő áttérés a mechanikai oktatás vonatkozásában mennyiségi és főként minőségi előrelépésre teremt lehetőséget a Széchenyi István Egyetem Gépész-, Informatikai és Villamosmérnöki Intézetében.

HŐCSERÉNÉL KELETKEZŐ KVÁZISTACIONÁRIUS HŐMÉRSÉKLET ÉS FESZÜLTÉGMEZŐK SZÁMÍTÁSA FOURIER MÓDSZERREL

Élesztős Pál és Écsi László
Szlovák Műszaki Egyetem, Bratislava
E-mail: pavel.elesztos@stuba.sk

A gyártási folyamatok egyik meghatározó jellemzője a hőmérséklet időbeli változása, valamint az egyenlőtlen hőmérsékleteloszlásból adódó feszültségmező, amelyek jelentős mértékben befolyásolják a gyártási folyamat energiaigényét, és döntő mértékben kihatnak a termék maradó feszültségi állapotra és így annak minőségére is. A szakirodalom nagyon sok feladat megoldását kínálja [1], de nem foglalkozik a hőcsere folyamatában résztvevő fázisok hőkapacitásának arányával.

Néhány egyszerűsítő feltétel bevezetése után a szemcsés anyag-gáz rendszerű egyenáramlású hőcserélőkben keletkező hőmérsékletmező [2] a Fourier-Kirchhoff egyenlettel írható le gömbi koordináta-rendszerben. Ennek megoldása után vizsgálható a hőmérsékleti gradiens okozta feszültségmező is. Gyakorlatilag ugyanilyen módon vizsgálható az egyirányban mozgó végtelen fal [3] (derékszögű kördináta rendszerben vagyunk) és hűtőfolyadék hőcseréjénél keletkező hőmérséklet-, és hőfeszültségmező.

Az egyenleteket henger koordináta-rendszerben írva fel, majd az egyes változók dimenziómentessé tétele után az egyenáramlású hőcsere folyamatában résztvevő végtelen rúdban [4] a dimenziómentes hőmérsékletmező

$$\Theta_s = \frac{1}{1+m} + \sum_{i=1}^{\infty} \frac{-2k_i J_1(k_i)}{4m J_1^2(k_i) + k_i^2 [J_0^2(k_i) + J_1^2(k_i)]} e^{-k_i^2 Fo} J_0(k_i \rho), \quad (1)$$

és a dimenziómentes feszültség képlete

$$\Psi_t = \frac{\sigma_t}{E} \frac{1}{1-\nu} \vartheta \Delta T \left[\sum_{i=1}^{\infty} A_i e^{-k_i^2 Fo} + \sum_{i=1}^{\infty} B_i e^{-k_i^2 Fo} \left[\frac{1}{k_i \rho} J_1(k_i \rho) - J_0(k_i \rho) \right] \right].$$

A $k_1, k_2, \dots, k_i, \dots$ állandókat a következő transzcendens egyenlet gyökeiként kapjuk

$$\frac{k_i}{Bi} = \frac{2m}{k_i} + \frac{J_0(k_i)}{J_1(k_i)}.$$

A képletekben ρ a dimenziómentes sugár, m a hőcsere folyamatban résztvevő két fázis hőkapacitásának aránya, Fo a Fourier-féle szám, Bi a Biot-féle szám, J_0 és J_1 nulla illetve első rendű Bessel függvények, E rugalmassági tényező, ν a Poisson-féle állandó, ϑ hőtágulási tényező, ΔT az érintkező fázisok hőmérséklet különbsége a hőcsere folyamat kezdetén, A_i és B_i pedig integrációs állandók. Az előadásban a végtelen cső esetével is foglalkozunk és az egyes esetek megoldásait 3D-s ábrákon szemléltetjük.

Köszönetnyilvánítás: Előadásunk a VEGA No. 1/2084/05 (MŠ SR) támogatásával készült.

HIVATKOZÁSOK

1. Bejan, A., Kraus, A. D.: *Heat transfer handbook*, John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, 2003
2. Élesztős, P.: *Analysis of temperature and stress field in spherical heat carriers*, Strojnícky časopis, č.5, 1987. (Szlovákul)
3. Élesztős, P.: *Thermal stresses at the extrusion of an infinite cylinder*, International Journal of Mechanics and Solids (IJM&S), Volume 1 Number 1, March 2006
4. Élesztős, P.: *Non-stationary temperature Field of infinite cylinder at co-current contact with liquid medium*, Periodica polytechnica ser. mech. eng. vol. 48, No. 2, Budapest, 2004
5. Élesztős, P. - Szekeres, A.: *Thermo-hygro-mechanics in mechanical engineering*. In: 6th European solid mechanics conference. ESMC 2006: Budapest University of Technology and Economics, 2006. - ISBN 9638724404. - CD-Rom

KÜLSŐ NYOMÁSNAK KITETT GYŰRŰMEREVÍTETT KÚPOS HÉJAK KÖLTSÉGMINIMALÁLÁSA

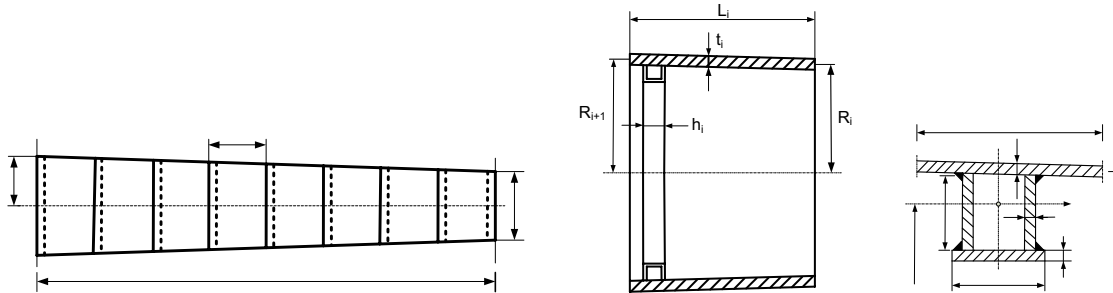
Farkas József¹, Jármái Károly¹, Orbán Ferenc²

¹ Miskolci Egyetem, ALT, ² Pécsi Egyetem, Pollack Mihály Főiskolai Kar

E-mail: altjar@uni-miskolc.hu

Jelen tanulmányban a következő szerkezeti jellemzőket választottuk: acél, kismértékben kúpos héj, gyűrűmerekítők hegesztett szekrényszelvényvel, egyenletes bordázás, külső nyomás, hegesztés. A tervezés a Det Norske Veritas [1,3] előírásai alapján történt, figyelembe véve a héj és a bordák stabilitását.

Az optimalálás során változóknak tekintjük a következőket: a héjelemek száma (n) (1. ábra), a héjvastagságok (t_i), a hegesztett szekrényszelvényű gyűrűmerekítők méretei (h_i , t_{ri}). A gyűrűmerekítők száma $n+1$, mivel minden héjelemnél a végén egy merevítőt alkalmazunk, kivéve az első elemet, ahol két gyűrűmerekítő található. Elhelyezésüket az ábrán szaggatott vonal mutatja. A költség tartalmazza az anyag, a szerelés, a hegesztés és a festés költségeit a legjobbnak tartott gyártási sorrend mellett [2]. A héjvastagság minden héjgyűrűnél a héjhorpadási feltétel figyelembevételével határoztuk meg. A számítás hasonló a hengeres héjaknál alkalmazotthoz, de egyenértékű vastagságok és szegmens hosszakat alkalmaztunk a DNV (1995) tervezési előírásai szerint. A gyűrűmerekítő méreteit minden héjelemnél a gyűrűhorpadási feltétel szerint határoztuk meg. Ennél a szükséges inercia és keresztmetszet-terület meghatározható.



1. ábra A kúpos héj vázlata és metszete

A héjelemben a normálfeszültség a külső nyomás esetén nem lehet kisebb, mint a kritikus horpadási feszültség

$$\sigma_i = \frac{\gamma_b p R_i}{t_{ei}} \leq \sigma_{cri} = \frac{f_{y1}}{\sqrt{1 + \lambda_i^4}}, \quad \lambda_i = \sqrt{\frac{f_{y1}}{\sigma_{Ei}}}, \quad \sigma_{Ei} = \frac{C_i \pi^2 E}{12(1 - \nu^2)} \left(\frac{t_{ei}}{L_{ei}} \right)^2, \quad L_{ei} = \frac{L_i}{\cos \alpha}$$

ahol $C_i = 4 \sqrt{1 + \left(\frac{0.6 \xi_i}{4} \right)^2}$, $\xi_i = 1.04 \sqrt{Z_i}$, $Z_i = \frac{L_{ei}^2}{R_{ei} t_{ei}} \sqrt{1 - \nu^2}$, p a külső nyomás, f_y a folyáshatár, E a rugalmassági

modulusz, ν a Poisson szám, α a lejtésszög.

Az optimalálás során ($f_y = 355$ MPa, $L = 15$ m, $p = 1.5 \times 0.5$ MPa, $E = 2.1 \times 10^5$ MPa, $\nu = 0.3$, $R_{min} = R_l = 1850$ és $R_{max} = R_{n+1} = 2850$ mm) változtatva a bordaszámot ($n = 3 - 15$) a költségeltérés 17 %-ra adódott, ami azt jelenti, hogy érdemes ezt a számítást elvégezni. A gyűrűmerekítő nagyon hatékony, mivel a hasonló méretű és terhelésű merevítetlen héjnál 42 mm-es vastagság szükséges, miközben merevítők alkalmazása esetén 18-25 mm vastagság is elegendő, a merevítők számától függően. A normálfeszültségek a héjelemben végeselemes programmal is meghatározásra kerültek. A feszültségcsúcsok $n = 10$ esetén 99-109 MPa között változtak, míg az optimalálás során 102-124 MPa közöttre adódtak, ami jó egyezést mutat.

Köszönetnyilvánítás: a kutatást az OMFB 01385/2006 számú Öveges József ösztöndíj támogatta Kutatási és Technológiai Innovációs Alapból, melyet a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal (NKTH) adott a KPI-n keresztül.

HIVATKOZÁSOK

1. Det Norske Veritas (DNV) (1995) Buckling strength analysis. Classification Notes No.30.1. Høvik, Norway.
2. Farkas, J. & Jármái, K. (2003) Economic design of metal structures. Rotterdam, Millpress Science Publishers
3. Det Norske Veritas (2002) Buckling strength of shells. Recommended Practice DNV-RP-C202. Høvik, Norway.

SZÁMÍTÓGÉPES PROGRAM MOIRÉ SÁVOK KIÉRTÉKELÉSÉRE

Gálfi Botond-Pál¹, Sárosi Pál², Szilárdi László³, Vajda Tamás⁴, Száva János⁵

1. Brassói Transzilvánia Egyetem, Szilárdságtan és Lengéstan Tanszék, E-mail: bgalfi@yahoo.com
2. Brassói Transzilvánia Egyetem, Szilárdságtan és Lengéstan Tanszék, E-mail: spal@yahoo.com
3. Marosvásárhelyi Sapiientia Egyetem, Villamos Mérnöki Tanszék, E-mail: lalo@ms.sapiientia.ro
4. Marosvásárhelyi Sapiientia Egyetem, Villamos Mérnöki Tanszék, E-mail: vajdat@ms.sapiientia.ro
5. Brassói Transzilvánia Egyetem, Szilárdságtan és Lengéstan Tanszék, E-mail: janoska@clicknet.ro

A Műszaki Mechanika Kísérleti Módszerei között a Moiré Sávok Módszere egyike azon eljárásoknak, mely alkalmas úgy a test síkjában-, mind pedig az erre merőleges irányban észlelt alakváltozások feltérképezésére.

Két főbb eljárást ismerünk:

1. Amikor két rácsot használunk, melyből az egyiket (a tárgyrácsot) a vizsgált testre rögzítjük, míg a másikat (a referenciárácsot) pedig a test előtt helyezzük el; ekkor geometriai moiré-ról beszélünk,
2. Illetve ha a testre nem rögzítünk rácsot, és ebben az esetben megkülönböztethetünk:
 - árnyék-moiré-s eljárást, mikor egyetlen rácsot használunk úgy a sávok testre való rávetítésére, mint pedig az alakváltozások észlelésére (észlelő is ezen keresztül vizsgálja az alakváltozást szenvedett testet);
 - rácsvetítéses (Fringe Projection) eljárást, amikor (általában a test méreteire való tekintettel) két kisebb méretű rácsot használunk: egyet a rácsok testre való rávetítésére, illetve egy másikat a megfigyelőnek, az alakváltozások észlelésére.

Mint ismeretes, a test alakváltozása következtében a megfigyelő sávokat észlel, melyeket fényképezés útján tárolhatunk és utána feldolgozunk (vagyis a sávokat kiértékeljük).

Klasszikus eljárás esetében a sávok kiértékelése grafikus integrálással történik, mely nemcsak munkaigényes, de ugyanakkor az eredmények pontossága is sok esetben megkérdőjelezhető, nem is beszélve arról, hogy eredményeket nem ott, közvetlenül a helyszínen nyerjük, hanem jóval később.

Annak érdekében, hogy szinte valós idejű sávkiértékelést nyerjünk, számítógépes programokat dolgoztak ki, de ezek általában árban szinte elérhetetlenek (főleg akkor, ha bizonyos laboratóriumok, egyetemek anyagi helyzetét is figyelembe vesszük).

Jelen esetben is ez készítette arra a kollektíva tagjait, hogy saját fejlesztésű programot dolgozzon ki.

Az itt bemutatásra kerülő program képes mindkét típusú eljárás esetében az alakváltozást kiszámítani, de ezen túlmenően alkalmas képek egymásra helyezésére (szorzás + normalizálás), illetve a kép feldolgozására is. Ez utóbbi félig automatikusan és négy lépésben történik:

1. a kép beolvasása, vagy a két kép összeadása;
2. a kép átalakítása szürke színskálába, amelyen ha szükséges, futtathatunk egy kép javító algoritmust is;
3. a kép bináris (fehér vagy fekete) átalakítása és ennek leszűkítése („skeleton” vagy más módszer segítségével);
4. megadva a rendszer (optikai elrendezés) sajátosságait (kényszerkapcsolatok, zérós elmozdulású pontok, rács lépése, stb.) a program megkülönbözteti a leszűkített vonalokat (színteket). Ezután két dimenziós mátrixban futtatunk egy interpolációs függvényt, amely kiértékeli minden pontban az elmozdulást (sintérikép, vagy 3D-ben).

Kifejlesztettünk ugyanakkor Matlab-ban egy felhasználó-barát verzióját is.

A fent bemutatott program segítségével méréseket is végeztünk, melyeket más kísérleti módszerek segítségével is ellenőriztünk.

Az így elért eredmények biztatóaknak tündek és célunk, hogy ennek fejlesztését az elkövetkező időszakban is folytassuk.

HIVATKOZÁSOK

1. ***- Image Processing Handbook Fourth Edition, ISBN 084931142
2. L. Guan- Adaptive Image Processing: A Computational Intelligence Perspective, ISBN 0849302838
3. J. Sanghera- Adaptive Optics Engineering Handbook, ISBN 0824782755
4. St. Stergiopoulos- Advanced Signal Processing Handbook: Theory and Implementation for Radar Sonar and Medical Imaging Real Time Systems, ISBN 0849336910.

SZERKEZETEK TÖKÉLETLENSÉGÉRZÉKENYSÉGE KETTŐSCSÚCS-KATASZTRÓFA ESETÉN

Gáspár Zsolt és Pezer Ferenc

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: gaspar@ep-mech.mech.bme.hu

Csak olyan szerkezetekkel foglalkozunk, amelyek viselkedése jól modellezhető véges szabadságfokú modellel, melyekre egyparaméteres teher hat, és a vizsgált tartományban csak rugalmas alakváltozások jönnek létre. Az ilyen, esetleg nagy elmozdulásokat is végző szerkezetekről Koiter már 1945-ben kimutatta, hogy a leggyakoribb esetekben (határpont, aszimmetrikus elágazás, stabilis és labilis szimmetrikus elágazás) hogyan változik a kritikus teherparaméter a tökéletlenségek hatására.

A szerkezet optimalása során a két legkisebb teherparaméter egyenlővé tehető. Thompson és Hunt a 70-es évek elején megmutatta az ilyenkor a leggyakoribb esetekben (egyhajlású, ellenhajlású és azonos hajlású elágazás) az elágazási utakat, a tökéletlenségérzékenységi felületeket. Eközben kidolgozták a matematika egy új ágát, az elemi katasztrófaelméletet, amelyik osztályozta a sima k -paraméteres ($k \leq 5$), n -változós skalár függvények pontjait, meghatározta a kanonikus alakok egyensúlyi felületeit, az elágazási halmazok egyenleteit. Kiderült, hogy a teherparaméter kitüntetett szerepe miatt a szerkezetek stabilitáselméletében a katasztrófaelméletben használatnál részletesebb osztályozásra van szükség. A korábban vizsgált esetek a ránc-katasztrófa, a standard és a duális csúcs-katasztrófa, illetve az elliptikus és a hiperbolikus köldökszerű katasztrófa osztályba tartoztak. Thom tétele azonban még egyéb katasztrófákat is felsorolt a tipikus esetek között. Természetesen tervezhetők úgy szerkezetek, hogy a stabilitásvesztésük ez utóbbi katasztrófák valamelyikénél jöjjön létre, azonban ezek nem mérnöki megfontolások alapján jönnek létre. A szakirodalomban mégis egy sor esetet (pl.: fecskefarok, pillangó, parabolikus és szimbolikus köldök, vagy a korábban vizsgált típusok speciális alosztályai) elemeztek, egyszerű modelleken bemutatták azokat, mert az optimális szerkezetek lehetnek ilyen speciális esetek közelében. Az ilyen vizsgálatokról ad áttekintést [1].

Ha olyan szerkezetet optimalunk, amelyik mindkét aktív változójában szimmetrikus, akkor kettőscsúcs-katasztrófa jön létre, amelyik nem szerepel Thom tételében mert tipikus létrejöttéhez 5-nél több paraméter speciális megválasztása szükséges. Egy ilyen modellt már 1964-ben vizsgált Augusti ([2]), természetesen a katasztrófaelmélet használata nélkül, majd részleges osztályozást adott Samuels és Stevens ([3]). Több osztályra is modellt mutatott Gáspár és Lengyel ([4]). Az egyensúlyi utak teljes osztályozását [5] adta meg az olyan esetekre, amelyeknél mindkét változóban szimmetrikus a potenciális energia függvény. (Kettőscsúcs-katasztrófa olyan esetben is létrejöhét, amikor ez a feltétel nem teljesül.)

Az előadásban a tökéletlenségérzékenységi felületeket mutatjuk be. Az olyan tökéletlenségek esetén, amelyek a potenciális energia lineáris tagját is megzavarják, a kritikus teher paramétere általában a tökéletlenség $2/3$ hatványával arányosan változik, de speciális esetekben más hatványkitevő is előfordul. A kritikus pont környezetének lokális vizsgálatához általában elegendő a potenciális energia Taylor-sorát a negyedfokú tagokig vizsgálni, de bizonyos osztályokban a hatodfokú tagok bevonására is szükség van. A tökéletes szerkezet esetében a kritikus pontban tipikusan 2 vagy 4 másodlagos egyensúlyi út metszi az elsődleges utat, de egy elfajult esetben több másodlagos egyensúlyi út is előfordulhat.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T 046846 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Gáspár, Zs.: *Mechanical models for the subclasses of catastrophes*. In: M. Pignataro, V. Gioncu (eds) Phenomenological and mathematical modelling of structural instabilities, CISM Courses and Lectures No. 470 Springer, Wien, New York, 277-336 (2005)
2. Augusti, G.: Stabilità di strutture elastiche elementari in presenza di grandi spostamenti. *Atti Accad. Sci. Fis. Mat.*, Serie 3^a, **4**, No. 5 (1964)
3. Samuels, P., Stevens, J.: Instability of dual eigenvalue fourth-order systems. *J. Struct. Mech.* **10**, 209-225 (1982)
4. Gáspár, Zs., Lengyel, A.: A family of structures for the double cusp catastrophe. *Math. Proc. Camb. Phil. Soc.* **139**, 523-540 (2005)
5. Gáspár, Zs., Pezer, F.: Two-fold bifurcated equilibrium paths with full symmetry. *Journal of Computational and Applied Mechanics* (to be published)

MIKROPOLÁRIS TESTEK KIS RUGALMAS-KÉPLÉKENY ALAKVÁLTOZÁSÁNAK ELMÉLETI ÉS NUMERIKUS VIZSGÁLATA

Gombos Ákos és Szabó László

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: gombos@mm.bme.hu, szabo@mm.bme.hu

Az utóbbi évtizedekben különös figyelmet kaptak a mikrokontinuum modellek a különböző alkalmazásokban. Eringen a mikrokontinuumok elméletének egy részletes összefoglalását adja az 1999-ben megjelent könyvében [1]. Az ismertett mikrokontinuum modellek közül a mikropoláris modell az egyik leginkább elterjedt a gyakorlati alkalmazásokban (pl. szemcsés folyadékok, porózus anyagok, fémhabok, orientált anyagok, stb.).

Az előadás a kis rugalmas-képlékeny alakváltozást végző mikropoláris test elméleti és numerikus vizsgálatával foglalkozik. Az alkalmazott jelölések és mennyiségek értelmezése Eringen [1] munkáját követi. A modell egyik alapvető jellemzője, hogy az $\mathbf{u}$ elmozdulásmező mellett egy független ϕ forgásmezőt is értelmez. Az alakváltozási állapotot a nem szimmetrikus alakváltozási tenzor, $\boldsymbol{\epsilon}^T = \mathbf{grad}\mathbf{u} + \boldsymbol{\epsilon}\phi$ és a forgásmező gradiense $\boldsymbol{\gamma} = \mathbf{grad}\phi$ írja le (itt $\boldsymbol{\epsilon}$ a permutációs tenzort jelöli). A feszültségállapotot a nem szimmetrikus feszültség és feszültségpár tenzorok képezik. Az izotróp, rugalmas alakváltozást leíró modellben a rugalmassági modulus és a Poisson tényező mellett még további négy anyagjellemző szerepel (polár tényező, kapcsolási szám, hajlítási és csavarási karakterisztikus hossz, amelyek kísérleti úton történő meghatározásával kapcsolatosan elsősorban Lakes munkája [2] említhető).

Az előadás a rugalmas modell egy lehetséges kiterjesztését ismerteti rugalmas-képlékeny alakváltozásra. Ennek legfontosabb eleme a Mises-féle képlékenységi feltétel módosítása, amely a rugalmas torzítási alakváltozási energia kifejezéséhez kapcsolódik. Fontos hangsúlyozni, hogy számos javaslat található rugalmas-képlékeny mikropoláris testek képlékenységi feltételének megadására (pl. Lippmann [3], de Borst [4], Mühlhaus és Vardoulakis [5], Willam és társai [6]), azonban ezek a munkák túlnyomó részben kétdimenziós esetre vonatkoznak, illetve a javasolt modellekhez kapcsolódó fizikai alapok hiányosak.

Az előadásban a rugalmas-képlékeny modell alapegyenleteinek megadása mellett, azok végesseleemes implementálása is bemutatásra kerül, amely magába foglalja a növekményes végesseleemes alapegyenlet megadását, valamint a feszültség számító eljárás ("stress updating") és konzisztens érintő modulus tenzor megadását. A konstitutív egyenlet numerikus integrálása az ún. "implicit backward Euler" módszer felhasználásával történik. Rugalmas-ideálisan képlékeny esetben, konstans alakváltozási sebesség feltételezése mellett, a konstitutív egyenletek analitikusan integrálhatók. A konzisztens érintő merevségi mátrix ekkor nem szimmetrikus.

A javasolt modell és eljárások alkalmazásának bemutatása egyszerű feladatokon keresztül történik. Az előadás befejező részében rugalmas-képlékeny nyírási és hajlítási feladatokra vonatkozó analitikus megoldásoknak a végesseleemes számítási eredményekkel történő összehasonlításával, a kidolgozott algoritmusok hatékonyságának és pontosságának elemzésére és értékelésére kerül sor.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T046488 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Eringen, A. C.: Microcontinuum Field Theories, Springer Verlag, Berlin, 1999.
2. Lakes, R. S.: Experimental methods for study of Cosserat elastic solids and other generalized elastic continua. In: Mühlhaus, H.-B. (Ed.), Continuum Models for Materials with Microstructure. John Wiley & Sons, pp. 1-25, 1995.
3. Lippmann, H.: Cosserat plasticity and plastic spin, ASME Appl. Mech. Rev. 48,753-762, 1995.
4. De Borst, R.: A generalisation of J2-flow theory for polar continua. Comp. Meth. Appl. Mech. Engng, Vol. 103, pp. 347-362, 1993.
5. Mühlhaus, H.-B., Vardoulakis, I.: The thickness of shear bands in granular materials. Géotechnique, Vol. 37, pp. 271-283, 1987.
6. Willam, K., Dietsche, A., Iordache, M.-M., Steinmann, P.: Localization in Micropolar Continua, In: Mühlhaus, H.-B. (Ed.), Continuum Models for Materials with Microstructure. John Wiley & Sons, pp. 1-25, 1995.
7. Forest, S., Sievert R.: Elastoviscoplasticity constitutive frameworks for generalized continua. Acta Mechanica, Vol. 160, pp. 71-111, 2003.

SZÉL DINAMIKAI HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA GENERÁLT SZÉLSEBESSÉG-FÜGGVÉNY ALKALMAZÁSÁVAL

Györgyi József és Szabó Gergely

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: : gyorgyi.@ep-mech.me.bme.hu és hoesees @freemail.hu

A széláramlás sebessége egy magasság szerint változó $v_m(z)$ átlagsebesség és a turbulencia miatti időben változó sebesség összegeként definiálható. Az Eurocode öt terepkategóriára megadja a turbulencia intenzitás $I_v(z)$ függvényét, amelynek felhasználásával számítható a

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b$$

csúcshatárolás. Az Eurocode a nyomáeloszlás ismeretében számítja a szabályzatban értelmezett A_{ref} referencia felületre ható kvázi-statisztikus erőket az

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref}$$

összefüggésből. A $c_s c_d$ két tényező szorzata, ahol a c_s redukciós tényező azt kívánja megjeleníteni, hogy a szélsébség maximuma nem ugyanabban az időpontban keletkezik a szerkezet minden keresztmetszeténél. A c_d dinamikus tényező fejezi ki az időben változó szél és a szerkezet dinamikus kölcsönhatásából - "rezonanciájából" - keletkező dinamikus többletet. Az Eurocode megadja a c_s és c_d számítására szolgáló eljárást olyan szerkezeteknél, ahol a szél dinamikai vizsgálatánál az első rezgésalakkal való számítás elegendő, és ahol az első rezgésalak ordinátái azonos előjelűek. A c_d számításában meghatározó szerepe van az $S_L(z, n)$ dimenziótlán teljesítménysűrűség függvénynek és a szerkezet méreteinek hatását kifejező aerodinamikai korrelációs függvényeknek. Az előadásban bemutatjuk, hogy ezek segítségével hogyan számítható az a mesterséges szélsébségfüggvény amelynek ismeretében korrekt dinamikai számításra kerülhet sor és a c_f erőtényező ismeretében meghatározhatók a szerkezet igénybevételei.

A Kármán-féle örvényleválás hatásának vizsgálatánál számítható kritikus szélsébség elvileg csak egy adott keresztmetszetenél lévő szélsébséggel egyezhet meg. Az Eurocode L_j korrelációs helyettesítő hosszakat értelmez, amelyekkel figyelembe tudja venni az örvényleválás frekvenciájának az adott hosszra való azonosságát. A szerkezet tetőpontjának elmozdulására, a rezgésalak közelítő felvételére szolgáló összefüggések ismeretében számíthatók a gyorsulások, és a tehetetlenségi erőkből az igénybevételek. Az előadásban bemutatjuk az örvényleválás frekvenciájának ismeretében számított gerjesztő erővel végzett dinamikai számításokat.

Egy vasbeton kémény vizsgálata azt mutatta, hogy a dinamikai számításokhoz képest a kvázi-statisztikai vizsgálatok - az Eurocode szándéka szerint is - konzervatívok. A vizsgálatok eredménye alapján mód van pontosabb vizsgálatra és olyan szerkezetek dinamikus szélhatásra való számítására is, amelyekre az Eurocode nem ad lehetőséget.

Az eredményekre döntő hatása van az erőtényezőknél, a korrelációs függvényeknek, amelyekre vonatkozóan csak bizonyos esetekre ad a szabályzat útmutatást. Általános esetben szélcsatorna kísérletre van szükség, amelyet helyettesíthet az áramlástan feladatok megoldására kidolgozott számítógépi program. Ennek alkalmazására vonatkozó kezdeti eredményeket is bemutatja az előadás.

HIVATKOZÁSOK

1. J. Györgyi, Effect of soil-structure interaction in case of earthquake and wind calculation of towers. In F. Darne, I. Doghri, R. El Fatmi, H. Hassis & H. Zenzri eds., *Advances in Geomaterials and Structures*, pp. 681-686, The First Euromediterranean Symposium on Advances in Geomaterials and Structures, Hammamet, Tunisia, 2006.
2. MSZ EN 1991-1-4:2005, Eurocode 1: Actions on structures. Part 1-4: General actions. Wind actions. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2005.

TÉGLAFALLAL MEREVÍTETT MONOLIT VASBETON KERET MODELLEZÉSE VEM PROGRAMMAL

Haris István, BME Hidak és Szerkezetek tanszéke,
Dr. Hortobágyi Zsolt, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék,
E-mail: haris@vbt.bme.hu

A mindennapi mérnöki tervezési gyakorlatban a téglafallal merevített monolit vasbeton keretváz méretezését csupán többnyire a „hagyományos” módszerként ismert helyettesítő ferde rácsrúd modellel végzik.

Ennek a modellnek talán az egyik legnagyobb hátránya, hogy a helyettesítő ferde nyomott rácsrudat ugyan nemlineáris (csak nyomásra dolgozó) anyagjellemzőkkel definiálhatjuk, azonban a rácsrúdban kizárólag tengelyirányú erők léphetnek fel, így a nyomóerőre merőleges irányú húzás nem vizsgálható a téglafallban. Továbbá a vasbeton keret és a téglafal közötti kapcsolat egyáltalán nem modellezhető, csupán ideális csuklót vehetünk figyelembe, ami a valóságos viselkedéstől jelentősen eltérhet.

A bemutatásra kerülő eljárással a praktizáló mérnök által alkalmazott végelelemes program segítségével vizsgáljuk a két különböző szerkezeti elem együttes viselkedését, teherbírását. Éppen ezért célunk az, hogy egy kereskedelmi forgalomban lévő szoftverrel a számítás a valóságot jobban megközelítő módon elvégezhető legyen.

A téglafalat vagy síkbeli alakváltozás állapotú tárcsaelemekkel, vagy sík héjelemekkel, a vasbeton keretet, pedig rúd-, vagy bordaelemekkel modellezzük.

Nemlineárisan viselkedő rugók és kontaktelemelek felhasználásával, a vasbeton keret és a téglafal közötti kapcsolat is megfelelően modellezhetővé válik. Egy rugó- és egy kontaktelem „sorba” kapcsolásával, valamint a közöttük lévő csomópont oldalirányú eltolódásának fiktív rugós megtámasztásával elérhető, hogy a szerkezet merevségi mátrixa ne váljék szingulárisá, így a számítás elvégezhető marad.

A kontaktelem feladata, hogy a vasbeton szerkezeti elem és a téglafal csak nyomásra tudjon együttműködni. A rugó merevségének értékével, pedig szabályozhatóvá válik a teherbírás kimerülésének végértéke.

Az eljárás további előnyei, hogy a kontúrrepedések kialakulását követő teherbírási szakasz is megfelelő módon modellezhetővé válik, valamint a modell segítségével a nyomott zónára merőleges húzófeszültségek is számíthatók és az anyagjellemzőkkel összehasonlíthatók.

Így ezzel a módszerrel vizsgálható a kitöltő falazat nyomó- illetve húzófeszültsége, valamint lokális hatásra való tönkremenetele (pecsétnyomás).

Továbbá a vasbeton keretváz igénybevételeire és alakváltozásaira is pontosabb eredményeket kapunk.

MECHANIKAI FOGALMAK ÉRTELMEZÉSE A MAGYAR ÉS IDEGEN NYELVŰ SZAKIRODALOMBAN

Dr. Hegedűs Attila

Temesvári Műszaki Egyetem

E-mail: hegedus.attila97@chello.hu

Az előző rendezvényen Pécsen megpróbáltam röviden vázolni a mechanikaoktatás alakulását az elmúlt száz év folyamán. Elsősorban azt vizsgáltam, hogy miként változott az évek folyamán a mechanika tartalma, nyelve, jelölésrendszere és matematikai eszköztára. Az előadás keretében természetesen szó esett futólag a mechanikai fogalmak értelmezéséről is, de úgy gondolom, hogy ezzel a témával érdemes, sőt szükséges külön foglalkozni.

Az előadás első része arról szól, hogy ki hogyan értelmezi magát a mechanikát és ennek a részterületeit. A mechanika értelmezésében csak kisebb eltérések vannak, viszont a felosztását illetően nem alakult ki egységes szemlélet, a részterületek értelmezésében pedig nagyobb eltérések is tapasztalhatók. A magyar szemlélet szerint a mechanika felosztható kinematikára és dinamikára, ami tartalmazza a statikát és kinetikát. Ezzel szemben az angol szakirodalomban a statika nem része a dinamikának, ugyanakkor a dinamika tartalmazza a kinematikát. A német nyelvű szakirodalomban előfordul a magyarhoz hasonló szemlélet is, de olyan is, amely szerint a statika nem része a dinamikának és a dinamika a kinetikával szinonim fogalom. Az orosz és a román szakirodalom úgy tekinti, hogy a mechanika (elméleti mechanika) részterületei: statika, kinematika és dinamika.

Sokkal bonyolultabb a helyzet a szilárdságtant illetően. Egyesek szerint ez a statika része, mások szerint a nyugvó testek dinamikájának része, megint mások szerint pedig a szilárd testek kinematikája és dinamikája. Egyes nyelvterületeken a szilárdságtant a mechanika külön részterületének, esetenként önálló tudománynak tekintik. Hasonló a helyzet a lengéstannal is.

Az előadás második részében néhány mechanikai fogalom elnevezését és értelmezését vizsgálom a magyar és idegen nyelvű szakirodalomban. Természetesen az eltérésekre szeretném felhívni a figyelmet. Már a vektormennyiség értelmezése is, a mechanika elején, szerzőnként más és más.

Egyesek nem tesznek különbséget a vektor értelme (irányítása) és iránya között, illetve esetenként az irány irányítást is jelent. Másképp értelmezi a magyar és az idegen nyelvű szakirodalom a kötött vektor fogalmát. Ha összehasonlítjuk a mechanikával foglalkozó magyar nyelvű és idegen nyelvű szakirodalmat, ezen kívül még számos eltérést tapasztalunk. Vannak olyan fogalmak, amelyeket másképp értelmez a magyar és az idegen nyelvű szakirodalom (pl. relatív erő, ütközési középpont), sőt a magyar szakirodalomban van több olyan fogalom, ami nem létezik más nyelvterületeken és ez fordítva is igaz. Az sem ritka, hogy ugyanannak a fogalomnak a elnevezése különböző nyelvterületeken más és más. Például, amit a magyarok, németek, románok Steiner-tételnek neveznek, az az angoloknál és franciáknál Huygens-tétel, az oroszoknál Huygens-Steiner-tétel.

Megállapítható, hogy bizonyos mechanikai fogalmak elnevezését és értelmezését illetően számos eltérés tapasztalható egyrészt a magyar nyelvű szakkönyvekben, másrészt a magyar és idegen nyelvű szakirodalomban. Ezekből kiindulva bizonyos kérdéseket tehetünk fel magunknak. Ha idegen nyelvből magyarra fordítunk (átültetünk) egy mechanika tárgyú könyvet, mit tegyünk azokkal a definíciókkal, amelyek a magyarban nem léteznek vagy a magyartól eltérőek? Hogyan kezeljük a jelölésrendszert? Ugyanezek a kérdések vetődnek fel akkor is, amikor idegen nyelven írunk könyvet, egyetemi jegyzetet.

PONYVASZERKEZETEK ANALÍZISE TÉRBELI GÖRBÜLT VÉGESELEM SEGÍTSÉGÉVEL

Hegyi Dezső

BME, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

E-mail: dizso@silver.szt.bme.hu

A feszített membránszerkezetek, ponyvaszerkezetek numerikus analíziséhez kezdetben rúdelemeket használtak. Felületszerkezetekről lévén szó ez durva közelítést tesz csak lehetővé, viszont a számításigény viszonylag kicsi. A később kidolgozott eljárások sík háromszög elemeket alkalmaztak. Az ilyen elemek már alkalmasak lehetnek a felületszerkezethez tartozó anyagtörvények pontosabb figyelembevételére. Azonban a ponyvaszerkezetek térbeli görbült szerkezetek, esetenként csak nagyszámú sík háromszög elem képes jól leírni az anyag valódi viselkedését.

Olyan új eljárás kerül bemutatásra, amelyik 8-pontos térbeli görbült, görbe oldalélű végeselemekkel írja le a térbeli szerkezetet.

A ponyvaszerkezetek analízise nemlineáris feladat: a nagy elmozdulások és a nagy megnyúlások miatt az elmozdulásoknak nemlineáris függvényei a megnyúlások. A szerkezetet felépítő textília hajlítási merevsége elhanyagolható, a szerkezet síkjára merőleges merevség a felület görbeségéből adódik csak. Ez rosszul kondicionált egyenletrendszerhez vezet a hagyományos végeselem módszer alkalmazása esetén. A dinamikus relaxáció terjedt el a ponyvaszerkezetek analíziséhez. A dinamikus relaxáció fiktív dinamikai feladatként, csillapított rezgőmozgás követésével keresi az egyensúlyi alakot. A bemutatásra kerülő eljárásban is a dinamikus relaxációt alkalmaztam.

A megnyúlások és a feszültségek számításához a kontinuum-mechanikából ismert általános bázisrendszerek változását használtam fel. A deformálatlan kezdeti és a deformált aktuális állapot közötti változás segítségével fejeztem ki a megnyúlásokat. Mivel nagy megnyúlásokról van szó és a kezdeti állapothoz tartozó anyagtörvény ismert általában, a Biot-féle megnyúlás-tenzort érdemes alkalmazni.

Ponyvaszerkezetek esetén problémát jelent a kezdeti, deformálatlan állapot felvétele. A legpontosabban a kiszabott sík ponyvaszerkezetek írják le ezt az állapotot. Esetünkben is a kezdeti állapotot a szabásterv írja le, itt ismert az anyagtörvényt, és itt számolom a feszültségeket is. Az aktuális állapot pedig a térbeli deformált állapot. Az aktuális állapotba transzformálva a feszültségeket lehet ellenőrizni az egyensúlyt.

A mintaszámítások és a konvergencia vizsgálatok alapján az új eljárás pontosabb számítást tesz lehetővé, mint a sík háromszögelemekkel végzett számítások alacsonyabb elemszám mellett.

HIVATKOZÁSOK

1. Day, S. A.: *An introduction to dynamic relaxation*. The Engineer, 219. pp 218-221. (1965).
2. Gosling, P. D.–Lewis, W. J.: *Optimal structural membranes I: Formulation of a curved quadrilateral element for surface definition*. Computers & Structures, 61. pp 871-883. (1996).
3. Hegyi, D.–Sajtos, I.–Geisztler, Gy.–Hincz K.: *8-Node Quadrilateral Double-Curved Surface Element for Membrane Analysis*. Computers and Structures, 84. pp 2151-2158. (2006)
4. Hincz, K.: *Determination of the cutting patterns of pre-stressed tent structures*. Review Portugaise Eng Est, 47. pp 45-49. (2000).

VÉKONYFALÚ ACÉLGERENDÁK OPTIMÁLIS TERVEZÉSE GENETIKUS ALGORITMUSSEL

Honfi Dániel

Szent István Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Mechanika és Tartószerkezetek Tanszék

E-mail: honfi.daniel@ymmfk.szie.hu

A kalapszelvényű gerendák alkalmazása széleskörűen elterjedt a könnyűszerkezetes építési rendszerekben. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek tanszékén folyó kutatási program célja optimalizált hidegen hajlított acél szelvények vizsgálata fejlett méretezési eljárások segítségével.

A kutatás első szakaszában kísérleti programot hajtottunk végre különböző statikai rendszerű tömör és lyukas gerincű kalapszelvényű gerendákon, hogy pontos képet kapjunk ezen vékonyfalú elemek viselkedéséről [1]. Ezután egy nemlineáris végesselemez szimuláción alapuló méretezési eljárást fejlesztésébe kezdtünk, melynek keretében a laborkísérletek eredményei és tapasztalatai alapján először verifikáltuk a numerikus modellt, majd virtuális kísérleteket hajtottunk végre a hidegen hajlított kalapszelvényű gerendákon [2]. A következő szakaszban neurális hálózat segítségével becsültük az acélgerendák teherbírását a virtuális és laborkísérletek eredményei alapján. Kihasználva, hogy a neurális hálózat rendkívül gyorsan szolgáltat megfelelő pontosságú becslést a gerendák teherbírására, genetikus algoritmus alkalmazásával meghatároztuk a szelvények optimális keresztmetszeti méreteit [3]. Jelen előadás a kutatás második részének eredményeit foglalja össze.

A teherbírás becslésére egy ún. backpropagation hálózatot fejlesztettünk, melyben a bemenő paraméterek a szelvény keresztmetszeti jellemzői és az elem hossza, a kimenő adat pedig a gerenda teherbírása. Az így kapott eredményeket alkalmaztuk a genetikus algoritmus alapú optimalizáló eljáráshoz, hogy meghatározzuk egy adott támaszközhöz tartozó legkedvezőbb keresztmetszeti méreteket – adott statikai rendszer esetén. Az optimalizációs feladat a következőképpen határoztuk meg:

$$\text{Maximáljuk } \frac{q_{Rd}}{A} - t,$$

ahol q_{Rd} a gerenda törőterhe, A pedig a keresztmetszeti területe, hiszen azonos kialakítás esetén így kapjuk a legkisebb súlyt.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T049305 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Honfi D., Joó A. L. és Dunai, L.: *Kalapszelvényű gerendaelemek kísérleti vizsgálatai*, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei, Budapest, 2004
2. Honfi D. és Dunai L.: *Experimental and numerical investigation on hat-shaped beam members with hole in the web*, International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, Lisszabon, Portugália, 2006 szeptember 6-8.
3. Honfi D.: *Neural network based genetic algorithm optimization of hat-shaped beams*, The Fifth International Conference on Engineering Computational Technology, Las Palmas de Gran Canaria, Spanyolország, 2006 szeptember 12-15.

FÖLDALATTI ÜREGEK REPEDÉSEL

Horváthné Varga Ágnes

Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: mechva@uni-miskolc.hu

A bányavágatok, az alagutak geometriai kialakítása és az alkalmazható biztosítási lehetőségek bonyolult mechanikai állapotváltozásokat hoznak létre, melyek kontinuummechanikai elemzése fontos feladatot jelent. A beavatkozások következtében lezajló állapotváltozások jelentős része jó közelítéssel rugalmas anyagtörvény szerint játszódik le. A hagyományos közelítés az, hogy az önsúlyos, rugalmas, homogén, izotróp féltér feszültségállapotát fogadjuk el primer állapotként. Beavatkozás hatására a kőzetek primer feszültségállapota megváltozik. Az üregnyitási utáni feszültségállapotot biztosítás nélkül szekunder, míg biztosítással terciér állapotnak szokás nevezni. A lineárisan rugalmas anyagmodell választása miatt a szilárdsági állapot megváltozását pillanatszerűnek tételezzük föl. Amennyiben a kőzetben repedés van jelen üregnyitáskor, a kialakult mechanikai állapot jelentősen eltér a repedés nélküli esethez képest. Az előadás repedés nélküli, illetve két, különböző elhelyezkedésű repedés esetén vizsgálja meg az üregnyitás során kialakult mechanikai állapotot a végelelem-módszer segítségével.

HIVATKOZÁSOK

1. Asszonyi, Cs, Gálos, M, Kertész, P, Richter, R.: *A kőzetmechanika anyagszerkezeti és reológiai alapjai*, Veszprémi Akadémiai Bizottság, Veszprém, 1980.
2. Asszonyi, Cs.: *Izotróp kontinuumok anyagtörvénye*, Műegyetemi Kiadó, 2006.
3. Zienkiewicz, O. C.: *The Finite Element Method*, 3rd edition, McGraw-Hill, London, 1977.

ZONGORA FELHARMONIKUS REZGÉSEINEK HARMONIZÁLÁSA VÉGESELEMES MODELLEZÉSEL

Horváth Péter, Szabó Tamás

Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék

E-mail: horvathp@sze.hu, sztamas@sze.hu

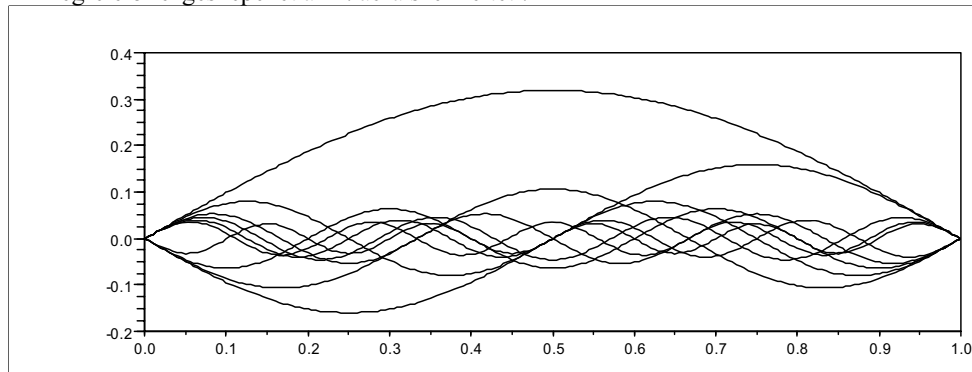
A mai lakáskörülmények között az otthoni zongorák méretei korlátozottak, ami a basszushúrok hosszának csökkenéséhez és átmérőjüknek növekedéséhez vezetett. A zongora basszus regiszterében lévő acélhúrok hosszegységre eső tömegét lágyvas- vagy rézhuzallal fonják körül annak érdekében, hogy a húr hossza ne haladjon meg egy elfogadható értéket. Sajnálatosan a fonat megnöveli a húr hajlítási merevségét, aminek következtében a húr felharmonikus frekvenciái már nem lesznek egész számú többszörösei az alapharmonikus frekvenciának, mint azt a tökéletesen hajlékony húrnál ismert. A felharmonikusok intenzitás-eloszlása határozza meg a hangszínt, míg azok harmonikusságának mértéke az alaphang felismerését. Az emberi hallás nagyon érzékeny, képes kihallani akár 10-12 felharmonikus összetevőt is. Ha az inharmonicitás túl nagy mértékű, akkor az alaphang felismerése bizonytalanává válik, ami erősen rontja a zenei élményt.

Az 1. táblázat egy átlagos-, kompenzálatlan basszushúr első tíz sajátfrekvenciájának harmonikustól való eltérését mutatja centben (kisszekund század része [1]) húr esetén. Megjegyezzük, hogy a peremek, azaz a megfogások közelében (2cm hosszan) nem alkalmazunk fonatot, így a megoldás analitikus úton már nem állítható elő.

Sorszám	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Eltérés(cen)	0	0.91	2.44	4.57	7.29	10.59	14.47	18.91	23.89	29.40

1. táblázat. A sajátrezgések harmonicitástól való eltérései

A megfelelő rezgéseképeket az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. Feszített zongorahúr első tíz rezgése

Az előadás a basszushúrok harmonicitásának elméleti és gyakorlati javításával foglalkozik. A húr rezgéseit végeelem-módszerrel vizsgáljuk. Az alkalmazott feszített húr modell figyelembe veszi a húr hajlító merevségét és a tehetetlenségi nyomatékát is ([2]). Az általunk kifejlesztett célprogram, megfelelő szabadságfokú modell esetén az első néhány tíz sajátfrekvenciát igen nagy pontossággal határozza meg.

A rezgő húr egyes paramétereit (Young-féle modulus, anyagsűrűség) részben táblázatok, részben mérések (hosszegységre eső tömeg, hajlító merevség) alapján határozzuk meg a valósághú eredmények elérése céljából.

Az előadás célja a különböző lehetséges technikai megoldásokat modellezve kiválasztani azt, amely legalább az első tíz sajátfrekvenciát kielégítő módon elhangolja a harmonicitás irányába. Külön elemizzük a peremfeltételek harmonicitásra gyakorolt hatását.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T049126 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Tarnóczy, T.: Zenei akusztika, Zeneműkiadó, Budapest, 1982.
2. Meirovich, L.: Elements of vibration analysis, McGraw-Hill, New York, 1986.

A PONTSZIMMETRIKUS KONSZOLIDÁCIÓS MODELLEK HASONLÓSÁGA

Imre Emőke, Farkas Miklós, Rózsa Pál
BME, Budapest, Hungary
E-mail: imreemok@gmail.com

Az 1-3. táblázatban azok az ismert pontszimmetrikus konszolidációs modellek láthatók, amelyeket az ödometers és a CPTu disszipációs kísérletek értékeléséhez dolgoztak ki korábban. Ezek lehetnek nem kapcsoltak (csak folytonossági feltételt használnak) és kapcsoltak (egyensúlyi egyenletet is használnak). A kapcsolt elméletek leírják az elmozdulásokat is, és két nagy csoportra oszthatók az ezekre vonatkozó peremfeltételek szerint. A pórúsvíznyomás megoldás a nem kapcsolt probléma és a kapcsolt 2 probléma esetén azonos.

A kutatás eredménye szerint az említett modellek (1-3. táblázat) egyetlen differenciálegyenlet-rendszerbe foglalhatók össze, amelyben a tér dimenziója csupán egy változóként szerepel. Ez analitikusan megoldható, és a megoldásként adódó Bessel sorban a tér dimenziója szintén egy változó. A peremfeltételi egyenletek gyökeire zárt alakú képlet csak egydimenziós esetben adható (ekkor ugyanis a Bessel sor egy Fourier sorra redukálódik), és e képlet eltérő a két kapcsolt model-család esetén. A kutatás eredménye szerint az e képletekkel számolható gyökök magasabb dimenziószám esetén is kielégítik közelítően a peremfeltételi egyenleteket egy model-családon belül (ugyanis gyökei a Bessel függvények szimptotikus formuláinak). E képletek alkalmazása lehetővé teszi, hogy a megoldást dimenzió nélküli formában adják meg, és így az átszámolható legyen különböző peremfeltételek esetére, azaz az analitikus megoldás kiszámolásával járó numerikus munka csökkenthető legyen.

1. táblázat Egy dimenziós pontszimmetrikus konszolidációs modellek

Peremfeltétel: elmozdulás v vagy alakváltozás ε	Ödométeres modellek
Nincs (nem kapcsolt)	Terzaghi (1923) [1]
v - v (kapcsolt 1)	Imre (1997-1999) [2]
v - ε (kapcsolt 2)	Biot (1941) [3]

2. táblázat Két dimenziós pontszimmetrikus konszolidációs modellek

Peremfeltétel: elmozdulás v vagy alakváltozás ε	Henger-modellek
Nincs (nem kapcsolt)	Soderberg (1962)
v - v (kapcsolt 1)	Imre & Rózsa (1998) [4]
v - ε (kapcsolt 2)	Randolph et al (1979) [5]

3. táblázat Három dimenziós pontszimmetrikus konszolidációs modellek

Peremfeltétel: elmozdulás v vagy alakváltozás ε	Gömb-modellek
Nincs (nem kapcsolt)	Torstensson (1975) [6]
v - v (kapcsolt 1)	Imre & Rózsa (2002) [7]
v - ε (kapcsolt 2)	Imre et al (2006) [8]

HIVATKOZÁSOK:

1. Terzaghi, K. (1923). Die Berechnung der Durchlässigkeitsziffer des Tones aus dem Verlauf der hydrodynamicshen Spannungsercheinungen, Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Abt.IIa, Vol. 123.
2. Imre, E. (1997-1999) Consolidation models for incremental oedometric tests. Acta Tech. Acad. Sci. Hung. 369-398.
3. Biot, M. A. (1941). General Theory Of Three Dimensional Consolidation. *Jl. of Appl. Phys.* 12: 155-164.
4. Imre, E. & Rózsa, P. 1998. Consolidation around piles. *Proc. of 3rd Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles*. Ghent 385-391.
5. Randolph, M. F. & Wroth, C. P. (1979). An analytical solution for the consolidation around displacement piles. *I. J. for Num. Anal. Meth. in Geomechanics*, 3:217-229.
6. Torstensson, B. A (1977). The pore pressure probe. Paper No. 34. *NGI*
7. Imre, E. and Rózsa, P. (2002). Modelling for consolidation around the pile tip. *Proc. of the 9th Int. Conf. on Piling and Deep Foundations (DFI)*, Nizza. 513-519.
8. Imre, E., P. Q. Trang, Rózsa, P., L. Bates, S., Fityus (2006). Evaluation Of Non-Monotonous Dissipation Test Results. *Proc. Danube European Conference On Geotechnical Engineering, Ljubljana 2006* (71-76).

BEAVATKOZOM-ÉS-VÁROK SZABÁLYOZÁSI TECHNIKA KÉSLELTETETT VISSZACSATOLÁST TARTALMAZÓ RENDSZEREKRE

Inspirger Tamás és Stépán Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: inspi@mm.bme.hu

Tekintsük a következő késleltetett visszacsatolást tartalmazó lineáris rendszert:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}\mathbf{u}(t), \quad \mathbf{u}(t) = \mathbf{D}\mathbf{x}(t - \tau),$$

ahol $\mathbf{x}(t)$ a rendszert leíró n -dimenziós állapot változó, $\mathbf{u}(t)$ az m dimenziós bemenetet, és szabályozási kör időkése τ . Ilyen lineáris rendszer írja le tetszőleges nemlineáris rendszerek egyensúlyi helyzeteinek stabilitását. Az időkése miatt a rendszer fázistere végtelen dimenziós, a stabilitási tulajdonságokat a

$$\det(\lambda \mathbf{I} - \mathbf{A} - \mathbf{D}\mathbf{B}e^{-\lambda\tau}) = 0$$

karakterisztikus egyenlet gyökei, a rendszer pólusai határozzák meg. A rendszer akkor aszimptotikusan stabilis, ha $\text{Re } \lambda_i < 0$, $i = 1, 2, \dots, \infty$. A rendszer stabilizálása azt jelenti, hogy végtelen sok pólust kell a véges sok szabályozási paraméter segítségével ($\mathbf{D}$ elemeivel) a komplex sík bal oldalára helyezni, ami sok esetben nem megoldható.

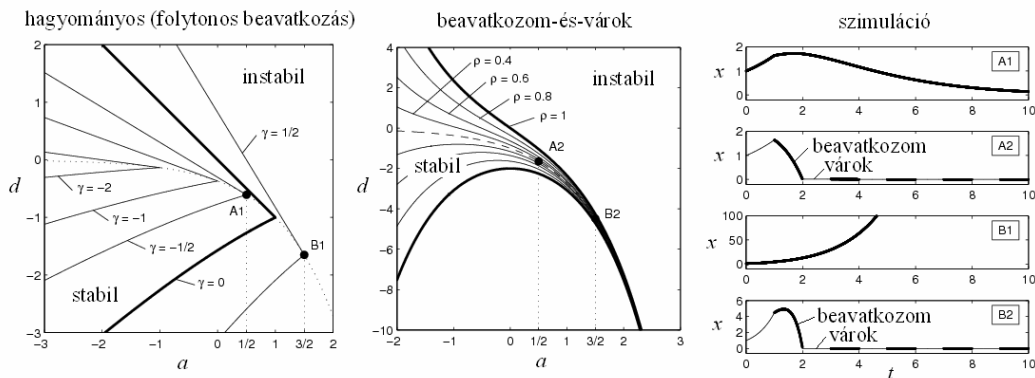
A beavatkozom-és-várok elv a periodikus szabályozások egyik speciális esete, ahol a szabályozást periodikusan ki és bekapcsoljuk:

$$\mathbf{u}(t) = g(t)\mathbf{D}\mathbf{x}(t - \tau), \quad g(t) = \begin{cases} 0 & \text{ha } 0 \leq t \bmod T < t_v \\ 1 & \text{ha } t_v \leq t \bmod T < t_v + t_b = T \end{cases}$$

A szabályozást kikapcsoljuk t_v időtartamra (várunk), majd t_b időtartamra bekapcsoljuk (beavatkozunk), majd újra kikapcsoljuk, és így tovább. Egyszerűen be lehet bizonyítani, hogy ha a kikapcsolás ideje nagyobb mint az időkése, azaz a $t_v > \tau$, akkor a rendszer fázistere n dimenziós lesz, és így n pólus fogja meghatározni a rendszer stabilitását. Ennek a rendszernek a stabilizálása már jóval egyszerűbb, mert mindössze n pólust kell a komplex sík bal oldalára helyezni végtelen sok helyett.

Az alábbi ábrák az $\dot{x}(t) = Ax(t) + D(t-1)$ illetve az $\dot{x}(t) = Ax(t) + g(t)Dx(t-1)$ skalár egyenletek stabilitási térképeit mutatják. Látható, hogy míg $A > 1$ esetén a hagyományos szabályozással mindig instabil rendszert kapunk, a beavatkozom-és-várok technikával ekkor is stabilizálható a rendszer (ld. B1 ill. B2 pontok).

Habár nem tűnik logikusnak, hogy egy szabályozási körben a szabályozást kikapcsoljuk rövidebb időre, a beavatkozom-és-várok elv mégis természetes szabályozási logika, melyet gyakran használunk hétköznapijainkban is. Például tusolás közben a víz hőmérsékletét is hasonlóan állítjuk be, kicsit tekertünk a csapon, majd várunk a "beavatkozásunk" hatására ebben az esetben az időkése a víz véges sebességéből és a reflexkéséből adódik.



Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA F047318 és az OTKA T068910 projekt keretében kapott támogatásért, valamint az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásáért.

HIVATKOZÁSOK

1. Inspirger, T., Act-and-wait concept for time-continuous control systems with feedback delay, *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, **14**(5) (2006), pp. 974-977.
2. Stépán, G., Inspirger, T., Stability of time-periodic and delayed systems - a route to act-and-wait control, *Annual Reviews in Control*, **30** (2006), pp. 159-168.

VÉKONYFALÚ RÁCSOSTARTÓ CSOMÓPONTJÁNAK VISELKEDÉSE, ANALÍZIS ÉS MÉRETEZÉSE

Jakab Gábor és Dunai László

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszéke

E-mail: gjakab@vbt.bme.hu

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Hidak és Szerkezetek Tanszékén folyó ipari háttérű kutatás-fejlesztési munka célja egy hidegen hajlított C-szelvényekből konstruált tartórendszer kifejlesztése. A fejlesztés magába foglalja a tartók szerkezeti kialakításának és Eurocode-alapú [1] (a továbbiakban: EC3) méretezési eljárásának kifejlesztését valamint a méretezési eljárás ellenőrzését numerikus modellezéssel és laboratóriumi kísérletekkel.

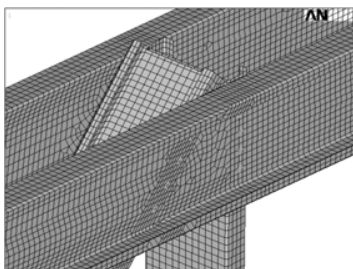
A fejlesztés során a rendszerrel szemben támasztott igény volt, hogy az topológiai szempontból rugalmas legyen, így szabad kezet adjon a tervezőmérnököknek. Emellett bizonyos feszítávokra típustervek készültek, ami a tartók könnyű alkalmazhatóságát segíti.

A tartó szerkezetiileg az egymásnak háttal fordított kettőzött C-szelvényű alsó-, illetve felső övből, és a közéjük csúsztatott – a támaszoknál kettőzött szelvényű – rácsrudakból áll. A csomópontokban metrikus csavarokat alkalmaztunk kapcsolóelemtként. A kialakítás következménye, hogy a szerkezeti csomópontok a tartósíkokban és a tartósíkokra merőlegesen is külpontosak; emellett a tartó nyomott szerkezeti elemei többféle stabilitásvesztési mód szempontjából is veszélyeztetettek.

A kifejlesztett méretezési eljárás a tartó öv- és rácsrúdjainak szabvány-alapú méretezési eljárásán nyugszik. A méretezési eljárás a lehetséges tönkremeneteli módok ellenőrzése során figyelembe veszi a szerkezeti sajátosságokat, így az övrudaknál a csomópontok kétirányú külpontosságát, a rácsrudaknál a nem teljes keresztmetszeten bevezetett erő hatását, illetve a helyszíni szerelés pontatlanságaiból származó hatásokat is.

Az EC3 azonban nem ad méretezési eljárást a csomópontok teherbírásának meghatározására, így azok teherbírását numerikus analízissel és laboratóriumi kísérletekkel ellenőriztük. A csomópont numerikus analízise az almodellezési technikát alkalmazza: a szerkezet globális, 7 szabadságfokú elemekből felépített rúdmodelljéből származó elmozdulásokat a csomópont környezetének felületszerkezeti modelljére kinematikai teherként működtetve lehetőség nyílt a csomópontok lehetséges lokális tönkremeneteleinek, feszültségeloszlásának és teherbírásának vizsgálatára. A numerikus analízis eredményei alapján kimondható, hogy a csomópontok merevsége és teherbírása a szabványos terhekből meghatározott igénybevételekre megfelel.

A fejlesztés utolsó fázisaként egy öt próbatestből álló kísérletsorozat keretén belül vizsgáltuk a tartó teherbírását és lehetséges tönkremeneteli módjait a méretezési eljárás verifikálása, illetve pontosítása céljából. A csomóponti környezetben a feszültségeloszlást elektromos nyúlásméréssel és fotóoptikai eljárással vizsgáltuk. A kísérletek során egy esetben tapasztaltunk csomóponti tönkremenetelt, ami azonban nem okozta a tartó globális teherbírásának kimerülését. A numerikus és kísérleti eredményeket egy EC3-alapú méretezési eljárás kifejlesztésére használtunk fel, teljessé téve ezzel a tartó szabvány-alapú méretezési módszerét.



1. Ábra: Csomóponti modell



2. Ábra: Próbatest a laboratóriumban

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a Lindab Kft. K+F projektje és az OTKA T049305 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. EN 1993-1-3: 2005: Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-3: General rules - Supplementary rules for cold-formed members and sheeting, September 2005.

VÉKONYFALÚ NYOMOTT OSZLOPOK VÉGESELEMES STABILITÁSVESZTÉSI ALAKJAINAK OSZTÁLYOZÁSA VÉGESSÁVOS BÁZISFÜGGVÉNYEK SEGÍTSÉGÉVEL

Joó Attila László, Ádány Sándor ,
BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék ,
E-mail: ajoo@epito.bme.hu; sadany@epito.bme.hu;

Vékonyfalú, hidegen hajlított rúdelemek méretezésében egyre gyakrabban alkalmazott eszköz a végeselem módszer. Felületelemek alkalmazásával lehetőség van a különféle stabilitásvesztési típusok, úgymint horpadás, torzulási horpadás, globális (síkbeli, tisztán elcsavarodó, vagy térbeli elcsavarodó) kihajlás, valamint ezek interakciójának meghatározására. Az így nyert kritikus teherparamétereket és stabilitásvesztési alakokat felhasználhatjuk – helyettesítő geometriai imperfekcióként – nemlineáris numerikus vizsgálatokban, vagy szabványos teherbírás-számításokban. Mindkét esetben nem pusztán a kritikus teherparaméterek és stabilitásvesztési alakok ismerete fontos része a méretezésnek, hanem azok típusa is. Ugyanakkor felületszerkezeti modellek esetén általában a tiszta stabilitásvesztési alakok valamilyen interakciója jelenik meg, s jelenleg nem létezik olyan módszer, amellyel a stabilitásvesztési alakokat osztályozni lehetne, azaz meg lehetne mondani, hogy milyen arányban tartalmazzák az egyes típusokat.

Előadásunkban erre a problémára próbálunk egy lehetséges választ adni. Az osztályozás első lépéseként előállítjuk a tiszta stabilitásvesztési alakok (azaz: típusok) bázisfüggvényeit a végecssáv módszer segítségével [1]. A tiszta stabilitásvesztési alakok definícióját az általánosított gerendaelmélet alapján [2] fogalmaztuk meg az alábbi három feltétellel:

1. feltétel: (a) az alkotólemezek középsíkijában nincs nyírási alakváltozás, (b) nincs keresztirányú nyúlás, és (c) a hosszirányú alakváltozás (öblösödés) lineárisan változik;
2. feltétel: (a) az öblösödés nem azonosan nulla a teljes keresztmetszet mentén, és (b) a keresztmetszet síkjában statikai egyensúly van;
3. feltétel: a keresztmetszet nem torzul.

A három feltétel segítségével a tiszta kihajlási alakok az alábbi táblázatnak megfelelően definiálhatóak:

	Globális kihajlás	Torzulási horpadás	Lokális horpadás	Egyéb módok
1. feltétel	Teljesül	Teljesül	Teljesül	Nem teljesül
2. feltétel	Teljesül	Teljesül	Nem teljesül	-
3. feltétel	Teljesül	Nem teljesül	-	-

Fenti feltételeket alkalmazva a végecssáv módszer bázisfüggvényeire, meghatározhatjuk a tiszta stabilitásvesztési módok (φ) bázisfüggvényeit, melyeket fel lehet használni arra, hogy egy végeselemes modell (δ_{FE}) stabilitásvesztési alakját közelítsük vele, képezve a bázisfüggvények lineáris kombinációját. A legjobb közelítéshez az alábbi feladatot oldjuk meg:

$$\delta_{err} = \delta_{FE} - \sum c\varphi = \min! .$$

Ebből a feltételből a lineáris kombináció c együtthatói számíthatóak, a c együtthatók ismeretében pedig az egyes tiszta stabilitásvesztési alakok p_i részaránya meghatározható:

$$p_i = |c_i| / \sum |c_i| .$$

Az itt bemutatott módszer alkalmazhatóságát egy vékonyfalú C-szelvényű oszlopon mutatjuk be. Paraméteres vizsgálatot hajtottunk végre különböző sűrűségű végeselemes hálózaton és különböző, a végecssáv módszer megtámasztásaitól eltérő megtámasztási viszonyok esetére is. Vizsgálatainkban több stabilitásvesztési alakra hajtottuk végre az osztályozást. Eredményeink alapján megállapítottuk, hogy ha a végeselemes modell és a végecssáv bázisfüggvények peremfeltételei egyeznek (vagy hasonlóak), akkor megfelelően sűrű végeselemes háló alkalmazásával a javasolt módszer jól alkalmazható a stabilitásvesztési alakok osztályozására. Amennyiben a peremfeltételek jelentősen különböznek, a javasolt módszer csak közelítően és korlátozottan alkalmazható.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA K62970 és K49305 projektek, a Tét Port-5/2005 projekt és a Bolyai ösztöndíj keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. 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.
2. Silvestre, N., Camotim, D.: *First-order generalised beam theory for arbitrary orthotropic materials*, Thin-walled Structures, Elsevier 40 (9) pp. 755-789, 2002.

SZABADFELSZÍNŰ SEKÉLY VIZEK ÁRAMLÁSTANA: ELMÉLET – MÉRÉS – NUMERIKUS MODELLEZÉS

Józsa János

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

E-mail: jozsa@vit.bme.hu

Felszíni vizeink jelentős része sekélynek mondható egyrészt geometriai értelemben, nevezetesen, hogy vízszintes kiterjedésük több nagyságrenddel meghaladja a mélységüket, másrészt dinamikai értelemben, mivel a mélységük önmagában olyan kicsi, hogy a mederfenéken és a felszínen ébredő erők a teljes vízmélységre közvetlenül kihatnak, a hely és az idő függvényében természetesen változó mértékben [1]. Ide sorolható folyóink és tavaink túlnyomó része, de ide tartoznak az árvízi töltésszakadásokból eredő elöntési folyamatok is.

A sekély viszonyok között kialakuló áramlási folyamatokat rendszerint több, egymástól gyakran jól elkülöníthető tér- és időlépték jellemzi: például a Dunában sarkantyúk környezetében az áramlás általában leválik, és a leválás menti örvényréteg instabilitása a sarkantyú alvizében Kelvin-Helmholtz-féle örvénysort eredményez, ahol is a szomszédos örvények fokozatos egyesülésével egyre nagyobb, közel vízszintes, koherens struktúrák alakulnak ki. Ezzel egyidejűleg a sarkantyú mögött nagy kiterjedésű, lassú köröző áramlás figyelhető meg, míg az említett áramlási struktúrák disszipációjában a vízmélységnél jóval kisebb méretű, fenéksúrlódás keltette háromdimenziós turbulencia játszik meghatározó szerepet. Minél sekélyebb a víztest, utóbbi annál inkább dominál, akár meg is akadályozza a nagyobb léptékű koherens struktúrák kialakulását. Másik jellemző példa tavaink szél keltette vízmozgása: a hullámzó levegő-víz határfelületen ébredő szél-csúsztatófeszültség a sekély víztömegre vetítve jelentős mozgatóerőt képvisel. A kialakuló áramlási rendszert – amiben rendszerint nagyon erősek a vízszintes síkú, köröző összetevők –, elsődlegesen a vízmélység-eloszlás és a szél-csúsztató feszültség tér- és időbeli eloszlása határozza meg.

A sekély áramlások ugyan laboratóriumi körülmények között is vizsgálhatók, de a kis mélység miatt általában csak torzított vízszintes-függőleges méretarányban, ami a hasonlósági törvények alkalmazhatóságát jelentősen ronthatja. Az alapvető jellemzők megismeréséhez és számszerűsítéséhez megbízható segítséget így elsősorban a terepen végzett mérések adnak, bár sikeres végrehajtásuk körütekintő tervezést és korszerű, nagypontosságú, ezzel együtt a nehéz terepi viszonyok között is működni képes műszereket igényel. Ezeket az igényeket például az akusztikus Doppler-elvet használó sebességeloszlás-mérők különféle változatai ma már széles körben kielégítik.

A sekély viszonyok között kialakuló áramlások domináló tulajdonságai a folyamatok matematikai leírása és numerikus modellezése szempontjából különféle egyszerűsítésekre adnak lehetőséget: ezzel csökkenthetjük a számítási szükségletet, miközben még mindig reprodukálni tudjuk az áramlás lényegi elemeit. A különféle bonyolultságú turbulencia-modellekkel összekapcsolt háromdimenziós közelítéstől indulva, egyszerűbb medergeometriai viszonyok, egyenletes áramlás és kis vízmélységek esetén eljuthatunk akár egy mélység mentén integrált, kétdimenziós közelítésig is, anélkül, hogy a számunkra fontos áramlási jellemzők reprodukálásának képességét elveszítenénk [2]. Egy-egy konkrét esetre a modellek paramétereinek bearányosítását és igazolását terepi mérésekkel való összevetés alapján végezhetjük el.

Az előadásban fiktív példákon és valódi esettanulmányokon keresztül szemléltetjük a sekély felszíni vizek főbb áramlási tulajdonságait, azok matematikai leírását, az áramlási jellemzők terepi és laborviszonyok közötti mérhetőségét és mérési módszereit, valamint a folyamatok jellegéhez célszerűen illesztett numerikus modellezési eljárásokat, beleértve a számítási rácsaló dinamikusan adaptív finomításán alapuló legutóbbi fejlesztéseket is [3]. Az esettanulmányokat hazai folyóink, tavaink és árterek képezik, és az áramlástan jellegzetességeinek bemutatásán túl kitérünk ezeknek az összetett, valós feladatoknak nagy munkaigényű modellalkotási munkafázisaira is.

HIVATKOZÁSOK

1. Jirka, G. H., Uijtenwaal, W. S. J.: Shallow Flows: a definition. In *Shallow flows* (G. H. Jirka and W. S. J. Uijtenwaal eds.), Balkema Publishers, London, UK, 3-14, 2004.
2. Józsa J.: Felszíni vizek áramlási és transzportfolyamatainak többdimenziós numerikus modellezése: kutatás – alkalmazás – oktatás külföldön és itthon. *Hidrológiai Közlöny*, (81) 4. sz. 264-266, 2001.
3. Krámer, T., Józsa, J.: Solution-adaptivity in modelling complex shallow flows. *Computer & Fluids*, 36, 562-577, 2007.

FELHABZÓ FESTÉKEK VÉGESELEMES MODELLEZÉSE

Kakucs András¹, Száva János², Dani Péter³

1. Marosvásárhelyi Sapientia Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, E-mail: kakucs@rdslink.ro

2. Brassói Transzilvania Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, E-mail: janoska@clicknet.ro

3. Brassói Transzilvania Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék, E-mail: bv55danip@yahoo.com

A felhabzó festékek hőszigetelő anyagok, amelyek eredeti állapotukban egy közönséges festékbevonatot alkotnak a szigetelendő test (általában fémszerkezet) felületén. Magasabb hőmérsékleten a festék meglágyul, majd a hőmérséklet emelkedésével a tömegében különböző kémiai folyamatok mennek végbe melyek következtében az erőteljes habzást mutat. Végül a festék szervesanyag-tartalma teljesen elbomlik és a visszamaradó elszénesedett anyag egy laza szerkezetű porózus bevonatot képez a bevont tárgy felületén. A felhabzó festék kiemelkedő hőszigetelő tulajdonságai csak a felhabzás kezdetétől mutatkoznak meg és többnyire a porózus szerkezetével magyarázhatók. Amennyiben egy ilyen festékréteg hőszigetelő tulajdonságát számszerűen le akarjuk írni, néhány akadályba ütközünk, ugyanis az annak állapotától függ és ez az állapot a hőmérséklet és az idő függvénye. Éppen ezért a felhabzó festékek hőszigetelő-képességét többnyire kísérleti alapon, adott hőmérséklet-idő görbékkel megállapított képletekkel írják le. Egy pontosabb elemzésnek követnie kellene a festék állapotának és tulajdonságainak hőmérséklet- és időfüggő változását és figyelembe kellene vennie a fellépő hőtani jelenségek mindenikének hatását (a reakciók során elnyelt vagy felszabadított hő, a gázbuborékok által elszállított konvekciós hő) is. A modellezéshez szükséges paramétereket kísérletileg állapítjuk meg.

A festék különböző szerves anyagok keveréke, tehát a kémiai reakciók és a megfelelő reakcióhők felírása nem lehetséges. Ezért a festék bomlását globálisan tekintjük, kezdetét és végét makroszkopikusan megfigyelhető jellegekhez kötjük (ez az első buborékok megjelenésétől a habzó réteg megszilárdulásáig tart), a reakcióhő és a bomlási sebesség mérését is e pillanatokhoz kötjük.

A modellezés elméleti alapját a nemstacionárius hővezetés differenciálegyenlete (Fourier második törvénye) képezi, amelyet a festékréteggel bevont tárgy által elfoglalt térrészben írunk fel a megfelelő kezdeti és peremfeltételekkel. Az egyenlet megoldása rendszerint végeelem-módszerrel történik. E módszerben egy adott végeelem tartományán az anyagparamétereket állandónak szokták tekinteni. Mivel a festék termikus tulajdonságai folyamatosan változnak, a bevonatot (amely amúgy igen vékony a bevont tárgyhoz viszonyítva) vastagságában több egymást fedő végeelem-rétegre kellene felbontani. Minden egyes végeelem belsejében követni kellene a hőmérséklet változását és az elbomló festék mennyiségét ahhoz, hogy meg tudjuk mondani, hogy az illető végeelem belsejében levő festék az elbomlásnak éppen milyen stádiumában van. Ez a megoldás gyakorlatilag nem kielégítő, ugyanis ezt a modellezést csak egy igen sűrű hálóval lehetne elérni.

Javaslatunk tehát egy újfajta végeelem bevezetése, amely geometriailag, három dimenzióban, akár a bevont tárgy felületéhez igazodó felületelem is lehet. A festékbevonatot az elem tartományán különböző stádiumban levő rétegek sorozatának tekintjük. Ezeknek a rétegeknek a vastagsága a végeelem anyagparamétereinek tekinthetők, a Fourier-egyenletben megjelenő együttthatókkal egyetemben. Ilyen módon az elemet kitöltő réteges szerkezetű anyagot egyetlen globális hővezető-képességgel lehetne jellemezni, amellyel a hővezetési-hőátadási feladatoknál használatos klasszikus algoritmusokkal is megoldhatóvá válik a feladat. A javasolt egyszerű kísérleti eljárásokkal megállapított anyagparaméterek felhasználásával egy olyan általános számítási eljáráshoz jutunk, amely a felhabzó festékekkel bevont tárgyak viselkedésének remélhetőleg kielégítően pontos jóslatához vezet tetszőleges geometriák és hőmérséklet-görbék esetében is.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a CNC SIS nr.A1/GR106/19.05.2006, cod 1098 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. A. Kakucs, P. Dani, V. Constantin, I. Száva, F. Tolvaly-Roşca, S.C. Popa, New method in Modeling Intumescent Coatings, BRAMAT-2007, International Conference on Material Science and Engineering, February 22-24, 2007 Transilvania University of Braşov, Romania, Book of Abstracts, pag.27, Supliment of Bulletin of Transilvania University, ISSN 1223-9631.
2. V. Constantin, I. Száva, P. Dani, Cr. Fragassa, Un banco fai-da-te per la Prova a Temperatura Degli Acciai, Revista „Lamiera”, Agosto, 2006, Milano, Italy, ISSN 0391-5891, pag.48-52.
3. I.Száva, P.Dani, D.Hollanda, V.Constantin, Z.Forgó, F.Tolvaly-Roşca, K.Pereţeanu, Some experimental results on thermoprotecting coats'evaluation, The 7th International Conference MECHANICAL ENGINEERING 2003, Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, Slovakia, 5-6 November 2003. Proceedings of The 7th International Conference MECHANICAL ENGINEERING 2003, Code ISBN: 80-227-1960-9, pag.70.
4. P.Dani, I.Száva, D. Hollanda, A.Postelnicu, V.Constantin, A.Szabó, Zs.Albert, K. Pereţeanu, Új eljárás és próbapad hőszigetelő festékek kiértékelésére. (Un nou procedeu şi stand pentru evaluarea calităţii vopselelor termoprotectoare), A IX. Magyar Mechanikai Konferencia, IX. MaMeK, Miskolc-i Egyetem, Miskolc, Magyarország, 2003 augusztus 27-29.

TÉGLAÉPÜLETEK SÉRÜLÉKENYSÉGE

Kegyes-B. Orsolya¹, Dr. Csák Béla²

¹Széchenyi István Egyetem, Szerkezetépítési Tszk.

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szilárdságtani Tszk.

E-mail: kegyesbo@sze.hu

A dolgozat két típus téглаépület vizsgálatát mutatja be különböző (A, B, C, D és E típusú) talajok esetében, Győr területén, ahol 50 év alatt 10% meghaladási valószínűséggel (475 évente egyszer) $a_{gR} = 1.14 \text{ m/s}^2$ földrengésből származó vízszintes gyorsulás várható, mely az MSZ EN 1998-1 (EUROCODE 8) szerint definiált földrengésből származó maximális horizontális gyorsulás az alapkőzeten. Ezt a maximális gyorsulást feltételezve számíthatóak az első három rezgésmód alapján az ébredő alap nyíróerők.

A vizsgált épülettípusok öt emeletes lakóépületek három méteres szintmagassággal. A födémek megfelelően merevek a vízszintes erők továbbítására. A vizsgált „A” típusú épület központos kialakítású, egy lépcsőházi maggal, ahol a teherhordó falak mindkét irányban közel azonos merevséget adnak az épületnek. A „B” típusú épület hosszirányban elnyújtott, két lépcsőházi maggal, ebből adódóan jelentős a különbség az épület kétirányú merevségében.

A modális tömegek és az első három rezgésmód számítása az EC8 szerint történt, egy egyszerűsített és egy bonyolultabb módszerrel, mely mindkét irányban figyelembe veszi az összes falat. Mindkét módszer esetén fontos a torziós hatás beszámítása, mert e nélkül nem kaphatunk valós képet az épületek viselkedéséről. A számítások során a két módszer között nem adódott jelentősebb különbség, ezért az egyszerűbb módszer alkalmazása javasolt.

A földrengésteherből kapott alap nyíróerőket összevetve a falak, illetve az épületek nyírási teherbírási kapacitásával a következő érdekes eredmény született: az épület „erős” merev falszakasza tulajdonképpen a „gyenge” pontja az épületnek. Hosszú és nagyon merev falak esetében a földrengésteherből az adott falszakaszra jutó terhek jelentősen meghaladják az adott falszakasz nyírási teherbírási kapacitását. Ezek lesznek azok a falszakaszok, amelyeknél a tönkremenetel bekövetkezik. Különösen veszélyeztetettek a függőleges lyukakkal kiképzett téglákból (a ma alkalmazott korszerű hőszigetelő tulajdonságokkal rendelkező téglákból) készült hosszú, egybefüggő teherhordó falazatok.

A lehetséges megoldások az „erős” gyenge falszakaszoknál:

- a falszakaszok megerősítése
- vasbeton oszlopok beépítése
- megfelelő építészeti tervezés / kialakítás.

Különösen fontos ezt figyelembe venni Magyarországon, ahol az épületállomány jelentős része téглаépület, és napjainkban is tömegesen épülnek téгла teherhordó falas lakóépületek. Ugyan Magyarország a közepesen földrengés veszélyeztetett területek közé sorolható, mégis szükség szerű a régi épületek felülvizsgálata, mivel építésükkor vagy egyáltalán nem volt előírás a földrengésre való méretezés, vagy pedig az előírt földrengésterhek nem haladták meg a szélteherből az épületre adódó vízszintes terheket. Így a téглаépületek talán az egyik legsérülékenyebb csoportját képviselik a Magyarországi épületállománynak.

HIVATKOZÁSOK

1. Benedetti, D. et al: *Shaking table tests on masonry buildings – Results and comments*, ISMES, Seriate Bergamo Italy, 1996
2. Calvi, G. M.: *A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings*, Journal of Earthquake Engineering, Vol. 3, No. 3. 1999
3. D'Ayala, D. et al: *Earthquake loss estimation for Europe's historic town centres*, Earthquake Spectra, Vol. 13, No. 4. 1997
4. Dulácska, E. and Kollár, L.: *Méretezés földrengésre az európai elvek figyelembevételével*, Magyar Mérnöki Kamara, Tartószervezeti Tagozat, TT – TS 4. 2003
5. Fischer, T. et al: *An integrated model for earthquake risk assessment of buildings*, Engineering Structures, 24, 979-998 p. 2002
6. Földrengés Információs Rendszer www.foldrenges.hu
7. Ganz, H. R.: *Mauerwerksscheiben unter Normalkraft und Schub*, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Bericht Nr. 148, Birkhäuser Verlag Basel 1985
8. Lang, K. and Bachmann, H.: *Erdbebenverletzbarkeit bestehender Gebäude aus unbewehrtem Mauerwerk*, in *Erdbebenvorsorge in der Schweiz – Maßnahmen bei neuen und bestehenden Bauwerken*, SGE/SIA Dokumentation D0162, Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich 2000
9. Page, A. W.: *Unreinforced Masonry Structures – an Australian Overview*, Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 29, No. 4. 1996

TERMÉSZETES BOLTOZÓDÁS MECHANIKAI MODELLJE

Keppler István

Szent István Egyetem, Mechanikai és Géptani Intézet

E-mail: kepler.istvan@gek.szie.hu

Természetes boltozódásnak nevezi a szakirodalom azt a jelenséget, amely során a szemcsés halmazban a terhelések hatására kialakul egy anyagréteg, amely képes a felette lévő anyagtömeg súlyából eredő terhelések elviselésére. A természetes boltozat megjelenése egyrészt akadályozza a szemcsés anyagok áramlását, másrészt módosítja a halmazbeli feszültségviszonyokat. Az általunk létrehozott boltozódási modell [1] az irodalmi forrásokban szereplő módszerektől eltérően egy teljesen új megközelítésben tárgyalja a természetes boltozódás folyamatát.

Boltozódási algoritmusnak nevezzük az alábbi eljárást.

- (1) Jelöljük ki a vizsgálni kívánt T tartományt, adjuk meg a modellezni kívánt szemcsés anyag anyag- és tönkremeneteli jellemzőit: a ρ sűrűséget, az E rugalmassági moduluszt, a ν Poisson tényezőt valamint a kéttengelyű feszültségállapothoz tartozó $\sigma_K(\sigma_i)$ tönkremeneteli határfeszültség függvényt.
- (2) Adjuk meg a peremfeltételeket. Zárt és nyitott kifolyónyílás, szükség esetén az oldalfal rugómerevsége c_0 , a ϕ_w falsúrlódás is figyelembe vehető itt.
- (3) Oldjuk meg a rugalmasságtani egyenleteket a peremfeltételek figyelembevételével.

$$\mathbf{F} \cdot \nabla + \mathbf{f} = \mathbf{0}, \quad (1)$$

$$\frac{1}{2} (\mathbf{u} \circ \nabla + \nabla \circ \mathbf{u}) = \mathbf{A}, \quad (2)$$

$$\mathbf{C} \cdot \mathbf{A} = \mathbf{F}, \quad (3)$$

$$\mathbf{u}|_{A_u} = \mathbf{u}_0, \quad (4)$$

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{n}|_{A_p} = \mathbf{p}_0. \quad (5)$$

A megoldást célszerű végeselem módszer segítségével, numerikus úton meghatározni.

- (4) A feszültségviszonyok ismeretében határozzuk meg a halmaz minden kontinuumelemében a főfeszültségek értékeit az

$$(\mathbf{F} - \sigma_n \mathbf{E}) \mathbf{n} = \mathbf{0} \quad (6)$$

egyenletek megoldásával.

- (5) A nyitott kifolyónyílás feletti részből távolítsuk el azokat a kontinuumelemeket, melyekben a sajátértékek legnagyobbika (σ_1) pozitív.
- (6) Vizsgáljuk meg a kiömlőnyílás felett kialakult szabad felület környezetében lévő kontinuumelemek mindegyikében σ_K és σ_3 viszonyát. Ha a $\sigma_3 > \sigma_K$ feltétel teljesül minden peremen lévő kontinuumelemen, akkor továbbléphetünk a 8. pontba. Ha a $\sigma_3 \leq \sigma_K$ feltétel teljesült, akkor a vizsgált kontinuumelem összeroppan.
- (7) Ha a fajlagos alakváltozási energiasűrűség ugyanebben a kontinuumelemen elérte az u_K kritikus értéket, akkor a kontinuumelemből repedések indulnak ki, melyek a teljes halmaz összeomlását és az anyag tárolóból való kifolyását idézik elő. Amennyiben a deformációs energiasűrűség nem érte el a kritikus értéket, abban az esetben csak az összeroppan tartományt kell eltávolítanunk a halmazból, majd továbbléphetünk a következő pontba.
- (8) A kihullott részek eltávolítása után kialakult új T tartományra fogalmazzuk meg újra a peremfeltételeket. Az új peremfeltételek ismeretében lépünk vissza a 3. pontra.

A boltozódási algoritmus futása tapasztalataink szerint háromféleképpen végződhet.

- Az anyagkihullás addig tart, amíg a T tartomány el nem tűnik.
- Valamelyik lépésnél a $\sigma_3 \leq \sigma_K$ feltétel teljesül a tartomány alsó peremén. Ez a kifolyás megindulását jelenti.
- Bizonyos esetekben a húzott részek elfogynak, és közben a $\sigma_3 > \sigma_K$ feltétel is érvényben marad mindeütt. Ez stabil természetes boltozatok kialakulását jelenti.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Keppler István: *Szemcsés anyagok természetes boltozódása.*, GÉP folyóirat, 2006. I. p. 29-33.

A DINAMIKUS ÉRZÉKELÉS VIZSGÁLATÁNAK MECHANIKAI ALAPJAI

Kiss Rita

PTE Polláck Mihály Műszaki Kar, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

E-mail: kissrit@t-online.hu

Abstract A kinesztézis (dinamikus érzékelés) vizsgálatok jól ismert mozgások ismétlésének a pontosságát, továbbá a hirtelen bekövetkező mozgások hatását elemezzük. Az alsó végtag kinesztézis vizsgálatok a járás elemzése a legelterjedtebb. A vizsgálat megkezdése előtt el kell dönteni, hogy csak az alsó végtag mozgásaira vagyunk kíváncsiak, vagy a felsőtest mozgásaira is. Továbbá csak szilárd talajon, vagy mozgó *talajon* történő mozgást is vizsgálni kívánunk. A kinesztézis (dinamikus érzékelés) vizsgálatának egyik célja, hogy a mozgás során egyes anatómiai pontok térbeli koordinátáját és többszöri ismétlés esetén azok szórását meghatározzuk. Ez történhet optikai-alapú, vagy ultrahang-alapú mozgásvizsgáló rendszerrel. A kinesztézis (dinamikus érzékelés) vizsgálatának másik fontos célja a *nem-szilárd talaj* illetve hirtelen irányváltoztatások modellezése. Erre legalkalmasabb a nyolc különböző irányú, de minden irányban azonos erősségű 1 rugóval biztosított Zebris Posturomed elnevezésű mozgólapon. Az anatómiai pontok térbeli koordinátáinak meghatározásához az érzékelőket elmozdulásmentesen, kétoldali ragasztó csíkokkal az alsó végtag mozgásainak vizsgálatához a sípcsonti dudor, a felsőtest vizsgálatához az medencén az elülső csípőtővisre, valamint a vállövön a vállcsúcsra kell helyezni. A dinamikus vizsgálatokhoz négy különböző vizsgálati típust állítottunk össze: Alsó végtag – térd – tesztje: stabil és mozgólapon történő helyben járás közben meghatározzuk a bal és a jobb sípcsonti dudor térbeli koordinátáit. Számítjuk a térd mozgástartományát. Felsőtest – vállöv és medence – tesztje: stabil és mozgólapon történő helyben járás közben meghatározzuk a bal és a jobb elülső csípőtővis és a vállcsúcs térbeli koordinátáit. Számítjuk a vállöv dőlési, rotációs és billenési szögtartományát a vállöv lokális koordináta-rendszerében, és a medence dőlési, rotációs és billenési szögtartományát a medence lokális koordináta-rendszerében. Helyben járás dinamikája: mozgó lapon történő helyben járás közben a mozgólapon oldalára helyezett két érzékelő térbeli koordinátáit rögzítjük. A mozgó lap vízszintes kitérésének (x koordináta) időbeni változása reakció erő függőleges komponensének időbeni változásával korrelál. Hirtelen irányváltoztatás tesztje: három külön mérés, melyek során a vizsgált személy először mindkét lábán, majd a jobb, és ezt követően a bal lábán áll, amikor a mozgólapon hirtelen irányváltoztatást (a rugók kiengedésével) hozunk létre, és a mozgólapon helyezett két érzékelő térbeli koordinátáit rögzítjük. A mozgó lap vízszintes kitérése (x koordináta) az idő függvényében csillapítási görbe. Csillapítási görbéből következő dinamikai jellemzők számíthatók: logaritmikus dekrementum, lengésidő (periódus idő), frekvencia, Lehr-féle csillapítási szám, sajátfrekvencia. Az elvégzett mérésekkel bizonyítottuk, hogy a mozgástartományokkal és a csillapítási görbéből számolt dinamikai jellemzőkkel jól leírhatók a különböző ortopédiai elváltozások, életkor, sportolási tevékenység hatása.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T049471, T046755 projekt keretében kapott támogatásért.

Kétmezős lineáris körhengerháj-modell elsőrendű feszültségfüggvényekkel

Kocsán Lajos György
Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék
E-mail: mechklgy@uni-miskolc.hu

Az előadás egy dimenzió szerint redukált, a Fraeijs de Veubeke-féle kétmezős variációs elven alapuló lineáris héjmodellt mutat be. A teljes kiegészítő energia maximum elvből származó variációs elv alapváltozói: a Lagrange multiplikátorként bekerülő forgásmező és a rugalmasságtan duál rendszerének elsődleges közbenső változója, a feszültségmező. Az egyensúlyi de nem *a priori* szimmetrikus feszültségmező koordinátáit a héj vastagsága mentén részben lineáris, részben másodfokú polinomokkal közelítjük, míg a ferdeszimmetrikus forgásmező közelítése lineáris. A sorbafezett feszültségekre vonatkozó egydimenziós egyensúlyi egyenletek *a priori* kielégítése – a palástperemeken előírt feszültségi peremfeltételek figyelembevétele után – két elsőrendű feszültségfüggvény bevezetésével biztosított. Forgásszimmetrikus terhelést feltételezve a húzás-nyomás-hajlítás-nyírás probléma a csavarási problémától különválik. A héjmodell egydimenziós ismeretlenjeinek száma a transzverzális nyírófeszültségek szimmetriájának részleges kielégítésével tovább csökkenthető.

A dimenzió szerint redukált héjmodell Euler-Lagrange egyenleteinek és természetes peremfeltételeinek származtatására a Fraeijs de Veubeke-féle variációs elv körhengerhájakra vonatkozó alakjából kiindulva került sor. Az Euler-Lagrange egyenletek az alakváltozási és a szögelfordulás-koordináták vastagság menti integrálásával képzett eredőkre vonatkozó elsőrendű kompatibilitási egyenletekből és a nyírófeszültségek szimmetriáját integrál-átlagban biztosító egyenletből állnak. A héjmodell természetes peremfeltételeit az említett eredők és az előírt elmozdulások eredői között fennálló elmozdulási peremfeltételek, továbbá az alakváltozási eredőkre vonatkozó kompatibilitási peremfeltétel alkotják.

A fent említett elméleti vizsgálatok és eredmények alapján *hp*-verziós végeelem-modell kidolgozására került sor. A numerikus algoritmusok és a számítógépi program kifejlesztésével lehetőség nyílik a héjmodell és héjelem tesztelésére és más modellekkel való összehasonlításra.

Köszönetnyilvánítás: A T 049427 számú OTKA által nyújtott támogatást ezúton köszöni a szerző.

BEVEZETÉS A TARTÓSZERKEZETEK TERVEZÉSÉBE (ÚJ, BEVEZETŐ TÁRGY A BSC KÉPZÉSBEN)

Kollár László

BME, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

E-mail: lkollar@eik.bme.hu

Az előadásban röviden ismertetjük a 2006. szeptemberében a BME Építészmérnöki Karán elindított új tantárgyunkat, amelyik megelőzi a hagyományos statika tárgyat [1, 9]. Az új tárgy létrehozására azért került sor, mert a felsőbb évfolyamokon azt tapasztaltuk, hogy jóllehet a hallgatók sok területen mély tudással rendelkeznek, ismereteiket nem, vagy csak nagy nehézségek árán képesek a valódi szerkezetekre alkalmazni. (Az előadó a BME Építészmérnöki-, Építőmérnöki- és Gépészmérnöki Karán egyaránt sok éven keresztül oktatott; a fenti megállapítás – az előadó tapasztalata szerint – egyaránt vonatkozik mind a három karra.) Ennek a tárgynak így legfontosabb célja a szemléletformálás.

A fentieknek megfelelően a tárgy az elsőéves építész és építőmérnök hallgatóknak szól, akik e tárgy keretében ismerkednek meg a tartószerkezetek statikai viselkedésével. Előtanulmányként a középiskolai fizika [3] és matematika anyag ismerete szükséges.

A tárgy célja, hogy általános eligazodást adjon az építmények statikai viselkedéséről és a modellezés lépéseiről, a számítás lehetséges módjairól, a tartószerkezet tönkremeneteli lehetőségéről és a szerkezetválasztás legfontosabb szempontjairól [2, 4, 7, 8, 10]. A fenti témakör-felsorolás olyan általános, hogy akár egy sok-féléves tantárgy tematikája is lehetne. A tantárgy, habár szeretne átfogó szemléletmódot adni, mégis tárgyalható egyetlen félévben. Ennek természetesen ára van: csak nagyon speciális tartószerkezetekkel foglalkozik: kéttámaszú-, kéttámaszú konzolos- és konzoltartókkal; az egyensúlyt csak síkban tárgyalja és egyáltalán nem foglalkozik statikailag határozatlan tartószerkezetekkel. A cél alapvetően a tartószerkezet-tervezésben fontos jelenségek megértése, ezért gyakran az általános (matematikailag és mechanikailag precíz) tárgyalásmód helyett azt az utat választjuk, hogy egyszerű példákon mutatunk be fontos jelenségeket. Az általános tárgyalásmód a későbbi félévekben tanított tantárgyak (statika, szilárdságtan, dinamika, acél-, fa- és vasbetonszerkezetek) feladata.

A tárgy és a tárgy anyagát tartalmazó jegyzet [6] célkitűzése sok szempontból megegyezik a Kollár Lajos által szerkesztett könyvével [5], sok esetben támaszkodunk is ennek a könyvnek az anyagára. A két mű oktatásban való felhasználása mégis alapvetően eltér: [6] jegyzetet a statika és a tartószerkezet-tervezés bevezető tantárgyához lehet használni, Kollár Lajos könyve pedig az alapvető statikai, szilárdságtani és anyagismeretek elsajátítása után használható, mint egy összefoglaló, szintetizáló mű.

HIVATKOZÁSOK

1. Gáspár Zsolt és Tarnai Tibor: *Statika*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2002.
2. Gordon: *Structures or why things don't fall down?* Da Capo Press, London, 1978
3. Gulyás János, Honyek Gyula, Markovits Tibor, Szalóki Dezső, Varga Antal (alkotószerkesztő: Tomcsányi Péter): *Fizika, Mechanika*, Calibra Könyvek, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2003.
4. Kaminetzky, D.: *Design and Construction Failures. Lessons from Forensic Investigations*. McGraw-Hill, New York, 1991.
5. Kollár Lajos (szerkesztő): *Mérnöki építmények és szerkezetek tervezése*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2000.
6. Kollár László: *Bevezetés a tartószerkezetek tervezésébe*. BME, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék (150 oldal), 2007.
7. Levy, M. and Salvadori, M: *Why Buildings fall down*, Norton, New York, 1987.
8. Macdonald, A.J.: *Structures & Architecture*, 2nd Edition, Elsevier, Architectural Press, Oxford, 2001.
9. Matuscsák Tamás: *Statika építésznek*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2000.
10. Petroski, H.: *Design paradigms. Case Histories of Error and Judgement in Engineering*. Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

RUGALMAS-KÉPLÉKENY TESTEK KONSTITUTÍV EGYENLETEINEK INTEGRÁLÁSA LINEÁRIS IZOTRÓP ÉS KINEMATIKAI KEMÉNYEDÉS ESETÉN

Kossa Attila, Szabó László

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: kossa@mm.bme.hu , szabo@mm.bme.hu

Az anyagtörvények numerikus implementálása, ezen belül a numerikus algoritmusok továbbfejlesztése továbbra is a kutatási irányok részét képezik, ugyanis az egyre speciálisabb alkalmazási területek megkövetelik a nagyobb számítási pontosságot. A sebesség alakban adott konstitutív egyenletek egzakt integrálásával kapott analitikus megoldások lehetőséget adnak a numerikus módszerek ellenőrzésére.

Az előadás célja bemutatni egy lehetséges technikát az analitikus megoldások előállítására a kis alakváltozások esetén, külön vizsgálva a lineárisan keményedő kinematikai, izotróp és kombinált eseteket. A levezetett analitikus megoldások konstans feszültség-sebesség (constant stress-rate), illetve konstans alakváltozás-sebesség (constant strain-rate) feltételezése mellett érvényesek. Ez a feltétel a szakirodalomban széles körben elfogadott és alkalmazott.

A lineáris keményedésre levezetett összefüggések felhasználhatók a nemlineárisan keményedő képlékeny anyagmodellek esetén is, ugyanis ezen modellek numerikus kezelésére egy elfogadott technika, hogy a nemlineáris részt lineáris szakaszokkal közelítik. Ekkor az egyes szakaszokban a lineáris keményedésre vonatkozó összefüggések alkalmazhatók.

További alkalmazási terület a véges rugalmas-képlékeny alakváltozások elmélete, ahol a sebesség alakú konstitutív egyenlet integrálása fizikailag objektív rendszerben történik. Ezekben a lokális együttforgó (corotational) illetve együttmozgó (convective) rendszerekben az integrálás visszavezethető a kis alakváltozások esetén alkalmazott integrálási technikákra.

Az előadás részét képezi továbbá – a bemutatott analitikus megoldáson alapuló – a végeselemes számításokban megjelenő feszültség számítási eljárás (stress-update algorithm) és a hozzá kapcsolódó konzisztens érintő merevségi mátrixok megadása is.

Az eljárások alkalmazhatósága és a számítási technikák bemutatása a szakirodalomban ismert és néhány újabb teszt példán keresztül történik.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA, T046488 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Nemat-Nasser, S.: *Plasticity*, Cambridge University Press, Cambridge, 2005.
2. Simo, J. C., Hughes, T. J. R.: *Computational inelasticity*, Springer-Verlag, New York, 1998.
3. Yoder, P. J., Whirley, R. G.: *On the numerical implementation of elastoplastic models*, Journal of Applied Mechanics, Vol. 51, pp. 283-288, 1984.
4. Krieg, R. D., Krieg, D. B.: *Accuracies of numerical solution methods for the elastic-perfectly plastic model*, ASME Journal of Pressure Vessel Technology, Vol. 99, pp. 510-515, 1977.
5. Artioli, E., Auricchio, F., Beirão da Veiga, L.: Generalized midpoint integration for J2 plasticity with linear hardening, International Journal for Numerical Methods in Engineering, megjelenés alatt, 2007.

PIEZOELEKTROMOS ELEMÉKET IS TARTALMAZÓ SZERKEZETEK ELASZTOSTATIKAI PEREMÉRTÉK-FELADATA A LINEÁRIS RUGALMASSÁGTAN PRIMÁL RENDSZERÉBEN

Kovács Pál Zoltán
Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék
E-mail: mechanik@uni-miskolc.hu

A lineáris rugalmasságtan (LR) primál rendszerében vizsgált piezoelektromos kontinuumokra az elektromos entalpia [1] bevezetésével fogalmazunk meg funkcionálokat. Ha az összes lehetséges vektor- és tenzormező variációját megengedjük akkor a klasszikus Hu-Washizu-féle variációs elv [2] piezoelektromos anyagra kibővített funkcionálját írhatjuk fel, amelyből a LR elasztostatikai peremérték-feladatának összes (mechanikai és elektrosztatikai) mezőegyenlete és peremfeltétele következik

$$\begin{aligned} & \int_V [\delta \underline{u}^T (\underline{\partial}_u^T \underline{T} + \underline{b}) + \delta \underline{S}^T (\underline{e}^T \underline{E} - \underline{C} \underline{S} + \underline{T}) + \delta \underline{T}^T (\underline{S} - \underline{\partial}_u \underline{u})] dV + \\ & + \int_V [\delta \underline{E}^T (\underline{e} \underline{S} + \underline{\varepsilon} \underline{E} - \underline{F}) - \delta \underline{F}^T (\underline{E} + \underline{\partial}_\phi \underline{\Phi}) + \delta \underline{\Phi} \underline{\partial}_\phi^T \underline{F}] dV + \\ & + \int_{A_p} \delta \underline{u}^T (\underline{p} - \underline{n}_u^T \underline{T}) dA + \int_{A_u} \delta \underline{T}^T \underline{n}_u (\underline{u} - \underline{\tilde{u}}) dA - \int_{A_Q} \delta \underline{\Phi} (\underline{Q} + \underline{n}_\phi^T \underline{F}) dA + \int_{A_\phi} \delta \underline{F}^T \underline{n}_\phi (\underline{\Phi} - \underline{\tilde{\Phi}}) dA = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Az (1) kifejezésben $\underline{u}$ az elmozdulásmező vektora, $\underline{\Phi}$ az elektromos feszültség, $\underline{S}$ az alakváltozási vektor, $\underline{E}$ az elektromos térerősségvektor, $\underline{T}$ a mechanikai feszültség vektora, $\underline{F}$ a fluxusvektor (elektromos tér eltolódásvektora), $\underline{C}$ anyagmátrix, $\underline{\varepsilon}$ permittivitási mátrix, $\underline{e}$ a piezoelektromos állandók mátrixa (a csatológmátrix), $\underline{\partial}$ a differenciáloperátor, $\underline{n}$ az egységirány-vektor. Ha "a priori" előírjuk az anyagegyenleteket [1] és az elsődleges (Dirichlet-típusú) peremfeltételeket valamint az értelmező egyenleteket, akkor a Lagrange-féle variációs elv [2] piezoelektromos anyagra kibővített funkcionálját kapjuk, mely a LR elasztostatikai peremérték-feladatának mérlegegyenleteit szolgáltatja

$$\int_V [\delta \underline{u}^T (\underline{\partial}_u^T \underline{T} + \underline{b}) + \delta \underline{\Phi} \underline{\partial}_\phi^T \underline{F}] dV + \int_{A_p} \delta \underline{u}^T (\underline{p} - \underline{n}_u^T \underline{T}) dA - \int_{A_Q} \delta \underline{\Phi} (\underline{Q} + \underline{n}_\phi^T \underline{F}) dA = 0. \quad (2)$$

A végelem-módszerrel történő számításhoz a variálható fizikai mezőket approximációs függvények segítségével írjuk fel különböző közelítőpolinom-fokszám esetén [3]. A tanulmány a két különböző variációs elv által megfogalmazott feladat eredményeit hasonlítja össze az elsődleges változókra előírt azonos polinom-fokszámú közelítés mellett. Ehhez egy háromrétegű, térbeli végelemekkel felépített, piezoelektromos tartót vizsgálunk. Ha a tartó vastagsági mérete sokkal kisebb, mint a hossza és a végelelemes felosztás durvának mondható, akkor ún. nyírási locking állapotot idézünk elő. Ilyen környezetben végezzük el összehasonlító elemzésünket, kitérve külön a mechanikai feszültségállapot és elektromos tér vizsgálatára is.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönetét fejezi ki az OTKA T049115 számú projekt támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Tzou, H.S.: *Piezoelectric Shells*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 1993.
2. Bathe, K.J.: *Finite Element Procedures*, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1996.
3. Páczelt, I.: *Végelem-módszer a mérnöki gyakorlatban I.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1999.

KÉTRÉTEGŰ PORÓZUS NANOSZŰRŐ MEMBRÁN RUGALMASSÁGI MODULUSZÁNAK MEGHATÁROZÁSA NUMERIKUS SZIMULÁCIÓVAL

Kovács Ádám és Vízváry Zsolt

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: adamo@mm.bme.hu

A vizsgálat tárgya olyan peremre befogott, négyzet alakú, nagyon vékony mikroperforált szilícium-nitrid (SiN) és ehhez képest vastag nanoporozus szilícium (PS) rétegekből álló membrán, melynek szélessége milliméter, vastagsága pedig tíz mikrométer nagyságrendű. Egy újfajta nanoszűrő kifejlesztése során merült fel az a kérdés, hogy vajon milyen az egyes rétegek optimális vastagsága. A szerkezet nagy terhelhetőségéhez vastag, kevésbé porozus, a szűrendő folyadékkal szembeni minél kisebb ellenálláshoz pedig vékony, igen porozus membrán lenne szükséges. E két, egymással ellentétes szempontot egyaránt figyelembevevő struktúra tervezése előtt mérésekre és numerikus szimulációkra van szükség. A költséges és körülményes mérések számának csökkentése érdekében a szerkezet mechanikai viselkedését végelelemes szimuláció sorozattal határoztuk meg.

A mikro-elektromechanikai rendszerekben (MEMS) gyakorta alkalmazott szilícium és szilícium-nitrid rideg anyag, mely nagy terhelési tartományban lineárisan rugalmas [1], azonban a rugalmassági modulusz a megmunkálási technológiától, adalékolástól, stb. nagymértékben függ [2]. Külön gondot jelent a porozitás hatásának figyelembevétele. Az előzetes mérések azt mutatták, hogy ugyan a membrán hosszának és vastagságának aránya 40-70 között változik, azonban a maximális lehajlás egyenesen arányos a külső nyomással. Ez lehetővé teszi, hogy az egyes rétegek elmozdulására a klasszikus vékony lemezelmélet alapján zárt alakú összefüggést alkalmazzunk [3].

Hétféle különböző konfigurációt vizsgáltunk, melyeknél változtattuk a membrán szélességét, valamint a SiN és PS rétegek vastagságát. Az ANSYS 10.0 kereskedelmi végelelem szoftver segítségével numerikus szimuláció sorozatot végeztünk az egyes rétegek rugalmassági moduluszainak megváltoztatásával. A SiN-réteg esetében ez $E_{SiN} = 100 \dots 200$ GPa-t, a PS-réteg esetében $E_{PS} = 5 \dots 50$ GPa-t jelentett. A szélső határok mállapításánál figyelembe vettük az irodalmi értékeket, valamint a porozitástól (P) való [1] szerint becsült $E_p = (1-P)E$ összefüggést.

A szimulációk eredményeként megállapítható, hogy a membránok maximális lehajlását döntően a rétegek vastagsága és szélessége befolyásolja, arra alig van hatása az igen vékony SiN-réteg rugalmassági moduluszának. A rendelkezésünkre álló kis számú méréssel összevetve a szimulációk eredményeit meg tudtuk becsülni a rétegek ismeretlen rugalmassági moduluszait, mellyel lehetővé vált a feszültségi állapot meghatározása is. Ez alapján remény van arra, hogy megfelelő tönkremeneteli kritérium birtokában numerikus becslést adhassunk a membrán terhelhetőségére, azaz az engedélyezhető maximális folyadék nyomásra is.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki Kovács Andrásnak (Institute for Applied Research, Furtwangen, Németország) a mérési eredmények rendelkezésünkre bocsátásáért, valamint az OTKA-nak a 049848 sz. projekt keretében kapott anyagi támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Van Rijn, C.J.M.: *Nano and Micro Engineered Membrane Technology*, Elsevier, Amsterdam, 2004.
2. Yi, T., Kim, C.-J.: *Measurement of mechanical properties for MEMS materials*. Meas. Sci. Technol., Vol. 10, 706-716, 1999.
3. Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S.: *Lemezek és héjak elmélete*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.

GÖMBI RÁCSOS TARTÓK STATIKAI ÉS KINEMATIKAI VIZSGÁLATA

Kovács Flórián és Tarnai Tibor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: kovacs@ep-mech.me.bme.hu

A mérnöki gyakorlatban rácsos tartó alatt súrlódásmentes csuklókat összekötő ideális rudak együttesét értjük, mely szerkezetek jellemzően három dimenziósak. Sok esetben elegendő valamely szerkezetet egy adott síkra vetítve vizsgálni, ami kétdimenziós problémára vezet. Bizonyos esetekben azonban – mint például gömbfelszínen mozgó nyitható kupolaszerkezetek [1] vagy gömbi körelhelyezési és -fedési problémák [2] modellezésére szolgáló csuklós szerkezetek vizsgálatakor – a rácsos tartó csomópontjai nem síkra, hanem gömbre illeszkednek, s ekkor a hagyományos derékszögű koordináták mellett továbbra is háromdimenziós feladattal állnánk szemben.

A megoldást a gömbi koordinátákra alapozott, valamint a potenciális energia stacionaritásának elvére épülő tárgyalásmód jelenti: ez utóbbi legfőbb haszna az egyensúlyi és geometriai mátrixok következetes felírása a sík és a gömb metrikus tulajdonságainak különbözősége ellenére. Vizsgáljuk a

$$\Pi_R = - \sum_{\mu=1}^m R P_{\mu\theta} (\theta_\mu - \theta_\mu^0) - \sum_{\mu=1}^m R \sin \theta_\mu^0 P_{\mu\varphi} (\varphi_\mu - \varphi_\mu^0) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \frac{EA_k}{l_k} (e_k)^2 + \sum_{k=1}^n \tilde{F}_k \Lambda_k,$$

hozzárendeléssel leírható ún. Hellinger-Reissner funkcionál [3] első variációját, amely lényegében a potenciális energia kinematikai kényszerfeltételek, mint matematikai értelemben vett mellékfeltételek melletti feltételes szélsőérték-problémáját jelenti. Az első két tag a „hosszúsági” és „szélességi” körök mentén működő külső erők nyomatéka által végzett munkának az ellentettje, a harmadik a zérus hajlítómerevségűnek képzelt, gömbfelszire illeszkedő rudakban fölhalmozódott rugalmas alakváltozási energia, végül az utolsó tagban az $\tilde{F}_k$ kényszerfeltétel a rudak ívhosszána nullára rendezett kifejezése, melyhez tartozóan a Λ_k a – rúderőt jelentő – Lagrange-szorzó.

A fenti funkcionál első variációjának stacionaritásából mind az egyensúlyi, mind pedig a geometriai egyenletrendszer közvetlenül származtatható. Érdekes lehet továbbá a második variáció is, mely az egyensúlyi helyzet stabilitásvizsgálatának alkalmas eszköze: . Ennek különösen sajátfeszültséggel rendelkező infinitezimális mechanizmusok esetében van jelentősége, ahol a stabilis egyensúly a szerkezet előfeszítéssel való merevíthetőségével áll kapcsolatban (az egyensúly stabil, azaz a szerkezetet a sajátfeszültségi állapot merevíti, ha a Hellinger-Reissner funkcionál utolsó tagjának Hesse-mátrixa pozitív definit). Ez a tulajdonság az ún. másodrendű merevség [4], amelynek vizsgálata mind a gömbi körfedési problémák lokálisan optimális elrendezéseinek keresésekor, mind pedig a gömbi mechanizmusok mozgásvizsgálatakor kulcsfontosságú.

Megjegyzendő, hogy bár a fenti vizsgálatok háromdimenziós modell alapján is elvégezhetők, a gömbi változókat (azimut- és meridiánszöget) használó leírás a megoldandó egyenletrendszer méretét harmadával csökkenti, ezáltal komoly számítástechnikai megtakarítást eredményezhet.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T 046846 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Kovács, F.: *Foldable Bar Structures on a Sphere*, IUTAM-IASS Symposium on Deployable Structures: Theory and Applications (szerk. S. Pellegrino & S. D. Guest), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 221-228, 2000.
- [2] Tarnai, T. & Gáspár, Zs.: *Covering the sphere by equal circles, and the rigidity of its graph*, Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 110, 71-89, 1991.
- [3] Washizu, K.: *Variational Methods in Elasticity and Plasticity*, 3. kiadás, Pergamon, Oxford, 1982.
- [4] Connelly, R.: *The rigidity of certain cabled frameworks and the second-order rigidity of arbitrarily triangulated convex surfaces*, Advances in Mathematics, 37, 272-299, 1980.

KIS CSILLAPÍTÁSÚ LENGŐRENDSZEREK DIGITÁLIS ERŐSZABÁLYOZÁSÁNAK STABILITÁSA ÉS OPTIMALIZÁLÁSI LEHETŐSÉGEI

Kovács L. László¹ és Stépán Gábor²

¹ MTA-BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: {kovacs | stepan}@mm.bme.hu

Az erőszabályozás jelensége észrevétlenül jelen van hétköznapi életünkben. Például, egy adott tárgy (pohár) kézben tartásához megfelelő nagyságú, a nehézségi erővel egyensúlyt tartó súrlódási erőt biztosító összeszorító erő szükséges. Hasonló erőszabályozás valósul meg akkor is, amikor két ember kezét fog egymással. Más esetekben, az erőszabályozási feladat adott útvonalhoz kötődően jelentkezik. Tipikus hétköznapi példaként említhetők erre az írás vagy az ablaktisztítás műveletei.

A digitális (diszkrét idejű, számítógéppel történő) erőszabályozás alkalmazása természetes igényként jelenik meg az automatizált ipari gyártósorok esetén. Az öntvények felület-megmunkálása, alkatrészek abrazív megmunkálása és a ponthegeztetés művelete során a termék minőségének biztosításához előírt nagyságú erő/nyomaték alkalmazása szükséges.

Ezen túlmenően, néhány speciális robotikai alkalmazásban az erővisszacsatolás szerepe kiemelkedően fontos. Például, sebészeten használt robotok esetén, a beavatkozás közben fellépő erőket az operáló sebész az emberrel erő/nyomaték visszacsatoláson keresztül kapcsolatot tartó eszköz (ún. heptikus interfész) segítségével érzékelheti. A robotok sikeresen felhasználhatók más orvosi alkalmazásokban is, mint például a robotok segítségével végzett gyógytornáztatás, mozgásrehabilitáció.

A digitálisan szabályozott mechanikai rendszerek dinamikai viselkedése alapvetően különbözhet az analóg (folytonos idejű) rendszerekétől. Míg analóg esetben a szabályozni kívánt jellemző (érintkezési erő) értéke időkések nélkül, pontosan mérhető, addig digitális szabályozás esetén a mért jel időben és térben diszkrét értékek sorozataként áll elő, ahol az időbeli diszkrétizációt a mintavételezés-, a térbelit a mérőeszköz felbontási képessége és a jel kvantálása jelenti. E digitális hatások következtében, stabilitási problémák jelentkezhetnek, melyek gyakran alacsony frekvenciájú rezgéseket okoznak. Mindezek ellenére a digitális szabályozások szerepe ma meghatározó, melyet elsősorban a digitális eszközök rugalmassága, programozhatósága és a számítógépes rendszerek széleskörű elterjedése indokol.

A gyakorlatban fontos szempont az alkalmazott szabályozás beállási pontossága, a kialakuló erőhiba csökkentése. Felület-megmunkálás (pl. polírozás) esetén az érintkezési erő pontos szabályozása szükséges a megfelelő felületi minőség biztosításához. Robotok erőszabályozással történő betanítása esetén pedig, amikor a robot mozgatása a betanító eszköz által érzékelt erő mérséklésén (relaxációján) alapul, az erőhiba a robotnak a betanítóval szembeni ellenállását jelenti.

Sok esetben, az alkalmazott lineáris (pl. arányos-differenciáló) szabályozás erősítési tényezőinek növelésével a szabályozási hiba lényegesen csökkenthető, ugyanakkor a beállási idő nő, és a stabilitási határon ún. öngerjesztett rezgések alakulhatnak ki. A stabilitási problémák részben a mintavételezési frekvencia növelésével, részben a rendszer mechanikai paramétereinek (pl. sajátfrekvencia) illetve szabályozási paramétereinek megfelelő hangolásával küszöbölhetők ki. E paraméterek hangolását nehezíti, hogy a kis csillapítású rendszerek digitális szabályozása esetén a stabilitási tulajdonságokat reprezentáló stabilitási térképek általában összetett-, a mintavételezési frekvencia függvényében széttagolt szerkezetűek. Ezért pontos, megbízható és ugyanakkor az adott szabályozási feladatnak megfelelő beállási idejű szabályozási és mechanikai paraméterek megválasztásához általában részletes dinamikai analízis szükséges.

Az előadásban a kis csillapítású lengőrendszerek digitális erőszabályozásának részletes dinamikai vizsgálatát mutatjuk be arányos-differenciáló (PD) szabályozást feltételezve. Az eredményeket egy szabadsági fokú mechanikai modell esetén, a szabályozás mintavételezési frekvenciájának, erősítési tényezőinek, valamint a jellemző mechanikai paraméterek függvényében stabilitási térképeken szemléltetjük. A zárt alakú eredmények megadják a stabilis szabályozás esetén alkalmazható arányos erősítési tényező maximális értékét és az állandósult állapotban elérhető legkisebb erőhiba nagyságát, valamint az előírt érintkezési erő leggyorsabb beállítását eredményező szabályozási paramétereket.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az MTA-BME Gépek és Járművek Dinamikája Kutatócsoport által nyújtott támogatásért.

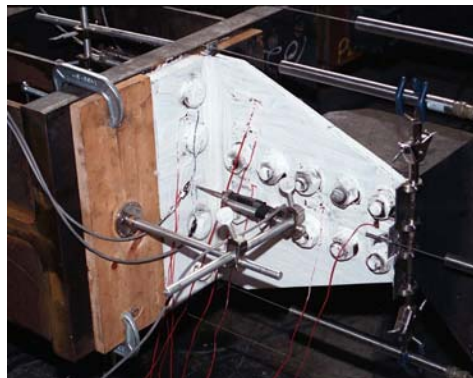
NYOMATÉKBÍRÓ OSZLOP-GERENDA KAPCSOLAT VISELKEDÉSÉNEK MODELLEZÉSE

Kovács Nauzika és Roberto Leon

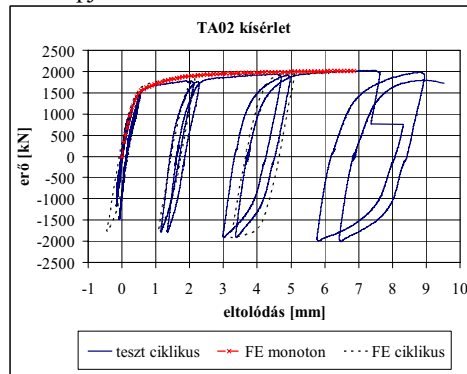
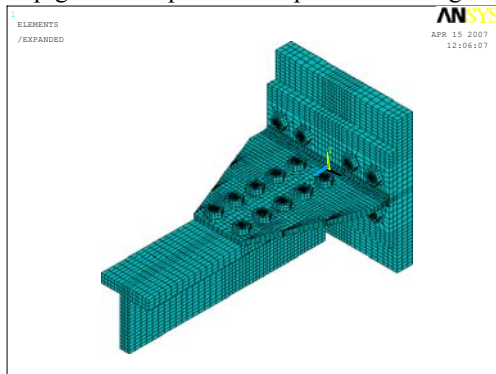
BME, Hidak és Szerkezetek Tanszéke, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA

E-mail: nauzika@vbt.bme.hu, roberto.leon@ce.gatech.edu

Az utóbbi évtizedek földrengései során a hegesztett kapcsolatokban bekövetkezett tönkremenetelek rávilágítottak azok ciklikus terhelés alatti hátrányos tulajdonságaira (kis duktilitás, alacsony energia elnyelő képesség, feszültségkoncentráció). Ezért intenzív kutatás indult olyan kapcsolattípusok kialakítására, amelyek kiküszöbölik ezen hátrányokat. A Georgia Institute of Technology-n az ábrán bemutatott csavarozott T-kapcsolatokból felépített oszlop-gerenda kapcsolaton, illetve azok komponensein végeztek kísérleti és analitikus vizsgálatokat. Az ábrán látható teljesen csavarozott kialakítás a hegesztett csomópontok elterjedése előtt igen népszerű volt az Egyesült Államokban és most visszatérően van az alkalmazásuk.



Az elvégzett vizsgálatok alapján méretezési módszert fejlesztettek ki és alkalmaznak. A kísérletileg vizsgált kialakításokon túlmenően azonban cél a kapcsolat paramétereinek (csavarelrendezés és minőség, csomólemez geometria) a csomóponti viselkedésre gyakorolt hatásnak elemzése. Ehhez végeselemes modellt fejlesztünk ANSYS program segítségével. A kutatás jelen szintjén a kapcsolat ábrán látható rész-modellje készült el, amelyet az oszlop-gerenda kapcsolat komponensein elvégzett kísérletek alapján verifikáltunk.



A fejlesztés alatt álló modellel nem csak a monoton, hanem a kapcsolat hiszterézis viselkedésének a modellezését is célul tűztük ki, az első eredményeket a jobb oldali ábra szemlélteti. A kutatási program folytatásaként meghatározzuk a tervezésben felhasználható, ciklikus szempontból kedvező kapcsolati kialakítást és a csomóponti viselkedést leíró ciklikus állapotjellemzőket.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a The Thomas Cholnoky Foundation-nek a kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Swanson, A. J.: *Characterization of the strength, stiffness and ductility behavior of T-stub connections*, PhD. Dissertation, Georgia Institute of Technology, USA, 1999.
2. Swanson, A. J., Leon, R. T.: *Bolted steel connections: Tests on T-stub components*, Journal of Structural Engineering, Vol. 126, No. 1, pp. 50-56, January 2000.

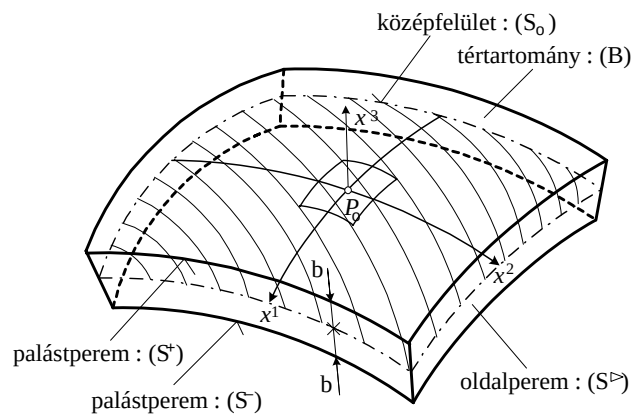
GEOMETRIAILAG NEMLINEÁRIS HÉJELMÉLET VÉGES FORGÁSMEZŐ ÉS KIS ALAKVÁLTOZÁSMEZŐ ESETÉRE

Kozák Imre

Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: mechkoz@uni-miskolc.hu

A héjelméletek célja, hogy a héj mint szilárd test 3D-s kontinuummechanikai feladatát - feltevések és elhanyagolások felhasználásával - helyettesítsék a héj középfelületén (alapfelületén) értelmezett 2D-s feladattal. Ilyen értelemben a héjelméletek a 3D-s elméletekhez képest közelítő jellegűek. Az előadás tárgya a héjak véges forgásmezőjéből következő geometriai nemlinearitás figyelembevétele, együttmozgó koordináta-rendszer alkalmazásával, Lagrange leírási módban, a héj alakváltozás előtti (S_o) középfelületére épített görbevonalú koordinátarendszerben. (S_o -on az x^1, x^2 , normálisa mentén az x^3 koordináták változnak.



Alapfeladat: a tetszőleges helyzetű anyagi pont elemi környezetének geometriai összevetése az alakváltozás (terhelés) utáni, ($\bar{B}$) jelű és a terhelés előtti, (B) jelű állapotban (bázisvektorok változása, anyagi vonalelemek változása, merevtestszerű forgás, fajlagos hossz- és szögváltozások, felületelem változások, térfogatelem változások), mindezt az (S_o) középfelületen értelmezett mennyiségek segítségével.

Feltételezés szerint az $\mathbf{R}$ forgástenzor véges, nem függ az x^3 koordinátától, az alakváltozási mértékek azonban kicsik és mindhárom koordinátától függenek. További feltételezés, hogy az alakváltozás utáni bázisvektorok a középfelület elmozdulásmezőjével és forgástenzor-mezőjével, valamint végesszámú, az (S_o) középfelületen értelmezett vektormezővel (az ezekkel képzett, x^3 szerinti sorral) jól közelíthetők. A felületi terhelések alakváltozást követnek.

Képezi az előadás a Green-Lagrange alakváltozási tenzor és – lineáris anyagmodell mellett – a II. Piola-Kirchoff feszültségi tenzor (S_o) középfelületre áthelyezett koordinátáinak végesszámú tenzormezővel felírt sorait. Felhasználja a palástperemeken előírható feszültségi peremfeltételeket és megadja az oldalperemen a kinematikai peremfeltételeket, valamint az itt ható elemi erőket.

Az alakváltozás előtti (B) állapotban - az előzőek figyelembevételével - felírt virtuális munka elv nemlineáris jellegű. A feladatok megoldása - egy célszerűen felvett (nem szükségszerűen egyensúlyi) állapotból kiindulva - a Newton-Raphson iterációs algoritmus alkalmazásával érhető el.

Köszönetnyilvánítás: A T 046834 számú OTKA által nyújtott támogatásért ezúton fejezi ki a szerző köszönetét.

MINTÁZATOK KICSI ÉS NAGY SZEMCSEHALMAZOKBAN: DISZKRÉT ELEMES SZIMULÁCIÓK TAPASZTALATAI

Matthew R. Kuhn

Portland University

Bagi Katalin

BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: kbagi@mail.bme.hu

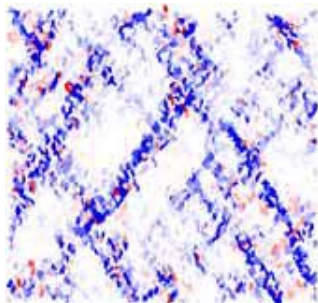
A szemcsehalmozok makroszinten megfigyelhető deformációjakor az egyes szemcsék eltolódása és elfordulása általában nem felel meg az átlagos (makro-) deformációnak, hanem attól nagymértékben eltérhet, és térbeli eloszlása látszólag teljesen véletlenszerűen alakul.

Számítógépes szimulációkban azt kerestük, hogy felfedezhető-e valamilyen rendezettség a szemcsék elmozdulásaiban, illetve az ezekre épülő valamely kinematikai állapotváltozó térbeli eloszlásában. A vizsgált mikro-változók:

- dilatáció [1], [2]
- gördülési rotáció [3]
- a 2. típusú gördülés vektora [4]

Különböző szemcsehalmozok síkbeli és térbeli számítógépes modelljét készítettük el. A peremeket a vizsgálatok egyik részében végtelen merev falak alkották, másik részében periodikus peremeket használtunk. A halmazokon nyírási folyamatokat szimuláltunk, a leszálló ágat is követve. A terhelési folyamatokban a gravitációt zérusnak feltételeztük, és a halmazokat a peremeik mozgatásával létrehozott előírt deformációval terheltek. Ezzel a végletekig leegyszerűsített terhelési móddal az volt a célunk, hogy a szemcsék szintjén megjelenő esetleges mintázatok kizárólag a mikroszerkezet belső önszerveződési folyamataiból származhassanak.

Az 1. ábra a felfedezett mintázatok egyikét szemlélteti: kimutattuk, hogy a makro-deformáció közben a szemcsehalmozokban a szemcsék merevtestszerűen együttmozgó csoportokba szerveződnek (világos tartományok), amelyek között közel szabályos hálózatba rendeződő, erősen dilatálódó és jelentős gördüléseket mutató sávok (az 1. ábrán a kék tartományok) jelennek meg. A 2. ábra egy zérus gravitáción végzett tényleges laborkísérlet eredményét mutatja. Homokmintákat nyírásnak vetettek alá. Az ábrán látható sötét sávok alacsony sűrűségű tartományokat jeleznek, ahol tehát a kezdeti állapothoz képest jelentős dilatáció jött létre. A kísérletben tapasztalt mintázat jó egyezést mutat a számítógépes szimulációk előrejelzéseivel.



1. ábra
Számítógépes szimuláció



2. ábra
Laborkísérlet

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA 48906 projekt és a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Bagi, K. (1996): Stress and strain in granular assemblies. *Mechanics of Materials* 22, pp. 165-177
2. Kuhn, M.R. (1999): Structured deformation in granular materials. *Mechanics of Materials* 31, pp. 407-429
3. Kuhn, M.R. – Bagi, K. (2004b): Contact rolling and deformation in granular media. *Int. J. Solids and Structures* 41(21), pp. 5793-5820
4. Bagi, K. – Kuhn, M.R. (2004a): A definition of particle rolling in a granular assembly in terms of particle translations and rotations. *ASME J. Appl. Mech.* 71(4), pp. 493-501

OSZLOP-GERENDA MEGTÁMASZTÁSÚ FA- ÉS FA-BETON ÖSZVÉRFÖDÉMEK LENGÉSEI

Kulcsár Béla és Kollár László

E-mail: bqlcar@yahoo.de, lkollar@eik.bme.hu

Fafödémeket egyre gyakrabban alkalmazunk lakóépületek és irodaházak közbülső födémeként, kis súlyuk, könnyű megmunkálásuk és nem utolsósorban esztétikai látványuk miatt. E födémek korábbi változatainak egyik közismert problémája azok zavaró lengése. Ezek elkerülésére a födémek sajátfrekvenciájának lényegesen meg kell haladnia az emberi gerjesztés alapfrekvenciáit. Az irodalom és a szabályzatok a lengések elkerülésére további két követelményt is támasztanak, egy minimális födém-merevséget és egy minimális födém-tömeget. Utóbbit a szokásos ugrásos lengéspróba ellen, hogy a födém az impulzust alig érezhető sebességgel tudja felvenni. A gyakorlatban legnehezebben teljesíthető követelmény a sajátfrekvencia korlátozása, melyre – fafödémek esetén - az irodalom és a szabályzatok $f = 6 \dots 8$ Hz értéket adnak. A merevség és a sajátfrekvencia növelésére a fafödémeket gyakran együttdolgozó vasbeton lemezzel alakítják ki. Ezeket a födémeket fa-beton öszvérfödémeknek nevezzük.

Falas megtámasztású födémek sajátfrekvenciáinak számítására több eljárás is ismert, míg a nagyobb alaprajzi szabadságot adó oszlop-gerendás födémek számítása jobbra csak numerikusan lehetséges. Az előadás egy közelítő módszert ismertet az oszlop-gerendás megtámasztású fafödémek számítására, külön kitérve a nagyobb támaszközökön lefedésére is alkalmazható fa-beton öszvérfödémek és a rétegelt deszkalemezek sajátosságaira. Az eljárás előtervezéshez és a numerikus számítások ellenőrzésére is használható.

A födém egyik alkotóelemét, a födémmezőket - mely többnyire bordás lemezek - ortotrop lemezként modellezzük, figyelembe véve annak esetleges csavaró-merevségét is. A másik elemet, a mestergerendákat hajlító-merevségükkel jellemezzük, ezek csavaró-merevségét elhanyagoljuk. A födém sajátfrekvenciáját a Föppl- és a Southwell-féle összegzési tételek kombinációival határozzuk meg, a rendszeralkotók (födémmezők, gerendák) elemi sajátfrekvenciáinak felhasználásával. Megmutatjuk, hogy az eljárás számos peremfeltétel mellett is használható, mint pl. a teljes homlokzaton élmenti csuklós támaszú vagy csak két oldalon élmenti csuklós peremmel rendelkező födémek esetében. A fa-beton öszvérfödémek és a többretegű deszkalemezek számítási különlegességeire (a berepedt vasbeton lemez illetve a mestergerenda feletti többtámaszúsítás lehetősége) is kitérünk.

Az eredményeket numerikusan és kísérletileg is ellenőriztük. A számítások tapasztalatai alapján gyakorlati tanácsokat is megfogalmazunk, hogy hogyan teljesíthető az előírt sajátfrekvencia-korlát.

OSTEOPOROTIKUS LUMBÁLIS CSIGOLYÁK REGIONÁLIS NYOMÓSZILÁRDSÁGI JELLEMZOI AZ ÉLETKOR ÉS A NEMEK FÜGGVÉNYÉBEN

Kurutzné Kovács Márta*, Gálos Miklós **, Varga Péter*, Fornet Béla***

* BME, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

** BME, Építőanyagok és mérnökgeológia Tanszék

*** Jóna András Kórház, Nyíregyháza

E-mail: kurutzm@eik.bme.hu

Ismert, hogy a csigolyák szivacsos csontgerendázata a csigolyatest középső szakaszán ritkább, mint az alsó és felső szélek közelében, és az életkorral járó csontfelszívódás, amely az osteoporosist okozza, a csigolyatest középső régiójában intenzívebb. Következésképpen a csigolyák teherbírása középtájon alacsonyabb, amit a gyakori centrális törések is igazolnak. Vizsgálatunk az osteoporotikus lumbális csigolyák nyomószilárdsági jellemzőinek a csigolya magassága mentén való megoszlásával, annak nemi és életkori változásaival foglalkozik, a csigolyák nyomószilárdsági kísérletei alapján. 16 férfi és 38 nő 54 cadaver lumbális L1 és L2 erősen osteoporotikus csigolyáinak nyomási terhelését végeztük egészen a törésig. A nyomószilárdsági vizsgálat és a csigolyák geometriai adatai alapján meghatároztuk az feszültségi és alakváltozási arányossági határt, a határfeszültséget és határ-alakváltozást, a folyási feszültséget, a rugalmassági moduluszt, a duktilitást és az energia-elnyelő képességet. A fenti értékek legtöbbjét a csigolyák magassága mentén öt régióban határoztuk meg: az alsó és felső széle, a középső és a két köztes régióban, a nemek szerinti összehasonlításban.

A csigolyák mérethatást is figyelembevevo határteherbírása 15-25%-kal volt kisebb a nőknél. Az arányossági határ és a határfeszültség 30-35%-kal volt kisebb a nőknél a csigolyák bármely régiójában, bármely életkorban. A centrális régióban mindkét nemnél 20-25%-kal magasabb feszültséget találtunk. A rugalmassági modulus mintegy 30% -kal volt kisebb a nőknél bármely régióban, és 20-25%-kal volt kisebb a centrális régióban mindkét nemnél. *A kis alakváltozások a férfiaknál voltak magasabbak, a nagy alakváltozások a nőknél.* A határ-alakváltozáshoz tartozó energia-elnyelő-képesség 10-20%-kal magasabb a férfiaknál, a törési alakváltozáshoz tartozó duktilis energia-elnyelő-képesség csaknem egyenlő a nemeknél, minden régióban.

A szilárdsági jellemzők életkorral való csökkenése férfiaknál erősebb, főleg a központi régióban. Lineáris regressziót alkalmazva, a 43-93 év közötti 50 évben a teherbírás-vesztesség 55 N/év volt a nőknél és 115 N/év a férfiaknál. Ez évi 1,30%, összesen 65% a nőknél, és évi 1,59%, összesen 79% a férfiaknál. A határfeszültség csökkenése a felső, középső és az alsó régióban 86, 106, 82 kPa/év volt a férfiaknál, és 57, 59, 49 kPa/év a nőknél. *Mosekilde és mtsai (2000)* szerint a gerincsigolyák szivacsos csontjának szilárdságvesztése 20-80 év között 4-5-szörös, mi a férfiaknál 5-szörös, a nőknél 4-szeres veszteséget találtunk. *McCaldren és mtsai (1997)* szerint az átlagos szilárdságvesztesség minden évtizedben 8,5%. Mi 14% és 17% veszteséget találtunk a nőknél, illetve a férfiaknál, de nem átlagos, hanem erősen osteoporotikus állomány esetén.

Megállapítottuk, hogy *a statikai típusú szilárdságjellemzők (teherbírás, feszültségek) szignifikáns, a egyes típusúak (merevség, rugalmassági modulus, energia-elnyelő-képesség) közepes, a kinematikai típusúak (elmozdulások, alakváltozások) pedig gyenge korrelációt mutatnak az életkorral.* Az életkor szerinti szilárdságcsökkenést férfiak esetén lehet lineáris regresszióval közelíteni, de nők esetén pontosabb közelítést kapunk, ha másodfokú függvényt alkalmazunk. A nők esetén ugyanis különböző életszakaszokban más-más csökkenési trend tapasztalható mind a csonttartalomban, mind a csontszilárdságban (*Warming és mtsai, 2002, Greer és mtsai, 2003, Mazzuoli és mtsai, 2006*).

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönettel tartoznak az OTKA T-046755 projekt támogatásáért.

HIVATKOZÁSOK

1. Greer, W., Smith, R., Shipman, A.J., 2003. A multi-exponential model of postmenopausal decline in vertebral bone mineral density: a new approach to the BMD reference range, *Journal of Clinical Densitometry*, 6(2), 113-124.
2. Mazzuoli, G., Diacinti, D., D'Erasmio, E., Alfo, M., 2006. Cyclical changes of vertebral body heights and bone loss in healthy women after menopause. *Bone*, 2006 Jan 5; [Epub ahead of print]
3. McCaldren, R.W., McGeough, J.A., Court-Brown, C.M., 1997. Age-related changes in the compressive strength of cancellous bone. The relative importance of changes in density and trabecular architecture, *The Journal of Bone and Joint Surgery, Am.*, 79(3), 421-427.
4. Mosekilde, L., Ebbesen, E.N., Tornvig, L., Thomsen, J.S., 2000. Trabecular bone structure and strength - remodelling and repair. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 1(1), 25-30.
5. Warming, L., Hassager, C., Christiansen, C., 2002. Changes in bone mineral density with age in men and women: a longitudinal study. *Osteoporosis International*, 13(2), 105-112.

A képlékeny izotróp keményedő peridinamikusan anyagmodell

Ladányi Gábor¹, Szabó László²

¹Dunaújvárosi Főiskola, H-2400, Dunaújváros, Táncsics M. u. 1/a, tel.: (25) 551-139, ladanyi@mail.duf.hu

²Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, H-1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3-9., szabol@mm.bme.hu

A peridinamikusan anyagmodell (PAM) Stuart Silling fejlesztette ki 1998-ban [3]. Megjelenése óta a kontinuummechanika több területén is sikerrel alkalmazták. Az elmúlt években az eredeti lineárisan rugalmas modellnek több általánosítása is napvilágot látott. 2005-ben megjelent egy rugalmas lemezek és kompozitok repedésterjedésének vizsgálatára kiterjesztett anyagmodell [4]. Ugyanebben az évben nagysebességű repedésterjedést sikerült peridinamikusan anyaggal modellezni [5]. A hagyományos PAM egyparaméteres anyagmodell, Poisson-tényezője minden esetben $\frac{1}{4}$. Ezt a korlátot 2006-ban disztribúciók alkalmazásával sikerült elhárítani, biztosítva, hogy PAM segítségével a Hooke-féle rugalmas anyag tetszőleges pontossággal megközelíthető [2]. Szintén 2006-ban jelent meg a mikropoláris PAM [1], mely alkalmasnak bizonyult spontán repedések megjelenésének modellezésére a széles körben alkalmazott végeselemes környezetben.

A hagyományos PAM alapváltozója az elmozdulás mező. Hipotézise szerint az alakváltozás közben az anyagi pontok közt távolbatható erők működnek. Ilyen feltételezés mellett az anyagi pont mozgástörvénye a hagyományos lokális kontinuum megközelítéssel ellentétben nem egy parciális differenciálegyenlet, hanem egy integro-differenciál egyenlet:

$$\int_{\Omega} \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{Y}, \mathbf{u}_\mathbf{X}, \mathbf{u}_\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} + \mathbf{b}_\mathbf{X} = \rho \cdot \partial_t \mathbf{u}_\mathbf{X}$$

Az említett munkákban a belső erő függvény lineárisan rugalmas volt. A belső erő ekkor egyszerű alakot ölt:

$$\mathbf{f}(\xi, \eta) = \mathbf{K}_{\mathbf{XY}} \cdot \eta$$

ahol η az anyagi pontok relatív elmozdulása.

Dolgozatunkban az így kialakított modellt olyan módon terjesztjük ki, hogy lineáris rugó helyett egy sorba kötött rugó-csúszka kapcsolatot tételezünk fel. A megjelenő integro-differenciál egyenlet ebben a korábbival ellentétben nemlineáris egyenlet. A nemlineáris egyenlet megoldására a numerikus képlékenységtanban ismert és gyakran alkalmazott "return mapping algorithm" eljárást alkalmazzuk.

További feltételezéssel élünk abban a tekintetben, hogy az egymástól "távol" lévő anyagi pontok egymásra gyakorolt hatását elhanyagoljuk, valamint abban hogy az egyenletben szereplő integrál értékét véges összegként állítjuk elő. Észrevehető, hogy ezen közelítések szélsőséges esetben – az összeget csak a közvetlenül szomszédos anyagi pontokra alkalmazva – véges differencia-egyenleteket kaphatunk.

Előadásunkban az anyagi pontokat összekapcsoló rugó-csúszka izotróp keményedő viselkedésű, de lehetőséget látunk a kapcsolat további ettől eltérő általánosítására is. Az így kapott egyenletet minden vizsgált anyagi pontra felírva a test egyensúlyi helyzete Newton-módszerrel (iterációval) meghatározható.

Tesztprogramjainkat MATLAB V7.0 környezetben írtuk. A megoldott egy és kétdimenziós feladatainkban a terhelés értékét és módját változtatva teszteltük az ismertett anyagmodell viselkedését a test rugalmas, rugalmas-képlékeny deformációi esetén. Összehasonlításunkban a programunk és a COSMOSWorks 2006 végeselem rendszerben készült modellek elmozdulásait vettük szemügyre. A két modell közt tetszőlegesen finomítható egyezést kaptunk.

Következtetésünk, hogy az ismertett rugalmas képlékeny peridinamikusan anyagmodell alkalmas maradó alakváltozásokkal járó deformációk leírására és továbbra is rendelkezik a spontán repedés megjelenés leírásához szükséges jellemzőkkel. Fejlesztési lehetőségnek többdimenziós problémák leírását és további képlékeny modellek beillesztését látjuk.

HIVATKOZÁSOK

1. Gerstle, W. et al., Peridynamic modeling of concrete structures, Nuclear Engineering and Design, Elsevier, 2006
2. Ladányi, G., Numerical analysis of peridynamic material model with RBF method, Proceedings of 6th European Solid Mechanics Conference, 2006.08.28- 09.01.
3. Silling, S. A., Reformulation of elasticity theory for discontinuities and long range forces, National Technical Information Service, 1998
4. Silling, S. A., Bobaru, F., Peridynamic modeling of membranes and fibers, International Journal of Non-Linear Mechanics, Elsevier, 2004, 40/2005, pp.395-409
5. Silling, S. A., Askari, E., A meshfree method based on the peridynamic model of solid mechanics, Computers and Structures, Elsevier, 2005
6. Simo, J. C., Hughes, T. J. R., Computational Inelasticity, Springer, New York, 1998



Az anyagi pont mechanikájának alapjai a Newton-féle axiómák: a tehetetlenség törvénye, a dinamika alapegyenlete, a kölcsönhatás törvénye és az erőhatások függetlenségének elve. Az axiómák alapján értelmezzük inerciarendszert, felírjuk a mozgásegyenletet, ehhez értelmezzük a tehetetlenséget, két test egymásra hatását erőként fogjuk fel, az akció és reakció azonos nagyságú, de ellentétes irányú, végezetül az erők vektorként összegződnek.

A mozgásegyenletek vizsgálata során összefüggések adódnak a munkára, a kinetikai energiára, és erre vonatkozóan tétel fogalmazható meg. Konzervatív erőter esetén értelmezhető a potenciális energia, továbbá felírható a mechanikai energia megmaradási tétele. Centrális erő esetén fennáll a felületi tétel. Ez megfogalmazható az erő és az impulzus momentuma közötti impulzusmomentum tételként is. Megjegyezzük, hogy az anyagi pont egyensúlya az anyagi pontra ható erők eredőjének eltűnésével fejezhető ki.

A pontrendszerek mechanikájának az alapjait szintén a Newton-féle axiómák adják. A mozgásegyenletek tíz integrálja jellemzi a rendszert: megadja a tömegközéppont helyét, sebességét, a pontrendszer teljes impulzusmomentumának változását, valamint a rendszer energiáját. Amennyiben a rendszer zárt, úgy a tömegközéppont tehetetlenségi pályán mozog, az impulzusmomentuma és energiája állandó. A rendszer zártsága nem elegendő ahhoz, hogy egyensúlyban legyen.

A merev testet olyan pontrendszerként értelmezzük, amelyben az egyes anyagi pontok távolsága változatlan a mozgás során. Ennek megfelelően a pontrendszerekre vonatkozó megállapítások érvényben vannak. Továbbá megfogalmazható (egyszerűen) az egyensúly feltétele is: az eredő erők és az eredő nyomatékok legyenek nullával egyenlők.

A nyomatékokat mint az erő momentumát vezettük be, a nyomaték származtatott mennyiség – bivektor. A mozgásegyenletek integráljaként jelenik meg a pontrendszerben és lesz jelentős szerepe a merev testek esetében.

A deformálható szilárd testek esetén, a testen belül kölcsönhatás megfogalmazásához felületi erőket értelmezzünk. Mivel a Newtoni-axiómák alapján erőt értelmezzünk, ezért a felületi erőket csak hatásában, azaz egy kicsiny, de véges mértékű területen „összegezve” tudjuk olyan formában értelmezni, hogy az eddigi axiómákat alkalmazni tudjuk. Azaz a felületi erőt – a feszültséget – az

$$\int_S \sigma dF = \mathbf{P}$$

összefüggéssel értelmezzük. Megmutatható, hogy σ határártmenettel nem értelmezhető, magának a feszültségnek a létét posztulálni kell. A fenti összefüggés az értelmező összefüggés.

A deformálható szilárd testek esetén az

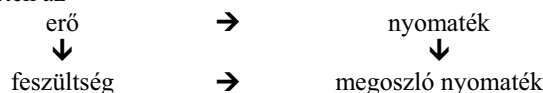


diagram alapján megoszló nyomaték létezését várjuk. A Newtoni-axiómák alapján, hasonlóan a feszültséghez, a felületi nyomaték, azaz a megoszló nyomaték egy

$$\int_S \mu dF = \mathbf{M}$$

típusú összefüggéssel lenne értelmezhető. Ehhez az szükséges, hogy megmutassuk, hogy létezik olyan μ függvény, amely egy pontban nyomatékként értelmezhető. Mivel a nyomaték származtatott mennyiség, mint két vektor – erő és az erő karjának – vektoriális szorzata, azaz bivektor, ezért felületen megoszló, folytonos nyomaték nem értelmezhető. (Megmutatható, hogy görbe mentén értelmezhető folytonos, megoszló nyomaték.)

Kvázikontinuum – diszkrét, periódikus rendszer – esetén több elem dinamikai szabadságfokait csoportosítva megmutatható, hogy a nyomatékhoz hasonló szabadságfok értelmezhető. A kvázikontinuum leírásra használatos folytonos apparátus szerint az így értelmezett belső, dinamikai szabadságfok folytonos, de annak a rendszer szempontjából értelmes értékkészlete diszkrét. Megmutatható az is, hogy a nyomatéknál „összetettebb” „folytonos” belső erő is értelmezhető a kvázikontinuumban a dinamikai szabadságfokok csoportosításával, de az egyensúlyra vonatkozóan továbbra is csak két vektoregyenlet írható fel. Ugyanis a Newtoni mechanikában általánosított erőkre (mozgás-) egyensúlyi egyenlet nem értelmezett.

A BAMBUSZ SZÁRÁNAK MECHANIKAI VIZSGÁLATA

Lengyel András

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: lengyel@eik.bme.hu

Az építőipar ma is sokféle természetes anyagot használ, ezek egy része növényi eredetű. Közülük talán a legismertebb és leggyakrabban használt a fa, a világ más tájain másfajta növények kerülnek előtérbe, többek között a bambusz. Dél-Kelet-Ázsiában, Dél-Amerikában, Afrikában, de általában a trópusi éghajlatú területeken nagy mennyiségben áll rendelkezésre és régóta részét képezi a helyi építészetnek.

A tudományos célú kutatás azonban nemcsak az építőanyagokat vizsgálja, pl. [1-2], hanem a növények mint élő szervezetek felépítésének mechanikai és egyéb kérdéseivel is foglalkozik. E tanulmány a trópusokon honos fás bambuszokat vizsgálja, konkrétan hogy a bambusz szárának milyen elméleti mechanikai vonatkozásai lehetnek érdekesek egy mérnök számára. Sok bambuszfaj szára a jól ismert szárcsomókkal tagolt, üreges hengeres szerkezetet mutat. Felmerül a kérdés, vajon ez a felépítés pusztán a biológiai működés szempontjából fontos, vagy az élő növény szerkezeti teherviselésében is fontos szerepet játszik? A tanulmányban a szár geometriai, műszaki paramétereinek (átmérő, falvastagság, szárköz-hossz, anyagjellemzők, szilárdság, anyagi összetétel, stb.) a teherviselésre gyakorolt hatását vizsgáljuk.

A probléma megközelítéséhez a bambusz szárának matematikai-mechanikai modelljét kell megalkotni. A szárat szakaszokra osztjuk, melyet szabályos hengeres héjszerkezetnek tekintünk, melyet merev diafragma-szerű szárcsomók határolnak. A szár komplex anyagi felépítését transzverzálisan izotróp anyagmodellel helyettesítjük. Egy szárköz vizsgálatához a megtámasztásokat a szárcsomókon definiáljuk és a terheket is ezekre redukálva adjuk meg. A modell az elmozdulások másodrendű hatását is figyelembe veszi, mely a stabilitás vizsgálatához szükséges.

Az analitikus összefüggések numerikus kiértékelésére saját számítógépes program készült, mely lehetővé teszi a geometriai és műszaki paraméterek szabad felvételét. Adott paraméterek és terhelés felvétele mellett a program a szerkezet egyensúlyi helyzetét keresi numerikus iterációval. Az iteráció célja a szerkezet teljes potenciális energiafüggvénye minimumának közelítő számítása. A sokféle kezdőértékkel végrehajtott futtatások eredményeként kirajzolódik az egyes paramétereknek a bambusz mechanikai viselkedésre gyakorolt hatása [3].

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetét fejezi ki az OTKA 046846 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. J.J.A. Janssen, *Bamboo in building structures*. Doktori disszertáció, Eindhoveni Egyetem, Hollandia, 1981.
2. O.A. Arce-Villalobos, *Fundamentals of the design of bamboo structures*. Doktori disszertáció, Eindhoveni Egyetem, Hollandia, 1993.
3. Pintér Erika, *A bambusz szárának mechanikai vizsgálata*. TDK-dolgozat, BME, 2006. nov. 17.

MIT VÁLTOZTATHAT A TARTÓSZERKEZETEK MECHANIKAI VIZSGÁLATÁN A VÁRHATÓ ÉGHAJLAT VÁLTOZÁS

Lenkei Péter

Pécsi Tudományegyetem, PMMK, Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tanszék

Az éghajlatváltozás mára túlzott média nyilvánosságot kapott, sok hazai jelenség is erre utal. Azonban ez – a VAHAVA project ellenére – nem jelentette, hogy több szakterületen komoly felkészülési folyamat indult volna.

Az épület és műtárgy tartószerkezetekkel foglalkozó terület (kutatás, tervezés, kivitelezés) hátrányos helyzetben van, mert alapvetően – az egyébként igen fontos – épület hőtechnikai problémák vannak csak reflektor fényben.

Ugyanakkor egyértelmű, hogy egy esetleges komoly éghajlat változásnak több tekintetben is “szenvedő” alanyai lehetnek az épület tartószerkezetek.

Az egyik nagy probléma a tartószerkezetek tartóssága (élettartama) és az ezzel kapcsolatos intézkedések. Ezzel a kérdés csoporttal csak vázlatosan kíván az előadás foglalkozni.

Az előadás a fő hangsúlyt a másik nagy problémára, a tartószerkezetek mechanikai vizsgálatának várható változásaira kívánja fordítani.

A kérdés az, hogy milyen változást hozhat a várható éghajlat változás a tartószerkezetek mechanikai viselkedésében.

Változhat az anyag mechanikai modell abban az értelemben, hogy a gyakori jelentős hőmérséklet változás párosulva a magas hőmérsékleti maximumokkal fáradási jelenségekhez és anyagszerkezeti változásokhoz vezethet.

A meteorológiai terhek területén azonban a legfontosabb változások várhatóan a szél hatása területén következhetnek be.

Az első és legfontosabb az, hogy a szélhőkeések maximális sebessége várhatóan meg fogja haladni a hazai, az európai és az amerikai előírásokban a szokásos esetekre vonatkozó 50 évente egyszer előforduló 120 km/óra (33 m/sec) értéket.

A maximumok gyakoriságának növekedése is várható, ami természetesen az előírt érték további növekedéséhez vezethet. Értelemszerűen várható a szél dinamikus hatásának növekedése, a magassági szélprofil változása, a szélviharok jellegének változása, nevezetesen az örvény leválások intenzívebbé válása. Kérdéses lehet továbbá, hogy a 10 perces átlag helyett figyelembe kell-e venni a 2 másodperces kiugró szélhőkeések értékeit. A rövididejű szélhőkeések sebessége ugyanis a domborzati viszonyoktól is függ és ez az érték több mint kétszerese is lehet egy hosszabb idejű átlagos értéknek. Természetesen ebben az esetben a szerkezeti anyagoknál egyrészt figyelembe lehet venni a gyors dinamikus hatásoknál meghatározott nagyobb szilárdsági értékeket ill. másrészt a gyakori ismétlődések miatt a fáradási jelenségeket.

A fentiek a magas épületeknél ill. az épületek tetején lévő szerkezeteknél (antennák, hirdető táblák, fényreklámok) nem elhanyagolható jelenségek. Külön kell vizsgálni a magas műtárgyakat és az azokról kinyúló szerelvényeket. Ilyenek például a távvezeték oszlopok, a toronydaruk.

Az előadás ki fog térni a szükségesnek látszó meteorológiai és tartószerkezeti kutatásokra és az ajánlható szabályozási válaszokra és módszerekre. A feladatok egy részét egy most elnyert OTKA kutatási pályázat keretében fogjuk az ELTE Meteorológiai tanszékével közösen vizsgálni.

Az új épületeknél az előírások esetleges szükségessé váló változtatása biztosíthatja a megkövetelt biztonságot. A meglévő épületeknél a helyzet bonyolultabb. Azonban problémát jelenthet ezek tartószerkezeteinek viselkedése egy, a jelenlegi előírásoknál nagyobb szélesebesség esetén. Itt a várható szélesebesség növekedése miatt esetleg szükségessé váló beavatkozások kérdése merülhet fel.

További problémát jelenthet az épületek kiálló szerkezeteinek (elötetők, árnyékolók) teherbírása, a nyílászárók és függönyfalak felerősítése, a magas tetők tartóelemeinek és fedéseinek viharállósága.

Ezeknél a kérdéseknél az optimális biztonságot valószínűség elméleti megközelítéssel kell meghatározni.

Veszélyesek lehetnek az emberekre és az épületekre, valamint a járművekre a nagy és dús lombú fák, főleg ha lejtős talajon gyökereik alámosottak. Ez történt intézményünk parkjában egy értékes fenyő fajtával. Itt lehet megemlíteni, hogy az új villa tulajdonosok többsége sajnos nem vette/veszi figyelembe, hogy az adott terepen milyen veszélyt jelenthet egy olyan csemete elültetése, amelyből 20-30 év múlva az épületnél kétszer-háromszor magasabb instabil faóriás nőhet. Továbbá arról sem szabad elfelejtkezni, hogy egy egészben vagy darabokban felkapott tető milyen károkat tud okozni. Ezekre az utóbbi időben Magyarországon is sok példa volt.

Végezetül hangsúlyozni kell, hogy a szakma komoly felelőssége és egyben lehetősége a várható éghajlat változás kihívásaira időben kidolgozni a szükséges válaszokat és azokat alkalmazni az új épületeknél és műtárgyaknál.

A SZÁRAZ HOMOKOK SÚRÚSÉGE A SZEMELOSZLÁS FÜGGVÉNYÉBEN

Lőrincz János¹, ImreEmőke², Trang Phong², Pusztai József², Puchard Zoltán³

²BME Geotechnikai Tanszék, ³ColasHungaria Budapest

E-mail: imreemok@gmail.com

A klasszikus szemeloszlási görbe jellemzők (pl. mértékadó szemcseátmérő d_m , egyenlőtlenségi mutató U) a szemeloszlási görbe néhány pontjához kapcsolódik csupán, míg a szemeloszlási entrópia az egész görbe jellemzőit magában foglalja. Így nem meglepő, hogy számos, szemeloszláson alapuló szabály állítható fel/módosítható a szemeloszlási entrópia alapján. Eddig a következő területeken születtek eredmények:

- a vázszerkezet stabilitása (szemcsemozgási kritériumok),
- szemcsehalmozatok szétosztályozódása
- szűrőszabályok,
- száraz térfogatsűrűség a leglazább állapotban,
- a víztartási görbe és a szemeloszlási görbe közötti kapcsolat
- a kötött talajok esetén alkalmazott mésszel való módosítás sikerességének megértése,
- a diszperzív jelleg, buzgárosodásra való hajlam megértése.

Bármely szemeloszlási görbe egy ponttal jellemezhető a két entrópia koordináta függvényében [1]-[5]. Az egyik a frakciók keveredéséből származó hatást írja le, a másik pedig a frakciókhoz tartozó statisztikai cellák eltérő méretéből származik.

$$S = S_0 + \Delta S \quad (1)$$

ahol S_0 az alapentrópia és ΔS az entrópia növekmény:

$$S_0 = \sum_{k=1}^N x_k S_{ok} \quad (2)$$

$$\Delta S = -\frac{1}{\ln 2} \sum_{i=1}^N x_i \ln x_i, \quad x_i > 0 \quad (3)$$

és x_i ($i = 1..N$) a frakciók relatív gyakorisága, S_{ok} a frakciók saját entrópiája, N a frakciók száma a legfinomabb és legdurvább között.

E pontok egy körlátos és zárt tartományban helyezkednek el. Ez a diagram igen hasznos a szemeloszlás és egyes talajjellemzők kapcsolatának elemzése szempontjából. Ennek egyik oka, hogy a szemeloszlási entrópia az egész szemeloszlási görbe jellemzőit magában foglalja, ugyanakkor a két dimenziós térben ábrázolható.

E kutatás során azt vizsgáltuk, hogy "optimális" keverékek leglazább állapotban vett tömörsége ($e_{\max}$ kísérlet eredménye) hogyan helyezkedik el az entrópia koordináta-rendszerben. Az első eredmények szerint szabályos görbesereg írja le a tömörségi állapotot: az entrópia diagramban közel párhuzamos egyenesek jellemzik az "optimális" keverékek leglazább állapotban vett térfogatsűrűségét.

HIVATKOZÁSOK

1. Lőrincz, J (1986). "Grading entropy of soils" Doctoral Thesis, Technical Sciences, TU of Budapest.
2. Lőrincz, J (1990). "Relationship between grading entropy and dry bulk density of granular soils" *Periodica Polytechnica* 34:3:255-265.
3. Lőrincz, J (1993a). "On granular filters with the help of grading entropy" *Proc. of Conf. on Filters in Geotechnical and Hydr. Eng.* Brauns, Heibaum, Schuler, BALKEMA, 67-69.
4. Lőrincz, J (1993b). "On particle migration with the help of grading entropy" *Proc. of Conf. on Filters in Geotechnical and Hydr. Eng.* Brauns, Heibaum, Schuler, BALKEMA, 63-65.
5. Lőrincz, J; Imre, E; Gálos, M; Trang, Q.P; Telekes, G; Rajkai, K; Fityus, I. (2005) Grading entropy variation due to soil crushing. *Int. Journ. of Geomechanics*. Vol 5. Number 4. p. 311-320.

A MECHANIKA OKTATÁSÁNAK SAJÁTÓSÁGAI -SAPIENTIA ERDÉLYI MAGYAR TUDOMÁNYEGYETEM-

Máté Márton, Száva János

Sapientia Egyetem, Marosvásárhely, Gépészeti Tanszék

E-mail: marci1962@freemail.hu, mmate@ms.sapientia.ro, janoska@clicknet.ro

A szerzők bemutatják a Sapientia Marosvásárhely-i Karán, a Mechatronika szakon folytatott Mechanika oktatás sajátosságait.

Ellentétben a Magyarországon használt „Mechanika” fogalommal, a romániai oktatási rendszerben megkülönböztetünk Mechanika, Szilárdságtan, illetve Lengéstan tárgyakat.

Az első (Mechanika) magába foglalja a klasszikus Statikát, Kinematikát, illetve részeit a Kinetikának, s ezt első év második félévében oktatják heti 3 óra előadás és heti 2 óra szeminárium erejéig.

A Mechanika vizsga megfelel az anyaországi szigorlatnak és előfeltétele annak, hogy a második év első félévében oktatott Szilárdságtan vizsgára jelentkezessen az illető diák.

A Szilárdságtanra heti 4 óra előadás, 2 óra szeminárium és 1 óra laboratórium jut (egy féléven keresztül).

A Lengéstan oktatása (az idén bevezetett Bologna-i „folyamat” előtt) második év második félévében történt, heti 2 óra előadás, 1 óra szeminárium és 1 óra laboratórium formájában, s szintén vizsgával zárult; de most sajnos, ez kiesett. Talán a leendő mester-képzésben ismét helyet fog kapni.

Sajnos, a Mechanika Kísérleti Módszereinek oktatására a jelen tantervben nincs lehetőség (időszükében), de a diákok érdeklődését úgy a Szilárdságtan, mind pedig a Lengéstan oktatása alatt felkeltjük.

Utána pedig, úgy a TDK-dolgozatok, mind pedig a diploma-dolgozatok keretében legalább egy-egy módszer elsajátítását szorgalmazzuk. Ugyanakkor, a diploma-dolgozatok jellege megköveteli azt, hogy az illető végzős legalább egy mérés technikát elsajátítson és ennek mérési eredményeit szervesen beleépítse a leendő diploma-dolgozatába.

E tantárgyak mindegyike 5-6 kredit-pontnak felel meg, tehát a súlyuk megfelelően nagy a többi tantárgyhoz képest.

A Kar Vezetősége tisztában van e tantárgyak fontosságával és a lehetőségekhez képest mindent megtesz ennek érdekében.

A MOHR-on bemutatásra kerülő dolgozatban részletesen bemutatjuk úgy a tantervünk sajátosságait, kredit-rendszerét, valamint az évek során elért eredményeinket is.

Nem elhanyagolható az a tény sem, hogy a Kar célja a minőségi oktatás s a végzőseink eredményeivel ezt alá is fogjuk támasztani.

Mivel a Sapientia valamennyi szakján akkreditációs tevékenység zajlik, ezért állami egyetemekről neveznek ki vizsgáztató bizottságokat az államvizsgázóknak.

Szándékunkban áll az itt elért eredményeket is bemutatni s állami egyetemek hasonló szakjaival ezeket összehasonlítani.

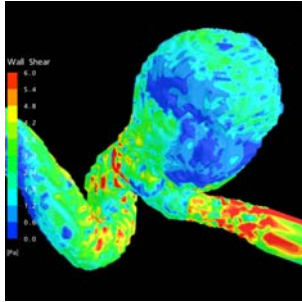
Ugyanakkor, szeretnénk az Anyaországi szaktekintélyek tapasztalatából is meríteni oktatói tevékenységünk további javításának érdekében.

AGYI ANEURIZMA NUMERIKUS VIZSGÁLATA

Nasztanovics Ferenc, Bojtár Imre

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: naszta@mail.bme.hu, ibojtar@mail.bme.hu



Kutatásunk célja egy olyan programrendszer létrehozása volt, amely az orvosi képalkotó rendszerek által előállított háromdimenziós pontfelhőkből kapcsolt végeselemes eljárás számára használható térbeli hálózatokat hozunk létre automatikusan, valódi érgeometriák figyelembevételével. Az így elkészült modelleket kapcsolt feladatként vizsgáljuk, vagyis az áramlástani feladatnál figyelembe vesszük a rugalmas érfal elmozdulásait:

- Elsőként az áramlástani futtatást végezzük el, ennek megoldására a valódi vérnyomásnak megfelelő bemeneti adatokat használjuk, a számítás eredményeiként kapott nyíró és nyomófeszültségek a kapcsolt vizsgálat másik lépésénél az érfal teherfüggvényei lesznek.
- Az érfal szilárdságtani megoldását az áramlástani futtatás után számítjuk. Az analízis során felhasználjuk az érfal laboratóriumi méréseink alapján számított anyagi paramétereit és a valós környezetnek megfelelő peremfeltételeit. A fal nagy alakváltozásait figyelembe vevő új geometriát automatikusan visszahelyettesítjük az áramlástani vizsgálat következő iterációs lépéséhez.

Az analízis eredményei jól jellemzik a keringés hatására az érfalban kialakuló feszültségeket és alakváltozásokat. Szimulációink távlati célja beteg érszakaszok (jelen esetben például agyi aneurizmák) repedési feltételeinek előrejelzése lesz.

Modellünk főbb lépései a megoldáshoz:

Adatbeolvasás egy angiográf berendezés adataiból,
3D végeselemes hálózatok építése a 3D-s pontfelhőből,
Áramlástani vizsgálat a véráram modellen,
Szilárdságtani vizsgálat az érfal modellen az áramlástani eredményekből,
Az előző két pont ciklikusan egymásba illesztett vizsgálata,

HIVATKOZÁSOK

1. Fonyó, A.: *Az orvosi élettan tankönyve*, Medicina, Budapest, 1999
2. Mónos, E.: *Hemodinamika: a vérkeringés dinamikája*, SE egyetemi jegyzet, Budapest, 2001
3. Zienkiewicz & Taylor: *The finite element method*, Fifth edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2000
4. Bojtár, I. – Gáspár, Zs.: *Végeselem módszer építőmérnököknek*, Terc, Budapest, 2003
5. Holzapfel, G. A.: *Nonlinear solid mechanics*, John Wiley & Sons, Chichester, 2001
6. Fung, Y. C.: *Biomechanics: Mechanical properties of living tissues*, Springer, New York, 1993
7. Fung, Y. C.: *Biomechanics: Circulation*, Springer, New York, 1997
8. Stroustrup, B.: *The C++ Programming Language Special Edition*, AT&T, 2000
9. Meyers, S.: *Effective C++*, Third edition, Addison-Wesley, New York, 2005

Légrugó végeselemes analízise

Nándori Frigyes*, Szabó Tamás** és Baksa Attila*

*: Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

** : Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék, Győr

E-mail: mechnf@uni-miskolc.hu

Napjaink széles körben felhasznált járműipari alkatrésze a légrugó. A rugalmas elem anyaga szálerősített gumi kompozit, amely két ellentétes orientációjú betétből és gumirétegből áll. A légrugó legfontosabb jellemzője – a karakterisztikája – belsőnyomással könnyen vezérelhető a kívánt célnak megfelelően.

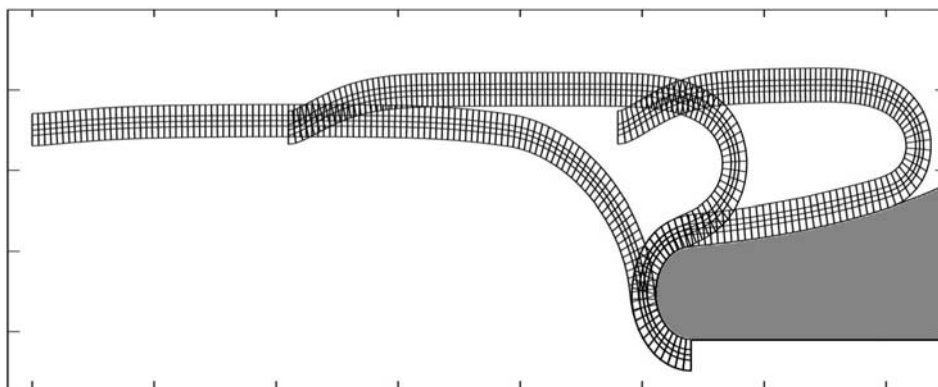
Az előadás egy légrugó tengelyszimmetrikus végelem vizsgálatát mutatja be. Mivel a gumikompozit elmozdulása és alakváltozása is nagy, továbbá a gumi, mint térfogatállandó anyag nemlineárisan viselkedik, ezért a feladat mechanikai szempontból erősen nemlineáris [1]. A szerkezet működéséből adódóan a megoldandó feladat egy egyoldalú érintkezés, mely még kis elmozdulások esetén is nemlineáris. Ezt tovább nehezíti az, hogy a kialakuló érintkezési tartomány mérete a terhelés hatására nagymértékben változik.

A működés során fellépő sűrűlődtől és kopástól eltekintünk. A kifejlesztett célprogrammal tengelyszimmetrikus geometriai- és szerkezeti kialakítású légrugók szilárdsági analízise végezhető el. A vizsgálat során, meghatározásra kerül a légrugó karakterisztikája, valamint az érintkezési nyomás függvény a különböző tervezési paraméterek figyelembevételével. A légrugó numerikus elemzésével kapott adatokra támaszkodva a tervező mérnök nyomon követheti a szerkezeti változtatások hatását, illetve a módosításokkal elérheti a kívánalmaknak legjobban megfelelő karakterisztikát.

A kifejlesztett programban a gumi tartomány alakváltozási energiáját a *Hu-Washizu-féle* funkcionállal [1], míg a szálerősített réteg alakváltozási energiáját az alkotók térfogatarányának megfelelő *Hooke-féle* test alapján írjuk le, mellyel a következő *Hu-Washizu-féle* funkcionált kapjuk:

$$\Pi(\mathbf{u}, \bar{J}, \bar{p}) = \beta \left\{ \int_V W(\mathbf{C}) dV + \int_V U(\bar{J}) dV + \int_V \bar{p}(J - \bar{J}) dV \right\} + (1 - \beta) \int_V \mathbf{E} \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{E} dV - \int_A p \mathbf{n} \cdot \mathbf{u} dA$$

ahol $\bar{J}$, $\bar{p}$ rendre a független mezővel közelített fajlagos térfogatváltozás és hidrosztatikus nyomás, $\beta = 0, 1$ a betét, illetve a gumi tartományra utal, W a *Mooney-Rivlin-féle* energia alakváltozási energia sűrűség, U a térfogat állandóságot biztosító büntető függvény [2], $\mathbf{D}$ az anyagállandók mátrixa, p az $\mathbf{n}$ normálisú felület nyomása, $\mathbf{C}$ az alakváltozási tenzor.



1. ábra. A vizsgált légrugó három terhelési helyzetben

Köszönetnyilvánítás: A kutatási munka az OTKA T049115 projekt támogatásával készült.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Bone, J., Wood, R. D.: *Nonlinear continuum mechanics for finite element analysis*. Cambridge University Press, 1997.
- [2] Hartmann, S. Neff, P.: Polyconvexity of generalized polynomial-type hyper elastic strain energy functions for nearly incompressibility. *International Journal for Solids and Structures*, 2003/40, pp. 2767-2791.

GERINC-SZEGMENTUM NUMERIKUS VIZSGÁLATA NEMSÍMA ANYAG ÉS KAPCSOLAT ESETÉN

Nédli Péter, Kurutzné Kovács Márta

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: nedli@ep-mech.me.bme.hu

A vizsgálat célja egy olyan viszonylag egyszerű síkbeli végeselemes modell kialakítása, amely lehetővé teszi gerinc-szegmentum mechanikai viselkedésének numerikus szimulációját [1] a normális fiziológiai és a különböző terápiás igénybevételi állapotok esetében. A modell alkalmazásával parametrikus vizsgálatokat végeztünk és elemeztük a szegmentum alkotóelemei szilárdsági és kapcsolati tulajdonságainak az egész szegmentum viselkedésére gyakorolt hatását.

A síkbeli modell választását az indokolja, hogy a vizsgálat elsősorban a nemsíma anyagi és kapcsolati tulajdonságok figyelembevételére irányul és ezt jobb először egy egyszerűbb síkbeli modellen vizsgálni. Az anyagi nemsíma jelleget egyrészt a gerinc-szalagok képviselik, amelyek csak húzásra dolgoznak, másrészt a porckorongot alkotó ferde anizotrop rétegek, amelyek bizonyos igénybevételnél csak részlegesen dolgoznak. Ugyancsak nemsíma hatás a porckorong eltérő viselkedése húzásra ill. és nyomásra. A kapcsolati nemsíma jelleget elsősorban a kisizületeknél fellépő egyoldalú érintkezés, valamint a csigolyatest és a szalagok, továbbá a csigolyatest és a porckorong közötti teljes vagy részleges tapadás, illetve szabad érintkezés jelenti.

A gerinc-szegmentum szimmetrikus szerkezet, így a geometriai modell a gerinc-szegmentum szimmetria síkjának metszetét veszi alapul. A modell geometriáját egy átlagos szegmentumon végzett mérések alapján vettük fel. Az egyes alkotórészek mechanikai tulajdonságait egyrészt az irodalomban közölt [2] eredmények, másrészt a saját mérési eredményeink alapján [3] vettük fel.

A számításokhoz a FEMLAB-MATLAB programrendszert alkalmaztuk. FEMLAB segítségével építhető fel a végeselem model. Az így előállított adatokat (csomópontok, elemek, kapcsolat, merevségi mátrix) áttettük a MATLAB-ba. Ezután MATLAB-ban egyenlőtlenségi feltételek bevezetésével modelleztük a nemsíma anyagot és az érintkezési problémát. A nemsíma mechanikai feladatot a MATLAB optimalizálási modullal oldottuk meg. Végül az eredmények megjelenítésére és utófeldolgozás céljából a FEMLAB-ot használtuk.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T-045755 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Kurutz, M., Nédli, P.: *Application of nonsmooth mechanics in structural problems and biomechanics*, In: *Nonsmooth /Nonconvex Mechanics with Applications in Engineering, A volume dedicated to the memory of Professor P.D. Panagiotopoulos*, Ed: C. C. Baniotopoulos, Editions ZITI, Thessaloniki, ISBN: 960-243-623-9, 550p, pp. 245-252, 2006.
2. Antosik, T., Awrejcewicz, J.: *Numerical and experimental analysis of biomechanics of three lumbar vertebrae*, *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3, 37, 1999.
3. Kurutz, M., Bene, É., Lovas, A.: *In vivo deformability of human lumbar spine segments in pure centric tension, measured during traction bath therapy*, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, 5(1), 67-92, 2003.

TENZORKÖRÖK ÉS POLÁRGÖRBÉK ALKALMAZÁSA VASBETON LEMEZEK ÉS HÉJAK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSÉNÉL

Dr. Németh Ferenc

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

Adott a vasbeton lemez valamely pontjában az m_x , m_y és m_{xy} igénybevételi nyomaték. Célunk a lemezvasalás optimális megtervezése, a ξ és η irányú acélbetétek $\bar{m}_\xi$ és $\bar{m}_\eta$ méretezési nyomatékainak meghatározása úgy, hogy $\bar{m}_\xi + \bar{m}_\eta = \min!$ legyen.

A három nyomatéki adat egyértelműen megadja a pontban uralkodó nyomatéki állapotot, amely tenzor mennyiség. Ennek lényeges tulajdonsága, hogy a koordináta tengelyek elforgatásával – ismert transzformációs képletekkel – bármilyen irányú metszetben meghatározhatók a hajlító és csavaró nyomatékok. Ismeretes az is, hogy a nyomatéki tenzornak főirányai és m_1 , m_2 főnyomatékai vannak.

A Mechanikában több, más tenzor-mennyiség is van, és ezek ábrázolása is jól ismert. Minden mérnök ismeri a Mohr-féle tenzorkörös ábrázolást, a főirányok és főfeszültségek megszerkesztését, ahol $\sigma - \tau$ koordináta-rendszert alkalmazunk.

Most egy másféle tenzorkörös ábrázolást tárgyalunk. A nyomatéki tenzorkört a lemez síkjában, az x , y koordináta-tengelyeket használva építjük föl, és éppen ebből származik ennek a körnek az előnye.

A vasbeton lemezek méretezésénél megkülönböztetünk igénybevételi-, törő- és tartaléki nyomaték-tenzorokat. Az optimális méretezés két tételen alapszik: 1) a Gvorgyev-féle törési feltételen: $\tilde{m}_2 \geq 0$, és 2) egy optimum-feltételen: $\tilde{m}_1 = \min!$ E feltételek itt a tartaléktenzor főnyomatékaival vannak kifejezve.

Az optimális méretezést először a nyomatéki tenzorkör felhasználásával sikerült megoldani, majd a szerkesztéses megoldásból képleteket vezettem le, mindezt általános, ferde szögű vasalás esetére. (Az optimális méretezés képleteit később algebrai úton, szélsőérték-számítással is levezettem).

A tenzorkörös szerkesztés mellett a hajlító-nyomatékok polárgörbéje szemléletes ellenőrzésre ad lehetőséget.

A bemutatott képletek membránhéjak vasalásának méretezésére is alkalmasak, amikor is az m_i nyomatékok helyett n_i membránerőket kell venni.

Hajlított héjak esetében is alkalmazhatók az optimális méretezés képletei (és a tenzorkörös szerkesztések is). Ilyenkor általában az alsó és a felső rétegben is szükség van acélbetétekre, amelyek méretezését az alsó, illetve felső rétegben működő membránerőkre kell elvégezni.

NYÍRÁSMENTES RÚD STABILITÁSI INDEXÉNEK SZÁMÍTÁSA

Németh Róbert

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: nemeth.robert@gmx.net

Hiperelasztikus rúdmodelleket széleskörűen alkalmaznak napjaink kutatásaiban a legkülönbözőbb méretű hosszú "szerkezetek" vizsgálatára, legyen szó molekulalánccokról, vagy tengeralatti kábelekről (lásd [1, 5, 4]). A tipikus feladat az egyensúlyi út meghatározása a rúd alakját leíró paraméterek függvényében. A különböző igénybevételekhez tartozó merevségek közötti nagyságrendi eltérések miatt egyes alakváltozások hatását elhanyagolják. Leggyakrabban a rugalmas rúd egyenletrendszerét a nyíróerők okozta alakváltozások elhanyagolását kifejező kényszerrel egészítik ki, bár gyakori a normálerők okozta kényszer beépítése is. Az így kapott rendszer megoldására változatos matematikai eszköztár áll rendelkezésre. Ezek között vannak útkövetésen és letapogatáson alapuló eljárások is. Az egyensúlyi állapotok ismeretében szokásos kérdés egy kiválasztott megoldás stabilitása, továbbá instabil szerkezetnél a lineárisan független kihajlási alakok száma. Utóbbi jellemzésére használjuk a stabilitási indexet, ami stabil szerkezetnél nulla, instabil esetben pedig a stabil helyzettől való "távolság" mérésére alkalmas egész szám. Ezen túlmenően a szerkezet kritikus állapotban is lehet, amit az invariáns megoldások számával jellemezhetünk. Előadásunkban egy általános módszert mutatunk be, ami a fenti két mennyiséget numerikusan meghatározza.

Általános rudak geometriailag egzakt számításához alkalmazható végeelem-modellet Simo és Vu-Quoc mutatott be [3]. A szerkezet merevségi mátrixának sajátérték-analízise a célunknak megfelelő eljárás, de az általuk használt modell véges nyírási merevséget alkalmaz, ami az egyensúlyi út számításakor használt modellel nem azonos, vagyis csak közelítő eredményt szolgáltat. Tobias és tsai. [5] nyírási- és normáalakváltozások elhanyagolásával számított, kör keresztmetszetű rudak stabilitásvizsgálatát vezették le. Hoffman és tsai. [2] a stabilitási indexet a konjugált pontok darabszámának kiszámításával határozták meg nyírási- és normáalakváltozások elhanyagolásával számított rudaknál. E módszer ugyan kiterjeszthető a csak nyírási alakváltozások elhanyagolásával kapott bonyolultabb anyagmodellekre, az eljárás azonban nem képes kezelni az invariáns megoldásokat. Ha tehát valamilyen folytonos szimmetriatulajdonsága van a feladatnak, akkor azt előre tudnunk kell, és annak megfelelően módosítanunk az eljárást. Az általunk keresett eljárástól azt követeljük meg, hogy minden előzetes ismeret nélkül megadja egy kiválasztott rúdalak stabilitási indexét és az invariáns megoldások számát.

A bemutatásra kerülő eljárás Simo módszerén alapul, kiegészítve azt a nyírásmertesség kényszerével. Az ezt figyelembe vevő, geometriailag egzakt végeelemes modellel meghatározzuk a rúd teljes érintő merevségi mátrixát az aktuális pontban. A merevségi mátrix negatív, illetve zérus sajátértékeinek a darabszáma a keresett stabilitási index, illetve az invariáns megoldások száma. A teljes sajátérték-analízis helyett elég azok előjelét megtudnunk, ezért a számítási igény jelentősen csökkenthető, ha a merevségi mátrix LDL^T felbontását végezzük el. A D diagonálmátrix negatív elemeinek a száma ugyanis a merevségi mátrix negatív sajátértékeinek a számával egyenlő. Mivel ez a felbontás zérus sajátértékek esetén nem végezhető el, célszerű a merevségi mátrixot az egységmátrix (numerikusan kicsiny) ϵ -szorosának hozzáadásával és kivonásával módosítani majd a módosított mátrixokat felbontani. Az első eset diagonálmátrixában a negatív elemek száma lesz a stabilitási index, a kivonással kapott mátrixból származó diagonálmátrix negatív elemeinek száma a stabilitási index és az invariáns megoldások számának összegével lesz egyenlő.

Az előadásban befogott-befogott hemitropikus rúd, anizotróp csavart rúd és kezdeti görbülettel rendelkező rúd vizsgálatáról mutatunk be numerikus eredményeket.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Henderson, M. E. és Neukirch, S.: *Classification of the Spatial Equilibria of the Clamped Elastica: Numerical Continuation of the Solution Set*. Int. J. of Bifurcation and Chaos, 14(4):1223–1239, 2004.
- [2] Hoffman, K. A., Manning, R. S. és Paffenroth, R. C.: *Calculation of the Stability Index in Parameter-Dependent Calculus of Variations Problems: Buckling of a Twisted Elastic Strut*. SIAM J. Applied Dynamical Systems, 1(1):115–145, 2002.
- [3] Simo, J. C. és Vu-Quoc, L.: *A Three-Dimensional Finite-Strain Rod Model. Part II: Computational Aspects*. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, (58):79–116, 1986.
- [4] Thompson, J. M. T., van der Heijden, G. H. M. és Neukirch, S.: *Super-Coiling of DNA-Plasmids: the Generalised Ply*. Proc. R. Soc. Lond. A, (458):959–985, 2001.
- [5] Tobias, I., Swigon, D., és Coleman, B. D.: *Elastic Stability of DNA Configurations. I. General Theory*. Phys. Rev. E, (61):747–758, 2000.

SZEMCSÉS ANYAGOK SILÓKBÓL VALÓ KIFOLYÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Oldal István

Szent István Egyetem, Mechanikai és Géptani Intézet

E-mail: Oldal.Istvan@gek.szie.hu

Szemcsés anyagok tárolására gyakorlatban bevált megoldás a silók alkalmazása. A silóban való tárolást a halmaz folyadékszerű viselkedése teszi lehetővé, azaz betöltéskor a silót kitölti, és ürítéskor – a jól megtervezett tárolóból – kifolyik. Ha segédberendezés nélkül folyik ki, akkor gravitációs ürítésű silóról beszélünk. Vizsgálataim tárgya a kifolyás mennyiségi jellemzője, a kifolyási tömegáram meghatározása gravitációs ürítéskor.

Céлом egy **gyakorlatban használható kifolyási modell** megalkotása volt. Kutatásaim során a kifolyásra egy elméleti modellt alkottam, amely a kifolyás közben fellépő boltozódás jelenségén alapul. Ezt a hipotézist – a kifolyás közbeni boltozódást – kísérletekkel igazoltam. A következő lépésben ezeknek a boltozatoknak az alakját vizsgáltam elméleti és kísérleti úton. Ennek eredményét használtam a kifolyási sebesség, majd a kifolyási tömegáram elméleti meghatározásánál. Ezután silómodelleken hajtottam végre kísérletsorozatokat, amelyek értékelése után a modellem alkalmazhatóságát, és annak érvényességi tartományát meghatároztam.

A munkám eredményeit négy pontban foglaltam össze:

1. Szemcsés halmazok silóból való **kifolyása** nem más, mint **instabil boltozatok** keletkezésének és összeomlásának **sorozata**.
 - a. A kifolyási **tömegáram** anyagmagasságtól való **függetlensége** az első az instabil boltozatokkal elméletileg **igazolható**.
2. A **boltozatok alakja** másodfokú függvénnyel közelíthető.
3. A keresztmetszet mentén a kifolyási **sebességeloszlás** nem állandó, a következő függvény írja le:

$$v(x, \varphi) = \sqrt{2g\delta d} \sqrt{1 - \left(\frac{2x}{d}\right)^2}$$

4. A siló kifolyási **tömegáramát** a következő összefüggéssel lehet számítani:

$$W = \frac{\pi\sqrt{2g}}{6} \sqrt{\delta} \cdot \rho \cdot (d - d_p)^{\frac{5}{2}}$$

A modell tölcserés áramlási mód esetén tisztán elméleti, térfogati áramlásra empirikus megoldást ad.

BOLTOZOTT HIDAK BIZTONSÁGÁNAK MEGÍTÉLÉSE

Orbán Zoltán

PTE PMMK, Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tanszék

E-mail: orbanz@pmmf.pmf.hu

A téglá és kőanyagú boltozott hidak jelentős részét képezik a hazai és az európai vasúti hídállománynak [1]. Az európai vasúti hálózat kölcsönös átjárhatóságának elősegítése szempontjából kiemelkedő jelentősége van annak, hogy a régi, boltozat kialakítású hídjaink biztonságát a vonatkozó európai normák szerint ellenőrizzük és biztosítsuk.

A boltozott hidak állapotának és biztonságának megbízható ismerete kulcsfontosságú a hídgazdálkodás számára mivel a felújítások ütemezése mellett lehetőséget biztosít az optimális megerősítési megoldások és stratégiák kialakítására [2].

A számítási módszerek finomodásával egyre pontosabban tudjuk megállapítani azt, hogy melyek azok a szerkezeti- és anyagjellemzők, amelyek különös jelentőséggel bírnak a boltozatok teherbírása és használati teher alatti viselkedése szempontjából. Ez esetenként változó lehet, nagymértékben függ a boltozat alakjától, az áthidalt fesztávtól, a feltöltés magasságától, a boltozat repedezettségétől, stb. A pontosabb modell azonban mit sem ér, ha a kulcsfontosságú bemenő paraméterek értékei nagy bizonytalanságot tartalmaznak.

A boltozott hidak környezetükkel (pl. háttöltés, feltöltés, altalaj) kölcsönhatásban alakították ki teherviselő rendszerüket, amely rendszer egy jelentős része takarva van a szokványos diagnosztikai eljárások számára. Sajnálatos módon ennek az eltakart résznek a tulajdonságai jelentős hatással vannak a boltozat viselkedésére, így a megbízható szerkezeti modellezéshez nem lehet eltekinteni bizonyos „rejtett” tulajdonságok vizsgálattal történő meghatározásától.

Az utóbbi időben egyre szélesebb körben terjed a roncsolásmentes vagy kis roncsolású szerkezetdiagnosztikai módszerek alkalmazása [3]. A kis roncsolással járó módszerek alkalmazása esősorban a falazat mechanikai jellemzőinek, illetve azok szerkezeten belüli anomáliáinak meghatározását célozzák meg. A módszerek előnye, hogy értékes információt szolgáltatnak a szerkezet teherbírásának és állapotának értékeléséhez, viszont nem járnak nagy mértékű roncsolással. Hátrányuk, hogy csak a vizsgálati helyek környezetnek vagy felületének jellemzőit mutatják. A roncsolásmentes módszerek egyre inkább tért hódítanak a szerkezetek diagnosztikájában. Segítségükkel elsősorban egy áttekintő képet kaphatunk a szerkezet állapotáról. Egyes módszerek nagy behatolási mélysége lehetővé teszi, hogy kívülről nem mérhető rejtett geometriai és anyagi tulajdonságokat is megállapítsunk. Ezen módszerek általános hátránya a mért adatok nehézkes kiértékelése, valamint az a tény, hogy jelenleg még nem lehet megbízható korrelációt találni a szerkezet mechanikai jellemzői és a roncsolásmentes vizsgálattal nyert adatok között.

Az előadás boltozott vasúti hidak biztonságának megítélésére mutat be egy valószínűségelméleti módszeren alapuló eljárást. Az eljárás kiemelt fontosságú eleme a bemenő paraméterek bizonytalanságának csökkentése roncsolásmentes szerkezetdiagnosztikai módszerekkel. Az eljárás gyakorlati alkalmazását esettanulmányokon keresztül mutatja be.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönetét fejezi ki az OTKA 046691 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Orbán, Z.: *Assessment, Reliability and Maintenance of Masonry Arch Bridges in Europe*, ARCH 04: 4th International Conference on Arch Bridges, Barcelona, pp. 152-161, 2004.
2. Orbán, Z.: *Condition assessment and rehabilitation of masonry arch railway bridges*, Concrete Structures, Vol. 7, pp. 22-30, 2006.
3. Orbán, Z.: *Increasing the reliability of the assessment of masonry arch bridges by non-destructive testing*, Pollack Periodica, Volume 1, No. 3, pp. 45-56, 2006.

LUMBÁLIS GERINCSZEGMENTUM VISELKEDÉSÉNEK SZIMULÁLÁSA FINOMÍTOTT VÉGESELEMES MODELL ALAPJÁN NYÚJTÁSI TERÁPIÁBAN

Oroszváry László*, Kurutzné Kovács Márta**, Kutrik Attila*

*Knorr-Bremse Hungária Kft

**BME, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

Az előadásban egy emberi gerincszegmentum végeselemes modellezését és a modell segítségével elkészített analízisek eredményeit mutatjuk be. A modellezéshez és számítások elkészítéséhez az ANSYS végeselemes programrendszert használjuk fel.

A gerincszegmentum a következő három elemből épül fel: két csigolyatest a csontos nyúlványokkal, a csigolyatestek közé zárt porckorong és a gerinc-szalagok.

A csigolyák olyan inhomogén testek, amelyek nagyszilárdságú kéreggel és viszkózus szivacsos belső csontállománnyal rendelkeznek. A csigolyatesttel szerves egységet képeznek a kisízületek, amelyek a szalagokkal együtt meghatározó szerepet töltenek be a csigolyatestek egymáshoz viszonyított elmozdulásainak korlátozásában. Az ízületek összenyomódáskor befeszülnek, húzási ellenállásuk csekély. A szalagok csak húzóerő felvételére képesek, és eltérő módon tapadnak a csigolyákhoz és a porckoronghoz, attól függően, hogy azok a gerincoszlop elülső vagy hátsó oldalán helyezkednek el.

A porckorong anizotrop réteges-szálas szerkezetű külső gyűrűből és kocsonyás, hidrosztatikus nyomás alatt álló belső magból áll, amelyet a csigolyába *integrált* porcos véglemez zár le. Ez utóbbit a csigolya csontállománya mintegy *Winkler közegként*, rugalmasan támasztja meg. A gerinc-szalagok csak húzás felvételére képesek, nyomásra nem dolgoznak.

A szegmentum összességében egy nemlineáris, inhomogén, anizotróp és viszkózus szerkezet. A szalagok és ízületek közötti egyoldalú érintkezés megjelenése pedig a feladatot a nemsíma mechanika feladatai közé sorolja. A modellezés során kiemelten kezeljük a porckorong végeselem-modelljének felépítését. Két modellt vizsgálunk a kocsonyás magot körülvevő gyűrűs rétegek modellezésétől függően: az egyik esetben a rétegeket anizotrop testként modellezzük, mintegy elosztva a rétegekben levő szálerősítés hatását, míg a másik esetben a szálerősítést és az azt hordozó rétegeket külön elemként vesszük figyelembe. A porckorong belső magját összenyomhatatlan testként kezeljük. A teljes gerincszegmentum modellezésére test-, héj- és rúdelemeket használunk, hozzájuk rendelve a megfelelő – az előbbieken ismertetett – anyagi tulajdonságokat, amelyeknél többségében a szakirodalomra támaszkodunk, és ahol lehetséges felszámoljuk a hazai mérések eredményeit.

Jelen előadásban a numerikus szimulációk eredményeivel a súlyfürdő terápia gerincszegmentumra gyakorolt hatását vizsgáljuk. Az alapkérdés ez esetben nyilvánvalóan az, hogy a terhelési folyamat visszaadja-e, netán javítja-e a porckorong funkcionális képességét. További kérdés, hogy a szegmentumban megjelenő károsodások melyik típusa engedi meg a súlyfürdő alkalmazását, és melyik az, amelyik kizárja azt. A terhelési folyamat vizsgálata során a szegmentum felső csigolyájának felső felületét befogottnak tekintjük, a húzóerőt pedig a szegmentum alsó csigolyájának alsó felületén működtetjük. A számításokkal elmozdulási és feszültségi állapotokat határozunk meg, és azt kutatjuk, hogy ezek milyen mértékben válaszolják meg a feltett kérdéseinket.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönettel tartoznak az OTKA T-046755 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Kurutz, M.: Age-sensitivity of time-related in vivo deformability of human lumbar motion segments in pure centric tension, Journal of Biomechanics, 39(1), 147-157, 2006.
- [2] Kurutz, M.: In vivo age- and sex-related creep of human lumbar motion segments in pure centric tension, Journal of Biomechanics, 39(7), 1180-90, 2006.
- [3] Glema, A.; Lodygowsky, T.; Kakol, W.; Wierczycki M.; Ogurkowska, M.B.: Modelling of intervertebral discs in the numerical analysis of spinal segment, European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS 2004, Jyväskylä, 24-28 July 2004.
- [4] Denozier, G.: Numerical modelling of a ligamentous lumbar motion segment, A dissertation presented to the Academic Faculty, Georgia Institut of Technology, May 2004.

Szíjágak transzverzális lengéseinek stabilitásvizsgálata

Patkó Gyula

Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Tanszéke

E-mail: patko@uni-miskolc.hu

Kollányi Tibor

Berzsenyi Dániel Főiskola, Műszaki Tanszék

E-mail: kollanyi@bdf.hu

Szíjágak transzverzális lengéseit bonyolult, nemlineáris parciális integro–differenciálegyenlettel írhatjuk le (v.ö. [2, 3, 4]), melyet a lengéstanból ismert és elfogadott mérnöki megfontolásokat és közelítéseket felhasználva egyszerűbb alakra hozhatunk. Ekkor a transzverzális lengések stabilitásvizsgálata a

$$\ddot{q}_k + \left(\frac{k\pi}{L}\right)^2 \left\{ \left(\frac{k\pi}{L}\right)^2 \frac{I_y E}{A \rho} - v^2 + \frac{E}{\rho L} [u(L, t) - u(0, t)] \right\} q_k = 0, \quad k = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

differenciálegyenlet stabilitásvizsgálatára vezethető vissza, ahol q a transzverzális lengések időtől függő részének amplitúdója, k a vizsgált lengéskép száma, L a szíjág hossza a szíjtárcsák között, I_y a szíj keresztmetszetének y -tengelyre számított másodrendű nyomatéka, A a szíj keresztmetszete, ρ a szíj anyagának sűrűsége és E a rugalmassági modulus.

A [4] dolgozatban bemutattuk annak az esetnek a részletes stabilitásvizsgálatát, amikor a szíjág hosszváltozását leíró $u(L, t) - u(0, t)$ függvény periodikus és csak egyetlen harmónikus tartalmat tartalmaz, azaz a kialakuló transzverzális lengések MATHIEU-típusú differenciálegyenlettel írhatók le. Mint ismeretes ebben az esetben a kialakuló lengéseknek egyetlen fő instabilitási tartománya létezik. Ennek az esetnek az egyetlen excentricitást tartalmazó szíjhajtásban kialakuló lengések felelnek meg. Jelen dolgozatunkban kitérünk a két excentricitást tartalmazó hajtás vizsgálatára. Ekkor a szíjág hosszváltozását már nem írhatjuk le egyetlen harmónikus segítségével, hanem azt

$$u(L, t) - u(0, t) = u_0 + e_2 \cos\left(\frac{1}{i} \nu_1 t + \varphi_0\right) - e_1 \cos(\nu_1 t) \quad (2)$$

alakban közelítjük, ahol u_0 a szíjág konstans előfeszítését, ν_1 az 1-jelű szíjtárcsa szögsebességét, e_1 az 1-jelű tárcsa excentricitását, e_2 pedig a 2-jelű tárcsa excentricitását, φ_0 pedig az excentricitások iránya közötti kezdeti fáziseltérést, míg i a hajtás áttételét jelöli. Az (1) és (2) egyenletek HILL-típusú differenciálegyenletet határoznak meg, amennyiben i racionális szám. A fenti alakú differenciálegyenletnek két fő instabilitási tartománya van, melyek vizsgálatát a HILL-féle determinánsok módszerére támaszkodva végezzük el és mutatjuk be a stabilitási tartományok határait a szíjhajtás paramétereinek függvényében.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T 042 657 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Patkó, Gy.: *Közelítő módszer nemlineáris lengések vizsgálatára*, Kandidátusi értekezés, Miskolc, 1984.
- [2] Patkó, Gy.: *Dinamikai eredmények és alkalmazások a géptervezésben*, A Miskolci Egyetem Habilitációs Füzetek, Miskolc, 1998.
- [3] Kollányi, T.: *Szíjágak transzverzális lengései*, Ph.D értekezés, Miskolc, 2006.
- [4] Gy. Patkó and T. Kollányi, *On transverse vibration of belts*, Journal of Computational and Applied Mechanics 6 (2005), No. 1, 115-128.

ÁLLANDÓSULT KOPÁS NUMERIKUS VIZSGÁLATAPáczelt István¹⁾, Mróz Zenon²⁾ és Baksa Attila¹⁾

1) Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

2) Institute of Fundamental Technological Research, Warsaw, Poland

E-mail: mechpacz@uni-miskolc.hu

Az előadás elő részében a kopási feladatokkal kapcsolatos variációs elvek nyernek megfogalmazást, nevezetesen az általánosított kopási disszipációs teljesítményre, a súrlódási disszipációra és a kopási térfogat sebességre alapozottan az ún. Archad-féle kopási törvényt felhasználva. A testek között a Coulomb-féle súrlódást tételezzük fel, továbbá a testek rugalmasak, lineáris elmélettel a mechanikai viszonyai leírhatóak.

A kopás folyamán a testek érintkező felületei változnak. Fontos szerepet tölt be a gyakorlatban az állandósult kopáshoz tartozó (bejáratott gépek) állapot tisztázása. Állandósult kopás akkor következik be, ha az érintkezési felület egyes pontjaiban a kopási sebesség időben állandó. Amennyiben az egyik test merevtestszerű mozgással rendelkezik, akkor a kopási merevtestszerű mozgás (eltolódás, szögelfordulás) sebessége állandó lesz.

A kopási folyamatot numerikusan végigkövetve, hosszas számolás után el tudunk egy olyan állapothoz jutni, (akkor, ha ez fizikailag is lehetséges) amikor már a kopás állandósult. Ekkor a kopott alak, a kialakuló érintkezési nyomás is meghatározást nyer.

A fent említett három fajta variációs elv közül, az állandósult állapotot az általánosított kopási disszipációs teljesítmény minimuma szolgáltatja [1, 2]. Az elv révén megkapjuk az érintkezési nyomás megoszlását, a kopási merevtestszerű mozgás sebességét anélkül, hogy a hosszadalmas időbeli kopási folyamatot szimulálni kellett volna. A kopási alak az érintkezési feszültség birtokában, az érintkezésben álló testek érintkezési peremérték feladatának megoldásával már könnyen megkapható.

A felállított variációs elvekből szinguláris megoldások is nyerhetők, amelyek a szerkezetek extrém kialakításához tartoznak.

Tételezzük fel a nemlineáris kopási törvényt a következő alakban

$$\dot{w}_i = \beta_i (\tau_n)^{b_i} v_r^{a_i} = \beta_i (\mu p_n)^{b_i} v_r^{a_i} = \hat{\beta}_i p_n^{b_i} v_r^{a_i}, i = 1, 2$$

ahol β_i, a_i, b_i kísérletekből nyert kopási paraméterek, μ súrlódási tényező, $\hat{\beta}_i = \beta_i \mu^{b_i}$ és v_r a testek közötti relatív sebesség. A kopási törvény az érintkezési felületen fellépő kopás adta normál irányú alakváltozást írja le.

Az általánosított kopási disszipációs teljesítményt az alábbi formában képezhetjük:

$$D_w^{(q)} = \sum \{ p_n (\dot{w}_i + \mu(\gamma_1 \dot{w}_{i,t1} + \gamma_2 \dot{w}_{i,t2}))^q \}^{1/q}, i = 1, 2$$

ahol $\dot{w}_{i,t1}$ és $\dot{w}_{i,t2}$ a felület tangenciális transzformációjának felel meg, ami általában $\dot{w}_i$ normálirányú kopási sebességtől függ, továbbá γ_1, γ_2 súlyfaktorok, $q \geq 0$ ún. vezérlő paraméter.

Az előadás második része konkrét eseteket fog vizsgálni numerikus eredmények bemutatásával egyetemben. Az állandósult kopást bemutató esetek az alábbiak:

1. Síkfelületű bélyeg haladó mozgása rugalmas féltéren.
2. Bélyeg haladó és forgó mozgása.
3. Hengeres forgó test, tengelyirányú eltolódás melletti vizsgálata kezdeti síkhomlok felület esetén.
4. Rugalmas test – forgó gyűrű alkotta rendszer.
5. Különböző felépítésű fékek kopási állapota.

A hőmérséklet hatása jelentősen befolyásolja a kopott alakot, de az állandósult kopási állapot feszültségének meghatározására változatlanul fennáll az általánosított kopási disszipációs teljesítmény minimumának elve.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T037759 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Páczelt, I. - Mróz, Z.: On optimal contact shapes generated by wear, *Int. J. Numer. Meth. Eng.*, 63, 1310-1347, 2005.
2. Páczelt, I. - Mróz, Z.: Optimal shapes of contact interfaces due to sliding wear in the steady relative motion, *Int. J. Solids Struct.*, 44, 895-925, 2007.

POLIPROPILÉN ALKATRÉSZ CIKLIKUS MECHANIKAI VISELKEDÉSE

Pálfalvi Attila

Budapesti Műszaki Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: p.a.f@mm.bme.hu

Az egyes gépalkatrészek több változatának tervezés közbeni ellenőrzése egyre fontosabb szerepet kap. Ennek gyakran használt módszere a számítógépes szimuláció, amely a prototípus legyártásánál és vizsgálatánál sokkal gyorsabb és olcsóbb.

Jelen munka célja olyan eljárás megadása, amely alkalmas egy tervezési fázisban levő autóalkatrész élettartam-vizsgálatának modellezésére. Az alkatrész az autóban elektromos kapcsolódobozt tart, terhelése a karosszériáról átvitt rezgés, mérete a 10 cm-es nagyságrendbe esik, anyaga polipropilén. Az élettartam-vizsgálat magában foglalja a sajátfrekvencia meghatározását, majd annak függvényében meghatározott frekvenciákon történő gerjesztést.

A számítógépes szimulációhoz a végelem-módszert és az MSC.Marc programot választottam. A sajátfrekvencia meghatározása után az élettartam-tesztet időbeni integrálással modellezem, ezzel egyszerűen figyelembe véve a geometriából adódó nemlineáris hatásokat. Az anyagi viselkedés leírására az általánosított Maxwell modellt használom, a szoftver korlátai miatt ez is megköveteli az időbeli integrálás használatát.

Az anyagmodellhez használatos paramétereket rezgésmérések alapján határoztam meg. A méréseket a Műszaki Mechanikai Tanszéken végeztem el, egyszerű, téglalap keresztmetszetű rúdon. Az anyagi csillapítás minél pontosabb leírása érdekében kényszerrezgést és szabad lengést is vizsgáltam. A szabad lengés egyszerűbb kiértékeléséhez felhasználtam az [1] cikkben foglaltakat.

A kidolgozott modellt egy már elkészült alkatrész segítségével próbáltam ki. Az alkatrész legnagyobb mérete kb. 20 cm, végelem-modellje kb. 900 szabadságfokú. A modellezett mérés egyelőre nem az élettartam-teszt, hanem egy sűrű szinuszos gerjesztéssel végzett rezgésmérés. A végelem-modell a mérési eredményeket elég jó közelítéssel visszaadja.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Lesieutre, G. A. és Bianchini, E.: *Time domain modeling of linear viscoelasticity using anelastic displacement fields*, Journal of Vibration and Acoustics, 117:424–430.

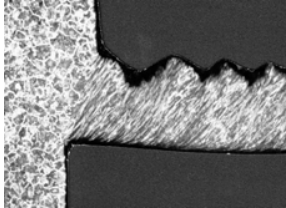
KAOTIKUS JELENSÉG FÉMEK NAGY, GYORS DEFORMÁCIÓJÁNÁL (A FORGÁCSOLÁS PÉLDÁJÁN)

Pálmai Zoltán

Cogito Kft.

E-mail: palmayz@t-online.hu

A gépgyártásban a munkadarabról a forgács az anyag nagy, gyors deformációja közben válik le (1. ábra.), amelyet első közelítésben a δ vastagságú u. n. nyírási zónában ébredő τ csúsztatófeszültség, az anyag T hőmérséklete és γ szögtorzulása jellemez [1]. Az u.n. szabad forgácsolás stacionárius technológiai viszonyainál (u.n. folyóforgácsnál) $\tau = \tau_\phi$, $T = T_\phi$, $\gamma = \varepsilon_\phi$, és a leváló forgács vastagsága is állandó. Dimenzió nélküli változókra áttérve [2] $\hat{\tau} = \tau / \tau_\phi$, $\hat{\gamma} = \gamma / \varepsilon_\phi$, $\hat{t} = t / K$ és $\hat{T} = (T - T_{mkdrb}) / T_{mkdrb}$.

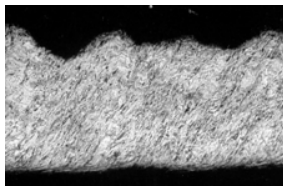


1. ábra. C-acél forgácstő

differenciálegyenlet-rendszer [3]

$$\dot{\hat{t}} = 1 - F(\gamma, \tau, T), \quad \dot{T} = \eta \cdot \tau \cdot F(t) - \xi \cdot T \quad \text{és} \quad \dot{\gamma} = [F(t) - F(t - \delta t)] / \delta t,$$

ahol η és ξ a technológiai adatokkal meghatározott rendszerparaméter, δt az anyag nyírási zónában tartózkodásának – áthaladásának – ideje, $F(t) = F(\gamma, \tau, T)$ a konstitutív egyenlet



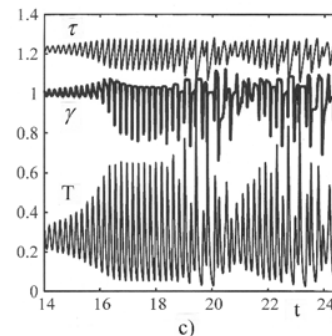
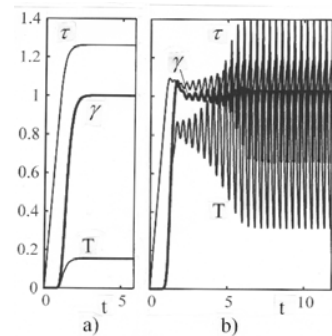
2. ábra. Ausztenites acél aperiodikus forgácsa

$$\frac{\dot{\gamma}}{\dot{\varepsilon}_\phi} = \frac{T+1}{T_\phi+1} \exp \frac{\tau \frac{1+\varepsilon_\phi^n \cdot \gamma^n}{1+\varepsilon_\phi^n} + a(T-T_\phi)}{b(T+1)} = F(\gamma, \tau, T) = F(t)$$

amelyben az anyag alakítási keményedését az n kitevő, termikus lágyulását az a és az alakítási sebességérzékenységet a b együttható fejezi ki.

A rendszerparaméterektől függő megoldás lehet fixpont (folyóforgács), periodikus (nyírt forgács, 1. ábra) és aperiodikus, kaotikus forgács (2. ábra). Egy konkrét számítás idő-függvényeit a 3. ábra mutatja, ahol $\eta = 3,7$, $a = 0,3$, $b = 0,012$, $T_\phi = 1$, $n = 0,2$, $\varepsilon_\phi = 2,5$ és $\delta t = 0,4$. Kezdeti feltételek $\tau(0) = 0$, $T(0) = 0$ és $\gamma(0) = 0$.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönetét fejezi ki Szirmay Kalos László professzornak az idő-késleltetési differenciálegyenlet-rendszer programozásával nyújtott segítségéért.



3. ábra. Különböző típusú forgácsok idő-függvényei.

a) Folyóforgács ($\xi = 30$),b) Nyírt forgács ($\xi = 4,8$),c) Kaotikus forgács ($\xi = 16,7$)

HIVATKOZÁSOK

1. Shaw, M.C.: *Metal Cutting Principles*. Clarendon Press, Oxford. 1984.
2. Pálmai, Z.: *Chaotic Phenomena Induced by the Fast Plastic Deformation of Metals During Cutting*. Transactions of the ASME, Journal of Applied Mechanics. Vol. 73. (2006) March. pp. 240-245.
3. Pálmai, Z.: *Aperiodic Deformation Occurring as a Result of Thermoplastic Instability of Metals*. Materials Science Forum, Vols 537-538 (2007) pp. 541-548.

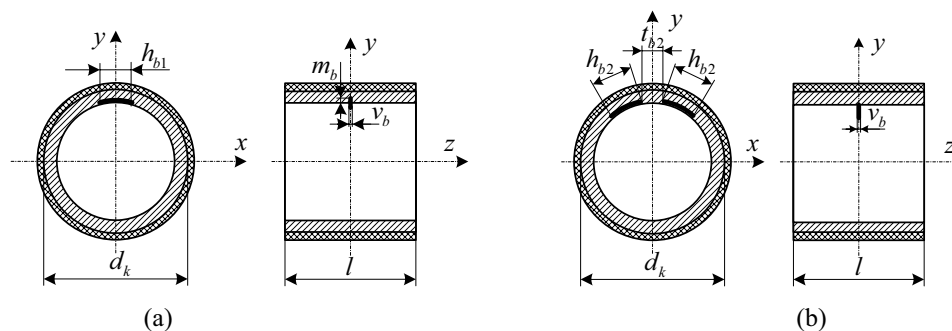
CSŐVEZETÉKEK SÉRÜLÉSEINEK KÖRNYEZETÉBEN KIALAKULÓ SZILÁRDSÁGTANI ÁLLAPOTOK NUMERIKUS VIZSGÁLATA

Pere Balázs és Égert János

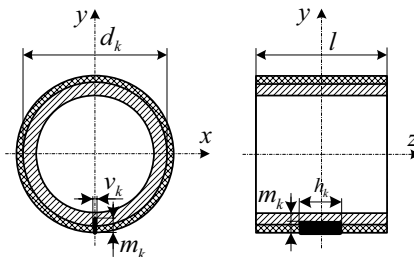
Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék

E-mail: perebal@sze.hu, egert@sze.hu

Olaj és gázvezetékek tipikus hibái, sérülései a hegesztési körvarratoknál a cső belső felületén, illetve külső behatásokból (munkagép, ekevas) a cső külső felületén keletkeznek. A hibák, sérülések veszélyt jelenthetnek a csővezeték biztonságos működésére nézve. Ezért kell tisztázni a hibahely környezetében kialakuló szilárdságtani állapotokat (alakváltozásokat, feszültségeket). Az előadás három mesterséges hiba környezetét vizsgálja meg végelem módszerrel az I-DEAS programrendszer alkalmazásával. Ezeknek a mesterséges hibáknak a környezetében a későbbiekben nyúlásméréssel is meghatározunk diszkrét helyeken fajlagos nyúlás értékeket kísérleti körülmények között, amelyek a numerikus vizsgálatok hitelesítését teszik lehetővé.



1. ábra: A mesterséges varrathibák geometriája



2. ábra: A mesterséges külső sérülés geometriája

A hibák, sérülés környezetében kialakuló szilárdságtani állapotokat kísérleti körülmények és üzemi viszonyok esetén vizsgáljuk. Az előadás az üzemi körülmények vizsgálatára három, a kísérleti körülmények vizsgálatára egy mechanikai modellt mutat be. A csövet a kísérleti és az üzemi viszonyok esetén is rétegzett héjelemek modellezik. Rétegzett héjelemeknél a rétegszám és a rétegvastagságok megfelelő megválasztásával elérhető, hogy a hiba/sérülés mélységének a megváltoztatása a hibához/sérüléshez tartozó elemeken az egyes rétegek anyagi tulajdonságainak megváltoztatásával kezelhető legyen. A héjmodellek számítási eredményeire alapozva 3D végelem modellek alkalmazására is sor kerül, amelyek a hibahelyek környezetében a valóságos viszonyokat jobban közelítik.

Az előadás numerikus eredményeket ismertet a héjmodellek alkalmazásával a műanyag szigetelőréteg és a hiba/sérülés mélység hatása vonatkozásában mindhárom hibatípusra. Értékeli a három különböző, üzemi állapotot modellező rétegzett héjmodell alkalmazhatóságát, valamint összehasonlítja a héj és 3D modellek eredményeit.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a GVOP-AKF – 3.1.1.-2004-05-0215/3.0 és az OTKA T 049126 projektek keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Reddy J.N.: Mechanics of laminated composite plates and shells, Theory and Analysis, CRC Press, 2004.
2. Bathe K.J.: Finite Element Procedures, Prentice Hall International Editions, 1996.
3. I-DEAS User's Guide, UGS PLM Solution Inc., 2006.
4. Timoshenko S., Woinowsky-Krieger S.: Lemezek és héjak elmélete, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1966.

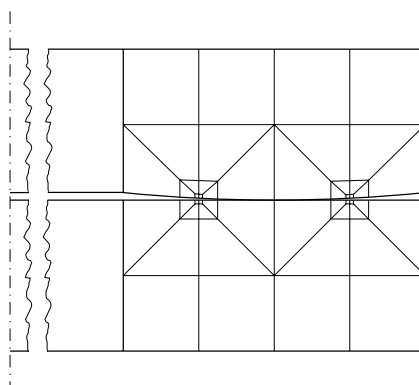
Tengelyszimmetrikus nagy alakváltozású érintkezési feladat vizsgálata p -verziós végelem modellezéssel

Pere Balázs, Szabó Tamás

Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezettan és Mechanika Tanszék

E-mail: perebal@sze.hu, sztamas@sze.hu

A p -verziós végelem módszer alkalmazása az utóbbi évtizedben egyre szélesebb körben terjedt el, mert szingularitástól mentes feladat esetén a megoldás exponenciálisan konvergens a polinom fokának növelésével [1]. Hasonlóan konvergens az eljárás abban az esetben, ha a szingularitás környezetében geometriai sűrítésű hálót alkalmazunk (lásd 1. ábra). A módszer nehézsége abban mutatkozik meg, hogy a hálót nagy körültekintéssel kell



1. ábra. Az érintkezési tartomány határának környezetében geometriai sűrítést alkalmazunk a végelem hálón.

generálni, hiszen az eljárás nagyon érzékeny a szingularitások (lekerekítés, éles sarok, érintkezési tartomány pereme, stb.) jelenlétére.

A publikált irodalomban elsősorban kis alakváltozásokra vonatkozó megoldások találhatók [2, 3]. Az előadás tengelyszimmetrikus érintkezési feladat megoldásával foglalkozik nagy alakváltozások esetében. A kidolgozott algoritmus az egyes terhelési szintekhez adaptívan generálja a végelem hálót, amely két test vonatkozásában biztosítja az érintkezési tartományban a megfelelő csomópontok fedését. Egyébként a megoldásban (elmozdulások, feszültségek) oszcilláció jelentkezik az érintkezési tartomány környezetében. A feladat erősen nemlineáris, hiszen az érintkezési feladat önmagában is nemlineáris, a nagy alakváltozás pedig közismerten az. A nagy alakváltozás során feltételezzük, hogy a Green-Lagrange alakváltozási tenzor és II. Piola-Kirchhoff-féle feszültségi tenzor között a Hooke-féle anyagtörvény teremt kapcsolatot. A nagy alakváltozást az „updated” Lagrange-féle algoritmussal írjuk le [4]. Ennek megfelelően a terhelést és az érintkezési nyomást mindig a deformálódott geometrián határozzuk meg. Az elmozdulást $p = 1, \dots, 8$ fokú polinommal közelítjük. Az érintkező testeken meghatározzuk a feszültségmező eloszlását, és az érintkezési nyomás eloszlását.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a GVOP-AKF - 3.1.1.-2004-05-0215/3.0 és az OTKA T 049126 projektek keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Szabó, B., Babuška, I.: *Finite Element Analysis*, John Wiley & Sons, New York, 1991
- [2] Pere, B.: *Investigation of an Axisymmetric Contact Problem Using the p -version of the Finite Element Method*, 6th European Solid Mechanics Conference, 28 August - 1 September, 2006, Budapest, Hungary
- [3] Páczelt, I., Szabó, B. és Szabó, T.: *Solution of contact problem using the hp -version of the finite element method*, Int. J. of Comp. and Math., 38, (1999), 49-69.
- [4] Bathe, K.-J.: *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, New York, 1995

TÖBBRÉTEGŰ SZENDVICS-TÍPUSÚ KÖR-ALAKÚ LEMEZ STABILITÁSÁNAK PEREMÉRTÉK-FELADATA

Pomázi Lajos

BMF, Gépszerkezettani és Biztonságtechnikai Intézet, 1081 Budapest, Népszínház u.8. és

BMGE, Műszaki Mechanikai Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 5.

E-mail: pomazi.lajos@bgk.bmf.hu és pomazi@mm.bme.hu

A kör-alakú lemezek stabilitására és rezgésére vonatkozó irodalomban az alapegyenletek és peremfeltételek levezetésekor gyakran úgy járnak el, hogy az alakváltozási és feszültség-mező derékszögű Descartes koordináta rendszerben felírt összefüggéseit poláris koordináta rendszerbe transzformálják. Ez az eljárás az alapegyenletek de különösen a nem tengelyszimmetrikus alakváltozásokhoz tartozó peremfeltételek megfogalmazásában vezethet tévedésekre, mely utóbbiakat nemegyszer az alapfeltevésekkel nem kongruens megfontolások alapján írnak fel.

Kör-alakú szendvics-lemezek esetén [2,3] ez az eljárás még több hiba forrása lehet, különösen ha lágy magú szendvicsről van szó. A felmerült anomáliákat tisztázandó a kutatás első fázisában a konstrukciósan anizotrop (ortotrop) kemény és tranzverzálisan lágy mag-rétegű, kör alakú (három rétegű) szendvics lemez stabilitási peremérték-feladatát (a vonatkozó alapegyenleteket és természetes peremfeltételeket) a Trefftz-féle variációs elvből vezettük le. A levezetett egyenletek kontrolljaként - azok alapján - izotrop anyagú kemény és tranzverzálisan izotrop lágy rétegekkel felépített szendvics-lemez stabilitási feladatát a globális/lokális instabilitást eredményező antiszimmetrikus/szimmetrikus feltételek esetén – Navier típusú peremfeltételek és állandó radiális terhelés mellett – vizsgáltuk. Az eredmények irodalmi összevetése a levezetett egyenletek helyességét igazolta [6].

Abból kiindulva, hogy a többrétegű, konstrukciósan anizotrop (ortotrop) kemény és tranzverzálisan lágy-magú szendvics-típusú kör-alakú lemezek stabilitási feladatának peremérték-feladata általános formában az irodalomban nem fellelhető, célul tűztük ki ennek megfogalmazását - ez esetben is a Trefftz-féle variációs elv alapján. A variációs elvek alkalmazása azzal az előnnyel jár, hogy a peremfeltételek megfogalmazása az alapfeltevésekkel kongruens módon történik és ez különösen a lágy magrétegekre vonatkozó feltevések korrekt figyelembe vétele szempontjából jelentős. Ennek során ez esetben is a Bolotin által javasolt modellt [1] és a saját korábbi – a többrétegű derékszögű négyszög alakú lemezre vonatkozó – vizsgálatok [4,5] módszereit és eredményeit vettük alapul és a kör-alakú lemez geometriai sajátosságainak korrekt értelmezésére a lemez- és héjelméletben szokásos tenzor formalizmust használtuk.

Az előadás e vizsgálatok eredményeként az aszimmetrikus felépítésű és terhelésű, ortotrop kemény és tranzverzálisan izotrop lágy rétegekkel felépített többrétegű kör alakú szendvics-típusú lemez stabilitását leíró peremérték-feladat megfogalmazását ismerteti.

HIVATKOZÁSOK

1. Bolotin, V. V.: "*Strength and Vibration of Multilayered Plates*", Strength's Calculations, Vol.12. Moscow, 1965. (oroszul)
2. Kao, J.-S.: "*Bending of Circular Sandwich Plates due to Asymmetric Temperature Distribution*", AIAA Journal, Vol. 8, N° 5, May 1970, pp. 951- 954
3. Ackermann, G.: "*Elastische, isotrope dreischichtige Kreisplatten*", Bauplanung –Bautechnik, 41. Jg., Heft 10, Oktober 1987, pp. 458 – 465.
4. Pomázi, L.: "*Stability of Rectangular Sandwich Plates with Constructionally Orthotropic Hard Layers, Part II.*", Periodica polytechnica, Mech. Engng, Vol.34, N° 1-2. Budapest, 1990, pp. 99-111.
5. Pomázi, L.: "*Stability of Asymmetrically Built and Loaded Multi-layered Rectangular Sandwich-type Plates, (Analytical solutions)*", Publications of the University of Miskolc, Series C., Mechanical Engineering, Vol.45, Miskolc, 1995, pp.275-286.
6. Pomázi, L.: "*Stability of asymmetrically built circular sandwich plate*", Proceedings of the 125 Anniversary International Jubilee Conference, Budapest Tech, 2004, Budapest, pp. 139-151.

TOPOLOGIA OPTIMÁLÁSI MÓDSZEREK EREDMÉNYEI ÉS AZOK ÖSSZEHAJONLÍTÁSA

Pomezanski Vanda

Pécsi Tudományegyetem, Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tsz.

E-mail: vpomezanski@epito.bme.hu

Egy tartószerkezet kialakítását, súlyát alapvetően meghatározzák az alkalmazott peremfeltételek: a megtámasztások és az alkalmazott kapcsolati módok. A gyakorlatban, a minimális súlyra való tervezés során e feltételeket adottnak tekintjük, és nem változtatjuk.

A kifejlesztett topológiát optimáló eljárások a szerkezet alakját általában a szerkezet belsejében kialakuló feszültségeloszláshoz igazítják. Ehhez vagy a szerkezeti elem keresztmetszeti méretét (pl. SIMP), vagy az anyag sűrűségét változtatják. A TNO (csomópont leválasztó) módszer, melyben a csomópontok és az elemek közötti kapcsolatok rugókkal vannak modellezve, a kapcsolatok erősségét változtatja. Ez által lehetőség van elemek leválasztására, valamint egy kapcsolat típusának megváltoztatására (pl. egy folytonos rúd csuklóval való megtörésére). Amennyiben egy csomópontban valamennyi elem leválasztásra kerül, akkor az elemekkel együtt a csomópont is leválik a szerkezet dolgozó részéről.

A TNO módszer rúdszerkezetekre lett kifejlesztve. Teszteléséhez egy nagyon egyszerű, ismert, 9 rudas rácsos tartót használtunk fel [1,2 és 3]. A kevés rúdból álló szerkezet előnye, hogy a számítások könnyen ellenőrizhetők, hátránya viszont az, hogy minden terhelte csomópontja közvetlenül is (1-1 rúddal) csatlakozik valamennyi támaszponthoz. A minimálisan szükséges csomópontok száma így lényegében adottnak tekinthető. Előadásom célja összefoglaló kiegészítést adni e korábbi eredményekhez és bemutatni a TNO módszert egy sokkal összetettebb rúdhálózaton.

Az új kialakítású rácsos tartót több száz előre meghatározott és méretezett elem alkotja, melynek számos külső megtámasztással és teherrel nem rendelkező ún. belső csomópontja van. Az eredményül kapott szerkezetben így a belső stabilitás érdekében egy rúdháló alakul ki. Céлом e rúdháló, valamint a szerkezet külső alakjának összehasonlítása más módszer (SIMP [4, 5]) eredményeivel. Ezért a két módszer alkalmazásakor, a kiindulási állapotokban, a tartók külalakjai, terhelései és megtámasztásai azonosak.

Köszönetnyilvánítás: Vásárhelyiné Dr. Szabó Annának a TNO, Dr. Rozványi Györgynek és Dr. Gáspár Zsoltnek a SIMP módszerrel végzett kutatások konzulensi munkájáért. A szerző köszönetét fejezik ki az OTKA K62555 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Vásárhelyi A., Pomezanski V. „Topology Design of The Joint Types and Boundary Conditions of The Discretized Structures By Mathematical Programming”. *G.I.N. Rozvany and N. Olhoff (eds.), Topology Optimization of Structures and Composite Continua*, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 2000, PP. 383-385.
2. Pomezanski V. „Optimization of Connections Between Structural Elements”. *4th International Ph.D. Symposium in Civil Engineering*, P. Schießl, N. Gebeken, M. Kenser, K. Zich (eds), Munich, Germany Sept. 19-21, 2002. Springer Verlag, Volume 2. pp. 130-135.
3. Pomezanski V., Vásárhelyi A. „Comparison of Support and Layout Optimization Methods”. *Proceedings of of The Fifth World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization*, (WCSMO5) Lido di Jesolo – Venicia, Italy, 2003. Published by Schöenfeld & Ziegler in 2005.
4. Gaspar, Z.; Logo, J.; Rozvany, G.I.N. “Addenda and Corrigenda...” *Struct. Multidisc. Optim.* **24**, 338-342. 2002
5. Pomezanski V.: "Numerical Methods to Avoid Topological Singularities", *Proceedings of the Eighth International Conference on Computational Structures Technology*, B.H.V. Topping, G. Montero and R. Montenegro (eds.), Civil-Comp Press, Stirlingshire, UK, paper 211, 2006

**STATIKAILAG HATÁROZATLAN VASBETON ELEMEEK
VIZSGÁLATA A HASZNÁLATI ÁLLAPOTBAN**

S. Rákóczy Katalin, Dr. Deák György
BME, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék
E-mail: rakoczy@freemail.hu

Az előadás statikailag határozatlan vasbeton tartókon végzett kísérletek és számítások eredményét mutatja be.

A kísérletekben két végén befogott gerendát vizsgáltunk, amely a végtelen többtámaszú tartó idealizált statikai modellje. A gerendavégi befogást (azaz elmozdulás- és elfordulásmentes, nyomatékbíró megtámasztást) egy támasz felett túlfutó, rövid konzollal oldottuk meg, amelynek végén megfelelő lefeszítő erőt működtetve a támasznál nincs szögelfordulás.

A négyszög keresztmetszetű kísérleti elemeket a harmadpontokban koncentrált erők terhelték, rúdirányú erő nem működött. A gerendák méretezésénél kihasználtuk a képlékeny igénybevétel-átrendezés lehetőségét, így ugyanarra a terhelésre eltérő vasalású elemeket terveztünk.

A terhelés során először a használati határállapotokban feltételezhető legnagyobb értékig (azaz az Eurocode 1 által meghatározott ritka teherszintig) növeltük a terhet, majd tehercsökkentést követően újra megterheltük a gerendákat.

A számításokban figyelembe kívántuk venni a merevség változását a tartók hossza mentén, amely a helyenként eltérő vasmennyiségből és a húzott betonöv acélbetéteket merevítő hatásából (TSE) adódik. Ennek érdekében a használati állapotban történő vizsgálatkor a szokásosnál pontosabb modellt választottunk: rugalmas, berepedt (II. feszültségi állapotú) keresztmetszeteket feltételeztünk mind az igénybevételek, mind az alakváltozások meghatározásakor. (A számítástechnika világában nem jelent problémát összetettebb számítási algoritmust alkalmazni.)

A kísérletekben és a számításokban a következő kérdésekre kerestük a választ:

- Az egyes elemek eltérő vasalása hogyan befolyásolja az alakváltozást? – A támasznál vagy a mezőben erősebben vasalt gerendának nagyobb a lehajlása?
- A tartók hossza mentén változó merevség milyen igénybevétel-átrendeződést eredményez? – Az állandó merevségű gerendához tartozó nyomatékokhoz képest a támasz- vagy a mezőnyomaték növekszik-e meg az egyes elemeknél?
- Hogyan változik a hajlítási merevség a gerendák mentén? – A helyenként változó vasmennyiség és a repedezettség eltérő mértéke hogyan módosítja az inerciát?
- A számításban hogyan modellezhetők az első terhelés során kialakult merevségi viszonyok? – Az elem szintjén milyen pontossággal érdemes követni a merevség változását? A keresztmetszet szintjén milyen nyomaték-görbület függvényt feltételezzünk az inercia változásának leírására?
- A támasznál vagy a mezőben levő görbületnek van nagyobb szerepe a lehajlásban?

Az előadásban a statikailag határozatlan vasbeton gerenda működésének ("lelki világának") elemzésén keresztül választ adunk a fenti kérdésekre.

**NYÍRÓFESZÜLTSEGEK SZÁMÍTÁSA VÁLTOZÓ KERSZTMETSZETŰ GERENDÁKBAN
"MÉRNÖKI MEGKÖZELÍTÉS"**

Sajtos István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék

E-mail: sajtos@silver.szt.bme.hu

A nyírófeszültségek számítása, becslése a Zsuravszkij féle összefüggés segítségével egyszerű és mindennapos feladat a gerendák tervezése során feltéve, hogy a gerenda állandó keresztmetszetű.

Változó keresztmetszetű gerendák esetében a nyírófeszültségek számítása nem egyszerű és nem teljesen kidolgozott, megoldott feladat, mérnöki értelemben. Mérnöki értelemben, azaz a gerendamodell használatával. Mindez annak ellenére így van, hogy főként mérnöki faszervezetek tipikus, gyakran alkalmazott tartószerkezeti formája a lineárisan változó keresztmetszetű gerenda. Sok kérdés vethető fel: hogyan kell az ilyen gerendák gerendamodell szerinti tengelyét meghatározni, milyen feltételek mellett lehet a normál és nyírófeszültségek számítását a gerendamodell segítségével elvégezni és mi ennek a módja?

Előadásomban megadom a változó keresztmetszetű tartók gerendamodell szerinti tengelyének meghatározási módját. Megadom a nyírófeszültségek számítási módját és feltételeit is változó keresztmetszetű gerendák esetében, a gerendamodell alapján. A tervezési gyakorlat szempontjából is tanulságos példákon mutatom be a módszert.

HIVATKOZÁSOK

1. Timoshenko, S.: *Strength of materials*, 3rd ed., D. Van Nostrand Co., New York, 1960
2. Maki, A. C., Kuenzi, E. W.: *Deflection and stresses of tapered wood beams*, U.S. Forest Service Research paper, FPL 34., Madison, 1965
3. Krahula, J. L.: *Shear formula for beams of variable cross section*, AIAA Journal, Vol.13, No.10., 1975, p.1390-1391.

VÉDŐ ÉS FÁZISVEZETŐ SODRONYOK ANALITIKUS SZILÁRDSÁGTANI VIZSGÁLATA RUGALMAS VISELKEDÉS ESETÉN

¹Sárközi László, ²Barkóczy István

¹Miskolci Egyetem, Felnőttképzési Regionális Központ, ²FUX ZRt. Miskolc

E-mail: tks1@uni-miskolc.hu, info@emgk.hu

A modern energetikai hálózatok jellegzetes elemei a védő-, és fázisvezetők, összefoglalóan szabadvezetékek, amelyek gépészetileg, a rendeltetésszerű használat érdekében valójában teherviselésre alkalmas sodronyok. A műszaki gyakorlatban a szabványok által megengedett módon, sokféle szerkezettel lehet találkozni. Ugyanakkor tipikusak az ún. acél-alumínium szabadvezetékek, melyek axiális irányú acél magszálát hat darab, ugyancsak acélból készült szál veszi hélikusan körbe. Ezt követően 12, 18 stb alumínium szálból álló rétegek, koszorúk következnek az előző réteghez képest mindig ellentétes sodrásiránnyal.

Mechanikailag a sodronyokra két alapvető terhelés típus jellemző nevezetesen, a húzás-csavarás és a tiszta hajlítás. Ezen *makroszkópiusan* értelmezett terheléstípusok mindegyike esetén az egyes sodronybeli hélikus huzalok mint egyszerre húzott, hajlított, nyírt és csavart térbeli görbe rudak jelennek meg, melyekre megoldást az irodalomban elsőként az [1]-es klasszikus publikáció adott. Eredményeit felhasználva Costello könyvében [2] és sok más publikációban elméletet dolgozott ki a sodronyok lineárisan rugalmas viselkedésének leírására, melynek alapvető feltevései húzott-csavart terhelésre:

- érvényes a Poisson hatás,
- a hélikus geometriájú drótszálak menetemelkedése relatíve nagy, de ezek változása terhelés hatására kicsi,
- a szálak közötti súrlódásos kontakt elhanyagolható, de léteznek és számíthatók a Hertz feszültségek.

A hajlított sodronyra vonatkozó alapvető feltevés szerint a *makroszkópiusan* értelmezett hajlítási merevség az egyes hélikus huzalszálak merevségeinek összege. Mind ezek alapján a huzalszálak középvonalaihoz rendelt, a kísérő triéderekhez illeszkedő koordinátarendszerekben felírva és megoldva az egyensúlyi egyenleteket, egy-egy konkrét szerkezetre vonatkozóan lehet számítási algoritmusokat kidolgozni és megoldani. Az előadás egy bonyolult kialakítású, 1+6 acélszálát és 12+18+24 alumínium szálát tartalmazó sodronyra mutat be megoldásokat. Húzás-csavaráskor mind ún. fixed end loading esetre, mind ún. free end loading esetre közöl eredményeket. Az előbbi feladat alkalmával a sodrony végei befogottak, nincs szögelfordulás, de fellép egy reakció-csavarónyomaték. A másik esetben a szögelfordulás megengedett, de az eredő csavarónyomaték zérus. Ezen két feladat típus eredményeinek összevetése felveti a különböző befogást alkalmazó szakítógépekkel kapott gyakorlati eredmények összehasonlíthatóságának kérdését. Egyes számított erő-elmozdulás diagrammok és az ugyancsak számított effektív axiális merevségek mért értékekkel történő összevetésére is sor kerül.

A hajlítási feladat megoldása többek között információval szolgál a hajlítónyomaték – görbületi sugár kapcsolatra. Fontos megfigyelés, hogy sodratok hajlításakor a prizmatikus rudakkal szemben nem a szélső szálak, hanem a magszál van veszélyes állapotban.

Valamennyi feladat megoldásakor meghatározásra kerültek az egyes szálakban illetőleg rétegekben kialakult alakváltozási és feszültségi állapotok és így ismertté vált az acél és az alumínium komponensek közötti terhelés megoszlás is. Az előadás több paraméter vizsgálatot is közöl, ami alapját képezi gyártástechnológiai és gyártmány-fejlesztési tevékenységeknek.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Love, A. E. M.: A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity Dover Publications, New York, 1944. pp. 381-426.
[2] Costello, G. A.: Theory of Wire Rope, Springer, Mechanical Engineering Series, Second Edition, New York, 1997.

MECHANIKAI ISMERETEK A SZAKMAI ESETTANULMÁNYOKBAN

Scharle Péter Péter
Széchenyi István Egyetem, Győr
E-mail: scharle@rs1.szif.hu

A mérnökképzés különböző területein egymástól eltérő, de általában fontos szerepe van az esettanulmányoknak. Kiválasztásukat, bemutatásuk jellegét többnyire meghatározza a szaktárgyak tartalma, a feldolgozás részletessége, szempontjai, alapossága azonban még azonos szakmai témakörökön belül sem egységes.

A gyakorlati esetek leírásában, a velük összefüggő tapasztalatok ismertetésében, a belőlük levonható következtetések kifejtésében sokszor háttérben maradnak olyan kérdések és válaszok, amelyek az adott esethez kapcsolódó mechanikai ismereteket megvilágítanak, a korábban megszerzett elméleti tudást felidéznek és megerősítenék.

Ennek a kedvezőtlennek vélt gyakorlatnak több oka van, közülük néhányat lehetséges és érdemes is kiktatni.

Az esettanulmányok tudatosabb és mechanikai ismeretek szempontjából igényesebb tárgyalása az alapképzésben is célravezető, a mesterképzésben pedig a színhez tartozó követelménynek bizonyul. Eközben viszont a szakirodalomban hozzáférhető esettanulmányok kisebb hányada használható csak fel ilyen vonatkozásban. Ezért érdemes kérni és bátorítani az esettanulmányok írására vállalkozó szakértőket, hogy tudatosabban törekedjenek a mechanikai ismeretek megerősítésére is felhasználható adatközlésre és tárgyalásmódra.

MÉRNÖKI PÉLDÁK TÖKÉLETLEN SZIMMETRIÁJÚ, OPTIMÁLIS SZERKEZETEKRE

Sipos András Árpád, Domokos Gábor
BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék
E-mail: siposa@silver.szt.bme.hu

A mérnöki szerkezetek többségét szimmetrikus geometriával valósítják meg. A szimmetrikus elrendezést nem csupán egyes terhek (pl.: szélteher) irányának bizonytalansága okozza; a szimmetrikus megoldás a mérnöki intuíciónak szerint legalább lokálisan optimális. Természetesen terveznek nagymértékben aszimmetrikus szerkezeteket is, de a kismértékben aszimmetrikus, vagy más néven tökéletlen szimmetriájú szerkezetek a mérnökök számára kerülendő, rossz megoldást jelentenek.

A tökéletlen szimmetria matematika hátterért [1],[2] és [3] részletesen elemzi, előadásunkban egyszerű mérnöki példákkal támasztjuk alá a publikált eredményeket. Az optimalizálás történhet lokális vagy globális kritérium alapján. Lokális kritérium esetén több szerkezeti elem teherbírása határozza meg a teljes szerkezet teherbírását. Jó példa erre a hajlításra igénybevett keresztmetszet rugalmas teherbírása, ahol egyik szélső szálban sem lehet nagyobb a húzó, vagy nyomó feszültség, mint az anyag húzó-, vagy nyomószilárdsága. A szerkezet képlékeny teherbírása ezzel szemben globális kritérium, hiszen az nem a szerkezeti elemek, jelen esetben a szélső szálak teherbírásának vizsgálatával határozható meg.

Előadásunkban egy paraméterrel (p) jellemezhető szerkezeteket vizsgálunk, a szimmetriasértő változót α jelöli, $\alpha = 0$ esetén a szerkezet szimmetrikus. Ha a p paraméter változtatása optimum-bifurkációhoz vezet, tökéletlen szimmetriáról beszélünk. Mivel a p paramétert nem optimalizáljuk, megközelítésünk nem azonos egy keresztmetszet alakjának optimalizálásával.

Első példaként egy téglalap keresztmetszet rugalmas és képlékeny teherbírását elemezzük. A vizsgálatban a p paraméter a téglalap oldalainak aránya, az α szimmetria sértő változó a hajlítónyomaték iránya. A második példa annyiban különbözik az elsőttől, hogy téglalap helyett egy rombusz alakú keresztmetszet eredményeit mutatjuk be.

Harmadik példánk egy síkbeli csuklókkal megtámasztott, központosan nyomott vasbeton rúd. A p paraméter ebben a példában is a keresztmetszet oldalainak aránya. Az α szimmetria sértő változó két darab vasbetét távolsága a beton keresztmetszet szimmetriatengelyétől. Ebben a példában egy globális kritériumot, a rúd kihajlással szembeni biztonságát, vagyis a legkisebb kritikus tehet értékét vizsgáljuk. Amennyiben $\alpha \neq 0$ a rúd poszkritikus alakja térgörbe, ezért a kritikus nyomóerő értékét csak egy, a rudak térbeli deformációit számító algoritmus segítségével lehet meghatározni. A felhasznált algoritmus ismertetését [4] tartalmazza. A számítások szerint létezik a p paraméter kritikus értéke ($p = p_c$), melynél a vasak szimmetrikus elhelyezése még optimális, de $p > p_c$ esetén már ez az elrendezés pesszimust jelent, ez utóbbi esetben a tökéletlen szimmetriájú kialakítás adja a kihajlással szembeni legnagyobb biztonságot.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA TS49885, az NKFP No.2_009_04 és a Pázmány Péter program RET-06/2005 projektek keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Várkonyi, P. L. és Domokos G.: *Symmetry, optima and bifurcations in structural design*, Nonlinear Dyn. 43 (2006) 47.
- [2] Várkonyi, P. L. *PhD. Thesis*, Budapest University of Technology and Economics (2006)
(<http://www.szt.bme.hu/munkatrs/varkonyi/PhD.pdf>.)
- [3] Várkonyi, P. L. és Domokos G.: *Imperfect symmetry: a new approach to structural optima via group representation theory*, Int. J. Solids. Struct 44 (2007) 4723.
- [4] Sipos, A. Á. *PhD. Thesis*, Budapest University of Technology and Economics (2007)
(<http://www.szt.bme.hu/munkatrs/sipos/disszertacio.pdf>.)

TETSZŐLEGES ALAKÚ, HÚZÓSZILÁRDSÁG NÉLKÜLI KERESZTMETSZET SEMLEGES TENGYELÉNEK ÉS GÖRBÜLETÉNEK SZÁMÍTÁSA

Sipos András Árpád, Domokos Gábor
BME Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék
E-mail: siposa@silver.szt.bme.hu

Külpontosan nyomott, tetszőleges alakú, húzószilárdság nélküli (például: vasbeton) keresztmetszet semleges tengelyének meghatározása egy erősen nem-lineáris probléma, hiszen a keresztmetszet dolgozó részét a semleges tengely határolja, a húzófeszültségek helyén a keresztmetszet bereped. Az irodalomban található megoldások vagy nem minden keresztmetszet esetén konvergensek, vagy konvergencia tulajdonságaik nem ismertek.

A nyomott zónában lineáris anyagtörvény esetén az egyensúlyi egyenletekből származtatott és az ún. Pelikán-iteráció természetes általánosításának tekinthető rekurzió egy kétdimenziós leképezésnek feleltethető meg. A szakirodalom alapján egy kétdimenziós leképezés tipikusan kaotikus viselkedést mutat, ezzel szemben az általunk javasolt eljárás globálisan konvergens. A megoldás unicitását, és a lokális stabilitást analitikusan bizonyítottuk be. Szimmetrikus keresztmetszet és a szimmetriatengelyre eső dőféspont esetén a globális konvergencia szintén analitikusan belátható. Az általános, kétdimenziós eset globális konvergenciáját szisztematikus numerikus szimulációk támasztják alá [1].

Felmerül a kérdés, hogy lehet-e megoldást adni akkor, ha a nyomott zónában az anyagtörvény nem-lineáris. Az előadásban egy, a berepedt keresztmetszet semleges tengelyét és görbületét számító, ötdimenziós szemi-implicit leképezést mutatunk be, ami a lineáris esetben használt kétdimenziós eljárásra épül. A módszer alapja, hogy egy nem-lineáris anyagtörvényű, külpontosan nyomott keresztmetszet semleges tengelye megoldása egy tipikusan másik dőféspontú, de lineáris anyag-törvényű feladatnak. A módszer a semleges tengelyt, a keresztmetszet görbületét és a lineáris feladathoz tartozó dőféspontot határozza meg.

Az eljárás folyamán az i . lépésben először az aktuális dőfésponthoz lineáris anyagtörvény feltételezésével meghatározzuk az $(i + 1)$. lépés semleges tengelyét. A teljes, nem lineáris anyagtörvénnyel felírt vetületi egyenletből kiszámítjuk a keresztmetszet κ^{i+1} görbületét. Nem lineáris anyagtörvény esetén nem teljesül a megoldások unicitása, ezért általában a görbületre több valós gyököt is kapunk eredményül, ezek közül a legkisebb pozitív értékűvel folytatjuk a számítást. Ez a szabály lényegében nem más, mint a teher történetre vonatkozó feltevés: a teher a szerkezet adott keresztmetszetén a tervezési értéket soha nem haladta meg. A görbület és a semleges tengely együtt egyértelműen meghatároz egy feszültségi testet. Ennek segítségével kiszámítjuk a feszültségekből ébredő, ki nem egyensúlyozott nyomatékot, mely meghatározza az $(i + 1)$. lépés lineáris anyagtörvényhez tartozó dőféspontjára vonatkozó becslést.

Az eljárást numerikusan vizsgáltuk másodfokú anyagtörvénnyel. Ebben az esetben minden külpontosan nyomott keresztmetszethez létezik a P_{max} elméleti maximális nyomóerő (ami nem feltétlenül azonos a keresztmetszet teherbírásával), ezen erőt meghaladó teher esetén az egyensúlyi egyenleteknek nincs valós megoldása. Az eljárás megvalósítására három lehetőség kínálkozik:

- Adott P külponos nyomóerő feltételezése minden lépésben, ha $P > P_{max}$ akkor az eljárás leáll,
- Minden lépésben P_{max}^i meghatározása és a semleges tengely számítása ezzen a teherszinten (ekkor teljesül a megoldás unicitása,)
- Amíg $P < P_{max}$ az 1. eljárás, egyébként a 2., eljárás használata.

Numerikus szimulációk alapján mindhárom megközelítés globálisan konvergens.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA TS49885, az NKFP No.2_009_04 és a Pázmány Péter program RET-06/2005 projektek keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Sipos, A. Á.: *A robust algorithm to calculate the spatial deformations of rods without tensile strength*, Proc. Estonian Acad. Sci. Phys. Math. 55(2), (2006), 96.

HŐSUGÁRZÁS ELLENI VÉDŐPAJZS TERMOMECHANIKAI SZIMULÁCIÓJA ÉS OPTIMÁLÁSA

Szabó Viktor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: vszabo@mm.bme.hu

A vizsgálat célja az ITER magfúziós erőmű egyik komponensének, a Test Blanket Module (TBM) nevű elemnek a tesztelésére szolgáló berendezés geometriájának kialakítása, konstrukciójának optimalizálása, megfelelő anyag kiválasztása és a tesztelő berendezés által nyújtott peremfeltételek szimulálása.

A TBM tesztelésére a nemzetközi HELOKA (Helium LOop Karlsruhe) projekt keretében vákuumtartályt építenek. Ebben egy nagy teljesítményű (1,5 MW) hőszigetelővel sugározzák be a TBM első falát, mely a plazma felé fog nézni az ITER erőműben. A vákuumtartály hőszigetelésétől való védelmére a hőpajzsok szolgálnak. A szimulációk alapján elkészült ezeknek a koncepciója, melyben a TBM-et és a hőszigetelőt erősen hőálló molibdén-ötvözetből, ún. TZM-ből készült lemezek sorozata veszi körül, melynek az utolsó rétege vízzel hűtött. Ezek a lemezek visszaverik a hőt, tehát csökkentik a hűtési szükségletet, valamint javítják a TBM hőfelvételét, melyre szigorú kritérium van érvényben. Ezt a hőfelvételt egy szigetetlen hőszigetelővel nem tudnánk elérni (300 W/m^2 a szükséges fajlagos hőmennyiség, a grafit hőszigetelő maximális üzemi hőmérséklete 2000°C). ANSYS 10.0 kereskedelmi végelem szoftver segítségével találtam választ a megfelelő geometriai kialakításra, minimális távolságokra a hőszigetelőtől és a szükséges hűtőfolyadék-mennyiségre. Egy SHELL132 típusú, hőtani héjelemekből álló modellen vizsgáltam a hőmérséklet és hőáram-eloszlást, majd a megfelelő eredmény elérése után végeztem a szerkezet termomechanikai optimalizálását.

Mobiltelefonokban alkalmazandó új típusú elektromágneses aktuátor dinamikai vizsgálata

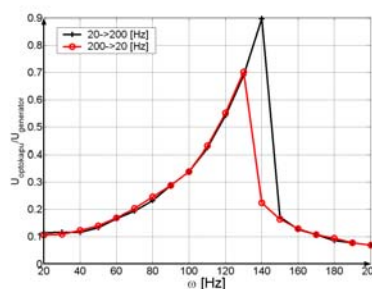
Szabó Zsolt
BME, Műszaki Mechanikai Tanszék
E-mail: szazs@mm.bme.hu

Lukács Attila
BME, Mechatronika, Informatika és
Optika Tanszék
E-mail: lukacs@mom.bme.hu

Ma már szinte a mobiltelefonok alapértelmezett funkciójához tartozik a rezgő hívásjelzés. E célra ma kizárólag a Lorentz-erőn alapuló légréstekercses, egyenáramú kommutátoros motortípust használják. Ezen motorok serleg alakú forgórészrel rendelkeznek, az állórész gerjesztéséhez pedig a korszerű kemény-mágneses anyagokat, mint például a ritka földfém mágneseket használják fel. A szokványos kefe és kommutátor együttesével végzett komutálás problematikája [1] azonban a konstrukció olyan módosítását veti fel, amelyben már nincs kommutáció. Vizsgálataink középpontjában egy e célra kifejlesztett lineáris elvű, elektromágneses aktuátor modellezése, dinamikai analízise numerikus és analitikus módszerekkel, és a modellnek mérések alapján történő pontosítása áll.



1. ábra: Az elektromágneses aktuátor



2. ábra: A mért rezonanciagörbe

A vizsgált aktuátor rajza az 1. ábrán látható. Az m tömegű mozgórészt a rezgőnyelvre erősített harang alakú fluxuszáró ház és a benne elhelyezkedő állandó mágnes alkotja. Erre hat a rezgőnyelv lehajlásának megfelelő $F(x)$ ellenerő, valamint a légrésben elhelyezett — alaplaphoz rögzített — n menetű és menetenként l hosszúságú tekercsbe vezetett $I(t)$ áram és a B légrésindukció vektoriális szorzatából származó erő. A mozgást gátló csillapító erőt a sebességgel arányosnak tételeztük fel ($k\dot{x}$). Newton II. axiómája alapján tehát az alábbi egyenlet írható fel:

$$m\ddot{x} + k\dot{x} + F(x) = BnI(t)$$

Az áramkörre felírható Kirchhoff-törvény a tekercs L önindukcióját és R ellenállását, valamint a gerjesztő $U(t)$ feszültséget és az állandó mágnes $\dot{x}$ sebességű mozgásából eredő ellen-elektromotoros erőt figyelembe véve:

$$L \frac{dI}{dt} + BnI\dot{x} + RI = U(t)$$

Ezzel egy másfél szabadsági fokú, három állapotváltozóval leírható gerjesztett modell közös differenciálegyenlet-rendszerét kaptuk, amelyben a nemlinearitást elsősorban a rezgőnyelv rugóereje okozza:

$$F(x) = s(x + \mu x^3),$$

ahol a progresszív rugókarakterisztika miatt $\mu > 0$.

Az L önindukció kis értéke esetén a modell nagy hasonlóságot mutat az egyszabadsági fokú Duffing-egyenlet viselkedésével. Harmonikus gerjesztő feszültség esetén ($U(t) = U_0 \sin \omega t$) a rezonancia görbe jobbra elhajlik, és két stabil rezgési amplitudó között egy instabil lesz megfigyelhető a lineáris rezonancia- vagy sajátfrekvencia ($\alpha = \sqrt{s/m} \equiv 142$ [Hz]) fölött egy bizonyos tartományban.

Ezt a viselkedést méréssel is sikerült kimutatni (2. ábra). A gerjesztőhatás körfrekvenciáját 20 [Hz]-től egészen 200 [Hz]-ig növeltük, viszonylag lassan. A gerjesztett rezgés amplitúdója növekedett, azonban a 140 Hertz tartományt elérve a gerjesztett rezgés amplitúdója ugrásszerűen lecsökkent. Ha viszont ezután a gerjesztőhatás frekvenciáját csökkentettük, bizonyos frekvenciát elérve ismét ugrásszerűen megnőtt a rezgés amplitúdója.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA F47318 sz. projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Chung, S. U., Hwang, G. Y., and Hwang, S. M., „Development of brushless and sensorless vibration motor used for mobile phone,” *IEEE Transactions on Magnetics*, **38**(5):3000–3002, 2002.

ANIZOTROP TÖNKREMETETELI ELMÉLETEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA FAANYAGON VÉGZETT KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI ALAPJÁN

Szalai József, Garab József
Nyugat-magyarországi Egyetem, Faipari Mérnöki Kar
Műszaki Mechanika és Tartószerkezetek Intézet, Sopron
E-mail: jkszalai@fmk.nyme.

A természetben - alapjában véve - minden anyag anizotrop. A műszaki gyakorlatban felhasznált anyagok egy része izotrop anyagként modellezhető a fizikai-mechanikai tulajdonságok szempontjából. Másik része (kompozitok, faanyag) azonban olyan mértékű irányfüggő tulajdonságrendszerrel bír, ami anizotrop anyagmodellek alkalmazását teszi szükségessé.

A teherbíró-képesség, a szilárdság minden szerkezeti elem, ill. anyag alapvető tulajdonsága. A szerkezeti elem teherbíró-képességének előrejelzéséhez anizotrop tönkremeneteli elméleteket kell alkalmazni. Ezeket a múlt század elejétől kezdik megalkotni. Alapvetően három tönkremeneteli elméletet ismer a tudományos világ. A többiek gyakorlatilag ezek valamilyen korlátozott érvényességi tartományú részelméleteinek tekinthetők. E három alapelmélet a von Mises-, az Askenazi- és a Tsai-Wu-féle. Elméleti megfontolások és egyszerű (normál-igénybevétellel létrehozott) feszültségi állapotban végzett kísérletek arra utalnak, hogy az Askenazi elmélet írja le a legelfogadhatóbban a faanyag szilárdsági viselkedését.

A Bécsi Műszaki Egyetem Szilárdságtani Intézetében Dr. Josef Eberhardsteiner vezetésével egy precíziós terhelő- és mérőberendezéssel lucfenyő faanyagon biaxiális (tetszőleges síkbeli feszültségi állapotú) méréseket végeztek, amelyek egyik célja éppen a tönkremenetel pillanatában fellépő feszültségi állapot meghatározása volt. A 423 mérés eredményét a kutatásvezető készségesen rendelkezésünkre bocsátotta. A kiértékelés során azt vizsgáltuk, hogy a tönkremeneteli feszültségi állapotnak megfelelő képpont milyen közel esik az egyes tönkremeneteli elméleteknek megfelelő szilárdsági felülethez. A vizsgálathoz bevezetett tönkremeneteli viszonyszám lehetővé tette a nagy mennyiségű adathalmaz matematikai statisztikai kiértékelését és a tönkremeneteli elméletek objektív megítélését.

HIVATKOZÁSOK

1. Askenazi, E.K. 1966: Procsnoszt' anizotropnüh drevesznüh i szinteticeszkih materialov. 1. kiadás. Moszkva: Izdatel'stvo Lesnaja Promislenoszt.
2. Eberhardsteiner, J. 2002: Mechanisches Verhalten von Fichtenholz. Experimentelle Bestimmung der biaxialen Festigkeitseigenschaften. Springer Verlag Wien, New York.
3. Szalai, J. 1992: Comparing of failure theories for orthotropic materials on the basis of theoretical criteria of their applicability. Acta Facultatis Ligniensis. 1992/1, 15-31.
4. Szalai, J. 2003: A természetes faanyag szilárdsági felületének jellemzői. Építés- Építészettudomány XXXI (1-2), 43-59.
5. Tsai, S.W.-Wu, E.M. 1971: A general theory of strength for anisotropic material. J. Composite Materials, Vol. 5, 58-80.
6. von Mises, R. 1928: Mechanik der plastischen Formänderung von Kristallen. Z. angew. Math. Mech. 8(1928), 161-185.

A direkt módszer integrálegyenletei saját síkjában terhelt lemezre

Szeidl György és Szűcs Nóra

Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: Gyorgy.Szeidl@uni-miskolc.hu, noraszucs@vipmail.hu

Számos cikk jelent meg a szakirodalomban amely peremelem módszerrel vizsgálta a vékony lemezek statikai feladatait és stabilitását (kritikus terhelését). A teljesség igény nélkül emeljük ki ezen cikkek közül a [1, 2, 3, 4, 5, 6] tanulmányokat. A stabilitásvizsgálattal foglalkozó cikkek közös sajátossága hogy az alapmegoldás megkonstruálása során figyelmen kívül hagyják azt a tagot a feladat differenciál-egyenletében, amely a lemez saját síkjában működő terhelés hatását jeleníti meg. Erre azért van szükség, mert az utóbbi terhelés jellege tekintetében nincs érdemleges korlátozás.

A jelen előadás célja az alapmegoldás, és a lehajlás számítására alkalmas integrálegyenletek előállítás (két ilyen egyenletre van szükség), illetve az integrálegyenletek numerikus megoldására szolgáló algoritmus bemutatása, ha olyan terhelés működik a lemez saját síkjában, amelynek hatására konstans feszültségi állapot alakul ki a lemezben.

A vizsgálatokat az xyz KR-ben végezzük. Az xy sík feltevés szerint a lemez középsíkjával esik egybe. Jelölje w a lemez középsíkjának elmozdulását (ez merőleges a középsíkra). Legyen f a lemez középsíkjában működő terhelés hatására kialakuló érő. Legyen továbbá $Q(\xi, \eta)$ és $M(x, y)$ az xy koordinátasík két pontja: a forráspont és a hatás pontja. A két pont távolságát R jelöli, $\delta(M - Q)$ pedig a Dirac függvény. A

$$\Delta (\Delta w - k^2 w) = \delta(M - Q)/D, \quad k^2 = f/D > 0$$

differenciálegyenlet megoldását (a deriváltakat az M pont szerint kell venni, D a lemez merevsége) $G_o(M, Q)$ -val jelöljük és az elmozdulásmezőre vonatkozó alapmegoldásnak nevezzük. Legyen $\mathbf{n}$ a külső normális a lemez peremének M pontjában. A szögelfordulásmezőre vonatkozó $G_1(M, Q)$ alapmegoldást a

$$G_1(M, Q) = \frac{\partial G_o(M, Q)}{\partial n_M}$$

összefüggés értelmezi. Az előadásban bemutatjuk az alapmegoldásokat és ezek tulajdonságait. Ezt követően az alapmegoldások ismeretében levezetjük a potenciál-elméletből ismert Green identitás lemezfeladatokra vonatkozó analogonjait. Az utóbbiak ismeretében előállítjuk a direkt módszer két integrálegyenletét. További kérdés az integrálegyenletek numerikus megoldására alkalmas algoritmus kidolgozása. (A fő nehézséget a szinguláris integrálok kezelése okozza.)

A kapott integrálegyenletek reményeink szerint arra is módot nyújtanak, hogy megvizsgáljuk a szabadrezgéseket végző lemez frekvenciaspektrumát az f , mint paraméter függvényében.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Moris Stern. A general boundary integral formulation for the numerical solution of plate bending problems. *Int. J. Solids Structures*, 15:769–782, 1979.
- [2] S. Syngellakis and A. Elzein. Plate buckling loads by the boundary element method. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 37:1763–1778, 1994.
- [3] M. S. Nerantzaki and J. T. Katsikadelis. Buckling of plates with variable thickness – an analog solution. *Engineering Analysis with Boundary elements*, 18:149–154, 1996.
- [4] J. Lin, R. C. Duffield, , and H. Shih. Buckling analysis of elastic plates by boundary element method. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 23:131–137, 1999.
- [5] P. H. Wen, M. H. Aliabadi, and A. Young. Application of dual reciprocity method to plates and shells. *Engineering Analysis with Boundary elements*, 24:583–590, 2000.
- [6] J. Purbolaksono and M. H. Aliabadi. Buckling analysis of shear deformable plates by boundary element method. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 62:537–563, 2005.

FOURIER ÉS FICK A TERMO-HIGRO-MECHANIKÁBAN

Dr. Szekeres András

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: szekeres@mm.bme.hu

A Fourier törvény nélkül nincs Fick törvény és F&F nélkül nincs termo-higro-mechanika (THM). Az állítás nem szorul magyarázatra, miként a THM gyakorlati haszna sem, hiszen a modern gépészeti anyagok többsége nemcsak hő-, hanem nedvesség érzékeny is.

Fourier kb. 100 évvel idősebb és a törvénye ismertebb, mint Fické. Fick tisztában volt Fourier eredményeivel és törvénye publikálásakor hivatkozott rá [1]. Fourier volt a bázis, a mérték. Soret és Dufour is ilyen értelemben beszélt róluk. Az elhangzott négy névhez kapcsolódik a THM négy alapvető törvénye: a hővezetés, a nedvességdifúzió, a hő hatása a nedvesség és a nedvesség hatása a hő terjedésére.

Az összes THM-i vizsgálatom és úgynevezett eredményem ebbe a keretbe ágyazódott; azaz a F&F törvények közötti analógián és eltérésen alapszik [2]. Azonban a legújabb eredmények [3] másféle gondolatot is ébresztenek. Ilyen pl., hogy a nedvességtágulás a nedvességdifúziót befolyásolja, nagyobb táguláshoz lassúbb diffúzió tartozik.

Felvetődhet, hogy igaz-e ez hővezetés esetén is. Ha igen, akkor kihasználható-e ez a jelenség mesterséges (hő)félvezető kialakításához, amint (nedvesség)félvezetőhöz igen.

További gondolat az anyagjellemzők között fennálló – szilárdtest fizikai – összefüggések kiterjesztése az előbbiek felhasználásával.

Az előadás a fentiek elemzésével és gyakorlati – főleg THM-i – alkalmazásával foglalkozik.

Hivatkozások

1. Fick A: Uber Diffusion. Annalen der Physik und Chemie, 1855 (170) 59
2. Szekeres A, Pramila A: Heat and Moisture in Solids (in Composites) – Application of the Similarity Method. 34th Solid Mechanics Conference, Zakopane, Poland, Sept. 2-7, 2002
3. Roy S, Szekeres A, Wang Y, Nair A: On Solvent Diffusion in a Solid with Large Dilatation. Composite Science and Technology, 2007 (In print)

ELŐFESZÍTETT KOMPOZIT RUDAK ALKALMAZÁSA TÖRÉSMECHANIKÁBAN

Szekrényes András

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: szeki@mm.bme.hu

A kompozit anyagok számtalan előnyös tulajdonságaik mellett alacsony rétegközi szilárdsággal rendelkeznek. A rétegközi törés módusa szerint lehet **I**-es (nyitó), **II**-es (párhuzamos elcsúszás), illetve **III**-as (merőleges elcsúszás). Az elmúlt két évtizedben elsősorban olyan kísérleti berendezéseket fejlesztettek ki, amelyek az **I**-es és **II**-es módusok tetszőleges kombinálását teszik lehetővé.

Elméletileg a bevágások, bemetszések repedésűsúcsa körül a három törési módus bármilyen arányban kombinálódhat. Ez felveti egy olyan módszer kidolgozását, amely lehet ővé teszi hasonló állapot létrehozását kompozit próbatestekben is. Az ún. előfeszítéses technika alap gondolata az, hogy a három módus közül kettőt rögzít a próbatestben, míg a fennmaradó egy módust növelhetjük, ha egy pontban terheljük a próbatestet egészen a repedés megindulásáig. Így pl. az **I/II**-es módusú törés igen egyszerűen, egy fémgörgő repedési felszínbe való beillesztésével valósítható meg. A módszer az eddigiekkel szemben igen egyszerű, vannak persze hátrányai is.

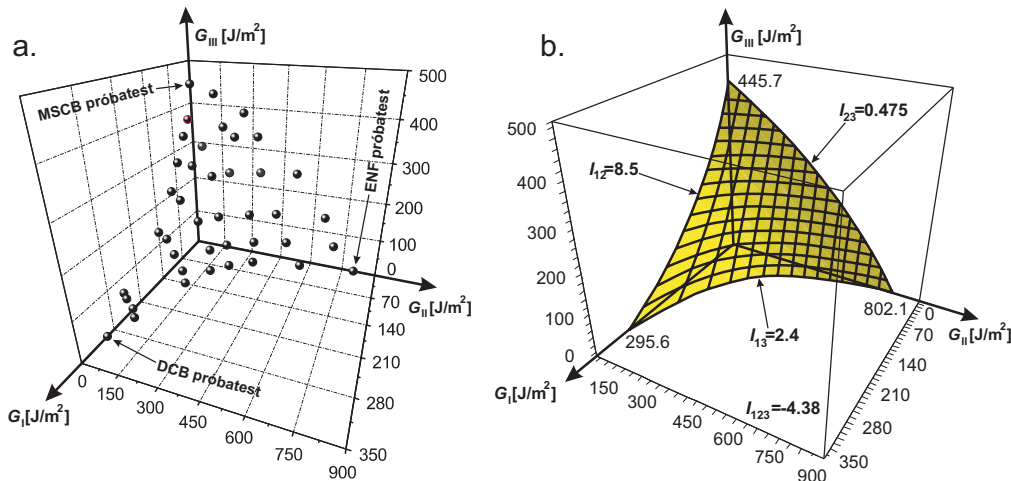
A **II/III**-as, az **I/III**-as és az **I/II/III**-as módusú kombinált állapotok megvalósításához egy kissé bonyolultabb felszerelésre van szükség, ám ez messze nem olyan költséges, mint az **I/II**-es törés máig leguniverzálisabbnak tartott, ún. MMB (mixed-mode bending) típusú felszerelése [1].

Az 1a. ábra előfeszített próbatestek segítségével kísérletileg kimért pontokat mutatja a G_I - G_{II} - G_{III} térben, az 1b. ábra pedig a mért pontokra illesztett háromdimenziós törési felületet adja meg, amely felület egyenlete:

$$\frac{G_I G_{II}}{G_{IC} G_{IIC}}(1 - I_{12}) + \frac{G_{II} G_{III}}{G_{IIC} G_{IIIC}}(1 - I_{23}) + \frac{G_I G_{III}}{G_{IC} G_{IIIC}}(1 - I_{13}) - \frac{G_I G_{II} G_{III}}{G_{IC} G_{IIC} G_{IIIC}} I_{123} +$$

$$- \left(\frac{G_I}{G_{IC}} + \frac{G_{II}}{G_{IIC}} + \frac{G_{III}}{G_{IIIC}} - 1 \right) = 0$$

A fenti egyenlet Williams [2] kétdimenziós törési kritériumának általánosítása háromdimenziós esetre. G_{IC} , G_{IIC} és G_{IIIC} az **I**-es, **II**-es és **III**-as törési módusú kritikus repedésfeszítő erő, I_{12} , I_{23} , I_{13} valamint I_{123} pedig az egyes módusok közötti kölcsönhatást kifejező paraméterek.



ÁBRA 1. A mérési eredmények (a), és a pontokra illesztett törési felület (b).

HIVATKOZÁSOK

- [1] Reeder, J., R., Crews, J. 1990: *Mixed-mode bending method for delamination testing of composites* AIAA Journal 28, 1270-1276.
- [2] Hashemi, S., Kinloch, J., Williams, J.G. 1990: *The effects of geometry, rate and temperature on mode I, mode II and mixed-mode I/II interlaminar fracture toughness of carbon-fibre/poly(ether-ether ketone) composites*, Journal of Composite Materials 24, 918-956.

SZUPERFINISELŐ BERENDEZÉS DINAMIKAI VIZSGÁLATA

Szilágyi Attila, Dr. Patkó Gyula, Demeter Péter,

Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Tanszéke

E-mail: szilagyis@szgtirix.szgt.uni-miskolc.hu

Szuperfiniselő eljárás nagyfrekvenciás lengéseit elektrodinamikus rezgetőberendezés segítségével kívánjuk megvalósítani. Az egyfázisú rezgetőberendezés mozgásállapotát leíró elektromechanikusan csatolt differenciálegyenlet – rendszert (a továbbiakban d.e.r.) a

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{x}} \right) - \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial D}{\partial \dot{x}} &= F(t), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial E}{\partial \dot{Q}} \right) - \frac{\partial E}{\partial Q} + \frac{\partial U}{\partial Q} + \frac{\partial D}{\partial \dot{Q}} &= u(t) \end{aligned} \quad (1)$$

Lagrange – egyenletek felhasználásával állítjuk elő általános koordinátákként a rendszer elmozdulását (x) és a gerjesztő körben jelenlévő töltésmennyiséget (Q) választva.

Első közelítésben az elektromechanikus lengőrendszer elemeit lineárisnak feltételezve – a fenti Lagrange – egyenletek alapján az alábbi, - a rendszer állapotát leíró

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + \kappa\dot{x} + kx - \alpha i &= 0 \\ L \frac{di}{dt} + Ri + \Gamma\dot{x} &= U(t) \end{aligned} \quad (2)$$

d.e.r – t állíthatjuk elő, ahol m a lengőmozgást végző test tömege, κ a lin. csill. együttható, k a rugóállandó, i a gerjesztő körben folyó áram erőssége, α az indukciós erő együttható, L a gerjesztő kör önindukciós együtthatója, R az összes ohmikus ellenállás, Γ ellenindukciós tényező, $u(t)$ pedig a villamos kör gerjesztő feszültsége. A (2) d.e.r. megoldását különböző feltételek mellett vizsgáljuk. A megoldás ismeretében előállíthatók a rendszer mozgásállapotát leíró összefüggések, ezen keresztül pedig a rendszer paramétereinek, például a gerjesztő frekvenciának a függvényében a konstrukció elemzéséhez szükséges energiamérleg.

Második közelítésben lineáris helyett Coulomb – jellegű csillapítási modellt alkalmazunk. Ezt az alábbi módosított d.e.r. írja le:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + F_S \operatorname{sgn}(\dot{x}) + kx - \alpha i &= 0 \\ L \frac{di}{dt} + Ri + \Gamma\dot{x} &= U(t) \end{aligned} \quad (3)$$

ahol F_S jelenti a csillapítást okozó Coulomb – féle súrlódási erőt. A csillapítás jellegénél fogva ez a d.e.r. nemlineáris viselkedésű, melyet a fázisgörbe feletti linearizálás módszerével hozunk egyszerűbb

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + \frac{4F_S}{\pi\omega a_1} \dot{x} + kx - \alpha i &= 0 \\ L \frac{di}{dt} + Ri + \Gamma\dot{x} &= u(t) \end{aligned} \quad (4)$$

alakra ahol a_1 a közelítő periódikus megoldás amplitúdója. Ennek ismeretében különböző technológiai paraméterek mellett vázoljuk a rendszer elmozdulásamplitúdó – gerjesztő frekvencia diagramját. Bemutatjuk továbbá a rendszer periódikus légrésváltozásaként adódó nemlineáris viselkedését, ennek következményeit, szintén a fázisgörbe feletti linearizációs módszert alkalmazva.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA TO42656 és az EU6 projektek keretében kapott támogatásért.

DUAL RENDSZERBENI PEREMKONTÚR-MÓDSZER VEGYES PEREMÉRTÉK FELADATOKRA

Szirbik Sándor

Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: Sandor.Szirbik@uni-miskolc.hu

Az előadás az elsőrendű feszültségfüggvényeket és a forgást tekinti alapváltozónak a rugalmasságtan síkbeli feladatainak dual rendszerbeni vizsgálata során. A dual rendszerbeni peremelem-módszer [1] egyik változata, az ún. peremkontúr-módszernek kidolgozása síkfeladatokra a szerző nevéhez fűződik [2]. Az idézett tanulmány azonban nem vizsgálta meg azt a kérdést, hogyan alkalmazható a módszer a vegyes peremérték feladatok egy tágabb osztálya, illetve többszörösen összefüggő tartomány esetén. Az utóbbi esetekben az okozza a nehézséget, hogy a kompatibilitás fennállásának biztosításához további egyenletek, azaz a kiegészítő-, és nagybani kompatibilitási feltételek teljesítése is szükséges.

A peremkontúr-módszernek az a felismerés az alapja, hogy a síkbeli tartomány határgörbéjén vett direkt dual Somigliana formulák integráljainak divergencia-mentes az integrandusza. Következésképpen léteznek, és zárt alakban konstruálhatók meg olyan potenciálfüggvények, melyek segítségével a kérdéses integrálok is zárt alakban számíthatók a megszokott numerikus integrálással szemben.

Homogén, izotróp testek dual rendszerben tekintett síkfeladatai egyszerűen összefüggő belső, illetve külső síkbeli tartomány esetén lineáris, majd kvadratikus approximációt alkalmaztunk a peremkontúr-módszer kidolgozása (a potenciálfüggvények meghatározása) során. Felhasználva ezeket az eredményeket megkonstruáltuk a peremen ismeretlen fizikai mennyiségek számítására szolgáló egyenletrendszert, valamint a tartományok belső pontjaiban a feszültségek számítására alkalmas egyenleteket is [3].

A jelen előadásban azt mutatjuk meg, hogyan lehet és kell kiegészíteni ezeket az egyenleteket a vegyes peremérték feladatok egy tágabb osztályára (ez a kiegészítő kompatibilitási feltételek figyelembevételével történik), illetve a többszörösen összefüggő tartományokkal kapcsolatos peremérték feladatok esetére (itt a nagybani kompatibilitási feltételeket is figyelembe kell venni). A kiegészítés magába foglalja a kompatibilitáshoz szükséges egyenletek diszkretizációját, algoritmus összeállítását a numerikus megoldáshoz, és számítóprogram készítését.

A numerikusan megoldott feladatok célja a módszer hatékonyságának és előnyeinek illusztrálása.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönetét fejezik ki az OTKA T046834 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Szeidl. G.: *Boundary Integral Equations for Plane Problems in Terms of Stress Functions of Order One*. Journal of Computational and Applied Mechanics, 2(2):237–261, 2001.
- [2] Szirbik. S.: *Boundary contour method for plane problems in a dual formulation with linear elements*. Journal of Computational and Applied Mechanics, 1(2):205–222, 2000.
- [3] Szeidl G. and Szirbik. S.: *Selected Topics in Boundary Integral Formulations for Solids and Fluids: Boundary Contour Method for Plane Problems in a Dual Formulation with Quadratic Shape Functions*, chapter 14. SpringerWienNewYork, 2002.

AZ ABRONCS ÁLTAL MÓDOSÍTOTT ÚTEGYENETLENSÉG TULAJDONSÁGA

Szőke Dezső

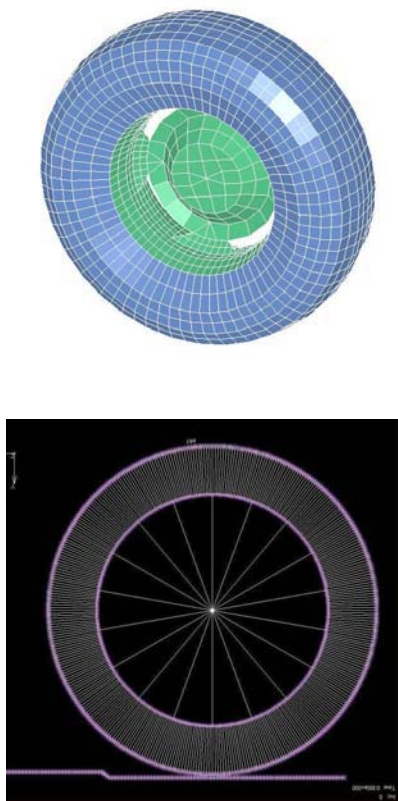
BME Járműváz- és Könnyűszerkezetek Tanszék

dezso@kme.bme.hu

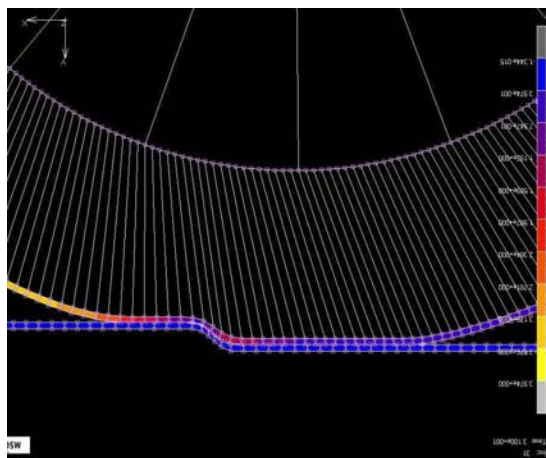
A jármű mindig egyenetlen útfelületen halad. A kerék középpontjának függőleges irányú kitérése gyakorlatilag mindig más, mint a kerék középpont alatti pályamagasság. Ennek megfelelően a jármű kinematikai terhelése (abroncs erő) is módosul a csak az útegyenetlenség alapján számított értékektől. (A kerék, a jármű nagyon lassan halad az úton, így nincs dinamikus hatás.)

Már a merevnek tekintett kerék is simítja a pályahibákat, az abroncs azonban deformálódik is (a pálya nem). A kerék-talaj közötti érintkezési feladat megoldásával számítható a kerék középpontjának mindenkor helyzete adott statikus terhelés mellett. A pályahossz diszkrét helyeihez tartozó kerékközéppont sorozat elemei adják a módosított (szűrt) útegyenetlenség függvényét, és számíthatók továbbá a kerékközépponti kényszererők.

Egy 3D-s abroncs modellből nyert 2D-s kerék modellt vizsgálunk végesselemez eljárással. Tipikus úthibák mellett, adott véletlenszerű útfelület esetén mutatjuk be a pályamagasság változását a kerék statikus terhelése, az abroncs paraméterek (geometria, merevség) és a kerék-talaj kapcsolat (súrlódás, gördülési ellenállás) függvényében.



A 3D és 2D-s abroncs modell



A kerék gördülése egy útpadkán

A JÁRMŰ FELFÜGGESZTÉSI PARAMÉTEREINEK OPTIMÁLÁSA

Szőke Dezső, Lógó János*

BME Járműváz- és Könnyűszerkezetek Tanszék

BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék*

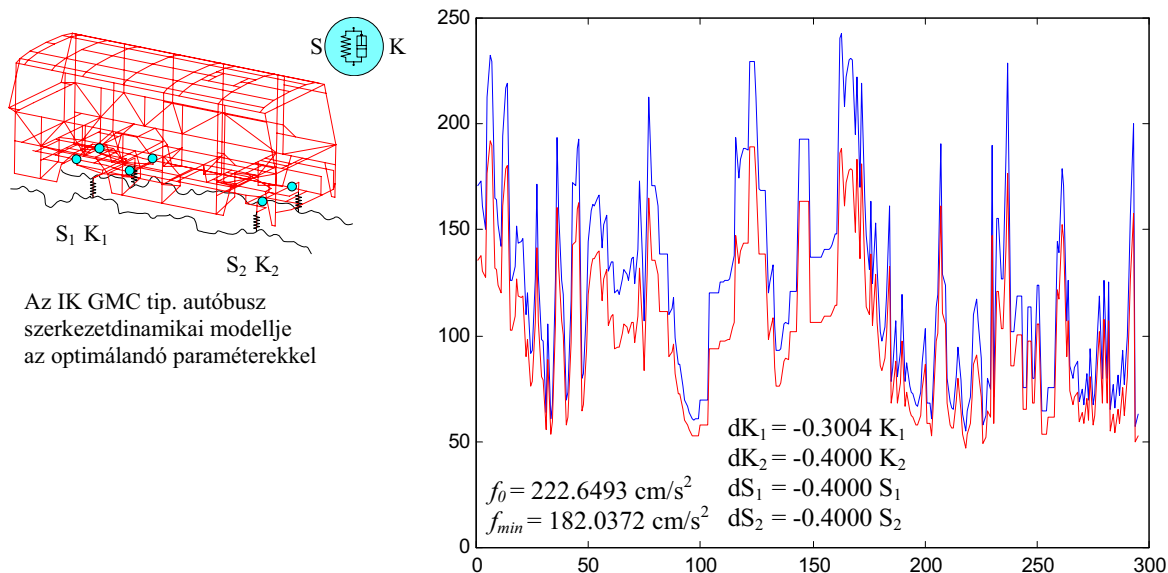
dezso@kme.bme.hu

A jármű felépítmény/vázszerkezet a kerék/tengely felfüggesztés rugalmas elemein (hordrúgó, hidraulikus csillapító, abroncs) keresztül támaszkodik az egyenetlen útfelületre. A jármű mozgásakor a pályahibák időben változó kinematikai terhelést okoznak. Ennek következtében változik a lengéskényelem (komfort) érzet (a felépítmény gyorsulásával arányos jellemző) és a jármű úttartása, stabilitása is (dinamikus kerékterhelés). A felfüggesztés paramétereinek alkalmas megválasztásával elérhető, hogy a rugalmas vázszerkezetbe (pl. autóbusz) e szerkezeti elemeken keresztül bevezetett erők hatása a jármű lengésére, elemeinek dinamikus igénybevételére minimális legyen (lengésszigetelés).

Az optimális paraméterek becslését egy autóbusz végeselemes modelljén mutatjuk be. A feladat megoldásához szükség van: egyrészt egy számító eljárásra, amivel a több ezer szabadságfokú modell szerkezetdinamikai jellemzői (lengésgyorsulás, igénybevétel, feszültség) gyorsan számíthatók, amiből majd a célfüggvény előállítható, másrészt egy kereső algoritmusra a feltételes optimalizáláshoz.

Egy adott fizikai paraméterekkel rendelkező járműnél ill. annak modelljénél a hasznos terhelés, a jármű haladási sebessége és az úttípus is változik, melyek alapvetően befolyásolják a jármű szerkezetdinamikai jellemzőit. E terhelési kollektíva valószínűségi változókkal írható le. Ennek megfelelően célszerű paraméterérzékenység vizsgálatot is végezni: azaz meghatározni a célfüggvény változását a rendszer paraméterek (szerkezeti modell és terhelés) korlátozott változására.

A járműbe ténylegesen beépítésre kerülő légrugó és csillapító elemek kiválasztásánál az igazi problémát – a fizikai megvalósíthatóság mellett – a reális célfüggvény megfogalmazása jelenti.



A felépítmény csomópontjainak gyorsulás szórása (--- optimált) és az optimalás eredménye (célfgv., opt. paraméterek, 4 par.)

PIEZOELEKTROMOS FÓLIAAKTUÁTOROK KIFÁRADÁSÁNAK VIZSGÁLATA

Szöllősi Árpád, Dr. Dénes István

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

Robert Bosch GmbH

E-mail: Arpad.Szoelloesi@de.bosch.com

Napjainkban, különböző a műszaki termékekben és technológiai folyamatokban egyre nagyobb szerephez jut a rezgéscsillapítás, ami egyebek mellett egy új tudományág, az adaptronika megszületését eredményezte, klasszikus területek, mint az elektronika, mechanika, szabályozásmélt és anyagtudomány ötvözésével. Az adaptronika az anyagok, szerkezetek tulajdonságainak (mint a szerkezet alakja, anyag merevsége, csillapítási tulajdonságai) befolyásolását, intelligens módon, az anyagba, szerkezetbe integrált szenzorok és aktuátorok segítségével teszi lehetővé. A szenzorok jeleinek feldolgozását, illetve az aktuátorok vezérlését egy szabályozóegység végzi.

Kis amplitúdójú mechanikai rezgések aktív csillapítása esetén gyakran piezoelektromos aktuátorokat és szenzorokat alkalmaznak. Ezen aktuátortípusok előnye a kis súly, kis beépítési térfogat és az aktuátorok által átvitt nagy erő, hátránya viszont az alkalmazáshoz szükséges magas feszültség, kismértékű deformáció és az ár. A piezoelektromos kerámia geometriája alapján két csoportra bonthatjuk őket, a stack (v. oszlop) aktuátorokra és az ún. patch (v. fólia) aktuátorokra. Amennyiben fóliaaktuátorokat hajlítólengések csillapítására használják, úgy azokat a mechanikai szerkezet felületén helyezik el. Az aktuátor a rá kapcsolt villamos feszültséggel arányos hajlítónyomatékot hoz létre a szerkezeten, illetve szenzoros működés esetén a szenzor-elektrodákon összegyűlt villamos töltés a szerkezet lokális deformációjával (görbületével) lesz arányos.

A piezoelektromos aktuátorokat a gyártás illetve alkalmazásuk során kombinált – termikus, mechanikus, elektromos – terhelések érik. Ezen terhelések időbeli lefolyásuk szempontjából egyszeri (sokkszerű), ciklikus, illetve kvázi statikus jellegűek. A terhelések hatására – a fáradásos jelenségek következtében – a piezoaktuátorok aktuátoros illetve szenzoros képességeinek csökkenése tapasztalható. E csökkenések okainak feltérképezésére károsodási modellt állítottunk fel, melyek különböző anyagvizsgálati módszerek illetve mérések (ultrahang mikroszkópia, CT felvételek, hőmérsékleti analízis) eredményein alapulnak.

A károsodási modell fontos részét képezi az aktuátorszerkezet hőmérsékleti viszonyait leíró egyenletrendszer. A piezoelektromos kerámia alatt és felett elhelyezkedő elektrodák váltakozó elektromos teret hoznak létre, amelynek hatására a kerámiában, illetve a szerkezetet összetartó gyanta egy részében keletkező hiszterézisvesztés hőenergia formájában szabadul fel. A keletkezett hő a gyantán, elektrodákon és az aktuátor fedőrétegén keresztül távozik a környezetbe.

A hőmérsékletnövekedés következtében a különböző hőtágulási együtthatójú anyagokban belső feszültségek keletkeznek, melyek a már meglévő mechanikus feszültségekhez hozzáadódva delaminációhoz illetve repedésekhez vezethetnek.

Ez a hőmérsékletnövekedés a piezoelektromos működés szempontjából is fontos, tekintve, hogy az a környezeti hőmérséklethez adódva a kerámia Currie hőmérsékletét megközelítheti, ami az anyag elektromechanikus csatlósának csökkenéséhez vezet.

Az aktuátor hőmérsékleti viszonyait leíró analitikus modell eredményeit a laboratóriumi mérés eredményeivel összevetve végeztük el a modell validációját.

HIVATKOZÁSOK

1. Moulson A. J.: *Electroceramics*, Wiley, West Sussex, 2003
2. Chung D. D. L.: *Applied Materials Science*, CRC Press, Boca Raton, 2001

VONTATOTT KEREKEK KVÁZI-PERIÓDIKUS REZGÉSEINEK KÍSÉRLETI ELEMZÉSE

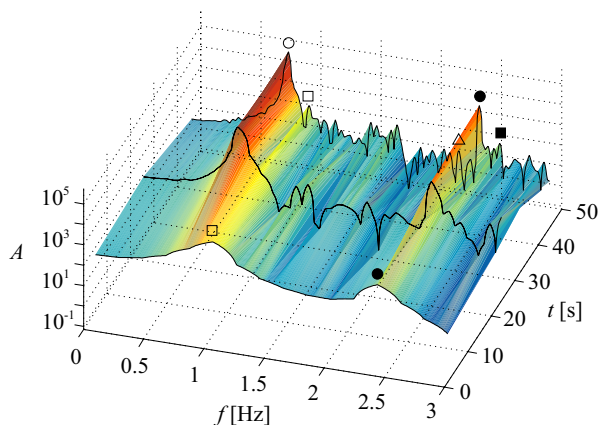
Takács Dénes és Stépán Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: takacs@mm.bme.hu

A járműdinamikai vizsgálatoknál nélkülözhetetlen, hogy a lehető legpontosabban vegyük figyelembe a gumikerek tulajdonságait. Nem véletlen tehát, hogy a gumikerek modellezésének kérdése a gumikerekű járművek megjelenésével egyidejűleg foglalkoztatni kezdte a szakembereket [1]. A járműveknél felmerülő stabilitási problémák közül néhány esetben nehéz megtalálni a jelenség okát. Ilyen járműdinamikai probléma például a vontatott kerek laterális instabilitása, ami többnyire összetett rendszereknél fordul elő, mint például repülőgép orrfutóműveknél, motorkerékpárok kormányzott kerekénél, csuklóbuszoknál, lakókocsiknál és különböző vontatmányoknál. Mivel ezen rendszerek elemzése kivétel nélkül több szabadságfokú összetett modellekre vezet, így sok esetben többféle magyarázat adható a vizsgált instabilitásra [2].

Ezen előadásban tárgyalt modell egy olyan egy szabadsági fokkal rendelkező vontatott kerék, amely egy időkésleltetett gumikerék-talaj kapcsolat segítségével ad magyarázatot a gyakorlati tapasztalatokra [3]. A kerékszítás legfontosabb tulajdonságai megtalálhatók az elméleti eredmények között, mint például a kvázi-periódikusság és a csupán egy meghatározott sebességtartományban lévő instabilitás. A modell validálására kísérleti berendezésen végeztünk méréseket, melyek részben igazolták a lineáris rendszer elemzésekor kapott eredményeket. A detektált kvázi-periódikus rezgés frekvencia spektrumában három meghatározó csúcs található, melyek közül kettő megegyezik a lineáris elmélet által meghatározott rezgési frekvenciákkal. A harmadik legnagyobb amplitúddal megjelenő rezgési frekvencia a lineáris rendszerben nem található meg, ezért a nemlineáris vizsgálatokhoz numerikus szimulációkat futtattunk. Ehhez figyelembe vettük mind a geometria mind pedig a Coulomb súrlódás okozta nemlineáritást. Ezúton, a kísérleti berendezés paramétereinek használatával sikerült reprodukálnunk a mért jel spektrumát. Az 1. ábrán a szimulált rezgés vizesés diagramja látható. Megfigyelhető, hogy a kezdeti lineáris, kis amplitúdójú mozgásban két frekvenciacsúcs van $\square$ és $\bullet$, míg végül a rendszer nagy amplitúdójú mozgásában a két kiszámolt frekvencia mellett megjelenik a kísérletek során detektált harmadik csúcs $\circ$.



1. ábra Nemlineáris szimuláció vizesés diagramja

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T043368 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. von Schlippe, B., and Dietrich, R., 1994. "Shimmying of a pneumatic wheel". Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung, 1(140), May, pp. 125–160.
2. Sharp, R. S., and Jones, S. J., 1980. "A comparison of tyre representations in a simple wheel shimmy problem". Vehicle System Dynamics, 9(140), pp. 45–47.
3. Stepan, G., 1998. "Delay, nonlinear oscillations and shimmying wheels". In Proceedings of Symposium CHAOS'97, Kluwer Ac. Publ., Dordrecht, pp. 373–386.

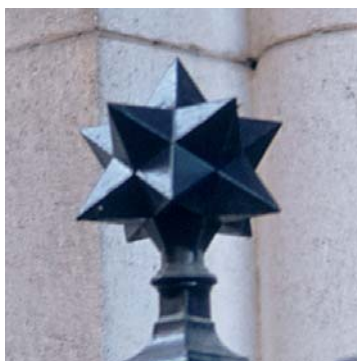
CSILLAGPOLIÉDEREK MEREVSÉGE

Tarnai Tibor és Kovács Flórián
BME, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék
E-mail: tarnai@ep-mech.me.bme.hu

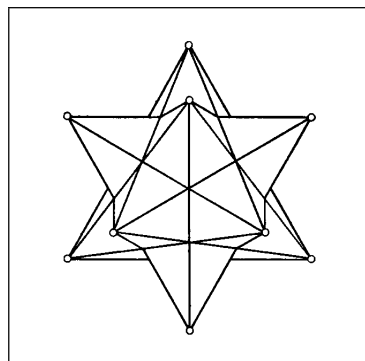
“A csillagpoliéder egy olyan nemkonvex poliéder, amelynek felépítésében van egyfajta repetitív jelleg, mely a poliédernek csillagszerű megjelenést ad” (Wikipedia). A csillagpoliéderek konvex poliéderek lapjainak kiterjesztésével, azok ismételt összemetsződésével származtathatók. Ezt az eljárást stellációnak (*stellation*) nevezik. Általánosabb értelemben azokat a poliédereket is csillagpoliédereknek tekintjük, amelyeket konvex poliéderek lapközpontjainak kiemelésével (*elevation*) kapunk, azaz amikor a poliéder lapjaira gúlákat állítunk. A nemkonvex repetitív jelleg elsősorban a szabályos és a félig szabályos testek stellációja, ill. gúlákkal történő kiegészítése révén biztosítható. Csillagpoliéderekre példákat a reneszánsz óta ismerünk. Ezek elsősorban épületek díszítésére, vallási és heraldikai szimbólumok térbeli megjelenítésére szolgáltak (1a,b ábra). E tekintetben, nemzetközi összehasonlításban is egyedülállóak a magyarországi protestáns – mindenekelőtt református – templomok toronycsillagai.



(a)



(b)



(c)

1. ábra. Kis csillagosított dodekaéder. (a) Paolo Uccellonak (1397-1475) tulajdonított padlómozaik, Szent Márk-bazilika, Velence. (b) Vaskerítés-dekoráció, Nagy Zsinagóga, Párizs (épült 1867-1874). (c) A poliéder csuklós rúdmodellje (az él menti rudak csak a poliéder látható felületein vannak feltüntetve, a csuklókat kis kör jelzi).

A csillagpoliéderek az élleikkel és csúcsaikkal, mint csuklós rúdszerkezetek jeleníthetők meg (1c ábra). A csillagpoliéderek merevségén is e poliédereket reprezentáló csuklós rúdszerkezetek merevségét értjük. Az előadásban a csillagpoliéderek merevségével kapcsolatban három témakört érintünk.

(1) A Tompos-féle tetraéderpár és általánosításai

A szabályos oktaéder stellációja a Kepler-féle „stella octangula”-t eredményezi. Ennek csuklós rúdmodellje két egybevágó szabályos tetraéderből áll. A tetraéderpár úgy tartható egyben, hogy az egyik tetraéder rúdjai mindig kívülről érintik a másik tetraéder megfelelő rúdait. A kapott modell egy túlhatározott csúszkás mechanizmus. Megmutatjuk, hogy a mozgások részben vagy egészben megmaradnak akkor is, ha a tetraéderpárt kocka helyett téglatestbe vagy romboéderbe írjuk. A mozgásképeség a szabályos n -szög alapú egyenes gúlákból alkotott párokra is kiterjeszthető.

(2) Egy fantom (él nélküli) kocka kiegészítése a lapjaira befelé állított gúlákkal

Ha egy kocka lapjaira befelé egybevágó egyenes gúlákat állítunk, majd a kocka éleit elhagyjuk, egy olyan csillagszerű alakzatot kapunk, amelynek csuklós rúdmodellje egy túlhatározott csúszkás mechanizmus. Ennek van egy jellegzetes egyszabadságfokú lélegző mozgása, ahol ha a fantom kocka csúcsai kifelé mozdulnak, akkor a duális fantom oktaéder csúcsai befelé mozdulnak és megfordítva. Hasonló csillagmechanizmus konstruálható a szabályos dodekaéder lapjaira befelé állított gúlákkal is.

(3) Magasabb fokú infinitezimális mechanizmus

Ha egy kocka lapjaira kifelé egyenlő élhosszúságú gúlákat állítunk, akkor egy merev szerkezetet nyerünk. Helyezzünk a kocka egyik lapján a kocka és a gúla közé egy négyoldalú antiprizmát. Ekkor egy infinitezimális mechanizmus áll elő. Az azonban egy nehéz kérdés, hogy hányadrendű infinitezimális mechanizmust kapunk.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA T046846 projekt keretében kapott támogatásért.

KÜLSŐ HELYSZÍNEKEN VÉGZETT MECHANIKAI VIZSGÁLATOK FELADATAI ÉS LEFOLYTATÁSUK KÜLÖNLEGES KÉRDÉSEI

Thamm Frigyes

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

E-mail: fthamm@mm.bme.hu

Külső helyszíneken végzett munkák – főleg kísérletek – célja már megvalósított berendezések üzembe állításakor vagy üzembe során gyakran váratlanul jelentkező meghibásodások, rendellenességek okainak feltárása. A problémák általában “kívülről”, többnyire az iparból érkeznek az illető szakmát művelő intézményekhez. A vizsgálatok célja a megbízó által (többnyire homályosan) megfogalmazott jelenségek okainak feltárása, olyan mértékben, hogy annak alapján a kérdéses problémát “elszenvedő” megbízó számára lehetővé váljék a rendellenesség kiküszöbölése. A megbízó ezen túlmenő információkat nem igényel. Ez egyes esetekben utólag hiányérzetet ébreszthet a vizsgálatot elvégzőben, aki a problémát munkája közben nagyobb mélységben is átlátta. A vizsgálat általában a megbízó és a munkát elvállaló intézmény között megkötött szerződés keretében folyik le. Ebben kell rögzíteni, hogy a vizsgálat eredményeinek a megbízó számára milyen jellegű végkövetkeztetést ill. adatszolgáltatást kell tartalmaznia és a megbízónak a munkák elkészítéséhez milyen segítséget kell nyújtania. Mivel a két fél igényei és elképzelései többnyire egymással szemben hatnak, a végül megkötött szerződés általában a felek közötti kompromisszum eredménye. Akkor lesz sikeres, ha a felek előre látják mindazokat a váratlan jelenségeket és hatásokat (pl. időjárás hatása, emberi mulasztások, stb.) melyek a vizsgálat során felléphetnek. Ezek elkerülésére még a szerződés megkötése előtt célszerű a vizsgálandó objektumnak a megbízott részéről való részletes megismerése. Az ekkor tapasztaltak: pl szemmel látható méretpontatlanságok, kopási jelenségek stb., fontos támpontokat adhatnak a vizsgáló számára. További megszívlelendő szempontok:

- 1.) A mérések előkészítése általában lényegesen hosszabb időt vesz igénybe, mint maga a szorosabban vett mérési folyamat. Kedvezőtlen esetben elérheti a mérés időtartamának százszorosát is [1]. Erre már a megbízási szerződés megkötésekor gondolni kell.
- 2.) A mérés lefolytatását veszélyeztetheti esetleg egészen jelentéktelennek tűnő segédanyagok vagy – berendezések (pl. kellő hosszúságú villamos hosszabbító kábel) hiánya a mérés helyszínén. Ennek elkerülésére már jó előre célszerű összeállítani a helyszínrre kiszállítandó holmik minden részletre kiterjedő listáját. Ez a lista igen terjedelmes lehet [2]
- 3.) A helyszínen végzett mérések eredményei általában nem érik el a laboratóriumi mérések elérhető pontosságát. Nem mindig könnyű megvalósítani a vizsgálandó berendezés szabatos terhelését a kívánatos mértékben. Különösen nehéz lehet megvalósítani a megoszló erőrendszert.
- 4.) Előfordulhat, hogy a mérés nem ismételhető meg, különösen akkor, ha a mérés alkalmával a vizsgált szerkezetet az üzemi körülményeket meghaladó terhelésnek vetik alá, vagy a méréskor tönkremeneteli állapotot idéznek elő. Hogy az egyetlen rendelkezésre álló alkalommal a mérés eredményességét a mérő rendszerben előforduló helyi meghibásodások (pl. csatlakozó kábel szakadása) ne veszélyeztessék, célszerű a feltétlenül szükséges mérőhelyek környezetében további redundáns mérőhelyeket elhelyezni.
- 5.) Biztosítani kell, hogy a vizsgált berendezés minden pontja, és különösen az összes mérőhelyek balesetmentesen megközelíthetők legyenek a kezelő személyzet számára. A mérésakor jelen kell lennie a megbízó képviselőjének is.
- 6.) Különös gonddal kell lebonyolítani mérésekhez szükséges berendezéseknek a mérőhelyre való kiszállítását. Az azokat útközben érő rázkódások hatását gondos csomagolással kell elkerülni.
- 7.) Igen sok esetben szükség van a mért berendezés és a mérő rendszer közé csatlakozó elemek beiktatására. Ezeket a mérést végző félnek kell megterveznie a rendelkezésre álló helyi viszonyok ismeretében. Ha ilyenkor szükség van a vizsgált berendezés erőátviteli elemeinek megbontására is, szükséges betekintést szerezni a vizsgált berendezés tervezésekor elvégzett számításokba is. Szükséges lehet a vizsgált szerkezet felügyelő hatásának engedélyét is beszerezni.

HIVATKOZÁSOK,

[1] Schulze K.H.: *Experimentelle Messtechnik im Maschinen- und Stahlbau*. Verlag Technik, Berlin.1988.[2].Schleicher.C.: *Experimentelle Spannungsanalyse bei der Überwachung von Brücken und Tefbaukonstruktionen*. A Gépípari Tudományos Egyesület 8. Anyagvizsgáló Kongresszusának kiadványa. Budapest, 1982 III.kötet. 902-931.o.

A HÁROMMEZŐS HELLINGER-REISSNER-FÉLE VARIÁCIÓS ELV ALKALMAZÁSA FORGÁSHÉJAKRA

Tóth Balázs

Miskolci Egyetem, Mechanikai Tanszék

E-mail: mechtb@uni-miskolc.hu

A forgáshéjmodell felépítése a hárommezős Hellinger-Reissner-féle variációs elven [2][4][5] alapul, melynek alapváltozói a forgásmező, az elmozdulásmező és a nem *a priori* szimmetrikus feszültségmező. Az elv funkcionálját a teljes kiegészítő energia maximum elv [1] funkcionáljából és a hozzá kapcsolódó mellékfeltételekből származtathatjuk a Lagrange-féle multiplikátor technikát alkalmazva.

Első lépésben előállítjuk a forgáshéj középfelületének geometriai jellemzőit leíró mennyiségeket – a metrikus tenzorokat és a görbületi tenzort. Ezt követően a középfelületi pontokra illesztett felületi koordinátarendszer és a középfelületen kívüli héjpontokhoz kötött koordinátarendszer kapcsolatát [3] határozzuk meg. Ezek után felírjuk a két lokális koordinátarendszerben értelmezett kovariáns deriválás közötti kapcsolatot. Mindezek ismeretében, a héj vékonyságára tett feltételezések figyelembevételével felírjuk a háromdimenziós Hellinger-Reissner-féle variációs elv funkcionálját vékony forgáshéjra.

Második lépésben az alapváltozók dimenzió szerinti redukálását végezzük el, mely során az elmozdulás-, és a forgásvektor koordinátáit elsőfokú, míg a feszültségtenzor koordinátáit első- és másodfokú polinomokkal közelítjük a vastagság mentén. Ezek után a sorbafejtett változókat behelyettesítjük a Hellinger-Reissner-féle variációs elv funkcionáljába. Bevezetve az alakváltozási, forgási és elmozdulási eredőket, forgásszimmetrikus terheléseket feltételezve a Hellinger-Reissner-féle variációs elv funkcionáljának zérus értékű első variációjából megkapjuk a forgáshéjmodell Euler-Lagrange egyenleteit és természetes peremfeltételeit.

Az Euler-Lagrange egyenletek ismeretében lehetőség nyílik – egyes speciális forgáshéjak esetén – zárt alakú megoldások előállítására. A további kutatómunka várható eredményei között szerepel olyan, a hárommezős Hellinger-Reissner-féle variációs elven alapuló új *hp* verziós végelelemmodellek kifejlesztése, amelyek megbízható, numerikus konvergencia problémák nélküli eredményeket biztosítanak a mérnöki gyakorlatban elsőrendű fontosságú feszültségmezőre nézve is, mind *h*-, mind *p*-típusú végelelemes approximáció esetén.

Köszönetnyilvánítás: A T 049427 számú OTKA által nyújtott támogatást ezúton köszöni a szerző.

HIVATKOZÁSOK

- [1] BÉDA, GY., KOZÁK, I. and VERHÁS, J.: *Kontinuummechanika*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1986.
- [2] HELLINGER, E.: Der allgemeine Ansatz der Mechanik der Kontinua, *Encyclopädie der Mathematischen Wissenschaften* 1914; **4**:602-694.
- [3] NAGHDI, P. M.: *Foundations of Elastic Shell Theory*, In: Progress in Solid Mechanics, Volume IV (I. N. Sneddon and R. Hill, Eds.), North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1963, pp. 1–90.
- [4] REISSNER, E.: On a variational theorem in elasticity, *Journal of Mathematics and Physics* 1950; **29**:90–95.
- [5] REISSNER, E.: A note on variational principles in elasticity, *International Journal of Solids and Structures* 1965; **1**:93-95

FALAZOTT ÍVHÍD DISZKRÉT ELEMES VIZSGÁLATA

Tóth Axel R.

MÁV ZRt. - BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: axeltoth@yahoo.co.uk

Orbán Zoltán

PTE-PMMK Szilárdságtan és Tartószerkezetek Tanszék

E-mail: orbanz@witch.pmmf.hu

Bagi Katalin

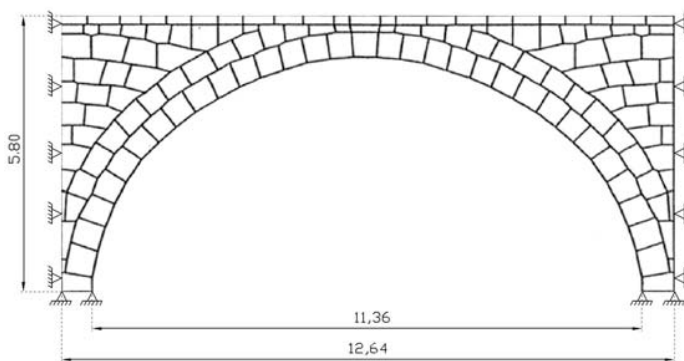
BME Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: kbagi@mail.bme.hu

A kőből vagy téglából falazott ív az egyik legrégebb szerkezeti elem, melyet évezredek óta használnak a legkülönbözőbb épületek (pl. hidak, katedrálisok) teherhordó elemeként. A falazott ív a rá nehezedő terheket – jó esetben – tisztán nyomás révén közvetíti az alaptestekre: az alkotó blokkok nagy nyomási teherbírással rendelkeznek, míg a blokkok közti habarcs nyírási- és húzási ellenállása rendkívül csekély.

A 17-19. században épített falazott ívhidak mind a mai napig szerves részét képezik a közlekedési hálózatnak szerte Európában, így azok megóvása, karbantartása nem csak műemléki, hanem gazdasági szempontból is rendkívül fontos. A tervezési értékekhez viszonyítva jelentősen megnövekedett tengelyterhek valamint a szerkezetek állapotának romlása új feladatot állít a mérnökök elé: alapvető igény a meglévő boltozott szerkezetek teherbírásának becslhetősége, a szükséges megerősítési mód megválasztása és az elvégzendő beavatkozás szerkezetre gyakorolt hatásának prognosztizálhatósága.

Számos eljárás létezik a falazott ívhidak teherbírásának becslésére. Ezek közül a legelterjedtebb az ún. MEXE módszer, mely igen durva egyszerűsítésekkel él, és nem mindig a biztonság javára. A kontinuum-alapú végelem-módszernek (VEM) ugyan megvan a maga szerepe a falazott ívek vizsgálata területén, a falazat azonban alapvetően diszkrét rendszer: a mechanikai viselkedést az alkotó blokkok, a köztük elhelyezkedő folytonossági hiányok (habarcs és súrlódás) és ezek geometriai elhelyezkedése határozza meg. A kifinomultabb VEM technikák (pl. kontaktelem) képesek némileg követni ezt a diszkrét jelleget, ám az implicit megoldási eljárás döntően korlátozza a módszer használhatóságát.



1. ábra: Az eredeti hídmodell geometriája

A Diszkrét Elemek Módszere (DEM) ezzel szemben a szerkezetet mint különálló blokkok („diszkrét elemek”) együttesét kezeli, melyben a blokkok egymástól függetlenül elmozdulhatnak és deformálódhatnak. A mozgások eredményeként egymással érintkezésbe lépő blokkok között az előre definiált kapcsolati modell szerinti teherátadó kapcsolat alakulhat ki.

Az előadásban ismertetésre kerülő vizsgálataink célja a háttöltés falazott ívre gyakorolt hatásának numerikus elemzése volt 2D-ban. A fentebb már említett két számítógépes eljárás közül elsődlegesen a DEM gyakorlati alkalmazására mutatunk példát. Egy olyan híd modelljét készítettük el, amelynek mechanikai viselkedéséről próbaterhelés adatai álltak rendelkezésünkre. A modell geometriájának definiálását és a mechanikai jellemzők beállítását követően az eredeti háttöltést különféle homok és agyag anyagokra cseréltük, majd összehasonlítottuk az azonos terhek alatt kialakuló lehajlásokat, feszültségeket és a blokkok között átadódó kapcsolati erőket.

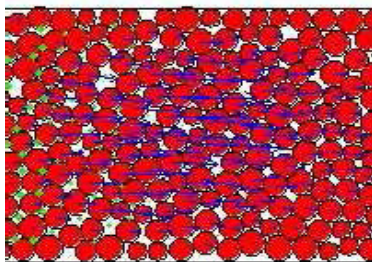
Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA 48906 projekt és a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj keretében kapott támogatásért.

ÁRAMLÓ FOLYADÉKBAN LÉVŐ SZILÁRD RÉSZECSKÉK VIZSGÁLATA

Tóth Brigitta Krisztina - Bojtár Imre

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék

E-mail: brigitta.toth@mail.bme.hu, ibojtar@mail.bme.hu



Az utóbbi években növekvő érdeklődés tapasztalható folyadékokban áramló szemcsék kapcsolt modellezésére. Ilyen cél lehet például lávafolyamok és mozgó gleccserek szimulációja vagy például a vörösvértetek mozgása a véredényekben. Munkánk célja, hogy kiderítse, miként lehetséges a szilárd fázisú rendszerek mozgásvizsgálatára alkalmas diszkrét elemes szimulációt összekapcsolni a folyadékok vizsgálatára alkalmas CFD (computational fluid dynamics) alapú modellezéssel, mivel az említett jelenség mechanikailag is ennek a kétféle modellnek a kombinációja.

Kutatásunk elsősorban az áramló vérben mozgó vörösvértetek szimulálására koncentrál, mivel mechanikai szempontból itt kifejezetten jelentős a folyadékokban áramló részecskék hatása. Modellünkben megkíséreljük összekapcsolni az egymásra mechanikailag ható vörösvérsejtek (VVS) mozgását és a pulzáló plazmafolyamot. Ez a jelenség különösen a kis-közepes átmérőjű erekben domináns, ahol a VVS-ek mérete az ér átmérőjével összehasonlítható.

Megjegyezzük, hogy olyan esetekben, amikor például aeroszol gyógyszerek légúti áramlását vizsgálunk, használhatnánk „tisztán” CFD szimulációt, mivel az áramló részecskék nano méretűek, abban az esetben viszont, amikor a részecskék mérete szignifikáns a véredény átmérőjéhez képest, a folyadék hatását jellemző erőket kell alkalmaznunk minden egyes részecskére. Az ilyen erővektorok a részecske és a folyadék közötti relatív sebességkülönbség függvényei. A folyadékban lévő részecskék mozgását Newton második mozgástörvényének megoldásával, a folyadék áramlását pedig a Navier-Stokes egyenletek segítségével vehetjük figyelembe. A diszkrét elemes módszer és a CFD közötti kapcsolat a szemcsék és a kontinuumként kezelt folyadék közötti kölcsönhatás modellezésével valósítható meg.

Megjegyezzük, hogy az általunk vizsgált rendszerekben a vér a plazmában lévő sejtes elemek szuszpenziója. A sejtes elemek koncentrációja körülbelül 50% a térfogra vonatkoztatva, a vörösvérsejtek formája korong alakú. Habár a plazma főleg vízből áll, a sejtes elemek magas koncentrációja végül többnyire nem-Newtoni áramlástani viselkedést eredményez.

Fontos kiemelni a részecskék falra gyakorolt erőinek a szerepét is. Azokban az esetekben, amikor a VVS-ek mérete is jelentős az átmérőhöz képest, a részecskék falra gyakorolt erőit – az ütközésekből származó dinamikus erőket – kifejezetten hasznos figyelembe venni, mert a élettani elméletek szerint ezek az ütközési hatások biológiai jelzőrendszerként működve alapvetően befolyásolják az érfal biomechanikai és biokémiai állapotát.

Módszerünk hasznos eszközként szolgálhat a véráram hidrodinamikájának megismerésére. További cél lehet realisztikusabb folyadék-részecske modell kialakítása valós három-dimenziós érhálózatban, pulzáló nyomás alatt és in vivo körülmények között.

HIVATKOZÁSOK

1. E. Stein, R. de Brost, T.J.R. Hughes. *Encyclopedia of Computational Mechanics*. John Wiley & Sons, 2004
2. Á. Farkas, I. Balásházy, K. Szőcs. *Characterization of Regional and Local Deposition of Inhaled Aerosol Drugs in the Respiratory System by Computational Fluid and Particle Dynamics Methods*. Journal of Aerosol Medicine. Vol. 19, No. 3, pp. 329-343 2006
3. Z.Y. Zhou, D. Pinson, H.P. Zhu, A.B. Yu, B. Wright, P. Zulli. *Discrete Particle Simulation of Gas-Solid Flow in a Blast of Furnace*. 3rd International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries. CSIRO, Melbourne, Australia, 10-12 December 2003
4. B.H. Xou, A.B. Yu. *Numerical simulation of the gas-solid flow in a fluidized bed by combining discrete particle method with computational fluid dynamics*. Chemical Engineering Science. Vol. 52, No. 16, pp. 2785-2809, 1997

STATIKAILAG HATÁROZOTT RÁCSOSTARTÓK ASZIMMETRIKUS OPTIMUMAI ÉS NEUTRÁLIS VISELKEDÉSE

Tóth Krisztina, Dr. Domokos Gábor, Dr. Várkonyi Péter
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék
E-mail: tothk@silver.szt.bme.hu

Szerkezeteink tervezésekor a legtöbb esetben a szimmetriát részesítjük előnyben. Ennek egyik vélhető oka az a mérnöki intuíció, hogy a szimmetriát a legtisztább és legkedvezőbb geometriának tartjuk. Egy másik ok az a mérnöki egyszerűsítő szemlélet lehet, hogy ami szimmetrikus, azt könnyebb, gyorsabb számítani és megvalósítani.

Ha megfigyeljük – távoli analógiaként – a növény- és állatvilágot, észrevesszük, hogy a természet is számtalan esetben szimmetrikus alakzatokat hoz létre, mint amilyenek például a virágzatok zőme. De vajon tökéletesek-e ezek a szimmetriák? Gondoljunk csak például az emberi szív elhelyezkedésére a testben. Ez csupán egy példa a sok közül arra a kis szimmetriasértésre, amit a természet elkövet alkotásaiban – nyilván nem véletlenül. Az evolúciós fejlődés során előnyös lehetett a kissé aszimmetrikus alak.

Visszatérve a tartószerkezetekre, felvetődik a kérdés, hogy vajon lehet-e kedvezőbb a kissé aszimmetrikus alakú tartó a szimmetrikus párjánál? És ha igen, vajon mely esetekben? Mi a feltétele annak, hogy találjunk aszimmetrikus optimumot?

A kérdéseink megválaszolásához rácsostartókon végeztünk vizsgálatokat. A rácsostartók különlegessége ugyanis, hogy tulajdonképpen az összes, bonyolultabb szerkezeteink alapvető modelljeinek is tekinthetők.

Bemutatunk két fajta optimalizálási feladatot; szerkezetcsaládok optimum-bifurkációs diagramok fajtái szerinti csoportosítását – konkrét rácsostartókon szemléltetve; valamint rámutatunk, hogy az optimum gyakran sajátos, ún. „neutrális” viselkedéssé degenerálódik statikailag határozott rácsostartók esetén.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki az OTKA TS 49885 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Korn, G. A. and Korn, T. M.: *Mathematical handbook for engineers*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York, 1968.
2. Poston, T. and Stewart, J.: *Catastrophe theory and its applications*, Pitman, London, 1978.
3. Sokolowski, J., Zolesio, J. P.: *Introduction to Shape Optimization, Shape sensitivity analysis*. Springer Series in Computational Mathematics, Springer, Berlin, 1992.
4. Thompson, J. M. T. and Hunt, G. W.: *A General Theory of Elastic Stability*, Wiley, London, 1973.
5. Thompson, J. M. T. and Hunt, G. W.: *Elastic Instability Phenomena*, Wiley, Chichester, 1984.
6. Tzonis, A.: *Santiago Calatrava: The Poetics of Movement*, Universe Publishing, New York, 1999.
7. Várkonyi, P. L., Domokos, G.: *Symmetry, optima and bifurcations in structural design*, *Nonlinear Dynamics* 43, 47-58., 2006.
8. Várkonyi, P. L., Domokos, G.: *Imperfect symmetry: a new approach to structural optima via group representation theory*. *International Journal of Solids and Structures*, in press, 2007.
9. Várkonyi, P. L., Meszéna, G., Domokos, G.: *Emergence of asymmetry in evolution*, *Theoretical Population Biology* 70, 63-75., 2006.
10. Weyl, H.: *Symmetry*. Princeton University Press, Princeton, 1952.

A FELÜTKÖZÉS, MINT NEMLINEÁRIS JELENSÉG STABILITÁSVIZSGÁLATA A ROTORDINAMIKÁBAN

Triesz Péter

Széchenyi István Egyetem, Gépszerkezeti és Mechanika Tanszék

E-mail: triesz@sze.hu

A felütközéses jelenség egy igen káros folyamat a forgó részek csapágyazásaiban, így a rotordinamika egyik legszélesebb körben kutatott területe. Számos dolgozatban jelent meg a jelenség leírása különböző modellek felállításával, dinamikai viselkedésének és stabilitásának vizsgálatával. Leggyakrabban a klasszikusnak mondható Jeffcott-modellt használták fel különböző csapágyazások alkalmazásával. Volt aki mágneses csapágyazásban fellépő ütközéseket vizsgálta, volt olyan dolgozat is, amelyben előfeszített lökéscsillapítóval, ún. snubber-gyűrűvel szerelték a csapágyakat.

A bemutatandó dolgozat külön hangsúlyt fektet a pörgettyűnyomaték felütközésre gyakorolt hatásával. A vizsgált egyszerűsített rotor modell egy, a két végén csapágyazott merev tengelyből és egy arra ékelt tárcsaszzerű forgórészből áll. Feltételezzük, hogy a tárcsa bizonyos mértékű statikus kiegyensúlyozatlansággal rendelkezik. A merev tengely egyik végén ideálisan merev, önbeálló gördülő csapágyazással van megtámasztva, míg másik végén rugalmas siklócsapágy helyezkedik el. A siklócsapágyat szintén egyszerűsítve modellezzük lineáris rugóval és viszkozus csillapítással. Ezekkel a feltételezésekkel a rotor mechanikai modellje két szabadsági fokú, ahol az egyes síkokban történő rezgések között a tárcsa miatt jelentkező pörgettyűhatás jelent lineáris csatolást.

A modellben a nemlinearitás a tengelynek a csapágyházon való felütközésekor jelentkezik. Ilyenkor a csapágy már mereven viselkedik, és a tengely további mozgása sűrűlódásos ütközési elmélettel számítható. Az ütközés után a mozgás ismét a lineáris mozgásegyenletek alapján határozható meg egészen a következő ütközésig. A felütközés nemlineáris csatolást is jelent a szabadsági fokok között.

A rotor rezgését a kritikus fordulatszám felett vizsgáljuk. A felütközés megjelenésének feltételét, a stabilis, periodikus viselkedések határait, illetve a kaotikus viselkedés kialakulását a gerjesztési paraméterek, azaz a tengely fordulatszáma és a kiegyensúlyozatlan tömeg nagysága függvényében határozhatjuk meg. A numerikus szimulációval kapott eredményeket összevetjük az analitikus mechanika, illetve a stabilitás- és bifurkációelmélet eszközeivel elérhető zárt alakú eredményekkel.

HIVATKOZÁSOK

1. Jeffcott, H. (1919): *The Lateral Vibration of Loaded Shafts in the Neighbourhood of a Whirling Speed – The Effects of Want of Balance*, Philosophical Magazine Series 6, 1919;37:304.
2. Karpenko, E.V., Wiercigroch, M., Pavlovskaja, E.E., Cartmell, M.P. (2002): *Piecewise Approximate Analytical Solutions for a Jeffcott Rotor with a Snubber Ring*, International Journal of Mechanical Sciences 44, p. 475-488.
3. Ecker, H. (1998): *Nonlinear Stability Analysis of a Single Mass Rotor Contacting a Rigid Auxiliary Bearing*, IFTOMM – Proc. 5th Int. Conf. on Rotordynamics, Darmstadt, Germany, p. 790-801
4. Muszynska, A., Goldman, P. (1995): *Chaotic Responses of Unbalanced Rotor/Bearing/Stator Systems with Looseness or Rubs*, Chaos, Solutions and Fractals 5, p. 1683-1704.
5. Edwards, S., Lees, A.W., Friswell, M.I. (1999): *The Influence of Torsion on Rotor/Stator Contact in Rotating Machinery*, Journal of Sound and Vibration 225, p. 767-778.
6. Sztanko, K., Karpati, L., Penninger, A. (2002): *Behaviour of Shafts of Rotating Heat Engines*, GÉPÉSZET 2002, Proc. of the 3rd Conf. on Mech. Engineering, vol1. p. 441-445.
7. Hogan J.S. (1989): *On the Dynamics of Rigid Block motion Under Harmonic Forcing*, University of Oxford, (?)
8. Szalai, R., Stepan, G., Hogan, S. J. (2004): *Global Dynamics of Low Immersion High-Speed Milling*, Chaos 14, p. 1069-1077.

VASBETON GERENDÁK VISELKEDÉSÉNEK ÉS DUKTILITÁSÁNAK MÉRETFÜGGÉSE

Vajk Rita, Sajtos István
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék
E-mail: vajkrita@silver.szt.bme.hu

A vasbeton gerendák teherbírása és viselkedésének jellege függ a gerenda méretétől. Ez a tulajdonság kísérletekkel igazolható, és elméletileg is bizonyítható. A teherbírásnak a mérettől való függését mérethatásnak nevezzük, ez kiterjeszthető a duktilitásra és a gerenda viselkedésének jellegére is. A mérethatás oka lehet a mechanikai jellemzők statisztikus változása (statisztikai mérethatás) és a repedésképződés folyamata (törésmechanikai mérethatás). Vasbeton szerkezeteknél nem a statisztikus mérethatás, hanem a törésmechanikai mérethatás a domináns.

Az előadásban elméletileg vizsgáljuk a mérethatást. Az elméleti, numerikus modell figyelembe veszi:

- a beton valóságos viselkedésének megfelelő $\sigma - \epsilon$ diagrammot és a nyomásra való tönkremeneteléhez kapcsolódó alakváltozás lokalizációját,
- a kengyelezés és a koncentrált erők miatti beszorító (confined) hatás okozta anyagtulajdonság módosulást.

Kéttámaszú tartókat vizsgáló numerikus modell segítségével meghatározható a gerenda teher – elmozdulás diagrammja, a repedésképződésnek, a nyomott betonöv alakváltozását korlátozó tönkremenetelének és a betonacél folyásának figyelembevételével. A különböző méretű gerendák teher – elmozdulás diagrammja alapján megállapítható a gerenda duktilitásának és viselkedésének méretfüggése.

Előadásunkban ismertetjük a törésmechanikai mérethatás figyelembevételi lehetőségeit, a használt numerikus modellt, és annak eredményeit. A számítások eredményét összehasonlítjuk a szabvány előírásaival is.

HIVATKOZÁSOK

1. Bažant, Z. P., Planas, J.: *Fracture and Size Effect in Concrete and Other Quasibrittle Materials*, CRC Press LLC, Boca Raton, 1998.
2. Fantilli, A. P., Iori, I., Vallini, P.: *Size effect of compressed concrete in four point bending RC beams*, Engineering Fracture Mechanics 74 (2007) 97-108, Elsevier, 2006.

ÖSSZETETT IGÉNYBEVÉTELEL TERHELT, TÖBBSZÖRÖSEN MEREVÍTETT LEMEZEK RUGALMAS STABILITÁSVESZTÉSE

Vigh László Gergely

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidak és Szerkezetek Tanszék

E-mail: geri@vbt.bme.hu

Gerinclemezes tartók horpadási ellenállásának növelése érdekében általában relatíve sűrűn elhelyezett függőleges és a lehető legkisebb számú vízszintes hosszboardát alkalmaznak, elsősorban a horpadni akaró lemezmezők méretének csökkentése céljából. Ekkor a cél az, hogy a teljes merevített lemezmező stabilitásvesztése lehetőleg ne következzen be a merevítetlen almezők horpadása előtt, vagy legalábbis ahhoz közel essen. Ez nagy boardaméretekkel és így a megtámasztandó lemezhez képest relatíve nagy boardamerevséget eredményez. Ez egyben azt is jelenti, hogy a teljes lemez horpadásában a borda rúdszerű kihajlása dominál. Ugyanakkor optimális keresztmetszet érhető el több kisméretű borda gerincen való elhelyezésével. Kisméretű bordák alatt azt értjük, amikor a teljes lemez stabilitásvesztésében a rúdszerű viselkedéssel szemben a lemezszerű viselkedés dominál. Összességében az ilyen tartó – adott körülmények között, pl. akkor, ha a merevített lemezt sajtolat vagy hengerelt T-profilok összehegesztésével nyerjük – gazdaságos lehet. [1]

Mindkét esetben szükséges a lokális lemezhorpadás vizsgálata mellett a teljes lemez vizsgálata tiszta és összetett igénybevételekre. A szabványok ezt általában hasonló módon kezelik: a kritikus teherszint (feszültség, igénybevétel) alapján egy karcsúsági értékkel jellemezzük a vizsgált elemet, amely alapján a csökkentő tényezőt és a teherbírást határozzuk meg. Egyes eljárások megkülönböztetik a rúdszerű és a lemezszerű viselkedést. A lemezszerű viselkedés vizsgálatára egyes szabványok, illetve a szakirodalom tartalmaz megoldásokat a kritikus feszültségek meghatározására több-kevesebb közelítést, egyszerűsítést alkalmazva (összefoglaláshoz lásd [1], [2], illetve [3], [4]). Így pl. az egyes eljárások – a biztonság kárára – jellemzően figyelmen kívül hagyják a lokális és teljes lemezhorpadási módok kölcsönhatását. Hogy a kisméretű bordák alkalmazásakor optimális szelvényt kapjunk, a számítási eljárások pontosságának növelésére kell törekedni, illetve ki kell azokat terjeszteni általános esetekre – összetett igénybevételekre. Ehhez kézenfekvő a fejlett numerikus módszerek alkalmazása (lásd virtuális kísérletek, [1] és [5]), de a mindennapi tervezéshez kézi módszerek is szükségesek.

A bemutatott kutatásban a szerző a laposacél bordákkal merevített lemezek rugalmas stabilitásvesztését tanulmányozta. Paraméteres vizsgálat keretében a lemez- és bordageometriát illetve az igénybevételeket (tiszta nyomás, hajlítás, nyírás és összetett igénybevételek) változtatva mintegy 160000 esetet vizsgált. Az egyes esetekhez tartozó kritikus feszültségeket energiamódszer segítségével határozta meg. A lehajlásfüggvényt közelítő trigonometrikus sorban a figyelembeveendő tagok számát konvergencia-vizsgálat keretében határozta meg. A paraméteres vizsgálatban a lokális és teljes lemezhorpadási módok és azok interakciói is megjelennek, amely különösen jelentős lehet nyírási horpadás esetében. A szerző mindezek eredményeként tiszta igénybevételekre képleteket dolgozott ki a kritikus feszültségek számítására, illetve megvizsgálta különböző igénybevételek egymásra hatását is. A képletek érvényesek általános hajlításra, illetve lokális – teljes lemez nyírási interakcióra is. Az eredmények alapján a szerző módosításokat javasolt – az acél- illetve alumíniumszerkezetekre – vonatkozó Eurocode 3 és Eurocode 9 számítási eljárásaiban, mind a hajlítási, mind a nyírási horpadás vizsgálatában.

A kidolgozott képletek gyakorlati alkalmazhatóságát valós és virtuális kísérleti vizsgálatok eredményeivel összevetve ellenőrizte. Ez alapján megállapította, hogy a módosított Eurocode eljárásokkal kisméretű bordákkal többszörösen merevített gerinclemezes tartók teherbírása pontosabban határozható meg. A vizsgált tartóknál az eredeti és a módosított eljárás eredményei közötti eltérés domináns nyírási horpadás esetén volt a legjelentősebb.

A kutatás további részletei megtalálhatóak [1]-ben.

Köszönetnyilvánítás: A szerző köszönetét fejezi ki az OTKA T049305 projekt keretében kapott támogatásért.

HIVATKOZÁSOK

1. Vigh, L.G.: *Virtual and real test based analysis and design of non-conventional thin-walled metal structures*, doktori disszertáció, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2006.
2. Galambos, T.V.: *Guide to stability design criteria for metal structures*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1998.
3. prEN1993-1-5:2005 Eurocode 3: *Design of steel structures. Part 1-5: Plated structural elements*.
4. prEN1999-1-1:2004 Eurocode 9: *Design of aluminium structures. Part 1-1: General structural rules*.
5. Dunai, L.: Virtual experiments of steel structures, *International Colloquium on Stability and Ductility of Steel Structures, Prof. O. Halász Memorial Session*, pp. 825-832, Budapest, 2002. szeptember 26-28.

HÍDSZERKEZETEK KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSA ÚTVONAL-ENGEDÉLYEZÉSHEZ

Vigh Attila, Kollár László
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
E-mail: lkollar@eik.bme.hu

A túlsúlyos és túlméretes járművek kizárólag útvonalengedély birtokában használhatják a közúthálózatot. Az optimális útvonal kijelöléséhez egy optimalizáló eljárás kifejlesztése szükséges, amely magába foglalja a hidak teherbírás-vizsgálatát is. Hídjainkat a szabványban rögzített módon és elvek szerint tervezik a szabályzati terhek, a biztonsági és dinamikus tényezők figyelembevételével.

Egy híd teherbírásának ellenőrzésére alapvetően két módszer kínálkozik: az egyik lehetőség, hogy a hidat részletes statikai számítással ellenőrizzük az engedélyköteles járműteherre, a másik, hogy felstesszük a híd képes viselni a szabályzati járműteherből keletkező igénybevételeket, és részletes ellenőrzés helyett a szabályzati és különleges járműteher hatására keletkező igénybevételektől hasonlítjuk össze.

Az előadásban egy olyan új módszer kerül bemutatásra, amely egyszerű, kevés adatot igényel és elegendően pontos, így általánosan – pl. Magyarország hídjaira is – alkalmazható. A módszer alapgondolatát, gerenda hidakra, korábban már publikáltuk. A vizsgálatokat kiterjesztettük ívhidakra, kerethidakra és boltozatokra egyaránt.

Az új eljárás a szabályzati és az engedélyköteles járműterhek fiktív (η_p, η_M, η_B) segítségével történő összehasonlításán alapul. Az η_M és η_B hatásábrák l_M és l_B hossza a (leghosszabb) támaszköz hosszával azonos, (kivéve a boltozatokat, ahol ennél nagyobb hosszat kell figyelembe venni). Ezek azért alkalmasak a biztonság számítására, mert a tényleges nyíróerő, illetve nyomatóki hatásábrákat közelítik meg. Az η_p hatására hosszát a numerikus vizsgálatokból származó eredmények figyelembevételével állítottuk be úgy, hogy a biztonság kárára, illetve javára történő eltérés elfogadható legyen.

Több tízezer futtatást végeztünk, hogy a módszer pontosságáról megfelelő ismereteket szerezzünk. Az esetek többségében a módszer a biztonság javára közelített, a maximális eltérés a biztonság kárára 15% volt.

Köszönetnyilvánítás: A szerzők köszönetüket fejezik ki a GVOP-3.1.1-2004-05-0141/3.0 projekt keretében kapott támogatásért.

GÁTOLT CSAVARÁS HATÁSA MEREVÍTŐ RUDELEMEKBEN

Vörös Gábor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Műszaki Mechanikai Tanszék

e-mail: voros@mm.bme.hu

A merevített felületszerkezetek mechanikai viselkedésének elemzésére alkalmazott végeselem alapú eljárások közös jellemzője, hogy a rúd és a felület (héj/lemez) elemek megfelelő csomópontjait egy fiktív merev kapcsolatnak megfelelő transzformációval kötik össze. Ez a kapcsolási modell nem veszi számításba a rúdelem keresztmetszetének vetemedéséből adódó mozgásokat. Pedig az önálló rudszerkezetekre érvényes eredményekből közismert, hogy - különösen a dinamikai és kritikus terhelés számításoknál - a csavaró vetemedés, illetve annak gátlása a szerkezet viselkedését számottevően módosítja. A merevítő elemek gátolt vetemedésének hatását – kellő kapacitás birtokában - vizsgálhatnánk lemez, síkhéj vagy test elemekkel is, de az így előálló modell mérete aránytalanul nagy és igen nehézkes az eredmények kiértékelése. Ebből kiindulva megvizsgáltuk, hogy a merevítő elemek vonatkozásában a rudelmélet keretén belül maradván milyen lehetőségek vannak a pontosabb modell megalkotására. Az előadásban bemutatandó eljárás kidolgozása során két lényeges kérdést kellett tisztázni illetve megoldani: egyik a rúdelem csavarási mozgását is megfelelően leíró modell megkeresése, a másik a merevítő és a merevített elemek összekapcsolásának problémája.

1. A csavaró mozgást is a hajlító mozgásokhoz hasonló pontossággal leíró rudelem csomópontonként legalább hét szabadságfokú, ahol a hetedik szabadságfok a vetemedési paraméter, vagy másnéven a fajlagos elcsavaródás. Azonban ismert, hogy a lineáris elmozdulásokra épülő hét szabadságfokú rudelemkből álló modell nem alkalmas térbeli szerkezetek vizsgálatára, mivel a nem egytengelyű elemek csatlakozási pontjaiban a nyomatéki egyensúly feltétele nem teljesül. Ennek oka, amint azt Argyris [1] kimutatta, a forgások nem kommutatív természete. A közelmúltban – többek között – Kim és szerzőtársai [2] publikálták a véges (szemitangens) forgások és kis alakváltozások elméletére épülő virtuális munka elvét, aminek megfelelő megfelelő rud végeselem modell már alkalmas térbeli szerkezetek dinamikai, kritikus terhelés vagy stabilitás vizsgálatára is. Tetszőleges keresztmetszetű, a csavaró középpont és a külső terhelések excentricitásával is számoló, egyenes, homogén izotróp anyagú két csomópontos rúdelemre a Bernoulli-Vlaszov feltételekkel és a harmadfokú Hermite interpolációs polinomokkal zárt alakban felírt lineári merevségi, geometriai merevségi és konzisztens tömegmátrixokat és a megfelelő numerikus vizsgálatok részleteit a [3] és [4] publikációk ismertetik.

2. A merevítő rudelem a palástján lévő vonal mentén kapcsolódik a megfelelő héj/lemez felület elemhez. A kapcsolódási pontokban az elmozdulás kompatibilitást biztosító transzformációnál ezt az excentricitást is figyelembe kell venni, ami végül – még az egyenes rúdelemnél is - a hajlító és a csavaró forgások kapcsolódását okozza. A kapcsoló vonal mentén a rudelemre ható kezdeti excentrikus terheléseket a kezdeti állapot ismeretében a merevítő elemre alkalmazott egyensúlyi feltételekből lehet meghatározni.

3. Merevített lemezszerkezetek kritikus terhelés és dinamikai számításainak numerikus eredményei igazolják a bemutatandó eljárás lehetőségeit és korlátait. Az eredmények értékeléséhez szakrodalmi és a COSMOS/M programrendszerrel megoldott feladatok eredményeit használtuk fel. A dinamikai feladatok eredményeinek bemutatása során kitérünk a lengéskép-kezdeti terhelés kapcsolat elemzésére is.

HIVATKOZÁSOK

1. Argyris, J.H.: An excursion into large rotations. *Comp Meth Appl Mech Engng*, **32**, pp.85-15(1982)
2. Kim, M.Y., Chang, S.P., Park, H.G.: Spatial postbuckling analysis of nonsymmetric thin-walled frames. I: Theoretical considerations based on semitangential property. *J Eng Mech*, **127**(8), pp.769-78. (2001)
3. Vörös, G.M. "Free vibration of thin walled beams" *Periodica Polytechnica, Ser.Mech.Eng.* **48**(1), pp 99-110. (2004)
4. Vörös, G.M. "An improved formulation of space stiffeners" *Computers and Structures*, **85**(7-8) pp.350-359 (2007)