

Z-SZELEMENEK KÍSÉRLETI ÉS NUMERIKUS ANALÍZISE

Joó Attila László^{} - Mansour Kachichian^{**} - Dunai László^{***}*

RÖVID KIVONAT

A cikk vékonyfalú, hidegen hajlított Z-szelemenek kísérleti és numerikus vizsgálatával foglalkozik. A kutatás célja egy részleges oldalirányú megtámasztást biztosító burkolati rendszer és Z-szelemen kölcsönhatásának elemzése, különös tekintettel a nem-alaktartó tönkremeneteli módokra. A kutatás első fázisában teljes léptéku kísérlettel vizsgáltunk négy ún. Butler-rendszeru szerkezeti kialakítást gravitációs teher alkalmazásával, és meghatároztuk a jellemző tönkremeneteli módokat. A kísérletekkel párhuzamosan numerikus modellt fejlesztettünk a szerkezeti viselkedés követésére. A cikkben ismertetjük mindkét vizsgálati mód jelenlegi eredményeit.

1. BEVEZETÉS

Vékonyfalú, hidegen hajlított szelemenek alkalmazása a hazai építési gyakorlatban rohamos növekedést mutat az utóbbi évtizedben. A folyamat a 90-es évek elején külföldi termékek megjelenésével indult, majd felgyorsult a hazai gyártású ún. második generációs hidegen hajlított profilok megjelenésével. A gyakorlati alkalmazáshoz képest a statikai méretezési elvek azonban lemaradást mutatnak. Ennek a legfőbb oka az, hogy a hidegen hajlított szelemenek szerkezeti viselkedése igen összetett, egyszerűsített számítási modellekkel csak durva közelítések árán követhető. Megjegyezzük, hogy a szabványosított méretezési háttér egészen a 2002. év elejéig hiányzott, amikor az Eurocode 3, 1.3 része hatályos eszköz lett. A szabványban javasolt méretezési eljárások azonban csak adott, a gyakorlatban nem általánosan alkalmazott, feltételek esetén alkalmazhatók. A szerkezeti viselkedés szempontjából egyik legfontosabb kérdés a Z-szelemenek oldalirányú megtámasztása. Az övek fix megfogása oldalirányban viszonylag egyszerű viselkedést eredményez, azonban a gyakorlatban kedvezőbb és elterjedtebb a szabad alsó és részlegesen megtámasztott felső övvel való kialakítás. Ebben az esetben az összetett, nem-alaktartó kifordulási jelenség vizsgálatára a szabvány kísérleti vizsgálatot, illetve pontosabb számítási modell alkalmazást javasol.

A cikkben ismertetett kutatás egy egymással összefüggő kísérleti és numerikus programot mutat be, egy – a Butler-rendszer által alkalmazott – speciális kialakítású Z szelemen vizsgálatára. A kutatás célja a tipikus kialakítású szelemen-burkolat rendszer szerkezeti viselkedésének megismerése és jellemzése kísérleti vizsgálatok alapján,

* okl. építőmérnök, doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

** okl. építőmérnök, doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

*** okl. építőmérnök, Dr. habil., egyetemi docens, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

illetve ezzel párhuzamosan numerikus modell fejlesztése a kísérleti viselkedés kvalitatív és kvantitatív követésére. A kifejlesztett és verifikált modell alapján olyan paraméteres vizsgálat hajtható végre, amely elősegíti egy gyakorlatban alkalmazható méretezési módszer kifejlesztését.

A cikk első része egy általános áttekintést ad a kísérleti programról majd a második felében bemutatja a numerikus vizsgálatok jelenlegi állását.

2. KÍSÉRLETI ANALÍZIS

2.1. Kísérleti program

A kísérleti kutatás a Butler ipari csarnokrendszer tetoszerkezetének négy jellemző kialakítására irányul. A vizsgálandó tetoszerkezeteket egy kis mintacsarnokon építették meg. A tesztépület három keretállással készült, 7200 mm-es keretállás távolsággal. A tetoszerkezet hidegen hajlított Z-szelemenekből és – a Butler által kifejlesztett – MR24-es burkolati panel rendszerből állt. A rendszer jellegzetessége, hogy a tetopaneleket helyszíni korcolással illesztik egymáshoz, illetve egy elcsúszni képes elem segítségével (sliding clips) a szelemenhez. Ennek a kialakításnak az előnye, hogy nem gátolja a felmelegedés hatására bekövetkező mozgásokat. Hogy a hoszigetelő réteget a szelemen fölé tudják elhelyezni az egész tetopanelt egy magasztó, ún. hídrendszerrel (bridge system) megemelték és ebbe a síkba helyezték el a hoszigetelést (2. ábra).

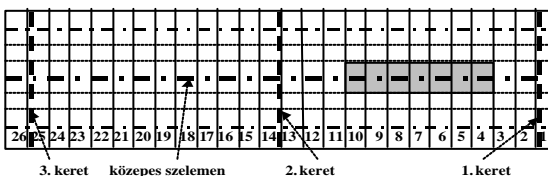
A fent említett elemek felhasználásával négy tipikus tetoszerkezetet építettek fel a tesztépületen (1. táblázat). A kialakítások kétféle szelemenmérettel és átlapolással készültek úgy, hogy a tetó mindkét oldalán 3-3 db Z-szelemen és 26 db MR24-es panel volt (1. ábra). A kísérleteket két lépésben, 2000. szeptemberében és októberében, a Butler-Europe Kft. nyíregyházi telephelyén végeztük el.

1. táblázat

	Szerkezet # 1	Szerkezet # 2	Szerkezet # 3	Szerkezet # 4
Szelemen profil	Z-250	Z-250	Z-200	Z-200
t [mm]	1.5	1.5	1.8	1.8
Híd magasság	120 mm	Nincs	100 mm	Speciális 100 mm
Hídtalp közötti távolság	1200 mm	Nincs	1200 mm	600 mm
Alsó panel	0.4 mm	Nincs	Nincs	Nincs
Csúszóelemek távolsága	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm
Burkolati lemez	MR24 Aluzinc	MR24 Aluzinc	MR24 Aluzinc	MR24 Aluzinc

A tetoszerkezet egyszerűbb terhelése érdekében a tetót keresztirányban 500 mm-enként felosztottuk. A három szelemen között a terhelést 0,2 kN súlyú homokzsákokkal végeztük, az 1. ábrán feltüntetett vonalakhoz igazítva.

A terhelést két lépésben

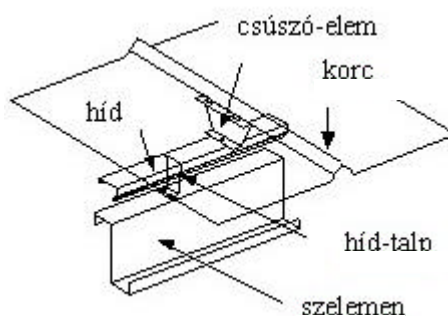


1. ábra: szerkezeti kialakítás

alkalmaztuk: először az 1-13-as majd a 14-26-os panelig, amíg a teljes tetőfelületet meg nem töltöttük homokzsákokkal. Ezek után az 1. ábrán bejelölt területre további terhelést hordtunk fel, egészen a tönkremenetel bekövetkeztéig.

Az elmozdulásokat és a nyúlásokat minden teherlépcső után számítógépen rögzítettük, a felhordott teher súlyával együtt.

A dokumentált teherből minden teherlépcsőben kiszámoltuk a középső szelemenre jutó, a burkolatról átadódó reakcióerőket. Majd ebből az erőből számoltuk vissza a tetőre ható egyenértékű felületi terhet; ennek a tehernek a nagysága képezte az erő-elmozdulás diagrammok függőleges tengelyét. Az elmozdulásokat több keresztmetszetben, összesen 9 vízszintes és 7 függőleges helyen, a nyúlásokat pedig két keresztmetszetben 10-10 nyúlásmérő bélyeggel mértük.



2. ábra: szerkezeti kialakítás

2.2. Kísérleti viselkedés

Ebben a fejezetben bemutatjuk a négy teljes léptéku kísérlet során tapasztalt jellemző viselkedési és tönkremeneteli módokat.

2.2.1. Szerkezeti kialakítás #1 A terhet 24 lépcsőben működtettük; az elért legnagyobb teherintenzitás 4.60 kN/m^2 volt. A teher felhordása során az alábbi viselkedést tapasztaltuk:

- 0.60 kN/m^2 : jelentős dinamikus oldalirányú mozgás a tetőszerkezetben, a tetőt terhelő munkások lépteinek hatására (3. ábra)
- 1.40 kN/m^2 : a kétoldali tetőszerkezet összefogása csökkentette az oldalirányú mozgást (továbbiakban a terhelést csak egy munkás hordta fel).
- 2.00 kN/m^2 : mértékadó teherszint; a további részleges terhelést állványról folytattuk, az első támaszköz jelölt részén.
- 4.60 kN/m^2 : a szerkezet teherbírása kimerült: a **felső öv merevítő bordája kihajlott**, a kihajlási hossza megegyezett a hídtalpak közötti távolsággal, ami 1200 mm volt. (4. ábra)

Tönkremenetel jellege: torzulási horpadás – felső öv merevítoborda kihajlás (upper flange distortional buckling)



3. ábra: oldalirányú elmozdulás

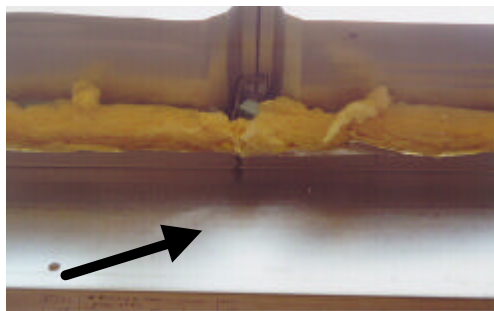


4. ábra: merevítoborda kihajlás

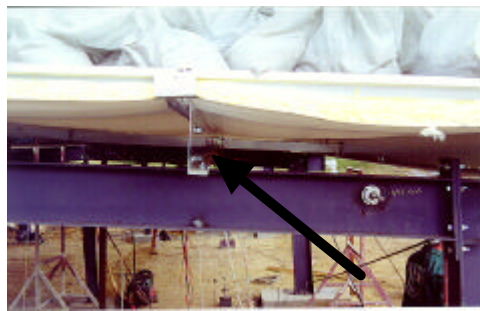
2.2.2. *Szerkezeti kialakítás # 2* A terhet 26 lépcsoben működtettük, az elért legnagyobb teherintenzitás 3.75 kN/m^2 volt. Ebben a kísérletben a két szélső keretre L alakú szelemenbakot hegesztettük az oldalirányú irányú mozgások megakadályozására. A teher felhordása során az alábbi viselkedést tapasztaltuk:

- 0.60 kN/m^2 : ezen a teherszinten nem észlelhető dinamikus oldalirányú mozgás; a szelemenbakok jelentős merevségnövekedést eredményeztek.
- 1.20 kN/m^2 : a héjalást rögzítő csúszzóelemek (sliding clips) eldeformálódtak; valószínűleg a felhordott terhek mellett a munkások okozta koncentrált eróhatás következtében.
- 2.00 kN/m^2 : mértékadó teherszint; a további részleges terhelést állványról folytattuk, az első támaszköz jelölt részén.
- 3.75 kN/m^2 : a mérési eredményeket folyamatosan figyelve, ezen a terhelési szinten, nagy nyúlásokat észleltük a szelemen középső keresztmetszetének nyomott övében, ezzel egy időben **gerinchorpadás** következett be.

Tönkremenetel jellege: szelemen gerinchorpadás (web buckling) (5. és 6. ábra).



5. ábra: gerinchorpadás 1



6. ábra: gerinchorpadás 2

2.2.3. *Szerkezeti kialakítás # 3* A terhet 30 lépcsoben működtettük, az elért legnagyobb teherintenzitás 3.75 kN/m^2 volt. A kisebb gerincmagasságú szelemen és a vastagabb lemezvastagságnak köszönhetően a szerkezet sokkal merevbb az első két szerkezeti kialakításnál. A teher felhordása során az alábbi viselkedést tapasztaltuk:

- 0.60 kN/m^2 : a zömökebb szelemen következtében nem volt észlelhető dinamikus oldalirányú mozgás.
- 2.00 kN/m^2 : mértékadó teherszint; a további részleges terhelést állványról folytattuk, az első támaszköz jelölt részén.
- 3.30 kN/m^2 : képlékeny alakváltozások keletkeztek; megkezdődött a felső övmerevítő kihajlása, és a szelemen gerince is behorpadt.
- 3.75 kN/m^2 : a szelemen középső keresztmetszetének felső övében nagy nyúlások jelentek meg; a **felső öv merevítobordája kihajlott**, a kihajlási hossz itt is megegyezett a hídtalpak közötti távolsággal, ami szintén 1200 mm volt.

Tönkremenetel jellege: torzulási horpadás – felső öv merevítoborda kihajlás (upper flange distortional buckling) (7. és 8. ábra).



7. ábra: merevítoborda kihajlás 1



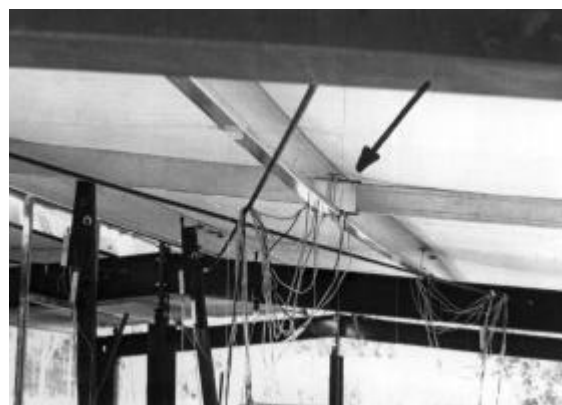
8. ábra: merevítoborda kihajlás 2

2.2.4. *Szerkezeti kialakítás # 4* Ebben a kísérletben a terhet 33 lépcsoben muködtettük, az elért legnagyobb teherintenzitás 5.25 kN/m^2 volt. Ez a kialakítás egy speciális hídrendszer alkalmazásában tért el a többletől (kisebb hídtalp távolság). A terhelés során az alábbi viselkedést tapasztaltuk:

- 0.60 kN/m^2 : az a szerkezet hasonlóan viselkedik, mint a 3. szerkezeti kialakítás esetén.
- 1.40 kN/m^2 : ebben a teherlépcsoben a szelemen – viszonylag rövid – átfedésénél a szelemen végéi szétnyíltak, és a szelemen a külső támaszoknál is eltávolodott a szelemenbaktól.
- 2.00 kN/m^2 : mértékadó teherszint; a további részleges terhelést állványról folytattuk, az első támaszköz jelölt részén.
- 5.25 kN/m^2 : **nagy képlékeny nyúlásokat** mértünk a szelemen középso keresztmetszetének mindkét övében, valamint gerinchorpadást is tapasztaltunk (9. és 10. ábra), az övmerevítók kihajlása azonban nem következett be. Tönkremenetel jellege: **szilárdsági tönkremenetel**.



9. ábra: gerinchorpadás 1



10. ábra: gerinchorpadás 2

2.3. A kísérleti viselkedés értékelése

- A szelemenbakok nélkül alkalmazott, nagyobb gerinckarcsúságú szelemenekkel kialakított tetoszerkezet nagyon érzékeny a tetó dinamikus terhelésére.
- A hídtalp távolságnak nagy hatása van a híd-rendszerekkel kiépített szerkezetek tönkremeneteli jellegére.
- A speciális híd-rendszer rögzítésénél és elrendezésénél fogva, jobb és egyenletesebb teherelosztást tesz lehetővé, ami a szerkezet nagyobb teherbírását eredményezi.
- A hagyományos híd-rendszer esetén a szelemen falvastagsága és magassága valamint a híd-láb magassága nem befolyásolta a tönkremenetel módját.
- A csúszóelem oldalirányú megcsúszása egyetlen kialakítás esetén sem volt tapasztalható; a kialakult súrlódó erő megfelelő oldalirányú megtámasztást biztosított a globális stabilitási tönkremenetel megakadályozására.

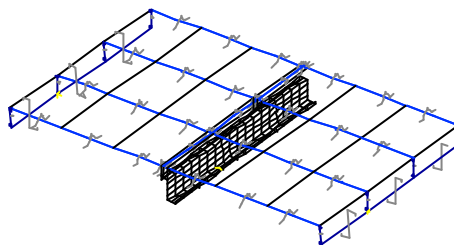
3. NUMERIKUS ANALÍZIS

Az előző fejezetben bemutatott teljes léptéku kísérlet numerikus modellezését két végeelemes programmal végeztük. Először az elmozdulások ellenőrzésére az Axis VM 5.0 [1] programot használtuk (11. ábra), ezen tovább lépve azonban a tönkremeneteli mód elemzésekor nem jutottunk eredményre, ezért a vizsgálatokat az Ansys [2] végeelemes programmal folytattuk (12. ábra). A két modell - a programi sajátosságokon kívül - megegyezett.

3.1. Végeelemes modellek

A szelemen – előző pontban ismertetett – viselkedésének elemzésére felületszerkezeti modell alkalmazása szükséges. A vizsgált szelemen végeelemes modelljét így héjelemekből építettük fel. A numerikus vizsgálatok első fázisában a 3. szerkezeti kialakítással foglalkoztunk, ahol Z200/1.8-as Lindab szelement alkalmaztunk. A szelemen statikai modellje egy háromtámaszú tartó, az alkalmazott végeelemek hossza 100 mm, szélességüket az övek két- és a gerinc négy részre osztásával kaptuk. Így az elemek oldalirányú mérete minden esetben nagyobb volt 1/5-nél. A középső támasz feletti, 600 mm hosszú átlapolást kétszer olyan vastag elemekkel modelleztük. A támaszok modellezésére csuklókat alkalmaztunk élmenti megtámasztásként a szelemenek alsó övében.

Az MR24-es alumínium burkolat modellezésére szintén felületszerkezetet használtunk. A végeelemek egyik mérete az MR24-es panel szélességének, 600 mm-nek felelt meg, míg a másik mérete a szelemen-távolság harmadolásával 500 mm-re adódott. Az MR24 jellegzetessége, hogy a burkolati paneleket kettős korcolással erősítik egymás-

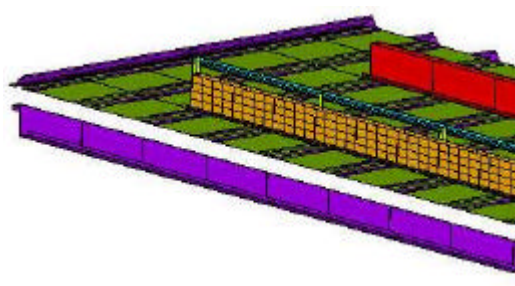


hoz, ami kiemelkedik a héjalás síkjából. Ennek modellezésére a felületi elemhez kapcsolódó gerenda elemet alkalmaztunk a valóságnak megfelelő keresztmetszeti kialakítással. Szintén gerenda elemmel modelleztük a szelemennel párhuzamosan futó hidat, ami a szelemen felső övéhez felületelemekkel kapcsolódott.

A felületszerkezettel kialakított középső szelemenén kívül a két szomszédos szelemen rúdszerkezetként lett modellezve. Ezeket a rudakat a valóságnak megfelelő külpontossággal helyeztük el.

Az egész modell vízszintes síkba forgatva alakítottuk ki. A terhelés modellezése során vettük figyelembe a tetohajlást. A teher burkolatra meroleges komponensét felületi teherként, a tetosíkba eső komponensét pedig a hídra ható, rúdmentén megoszló eróként adtuk át.

A modell 1796 8-csomópontú felület elemből és 294 rúdelemből áll. Az összes csomóponti elmozdulási szabadság-fokok száma: 13584.



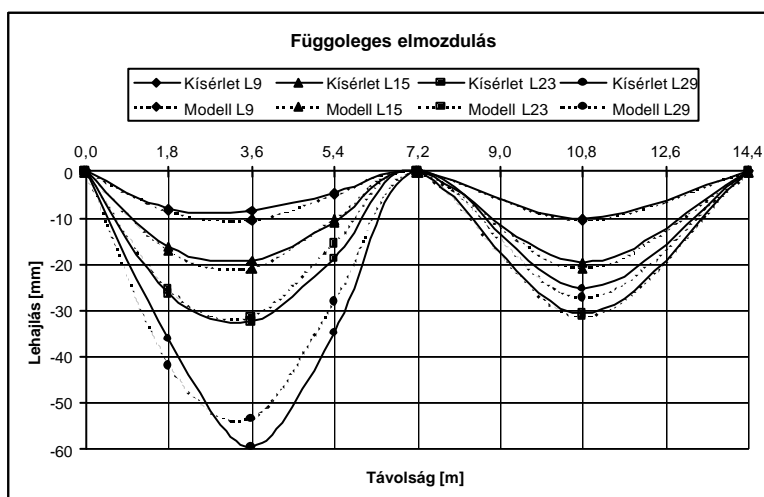
12. ábra: Ansys modell

3.2. Lineáris végeleemes analízis

3.2.1. Vizsgálati módszer A vizsgálatunkat az elmozdulások összehasonlításával és elemzésével kezdtük. Az Axis modellel lineárisan rugalmas anyagmodell alapján elsorendű számítást végeztünk. Az eredményeket a kísérlet során több keresztmetszetben és egy-egy keresztmetszet több pontjában mért elmozdulás értékekkel vetettük össze. Az L9, L15 és L23 terhek a háromtámaszú szelemen mindkét támaszközében egyenletesen hatottak, míg az L29-es esetben (ez volt az utolsó teher a végso tönkrementel előtt) az egyenletes terhen felül a mért támaszközben alkalmaztak többlet terhelést, az elozo fejezetben részletezett módon.

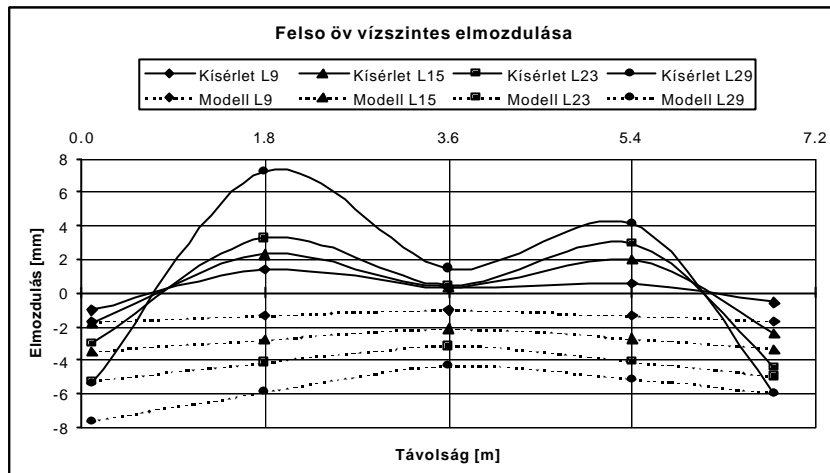
A feszültségeloszlás elemzésére abban a két keresztmetszetben nyílt lehetőség, ahol a kísérlet során tíz-tíz nyúlásmérő bélyeggel mérték a nyúlásokat.

3.2.2. Elmozdulások A függőleges elmozdulások jól közelítik a kísérleti eredményeket. Jelentős különbség csak az utolsó teheresetnél látható (13. ábra), ami már a tönkrementelt okozó terhelés. Ennél a nem-lineáris viselkedés okozza a különbséget. A grafikonon mindkét keretállás-köz (2 x 7.2 m) ábrázolva van.



13. ábra: függőleges elmozdulások

A vízszintes mozgásokban nagy különbség tapasztalható a kísérleti- és a numerikus modell eredményei között. Mint az előző fejezetben már említettük a kísérletek során tapasztalható volt a teljes tetopanel tetosíkból eső – „vízszintes” – mozgása. Ezt több olyan szerkezeti kialakítás

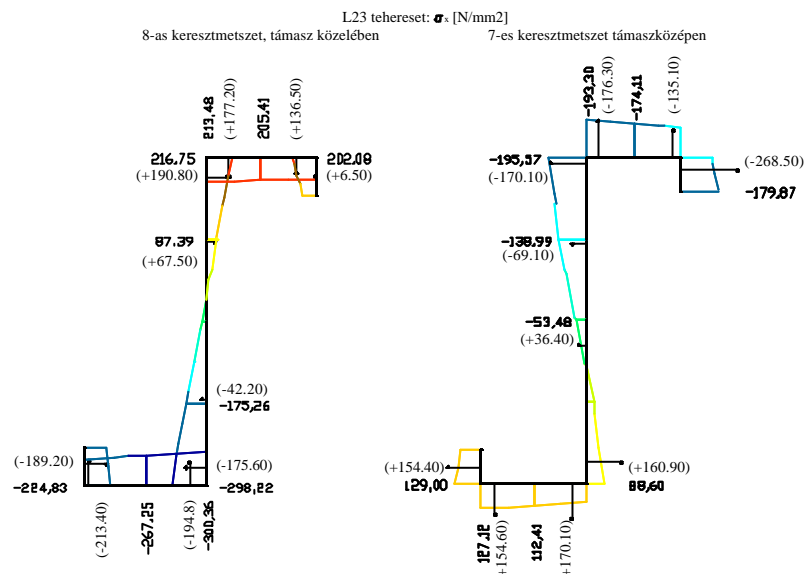


14. ábra: felső öv vízszintes elmozdulása

befolyásolta, amelyet a modellben nem vettünk figyelembe (szelemenek leerosítása, a terhelt és terheletlen oldal összekötése a taréjnál, a terheletlen oldal balanszterhe). A kísérletnél olyan jelentős volt a mozgás, hogy a felső öv pozitív irányba (lefelé) mozdult el, holott a Z-szelvény felső övének gravitációs teherre negatív irányba (felfelé) kellett volna elmozdulnia, azonban ez nem következett be (14. ábra). A grafikonon csak a mért keretállás-köz van ábrázolva.

3.2.3. Feszültségeloszlás

A feszültségi ábrákon (15. ábra) folyamatos vonallal a felületszerkezeti modell eredményei láthatóak, a hozzá tartó értékekkel. Pontokkal vannak ábrázolva a kísérleti eredmények zárójelben írva az ott mért feszültségértékekkel. Ezek az értékek nem ugyanott vannak értelmezve, ahol a folyamatos értékek, mert a nyúlásmérő bélyegek nem pontosan a sarkokon voltak



15. ábra: feszültségeloszlás

elhelyezve, hanem azoktól valamelyest beljebb. A két feszültségi ábra között megfigyelhető különbségek az alábbiak: a támaszközépen lévő keresztmetszetnél az alsó, húzott övben ellentétes irányú feszültségek alakultak ki. A modellben a gerinc felé csökkent, míg a kísérletnél ott e feszültség. Ez a különbség az alsó öv vízszintes irányú

hajlításából következik. A két eredmény különbözőségét okozhatja az elozokban vizsgált elmozdulás-különbség az alsó övön.

További különbség, hogy a felső övmerevítőben a kísérlet során jóval nagyobb mértékben nőtt a feszültség, mint a modellben. Ezt a nagy különbséget a két modell felső övének ellentétes irányú mozgása okozza. A kísérlet során a nyúlásmérő bélyeg itt a Z-szelvény belső felén helyezkedett el, a kísérleti szelemen közepének lefelé történő mozgása során ez a felület nyomott volt, ami növelte a függőleges hajlításból keletkező nyomófeszültséget. A felületszerkezeti modellnél ez fordítva játszódtott le. Felfelé mozdult el az öv, a belső felület húzott lett, így csökkent a hajlításból keletkező nyomófeszültség.

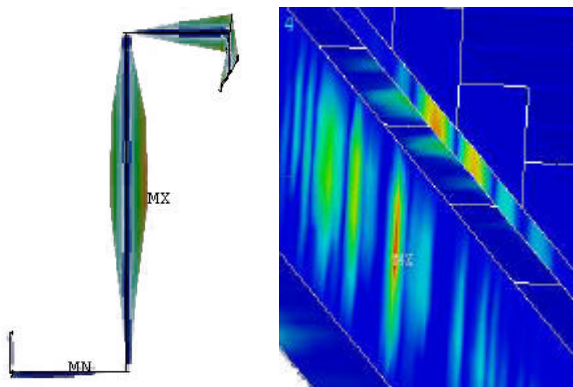
A támasz környezeténél lévő keresztmetszet az átlapolás végének közelében volt. Az itt jelentkező különbségeket okozhatja, hogy a kísérletnél olyan helyi hatások léptek föl az átlapolás miatt, amit a felületszerkezeti modell ilyen kialakításával nem tudunk követni.

3.3. Stabilitási analízis

3.3.1. Vizsgálati módszer A kutatás első fázisában a stabilitásvizsgálat elsődleges célja az volt, hogy megvizsgáljuk a numerikus modellel vissza lehet-e kapni azt a tönkremeneteli módot, ami a kísérlet során bekövetkezett?

A vizsgálatot sajátérték probléma megoldásaként hajtottuk végre, amely során meghatároztuk a kritikus teherintenzitásokat és az azokhoz tartozó alakokat. A módszer egyparaméteres terhet feltételez, míg a kísérleti vizsgálatokban a teher kétparaméteres volt. A numerikus analízisben egyparaméteres, teljes felületen megoszló terhet feltételeztük.

A kutatás jelenlegi fázisában a kísérleti vizsgálatot nemlineáris szimulációval – virtuális kísérlettel – követjük, amellyel nemcsak a viselkedés jellegét, hanem a tényleges teherbírási értékeket is meg tudjuk határozni.



3.3.2. Tönkremeneteli mód elemzése

A kísérlet során a terhelés növelésével először a gerincben, a szelemen-kifüggesztő közelében, a koncentrált erőt átadó hídtalp elem alatt következett be horpadás. Az utolsó teherlépcsőben a 7. és 8. ábrán látható tönkremenetel, a felső övmerevítő kihajlása következett be.

A numerikus stabilitási analízis során 50 kihajlási alakot határoztunk meg. Ezek közül az első alakok a gerinchorpadáshoz tartoztak, későbbi sajátalakoknál jelent meg a 16. ábrán szemléltetett övmerevítő kihajlás. A kihajlási alak az ábra tanúsága szerint a kísérleti tönkremeneteli móddal analóg. Az első eredmények alapján tehát megállapítható, hogy a modell alkalmas a kísérlet során tapasztalt jelenségek követésére.

4.ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK

A cikkben egy folyamatban lévő kutatás keretében végzett kísérleti és numerikus vizsgálatok első eredményeiről számoltunk be, amely alapján az alábbi összefoglaló megállapításokat tehetjük:

Kísérleti vizsgálatok:

- A kísérleti vizsgálatok igazolták, hogy a Z-szelemen viszonylag kis mértéku – súrlódásos kapcsolaton alapuló – oldalirányú megtámasztása meggátolja a globális kifordulási stabilitásvesztést.
- A tönkremeneteli módokat jelentősen befolyásolja a burkolat-szelemen kapcsolat kialakítása.
- A stabilitásvesztési tönkremenetelre nem-alaktartó ún. torzulási horpadás – övmerevítő kihajlás – a jellemző. A lokális gerinchorpadási jelenségek szinte minden kísérlet során megjelentek, ezek azonban egyik szerkezet esetén sem okoztak teljes tönkremenetelt.
- A kísérletek során a teljes tetőfelület jelentős merevtárcsa-szerű mozgását tapasztaltunk; ez azonban nem befolyásolta a szerkezet tönkremenetelét.

Numerikus vizsgálatok:

- A kifejlesztett lineáris modell jól közelíti a szerkezet függőleges merevségét.
- A modell a kiindulási feltételei miatt nem tudja a tetősíkba eső mozgásokat követni.
- A feszültségeloszlást alapvetően jól közelíti a modell; az övszélen fellépő különbségek az oldalirányú hajlítás elhanyagolása miatt vannak.
- Az instabilitási analízissel a kísérlet során tapasztalt jelenség – tönkremeneteli mód – követhető.
- Jelenleg dolgozunk a modell pontosításán, amellyel a nemlineáris viselkedés számítógépes szimulációját szeretnénk végrehajtani.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikkben bemutatott kutatást támogatta a Butler Europe Kft. ipari K+F projektje és az OTKA T035147 számú alapkutató programja.

1. HIVATKOZÁSOK

- [1] Axis VM 5.0 6.kiadás; Inter-CAD Kft., 2000.
- [2] ANSYS Release. 5.6.1. ; Rainbow Technologies, Inc. 1999.
- [3] Kachichian M., Dunai L., Kaltenbach L., Kálló M.: "Site testing of Z-purlin – MR24 cladding system" Technical Report, Budapest University of Technology and Economics, Department of Structural Engineering, Budapest, 2000.