

VÁLASZ

Ádány Sándor

bírálataira, amelyet a Magyar Tudományos Akadémia Doktori Tanácsa felkérésére állított össze

Prológus

Először tisztelettel megköszönöm a Bírálóm korrekt munkáját, amelyben a jogos észrevételek és kérdések mellett nagy gondot fordított az értekezés értékeinek feltárására.

Válaszaim a Bíráló kérdéseire és észrevételeire

A Bírálóm a 19 pontba szedett észrevételeivel és kérdéseivel az értekezés olvasási rendjét (fejezeteit) követte, ezért a válaszaimat is annak megfelelően adom meg. Az értekezésem érdemi megítélését befolyásoló észrevételeket és kérdéseket **félkövér** szedéssel jelzem.

Az 1. fejezet

- 1. Az 5. oldalon szerepel (de később máshol is) a „viszonylag kis elmozdulás” és „viszonylag vékonyfalú” kifejezés. E kifejezések szokatlanok, elsősorban a „viszonylag” szó miatt. Célszerű volna e kifejezések jelentését pontosabban definiálni.

Az 5. oldalon a „viszonylag kis alakváltozás” kifejezés szerepel, ami helyett helyesebb lett volna a „viszonylag kis elmozdulás” kifejezést használnom. Az utóbbi fogalmon a 3. fejezet (3.2) képletével megfogalmazott feltételt értem (3.4 ábra). Az elmozdulás értékét általában a szerkezet méretéhez kell viszonyítani, ezért alkalmaztam a „viszonylag” határozót.

A „viszonylag vékonyfalú” keresztmetszet kifejezéssel azokra a keresztmetszetekre hivatkozom, ahol az alkotó lemezek teljesítik a következő két feltételt: (i) elég vékonyak ahhoz, hogy a középvonalukkal és falvastagságukkal meghatározott geometriai modellen a jellemzők számítása megfelelően pontos (másképpen fogalmazva az állapotjellemzők a falvastagság mentén állandónak vehetők); (ii) elég vastagok ahhoz, hogy a vékonyfalú keresztmetszetekre jellemző alaktorzulás (distorsion) merevítetlen esetben is elhanyagolható legyen. A „viszonylag” határozóval a (ii) feltételre kívántam utalni.

- 2. A 11. oldalon definíciók szerepelnek. Megítélésem szerint a „szerkezeti modell” definíciója vagy elnevezése nem szerencsés, mert a definíció szerint „rúdszerkezeti elemek és lemezszerkezeti elemek összessége”, miközben maga a „rúdszerkezeti elem” és „lemezszerkezeti elem” fogalom leginkább valós elemként értelmezett, míg a „modell” szó lényege, hogy nem valós elem, hanem absztrakció. Vagyis, a „szerkezeti modell” kifejezés egyértelműen absztrakcióra utal, míg a definíció a valóságod elemre utal.

Az észrevételt elfogadom, a „szerkezeti modell” helyett a „szerkezet” kifejezés a helyes.

- 3. A „rúdszerkezeti elem” definíciójában pontatlannak gondolom a „tönkremenetelére a globális stabilitásvesztési mód a jellemző” meghatározást. Először is ez csak akkor igaz, ha az

elem nyomott, miközben egy szerkezetben nyilvánvalóan lehetnek húzott elemek is. De amennyiben az elem nyomott, akkor sem biztos, hogy a globális stabilitásvesztési mód a jellemző, mert pl. az elem lehet igen rövid is, amikor nincs stabilitásvesztés, vagy ha van, az nem globális (hanem például lemezhorpadás, kellően vékony elemek esetén).

- 4. Hasonlóan, a „lemezszerkezeti elem” definíciójában pontatlannak tartom a „tönkremenetelére a lemezhorpadás a jellemző” kitételt. Ez is csak akkor igaz, ha a lemez elegendően vékony és elegendően nagy nyomófeszültségek vannak benne.

A két definícióban a „jellemző” kifejezést az „általában” kifejezés szinonimájaként használom, és semmiképpen sem a „kizárólagosság” értelmében. Az „igen rövid” elemet, ahol a jellemző tönkremenetel a keresztmetszeti ellenállás kimerülése, és/vagy a lemezhorpadás, a definíció első részében kizártam. A húzott elemre vonatkozó észrevételt jogosnak tartom.

Természetesen lehet bővíteni az általam használt kifejezések értelmezési tartományait, de azt szándékosan kerültem, mivel az értekezés címében is jelzett „analízis és méretezés integrációja” szempontjából a felsorolt esetek nem relevánsak. Azt gondolom, hogy a definícióim, az értekezés témáját és tartalmát tekintve kifejezőek, és megfelelőek.

A 2. fejezet

- 5. A 2. fejezetben bemutatott keresztmetszeti számítás csak egyszeresen zárt keresztmetszetekre alkalmazható. Bár magasepítési acél szerkezeti elemek esetén ez általában elegendő, kérdezném, van-e akadálya általánosabb keresztmetszetek kezelésének? Milyen változtatások volnának szükségesek pl. a több cellát tartalmazó keresztmetszetekre való kiterjesztésnek?

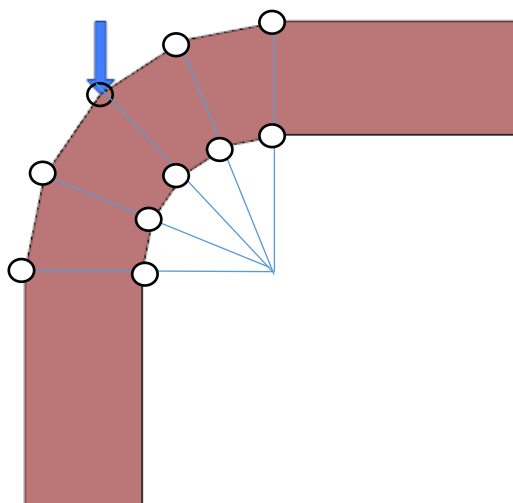
Ahhoz, hogy az EPS modell a több cellát tartalmazó zárt keresztmetszetek számítására is használható legyen, meg kellene írni a csavarási jellemzőket számító speciális eljárásokat a szakirodalomban található kifejezések alapján. Az integrált analízis és méretezés rendszerének vizsgálata szempontjából az előbbi fejlesztésnek nem látom az értelmét, mivel hiányoznak a méretezéselméleti oldalon szükséges szabványos megoldások (pl. kihajlási görbe, effektív keresztmetszet, stb.).

Az analízis mint rendszerkomponens oldaláról nézve a kérdést, a több cellát tartalmazó keresztmetszetek jellemzőinek pontos számítása a GSS modellel lehetséges, a fejlesztéshez csak a megfelelő GSS modelldefiníciókra van szükség.

- 6. A 2.1. példa ábrája arra utal, hogy hidegen alakított Z-szelvényről van szó. A sarkok ilyen esetben lekerekítettek. A lekerekítést figyelembe veszi-e a számítás? Ha igen, hogyan?

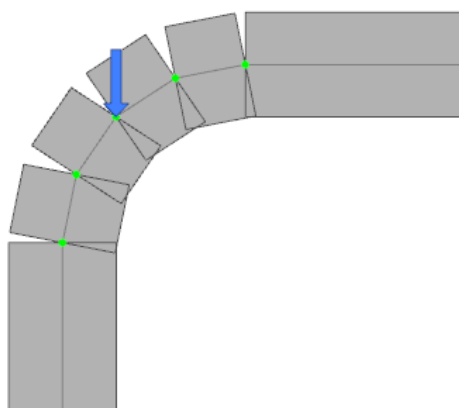
A 2.1 példa a hidegen alakított Metsec típusú katalógus szelvény duális EPS és GSS alapú keresztmetszeti modellezését illusztrálja. A ConSteel/SECTION ágens úgy lett tervezve, hogy a Z szelvény EPS modellje nem tartalmazza a görbületet, míg a GSS modellje igen. Ezt látjuk a 2.1 példához tartozó két ábrán. A GSS modell a görbületet poligonnal közelíti (1. ábra). A görbület poligonnal történő közelítése az EPS modellben is lehetséges, a fejlesztés az elmúlt hónapokban megtörtént (2. ábra).

1. ábra



Csomópont	v [mm]	w [m...
25	66	3
26	66	4
27	67	229
28	68	230
29	70	232
30	139	232
31	141	230
32	142	229
33	140	228
34	139	229
35	138	229
36	71	229
37	70	229
38	69	228
39	69	3
40	67	2
41	66	0

2. ábra



Pont	v [mm]	w [mm]	t [mm]	Attribútum
1	141,3	213,0	2,5	szabad peremű, kisebb vég szabad (heg.
2	141,3	226,5	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
3	140,9	228,1	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
4	140,0	229,5	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
5	138,6	230,4	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
6	137,0	230,8	2,5	belső övlemez
7	72,0	230,8	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
8	70,4	230,4	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
9	69,0	229,5	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
10	68,1	228,1	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
11	67,8	226,5	2,5	belső övlemez
12	67,8	5,5	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
13	67,4	3,9	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
14	66,5	2,5	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
15	65,1	1,6	2,5	helyi horpadási attribútum nélküli lemez
16	63,5	1,3	2,5	belső övlemez

- 7. A 2.2. példára és kapcsolódó szövegrészekre vonatkozóan: a szöveg és táblázat azt sugalmazza, hogy a kihasználtság nem egyértelmű, és hogy ez zavart okozhat. Azt vélem, tervező mérnöki gondolkodással természetes, hogy különféle kihasználtságok adódnak a különféle vizsgálatokból. Önmagában az sem baj, ha ugyanarra a vizsgálatra többféle méretezési képlet áll rendelkezésre, és ezekből különféle kihasználtságok adódnak. Az alapelv jó esetben az, hogy vannak egyszerűbb, de általánosabban alkalmazható eljárások/képletek, amelyek adott esetben pontatlanabbak; és vannak korlátozottabban alkalmazható (talán bonyolultabb) eljárások/képletek, és ezek pontosabbak. A racionális tervezői magatartás az, hogy azt a méretezési eljárást/képletet alkalmazzuk a rendelkezésre álló lehetőségek közül, amelyik a legpontosabb, így vélhetően a legkisebb kihasználtságot adja. Véleményem szerint a „baj” az, ha (pl.) az egyes eljárások/képletek alkalmazási korlátai nem egyértelműek, vagy nem fednek le minden (gyakran előforduló) esetet, vagy ha a különféle átfedő eljárások egymással ellentétes tendenciákat mutatnak.

A Bírálom véleményével egyetértek, de hangsúlyozom, hogy a megközelítése, ahogy írja is, a „tervező mérnöki gondolkodás”-ra jellemző. A 2. fejezet, és azon belül a 2.2 példa, szándékosan a szoftvertervező gondolkodását tükrözi. A két megközelítés közötti különbség idővel csökkeni fog, sőt el fog tűnni: ez akkor fog bekövetkezni, amikor a mesterséges

intelligencia (MI) eléri az általunk tárgyalt mérnöki területet is. Az általam megalkotott SECTION osztály még a hagyományos „*ha..., akkor...*” módszertant alkalmazza, de nem hasztalanul, mert a szabványokkal szabályozott mérnöki tevékenység ilyen jellegű elemzése szükséges és fontos lépés az automatizálás, a szakértői rendszer, és végeredményben a mérnöki MI felé vezető úton.

➤ **8. Az 1. tézis mögötti tartalom korrekt, de nem tartom jelentős eredménynek**

A Bírálom véleményét sajnálattal, de tudomásul veszem, és tiszteletben tartom. Ugyanakkor néhány megjegyzés erejéig vitatkozni kívánok vele. Tekintettel arra, hogy Vörös Gábor bírálóm is hasonló véleményen van, és elsőnek az ő bírálataira adott válaszomat fogalmaztam meg, itt megismétlem az ott írott válaszomat:

„Tény, hogy a keresztmetszeti jellemzők számításához alkalmazott alapmodellek, valamint a jellemzők kifejezései régről ismertek (pl. Урбан, И.В. 1955; Kolbrunner, F.C. and Basler, K. 1966; Pilkey, 2002). Tény, hogy az effektív keresztmetszeti modell több évtizede ismert (pl. EC3-1-5, 2005). Amennyiben a SECTION ágens csupán ezek számítási és megjelenítési algoritmusai volna, akkor valóban csak „*adaptációról van szó*”.

A SECTION ágens új tudományos tartalmát értelem szerűen nem a fent említett alapismeretekben látom, hanem a probléma újszerű megközelítésében. Az újszerűség ismérvei a következők:

- a keresztmetszet szerkezeti objektumként történő értelmezése, amely megközelítés szakított azzal a konzervatív felfogással, hogy a keresztmetszeti probléma egyenlő az 1D/2D keresztmetszeti modelleken kiszámított jellemzők halmazával;
- annak felismerése, hogy az analízis és a méretezés integrációjának első és meghatározó lépése az, hogy az objektum tulajdonságait ki kell terjeszteni méretezéselméleti paraméterekkel;
- annak szisztematikus feltárása, hogy az analízis és a méretezés elkülönült világában meghatározott adatmodellek hogyan integrálhatók az egységes keresztmetszeti osztályba; melyek az osztály objektumainak természetes és melyek a származtatható paraméterei; mit kell tudnia a keresztmetszeti objektumnak önmagáról ahhoz, hogy képes legyen teljes mértékben kiszolgálni az analízis és méretezés integrált rendszerét;
- annak feltárása, hogy milyen szabályokat kell betartani az EPS alapmodell leírásakor, hogy tetszőleges kialakítású keresztmetszet esetén is minden számított jellemző megfelelően pontos legyen;
- annak feltárása, hogy a természetes geometriai adatokból milyen származtatott modelleket kell leképezni ahhoz, hogy a SECTION ágens képes legyen kiszolgálni a különböző típusú analíziseket, a rugalmastól a rugalmas-képlékenyig bezárólag.
- mely és milyen általánosított méretezési algoritmusok tartoznak az egységes SECTION osztályhoz.

Véleményem szerint a műszaki tudományok feladata a technológia állandó fejlesztése, ami a gazdaság növekedésének az előfeltétele. Felfogásom szerint az építőmérnöki tudományokban az egységes K+F+I jelenti a tudományos entitást. Ezen entitás egy-egy felbontása egy adott korra jellemző civilizációs, kulturális és tudományos „termékre” vezet.

Amikor a kérdéses tézisem két tudományos lábát (modellek és jellemzők; méretezési formulák) sok évtizeddel ezelőtt megalkották, akkor a K felbontás jelentette a tudományos terméket. Az F+I felbontáshoz szükséges volt az információs technológia fejlődésére. Tehát a keresztmetszeti problémának, mint tudományos entitásnak időben és térben szét kellett válnia K és F+I teljesítményre. A tézisem azt mondja ki, hogy az F+I teljesítményem (a megfogalmazott elvek, modellek és algoritmusok) vezetett el a komplex K+F+I entitáshoz,

azaz acélszerkezeti keresztmetszeti probléma, mint építőmérnöki műszaki tudományos téma, tényleges megoldásához, lezárásához.”

Örömmel vettem Bírálom állásfoglalását, miszerint „*a tartalom korrekt*”. Ez legalább akkora elismerés, mint az, hogy ezt az eszközt több kutató szerkezet-kutatásra is alkalmasnak tartotta, többek között Bernuzzi professzor (lásd a D1 presztízsű folyóiratokban kapott hivatkozásokat).”

A 3. fejezet

- 9. A 24. oldal alapján úgy érthető, hogy vannak „rúdelemek” és vannak „oszlopelemek”, és ez utóbbiak valamilyen szempontból speciálisak. Érdemi magyarázat nem szerepel, így nem érthető, mi a különbség/hasonlóság a kétféle elem között.

Az oszlopelem egy olyan speciális rúdelem, amely merőleges a modulhálózat síkjára, azaz a globális X-Y síkra, kezdőpontja (talppontja) a modulhálózat síkján helyezkedik le, jellemző paramétere a „magasság (mm)”.

- 10. A 3.1. példa előtti bekezdés tartalmát nem igazán értem.

Az alábbiakban kísérletet teszek a kérdéses bekezdés tartalmának érthetőbb leírására.

„A rúdszerkezeti elem duális objektumát, a lemezszerkezeti elemet, a keresztmetszeti objektum egyértelműen meghatározza.”

A „*rúdszerkezeti elem*”-et mint modell objektumot a referencia tengely, az EPS keresztmetszeti modell és néhány kiegészítő (pl. változó gerincmagasság) attribútum határozza meg. A „*lemezszerkezeti elem*”-et mint modell objektumot éleik mentén kapcsolt sík lemezelemek alkotják, melyek egyértelműen meghatározhatók az EPS keresztmetszeti modell alapján: a lemezelemek az EPS modellt alkotó lemezmetzeti elemek referencia tengely mentén értelmezett hossz hozzárendeléssel állíthatók elő. A két szerkezettanilag egyenértékű objektum együttesét nevezem duális objektumnak.

„Az így meghatározott objektumsémát a **3.2. ábra** illusztrálja. Az objektumséma újszerűsége abban rejlik, hogy a rúdszerkezeti elemhez kötött ellenállások számítása a keresztmetszeti objektumba (osztályba) került bezárásra. Ez a séma teszi a ConSteel szoftvert robusztussá és egyben egyedivé, ez a tulajdonság adja a hazai és a nemzetközi elismertség egyik alapkövét. A séma működését a **3.1. példa** illusztrálja.”

A hagyományos értelmezés szerint a globális stabilitási ellenállás a szerkezeti elemhez kötött tulajdonság. Ezzel a felfogással szakítottam, amikor a stabilitási ellenállást is keresztmetszeti tulajdonságnak tekintettem. Ebben a felfogásban a globalitást a keresztmetszethez rendelt, és a globális analízisből származó általánosított karcsúság, vagy az egyenértékű imperfekció hatását tartalmazó másodrendű igénybevételek képviselik. Ez a felfogás szoros összefüggésben van a 4. és az 5. fejezetekben tárgyalt újszerű stabilitásvizsgálati eljárások gondolatával.

- 11. A 3.6. ábrán a kék színnel jelölt esetben a keresztmetszet el van csavarodva a feketéhez képest. Ez mintha ellentmondana a szöveges meghatározásnak (ami eltolást említ).

A 3.6 ábra a külpontosságok értelmezését illusztrálja. A látszólagos ellentmondást az ábra feletti szöveg oldja fel: „*Alaphelyzetben a fő tehetetlenségi tengely δ_0 szöget zár be a lokális tengellyel. Ezt az állapotot egy előírt transzformációnak tekintem.*”. Tehát a kék színű állapot

már tartalmaz egy elfordítást, csak hogy ez egy előírt elfordítás, azaz független a felhasználó szándékától. A keresztmetszet elhelyezésének értelmezését a 3.7 és a 3.8 ábra megmutatja.

- **12. A 3.2. példában elég nagy eltérések is előfordulnak a rúdmodell és héjmodell eredményei között. Megítélésem szerint ezen eltérések elég nagyok ahhoz, hogy érdemibb magyarázat nélkül elfogadhatóak legyenek (10% különbség az eltolódásban lineáris statikai számításnál, vagy 14% különbség az eltolódásban a geometriailag nemlineáris statikai számításnál). Az is figyelemre méltó, hogy bizonyos példákban a hasonló összehasonlítások sokkal kisebb különbségeket adnak (pl. 3.3. példa). Mely ok(ok) vezet(nek) a különbségekhez, amikor relatíve nagyok a különbségek?**

Az elmozdulások különbségét, legalábbis elvi szinten, több tényező is előidézhetheti:

- a 14 DOF rúdmodell a nyírási alakváltozást és az alaktorzulást nem veszi figyelembe;
- a 14 DOF rúdmodell GSS keresztmetszeti modellje nem teljesen egyenértékű a héjmodell keresztmetszetével;
- a 14 DOF rúdmodell viselkedésében a $\sin \delta \approx \delta$ és $\cos \delta \approx 1$ geometriai közelítés, valamint az elcsavarodási függvény harmadfokú polinommal történő interpolációja az elcsavarodás növekedésével egyre pontatlanabb eredményre vezet (jelen esetben kb. 5-7 fok a határ, ahol a pontatlanság már jelentkezik);
- a külpontosság kétféle modellezése csak részben egyenértékű; a 14 DOF rúdmodell azon központos rúdmodellel egyenértékű, ahol a támaszok a külpontosak, és az elemet a támaszokkal merev elemek kötik össze; a héjmodell megtámasztása viszont valós méretű diafragma alkalmazásával történt, amelynek hajlékonysága növeli az elem deformációját, ugyanakkor gátolja az öblösödést.

Hogy a fenti hatások a példa esetében milyen mértékűek, és egymás hatását hogyan erősítik vagy gyengítik, erre nem végeztem számításokat. Megítélésem szerint a deformációk megszokottnál nagyobb eltérése a héjmodell megtámasztási kialakításának a következménye. Az észrevételezett nagy eltérés (10-13%) a Z irányú elmozdulásban jelentkezik, az elem deformációját azonban jobban jellemzi Y irányú eltolódás és az elcsavarodás, ahol az eltérés csak 3-4%. A diafragma vastagságának változtatásával az eltérések is változnak.

A fentiek okán továbbra is állítom, hogy a példa megfelelő illusztrációja annak, hogy a rúdelem külpontosságának kezelése megfelelő, és alkalmas reális szerkezeti kialakítások modellezésére.

Más példák esetében a kétféle modell deformációja közötti kisebb különbséget az magyarázza, hogy azokban az esetekben a megtámasztási modellek közel egyenértékűek.

- **13. A 2. tétel tartalmaz új eredményt. A legfontosabb újdonságnak a változó keresztmetszetű rúdelemek kezelését, annak megoldási módját tekintem. De ha jól értem, a változó keresztmetszetű rudak nem lehetnek tetszőleges keresztmetszetűek; ha így van, szükségesnek gondolom ennek kimondását a tételben (mert például a külpontos elhelyezésre vonatkozó megoldás tetszőleges keresztmetszetre igaz). A tétel utolsó francia bekezdésében említett „EPS keresztmetszeti modellel konzisztens duális héjszerkezeti modell generálása”-t nem tartom érdemi eredménynek.**

A Bírálóm véleményét elfogadom azzal a megjegyzéssel, hogy a szegmentálási eljárással bármely keresztmetszet esetén kezelhető a rúdtengely mentén történő változás. A 2. tételben a „*geometriailag szabálytalan (változó gerincmagasságú) szerkezeti elemek modellezése*” kitélt a 3.3 szakaszban tárgyalt, csak az I és H keresztmetszetekre megoldott problémára vonatkoztattam.

A 4. fejezet

- 14. A fejezetben bemutatott és a kapcsolódó tézisben megfogalmazott eredményeket új eredménynek tartom. A kapcsolódó tézis, azaz a 3. tézis megfogalmazása nekem személy szerint nem tetszik. Például, egy új eredménytől ab ovo elvárt, hogy megelőzze a hasonló eredményeket, hiszen emiatt lehet „új” eredmény. Indokolatlannak gondolom tehát a „megelőztem”, illetve „megelőzve” kifejezések hangsúlyozását. Az eredmény nem az, hogy „megelőztem”, hanem az, hogy „kifejlesztettem”, „felírtam”, „megfogalmaztam”, „megadtam”, stb. Továbbá, egy tézisben számomra nem indokolt egy olyan állítás, amely az utolsó mondatban szerepel: „hozzájárultam ... a probléma közeljövőben várható teljes körű megoldásához”. Hogy a közeljövőben tényleg meg lesz-e oldva egy még nem megoldott probléma, és hogy ez a még nem ismert megoldás mennyire tekinthető teljes körűnek, az most még nem tudható, így az állítás elfogadása vagy elvetése hit kérdése. Az pedig megintcsak evidencia, hogy egy új eredménytől elvárható, hogy hozzájáruljon egy probléma megoldásához, hiszen enélkül nem volna eredmény. Mindezeket összegezve: a tézis tartalma megfelelő, de a megfogalmazása szerintem nem szerencsés.

Megköszönöm Bírálómnak, hogy a tézis megfogalmazásával kapcsolatos ellenérzése ellenére felismerte a tézis tartalmát, és azt elfogadja. A bírálat tükrében a tézist, az eredeti tartalom megtartásával, az alábbiak szerint tudnám átfogalmazni:

Az „általános” stabilitásvizsgálati módszer formuláját az EN 1993-1-1 szabvány kidolgozásától függetlenül írtam fel és vezettem be a nemzeti szabványban. A gyakorlatban alkalmaztam a 14 DOF rúd vége-selemes analízis és az „általános” stabilitásvizsgálati módszer integrálásán alapuló méretezési eljárást. Ez a két eredmény utóbb a nemzetközi fejlődés trendjével teljes összhangban lévőknek bizonyult. A hipotézisen alapuló méretezési formula helyességét Szalai legújabb kutatása igazolta. Kutatási eredményeim a globális stabilitásvizsgálat „általános” módszerének nemzetközi szintű elterjedésében, illetve a probléma minden korábbinál általánosabb megoldása felé vezető úton, nemzetközi szinten elismert lépések.

Az 5. fejezet

- 15. Az 5. fejezetben számos tudományosan érdekes eredmény szerepel. A fejezettel kapcsolatban egyetlen, de alapvető megjegyzésem/kérdésem van. A dolgozat korábbi részeiben a rúdelemek meglehetősen általános keresztmetszetekkel rendelkezettek, számos ilyen példa szerepelt is. Az 5. fejezetben csak kétszeresen szimmetrikus I-szelvényű példák szerepelnek. Úgy tűnik nekem, hogy a levezetések is csak bizonyos megkötésekkel igazak. Pl. az (5.13) képlet vélhetően csak akkor reális, ha az y és z tengelyek főtengelyek. Vagy, pl. az 5.1.3. szakasz kihajlás és kifordulás interakciójáról beszél, de a kihajlás síkbeli, ami csak bizonyos keresztmetszetek esetén reális feltevés. Ugyanakkor a fejezetben, és a vonatkozó 4. tézisben nem szerepel megkötés a levezetések és eredmények alkalmazhatóságára vonatkozóan. Kérdezem: a levezetések és eredmények tetszőleges esetekben igazak-e, ha esetleg nem, akkor mik a szükséges kiinduló feltevések?

A tézishez kapcsolódó előzményeket 2010-ben publikáltuk (Szalai and Papp, 2010). A publikációban a klasszikus Ayrton-Perry (Ayrton-Robertson) formula lett általánosítva az M_y hajlítónyomaték okozta kifordulás esetére, állandó értékű N nyomóerő mellett. Az ott közölt eredmények kétszeresen szimmetrikus I és H szelvényekre vonatkoznak. Ezt követően a kutatás két irányban folytattuk.

Szalai tovább kutatta az Ayrton-Perry formula általánosíthatóságát (Szalai, 2017). A rangos publikációban felírta az Ayrton-Perry formula imperfekciós tényezőjét a referencia elem 16 egyszerű és összetett globális stabilitásvesztési módjára kétszeresen szimmetrikus,

egyszeresen szimmetrikus és aszimmetrikus keresztmetszeteket feltételezve. A 16 alapesetből jelenleg három eset kalibrációját tudom elfogadni tudományos igényű megoldásnak: (i) a nyomott rúd síkbeli kihalása; (ii) a nyomott rúd kényszertengely körüli elcsavarodó kihajlása; (iii) a hajlított elem kifordulása. Mindhárom esetben kétszeresen szimmetrikus keresztmetszetről beszélünk. Természetesen a nemzetközi szakirodalom, illetve annak egyik megjelenési formájaként az EN 1993-1-1 szabvány, mind a 16 esetre ad tervezési ajánlást, de ezek jelentős része nem Ayrton-Perry alapú (pl. az interakciós formulák), illetve olyan közelítő feltevéseken alapulnak, amelyek validálása nem, vagy csak részlegesen történt meg. A kutatás másik ágán a Chladný által síkbeli kihajlás vizsgálatára javasolt sajátalak formájában felvett egyenértékű geometriai imperfekció módszer (Chladný and Štujberová, 2013a) kiterjesztését vizsgáltam, felhasználva az Ayrton-Perry formulán alapuló adatbázisokat és kalibrációkat. Ennek első eredménye volt a 2016-es publikációm (Papp, 2016), ahol rögzítettem, hogy az eredmények kétszeresen szimmetrikus I és H keresztmetszetekre vonatkoznak. Az értekezésem kérdéses része ezen publikáció újragondolásából született, sajnos annak „elhallgatásával”, hogy az (5.13), majd következőképpen az (5.20) is kétszeresen szimmetrikus I és H keresztmetszetekre vonatkoznak. Közvetett módon ezt a tényt jelzi, hogy a fejezetben az összes validációs eredmény kétszeresen szimmetrikus I és H keresztmetszetekre vonatkozik.

Ugyanakkor az 5. fejezetben megfogalmazott eljárás elvben általánosítható tetszőleges keresztmetszetre. Az általánosítás jelentős részben Szalai kutatásának, de nem elhanyagolható részben saját munkámnak köszönhetően megtörtént, és több rangos nemzetközi konferenciákon, illetve az ECCS TC8 bizottság keretében publikálásra került. A komplex módszer elnevezése OSDM (Overall Stability Design Method).

Az általánosításnak a legnagyobb akadálya az, hogy a stabilitásvesztési módok többségéhez nemzetközi szinten sem állnak rendelkezésre tudományos igényű elvégzett kalibrációk. Ebből következően a módszer validációja általános kialakítású keresztmetszetre nem a módszert, hanem a nemzetközileg elfogadott, sokszor durván közelítő kalibrációs formulákat jellemzi. A különböző esetekhez tartozó tudományos igényű kalibráció hatalmas munkát igényel, ezért nemzetközi szinten is nagyon lassan halad.

Jelenleg a kutatócsoportunk a mono-szimmetrikus I keresztmetszet térbeli elcsavarodó kihajlásának és kifordulásának OSDM alapú megoldásán, a módszer validálásán dolgozik. Az eredmények arra utalnak, hogy az Európai szabványokban elfogadott kalibrációs formulák tökéletlenek, tudományos szempontból nem megfelelőek.

Visszatérve a Bírálom észrevételéhez, a válaszom röviden összefoglalva az, hogy az 5. fejezet OIM formulája elvileg tetszőleges keresztmetszetre alkalmazható, de a fejezetben használt egyes részformulák (különös tekintettel az (5.13) és az (5.46) kifejezésekre) csak kétszeresen szimmetrikus I és H keresztmetszetekre érvényesek. Az OIM formulának más keresztmetszeti kialakításokra történő kiterjesztésén folyamatosan dolgozunk.

A 6. fejezet

- 16. A 91. oldalon (korábban a 40. oldalon is) szerepel a ConPlas, megemlítve, hogy a nemlinearitás húrmódszerrel van kezelve. Ez igaz a geometriai és anyagi nemlinearitás esetén is? Anyagi nemlinearitás esetén van-e alkalmazhatósági korlát az említett GMNI analízis esetén?

A ConPlas programot az anyagilag nemlineáris Rejesekearan rúdelem (Chen, W., Atsuta, T. (1977) továbbgondolásával fejlesztettem ki. Kidolgoztam az anyag képlékeny tulajdonságát figyelembe vevő keresztmetszeti modellt (Papp et al. 2001). Az elmozdulásmódszeren alapuló egyensúlyi egyenletrendszer Newton-Raphson iterációval oldottam meg, mivel a direkt

iteráció, amely a lineárisan rugalmas és geometriailag nemlineáris (másodrendű) feladatoknál hatékonynak bizonyult, itt nem volt megfelelő. A fejlesztést Szalai József akkori doktoranduszom folytatta. Sikerült „automatizálni” az iterációt vezérlő paraméterek felvételét, továbbá megoldani a képlékeny állapotból történő visszafordulás követését (Szalai and Papp, 2005b). Az így kifejlesztett ConPlas program hatékony kutatási eszköznek bizonyult a nyomott-hajlított elemek teherbírásának Monte-Carlo módszeren alapuló szimulációjához (Szalai, 2007).

- 17. A 90-91. oldalon szerepel a „teljes másodrendű” kifejezés. Ezt a kifejezést nem tartom pontosnak, mert – ahogy a dolgozat le is írja – a geometriai nemlinearitás sokféleképpen figyelembe vehető, és a „teljes” figyelembe vétel nehezen értelmezhető. A kifejezés problematikus voltát szemlélteti az is, hogy a függelékben közölt geometriai merevségi mátrix (1,1) eleme zérus, azaz a közölt eljárás feltételezi, hogy a rúd tengelyirányú alakváltozása nem csökkenti a rúd tengelyirányú merevségét, miközben ez a csökkentő hatás értelmezhető, pl. a Green-Lagrange másodrendű tenzor (elhanyagolások nélküli) alkalmazása esetén fel is lép ez a merevségcsökkenés, és bár tudomásom szerint nem gyakori ennek figyelembe vétele rúdvégelemes alkalmazásokban, de azért előfordul. Vagyis, a „teljes másodrendű” kifejezés alkalmazása nem szerencsés, vagy legalábbis értelmezésre szorul.

A Bírálóm észrevételét elfogadom a következő megjegyzéssel. A kifogásolt „teljes másodrendűség” kifejezés tudományos szempontból valóban pontatlan, sőt pongyola. Az F.1-4. mellékleteket éppen azért helyeztem el az értekezés végén, hogy a szakértő olvasónak módja legyen pontosan értelmezni az általam alkalmazott analízis mechanikai hátterét. Ezt a szándékomat az értekezésben is megemlítem (27. oldal 3.2.1 szakasz). A „teljes” jelzőt a gyakorló mérnök megközelítéséből alkalmaztam. Ugyanis a mérnöki gyakorlatban sokan már az axiális erő hajlító merevségre gyakorolt hatásának figyelembe vételét is másodrendű módszernek tekintik. Ehhez képest az F.2 mellékletben látható $\mathbf{K}_g$ geometriai mátrix a hajlító nyomatéki és a nyírási belső feszültségeredők hatását is figyelembe veszi. Ezt a tényt kívántam röviden a „teljes másodrendű” határozóval illetni. A Bírálóm által megemlített merevségcsökkenés az értekezésben vizsgált szerkezetek estén bizonyosan elhanyagolható mértékű.

- 18. A 6.4. táblázat eredményei további részletek nélkül nem nagyon értelmezhetőek. Pl. mennyi az összes szabadságfok, hány iterációs lépés szükséges a nemlineáris vizsgálat esetén?

Az F.7.4 ábrán látható 14 DOF rúdmodell 147 ismeretlent tartalmaz. Az F.7.5 ábrán látható egyenértékű háromszög héj végelemes modell 25626 ismeretlent. Átlagos mérnöki szerkezetek esetében - az F.7.4 és F.7.5 ábrákon látható modellt ilyennek vélem - a direkt iteráció általában már 2-3 lépésben megfelelően pontos eredményt ad.

Itt meg kell megjegyezni, hogy a mérnöki gyakorlatban alkalmazott tervező szoftverek sok esetben egyetlen iterációs lépés elvégzését is elegendőnek vélik.

- 19. Általánosságban a 6. fejezetre is érvényes az 5. fejezettel kapcsolatban felvetett kérdés: az alkalmazhatósági korlátok nem nagyon vannak megadva. Pl., csak kétszeresen szimmetrikus lehet a keresztmetszet?

A Bírálóm észrevételét, illetve kérdését megalapozottnak tartom. Az értekezés menetében valóban megjelennek törésvonalak, amelyek mentén megfogalmazódik az „alkalmazhatósági korlát” kérdése. Az alábbiakban az ellentmondás tudatos vállalásának okát és körülményét kívánom tisztázni.

Az értekezésemben arra vállalkoztam, hogy egy K+F+I folyamat mérföldköveinek bemutatásával leírom az integrált acélszerkezeti tervezés módszertanát. A folyamat saját és mások által létrehozott kutatási eredményekből indul ki, és azokra alapozott újszerű eljárások alkalmazásával jut el az acélszerkezetek egy jelentős körénél alkalmazható „*integrált analízis és méretezés*” módszeréhez, majd az invenció keretében a ConSteel szoftverhez, illetve annak alkalmazásával valós szerkezetek alkotásáig. A célkitűzésem egy „véges játszmat” vizionál, amelynek eredménye egy olyan rendszer, amely egy meghatározott szerkezeti tartományra megfelelően pontos méretezési eljárást ad.

A Bírálóm jogosan mutat rá, hogy az értekezés bizonyos pontjain, elsősorban az 5. fejezetben, az előre meghatározott cél nem teljesül, mert a tárgyalt OIM elnevezésű méretezési módszer csak kétszeresen szimmetrikus I és H keresztmetszetekre érvényes. Ez a probléma már a bíráló 15. pontjában előkerül. Az ott adott válaszómban megindokolom a szűkítés okát, és egyben jelezem, hogy az OIM a még kutatás és fejlesztés alatt álló OSDM részeként általánosítható más keresztmetszetekre is, de az csak egy „végtelen játszma” keretében képzelhető el.

A mérnöki gyakorlat tipikusan véges játszmák sorozata. Egy szerkezet megtervezésénél nem várhatunk a tudományos megközelítés végtelen játszmájának eredményére. A tervezéshez mindig az adott pillanatban kell a megoldás. Egy tudományos alapokra helyezett, de a napi mérnöki igényeket kiszolgáló rendszer esetében – ilyennek tekintem a ConSteel rendszert - a „véges” és a „végtelen” játszmák* ellentmondásából következnek a rendszer felvetett problémái és ellentmondásai.

Összefoglalva a válaszómban a következő. Az értekezésben felvázolt rendszer a 4. fejezetben bemutatott „általános módszer” alkalmazásával minden olyan keresztmetszetre ad megoldást, amely a szoftver SECTION ágensében létrehozható, feltéve, hogy a megoldás az adott esetben releváns. Más kérdés az, hogy az eredmény pontossága mennyire felel meg a tudományos igényű kontrollnak. Itt lép be a felelős tervező szerepe, akinek módjában áll a pontatlannak ítélt számítás (módszer) más alapokon álló felülvizsgálata, például valós vagy virtuális kísérlet alkalmazásával.

Az 5. fejezetben bemutatott méretezési módszer kiterjesztése még hosszú évek, sőt évtizedek munkáját vetíti előre („végtelen játszma”). Amennyiben ennek eredményére vártam volna, akkor ez az értekezés a saját életében nem jöhetett volna létre. Ezért inkább felvállaltam az értekezésben látható, és a Bírálóm által észrevételezett törésvonalakat.

Végezetül megköszönöm, hogy Bírálóm támogatja a nyilvános vita kitűzését.

Győr, 2019. május 12.

Papp Ferenc
pályázó

*) Scharle Péter: *Játszmázási modellek a műszaki mechanika művelésének felsőoktatási környezetében*. XIII. Magyar Mechanikai Konferencia, Miskolc, 2019. augusztus 27-29.