

BÍRÁLAT

Ádány Sándor:

**Modális dekompozíció vékonyfalú rúdelemek stabilitásvizsgálatában,
Modal decomposition in the buckling analysis of thin-walled members**
című, az MTA doktora cím elnyerésére készült értekezéséről

Az alábbi bírálatot a Magyar Tudományos Akadémia Doktori Tanácsa DT.58058/17/06 számú felkérésére állítottam össze.

1. Az doktori mű formai és tartalmi felépítése

Az első fejezetben jelölt röviden ismerteti és indokolja az értekezésben leírt kutatómunka célkitűzéseit. Ezek két pontban foglalhatóak össze: egyrészt a tiszta stabilitásvesztési módok számítása, másrészt a tényleges stabilitásvesztési módok identifikációja.

Az értekezés második fejezete az elmozdulás korlátozott véges sávok (cFSM) módszert ismerteti. Az elmozdulás korlátozásának célja, hogy egy adott keresztmetszetű rúdelemre meghatározza a tiszta stabilitásvesztési alakokat és a hozzá tartozó kritikus terheket. Ezt úgy valósítja meg, hogy kiegészítő kényszerekkel korlátozza az elem mozgását, és így az csak a kívánt tiszta - globális (G) , alaktorzuló (D) vagy lokális (L) - módon tudjon mozogni. A módszer kulcs eleme az egyes típusokat jellemző mechanikai kényszerfeltételek megfogalmazása és az **R** kényszermátrix összeállítása. A korlátozott feladatokhoz tartozó "tiszta" stabilitásvesztési módokat, a sajátvektorokat bázisnak használva, a rúdelem tényleges mozgása - vagy stabilitásvesztési alakja - kifejezhető ezek lineáris kombinációjaként. Az identifikáció a célja az, hogy meghatározza egy adott stabilitásvesztési alakban az egyes tiszta alakzatok arányát, vagy a domináns tiszta alakot. Ez a szerkezetek teherbírás számításához nyújt fontos információt. A fejezet végén jelölt numerikus vizsgálat eredményeivel illusztrálja az eljárás alkalmazását. Az itt bemutatott módszer csak lineárisan rugalmas anyagú, szakaszonként sík középfelületű és vékonyfalú sávokból álló, nyitott keresztmetszetű, prizmatikus, húzott/nyomott és hajlított terhelésű, végein csuklós megtámasztású rúdelemekre alkalmazható.

A harmadik fejezet az előzőekben ismertetett cFSM eljárás kiterjesztésével foglalkozik. Ez elsősorban a zárt vékonyszelvényű keresztmetszetek illetve a nem csak csuklós oszlop végpont támaszok kezelésének bemutatását jelenti. A nyitott és zárt szelvények viselkedése közötti (egyik) fontos eltérés, hogy az utóbbi esetben a vékony szelvény középvonala mentén a csavarásból adódó nyírási alakváltozások nem zérus értékűek. A különböző végpont megtámasztások kezelését jelölt olyan, hossz menti interpolációs függvényekkel oldja meg, melyek eleve teljesítik a kinematikai peremfeltételeket.

A negyedik - nyolc oldalból álló - fejezet héj végeelem modellel meghatározott stabilitásvesztési alakok identifikációjának egy lehetséges módozatát ismerteti. Jelölt által bemutatott eljárás a cFSM módszerrel meghatározott és ortogonalizált tiszta módokat használja. Az identifikáció alapegyenlete egy hibanégyzet minimum feltételből származik.

Az ötödik fejezet zárt alakú formulákat ismertet, amelyek levezetésénél jelölt a véges sávok módszerének feltételrendszerét alkalmazta. A nyomott, prizmatikus, vékonyszelvényű, csuklós támaszú oszlopra érvényes eredményeket összevetve a klasszikus *Euler* formulával kideríthető a különböző módszerekkel számolt eredmények közötti eltérések oka.

Az egy oldal terjedelmű hatodik fejezetben jelölt összefoglalta a négy tézisét.

Az értekezést négy, összesen 25 oldal terjedelmű függelék zárja, amelyek az egyes fejezetekhez kapcsolódó részletes számításokat tartalmazzák. Az irodalomjegyzék (*References*) 119 tételből áll. Az értekezés érdemi terjedelme - a tartalomjegyzék, jelölések listája, függelékek és az irodalomjegyzék nélkül - 100 oldal.

A mellékelt, 20 oldalas magyar nyelvű téziszfüzet az értekezésben részletesen kifejtett új tudományos eredmények rövid összefoglalóját tartalmazza. A téziszfüzet felsorolja jelöltnek a tézisek témájában megjelent valamennyi publikációját, valamint a csatlakozó szakirodalom legfontosabb közleményeit is.

A dolgozat formailag szép kivitelű, az angol nyelvű szöveg jól érthető, olvasható.

Végezetül megállapítottam, hogy az értekezés megfelel az MTA Műszaki Tudományok Osztálya által elvárt formai követelményeknek.

2. Az értekezés tartalmi elemei és bírálatuk

Az továbbiakban az értekezés olvasási rendjét követve, a kapcsolódó szövegrészek előfordulási sorrendjében írtam le észrevételeimet, megjegyzéseimet és kérdéseimet. A felsorolásban aláhúztam azokat az érdemi kérdéseket, amelyekre adandó válaszok a tézisek megítélése szempontjából fontosak.

1. fejezet

- 1.1. 2.oldal: Az 1.1 fejezet második bekezdésének elején jelölt kijelenti, hogy "*The work presented ... independent of the material of the member.*" Ugyanakkor a negyedik bekezdés végén kiköti, hogy " ... *assuming perfectly elastic and homogeneous material*".
- 1.2. 2.oldal: Az oldal utolsó mondata szerint " ... *the eigen-values are the critical load multipliers and the eigen-vectors are the .. buckled shapes.*" Talán már itt tisztázni kellene, hogy a lineáris stabilitás számításban csak az első - legkisebb - sajátértéket lehet kritikus terhelés szorzónak nevezni, mivel a további sajátértékek és kihajlott alakok nem jöhetnek létre. Ha a terhelés eléri az első kritikus szintet, a bifurkációs pontot, a szerkezet további viselkedésének leírására a lineáris (vagy a megfelelően linearizált) modell már nem alkalmas. Ezért a sajátérték feladat további megoldásai matematikai szempontból ugyan léteznek, de fizikai, mérnöki szempontból értelmezhetetlenek.
- 1.3. 4.oldal: Az ábra alatti második bekezdésben megjelenik a "*system line*" kifejezés. Ez a rúd tengelyére utal, ami átmegy a keresztmetszetek súlypontján vagy csavaró/nyíró középpontján, esetleg ez egy tetszőleges vonal?
- 1.4. 5.oldal: A második bekezdésben szerepel a különböző stabilitásvesztési módok szétválasztásának indoklása, ami teljesen érthető és elfogadható. Azonban itt szerepel a "*Global buckling has no post buckling reserve at all ...*" megjegyzés is, ami további kiegészítés nélkül kérdéses. Például, ha egy nyomott rúd terhelése eléri az *Euler* féle kritikus értéket, akkor elkezd kihajlani, de a keresztmetszet alakjától és az anyag tulajdonságától függően még egy darabig tovább terhelhető. Tehát a G alakzatnak van még a kritikus terhelésen túl is teherbírási tartaléka.

2. fejezet

- 2.1. 10. oldal: Mi készítette jelöltet arra, hogy a szokásoktól eltérő "*left-handed*" koordináta rendszert használjon?
- 2.2. 11. oldal: Az FSM módszer alapjait bemutató 2.1.2 fejezet szerint az elmozdulásokat sávonként a (2.1-3) függvényekkel közelítik, ahol egy élhez (csomóponthoz) négy -

három elmozdulás és egy forgás - paraméter tartozik. A 9 sem itt, sem a jelölésjegyzékben nincs definiálva. (Ugyanez a megjegyzés vonatkozik a 33. oldal (3.3) egyenletére). Továbbá, nincs utalás arra, hogy mi szabja meg a trigonometrikus függvények m paraméterét.

- 2.3. 11. oldal: A (2.3) interpoláció zárójelezése hibás.
- 2.4. 11. oldal: A 2.1.2 fejezet végén egy mondatban szerepel a "*member length*" és a "*buckling length*" kifejezés. Mi ezek pontos értelmezése? Feltételezem, a kihajlási hosszánál lehetne a rúdvégek megtámasztás módját figyelembe venni, bár a (2.1-3) interpoláció egyértelműen csak csuklós végekre utal.
- 2.5. 12. oldal: A 2.1.3 fejezet röviden ismerteti a cFSM módszer alapgondolatát. A (2.5) szerinti $\mathbf{R}_M$ "constraint" kényszer mátrix az eredeti rendszer szabadságfokai közötti belső - lényegében kinematikai jellegű - kényszerfeltételeket írja le. Ez "kényszeríti" a rúdelemet arra, hogy csak a kívánt tulajdonságoknak megfelelő stabilitásvesztési alakokat prezentálja. A pótlólagos kinematikai kényszerek - támaszok - általában merevítik a szerkezetet, ami nagyobb sajátértéket - kritikus terhelést - eredményezhet. Ennek kapcsán felmerül a kérdés, hogy a (2.7) Φ_M sajátvektorok - a mátrix méretkülönbségtől eltekintve - vajon elemei az eredeti (2.4) Φ sajátvektor mátrixnak, vagy nem. Más szóval, a kérdés az, hogy a Φ_M szerinti kihajlott alakok és a sajátértékek - a kritikus terhelések - az eredeti rúdelem sajátosságai, vagy fiktív alakzatok és értékek.
- 2.6. 12. oldal: A 2.1.4 fejezetben jelölt 3 kritériumot fogalmaz meg, amelyek 2.1 Táblázat szerinti kombinációi a kívánt tulajdonságú sajátvektorok - tiszta stabilitásvesztési módok - jellemzői. A továbbiakban ezek felhasználásával szerkeszti meg a különböző $\mathbf{R}_M$ kényszer (constraint) mátrixokat. Ezek a kritériumok a cFSM módszer megítélése szempontjából alapvető fontosságúak, közvetlenül kapcsolódnak az első tézishez, ezért véleményem szerint bemutatásuk, magyarázatuk, értelmezésük részletesebb, gondosabb leírást igényelne. A kritériumokkal kapcsolatos észrevételek és megjegyzések:
 - a. A Criterion#2(a) szerint a tengely irányú "warping" elmozdulás $v \neq 0$. Ez eddig sem volt zérus! Mi ennek a kikötésnek az értelme? Később, a 21. oldalon, a 2.2.4 fejezet első mondata szerint ennek a fizikai jelentése az, hogy a tengely irányú vonalak (*main nodal lines*) nem maradnak egyenesek. Itt további magyarázatokra van szükség!
 - b. A Criterion#2(b) szerint a keresztmetszet keresztirányú egyensúlyban van. Ez itt egy meglepő kijelentés, mert eddig erőrendszerekről, terhekről nem volt szó, így az egyensúly kifejezést sem nem lehet értelmezni. Persze később, a 21. oldal környékén kiderül, hogy itt jelölt egy számítási módszer analógiára utal. Azonban minden további magyarázat nélkül ez a kijelentés ezen a helyen szerkesztési, értelemzavaró hiba.
 - c. A Criterion#3 szerint $\kappa_x = 0$. Ez a "flexure" itt nincs definiálva.
- 2.7. 13. oldal: A 2.1 táblázatban a "Vlasov's hypothesis" megjegyzés mire utal?
- 2.8. 13. oldal: A 2.15 fejezetben a csomópontok definíciójánál nem említi a sávok falvastagságát. Ezek szerint, két szomszédos, egy síkban lévő, de eltérő falvastagságú/anyagú sáv közötti vonal (*nodal line*) illetve csomópont (*node*) az egy "internal sub-node" és nem "internal main node"?
- 2.9. 14. oldal: A 2.2.1 fejezetben szerepel az "... (ii) the number of GD base vectors ..." kijelentés. A bázisvektor kifejezés itt a sajátvektorra utal?
- 2.10. 15. oldal: Az utolsó mondatban x szerepel X helyett. A szöveget a 2.2 ábra szerint a globális tengelytől mérjük.

- 2.11. 17. oldal: A (2.24) lineáris interpolációhoz fűzött megjegyzés félrevezető. Ugyanis, ha a k sorszámú fősáv kettőnél több sávból áll, akkor $b^{(k,i)}$ nem az i -edik sáv szélessége, hanem az $1, \dots, i$ sávok szélességének az összege.
- 2.12. 21. oldal: A 2.24 fejezetben ismét megjelenik a Criterion#2(b) kapcsán említett keresztirányú feszültségek vagy igénybevételek - mivel a "stress resultant" jelenthet igénybevételt is - egyensúlyának kritériuma. Ez a kritérium azért félreérthető, vagy legalábbis nehezen értelmezhető, mert a (2.4) összefüggés szerinti $\mathbf{K}_g$ geometriai merevségi mátrix csak a véglapok hosszirányú terheléséből származó tagokat tartalmaz. Vagyis a rúdelem kezdeti igénybevételei nyomás/húzás és hajlítás. Ha jól értem ezt a fejezetet, akkor itt arról van szó, hogy a fő csomópontok síkbeli elmozdulásaiból meg kell határozni a belső csomópontok - *sub nodes* - elmozdulásait, ahogy azt a (2.40) egyenlet mutatja. Erre talán más módszert is lehetne alkalmazni, például *Hermite* interpolációt vagy célszerűen megszerkesztett spline polinomokat, de szinte biztos, hogy az itt bemutatott síkbeli keret támaszmozgásai analógia is tökéletes megoldás. Később, a 27. oldalon, a 2.3.3 fejezet első bekezdése szerint az $\mathbf{R}_L$ megszerkesztésekor a "... *transverse equilibrium may be violated*". Tisztázni kell, mi az értelme a keresztirányú egyensúlynak.
- 2.13. 23. oldal: A 2.2.5 fejezet második bekezdése szerint $\mathbf{R}_{GD,vm}$ (vagy $\mathbf{R}_{GD,vm}$, ha nincsenek redundáns fő csomópontok) a fő csomópontok tengelyirányú elmozdulásai, vagyis ez egy oszlop (vagy sor) mátrix. Ha ez igaz, akkor ez a jelölés nem túl szerencsés, sőt zavaró, mert $\mathbf{R}_{GD}$ az egy eltérő sor és oszlop számú mátrix. Ugyanakkor a (2.41) egyenletben a magyarázat szerint $\mathbf{I}$ az "identity matrix" és akkor feltehetően quadratikussá, továbbá a (2.35) szerinti $\mathbf{B}_v$ is mátrix, eltérő sor és oszlop számokkal.
- 2.14. 23. oldal: A (2.42) képletben $\mathbf{B}_v$ helyén a (2.23) szerinti $\mathbf{B}_s$ interpolációs mátrixnak kellene lennie.
- 2.15. 23. oldal: A (2.45) szerinti $\mathbf{R}_{GD}$ kényszermátrixban csak az $\mathbf{R}_{GD,vm}$ határozatlan, a további partíciók ennek ismeretében egyértelműen számíthatóak. A fejezet második bekezdése szerint "..., any $\mathbf{R}_{GD,vm}$ leads to the same GD space.". Mi igazolja ezt az állítást?
- 2.16. 24. oldal: A 2.3.1 fejezet első bekezdése szerint a G típusú alakokhoz a keresztmetszet alaktorzulás mentes, merevtest szerű mozgásai tartoznak. A szabadságfokok számának megfelelően 4 ilyen mozgástípus definiálható, melyek közül a negyedik a keresztmetszetnek a rúd tengelye - a globális Y tengely - körüli θ forgása. Van valamilyen kikötés az Y tengely - forgástengely - helyzetére vonatkozóan? Ha igen, az miből következik? Ide tartozik még a 4. oldalhoz, a "system line" kifejezéshez kapcsolódó megjegyzésem, kérdésem is.
- 2.17. 25. oldal: A (2.49) egyenletben több hiba is van, k_r van k_m helyett és az $\mathbf{m}$ háromszor nem szorzó, hanem index.
- 2.18. 25. oldal: Az első bekezdés szerint egy kiegészítő feltételre van szükség, ami szerint a tengelyirányú mozgások (*warping*) integrálja a keresztmetszetre legyen zérus. "The resulting warping distributions are demonstrated in Fig. 2.7 ...". Az első, axiális ábrára ez láthatóan nem igaz!
- 2.19. 25. oldal: Milyen mechanikai/fizikai megfontolásból következik az a kiegészítő feltétel, hogy a *warping* függvény integrálja az egész keresztmetszet felületére legyen zérus? Lehetne-e más kiegészítő feltételt előírni? Például azt, hogy a *warping* függvény integrálja a középvonal mentén legyen zérus, vagy azt, hogy a *warping* függvény négyzetének felületi/vonal integrálja legyen minimális.

- 2.20. 25. oldal: A 2.3.2 fejezetében jelenik meg az az állítás, hogy (kissé átfogalmazva) a globális G típusú alakok ortogonálisak a torzulásos D típusú alakokra. Sőt, az ezekhez tartozó tengely irányú elmozdulások külön is ortogonálisak. Miből, milyen mechanikai vagy matematikai megfontolásból következik ez az állítás?
- 2.21. 26. oldal: A (2.53) eredmény harmadik tagja hibás. (1 és 2 index csere!)
- 2.22. 26. oldal: Rendkívül zavaró az átgondolatlan jelölésrendszer. Egy mondaton belül szerepel a V_s , ami a D tér egy tetszőleges eleme a globális rendszerben, és egy másik V_s , ami a "subnode" axiális elmozdulása (legalábbis eddig az volt).
- 2.23. 26. oldal: A (2.55) előtti sorban V helyett V_s , a (2.55) képletben és az ezt követő mondatban pedig B_v helyett B_{vs} kellene hogy szerepeljen.
- 2.24. 26. oldal: A (2.26) egyenlet utáni mondatban szerepel a "**0** is a matrix full with zeros". Ezen a környéken nincs **0** mátrix.
- 2.25. 27. oldal: "Transverse equilibrium", lásd a 21. oldalhoz tartozó megjegyzést.
- 2.26. 29. oldal: A második sorban R_M kell az R helyett, ha már az ezt követő harmadik sorban és a (2.5)-ben is ez van.
- 2.27. 29. oldal: A hetedik bekezdés a D alakzatok számát elemzi. Itt szerepel a megjegyzés, ami szerint " ... a standard channel section ... has no D modes.". Ez egy félrevezető megjegyzés, mert a vékonyfalú U szelvénynek lehet D alakzata, de annak a modellnek, aminek kevés a szabadságfoka, (azaz n_m-4 negatív) nem.
- 2.28. 30. oldal: A második bekezdés végén az ábraszám 2.9 és nem 2.11.
- 2.29. 31. oldal: A (2.62) egyenlet utáni kijelentés szerint "... the task of modal identification is essentially solved." Ez itt azt jelenti, hogy a (2.62) lineáris egyenletrendszer megoldásával kiszámítjuk egy d alakhoz rendelhető c_{GDLO} "contribution" értékeket. Vajon mindig invertálható a (2.62) R^0 együttható mátrixa?

3. fejezet

- 3.1. 34. oldal: A (3.3) kapcsán lásd a 11. oldal (2.3)-hoz fűzött megjegyzést!
- 3.2. 35. oldal: Miért különbözik a (3.6) és a (3.8)? Mind a kettő ugyanaz, egyik végén csuklós, másik végén befogott oszlop. Gondolom, a "guided" az egy csuklós, oldalirányban megtámasztott csúszó támasz.
- 3.3. 39. oldal: A 3.4 ábrához fűzött magyarázat szerint "The illustrated ... distribution ... corresponds to ... simple-simple end restrains". A 3.5 ábrához tartozó megjegyzésben is a " ... simple-simple end restrains" Mind a kettő ugyanaz? Milyen az a "simple restrain"? A "simple" kifejezés nem szerepel a (3.4-8) interpolációkhoz tartozó kényszer megnevezések között.
- 3.4. 44. oldal: Célszerű lett volna a 2.1 (13. oldal) és 3.1 táblázatokat hasonló formában és jelölésekkel megszerkeszteni. Ha jól látom, a 3.1 táblázatban azonosíthatóak a 2.1.4 fejezet kritériumai is.
- 3.5. 44. oldal: A 3.1 táblázat első oszlopával kapcsolatban merül fel az a kérdés, hogy mi a jelentősége a G_A alakzatnak. Lehetséges olyan sajátvektor, ami egy tengelyirányú egyenletes összenyomódás képét mutatja? Vagy lehetséges, hogy bármilyen vékonyfalú karcsú oszlop kihajlott alakjában megjelenik ez a komponens?

- 3.6. 46. oldal: A második bekezdés végén ismét megjelenik a "*transverse equilibrium*", ami az "*unballanced nodal forces/moment*" egyensúlyi feltétele. Változatlanul nem világos, miről van szó. Lásd még a 12. és 21. oldalhoz fűzött megjegyzéseket.
- 3.7. 46. oldal: A negyedik bekezdésben a $\mathbf{Z}$ mátrixok indexelésével kapcsolatos "... subscript comes from the first column ..." megjegyzés csak az $\varepsilon \rightarrow e, \gamma \rightarrow g, \kappa \rightarrow k$ kiegészítéssel igaz.
- 3.8. 46. oldal: Az ötödik bekezdés szerint a továbbiakban használt $\mathbf{Z}$ mátrixokat a B Függelék részletezi. Ebben a függelékben viszont nincsenek $\mathbf{Z}$ mátrixok, csak $\mathbf{R}$ mátrixok.
- 3.9. 47. oldal: A (3.11) szerinti Θ_i ugyanaz, mint a (3.3) szerinti ϑ_i ?
- 3.10. 47. oldal: Ha jól értem a 3.3.3.1 fejezet annak a (meglehetősen körülményes) bizonyítása, hogy a nyomott rúd keresztmetszetében a tengelyirányú v elmozdulás állandó.
- 3.11. 49. oldal: A (3.20) egyenlethez fűzött megjegyzésben, a két G_B alak meghatározásánál nem kellene kikötni, hogy a "... *two perpendicular directions*." legyen a keresztmetszet két főtengelye? Feltételezem, hogy később, az identifikáció során ezeket kell majd használni.

4. fejezet

- 4.1. 65. oldal: A (4.2) egyenlet kapcsán tisztázni kellene a benne szereplő mennyiségek jellegét vagy tartalmát. Ha jól értem, akkor a $\mathbf{d}_{FE}$ tartalmazza a végeelem megoldást, aminek elemszáma a héj modell csomópontok száma szorozva hattal. A Φ pedig egy FSM megoldás, amiben sávonként négy (vagy inkább élenként négy) adat, szorozva a hosszirányú függvények számával, szerepel. Ezek szerint a $\mathbf{d}_{FE}$ és a Φ nem kopatibilisak. Hiányzik egy lényeges lépés, hogyan lesz a VEM eredményből FSM típusú adathalmaz, vagy fordítva, az FSM eredményből FEM típusú? Hogyan kell elvégezni a (4.4) egyenletben kijelölt $\Phi^T \mathbf{d}_{FE}$ szorzást.

5. fejezet

- 5.1. 74. oldal: Az első bekezdésben jelölt leírja a nem rúd modellre (FSM vagy héj) vonatkozó globális kihajlott alakzat egy újabb definícióját, ami szerint " ... *global buckling ... when all ... cross section deformations are excluded*." Tisztázni kellene, hogyan viszonylik ez a kijelentés a korábbi, elsősorban a 3.1 táblázat (44. oldal) első három oszlopában, és a 2.1 táblázatban (13. oldal) összefoglalt kritériumokhoz.
- 5.2. 74. oldal: Az első bekezdés végének állítását, ami szerint " ... *mode is global if the relative positions of any cross section nodes don't change* ... " pontosabban kellene megfogalmazni, mivel ez így ellentmond az előző oldal " ... *free to warp* ... " állításának.
- 5.3. 74. oldal: Az utolsó bekezdés szerint a forgások referencia pontja a "*shear center*". Ezek szerint feltételezi, hogy a csavaró középpont és a nyíró középpont egybeesik.
- 5.4. 77. oldal: Az (5.13) utolsó tagjában szerepel a κ_{xy} görbület, vagy torzió. Ennek a (C34) és a 44. oldal szerinti definíciója eltér. Az eltérés egy -2 szorzó. Ugyancsak eltér a Függelék (B40) és (D22) szerinti felírás is.
- 5.5. 77. oldal: Az (5.13) utáni sorban az " ... *in our case: $\sigma_y = p_y$* ." kijelentés súlyos elvi hiba. Jelöltnek pontosabban kellene fogalmazni, az általa használt elvben a p_y egy kezdeti terhelés, a σ_y és ε_y pedig az anyagtörvényen keresztül összetartozó növekmények.

- 5.6. 77. oldal: Nem teljesen érthető, hogy mi indokolja az 5.1 táblázat szerinti három elhanyagolás vizsgálatát. Az első feltétel, a $(\partial v / \partial y)^2$ tag vizsgálata még rendben van, mert ez ad magyarázatot a cFSM eredmények rövid rudaknál tapasztalt viselkedésére (72. oldal első bekezdés). A másik két feltétel egyaránt azt jelenti, hogy a másodrendű nyomatékok pontosan számoljuk, vagy közelítőleg. A konklúzió csak az lehet, hogy pontatlan bemenő adat pontatlan eredményt ad. Ez a magyarázata a 88. oldalon közölt numerikus eredmények közötti eltéréseknek. Például az 5.6 táblázat utolsó előtti és utolsó (1000 és 10000) oszlopaiban a *nmn* és *nny* sorok kritikus erő értékei jelentősen eltérnek, de ezek aránya pontosan megfelel az 5.4 ábra szerinti I-2 szelvény $I_z/I_{z,r}$ arányának.
- 5.7. 78. oldal: Miért kell kikötni, hogy a keresztmetszet legyen "double-symmetrical". Ennek az a következménye, hogy a szelvény középpontja és a csavaró középpont egybeesik. Akkor miért szerepel X_C és Z_C a Függelék (C20) egyenletében?
- 5.8. 78. oldal: Az (5.16) eredményekben I_z szerepel. Miért nem az I_x ? A szövegben sehol sem találtam olyan kikötést, hogy mi határozza meg a globális X , Y , Z rendszert. Még a jelölés jegyzékben is csak "global coordinate axes" néven szerepelnek. (lásd a 4., 24., és 49. oldalakhoz kapcsolódó megjegyzéseket)
- 5.9. 79. oldal: Az 5.2 táblázat alatti értékelésnél azért érdemes megjegyezni, hogy az " ... *yxx cases ... tends for finite value,...*" kijelentésben említett véges érték mérnöki szempontból azért "végtelen" nagy, hiszen ez a határérték a kritikus terhelésre átírva $p_y \approx -E$. (Erre van utalás később, a 85. oldalon)
- 5.10. 81. oldal: Az 5.2.5 fejezet elején szerepel a kikötés, hogy $X_{SC} = Z_{SC} = 0$. Akkor mit keresnek ezek az (5.20) eredményekben?
- 5.11. 84. oldal: Az 5.2.6 fejezet elején szerepel a kikötés, hogy a szelvény szimmetriatengelye a globális Z , aminek következtében $X_{SC} = 0$. Ezek után az (5.28) szerepeltetése félrevezető!
- 5.12. 88. oldal: A táblázatok utolsó sorában az EC3 mire utal? Talán EUROCODE 3?
- 5.13. 88. oldal: A numerikus eredmények között a határértékek szerepeltetése ugyan érdekes, de egy 400 mm szelvénymagasságú és 10 - 100 mm hosszúságú tuskót, mint rudat vizsgálni teljesen érdektelen és fölösleges.
- 5.14. 90. oldal: Itt az első bekezdésben - és már korábban is - használt " ... *cross sections' mass centres*" kifejezés helyett a "centroid" használata lenne az elfogadható. A keresztmetszet egy geometriai alakzat, nincs tömege.
- 5.15. 95. oldal: Az 5.3.5.4 fejezet első bekezdése szerint " ... *three distinct critical forces found ...*" Az 5.9 ábrán hol látszanak ezek az (5.53) szerinti értékek?
- 5.16. 96. oldal: Ha jól értem az 5.10 ábrához és táblázathoz valamint az előző, 5.5 táblázathoz (88. oldal) tartozó minta szerkezet ugyanaz, csak az 5.10 táblázat eredményei a nyírási alakváltozás hatását is tartalmazzák, de extrém alacsony G modulus értékkel, és oszloponként dupla hosszal számolva. Tanulságos lett volna azonos szerkezeten bemutatni a nyírási alakváltozás hatását.

3. Állásfoglalás a tézisekről

Pályázó az értekezés hatodik, "*Summary of new scientific results*" című szakaszában négy tézist fogalmazott meg.

1. Az első és a második tézis véleményem szerint összetartozik. A második tézis az első továbbfejlesztésének tekinthető, ezért javaslom összevonásukat. A tézisek elfogadásáról a 2. és 3. fejezet kapcsán megfogalmazott kérdésekre adandó válaszok ismeretében tudok nyilatkozni.
2. A harmadik tézist elfogadom.
3. A negyedik tézis elfogadásáról az 5. fejezet kapcsán megfogalmazott kérdésekre adandó válaszok ismeretében tudok nyilatkozni.

4. Állásfoglalás a nyilvános vita kitűzéséről

A doktori dolgozat, valamint pályázó saját publikációi alapján megállapítható, hogy az időszerű, fontos témát dolgoz fel és új tudományos eredményeket mutat be.

Javaslom a nyilvános vita kitűzését.

Budapest, 2018. február 27.

Dr. Vörös Gábor
az MTA doktora, egyetemi tanár