



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR

HIDAK ÉS SZERKEZETEK TANSZÉK

2013/2014. I. FÉLÉV



***ACÉL CSARNOKSZERKEZETEK TRAPÉZLEMEZES FEDÉSÉNEK
VIZSGÁLATA A MEREVSÉGEK SZEMPONTJÁBÓL***

TDK DOLGOZAT

Készítette: Schaul Péter U2BE10

Konzulens: Dr. Joó Attila László

Acél csarnokszerkezetek trapézlemez fedésének vizsgálata a merevségek szempontjából

A vizsgálat során paraméteres végeelemes modellt fejlesztettem két keretállásból álló acél keretszerkezetről, az elsődleges és másodlagos teherviselő elemeiről valamint a trapézlemez fedéséről. A vizsgálat célja, hogy az elsődlegesen térhatárolás, épületfedés céljából alkalmazott trapézlemez hosszirányú, a keretállásra merőleges merevítő hatásának értékét számszerűen meg tudjuk határozni, és össze tudjuk hasonlítani a csarnokszerkezetek esetében alkalmazott hosszirányú merevítők (hosszkötés és szélrács) hatásával. A modell paraméterei a következők voltak: a keretállás távolság, mely értékét a gyakorlatban alkalmazott 4-6-8 m-es értékkel vettem figyelembe, a szelementartó bakokra elhelyezett Z-szelemenek és C-falvázgerendák méretei (vastagság, profilméret), azok osztásköze, valamint a trapézlemez mérete, vastagsága a leggyakrabban alkalmazott típusokra (LTP 20, LTP 45). A paraméteres vizsgálat elvégzésével céltom a trapézlemez fedés nyírási merevségének meghatározása a paraméterek függvényében. Továbbá verifikálás céljából összehasonlító modelleket készítettem, melyek eredményeit az ECCS Eurocode alapú számítási ajánlásaival vettem össze. Ezen modellek csupán egy oldalfalat és a rajtuk elhelyezett trapézlemez viselkedését szimulálták. Minden esetet az Ansys végeelemes szoftver segítségével modelleztem. Korábban elvégzett vizsgálatok alapján várható, hogy a trapézlemez fedés merevítő hatása jelentősen meghaladja a csarnokszerkezetek esetén rendszeresen alkalmazott hossz-kötések és szélrácsok merevítő hatását. Ennek bizonyítása érdekében az összehasonlítás alapja a vízszintes elmozdulások értéke volt, három szerkezeti kialakítást vizsgáltam: (i) a keretállások elmozdulásainak értéke, amennyiben azok csupán az oldalfali és tető merevítőkkal vannak ellátva, valamint (ii) a másodlagos teherviselő elemekkel, hasonló kialakítás kiegészítve a trapézlemez fedéssel, valamint (iii) trapézlemez fedéssel ellátott, de hosszirányú merevítőket nem tartalmazó szerkezeti kialakítás. A vizsgálat végső célja egy olyan adatbázis létrehozása mely a gyakorlatban használt trapézlemezek merevítő hatásait tartalmazza, és így a tervező mérnökök segítségére lehet.

Steel hall structures trapezoidal sheeting's examinations in terms of stiffness

In the investigation I developed some parametric finite element models which contain a hall structure with two frames. In the model were the primary and the secondary structural members, and also the trapezoidal sheeting and cladding. The tests purpose, that we will have a numerical result how can the trapezoidal sheeting, which we use primary to cover our buildings, bracing the structure in its longitudinally side, perpendicular to the frame, and this result we want to compare with the usual bracing system. The parameters were the followings: the distance of the frame, which values were the three typical: 4-6-8 m, the Z purlins sizes on the roof side, and the C purlins sizes in the walls, and their distance for each others, and the trapezoidal sheeting's size, thickness, and the type (we test the two most frequent type the LTP20 and the LTP45. With the parametric investigations my aim was the result of the trapezoidal sheeting's if it act like a shear diaphragm. In addition to verification my models I made some comparative modes, which results I compared with the recommendation of ECCS's Eurocode types counting's. This models simulated just one wall with it's trapezoidal sheeting. Every test I was made with the Ansys finite element program. We can wait about based studies have been completed, that the trapezoidal sheeting's brace effect will be significantly higher than the usually used bracing system in hall structures. To prove this theory the basis for comparison was the horizontal displacements. I have examined three structural designs: (i) the frames displacements in case there have just the wall and the roof bracing system, (i) and if there have the secondary structural members too, and finally with the secondary structural members complete with the trapezoidal sheeting, but without the usually used longitudinally bracing system. My final aim was to create a database with the bracing value of the trapezoidal panels, which can be usefully to the practicing engineers.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, a témaválasztás indoka	6
2. Kísérletek, számítási javaslatok bemutatása	7
2.1. Az Iványi kísérlet bemutatása.....	7
2.1.1. A vizsgált szerkezet.....	7
2.1.2. A végelelemes modell.....	8
2.1.3. A kísérlet eredményei.....	9
2.2. Az Eurocode alapú ECCS tervezési javaslat bemutatása	9
3. Célkitűzéseim.....	11
4. Szerkezeti elemek ismertetése.....	12
4.1. Szelemen, falvázgerenda.....	12
4.2. Trapézlemez	13
5. Verifikáció.....	14
5.1. Egy keretállás verifikációja az Iványi kísérlethez	14
5.2. Egy oldalfali trapézlemez verifikációja az ECCS számításhoz	16
5.3. Egy trapézlemez verifikációja léptékhelyes kísérlet eredményeihez	22
5.3.1. A kísérlet bemutatása.....	22
6. A modellek bemutatása.....	25
6.1. A vizsgálat bemutatása.....	25
6.2. A modellek általános geometriai felépítése.....	26
6.2.1. A fő teherviselő elemek.....	26
6.2.2. A másodlagos teherviselő elemek kapcsolata.....	28
6.2.3. A másodlagos teherviselő elemek.....	28
6.2.4. A trapézlemez kialakítása	29
6.2.5. Merevítő rácsozás	30
6.2.6. A terhelések bemutatása	31
6.3. A modell futtatása, eredmények kinyerése	32
7. Eredmények kiértékelése	33
7.1. A keresztrácsozásos merevítés hatása	33
7.2. A trapézlemez méreteinek hatása a merevségre.....	35
7.3. A keretállás-távolság hatása a merevségre	37

7.4. A falvázgerendák és szelemenek hatása a merevségre	39
8. Értékelés, továbbhaladási irány.....	40
8.1. Értékelés.....	40
8.2. Továbbhaladási irány megjelölése	41
9. Irodalomjegyzék	42

1. Bevezetés, a témaválasztás indoka

Ezen tanulmány, a jellemzően ipari csarnokoknál alkalmazott keretszerű szerkezetek könnyűszerkezetes tető és oldalfal burkolati rendszereinek a merevítő hatását, illetve a hosszirányú merevítőrendszerrel ellátott szerkezetek viselkedését hivatott bemutatni. A téma alapját a 2011-ben megrendezett 6. Eurosteel konferencián elhangzott „László Radnay - Miklós Iványi : Effect of cladding and cross-bracing on steel frames” publikáció szolgáltatja. A kutatást végző személyek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem tanárai voltak, a jelenséget az 1980-as évek második felében kezdték el vizsgálni az egyetem laboratóriumában.

Már korábban felismert tény, hogy a keretek fedése, illetve a merevítő rendszerek nagyban hozzájárulnak egy szerkezet teherbírásához valamint merevségéhez, így ezeket a tervezés során is figyelembe lehet venni. Ugyanakkor az elméleti elgondolások mellé szükség van gyakorlati tapasztalatokra is, mivel a fő teherviselő elemek és az oldal- illetve tetőfedés közti kapcsolat igen kifinomult, így nehezen modellezhető. A tapasztalatok háttérben a különböző oldalfali illetve tetőburkolatok nyírési merevsége rejtőzik. Korábbi tervezések során a biztonság javára történő közelítéssel ezen merevségek nem kerültek figyelembe vételre, holott egy nagyobb méretű épületnél jelentősen megnövelhetik a teljes szerkezet merevségét. Ez normál terhelési viszonyok mellett (oldal és homlokzati falakra ható szélteher) valóban a biztonság javára történő közelítés, hiszen a szerkezet merevítőrendszerét ezen merevség elhanyagolása mellett vették figyelembe, azonban rendkívüli terhek esetén (földrengés) problémát is okozhat az előbb említett egyszerűsítés, hiszen az épület az esetlegesen számítottnál merevebben fog viselkedni, mely komolyabb károsodásokhoz is vezethet. A mai költséghatékony alapokon nyugvó építkezési felfogásban azonban nem megengedhető az említett egyszerűsítések használata, így feltétlenül szükség volt a téma és a viselkedés teljesebb körű vizsgálatára. Ezt hivatott bemutatni a már említett, illetve a 2. pontban részletesen is bemutatott Iványi féle kísérlet is. A későbbiek során, a már meglévő fizikai kísérletek alapján lehetőség volt a bemutatott viselkedés szabványban történő rögzítésére is. A [2] alatt ismertetett EUROCODE szabvány az úgynevezett „stressed skin design” néven mutatja be a jelenséget valamint a tervezésnél figyelembe vételére szolgáló javaslatokat is ad rá.

Ezen szempontok alapján szükségesnek látszik a téma továbbgondolása, az említett hatást befolyásoló különböző paraméterek felkutatása és vizsgálata, valamint egy teljes

csarnokszerkezet esetén a jelenség szemrevételezése, a kapott eredmények kiértékelése, és a szabvánnyal valamint, a különböző fizikai kísérletekkel és számítási javaslatokkal történő összehasonlítása. Ezt hivatott bemutatni ezen tanulmány.

2. Kísérletek, számítási javaslatok bemutatása

2.1. Az Iványi kísérlet bemutatása

Az 1. pontban ismertetett jelenség felismerését követően, annak pontosabb megismerése érdekében került sor az eredeti, teljes léptékű kísérlet elvégzésére a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem falai közt, mely szintén azt bizonyította, hogy az említett hatással komolyabban kell foglalkozni. A vizsgálatokat egy tényleges keretszerkezeten végezték el, a másodlagos szerkezetek merevítő hatását hat különböző elrendezésben figyelték:

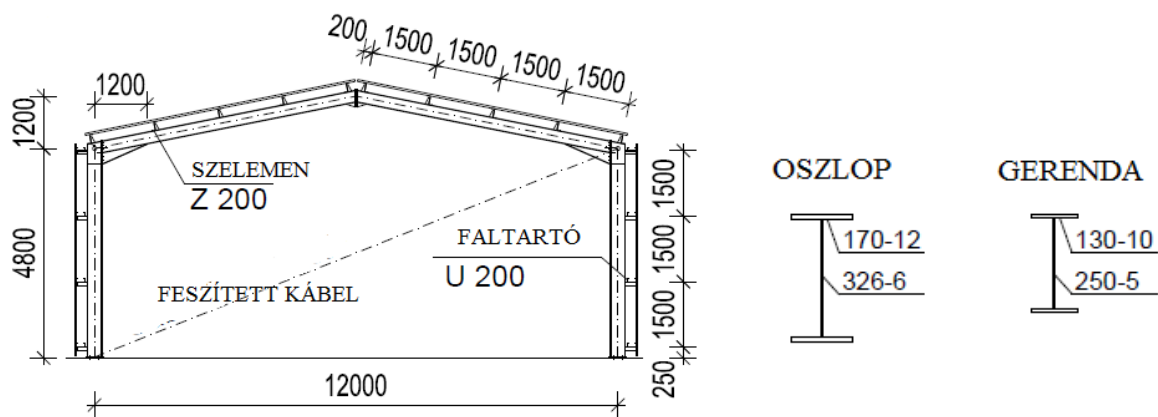
1. keretszerkezet vízszintes és függőleges merevítéssel
2. +szelemenrendszer
3. +faltartók
4. +tetőfedés
5. +hosszirányú falak fedése
6. + az utolsó keretállás feszített keresztirányú merevítése

A vizsgálat célja a globális merevítőrendszernek illetve az oldalfali és tetőfedésnek a csarnok rugalmas viselkedésében játszott szerepének tanulmányozása volt. A fizikai kísérletek mellett a jelenség pontosabb megismerése érdekében végeसेlemes modell is elkészítésre került.

2.1.1. A vizsgált szerkezet

2.1.1.1. Szerkezeti kialakítás

A vizsgált szerkezet három keretállásból állt, melyek 6,00-m távolságra voltak egymástól. Az oszlopok és a gerendák hegesztett I szelvényűek voltak. Az oszlop magassága 4,80 m a gerenda hajlásszöge 11° volt. A második és a harmadik keretállás között került kialakításra a merevítőrendszer. A szelemenek Z profilú acél tartók voltak, és 1,50 m-es távolságban helyezkedtek el egymástól. A faltartókhoz acél U profilokat, a tetőfedéshez pedig acél trapézlemezt alkalmaztak.



1. ábra A szerkezeti kialakítás, és az alkalmazott szelvények

2.1.1.2. Terhek

Az önsúlyteher mellett minden keretállást egy 10 kN nagyságú vízszintes erővel terheltek az oszlop és a gerenda kapcsolódásának magasságában, az oszlop külső övének súlyvonalában. A harmadik keretállás oszlop-gerenda kapcsolata egy kábel segítségével összekötésbe került a szemközti oszlop alapozásával. Ezt a kábelt megfeszítették, így vizsgálva a különböző feszítési erőkhez tartozó (feszítés nélküli: 0 kN; félmerev feszítés: 14,5 kN; merev feszítés: 26,2 kN) merevítő hatását. Ez a keretsarok egy kiegészítő vízszintes erővel is le volt terhelve.

2.1.2.. A végelelemes modell

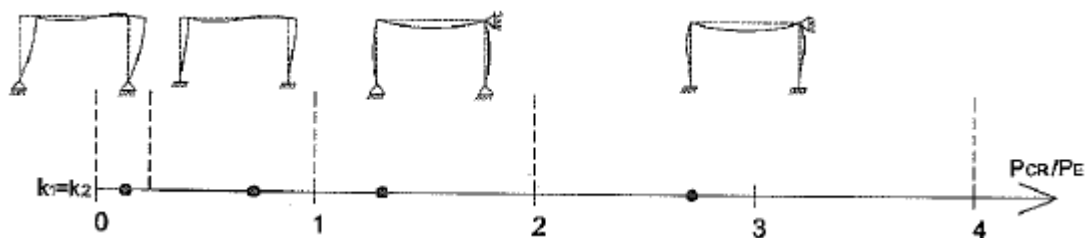
A viselkedés pontos leírása érdekében háromdimenziós végelelemes modell készült. A modellnek a tényleges szerkezetet kellett bemutatnia, így a másodlagos elemek, mint például a szelemenek, falvázartók is szerepeltek a fő teherviselő elemek mellett. Az utóbbiak kulypontosságát, és az abból keletkező hatásokat végtelen merev kapcsolóelemekkel vették figyelembe. A merevítőrendszer elemei rúdként kerültek modellezésre, bár több csomópont is csak a félmerev kategóriába esett, azonban a hosszuk illetve a viszonylag kicsi merevségük miatt ennek az alakváltozásokra nem volt hatása.

A burkolati rendszer figyelembe vételének különösen nagy szerepe volt a modellezés során. Ahogy a fizikai kísérletek is szemléltették a burkolattal ellátott csarnokban csökkent az elmozdulások értéke az első keretállásban is, holott itt nem került elhelyezésre merevítőrendszer. Ezt a jelenséget a fedés úgy nevezett diafragmahatásának lehet tulajdonítani. Ez azt jelenti, hogy a trapézlemez hálalás úgy viselkedik a vízszintes terhekkel szemben, mintha egy nagyon vékony gerincű gerenda lenne. Ezeknek a tetőpaneleknek egy nagyságrenddel nagyobb a merevsége, mint a szelemeneknek, vagy akár a

faltartóknak, így ha a diafragmahatást nem vesszük figyelembe a szerkezetnél, komoly eltéréseket is kaphatunk a tényleges viselkedéstől. A diafragma-hatás rugós elemekkel lett figyelembe véve a végeelemes modellben. Ezek kiosztásakor több lehetőséget is megvizsgáltak, a szelemenek 30 részre osztásától, egészen a szelemen egyben kezeléséig, azonban az eredmények nagyon kis mértékben tértek el egymástól, amit a rugós elemek merevségének megválasztásával teljesen ki is lehetett küszöbölni. A falburkolat hatása is figyelembe lett véve a modell építése során, azonban a csarnok viselkedése rendkívül kis mértékben függött attól, hogy jelen van e ezen szerkezeti elem.

2.1.3. A kísérlet eredményei

A kísérlet során az egyes teheresetekhez tartozó vízszintes elmozdulások értékeit vizsgálták. A maximális elmozdulás értékét a félmerev feszítésből az első keretállásban kapták, míg a merev feszítésből a harmadik keretállásban zéró elmozdulás keletkezett. A végeelemes modell és a valós kísérlet rendkívül jól illeszkedett egymáshoz, a legnagyobb eltérés a két vizsgálat között 0,5 mm volt. Következtetésként levonták, hogy az oldal- illetve tetőfedés a szerkezet merevségében, mint egy vízszintes megtámasztás vehető figyelembe a merevítőrendszer nélküli keretek modelljeink építésekor. Ez kedvező hatással van a szerkezeti elemek kihajlási hosszaira, mivel csökkenti azokat, így a kritikus teher értéke magasabb lesz.



2. ábra Oldalsó megtámasztás hatása a kritikus erő értékére

2.2 Az Eurocode alapú ECCS tervezési javaslat bemutatása

A fent említett kísérlet valamint a hozzá hasonló teljes léptékű, illetve léptékarányos vizsgálatok, továbbá az egyes esetekhez elkészített végeelemes modellek lehetőséget adtak arra, hogy a jelenséget pontosabban le lehessen írni, illetve a már említett fedés általi merevségeket meg lehessen határozni elsősorban tapasztalati képletekkel. Erre ad javaslatot a [3] alatti irodalom, mely EUROCODE alapú tervezési lépésekkel segít számszerűsíteni a fent említett hatást.

Ezen javaslat a teljes trapézlemez fedés merevítő hatását három részre osztja, melyek különböző komponensekből állnak össze. A három rész az egyes szerkezeti elemek merevségeit tartalmazza:

- c.1 néven magának a trapézlemeznek a merevítő hatását
- c.2 néven a trapézlemez a másodlagos szerkezeti elemekhez rögzítő csavarok, csapok merevségének hatását
- c.3 néven pedig a másodlagos szerkezeti elemek, szelemenek és falváztartó gerendák merevségének hatását

No.	Komponens jelentése	Komponens képlete (EURÓPAI MODELL) (Brian & Davies)
1	Merevség a tetőburkolat alakváltozásából	$c_{1.1} = \frac{ad^{2.5}\alpha_1\alpha_4K}{Et^{2.5}b^2}$
2	Merevség a tetőburkolat nyíróigénybevételéből	$c_{1.2} = \frac{2a(1+\nu)[1+(2h/d)]}{Et b}$
3	Mer. a burkolat-szelemen közötti rögzítő megcsúszásából	$c_{2.1} = \frac{2as_p p}{b^2}$
4	Merevség a korcolt rögzítő megcsúszásából	$c_{2.2} = \frac{2s_s s_p (n_{sh} - 1)}{2n_s s_p + \beta_1 n_p s_s}$
5	Merevség a nyírócsap megcsúszásából	$c_{2.3} = \frac{2}{n_p} (s_{pr} + \frac{s_p}{\beta_2})$
6	Merevség a szélső elemek axiális igénybevételéből	$c_3 = \frac{2a^3}{3EAb^2}$

1. táblázat A trapézlemez fedés teljes merevségét, valamint komponenseit bemutató táblázat

A fent említett képletek egy panelre vonatkoznak, a teljes merevség egyszerűen a komponensek összegzésével nyerhető.

A merevségek megállapításának képletei erősen tapasztalati jellegűek, a 2.ponban említett illetve hasonló kísérletek eredményei alapján kerültek megállapításra. Több táblázatból nyerhető adat, interpolálás is található benn, mely következménye, hogy a kapott értékek inkább tájékoztató jellegűek, mint kőbe vésett alapigazságok. További hátránya, hogy kapcsolt tető illetve oldalfali burkolat esetére nem ad javaslatot, illetve bármiféle szabálytalansággal rendelkező a panelre, esetleg nem szokványos terhelésre már a fent említett képletek csak nagyon erős közelítéssel alkalmazhatók.

3. Célkitűzéseim

Céлом az előzőekben ismertetett jelenség pontosabb megismerése, a trapézlemez fedés merevségének lehető legpontosabb meghatározása. Ehhez el fogok készíteni egy a 2.1. pontban bemutatott geometriai jellemzőkkel rendelkező keret teljes vége-selemes héj modelljét az ANSYS 14 program segítségével, mely tartalmazni fogja mind az elsődleges, mind a másodlagos illetve harmadlagos szerkezeti elemeket, illetve ezek kapcsolódását. A felépített modellen paraméteres vizsgálatokat fogok végezni, melyek lehetőséget adnak az egyes szerkezeti elemek merevítő hatásának meghatározására, illetve bemutatják, hogy a változtatásuk mekkora hatással van az épület teljes merevségére. Céлом olyan paraméterek megválasztása, melyek a mindennapi gyakorlatban alkalmazott elemméretek és vastagságok, távolságok, a hatást előidéző terhelések teljes skáláját lefedik. Így paraméternek fogom választani a szelemenek és falvázgerendák méretét és vastagságát, a trapézlemez profilméretét és vastagságát, a keretállás-távolságot, valamint az erő hatásvonalát, így ezáltal a fedés mindkét irányú merevsége vizsgálható.

További cél az említett modell verifikálása. Ezt három lépésben fogom elvégezni. Magát a keretszerkezetet az Iványi féle kísérlet eredményeivel hasonlítom össze, a trapézlemez verifikálására pedig két speciális modell kerül felépítésre, melyek közül az egyik az ECCS ajánlásával meghatározott értékekkel másik pedig a [6] alatt található kísérlet eredményeivel, a kerül összehasonlításra. Ezen felül céлом egy panelra a teljes ECCS számítás, valamint a benne szereplőváltozók és adatok bemutatása, helyességének ellenőrzése.

Végül céлом, hogy a trapézlemez fedés merevítő hatása összehasonlításra kerüljön a gyakorlatban alkalmazott András-keresztes merevítés merevségével. Ennek céljából a paraméteres vizsgálatokat három modellen is el fogom végezni: (i) mely csupán a trapézlemez fedést tartalmazza a másodlagos teherviselő elemekkel, (ii) mely a trapézlemez fedést illetve a keresztrácsozást is tartalmazza, valamint (iii) mely csupán egy burkolatlan csarnokot modellez a keresztrácsok elhelyezésével.

A vizsgálat végén céлом a kapott adatok kiértékelése, az egyes szerkezeti elemek merevítő hatásának meghatározása, a legkedvezőbb szerkezeti kialakítás megtalálása, és egy olyan adatbázis létrehozása, mely tartalmazza a gyakoribb szerkezeti kialakításokhoz tartozó merevségek eredményeit, így minden gyakorló mérnök számára hasznos segítség lehet.

4. Szerkezeti elemek ismertetése

A viselkedés pontosabb megértése érdekében fontos, hogy az alkalmazott szerkezeti elemek kialakításáról, jellemző méreteiről, gyártástechnológiájáról, illetve rögzítésük módjáról elegendő ismeretet szerezzünk. Ennek érdekében az alábbi fejezetben bemutatásra kerül a szelemen illetve falvázgerenda, valamint a rá elhelyezett trapézlemez.

4.1. Szelemen, falvázgerenda

A vékonyfalú szerkezetek elterjedése először a tetőszerkezeti elemeket érte el. A korábban IPE esetleg HEA szelvényekből készített szelemenek manapság szinte minden esetben hidegen hajlított vékonyfalú Z szelemenekből kerülnek kivitelezésre. Ezek előnye a könnyű hierarchikus szerelésük illetve kicsi önsúlyuk. Ezen szerkezeti elemek tönkremenetelének gyakori módja a lemezhorpadás. Ennek kiküszöbölésére a kezdetektől fogva törekedtek a gyártók, a fejlődés az egyes elemek „generációi” közt jól megfigyelhető. A napjainkra az elterjedt, úgynevezett harmadik generációs szelemenekkel nagy áttöréseket sikerült elérniük e téren.



3. ábra

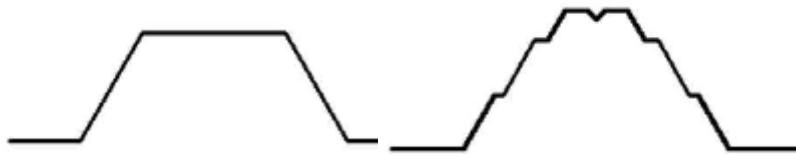
1. generáció: kis horpadási szilárdság; 2. generáció: merevített perem; 3. generáció: behengerelt bordák

Ezen profilok 0,5-3,5 mm vastagságú acéllemezről készülnek általában hidegen hajlítással. A vastagsági méretek felső korlátjának oka, hogy a hajlítás során nagyobb vastagságnál az acélt borító korrózióvédő réteg megsérülne. Magassági méreteik 50-400 mm közt változhatnak, azonban a gyakorlatban a 100-300 mm magas profilok terjedtek el. Ezek a funkciótól függően lehetnek első, második és harmadik generációsak. Kisebb igénybevételű csarnokoknál költséghatékonyság miatt az első generációsak az elterjedtek, nagyobb igénybevétel esetén pedig a merevítő bordákkal ellátottak. Alapanyaguk lehet a horganyzott acél ($250-350 \text{ N/mm}^2$), illetve nagyszilárdságú ($350-550 \text{ N/mm}^2$) acél is. A hideg hajlítás előnye, hogy növeli a szilárdságot, azonban a szerkezeti elem duktilitása ezáltal csökken.

Illesztésére általában úgynevezett szelementartó bakot alkalmaznak, így elkerülhető a szerkezeti elem beroppanása. Toldásuk történhet átfedéssel illetve toldólemezzel. Míg az előző esetben a szerkezeti elemeket egymásba csúsztatják, addig az utóbbiban egy köztes elem kerül beépítésre. Fontos, hogy bármely lehetőséget is alkalmazzuk a megfelelő toldási hossz alkalmazása elengedhetetlen a nyomaték bíró kapcsolat kialakításához. Alkalmazható kéttámaszú tartóként beépítve (kb. 6 m-es keretállás távolságig), de lehetőség van többtámaszú (kb. 12 m-ig), esetleg Gerber-tartós kialakításra is. Mivel gyakori ezen szerkezeti elemek oly módon történő beépítése, hogy az alsó öv megtámasztatlan marad, így minden esetben különös hangsúlyt kell fektetni a stabilitásvizsgálatokra.

4.2. Trapézlemez

Hasonlóan a szelemenhez, a tetőfedést biztosító acél trapézlemez is vékonyfalú lemezekből állítják elő hidegen hajlítással. A fejlődésük során itt is megfigyelhető a merevítő bordák megjelenése a lemezhorpadás elkerülése érdekében, megkülönböztetünk egyszeresen illetve kétszeresen (magasprofilú) merevített lemezeket.



4. ábra Merevítetlen és merevített trapézlemez

Anyaguk a szelemeneknél említett horganyzott acél, a lemez magassági mérete merevítetlen profillemez esetén 20-70 mm, míg merevített kivitelben 70-200 mm lehet. Egy merevítés esetén a maximális magasság 110 mm, míg két merevítés esetén akár 200 mm is lehet. Korrózióvédelmüknek kiemelt szerepe van, hiszen külső elem révén a csapadék hatásának 100%-ban kitéttek. A védelem két komponensből áll, a horganyrétegből, melyet itt is az alakítás előtt hordanak fel illetve a bevonatból. Rögzítésük a szelemenekhez önfúró csavarokkal történik, melyek lehetővé teszik, hogy a korrózió a szerkezeti elem beépítése után se tudja kikezdeni az anyagot. Ezen csavarok kialakítása olyan, hogy lehetővé teszi az egy oldalról történő szerelést, valamint a csavar „beviszi” a korrózióvédő bevonatot az általa vájt lyukba, így nincs szükség utólagos javításra.



5. ábra Önfúró csavar, illetve egy lehetséges trapézlemez rögzítés

5. Verifikáció

Fontos lépése a vizsgálatnak a végeelemes modellek verifikációja, vagyis a modell illesztése más már elvégzett kísérletekhez, vizsgálatokhoz. Mivel teljes léptékű kísérlet eredményei nem álltak rendelkezésre, ezért több, különböző eredménnyel hasonlítottam össze a szerkezet egyes elemeinek modelljét. Ezek alapján a verifikáció három lépésben történt:

- 5.1. Egy keretállás verifikációja az Iványi kísérlethez
- 5.2. Egy oldalfali trapézlemez verifikációja az ECCS számításához
- 5.3. Egy trapézlemez verifikációja a [6]-ben szereplő léptékhelyes kísérlet eredményeihez

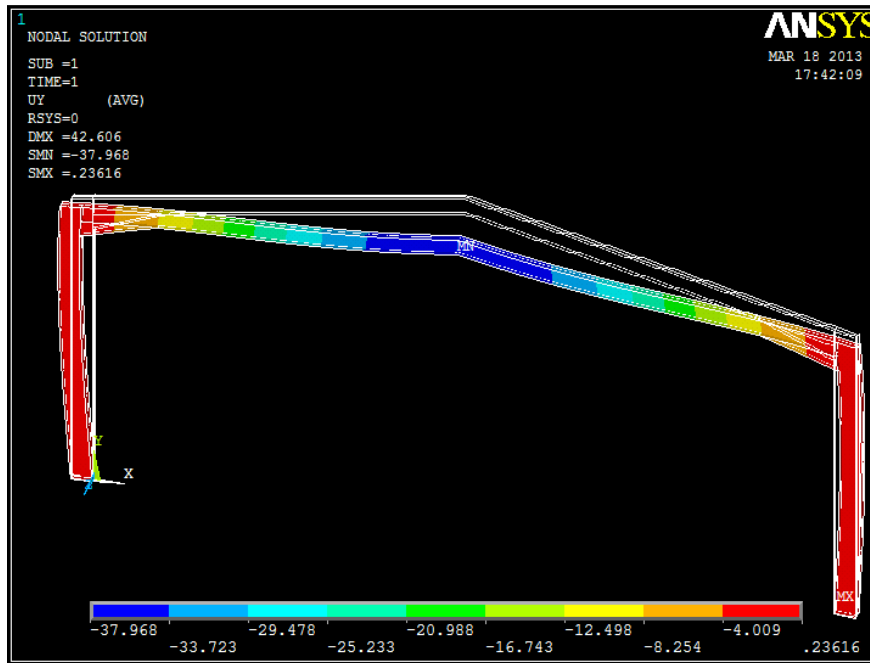
Ezen ellenőrzések szükségessége elengedhetetlen volt a teljes modell megalkotása előtt, hiszen csak így győződhattünk meg a kapott eredmények pontosságáról. Továbbá lehetőséget nyújtott a meglévő számítási módok ellenőrzésére is.

5.1. Egy keretállás verifikációja az Iványi kísérlethez

A verifikáció során egy keretállás vizsgálatát végeztem el, annak eredményeit összehasonlítottam a kísérletben meghatározott elmozdulási és lehajlási értékekkel¹. A keretállás felépítése során héj végeelemes modellt készítettem, shell181-es elem alkalmazásával (lásd 7.pont), figyelembe vettem a gerendáknál található kiékelést, a támaszokat csuklósnak feltételeztem. Ebben az esetben a keretállás egy vonal mentén egyenletesen megoszló, összértékben F nagyságú függőleges volt megterhelve a gerendán, illetve egy $F/20$ nagyságú koncentrált erőt helyezkedett el az egyik sarokponton. A végeelemes modell felépítése során törekedtem a valóság hű ábrázolására, így egy kiválasztott teherértéket, jelen esetben egy összértékben 100 kN nagyságú terhet helyeztem el

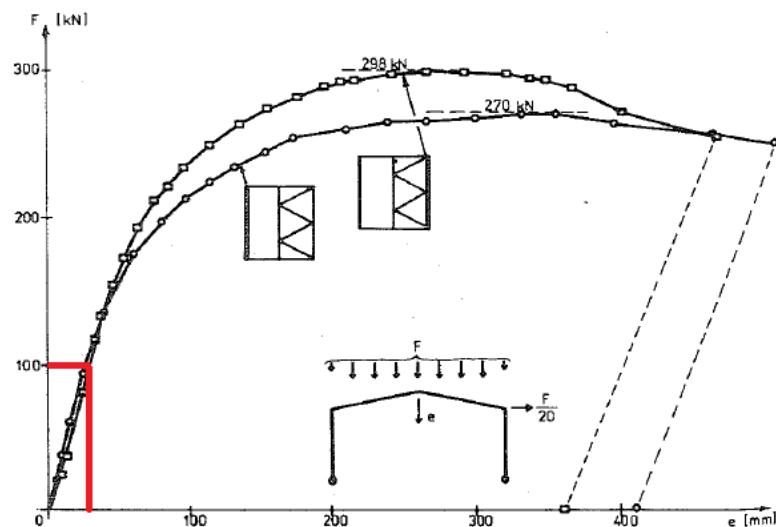
¹ Ugyanazon kísérlet keretében mért értékek, az 1986.szept.25-26-os Eurosteel konferencián bemutatott tanulmányból

a geometriában meghatározott szelemen csatlakozási pontokon, valamint ennek az értéknek a 20-ad részével, 5kN-nal terhelt meg a keretállás sarokpontját.



6. ábra Egy keretállás függőleges elmozdulásának értékei

Az eredmények összehasonlítására csak közelítő lehetőségek álltak rendelkezésemre, azok a kísérletben meghatározott erő-elmozdulás diagrammal összhangban voltak. A modell alapján a keretállás középső keresztmetszetének maximális lehajlási értéke 37,97 mm volt, mely a tényleges kísérlet elvégzése során meghatározott erő-elmozdulás görbével jó egyezést mutat.

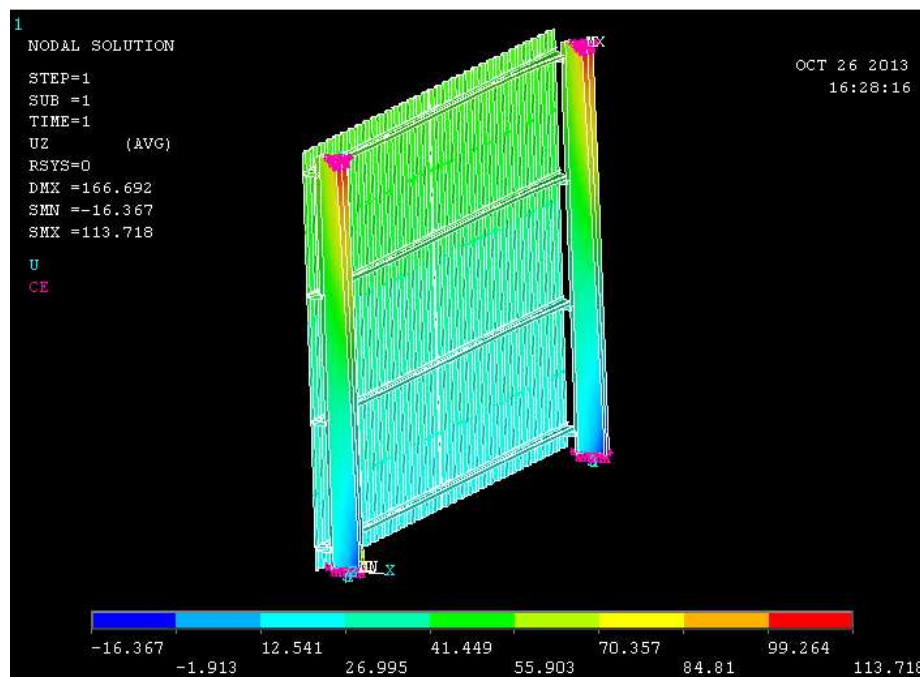


7. ábra Az 1985-ös Iványi kísérlet erő-elmozdulás görbéje

Ezek alapján kijelenthető, hogy a felépített végeleemes modell a beállított paraméterekkel, elemválasztékkal helyes eredményt ad, mely hűen ábrázolja a tényleges szerkezet viselkedését.

5.2. Egy oldalfali trapézlemez verifikációja az ECCS számításához

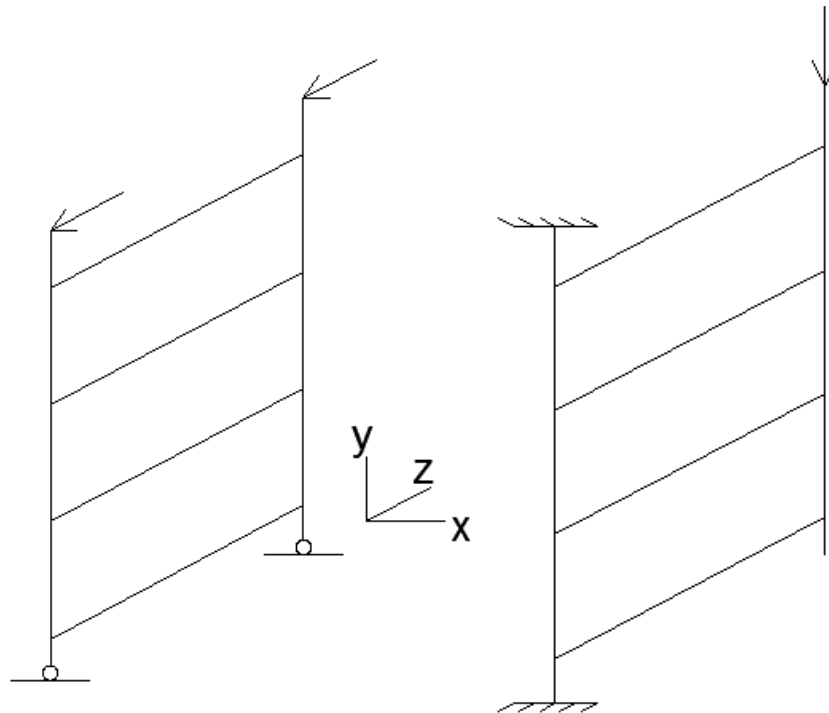
Az ECCS ajánlást ad a különböző oldalfali illetve tetőpanelek merevségének számítási módjára. Azonban ezen ajánlások egy panelre vonatkoznak, így külön verifikációs modell létrehozása vált szükségessé, hiszen a teljes csarnok ilyen szempontból túl összetett, nem vizsgálható. Így felépítésre került egy olya, szintén héj elemekből álló végeleemes modell, mely csupán egy oldalfali trapézlemezt jelenít meg a hozzá rögzített C profilú falvázgerendákkal illetve a két keretoszloppal (a kialakítás részletei megegyeznek a 7. pontban bemutatott teljes modell felépítésével).



8. ábra Z irányú elmozdulások a verifikációs modellen

Ezen a modellen szintén paraméteres vizsgálatokat végeztem, melyben megváltoztatva vizsgáltam a szelemen vastagságának, méretének illetve a trapézlemez vastagságának hatását a modell merevségére. A vizsgálat elmozdulásvezérelt volt, vagyis meghatározott helyre, helyekre adott értékű elmozdulást helyeztem el (100mm) és vizsgáltam ezen elmozdulás által keltett reakcióerőt az egyes támaszokban. Ezek hányadosaként kaptam meg a rendszer nyírési

merevségét. A kétirányú merevítő hatás meghatározása érdekében két különböző megtámasztás/terhelés sémát használtam, melyet a 8. ábra szimbolizál.



9. ábra Z irányú és Y irányú merevség meghatározása

Az ezen modellekből keletkező merevségek értékeit hasonlítottam össze a [3] alatt található ECCS számítási ajánlataival. Mint korábban említettem, ezen számítás a trapézlemez, a falvázartó, illetve a rögzítő elemek merevségének összegzésével határozza meg a teljes trapézlemezes fedés merevségét. Az alábbi példában a paraméteres vizsgálat egy esetére mutatom be a számítás lépéseit, a többi esetben hasonlóan jártam el melyek eredményeit a későbbi 2-es és 3-as táblázatok tartalmazzák.

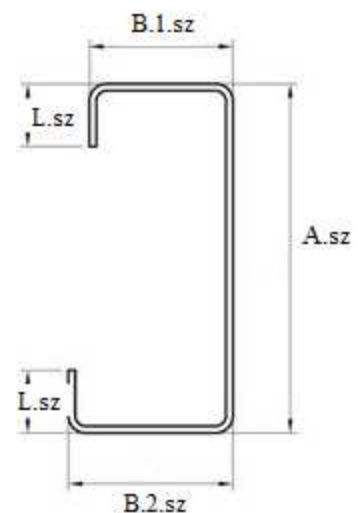
Teljes nyírási merevség meghatározása az ECCS ajánlása szerint

Geometriai adatok

Szelemen adatai:

Típusa: C200

Vastagság	$t_{sz} := 1.5 \text{ mm}$
Magasság	$A_{sz} := 200 \text{ mm}$
Felső öv szélessége	$B_{1.sz} := 62 \text{ mm}$
Alsó öv szélessége	$B_{2.sz} := 70 \text{ mm}$
Élborda magassága	$L_{sz} := 26 \text{ mm}$
Hossza	$a := 6 \text{ m}$
Osztásköz	$b_1 := 1.5 \text{ m}$



Rugalmassági modulus $E := 210 \text{ GPa}$

Darabszám $n_p := 4$

Poisson tényező $\nu := 0.3$

A közbenső szelemeneket figyelembe vevő tényezők:
(Értékek a [3] alatti szakirodalom 5.4. táblázatából, pp. C29.)

$$\alpha_1 := 0.85 \quad \alpha_2 := 0.75 \quad \alpha_3 := 0.9 \quad \alpha_4 := 1 + 0.3 \cdot n_p = 2.2$$

Keresztmetszeti terület

$$A_{\text{km.sz}} := [A_{\text{sz}} - 2 \cdot t_{\text{sz}} + B_{1.\text{sz}} + B_{2.\text{sz}} + 2 \cdot (L_{\text{sz}} - t_{\text{sz}})] \cdot t_{\text{sz}}$$

$$A_{\text{km.sz}} = 567 \cdot \text{mm}^2$$

Trapézlemez adatai:

Típusa: LTP 45

Vastagság $t := 0.5 \text{ mm}$

Hullámhossz: $d := 180 \text{ mm}$

Magasság $h := 45 \text{ mm}$

Felső öv $l_1 := 47 \text{ mm}$

Alsó öv $l_2 := 77 \text{ mm}$

Fedés hossza $b := (n_p - 1) \cdot b_1 = 4.5 \text{ m}$

darabszáma $n_{\text{sh}} := \text{round}\left(\frac{a}{900 \text{ mm}}\right) = 7$

Arányszámok $l_d := \frac{l_1}{d} = 0.261 \quad h_d := \frac{h}{d} = 0.25$

$$\Theta := \text{atan}\left(\frac{d - l_1 - l_2}{2} \cdot \frac{1}{h}\right) = 31.891 \text{ deg}$$

$$K_1 := \frac{0.0945 + 0.146}{2} = 0.12$$

$$K_2 := \frac{0.5605 + 1.1555}{2} = 0.858$$

. (Értékek a [3] alatti szakirodalom 5.6. és 5.7. táblázatából interpolálással, pp. C30-31)

Rögzítés

Típus: LD3T önfúró csavar

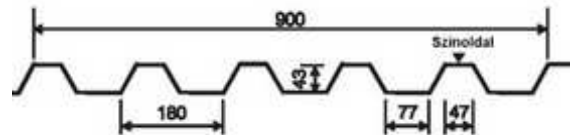
$d_n := 4.8 \text{ mm}$ Keresztmetszeti átmérő

$l_n := 25 \text{ mm}$ Hossz

$n_s := 34$ Darabszám/szelemen

A szelemen-trapézlemez közti rögzítést figyelembe vevő tényező:
(Értékek a [3] alatti szakirodalom 5.2. táblázatából, pp. C27)

$$\beta_1 := 0.44 \quad \beta_2 := 1.11 \quad \beta_3 := 1$$



1 db rögzítő elem (trapézlemez átlapolására) megcsúszásának értéke: $s_p := 0.1 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$

. (Értékek a [3] alatti szakirodalom 5.1. táblázatából, pp. C26)

1 db trapézlemez és szelemen közötti rögzítő elem megcsúszásának értéke $s_s := 0.25 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$

. (Értékek a [3] alatti szakirodalom 5.1. táblázatából, pp.C26)

1 db nyírócsap megcsúszásának értéke $s_{sc} := 0.1 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$

. (Értékek a [3] alatti szakirodalom 5.1. táblázatából, pp.C26)

Szelemen és fő 'F5tartó közötti rögzítő 'F5elem megcsúszásának értéke (szelementartó bak) $s_{pr} := 0.38 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$

. (Értékek a [3] alatti szakirodalom 5.3. táblázatából, pp.C28)

Panel két oldalán rögzített csavarok minden hullámvölgyben:

Merevségek értékei:

Merevség a tető burkolat alakváltozásából: $c_{1.1.c} := \frac{a \cdot d^{2.5} \cdot \alpha_1 \cdot \alpha_4 \cdot K_1}{E \cdot t^{2.5} \cdot b^2} = 0.78 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ (1)

Merevség a tető burkolat nyíró igénybevételéből: $c_{1.2.c} := \frac{2 \cdot a \cdot (1 - \nu) \cdot \left[1 + \left(\frac{2 \cdot h}{d} \right) \right]}{E \cdot t \cdot b} = 0.03 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ (2)

Merevség a burkolat-szelemenközi rögzítő elem megcsúszásából $c_{2.1.c} := \frac{2 \cdot a \cdot s_p \cdot P}{b^2} = 0.011 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ (3)

Merevség a korcolt rögzítés megcsúszásából: $c_{2.2.c} := \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s} = 0.242 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ (4)

Merevség a nyírócsap megcsúszásából: $c_{2.3.c} := \frac{2}{n_p} \cdot \left(s_{pr} + \frac{s_p}{\beta_2} \right) = 0.235 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ (5)

Merevség a belső elemek axiális igénybevételéből: $c_{3.c} := \frac{2 \cdot a^3}{3 \cdot E \cdot A_{km.sz} \cdot b^2} = 0.06 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ (6)

Teljes merevség: $c_c := c_{1.1.c} + c_{1.2.c} + c_{2.1.c} + c_{2.2.c} + c_{2.3.c} + c_{3.c} = 1.358 \frac{\text{mm}}{\text{kN}}$ (7)

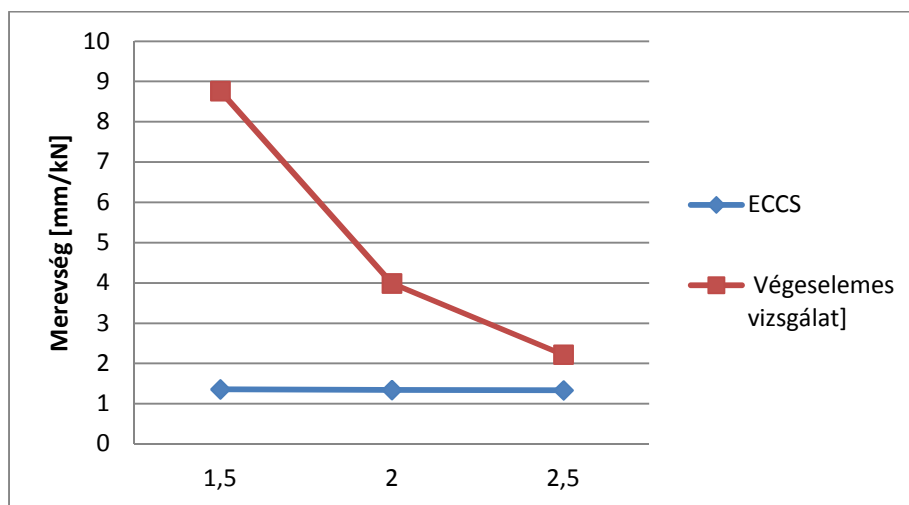
A fent bemutatott számítás egy Z150-es C szelvény illetve a hozzá minden hullám völgyben önfúró csavarokkal rögzített LTP45 típusú trapézlemez fedés merevségének számítását mutatta be.

Az alábbi 2. táblázat, illetve az 1. diagram egy esetét mutatja be a paraméteres vizsgálatnak, melyben paraméterként a szelemen vastagsága szerepel. Jól látható, hogy az ECCS számításban valóban csak a c3-as tagban jelenik meg változás, hiszen a szelemenek adataitól csupán ez az egy tag függ.

Szelemenvastagság [mm]	C1.1	C1.2	C2.1	C2.2	C2.3	C3	ECCS	Végeselem
1,5	0,78	0,03	0,011	0,242	0,235	0,06	1,358	8,762
2	0,78	0,03	0,011	0,242	0,235	0,045	1,343	3,988
2,5	0,78	0,03	0,011	0,242	0,235	0,036	1,335	2,219

2. táblázat Szelemenvastagság növekedésének hatása a szerkezet merevségére

Az is megfigyelhető, hogy az EUROCODE alapú számítás lényegesen merevebben viselkedik, mint az általam elkészített végeselemes modell, azonban a vastagság növekedésével ez a különbség egyre csökken, vagyis mindkét esetben hasonló tendenciát figyelhetünk meg. Ez a csökkenés a várt eredményeket igazolja, miszerint a szelemen vastagságának növekedésével a szelemen, és a szerkezet teljes merevsége is nő. Annak az oka, hogy az ECCS számításban ez a merevségnövekedés illetve inverz irányban a merevség csökkenés sebessége lényegesen lassabb, mint a végeselemes modellé, abban keresendő, hogy a szelemenvastagság hatása a szabvány ajánlásában csupán a keresztmetszeti területben jelenik (6. képlet).



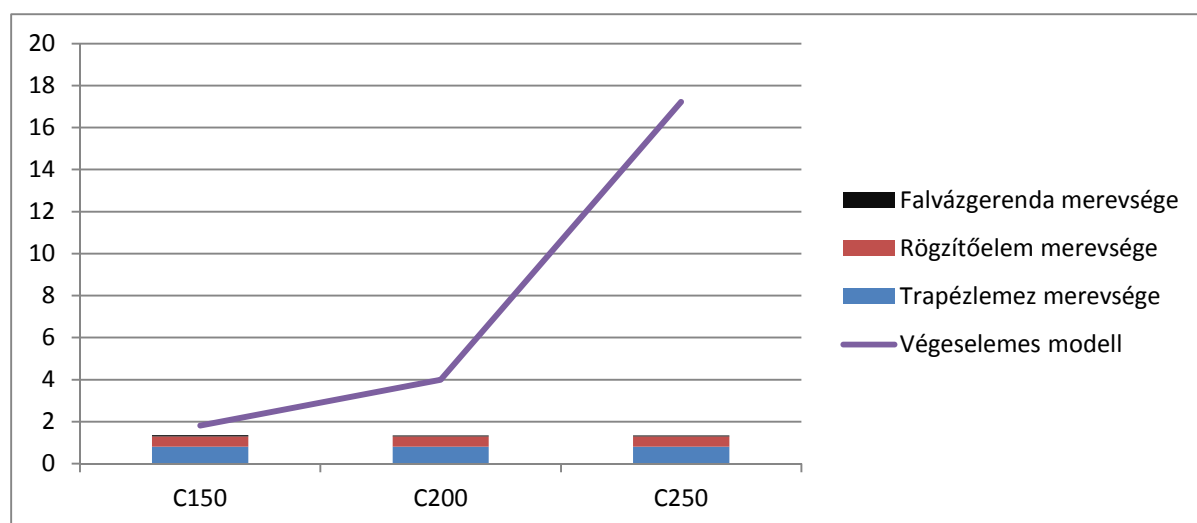
1. diagram Szelemenvastagság hatása a szerkezet merevségére

Ezen hiányosság szembetűnően megjelent a következő vizsgálat során. A szelemen méretének paraméterként való kezelésekor hasonlóan a korábbiakban bemutatottakhoz végeztem el az ECCS számítását, mely így a 3-as táblázatban található értékeket adta.

<i>Paraméter értéke</i>	<i>C1.1</i>	<i>C1.2</i>	<i>C2.1</i>	<i>C2.2</i>	<i>C2.3</i>	<i>C3</i>	<i>ECCS</i>	<i>Végeselem</i>
C150	0,78	0,03	0,011	0,242	0,235	0,065	1,363	1,816
C200	0,78	0,03	0,011	0,242	0,235	0,045	1,343	3,988
C250	0,78	0,03	0,011	0,242	0,235	0,04	1,338	17,22

3. táblázat A szelemenmagasság hatása a szerkezet merevségére

Mint ahogy a táblázatban is látszik, ebben az esetben a számítás és a végeselemes modell közti eltérések nagyságrenddel nagyobbak, és a tendencia sem egyezik. Ennek oka az előbbieken már említett okra vezethető vissza, miszerint a trapézlemez profilokat tartó falvázgerendáknak és szelemeneknek csupán a keresztmetszeti területe szerepel geometriai méreteik közül az ECCS számítási javaslataiban, azonban ez, mint ahogy a fenti példa is mutatja, súlyos hibákhoz vezethet. A hiba magyarázata, hogy a fent bemutatott számítás nem veszi figyelembe azt a tényt, hogy nagyobb szelvény alkalmazása során a trapézlemez fedés külpontossága növekedni fog mely nagyobb merevségcsökkenést okoz, mint amekkora növekedéssel hozzájárulna a keresztmetszeti terület növelése. Ez a tendencia látható az elkészített végeselemes modell eredményein is, miszerint a szelemen magasságának növekedése a teljes szerkezet merevségcsökkenését hordozza magával. A két eltérő tendencia ábráját a 3-as diagram tartalmazza, mely bemutatja továbbá az ECCS ajánlásában számított merevség komponenseit, így ezzel azt a gyenge növekedés is megjeleníthető, melyet a keresztmetszet növekedése okoz.



2. diagram A szelemenmagasság hatása a teljes merevségre

Ezen eredmények figyelembe vételével az ECCS számításán feltétlenül módosítások alkalmazása szükséges, melyek figyelembe veszik a trapézlemez szerkezettől való távolságát, mint csökkentő hatást. Ez a vonal, mint a téma esetleges továbbhaladási irányaként megjelölendő., melyhez segítséget nyújthatnak az elkészített végeselemes modellek.

A fenti megállapítások tükrében megállapítható, hogy a teljes oldalfali elem végeselemes modellből meghatározott merevsége nem verifikálható az ECCS ajánlásaként megadott számítási móddal, ezért a verifikálandó részt tovább kellett egyszerűsíteni. Mivel a trapézlemez fedés részeiből az önfúró csavar merevségének vizsgálata egy külön dolgozat témája lehetne, így a trapézlemez, mint önálló szerkezeti elem került modellezésre.

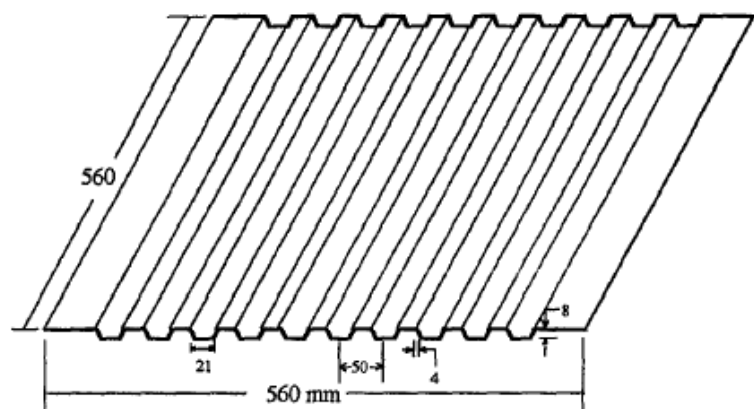
5.3. Egy trapézlemez verifikációja léptékhelyes kísérlet eredményeihez

Az ECCS által ajánlott számítás hibái miatt szükség volt a modellnek egy másik kísérlethez történő verifikálására, hogy megbizonyozhassunk a később kapott eredmények helyességéről. Erre alkalmas volt a [6] alatt ismertetett szakirodalomban bemutatott léptékhelyes kísérlet.

Ebben a kísérletben a szerzők egy arányosan kicsinyített ($\lambda=1/6$) trapézlemez merevségét vizsgálták. A fizikai vizsgálatok mellett végeztek analitikus vizsgálatot, mely lépései közel megegyeznek az ECCS számítási javaslataival (hasonlóan a három szerkezeti elem merevségének összegéből számították a szerkezet merevségét), valamint többfajta végeselemes modell is készült az akkoriban szokásos eljárásokkal (pl.: rugók alkalmazása). Az elvégzett fizikai kísérlet megfelelő verifikációs lehetőségeket teremtett a modellekhez.

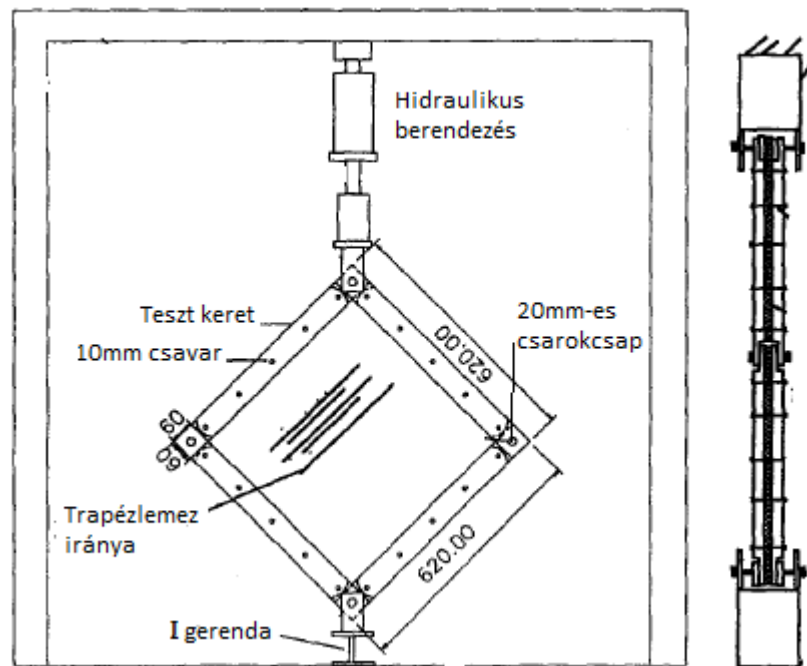
5.3.1. A kísérlet bemutatása

A kísérletben egy, a 10. ábrán bemutatott méretekkel rendelkező trapézlemez profilt helyeztek el egy 16 mm-es tesztkeretben, majd az alját rögzítették, és a tetejére egy hidraulikus sajtó segítségével erőt közvetítettek a keret sarkán elhelyezett csapokra, melyek így a teljes trapézlemezre



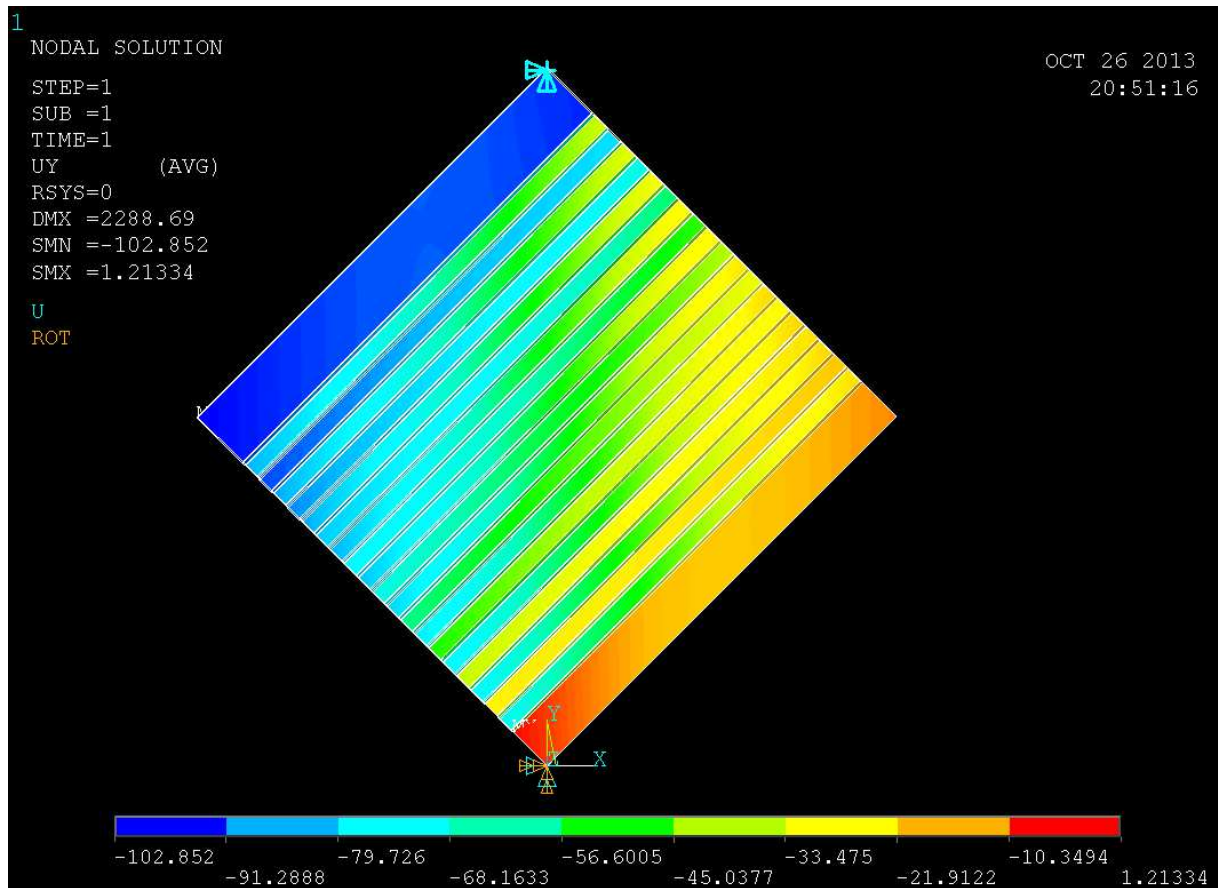
10. ábra A vizsgált trapézlemez méretei

diagonális irányú elmozdulást váltottak ki. A trapézlemez vastagsága 1,2 mm volt. A kísérlet elrendezése a 11. ábrán látható.



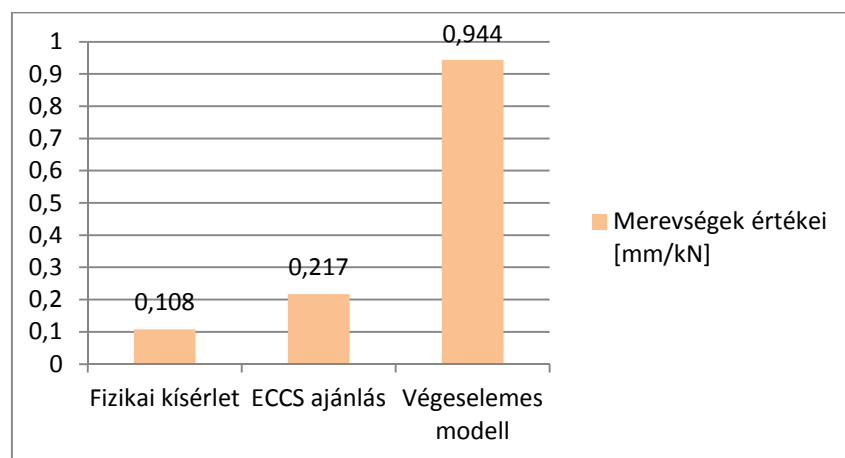
11. ábra A kísérleti elrendezés

A modell hű reprodukálása érdekében pontos végeeselemes modell készült a bemutatott kísérletekkel, mely tartalmazta a sarokcsapokat, a tesztkeretet, illetve az oldaléleken található csavarokat is. Azonban az apró méretek miatt, illetve a viszonylag bonyolult kialakítás miatt, ezen modell folytonossági hibái miatt egyszerűsítéseket kellett alkalmazni, így csupán a tesztkeretben lévő trapézlemez került modellezésre a fent bemutatott geometriai méretekkel. A modell ebben az esetben is elmozdulásvezérelt volt, a hidraulikus sajtó helyén került az elmozdulás-teher a trapézlemezre. A modell stabilitása érdekében az I gerendát, mint befogást kellett modellezni, hiszen anélkül a lemez körbeforoghatott volna saját tengelye körül. ezen felül az elmozdulás ráengedésének pontjában, a trapézlemez legfelső pontjában is szükséges volt mindkét irányban a vízszintes megtámasztás a síkból való kilépés meggátlása érdekében. a végeeselemes modell függőleges irányú elmozdulásait, illetve az alkalmazott támaszokat a 12. ábra mutatja be. A végeeselemek méretét ebben az esetben 5 mm-esnek vettem fel, hogy azok a nyírási alakváltozásokat kellő pontossággal képesek legyenek követni.



12. ábra A verifikációs modell függőleges elmozdulásai, valamint az alkalmazott támaszok

A vizsgálat a merevségek szempontjából nagyságrendileg jó közelítést adott a tényleges fizikai kísérlettel. Ellenőrzésképpen kiszámításra került a modellhez az ECCS ajánlása szerinti számításból a csupán c_1 -es tagokat tartalmazó (trapézlemez merevségei) tagok összegei, így ez egy újabb támpont lehetett az eredmények összehasonlításában. a három vizsgálat eredményei az alábbi diagram mutatja.



3. diagram Merevségi eredmények összehasonlítása

A fent bemutatott diagramon az eredmények nagyságrendileg megfelelnek az egyes eltérések az alábbi indokokkal magyarázhatók:

- a fizikai kísérlet eredményei tartalmazzák az él mentén elhelyezett csavarokat valamint a közrefogó keretet, mely hatása kissé befolyásolja az eredményeket, így az merevebben viselkedik, mintha csak a trapézlemez viselné a terheket
- az ECCS ajánlása, mint ahogy korábban említettem több olyan tényezőt tartalmaz melyek többszörös interpolálás után kerülnek a számításba, így ezek pontossága megkérdőjelezhet, a nagyságrendbeli egyezés elegendőnek tekinthető

Az említett okok figyelembe vételével kijelenthető, hogy a végeelemes modellek bizonyos pontosságon belül jó egyezést mutatnak mind a fizikai kísérlettel, mind az ECCS számítás vonatkozó részeivel, így a teljes modell az itt alkalmazott elemtípusokból felépíthető.

6. A modellek bemutatása

6.1. A vizsgálat bemutatása

A verifikációt követően a teljes szerkezet modellezésére sor került, majd ezen hajtottam végre a paraméteres vizsgálatokat. A modell geometriája követi a 2.1 pontban bemutatott Iványi féle kísérlet kialakítását, azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben csupán két keretállás került modellezésre. Hogy a trapézlemezes fedés merevítő hatásának értékét vizsgálni tudjam, az alap, trapézlemezzel burkolt, keresztrácsozást nem tartalmazó modell (i) mellé két másik szerkezeti kialakítású épület is felépítésre került a végeelemes programban. Az egyik csupán a merevítésként funkcionáló keresztrácsozást tartalmazta a burkolati fedés nélkül (ii), míg a másik az első két eset kombinációjaként mind a trapézlemezt mind pedig a rácsozást tartalmazta (iii). A paraméterek és értékeik a következők voltak:

- ***a szelemenek, falváztartók profilmérete:*** a három leggyakrabban használt profilméret került vizsgálatra 150-200-250 mm magas C profilú falvázgerendák, illetve Z profilú szelemenek
- ***a szelemenek, falváztartók vastagsági méretei:*** szint én három a gyakorlatban előforduló méret: 1,5; 2; 2,5 mm
- ***a trapézlemez profilja:*** ebben az esetben a LINDAB gyártó legelterjedtebb elemeit vettem mintaként: az LTP20-as illetve az LTP 45-ös profilt
- ***a trapézlemez falvastagsága:*** 0,5 illetve 0,7 mm-es mérettel került modellezésre

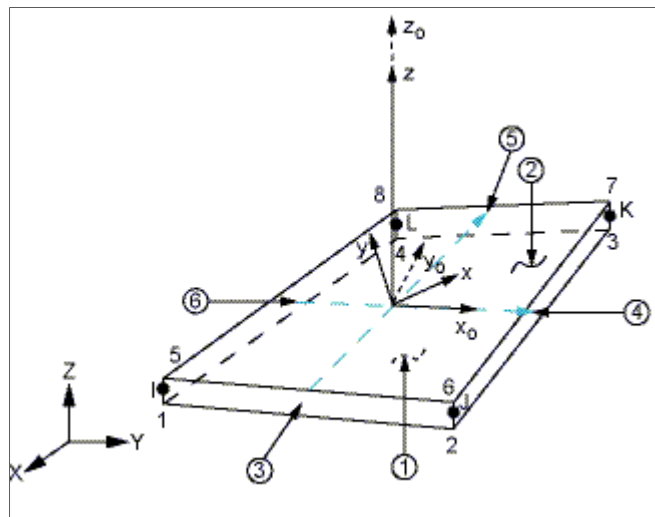
- **a keretállás-távolság:** ipari csarnokok esetén leggyakrabban használt raszter méretek közül a 4-5-6m-es távolságot modelleztem
- **a terhelés iránya:** a trapézlemezek nyírási merevségének meghatározásakor szükség volt a keretállásra merőleges illetve az azzal párhuzamos terhelési eset vizsgálatára is.

Minden paraméter összes kombinációját előállítottam mind a három szerkezeti kialakítás (i-iii) esetére. Ez így 486 modellt eredményezett (a csupán kereszttrácsozást tartalmazó eseteknél a trapézlemezre vonatkozó paraméterek nem jelentkeztek), melyek fontosabb eredményei, illetve a változások tendenciája és azok mértéke a 7. pontban kerül bemutatásra.

6.2. A modellek általános geometriai felépítése

6.2.1. A fő teherviselő elemek

Mindhárom modell esetén az alap felépítés azonos volt. A vizsgálatok során a végeelemes program elemkínálatából a főbb szerkezeti elemek, így az oszlopok, a gerendák, a szelemenek és a falvázartók a SHELL181-es héj-elemtípusból kerültek felépítésre. Ezen elem egy téglalap alakú, négy vizsgálati pontot tartalmazó hat szabadságfokú (elmozdulás x, y, z tengely irányában, és elfordulás x, y, z körül) végeelem, melynek pontjai a sarokpontokban helyezkednek el. Geometriáját a 13. ábra mutatja be.

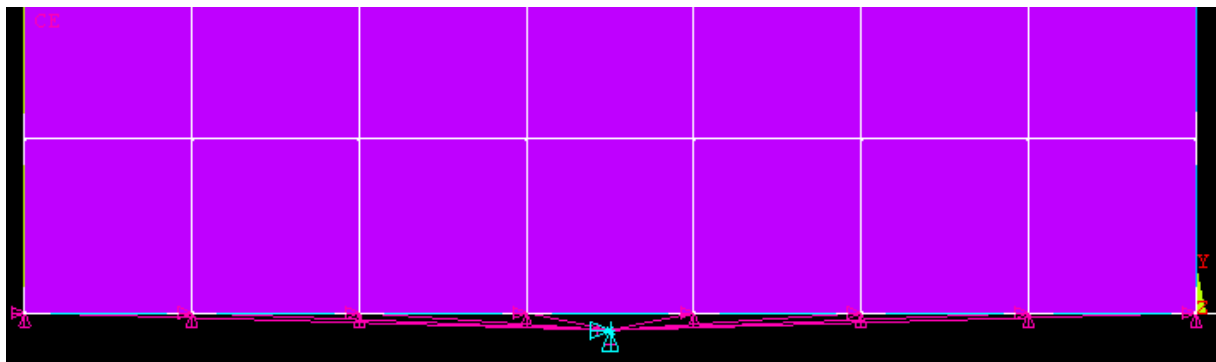


13. ábra SHELL181 elem geometriája

Ezen elem tulajdonságainak beállításával kerültek megadásra az egyes elemek vastagságai is. Az anyagmodell megadása során a szerkezeti elemeknél a szokványos acél modellt alkalmaztam $\nu=0,3$ -as Poisson tényezővel és $E=210000 \text{ N/mm}^2$.

A modell építése során először a kitüntetett pontokat vettem fel a koordinátájuk megadásával. Ennek segítségével kihasználva a program előnyei a keretszerkezet egyes méreteit változókból tároltam el, így ezeket alkalmazva a modell változtatása könnyen megoldható. Ezen pontok közé kerültek definiálásra a felületelemek, melyet ezek után végelelemes hálóval láttam el. A háló mérete a szerkezeti elemek esetén 50 mm-es. A kialakítás során figyelembe vettem az eredeti kísérletben is szereplő kis kiékelést a gerenda és az oszlop kapcsolódásánál. A szerkezet minden elemének mérete megegyezik a kísérleti értékekkel, így a kapcsolat a két vizsgálat között biztosított. A modell építése során törekedtem kihasználni a program lehetőségeit az automatizmusra, így rendszeresen használtam beépített ciklusait, adattárolási lehetőségeit, lokális koordináta-rendszer telepítési opcióit.

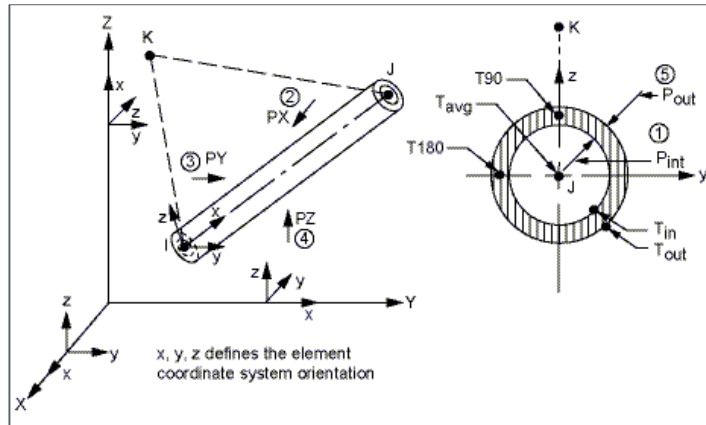
A támaszok kialakítására a program egy speciális parancsát használtam, hogy pontosan modellezhető legyen az eredeti kísérletben alkalmazott csuklós támasz, viszont ne tartalmazzon a végelelemes modell instabilitásokat. Ez a parancs a CERIG, mely alkalmazása során egy tömegpontot helyez el az oszlop alsó síkjától egy kicsiny távolságra, majd ezt a pontot illetve az oszlop alsó síkjának pontjait végtelen merev rudakkal összeköti. Így ezt a pluszba beépített pontot alátámasztva egy x,y,z irányú elmozdulásokat meggátoló támasszal a csuklós kapcsolat biztosított. A CERIG parancs eredményét, és a segítségével kialakított csuklós kapcsolatot a 14. ábra mutatja.



14. ábra A CERIG parancs segítségével kialakított oszloptalp

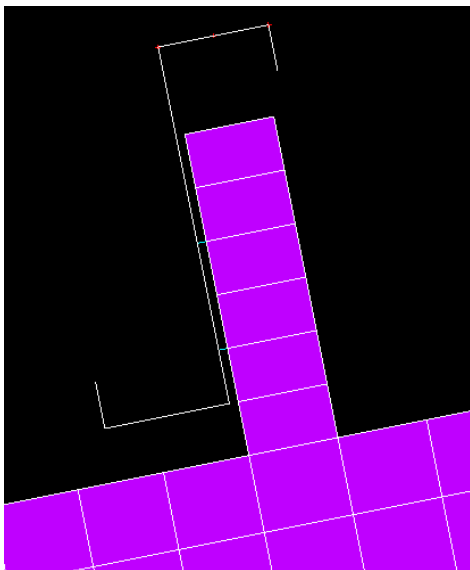
6.2.2. A másodlagos teherviselő elemek kapcsolata

A másodlagos szerkezeti elemek csatlakozásának kialakítása a tartószerkezethez egy bonyolultabb folyamat eredménye. Ennek során első körben kialakításra kerültek a szelemen illetve falvázartó bakok az eredeti kísérletben is alkalmazott helyeken. Ezek U200 szelvényű elemek, melyek hossza 180mm. Ezen elemek pontjai úgy kerültek megtervezésre, hogy a szelvény középvonalán, a kezdetétől 60 illetve 120mm-re is feltétlenül kerüljenek végeeselemes pontok. Ezek adták meg a lehetőséget a szelemenek és falvázartók csatlakoztatására. A csatlakozás a már említett pontok, és a másodlagos szerkezetek közé beépített végtelen merev 5mm hosszúságú rudak jelentették. Ezek felvételére, és a merevség biztosítására külön anyagmodell, és elem került definiálásra. Az



15. ábra A PIPE16 elem geometriája

anyagmodellben a rugalmassági modulus értékét az előzőekben alkalmazott acél érték 10^6 -onnal nagyobbra vettem fel, ezzel biztosítva, hogy a többi szerkezeti elemnél merevebben viselkedjen. A rudakra az alkalmazott elem a PIPE16. Ez egy szintén hat szabadságfokú csőelem mely beállításai közt a csőszelvény átmérőjét illetve vastagságát lehet megadni. Ezeket 3mm és 1mm-re választottam. A végtelen merev rudakat négy darab végeeselemes szakaszra osztottam. Az elem geometriáját a 15. ábra mutatja be.



16. ábra Szelemen kapcsolata a tartó bakhoz

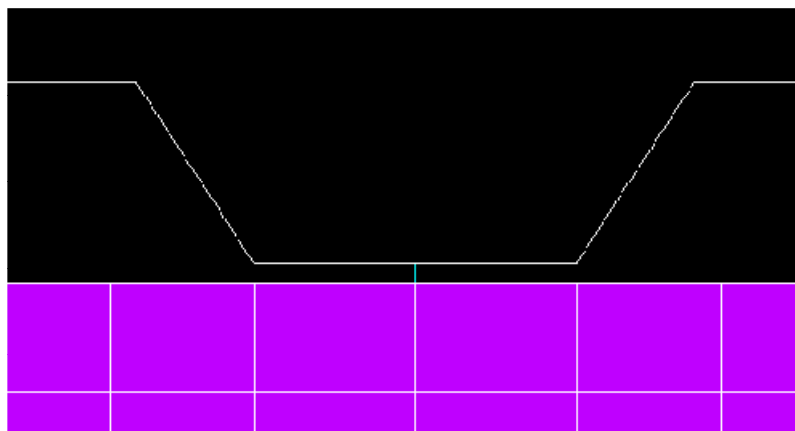
6.2.3. A másodlagos teherviselő elemek

Mindhárom modellben a másodlagos teherviselő elemeket alkotó Z szelemenek és C falvázartók úgy kerültek kialakításra, hogy a (i) és (iii) modellben a trapézlemez csatlakoztatható legyen hozzájuk. Ezen elemek vastagsági méreteinél eltértem az eredeti kísérletben megadott 5mm-es vastagságtól, hiszen a napjainkban alkalmazott vékonyfalú gerendák mérete lényegesen vékonyabb. A felvett értékek a paraméterek bemutatásánál találhatóak. Csatlakozásuk mindkét főtartó

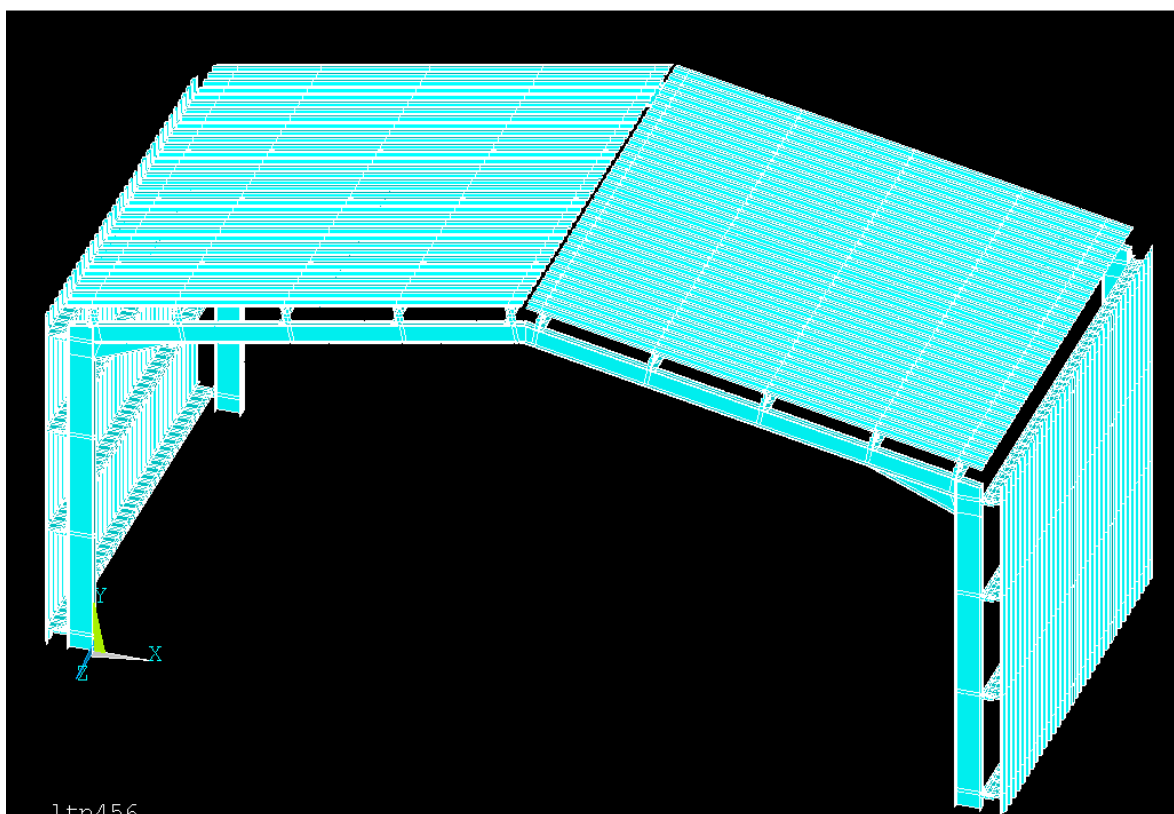
esetében a tartó bakokhoz az előző pontban említett módon 2-2 végtelen merev rúddal történik. Elemhasználatukat tekintve ezek is SHELL181-es elemből kerültek felépítésre, szintén 50mm-es végeelemes hálóval. A 16. ábra egy szelemen kapcsolatát mutatja a tartó bakhoz, végtelen merev rúdelemek segítségével.

6.2.4. A trapézlemez kialakítása

A trapézlemez kialakítása során ügyelni kellett a folytonosság megőrzésére, hogy a burkolat megfelelő, a valóságban is alkalmazott módon csatlakozhasson a szelemenekhez, falváztartókhöz. Ennek modellezése során a falvázgerendáknál már említett végtelen merev 5mm hosszúságú elemek kerültek beiktatásra a trapézlemez és a szelemenek közé. Ezek hivatottak szimbolizálni az önfúró csavarokat. A rögzítés függőleges irányban minden szelemen/falváztartó esetén 1 db rögzítés a gerenda felső övének tengelyvonalában, vízszintes értelemben pedig a trapézlemez minden egyes hullámvölgyében került elhelyezésre. maga a trapézlemez a már többször említett SHELL181-es elemből épült fel, és geometriája pontosan követi a valóságban alkalmazott fedését. A végeelemek mérete itt is a korábban említett 50 mm-es értékkel került felvételre, azonban ez minden esetben megváltozott, hiszen a trapézlemez övei és szárai is kisebb távolságúak, mint az említett hossz, így a végeelem háló felvétele során ezen értékek voltak a meghatározóak, az adott övek, szárak szélességben 1db végeelemből, magasságilag pedig 50mm-es elemekből állnak össze. A legkisebb elemméret az LTP20-as profil esetén 20 mm-es volt. Az oldalfali és a tető-trapézlemezek nem kapcsolódnak egymáshoz, hiszen a valóságban is ezek kapcsolata csupán a burkolat folytonosságának érdekében készül el, nem az együttdolgozást hivatott elősegíteni. A kialakult trapézlemez geometriára valamint kapcsolatára a falváztartókkal a 17. ábra mutat példát, valamint a teljes, trapézlemezt is tartalmazó felépített modellt a 18. ábra szimbolizálja



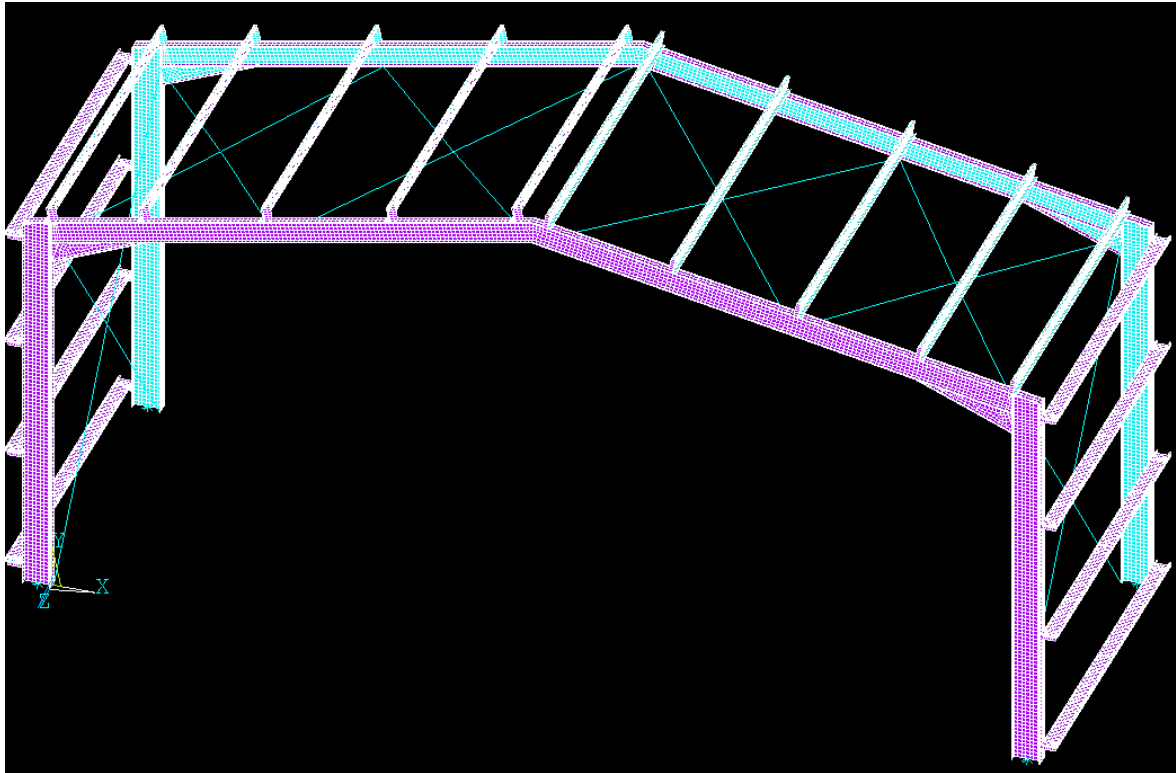
17. ábra Trapézlemez csatlakozása szelemenhez/falváztartóhoz



18. ábra az (i) szerkezeti kialakítás komplett modellje

6.2.5. Merevítő rácsozás

A (i) illetve (ii) modellben alkalmazott oldalfali és tetősíokban elhelyezett rácsozás kialakítása során is a valóságban leggyakrabban alkalmazott szerkezeti megoldások alapján készültek el a modellek. ennek alapján kétféle elemet választottam a program elemkínálatából. Az egyik a már említett PIPE16 csőelem mely átmérőjét ebben az esetben 40 mm-nek, vastagságát pedig 3mm-nek vettem fel. Azonban mivel a csarnokszerkezeteknél gyakori, hogy csupán feszítőkábelek segítségével oldják meg a merevítést, így szükség volt egy olyan elemtípusra is mely képes csupán húzásra működni. Erre a célra megfelelő volt a LINK180 nevű elem, mely beállítási opcióiban szerepel a fent említett beállítási lehetőség. Ennek segítségével mind a két szerkezeti kialakítás modellezhető volt. Az oldalfalakon egy darab, míg a tetősíkon két darab rács került elhelyezésre. A modell folytonossága, illetve a lokális alakváltozások elkerülése érdekében mind az oszlopok mind a gerendák belső övéhez került csatlakoztatásra a merevítés. A rácsozással kialakított modell ábráját a 19. ábra mutatja.



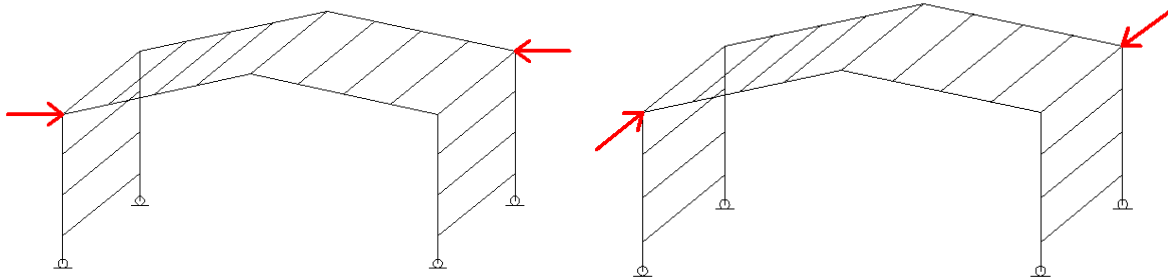
19. ábra A merevítőrácsozással ellátott (ii) modell

Mindhárom szerkezeti kialakítás esetén csupán a modell negyede került felépítésre, ezt követően jól megválasztott lokális koordinátarendszerek segítségével, valamint az ezekre való tükrözéssel lehetett előállítani a fent is bemutatott teljes geometriát. A tükrözés során esetlegesen létrejövő elemduplázódások elkerülése érdekében a program lehetőséget adott az elemek merge-elésére, vagyis az egy helyen lévő elemek összemosására. Ez az opció tette lehetővé, hogy a modell a tükrözéseket követően is stabilan viselkedjen.

6.2.6. A terhelések bemutatása

Mint a paramétereknél már szóba került a modellekre kétféle terhelési esetet működtettem. Ez a két eset egyértelműen meghatározta a fedés kétirányú merevségét. Mindkét esetben erővezérelt vizsgálatot végeztem, majd a keletkezett maximális elmozdulás értékének kinyerésével, illetve ezek hányadosával határoztam meg a teljes szerkezet merevségét. Az erő értéke minden vizsgálat esetén 10 kN értékű volt, helye, a lokális tönkremenetek, illetve nagy lokális alakváltozások elkerülése érdekében a keretállások sarokpontjain kerültek elhelyezésre. Hogy a nyírást hűen modellezni tudjam, mindkét

terhelési esetben erőpárokat működtettem a szerkezetre, így a panelek a két hatás eredményeképpen nyíródásnak voltak kitéve. A két különböző terhelési esetet a 20. ábra mutatja be.



20. ábra A hosszirányú és keresztirányú terhelés bemutatása

6.3. A modell futtatása, eredmények kinyerése

Ahogy a paramétereknél már említésre került összesen közel 500 modell futtatása volt szükséges, így már az elején nyilvánvalóvá vált, hogy bizonyos fajta automatizmust kell programozni a modellfájlokba, hiszen lehetetlen lett volna ennyi különálló eset létrehozása. Erre a program által kínált lehetőségek közül a macro fájlokba elhelyezett argumentumokat választottam. Az egyes argumentumok a paraméterként szereplő változók helyére kerültek beépítésre, így csupán elegendő volt ezek értékét megadni, nem kellett 500 különböző fájlt előállítani. További probléma Az adatok kinyerése volt, hiszen az egyes paraméterekkel a modellek egymás után közvetlenül futottak, így eredmények kirajzolására nem volt lehetőség. Ennek áthidalására az általam keresett kétirányú maximális elmozdulások értékeit. txt fájlba írtam ki, melyet a program minden modell után frissített, így egy viszonylag nagy adatbázisban megkaptam az összes futás eredményét. Mivel a keretállás-távolság illetve a trapézlemez profilméretének változtatása módosította a trapézlemez hullámok számát is, így ez sajnos nem volt automatizálható, ebben az esetben hat külön inputfájl előállítása vált szükségessé (4-5-6 m-es fesztávokra és mindkét típusprofilra).

```
ltp206.mac, Z150, 2.00, 0.7, 'ZTEHER',
ltp206.mac, Z150, 2.50, 0.5, 'XTEHER',
ltp206.mac, Z150, 2.50, 0.5, 'ZTEHER',
ltp206.mac, Z150, 2.50, 0.7, 'XTEHER',
ltp206.mac, Z150, 2.50, 0.7, 'ZTEHER',
ltp206.mac, Z200, 1.50, 0.5, 'XTEHER',
ltp206.mac, Z200, 1.5, 0.5, 'ZTEHER',
ltp206.mac, Z200, 1.50, 0.7, 'XTEHER',
```

21. ábra Néhány, az LTP 20-as profilú 6m-es fesztávhoz tartozó modell a paraméterek értékeivel

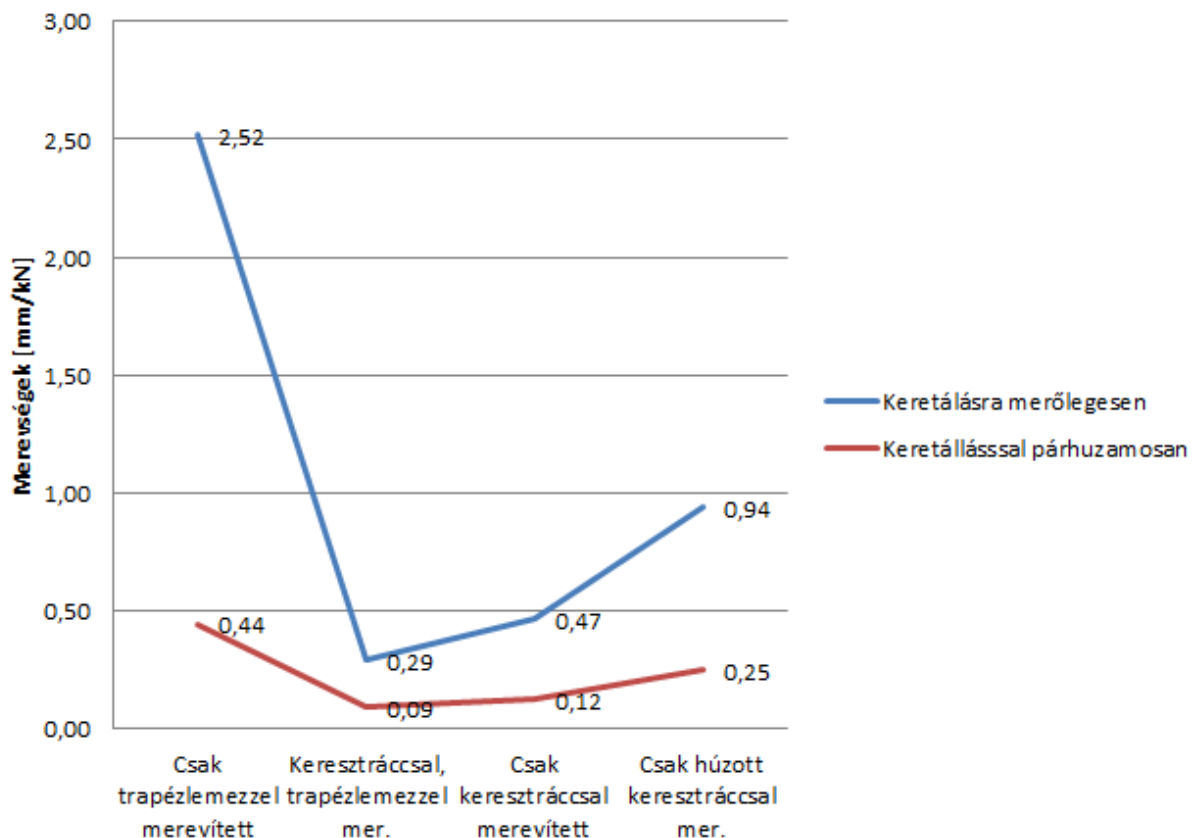
Minden esetben elsőrendű lineáris számítást végeztem, a már említett eredményfájlba a terhelési iránynak megfelelő maximális és minimális elmozdulások értékét kértem le, így ezzel a maximális abszolút elmozdulás értékének megszerzése biztosított volt. Továbbá a könnyebb értékelés és ábrázolás érdekében az elmozdulások erővel elosztott hányadosát, vagyis a merevség értékét is kirattam az egyes futások eredményei közé.

7. Eredmények kiértékelése

Az eredmények kiértékelése során igyekszem bemutatni a végeselemes modellek során változtatott paraméterek hatását a szerkezet tényleges merevségére. Mivel mind az 500 modell eredményét nem lenne lehetőség bemutatni, valamint lényeges új információkat nem is tartalmaznának, így csupán a szélsőértékeket, valamint az egyes folyamatok tendenciáját tartalmazzák a következő fejezetek. Minden eredmény a fent bemutatott verifikációs vizsgálatok alapján jól közelíti a valós viselkedést. Az alábbiakban bemutatott eredmények a fent említett modellekkel készültek eltérés egyik esetben sem volt tőlük. Az egyes eseteknél minden esetben feltüntetésre kerülnek az állandó paraméterek értékei, valamint a változó adat értékei is.

7.1. A kereszttrácsolásos merevítés hatása

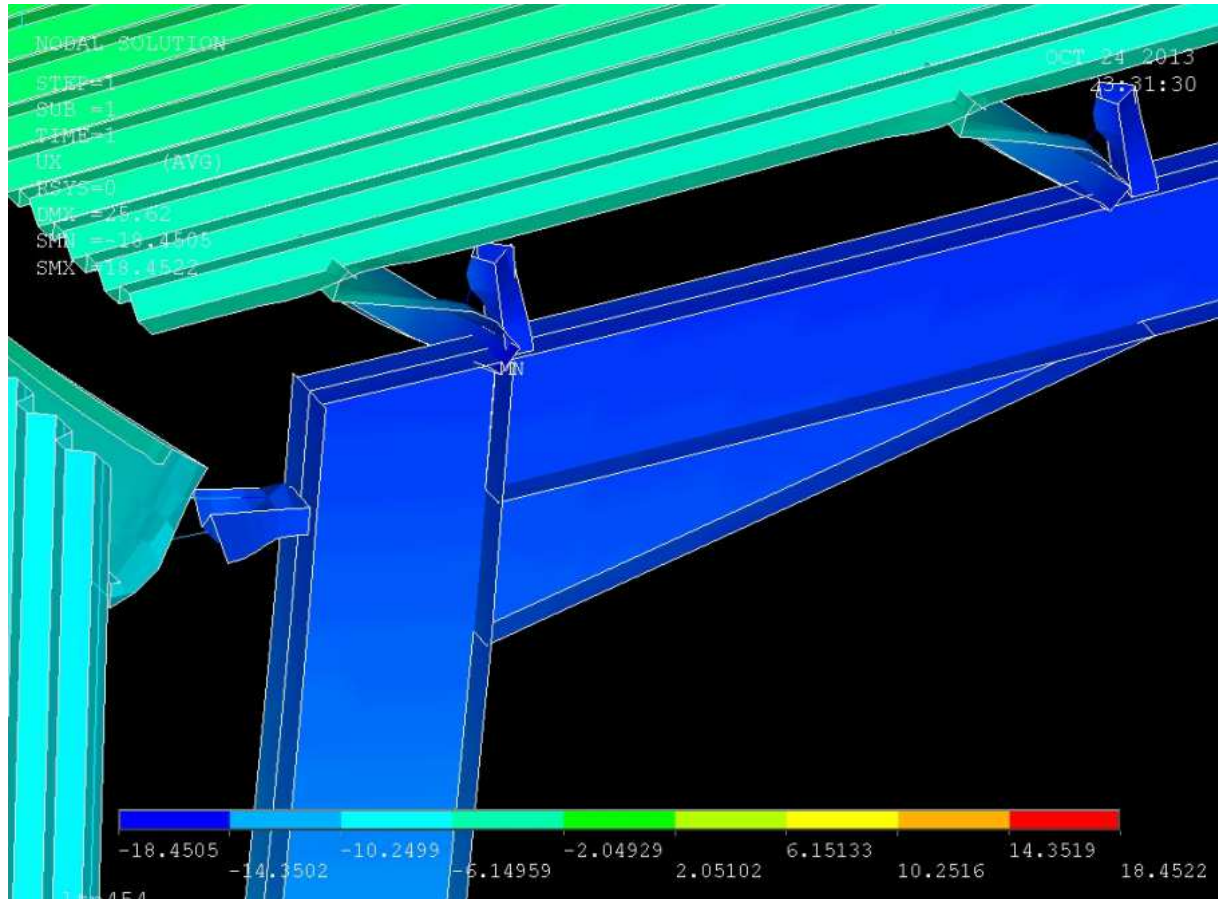
Ezen eset bemutatásakor törekedtem a legáltalánosabb modellek kiválasztására, hogy hűen bemutatható legyen a trapézlemez fedés illetve a rácsolás merevítő hatása. Ennek érdekében egy 5 m keretállás-távolságú, LTP20-as profilú és 0,7mm-es vastagságú trapézlemez és C200 valamint Z200-as 1,5mm falvastagságú falvázartó/szelemen került alkalmazásra. Az alábbi 5. diagram mind a keretállásra merőleges (Z irány) mind azzal párhuzamos (X irány) esetet is bemutatja.



4. diagram A merevítőrendszer hatásának bemutatása

A diagramon jól látható, hogy a szerkezet a keretállásban, mint ahogy várható is volt lényegesen merevebben viselkedik, mint a keretállításra merőlegesen. A korábbi várakozásoknak eleget téve a trapézlemezzel és keresztráccsozással is ellátott eset viselkedett a legmerevebben. A vizsgálat során a modellben változtatásokat kellett alkalmazni, ugyanis a trapézlemezes fedéssel ellátott modellben lényeges lokális elmozdulások léptek fel az erőbevezetés közelében lévő szelemeneknél, így az valótlan elmozdulás eredményeket adott, ennek következtében a csupán keresztráccsozással ellátott keret nagyságrenddel merevebben viselkedett. A lokális elmozdulást a 22. ábra mutatja be. Ennek kiküszöbölése érdekében a vizsgált elmozdulások tartományát csupán a két keretállásra szűkítettem, így ezen hatások nem jelentkeztek ebben az esetben. A fent közölt diagram már ezen eredményeket közli. Annak az oka, hogy a vártnál kisebb merevítő hatása van a trapézlemeznek abban keresendő, hogy az oldalfali és a tetősíkban elhelyezkedő profil semmilyen módon nincs kapcsolva, ezzel szemben a merevítőrendszerek egy pontban kapcsolódnak. Ezen probléma elhárítása, mint továbbhaladási célként szerepel. Ez a hatás jellemző volt az általam vizsgált mindegyik modell-pár esetén, vagyis a szelemenméretekől illetve a keretállítás-távolságtól függetlenül mindegyik esetben a csupán keresztráccsal merevített keret merevsége meghaladta a csak trapézlemezes fedéssel ellátott keretét. Azonban meg kell említeni, hogy még ez az eredmény

is figyelemre méltó, hiszen a napjainkban csupán, mint burkolatként szereplő trapézlemez ilyen feltételek mellett is közel fele annyit merevít a szerkezeten, mint a konkrétan erre a célra telepített merevítőrendszer. Ezen eredmény figyelembevételével a merevítőrendszer sokkal gazdaságosabban kialakítható, hiszen ugyanazon merevség eléréséhez trapézlemezes fedéssel együtt lényegesen kisebb keresztmetszeti méretek alkalmazása is elegendő.



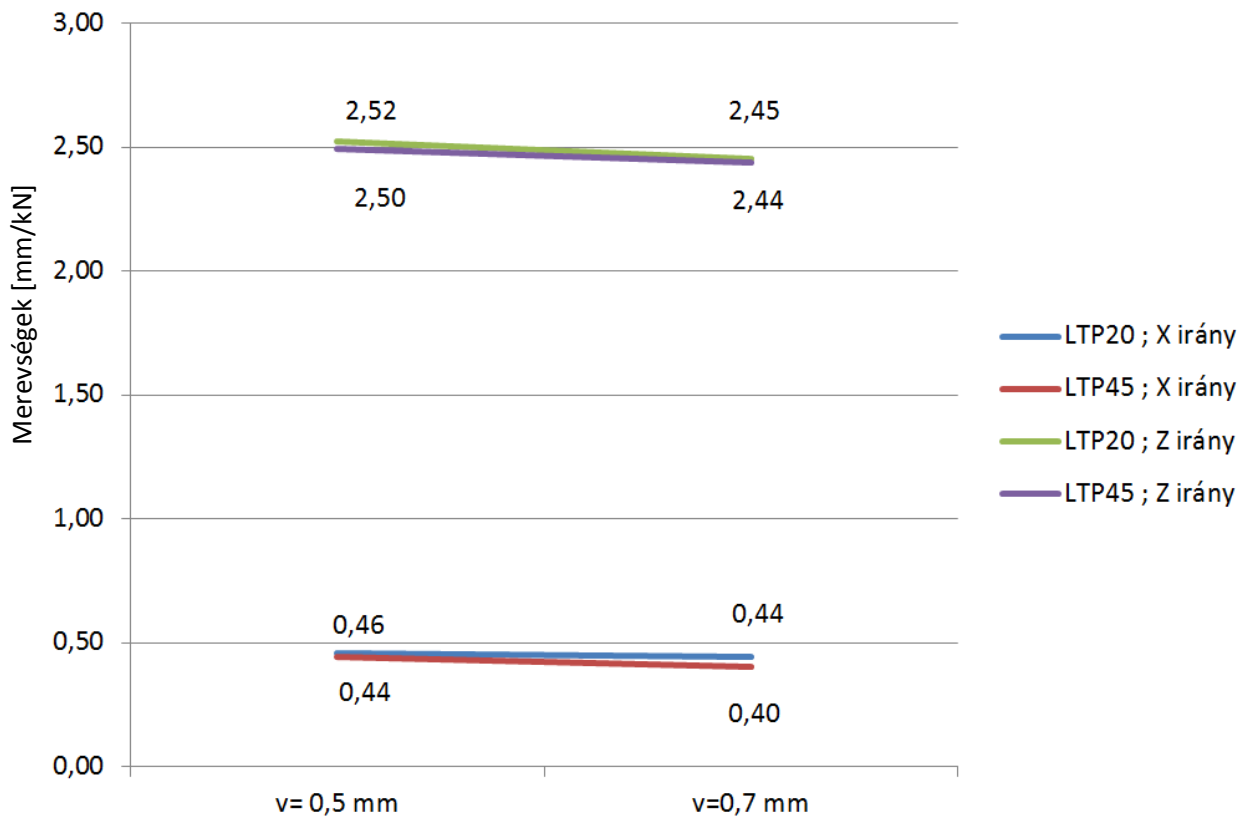
22. ábra Lokális elmozdulás az erőbevezetés közelében lévő szelemeneken

7.2. A trapézlemez méreteinek hatása a merevségre

Ebben az esetben a trapézlemez profilja valamint a vastagsága a változtatandó paraméter, a többi érték rendre a következő:

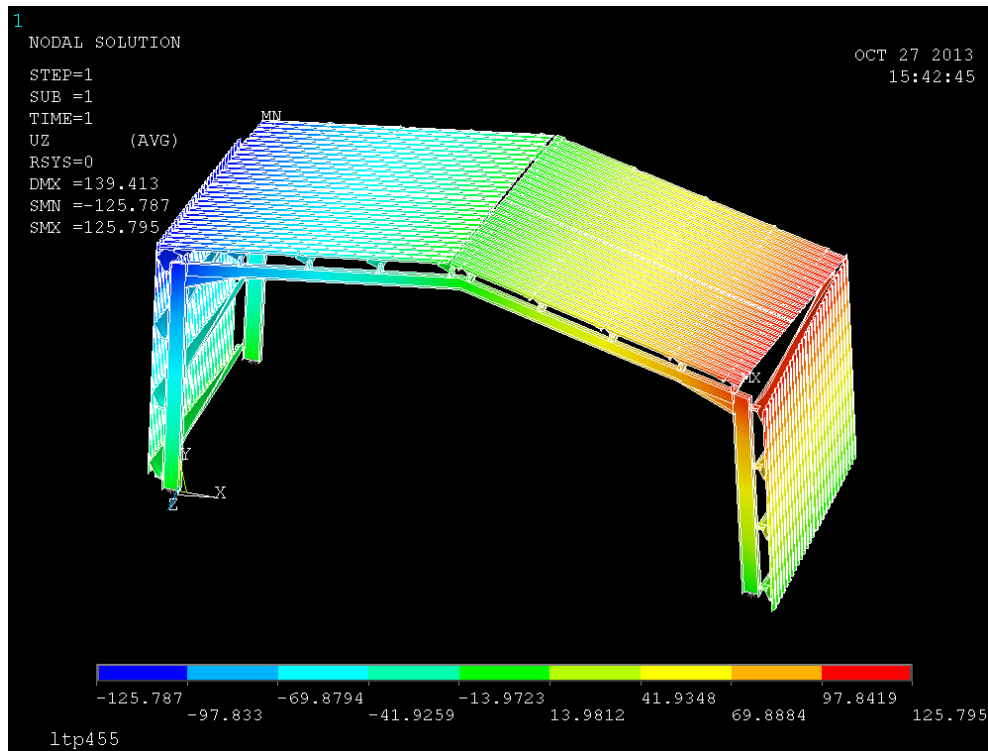
- szelemen/falvázgerenda profil: Z200/C200
- szelemen/falvázgerenda vastagság: 1,5 mm
- keretállás-távolság: 5 m

A kísérlet folyamán itt is vizsgálatra került mind a kétirányú terhelés. Az eredményeket a trapézlemez tulajdonságainak függvényében az alábbi 6. diagram mutatja be



5. diagram A trapézlemez méretek hatása a merevségre

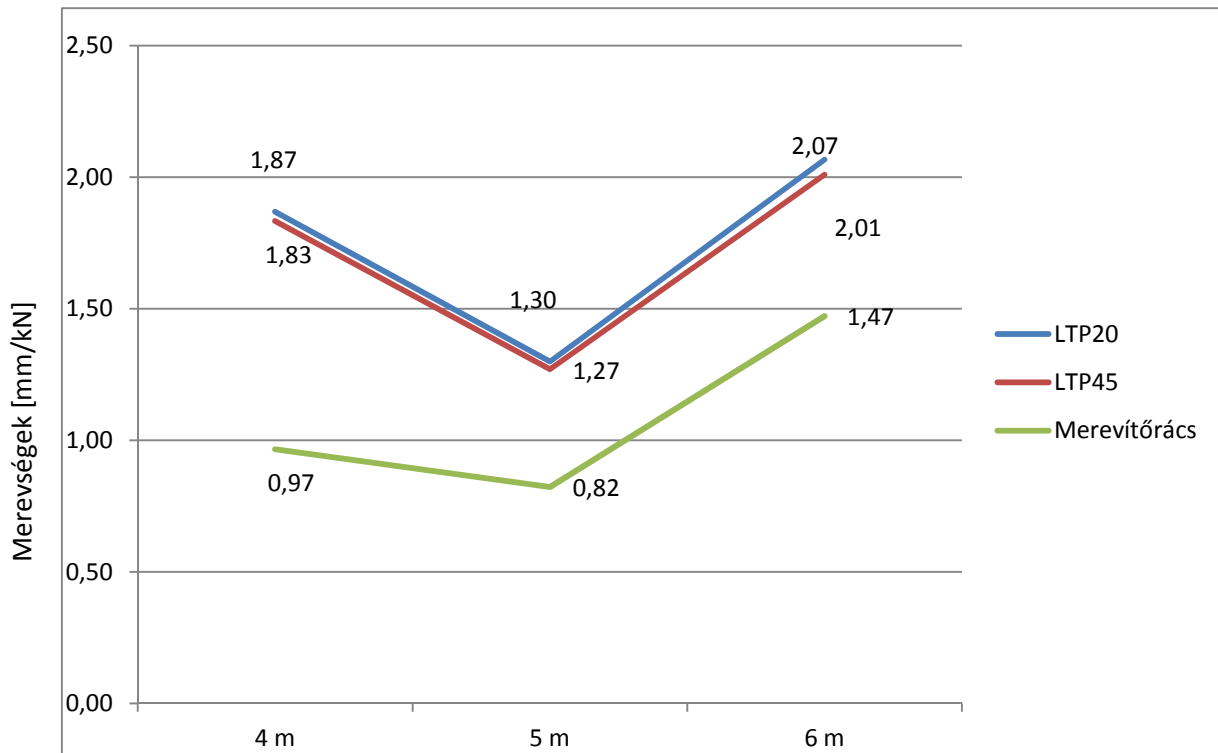
Mint ahogy a fenti diagram is mutatja a várt eredményeknek megfelelően a trapézlemez profilméretének, valamint vastagságának növekedésével is merevebbé válik a szerkezet. Ez a növekedés, mint ahogy a diagram is mutatja viszonylag kismértékű, ugyanakkor kijelenthetjük, hogy a változtatás mértékének megfelelőnek mondhatók, hiszen például a vastagság esetén a teljes megváltozás értéke 0,2mm volt. Azonban a változás tendenciája mindegyik esetben a valósággal egyezőnek, a várt eredménynek megfelelőnek mondható. A keretállásra merőleges Z irány elmozdulásai ebben az esetben is jelentősen nagyobbak voltak a keretállásban lévőkhöz képest, mely a merevségek értékében is szembetűnő. A 23. ábra a fent bemutatott eredményekhez tartozó Z irányú elmozdulást mutatja be.



23. ábra Z irányú elmozdulások a modellen

7.3. A keretállás-távolság hatása a merevségre

Fontos kérdés volt a trapézlemez hosszának hatása is, vagyis az egyes keretállások közötti távolság. A különböző trapézlemez profilok viselkedése az esetben is fontosak lehetnek, így a keretállás-távolság mellett ezek kerültek megjelenítésre a 7. diagramon. Mivel a keretállás-távolság méretének megváltoztatása nincs jelentősebb hatással, a keretsíkkal párhuzamos elmozdulások mértékével, így ebben az esetben az alábbi diagramon csupán a keretállásra merőleges, Z irányú merevségek kerültek feltüntetésre. A szelemenek mérete ebben az esetben a középértéknek mondható Z200/C200 valamint $v= 2,0$ mm volt. A trapézlemez vastagság 0,5 mm-es értékkel került figyelembe vételre. Ebben az esetben továbbá érdekes lehet az keresztárcsozással ellátott modell reakciója az áthidalandó távolság változására, így az alábbi diagramon ennek értékei is megtalálhatóak.



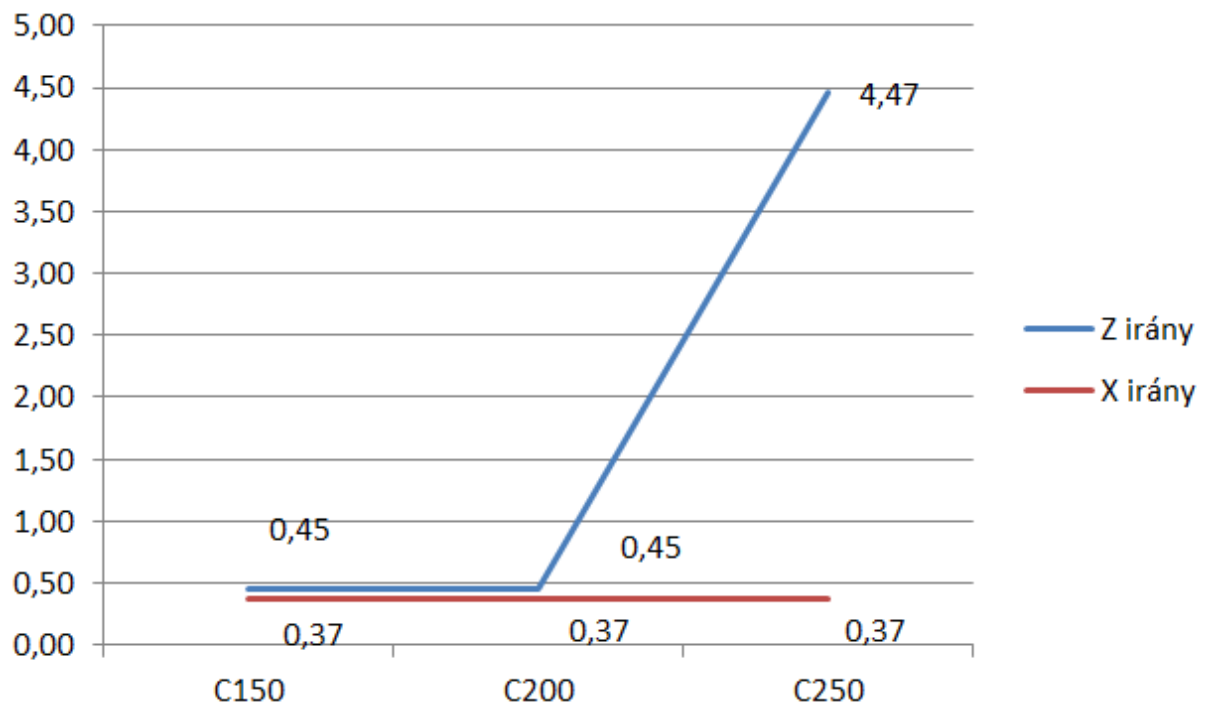
6. diagram A keretállás változás hatása a merevségre

A fenti diagram tükrében kijelenthető, hogy mindkét szerkezeti kialakítás esetében létezik egy optimális keretállás-távolság melynél az egyes merevítők (kereszttrácsozás illetve trapézlemez fedés) hatásfoka optimális. Ez a vizsgált esetben az 5 m-es állásközre igaz, hisz mind a három vizsgálat erre a távolságra adta a legkisebb, azaz a legmerevebb értéket. A legnagyobb keretállás-távolságoknál szintén a várt eredményt könnyelhetjük el, hiszen a merevítés ekkora fesztávon már nem képes olyan hatékonyan viselkedni, mint a megelőzőeknél. A kisebb fesztávnál kapott szintén kisebb merevség a geometriával magyarázható: a merevítőrácsozásnál a magasság/szélesség arány elmozdul így a feszítőkábelek egymáshoz viszonyított szöge sem az optimális. Megfigyelhető továbbá, hogy a merevítőráccsal ellátott modell itt is minden esetben merevebben viselkedik, mint a csak trapézlemezzel burkolt csarnok, azonban az optimális keretállás távolságnál ez a különbség csupán 35% körüli.

Ezen megállapítások jól tükrözik, hogy a terheknek megfelelő kialakítást választva a trapézlemez fedés közel azonos merevítő hatással bír, mint az oldalfalon és tetősíkban elhelyezett merevítő kábelek.

7.4. A falvázgerendák és szelemenek hatása a merevségre

A falvázgerendák és szelemenek hatása, mint ahogy már a korábbiakban említésre került két komponensből tevődik össze: az egyik egy a keresztmetszeti mérettel együtt növekvő növelő hatás, hiszen minél nagyobb a keresztmetszet annál nagyobb lesz a gerenda merevítő hatása is. Azonban ezzel szemben áll egy sokkal nagyobb értékű csökkentő tényező is, mely miatt a szerkezet merevsége csökken, hiszen a szelvény növelésével a trapézlemez egyre messzebb kerül a keret síkjától és ezáltal a nagy külpontosság által kevésbé tudja kifejteni merevítő hatását. A 8. diagramon bemutatásra kerülnek a szelemenek profilméret változásának hatásai a merevségre. A trapézlemez ebben az esetben egy LTP20 profilú 0,5mm vastagságú elem, a keretállás távolsága 4 m, bemutatja az X és Z terhelési irányt is.



7. diagram Szelemenméret hatása a merevségre

Ahogy a diagramon is látszik a szelemenméret változása nincs hatással a keretállással párhuzamos merevségekre, azonban az arra merőleges merevségek a profilméret növelésével folyamatosan csökkennek. Ez a csökkenés a 150-200 mm-es ugrás esetén csupán néhány ezred mm/kN azonban a 200/250-es ugrás esetén az érték megközelítőleg a tizede a az előzőnek. E is a korábban megállapított tényt igazolja, miszerint a trapézlemez külpontosságának növekedése sokkal jelentősebb merevségcsökkenést okoz, mint amekkora merevségnöveléssel a szelemen keresztmetszet növelése jár.

8. Értékelés, továbbhaladási irány

8.1. Értékelés

Az elvégzett vizsgálatok tükrében kijelenthető, hogy a trapézlemezes fedés merevségének hatása jelentős, a tervezési folyamatban figyelembe vehető. Holott az előzetes vizsgálatok nagyobb eltérést mutattak a csupán merevítőráccsal ellátott modellhez képest, az itt kapott eredmények is szemléltetik, hogy a burkolat merevítő hatása nem elhanyagolandó. Az esetlegesen megállapított modellbeli változtatások segítségével, mely magában foglalja az oldalfali és a tetőlemez egymáshoz kapcsolását, valamint a teljes trapézlemez együttműködését, ez az eredmény tovább növelhető, mely még jobban tükrözi a valóságot. Ezen megállapítások természetesen csak megfelelő rögzítések mellett tekinthetők valósnak. Kijelenthető, hogy a végeelemes modell jól követi a valóságot, hiszen a verifikációs vizsgálatok során azzal kellő egyezést mutatott. Megállapítható, hogy az általam vizsgált egyes paraméterek a vártnak megfelelően módosították az eredményeket, a tendencia mindenhol nyomonkövethető volt. Továbbá megállapítható, hogy a pereméterek kicsiny változása, mely szinte minden szerkezeti elem esetén milliméter alatti volt, valóban hatással van a teljes szerkezet merevségére, azonban ez a változás a bevitt adatban létrejövő változáshoz hasonlóan meglehetősen kis léptékű.

Megjegyzendő továbbá, hogy a fent bemutatott modellek futtatása komoly számítógéptechnikai háttérrel igényel. A megoldandó egyenletek száma 1,5 millió körüli. Egy modell teljes futási ideje közel egy óra, egy átlagos kapacitásokkal rendelkező számítógépen (3GB RAM, Intel DUAL CORE processzor), mely ekkora számú vizsgálatoknál lehetetlen helyzetet teremt. (a közel ötszáz modell futása így több mint 20 teljes napot venne igénybe). Egy komolyabb teljesítményekkel bíró számítógépen (8GB RAM, Intel i5 processzor), mellyel a fent bemutatott modellek is futtatásra kerültek az ötszáz modell lefutásának ideje 13,5 órát vett igénybe. A modell további pontosítása, fejlesztése esetén (végeelemes háló sűrítése, több szabadságfokú végeelem használata stb.) tehát elengedhetetlen, hogy a felhasználó komoly számítógépes technikával rendelkezzen. Mindezeket figyelembe véve kijelenthető, hogy a téma aktuális, a mindennapi gyakorlatban előkerülő kérdéseket is érint, és további kutatásokkal jelentősen hozzájárulhat a költséghatékony ipari építkezéshez.

8.2. Továbbhaladási irány megjelölése

A bemutatott vizsgálatok kiegészítéseként valamint a verifikáció pontosítása érdekében feltétlenül szükséges lenne egy teljes léptékű kísérlet, mely magában foglalja mind a trapézlemez fedés, mind pedig a keresztrácsoz vizsgálatát is. Ezen felül a már említett oldalfali és tető-trapézlemez kapcsolatának megoldása fontos feladat, hiszen ennek megoldásával közelebb kerülhetünk a szerkezet tényleges viselkedéséhez. Szintén megjelölendő továbbhaladási irányként az ECCS számításban felfedezett hiányosság, miszerint a trapézlemez fedés merevségének vizsgálata során a számításban nincs figyelembe véve a lemez keretsíktól való távolsága, így a számítás sok esetben hibás eredményeket adhat. Ennek megoldására segítséget nyújthat a vizsgálatokból származó adatsor, illetve a már említett teljes léptékű kísérlet eredménye is.

9. Irodalomjegyzék

- [1] **Radnay L.-Iványi M.:** "Effect of cladding and cross-bracing on steel frames", Eurosteel 2011, Vol. C, pp. 2169-2174
- [2] **MSZ-EN-1993-1-3-2007:** Kiegészítő szabvány hidegen alakított elemekre, pp. 74-100, 2007
- [3] **ECCS (European Convention for Constructional Steelwork):** ECCS European Convention for Constructional Steelwork, 1995
- [4] **Kovács Gy.:** „Könnyűszerkezetes tetőrendszer nyírási merevségének meghatározása”, Acél VEM tanulmány 2012.
- [5] **Iványi M.- Kálló M.- Tomka P.:** "Experimental investigation of full-scale industrial building section" Stability of Steel Structures, in memory of Ottó Halász, Vol. 1, pp. 509-516 AKADÉMIAI KIADÓ, Budapest, 1988.
- [6] **H. Wright and K. M. Hossain:** „In-Plane Shear Behaviour of Profiled Steel Sheeting” Thin-Walled Structures Vol. 29, Nos. 1-4, pp. 79-100, 1997
- [7] **Z. Ye, R. Kettle , L. Li :** „Analysis of cold-formed zed-purlins partially restrained by steel sheeting” Computers and Structures 82 (2004) pp. 731–739
- [8] **M. Kachachian:** „Experimental analysis of cold-formed Z-purlin and sheeting interaction” PhD Dissertation, Budapest University of Technology and Economics 2012.