

SZENT ISTVÁN EGYETEM
YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR

DIPLOMAMUNKA

Olajos Katalin

2015



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD, Eur Ing
intézetigazgató, főiskolai tanár



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
ÉPÍTŐMÉRNÖKI INTÉZET
Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.
Tel.: +36-1-252-1270
e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

SZAKDOLGOZAT KIÍRÁS 2014

Olajos Katalin

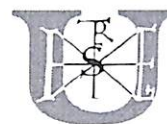
Nappali Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe:	Acél keretszerkezetek költséghatékony kialakítása a talpcsomópontok merevségeinek és határnyomatékainak figyelembe vételével
Belső konzulens:	Dr. Szalai József adjunktus
Külső konzulens:	-

A szakdolgozat beadási határideje: 2015. január 16., péntek 12⁰⁰

Budapest, 2015. január 12.


Dr. Dombay Gábor
intézetigazgató



Részletes feladatkiírás

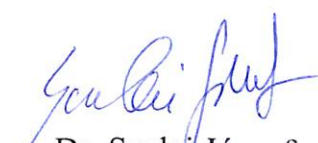
Olajos Katalin

Nappali Építőmérnök
hallgató részére

Acél keretszerkezetek költséghatékony kialakítása a talpcsomópontok merevségeinek és
határnyomatékainak figyelembe vételével
című szakdolgozatához

1. Előtanulmány melegen hengerelt szelvényű csarnokok és csomópontjaik kialakítási
lehetőségeiről
2. Keretek mechanikai viselkedésének vizsgálata az oszloptalpi merevség függvényében,
oszloptalp kapcsolat komponenseinek elemzése
3. Az Eurocode szerinti méretezési elvek ismertetése
4. A különböző keretek számítása és optimális megtervezése; eredmények elemzése,
értékelése
5. Egy mintául szolgáló keretszerkezet kiviteli terveinek elkészítése

Budapest, 2015. január 12.


Dr. Szalai József
belső konzulens

Acél keretszerkezetek költséghatékony kialakítása
a talpcsomópontok merevségeinek és határnyomatékainak figyelembe vételével

Készítette: Olajos Katalin

Konzulens: Dr. Szalai József PhD

Szent István Egyetem - Ybl Miklós Építéstudományi Kar
2014.

Tartalom

0. Bevezetés.....	5
I.1. Szerkezeti acélok	7
I.2. Acélszerkezetű csarnokok.....	9
I.2.1. Követelmények.....	11
I.2.2. Melegen hengerelt szelvények	11
I.2.3. Keretszerkezetek kialakítása	11
I.2.4. Csomóponti kialakítások a szerkezeten.....	13
I.2.4.2. Homloklemez-es kapcsolatok jellemzői	15
I.2.4.3. Oszlop-talp csomópont	17
II. Előtanulmány, a talplemez-es kapcsolatok és keretek mechanikai viselkedésének vizsgálata	20
II.1. Talpcsomópontok méretezése	20
II.1.1. A méretezés lépései:	20
II.2. Keretek mechanikai viselkedése a keretállás távolság figyelembe vételével	23
II.3. Homloklemez-es kapcsolatok	27
II.3.1. A 4 csavaros homloklemez-es kapcsolatok.....	27
II.3.1.1. Különböző talplemezek esetén:.....	27
II.3.1.2. Különböző talplemez vastagságok esetén:	29
II.3.1.3. 4csavaros talplemez, 320x600mm-es:.....	31
II.3.1.4. 4csavaros talplemez, 320x560mm-es:.....	33
II.3.1.5. 4 csavaros talplemez, 540x560mm-es:.....	33
II.3.1.6. 4csavaros talplemez, 650x560mm-es:.....	34
II.4. A 6 csavaros homloklemez-es kapcsolatok.....	35
II.4.1. Különböző talplemezek esetén:.....	35
II.4.2. Különböző talplemez vastagságok esetén:	36
II.5. A 8 csavaros homloklemez-es kapcsolatok.....	40
II.5.1. Különböző talplemezek esetén:.....	40

II.5.2. Különböző talplemez vastagságok esetén:	42
II.5.3. Különböző csavar anyagminőségek esetén:	43
II.6. A 4-6-8 csavaros homloklemez kapcsolatok, összegzés.....	45
II.7. Kapcsolati merevségek és határnyomatékok a keretállás távolságok függvényében	46
II.7.1. Változó csavarméret esetén, 4 csavaros kapcsolatok	47
II.7.2. Változó talplemez vastagságok esetén, 4 csavaros kapcsolatok	49
II.7.2. Változó csavarméret esetén, 6 csavaros kapcsolatok	50
II.7.3. Változó talplemez vastagság esetén, 6 csavaros kapcsolatok	51
II.7.4. Változó csavar anyagminőségek esetén, 6 csavaros kapcsolatok	51
II.7.5. Változó csavar méretek esetén, 8 csavaros kapcsolatok	53
II.7.6. Változó talplemez vastagságok esetén, 8 csavaros kapcsolatok	54
II.7.7. Változó csavar anyagminőségek esetén, 8 csavaros kapcsolatok	55
III. Optimalizált keretek	57
III.1. Terhek felvétele	58
III.2. Stabilitás	63
III.3. Optimalizált keretek vizsgálati eredményei	65
III.3.1. A vizsgálat összefoglalása - a 16m keretállás távolságra vonatkozóan:	65
III.3.2. A vizsgálat összefoglalása - a 20m keretállás távolságra vonatkozóan:	66
III.3.3. A vizsgálat összefoglalása - a 24m keretállás távolságra vonatkozóan:	68
III.3.4. A vizsgálat összefoglalása - a 28m keretállás távolságra vonatkozóan:	69
III.3.5. A vizsgálat összefoglalása - a 32m keretállás távolságra vonatkozóan:	71
III.3.6. A vizsgálat összefoglalása - a 10m oszlopmagasságú keretállásokra vonatkozóan:	72
III.3.7. A vizsgálat összefoglalása - a kapcsolatok kialakítását illetően:	75
III.4. Optimalizált keretek költségbeclése.....	76
III.4.1. 10m oszlopmagasságú optimalizált keretek költségbeclése.....	83
III.5. Optimalizált alaptetek	84

III.6. Összefoglalás az optimalizált kereteket és alaptesteket illetően.....	87
III.7. Összefoglalás az optimalizált kereteket és alaptesteket illetően a költségbecslés függvényében.....	92
III.8. Összességében a különböző keretállás távolságokat és a költségeket illetően:.....	99
IV. Csarnokszerkezet kivitelezési terve	101
Felhasznált irodalom jegyzéke:	102
Nyilatkozat	104

0. Bevezetés

Diplomamunkám témája az acél keretszerkezetek kialakítása a talpponti csomópontok kialakításának függvényében. Választásom oka, mely során előnyben részesítettem az acélból kialakított tartószerkezetet a vasbetonból kialakított szerkezettel szemben, az acél anyagszerkezetében és kedvező tulajdonságaiban rejlik.

A tisztán acélból készült tartószerkezetek műszakilag majdnem minden esetben előnyösebbek a hagyományos téгла-, kő-, beton-, és vasbetonszerkezeteknél, mert azonos teherbírás mellett lényegesen könnyebbek, azonos támaszköz esetén kisebb a szerkezeti magasságuk, nagyobb áthidalásoknál is alkalmazhatók, gyártásuk jobban gépesíthető, kisebb helyszíni élőmunka igénye van, egyenletes és megbízható minőségű, jól kihasználható a húzószilárdsága, nagy szilárdságú és szívósságú, nagy rugalmassági tényezővel rendelkeznek, méretezésüknél kevesebb a bizonytalanság, könnyen alakíthatók (kovácsolható, hengerelhető, sajtolható, húzható, önthető), gyakorlatilag korlátlan a megmunkálhatósága (fűrhető, vágható, fűrészselhető, forgácsolható, hegeszthető, pácolható, csavarozható), az ütésekkel és ismételt igénybevételekkel szemben nagy ellenálló képességgel rendelkezik - mindezen tulajdonságok egyetlen más tömegméretekben gyártott építőanyagnál sem találhatók meg együttesen, jól vizsgálható, könnyen fenntartható, bővíthető, erősíthető, áttelepíthető és felújítható szerkezetek, melyek bontási anyaga teljes mértékben újrahasznosítható.¹ Hátránya viszont a vasbetonszerkezettel szemben, hogy jelentős az alapanyag ára, kedvezőtlen a szilárdsági kihasználhatósága nyomó igénybevételek esetén (stabilitásvesztési problémák), a szerkezet viszonylag kis merevséggel rendelkezik az öszvértartókhoz képest és a rendkívül alacsony tűzállósága. Mindezek ellenére egyes esetekben más megoldás, mint acélszerkezet, a gyakorlatban nem jöhet szóba: mozgatható vízépítési szerkezeteknél (például zsilipkapuk), mozgatható hidaknál (nyitható hidak, vasúti fordítókorongok, tolópadok), nagy fesztávú tartószerkezeteknél. Az acél a ma ismert egyik legkiválóbb tartószerkezeti építőanyag, mely önállóan (acélszerkezetként) és más anyagokkal kombinálva (vasbetonszerkezethez csatlakoztatva öszvértartóként) is alkalmas a tartószerkezeti funkció betöltésére, hiszen megfelel a hatályos műszaki követelményeknek, előírásoknak egyaránt.

Mindezek figyelembe vétele után választottam a melegen hengerelt szelvényekből létrehozott szerkezeteket és a homloklemez csavarozott talplemez csomóponti kapcsolatokat.

¹ Forrás: Halász Ottó - Platthy Pál: Acélszerkezetek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.

Munkámat egy parametrikus tanulmánnyal kezdtem, mely során különböző geometriai kialakítású, eltérő szelvényekből felépített keretszerkezetek talppontjában és a tartóoszlopok tetején ébredő igénybevételeit vizsgáltam meg. Ezt követően folytattam a kutatásomat egy ideális kialakítású talpcsomóponton, ahol létrehoztam különböző merevségű kapcsolatokat és ezen kapcsolatok merevségeit analizáltam a határyomatékok és a kezdeti merevségek függvényében. Mindezek után az eltérő kialakítású keretekre elhelyeztem a vizsgált talpponti kapcsolatokat és azokat együttesen elemeztem tovább. Az így kapott eredményeket feldolgozva további optimalizációt végeztem, melyet kiegészítettem költségbecsléssel, ezáltal kiválasztottam egy szerkezetet, melyet a legjobban megtervezhetőnek, kivitelezhetőnek és leginkább gazdaságosnak véltem. Ezt a tervezést tartalmazza a diplomamunkám további része.

Célom mindezen vizsgálatokkal és kialakításokkal az volt, hogy mélyebb ismereteket szerezzek a szerkezet statikai viselkedéséről, az igénybevételek alakíthatóságáról, alakulásáról, a csomópontok tulajdonságairól és a kapcsolatok befolyásáról az egész szerkezetet tekintve. Ennek megfelelően parametrikus tanulmányom során csak a talpponti kapcsolatot vizsgáltam, ahol már egyetlen paramétert megváltoztatva a teljes szerkezet viselkedése, igénybevételei megváltoznak, annak minden komponensével együtt. Mindezek mellett kitekintést teszek az acélszerkezetű kialakítások lehetséges módjairól, mert napjainkban megnőtt a szerepük az ipari és magáncélú megoldások területén, s mert a témám jellege megkívánja, hogy említést tegyek ezekről, valamint az oszlop-gerenda és gerenda-gerenda kapcsolatokról, azok kialakításáról, az igénybevételek alakulásáról, mindazonáltal ezek további vizsgálatától eltekintek.

I.1. Szerkezeti acélok

A hidak, épületszerkezetek, csőtávvezetékek, hajók, vasúti szerelvények építése, a gépgyártás óriási mennyiségben igényli az olcsó, mégis kedvező mechanikai tulajdonságú, nagy folyáshatárú és nagy alakváltozó képességű anyagot. Ezeknek az igényeknek a kis karbontartalmú ferrit-perlites szerkezetű acélok felelnek meg leginkább. Ebből az acéltípusból a világon több, mint félmilliárd tonnát gyártanak évente, ami a teljes fémfelhasználás felét is meghaladja. Rendkívül széleskörű alkalmazását segíti, hogy ezeket az acélokat igen változatos formában állítja elő a kohászat. Gyártanak ebből az acélból melegen hengerelt rúd- és idomacélt, durva-, közép és finom lemezt, széles- és abroncsacélt, szalagot, huzalt, kovácsolt termékeket mint rúdacélt valamint számos más formájú kohászati végterméket, többek között acélöntvényeket is.

A kis karbontartalmú ferrites-perlites acélok szerkezeti acélok néven ismertek. Az általános rendeltetésű szerkezeti acélokat az MSZ EN 10025:1998 előírásai szerint gyártják. Ezeknek az acéloknak a jellemzésére szolgáló legfontosabb adatokat bővebben lásd: Komócsin Mihály: Gépipari anyagismeret (COKOM Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2005.) című művében.

Az általános rendeltetésű acélok jellemző felhasználási területe a mechanikai igénybevételeknek kitett szerkezeteknek és gépalkatrészeknek a gyártása. Az általános rendeltetésű acélokból készült szerkezeti elemek, alkatrészek gyártását olyan alakadó technológiákkal végzik, melyek jelentős hőhatással nem járnak. Ezért ezeknek az acéloknak a leglényegesebb, így garantált értékei a mechanikai jellemzők, mint a folyáshatás, szakítószilárdság, szakadási nyúlás és az ütőmunka.

A szerkezeti acélok feldolgozásának egyik jellegzetes technológiája a hegesztés. Az ömlesztő hegesztés során az alapanyagnak a varrat melletti része nagy hőmérsékletre hevül. A hegfürdővel határos úgynevezett hőhatásövezetben az acél hosszabb-rövidebb ideig olyan nagy hőmérsékletre melegszik, hogy ott szemcsedurvulás, továbbá fázisátalakulás következhet be.

A hegesztett szerkezetek céljaira kifejlesztett és az MSZ EN 10113:1995 előírásai szerint gyártott, melegen hengerelt, hegeszthető, finomszemcsés szerkezeti acélok legfontosabb jellemzőit lásd: Komócsin Mihály: Gépipari anyagismeret (COKOM Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2005.) című művében. A mechanikai jellemzők némileg eltérőek a névleges vastagság függvényében. Szemben a karbonötvözéssel, a mikroötvözéssel elért szilárdság növekedéskor lényegesen kisebb mértékben csökken az alakváltozó képesség, sőt a

szívósság még növekszik is. Nikkel ötvöztetésével a ferrit szilárdsága nő. A nikkelötvöztetés egy további kedvező hatása hogy a ferrit szívósságát növeli, átmeneti hőmérsékletét csökkenti, mint az a növelt folyáshatárú (S 420, S 460 típusjelzésű) acélok esetében látható.

Az ömlesztő hegesztést követő gyors hűlés rideg, alakváltozásra képtelen, martenzites szövetszerkezet kialakulásához vezet. A hegesztés során nem a gyártmány teljes tömege melegszik fel, hanem csak a hegesztett kötés környezete, vagyis egyenlőtlen a hőmérséklet-eloszlás, és így egyenlőtlen hőtágulás illetve zsugorodás lép fel. Az egyenlőtlen hőtágulás a hegesztett kötés hidegebb és melegebb részei között akadályozott, ami feszültséget kelt. Az alakváltozásra gyakorlatilag képtelen martenzites szövetben a hegesztés keltette számottevő húzófeszültség repedéshez vezethet. A hegesztett kötésekben ez az úgynevezett edződési repedés, mely a martenzitképződés feltételeinek rontásával mérsékelhető, amely a karbonhoz hasonló hatású ötvözők mennyiségének korlátozásával érhető el. Azoknál az acéloknál ahol jellemző feldolgozási technológia a hegesztés, ott az acélnak nemcsak a vegyi összetételét, hanem a megengedett legnagyobb karbon-egyenértéket is garantálják a gyártók.² Ezzel szemben sokkal egyszerűbb feldolgozási eljárás, melegen hengerelt tartók esetén, a csavarozott kapcsolatok kialakítása, illetve a hegesztett-csavarozott kapcsolatok elhelyezése az acélokon, a szerkezeteken-melyekről a későbbiekben lesz szó.

² Forrás: Komócsin Mihály: Gépipari anyagismeret. COKOM Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2005.

I.2. Acélszerkezetű csarnokok

A gyakorlatban az egyszintes, csarnok jellegű létesítményeknél az épületvázakat - gazdaságossági okok miatt - vasbetonból készítik, de az acélszerkezetek elterjedése is számottevő növekedést mutat. A gyors, szerelt jellegű építés anyaga az acél, a nagy fesztávú csarnokoknál pedig már a beruházás költsége is alacsonyabb lehet a vasbetonhoz képest. A piacgazdaság fejlődése felértékelte az épületek rövid határidőre történő megvalósítását, mert annak is mérhető értéke van, ha egy benzikútállomás, egy áruház, raktár, gyártóüzem, felvonulási épület vagy egy sportcsarnok nem egy év alatt, hanem néhány hónap alatt épül meg. A gyorsaságot nemcsak a vázszerkezet, hanem az azt felöltöztető térelhatárolás és működtetést elősegítő gépészet korszerű, szerelt jellege is biztosítja.

A hetvenes években kialakult egy rendszerelvű építés, mely a mai építési rendszereknek is alapjául szolgál. A korábbi építési rendszereket alrendszerekre bontották, ezeket rendszer-komponensekre, majd anyagokra, alkatrészekre bontották. Alapja a tipizálás és egy szigorú modulkoordináció volt, melyben az alapmodul 10 centiméterben határozták meg, de a rendszerkomponensek a 30 centiméteres modul többszörösei voltak, így egy kialakítható csarnok fesztávolsága 12, 15, 18, 21, 24 m lehetett, a belmagasság pedig 60 centiméterenként emelkedhetett. Ezzel a módszerrel igen kevés csarnok került kivitelezésre, a humánigények és a technológiai lehetőségek megfelelősége miatt - az egyediségre való törekvés kapott inkább teret, mely megkívánta és a mai napig megkívánja, hogy minden építmény más és más legyen, mind belső és mind külső kialakításában egyaránt. Ezt váltotta fel a szőnyeg-elv, ahol a nagyméretű legyártott elemből leszabták a szükséges méretet (ez a rendszer a mai napig működik hegesztett síkhálók használata esetében).

Ma már modul nélküli méretrendet használunk, a kért méretet milliméteres lépcsőkben is elkészítik a gyártók. Azonban a mai csarnokszerkezet rendszerkomponenseit a hetvenes éveknek köszönheti. A csarnoképítésben használatos alrendszerek a következők:

- alapozás, padlószerkezet
- vázszerkezet (főtartó vagy oszlop - és tetőszerkezet, szelemen, falváz, merevítések)
- térelhatárolás (tetőfedés, oldalfal, kapu, ablak, felülvilágító-szellőző)
- belső födém szint
- épületgépészet (fűtés, energiaellátás, világítás, szellőzés).

Az alapozás a talajadottságoktól függően egyedi tervezést igényel. Ennek elősegítésére az alapra ható erőket az acélvázat gyártók adják meg, de további méretezés is szükséges lehet.

Jellemző a szoliteralapra helyezett csuklós kapcsolatú oszlop. Az oszlop alaptest kapcsolatra ajánlott megoldásokat dolgoztak ki, de az egyedi statikai méretezés e kapcsolat esetében sem elhanyagolható.

A vázszerkezet tartóttípusok szerint határozzák meg (például hegesztett I-tartókból készült főtartókeret) és ezek csomóponti kialakításának elveit tipizálják (például fejlemezés oszlop-gerenda kapcsolat). A méreteket ajánlottak, de nem kötöttek.

A másodrendű tartószerkezetnél a szelvények alakját (például hidegen hajlított Z szelemen), csatlakozásait, bekötéseit egységesítik.

A tetőfedésnél és az oldalfalnál külön kifejlesztett nyílt rendszereket használnak, amelyek különböző váz-alrendszerekhez illeszthetők. Jellemző a paneles (például poliuretánhabos, lakkozott fémfegyverzetű panel), illetve a szerelt jellegű megoldás (fémlemezek között szálal anyagból készült szigetelés). A szőnyegelvet itt használják.

A nyílászárók, nagy méretű kapuk rendszer-komponensnek foghatók fel, melyeket részben a vázszerkezethez, részben az oldalfalhoz kell illeszteni. A kapuknál a méretrendet is megadják a gyártók.

A belső födémre a csarnokok egy részének az alapterületén lehet igény: raktár, iroda, szociális blokk, stb. részére. A tartórendszert, a rétegrendet és a csatlakozási csomópontokat foglalják rendszerbe. A méretek szabadon megválaszthatók.

A magyar könnyűszerkezetes csarnokrendszerek fejlesztése az 1960-as évek végén kezdődött (például a Dunai-Vasmű, Agropanel, stb.), de csak a rendszerváltás után jelentek meg a komplex acélvázal csarnokrendszerek (például LINDAB, ASTRON, BUTLER, REMCO, stb.), melyek már bebizonyították, hogy rövid határidő alatt képesek kulcsra kész csarnokokat építeni.

I.2.1. Követelmények

A csarnokok szerkezeti rendszerének kiválasztásához ismerni kell az építmény rendeltetését, az építészeti igényeket, az alaprajzi elrendezést, az általaj adottságait és teherbírását, az emelő-berendezések (daruk) számát, méretét és teherbírását, a belső térigényt, a belső megvilágítás mértékét, a hőszigeteléssel kapcsolatos igényeket, fűtés-szellőzés kialakítását, tűzvédelmi követelményeket és előírásokat, a későbbi bővíthetőség igényét, a földrengés elleni biztonságot és a szállítási valamint helyszíni szerelési lehetőségeket.

I.2.2. Melegen hengerelt szelvények

A legegyszerűbb és leggyakrabban használt tartótípusok a melegen hengerelt I és U szelvények, melyeket a diplomamunkámban én is alkalmaztam. A lejtős talpú I acélokat DIN1025 szerinti, míg az U acélokat DIN 1026 szerinti kialakításban gyártják, melyek lényegében megfelelnek az MSZ 325 és MSZ 326 korábbi előírásainak, a 400m alatti és 300 mm alatti szelvények esetében, a feletti méretekről az MSZ nem rendelkezett. Valójában kétféle alaptípust használunk, az úgynevezett Európa-tartókat: közepes talpú DIN 1025-ös, az EURONORM 19-57szerinti IPE, nem szabványos IPE (IPEA), IPE O, IPE V típusú szelvények; és az úgynevezett melegen hengerelt, széles talpú I tartókat: DIN 1025-ös IPB (IPB I, IPB II, IPB V), az EURONORM 53-62 szerinti HEB (HEA, HEAA, HEM) jelölésűeket. A hajlított tartók gazdaságosságára a $\frac{Wx}{G}$ hányados ad tájékoztatást. A gazdaságosság, a hányados értéke annál nagyobb, minél magasabb a szelvény, s minél magasabb az ehhez tartozó talpszélesség és vastagság. Nyomott oszlop vagy összetett igénybevételek esetén a gazdaságossági mutató ennél jóval bonyolultabban számítható. A melegen hengerelt Európa-tartókat illetve a széles talpú I szelvényeket acélvázcsarnokoknál előszeretettel alkalmazzák a tervezők, mivel tetőszerkezetek esetén 9-24m-ig, míg keretszerkezetű főtartók gerendáinál és oszlopainál - a kiékelésekkel együtt - nem ritkán 50-60m fesztávolságig gazdaságosan alkalmazhatók.³

I.2.3. Keretszerkezetek kialakítása

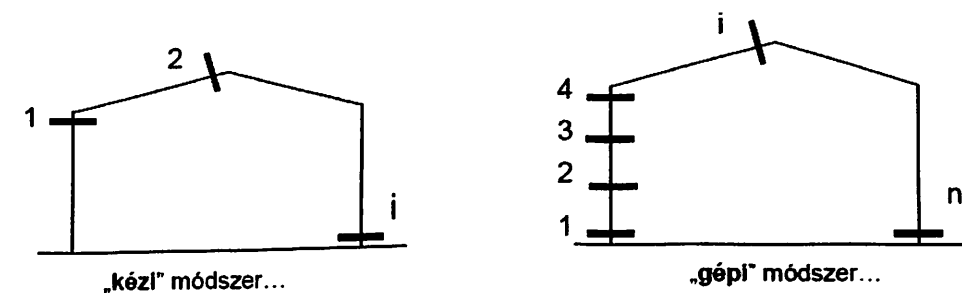
A főtartók és gerendák keresztmetszetét minden esetben a tartó erőjátékának és igénybevételeinek figyelembe vételével alakítjuk ki. Az övlemezek elsősorban a hajlítónyomatékot, míg a gerinclemez a nyíróerőket veszi fel, ennek megfelelően vékony, magas

³ Forrás: Dr. Seregi György: Acélvázcsarnokok, TERC Kft. Budapest, 2001.

gerincet és erőteljesebb öveket használunk. A tartó magasságának megválasztása alapvető fontosságú mind a teherbírási mind a használhatósági határállapot szempontjából. A tartó magasságának növelése hatékonyan növeli a teherbírást és csökkenti a lehajtást, ugyanakkor nagyobb helyigényű szerkezetet eredményez. A javasolható tartómagasság függ az anyagminőségtől is, nagyobb szilárdságú acélfajta alkalmazása csökkenti a szelvény méreteit, ami végső soron nagyobb lehajlásokat eredményez. Magasépítési tartóknál, keretszerkezetek esetén $\frac{L}{25}$ és $\frac{L}{40}$ közötti tartómagasság lehet megfelelő. Természetesen ezek csak irányadónak tekinthetők. S 235 anyagminőség és viszonylag kisebb teher esetén az alacsonyabb gerincmagasság, nagyobb terhelés és magasabb szilárdságú acélfajta esetén a magasabb szelvény lehet lehajlásra is megfelelő.

Különböző tartók használatakor törekednek a tervezők a minimális felhasználandó anyagmennyiségre és a minél kisebb önsúlyterherre. Katalógusból előszeretettel választanak előre gyártott melegen hengerelt acélszelvény méreteket, hiszen ez meggyorsítja a tervezést és a kivitelezést is egyaránt. Másik, idő és anyagigényesebb megoldás a hegesztett tartók alkalmazása. A hegesztett tartók egyik legfontosabb előnye az igénybevételekhez illeszkedő keresztmetszeti kialakítás lehetősége. A tartó teherbírását az igénybevételek változásához illeszteni változó keresztmetszeti kialakítással lehetséges.⁴

Egy szerkezet akkor lehet megfelelő, ha minden keresztmetszetében a szabvány által meghatározott keresztmetszeti ellenállás legalább akkora, mint a külső terhek és hatások legkedvezőtlenebb kombinációjából származó igénybevétel. Az ellenállás illetve az igénybevétel, a vizsgált esettől függően tiszta és/vagy összetett lehet. Rúdszerkezeti modellt feltételezve kézi eljárás esetén általában a tapasztalatalapján kiválasztott néhány jellemző keresztmetszetet vizsgálunk meg, míg gépi eljárás esetén a teljes szerkezet megfelelően sűrű felosztása mellett az összes ("n" számú) keresztmetszetet megvizsgáljuk és gépi úton választjuk ki a mértékadó helyeket.



⁴ Forrás: Dr. Horváth László: Acélszerkezetek II., 2007., BMEEOHSAS07 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére

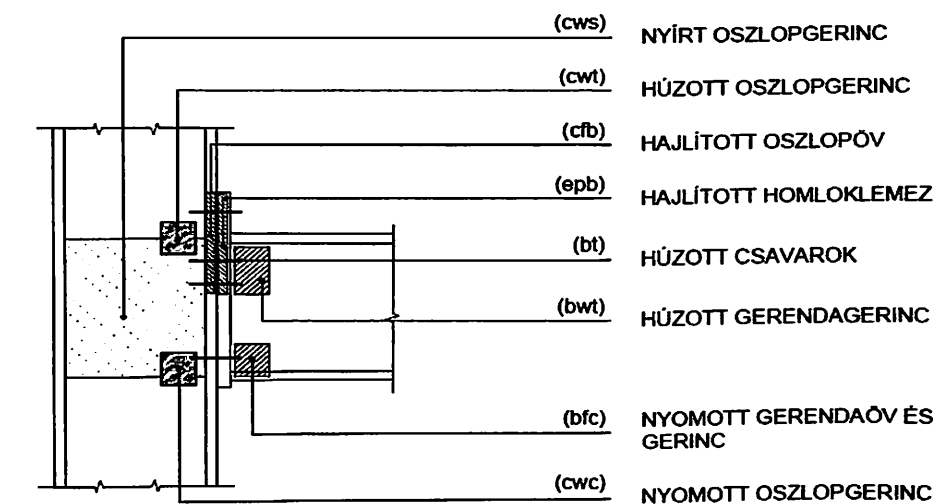
Természetesen a mérnöknek mögé kell látni a végeredménynek, azaz pontosan tudnia kell, hogy például egy 91,4%-os kihasználtság mögött milyen szakmai tartalom húzódik meg.⁵

I.2.4. Csomóponti kialakítások a szerkezeten

A kapcsolatok tervezése mind gazdaságossági, mind szakmai szempontból kiemelkedő jelentőségű szerkezettervezés során. Nyomatékbíró kapcsolatokat az MSZ EN 1993-1-8 szabvány szerint méretezzük kézzel és géppel egyaránt.

Csavarozott homloklemezes kapcsolatokat széles körben alkalmazunk acélszerkezetek tervezése esetén. Ez a kapcsolattípus a csuklóstól a merevkapcsolatokig terjed.

A homloklemezes kapcsolatok merevségét és hajlító-nyomatéki ellenállását a komponens-módszerrel határozzuk meg:



A fenti komponensek csomóponti jellemzőkre (hajlítási ellenállásra és elfordulási merevségre) gyakorolt hatását minden egyes csavarsornál ki kell számítani. Ezzel a módszerrel számolnak a statikai tervezői szoftverek is. Méretezési szempontból tekinthetünk egy csavarsort egyedül álló (más csavarsortól független) csavarsornak, illetve csavarcsoporthoz tartozó (más csavarsorokkal interakcióban lévő) csavarsornak.

Homloklemezes kapcsolattal kialakított csomópont nyomatéki teherbírási ellenállása (M_j, R_d) számítható:

⁵ Forrás: Dr. Papp Ferenc: Magasépítési acélszerkezetek. 2004., BMEEOHSASA1 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére

$$M_{j.Rd} = \sum_{i=1}^{n_b} h_i F_{i.Rd}$$

ahol $F_{i.Rd}$ az i -edik csavarsor ellenállása, n_b a húzott csavarsorok száma, h_i az i -edik csavarsor távolsága az elfordulási középponttól (melynek helye a nyomott gerendaöv vastagságának a fele).

A csomópont teljes merevsége az egyes összetevők húzási merevségéből áll össze. Minden egyes csavarsornál kiszámítjuk az $1/K_i^x$ húzási alakváltozási képességet, ami a csavarsortól függő összetevők húzási alakváltozási képességének összege:

$$\frac{1}{K_i^x} = \frac{1}{K_{cwt,i}} + \frac{1}{K_{cfb,i}} + \frac{1}{K_{epb,i}} + \frac{1}{K_{bt,i}}$$

Ezután kiszámítjuk a húzott csavarsorok teljes, egyenértékű merevségét, mely során feltételezzük, hogy a gerinc mereven fordul el a nyomási középpont körül:

$$K_t = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} K_i^x \cdot h_i}{z}, \quad \text{ahol } z \text{ az erőkar hossza: } z = \frac{\sum_{i=1}^{n_b} K_i^x \cdot h_i^2}{\sum_{i=1}^{n_b} K_i^x \cdot h_i}$$

Legvégül kiszámítjuk a csomópont kezdeti merevségét ($S_{j.mi}$), a csavarsorok független merevségi komponenseinek (nyírt, nyomott oszlopgerinc) kombinációja alapján:

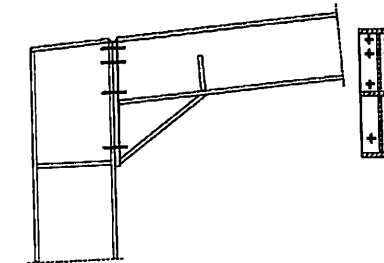
$$S_{j.mi} = \frac{z^2}{\frac{1}{K_{cws}} + \frac{1}{K_{cwc}} + \frac{1}{K_t}}$$

ahol K_t a húzott csavarsorok egyenértékű merevsége.

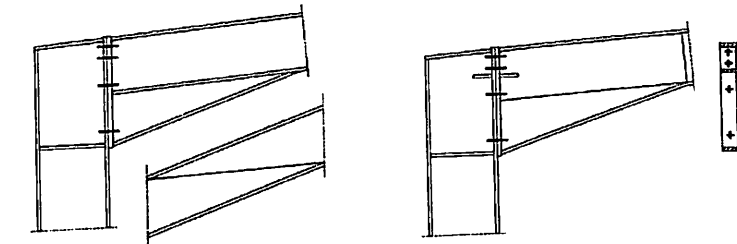
1.2.4.1. Kiékelési megoldások

A megfelelő merevség érdekében a csavarsorokat megfelelő távolságra kell elhelyezni a nyomási központtól. A megfelelő távolság alkalmazásának gátat szabhat a gerenda szelvény magassága. A távolság növelhető kiékelés alkalmazásával. A kiékelte kialakításnál az alábbi feltételeket kell kielégíteni:

- a kiékelés anyagminőségének a gerendáéval azonosnak kell lennie,
- a kiékelés öv- és a gerincvastagsága nem lehet kisebb, mint a gerendáé,
- a kiékelés öve és a gerenda öve által bezárt szög nem lehet nagyobb 45°-nál.



1. ábra: Keretsarok rövid kiékeléssel



2. ábra: Keretsarok hosszú kiékeléssel

A kiékelés következtében további két komponenst is figyelembe kell venni:

- nyomott kiékelés öve és gerince (hfc);
- nyomott gerendagerinc (bwc).

Az első komponens a csomópont hajlítási ellenállását és elfordulási merevségét, míg a második komponens csak a csomópont hajlítási ellenállását befolyásolja. A nyomott gerendagerinc (bwc) komponens számítása a nyomott oszlopgerinc (cwc) komponenssel azonos módon történik. Kiékelte gerendánál a nyomott gerendaöv komponens (bfc) helyett a nyomott kiékelés öv komponens (hfc) alkalmazzuk. A nyomott kiékelés öv (hfc) komponens számítása egyébként megegyezik a nyomott gerendaöv (bfc) összetevő számításával. A színelő homloklemezrel kombinált kiékelte kapcsolat gyakori megoldás a földszintes csarnokszerkezetek tervezésénél.

1.2.4.2. Homloklemez-es kapcsolatok jellemzői

Az MSZ EN 1993-1-8-as szabvány a homloklemez-es kapcsolatok alábbi jellemzőinek meghatározására ad számítási eljárást:

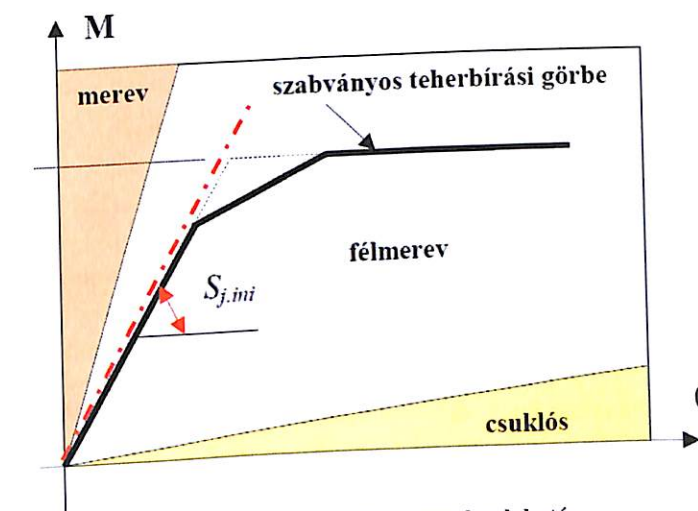
- nyomatéki teherbírás ($M_{y,Rd}$)
- kezdeti merevség ($S_{j,ini}$).

A szabvány a kapcsolatot a fenti jellemzők alapján osztályozza. A nyomatéki teherbírásalapján két osztályt különböztet meg: részleges szilárdságú kapcsolat és teljes szilárdságú kapcsolat.

A részleges szilárdság azt jelenti, hogy az $M_{y,Rd}$ nyomatéki teherbírás nem haladja meg a gerenda keresztmetszetének $M_{c,Rd}$ nyomatéki teherbírását. Rugalmas tervezés esetén nem követelmény a teljes szilárdságú kapcsolat alkalmazása, elegendő, ha a kapcsolat képes viselni a mértékadó tervezési nyomatékot. Képlékeny tervezés esetén el kell kerülni, hogy a kapcsolat közvetlen környezetében alakuljon ki a képlékeny csukló, ezért a kapcsolat nyomatéki teherbírásának nagyobbnak kell lennie a gerenda nyomatéki teherbírásánál. Az elvárt $\eta = M_{y,Rd,kapcsolat} / M_{c,Rd,gerenda}$ arányt a szabványok határozzák meg. A szabvány a csomópontot a kezdeti merevség viszonylagos értéke alapján az alábbi osztályokba sorolja:

- csuklós
- félmerev
- merev.

A viszonylag kis (vagy a valóságban alig előforduló zérus) merevségű kapcsolatot elméleti csuklós kapcsolatnak kell feltételezni. A viszonylag nagy merevségű (a valóságban szintén alig előforduló abszolút merev) kapcsolatot elméletileg merev kapcsolatnak kell feltételezni. A két határ közé eső kapcsolatról mondjuk, hogy félmerev kapcsolat. A fenti osztályozást az alábbi diagram szemlélteti:



3. ábra: Merev-csuklós kapcsolatok határa

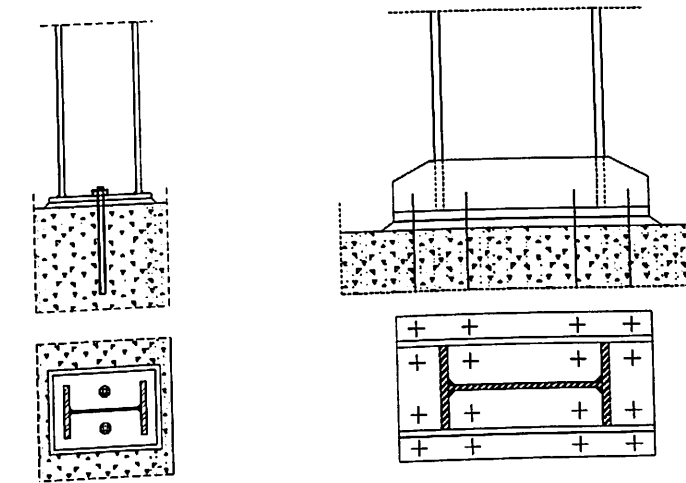
Melegen hengerelt, vagy ahhoz hasonló kialakítású hegesztett szelvények esetén a merev és teljes szilárdságú csomóponti kialakítást kiékeléssel is elérhetjük. A számítógépes programok általában a „rövid” kiékelés számítását támogatják, azonban a gyakorlatban nem tehetünk különbséget csupán a csomópont erősítése miatt alkalmazott „rövid” és „hosszú” kiékelés között, amellyel a gerendát is erősítjük. A „röviden” és „hosszan” kiékelte csomópontok tervezése során az alábbi szempontok együttes figyelembe vételét javasoljuk:

- a kiékelés magassága a gerenda magasságának 75-85%-a legyen (a kiékelést célszerű átlósan félbevágott gerendaszelvényből készíteni),
- a homloklemez vastagsága ne legyen kisebb, mint az oszlopszelvény övének vastagsága,
- nem szükséges egyenletes csavarkiosztást alkalmazni, de ügyeljünk arra, hogy a felső csavarsorok minél közelebb kerüljenek a felső övhöz,
- az alsó csavarsornál ügyelni kell arra, hogy az összeszerelés során a csavarok behelyezésére elegendő hely maradjon,
- gerinc és övmerevítést csak szükség esetén alkalmazzunk.

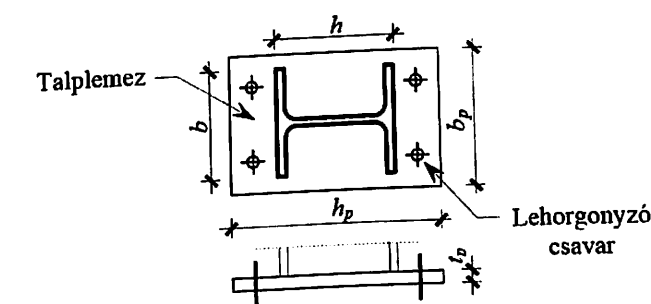
1.2.4.3. Oszlop-talp csomópont

A keretszerkezet tervezése kapcsán három különböző típusú oszloptalp alkalmazása jöhet szóba:

- egyszerű kialakítású csuklós oszloptalp;
- kiékelt kialakítású félmerev oszloptalp;
- szárnylemezkes kialakítású merev oszloptalp.



4. ábra: Csuklós és merev kialakítású kapcsolat



5. ábra: Félmerev oszloptalp egyik lehetséges kialakítási módja⁶

Egyszerű csuklós oszloptalpat akkor tervezünk, amikor a statikai modellben (illetve már a vázlattervben) csuklós megtámasztást írtunk elő. (Változó gerincmagasságú keretszerkezet esetén kifejezetten ezt a megoldást célszerű választani.) Az optimális megoldáshoz az alábbi szempontok együttes figyelembe vétele szükséges:

- az $M_{y,Rd}$ nyomatéki teherbírást a lehető legkisebbre állítsuk be,
- a talplemez t_p vastagsága ne legyen kisebb, mint 12-16 mm,
- a csavar minősége lehetőleg 4.6-os, 4.8-as vagy esetleg 5.6-os legyen, a csavar átmérője a lemezvastagságnak megfelelően 20 vagy 24 mm, esetleg 30 mm.

A tervezők az EN 1993-1-8 szabvány megjelenése előtt már alkalmazták a fenti megoldást az ideálisan csuklós oszloptalp kialakítására. A jelen oszloptalp kapcsolat az új szabvány szerint a félmerev kategóriába esik. A szabvány megjelenése előtt a tervezők a

⁶ 5. ábra: Viczián Csaba: Félmerev oszloptalpak tervezése az EuroCode 3 szabvány szerint. Miskolci Egyetem, Multidiszciplináris Tudományok. 1.kötet. 1.szám, 2011.

kapcsolat elfordulási merevségét nem vették figyelembe a statikai számításban. Nincs tudomásunk arról, hogy az így tervezett szerkezetekkel probléma lett volna, legalábbis az oszloptalp miatt. A tapasztalatok alapján megállapíthatjuk, hogy a statikai számítást nem kell módosítani az oszloptalpnál jelentkező rugalmas merevséggel, mert feltételezzük, hogy a megoldás nem csökkenti (sőt feltehetően növeli) a csuklós befogásúnak számított keretszerkezet biztonságát.

A kiékelte oszloptalpat elsősorban akkor alkalmazzuk, amikor szándékosan félmerev megoldásban gondolkodunk. A kapcsolat merev kategóriába sorolásának az alábbi tényezők szabnak gátat:

- a kevés csavarszám (illetve kis eredő csavarkeresztmetszet),
- a 8.8-as és 10.9-es szilárdságú csavarok alkalmazásának lehetőség szerinti elkerülése (vezető tervezők által ajánlott a 4.6 vagy 5.6 minőség),
- a talplemez túlzott túlnyúlásának és vastagságának indokolt kerülése.

A félmerev oszloptalp kapcsolat nyomatéki teherbírását elsősorban a csavarok átmérője, anyagának minősége, a talplemez vastagsága valamint a túlnyúlása határozza meg. A túlzott túlnyúlás, illetve a túlzott bordamagasság akadályozhatja a csarnokszerkezet épületszerkezeti kialakítását. Az elémi kívánt nyomatéki teherbírást ($M_{y,Rd}$) a tervező határozza meg, de annyi bizonyos, hogy az nem lehet kisebb, mint a tervezési nyomaték értéke. Ugyanakkor, a kialakítástól függően a félmerev kategóriába eső kezdeti merevség ($S_{j,ini}$) befolyásolja a tervezési nyomatékok értékeit, mivel a globális keretmodellben azt $1/3$ -ad értékkel figyelembe kell venni.

A tervezők sokszor előnyben részesítik a robosztusabb megoldásokat, mint például a két szárnylemezzel merevített (befogott) talplemezes kapcsolatot. Erre a típusra a szabvány nem ad egyértelmű és közvetlen megoldást. A szabvány alapszabályainak „kreatív” alkalmazásával ad megoldást a szárnylemezes oszloptalp nyomatéki teherbírásának meghatározására - melyről a későbbiekben lesz majd szó. Számítási eljárás hiányában feltételezhetjük, hogy a kapcsolat a teljesen merev kategóriába esik. (A hosszadalmas számítások elvégzésére célszerű számítógépes programot alkalmazni.) A szerkezettanilag helyes és gazdaságos merev oszloptalp kialakítást az alábbi szempontok együttes figyelembevételével érhetjük el:

- a tervezést mindenképpen célszerű a terhek felvételével kezdeni, mert a számítás reális nyomatéki igénybevétel hiányában hibát jelez; ugyanez történik túlzott értékű tervezési nyomaték esetén is, ugyanis egyik esetben sem oldható meg a nyomott betonzóna effektív hosszát meghatározó másodfokú egyenlet,
- a szárnylemez magassága kisebb szelvényeknél (például HEA300) 200 mm körül, nagyobb szelvényeknél (például HEA 600) legfeljebb 240-260 mm körül legyen, de törekedjünk a minél alacsonyabb szárnylemez alkalmazására,
- a szárnylemez vastagsága körülbelül az oszlopszelvény övének vastagságával vehető azonosnak, természetesen célszerűen felfelé vagy lefelé kerekítve,
- a talplemez méretét célszerű a lehető legkisebbre felvenni, azonban néha sokat segíthet, ha a minimálistól mondjuk 100 mm-rel hosszabb talplemezt alkalmazunk, a talplemez szélességét mindenképpen a geometriailag lehetséges legkisebb méretre célszerű felvenni,
- a talplemez vastagságát lehetőleg tartsuk 20-30 mm között, az oszlopszelvény méretétől függően,
- az ajánlott csavarminőség 4.6-os, 4.8-as vagy 5.6-os, a csavarok átmérője igazodjon a talplemez vastagságához, azonban robosztus oszlopszelvényeknél (például HEB 800) szóba jöhet akár a 48mm vagy az 56 mm átmérőjű lehorgonyzó csavar is,
- a szárnylemezt a talplemezhez bekötő varrat szakaszos, a két öv között a belső varrat

például kisebb IPE szelvényeknél nem készíthető el, ezért a számításban csak az öveken túlnyúló rész kétoldali sarok- vagy tompavarratát vesszük figyelembe; teljes beégésű tompavarrat esetén (figyelembe véve, hogy ez egy sokkal költségesebb eljárás) a varratot nem kell ellenőrizni, mert az alapanyag vizsgálata a mértékadó.

II. Előtanulmány, a talplemezes kapcsolatok és keretek mechanikai viselkedésének vizsgálata

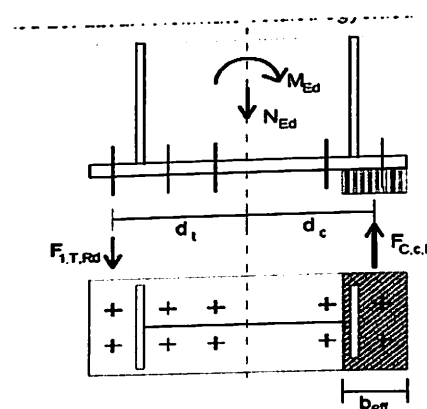
A vizsgálatot a kapcsolati modellek felvételével kezdtem. Csuklós kapcsolat esetén nem tudtam elemzést készíteni, mivel zérusnak tekinthető a kezdeti merevsége, s ugyanígy jártam el a teljesen merev kapcsolattal, mivel ebben a kialakításban végtelennek tekinthető a kezdeti merevsége. Vizsgálatom tárgyául így létrehoztam a félmerev kapcsolatok egy már létező csoportját: 4 csavaros, 6 csavaros majd 8 csavaros talplemezes kapcsolatokat, melyeket alaposan áttanulmányoztam, majd az eredmények feldolgozása után összevettem az eltérő csavarsorokkal rendelkező modelleket és érdekes végeredményeket kaptam.

II.1. Talpcsomópontok méretezése

A számítást a vasbeton keresztmetszetek számításához hasonlóan kell elvégezni. A húzott oldalon az erőket a lehorgonyzó csavarok, a nyomott oldalon, a talplemez effektív felületének közvetítése révén, a beton alaptest veszi fel.

II.1.1.A méretezés lépései:

1. A T-kapcsolat vizsgálatával meghatározásra kerül a húzott oldali legszélső csavarsor által felvehető erő, melyet jelöljünk $F_{IT,Rd}$ -vel.
2. A legszélső csavarsorban ébredő húzóerő ($F_{IT,Rd}$) és a külső normálerő (N_{Ed}) eredőerejét a nyomott oldalon ébredő erő ($F_{C,c,Rd}$) egyensúlyozza – lásd az ábrán.



6. ábra:Egyensúlyi helyzet, a legszélső csavar húzott

A felírható vetületi egyenlet:

$$F_{C,c,Rd} = F_{IT,Rd} + N_{Ed}$$

3. Az egyenlőségből a nyomott zóna – egyensúlyhoz tartozó - effektív szélessége (b_{eff}) számítható. A vertikális erők egyensúlyi helyzetének meghatározása után számítható az oszloptalpnak az ehhez a helyzethez tartozó nyomatéki ellenállása:

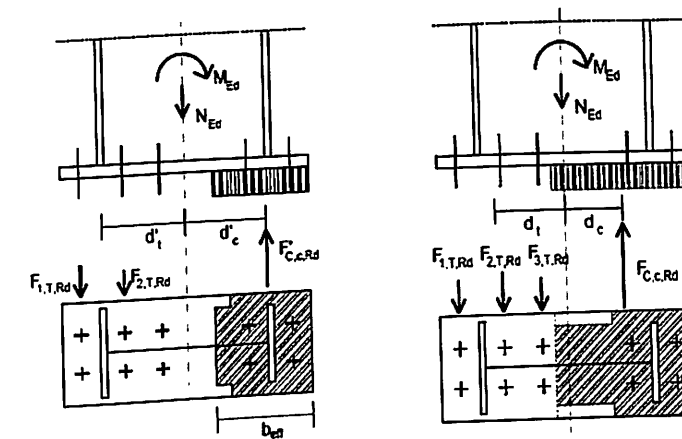
$$M_{Rd} = F_{1T,Rd} * d_t + F_{C,c,Rd} * d_c$$

4. Az eljárás újabb húzott oldali csavar bevonásával folytatható. Ehhez az állapothoz is meghatározható a nyomott zóna területe:

$$F'_{C,c,Rd} = F_{1T,Rd} + F_{2T,Rd} + N_{Ed}$$

5. Ezt követően az oszloptalpnak a kialakult helyzethez tartozó nyomatéki ellenállása:

$$M'_{Rd} = (F_{1T,Rd} + F_{2T,Rd}) * d'_t + F'_{C,c,Rd} * d'_c$$



6. Az eljárás mindaddig folytatható, amíg újabb húzott csavar bevonása lehetséges. A fentiekben felvázolt számítási eljárás finomított változata, ha az oszloptalp teljes csavarképét, mint egy gerenda-gerenda kapcsolat homloklemezét tekintjük és meghatározzuk a csavarsorok T-kapcsolatai által felvehető csavarerőket. A csavarerők ismeretében egy lépésben számítható az a szélső egyensúlyi helyzet, amikor a külső normálerőt (N_{Ed}) és a legtöbb húzott csavar eredőerejét ($\Sigma F_{iT,Rd}$) egyensúlyozza a nyomott oldal.

$$F_{C,c,Rd} = \Sigma F_{iT,Rd} + N_{Ed}$$

Az ehhez az állapothoz tartozó nyomatéki ellenállás:

$$M_{j,Rd} = \Sigma F_{iT,Rd} * d_t + F_{C,c,Rd} * d_c$$

az oszloptalp nyomatéki ellenállását adja.⁷ A statikai szoftver segítségével nem kellett minden egyes csomópontnál kézzel végig számolnom a lépéseket, a program elvégezte a szükséges számításokat helyettem, melyeket utólag kellett ellenőriznem, hogy megfelelnek a valóságnak.

⁷ Forrás: Katula Levente: Magasépítési acélszerkezetek. Előadásvázlatok, 2008., BME Építőmérnöki Kar, Hidak és Szerkezetek Tanszéke

II.2. Keretek mechanikai viselkedése a keretállás távolság figyelembe vételével

Munkámat egy parametrikus tanulmánnyal kezdtem, mely során különböző geometriai kialakítású, eltérő szelvényekből felépített keretszerkezetek talppontjában és a tartóoszlopok tetején ébredő igénybevételeit vizsgáltam meg. Ehhez a ConSteel Software 8.0.007-es diák verzióját használtam. Az eltérő adatok a következők:

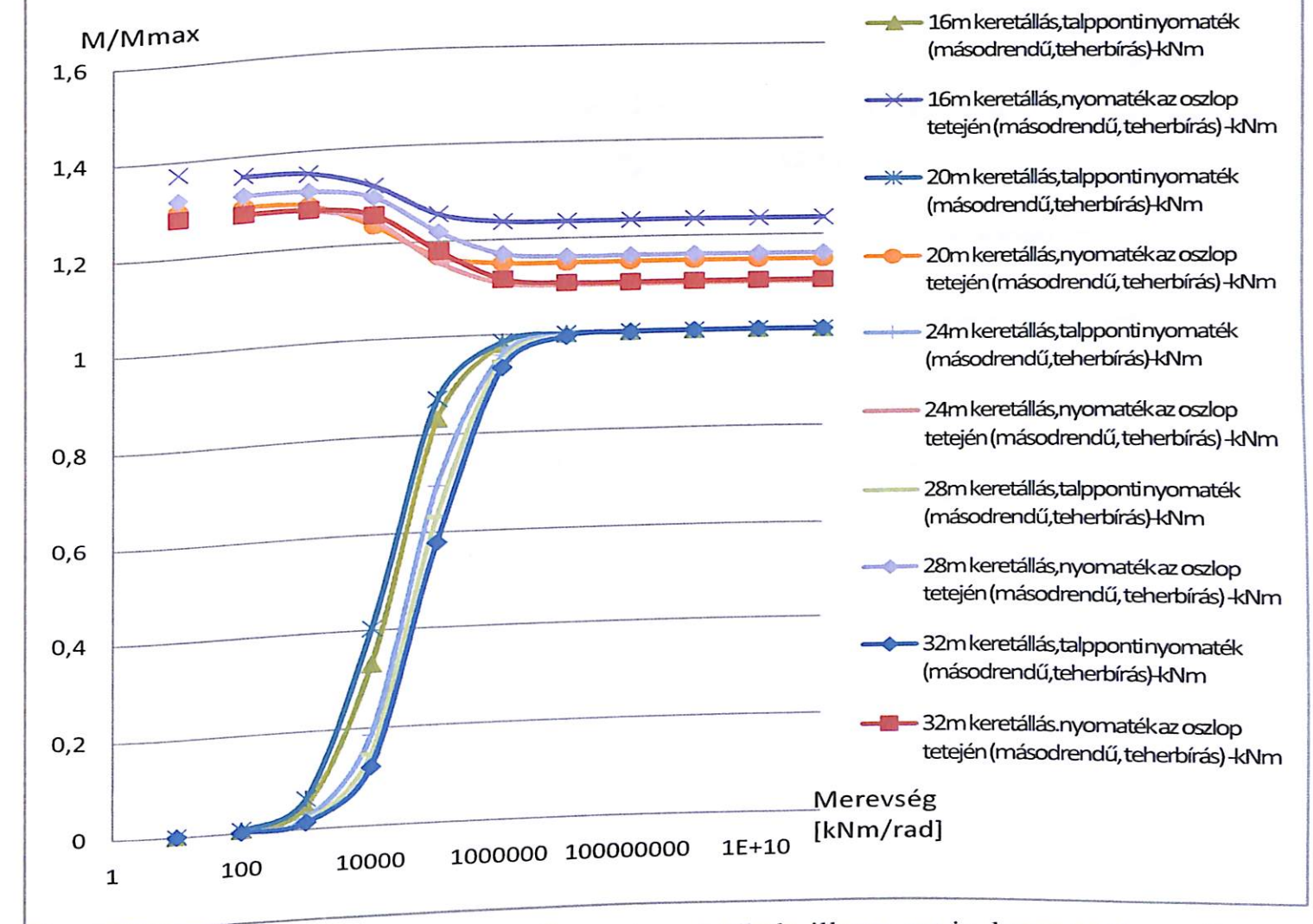
- fesztávolságok: 16m, 20m, 24m, 28m, 32m - e fölötti méret esetén a kiékelt keret már nem gazdaságos, továbbá probléma lehet a lehajlásra való megfelelőség, ezért célszerű rácsos gerendatartókat alkalmazni,
- kiékelések hossza és magassága: 2000mm - 4000milliméterig valamint 240mm - 420 milliméterig terjed,
- a tető hajlásszöge: $8,8^\circ$ - $4,29^\circ$ között lineárisan csökken,
- alkalmazott szelvények az oszlop esetén: melegen hengerelt szelvények (HEA280, HEA300, HEA320, HEA400),
- alkalmazott szelvények a gerendák esetén: melegen hengerelt szelvények (IPE 330, IPE400, IPE450, IPE550, IPE600) .

Az állandó méretek :

- taréjmagasság: 6,2m minden keretállásnál
- oszlopmagasság: 5m minden fesztávolság esetében
- keretállások távolsága: 6m egységesen.

A kutatás alatt a vizsgált keretállásokat minden csomópontban merevnek feltételeztem, így az oszloptalp csomópontját is, de a szabadságfokokat zérussal kezdődően folyamatosan növeltem, mindaddig amíg a talpponti és a kiékelés alatti határnyomatékok és merevségek értékei tovább változást nem mutattak. Ezeket a vizsgálatokat összegezve kaptam a következő eredményt:

16m-20m-24m-28m-32m keretállás távolságok esetén kialakuló nyomatékok és merevségek

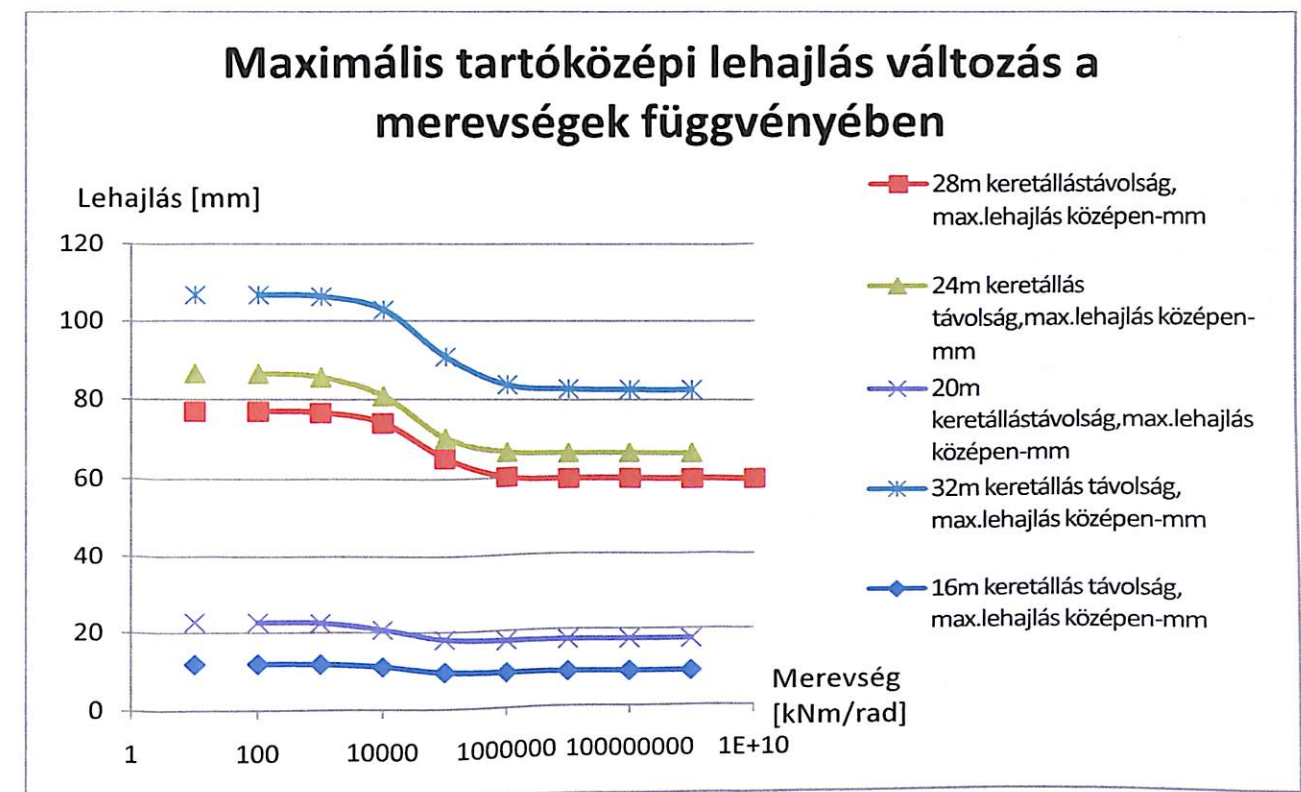


A grafikonok jól mutatják, hogyan változnak az értékek, illetve azt is, hogy a talpponti kialakítás a kapcsolatok méretezése során döntő jelentőségű.

A határnyomatékok értékét normalizáltam, így jobban látható, hogy amíg a talpponti nyomatékok értéke 0-1 között, valamint 10^2 - 10^8 merevségek között ugrásszerűen emelkedik, addig ugyanezen intervallumban a saroknyomatékok 1,36-ról 1,1-re csökkennek csupán, mást sem bizonyítva ezzel, minthogy a talpponti nyomaték és merevség, valamint a létrehozott kapcsolat eldönti a szerkezet statikai viselkedését és a kapcsolatok kialakításának megfelelőségét - melyről a későbbiekben lesz majd bővebben szó.

Mindemellett az is megállapítható, hogy a kisebb fesztávolságú keretek teherbírási vonalai magasabban helyezkednek el, mint a nagyobb keretállásúaké, illetve az egymást

követő keretállás távolságok kisebb szórást mutatnak egymáshoz képest. Ebből világosan kirajzolódik, hogy egy adott kezdeti merevség és nagyobb határnyomaték eléréséhez a legkedvezőbb kialakítás a 32 méteres fesztávolságú tartó, míg a legkedvezőtlenebb a 16 méteres.



A fesztávolságok növekedésével a lehajlások is egyenesen arányosan emelkednek. Legkedvezőtlenebb megoldás - lehajlások szempontjából - a csuklós megoldás, mert minden keretállás távolságnál a csuklós talpponti kapcsolat esetén a legnagyobb a lehajlás, míg a merev, befogott kapcsolat esetén a legkisebb. (Bővebben erről: 3. és 4. Mellékletek.)

Előzetesen megvizsgáltam a keretállásokat lineárisan változó oszlop- és taréjmagasságok esetén is. Ehhez a ConSteel Software 8.0.007-es diák verzióját használtam. Az eltérő adatok a következők:

- fesztávolságok: 16m, 20m, 24m, 28m, 32m - e fölötti méret esetén a kiékelt keret már nem gazdaságos, továbbá probléma lehet a lehajlásra való megfelelésség, ezért célszerű rácsos gerendatartókat alkalmazni,
- kiékelések hossza és magassága: 2000mm - 4000milliméterig valamint 240mm - 420 milliméterig terjed,
- taréjmagasság: 6,2m, 6,7m, 7,2m, 7,7m, 8,2m (lineárisan növekszik),
- oszlopmagasság: 5m, 5,5m, 6m, 6,5m, 7m (lineárisan növekszik),

- alkalmazott szelvények az oszlop esetén: melegen hengerelt szelvények (HEA280, HEA300, HEA320, HEA400),

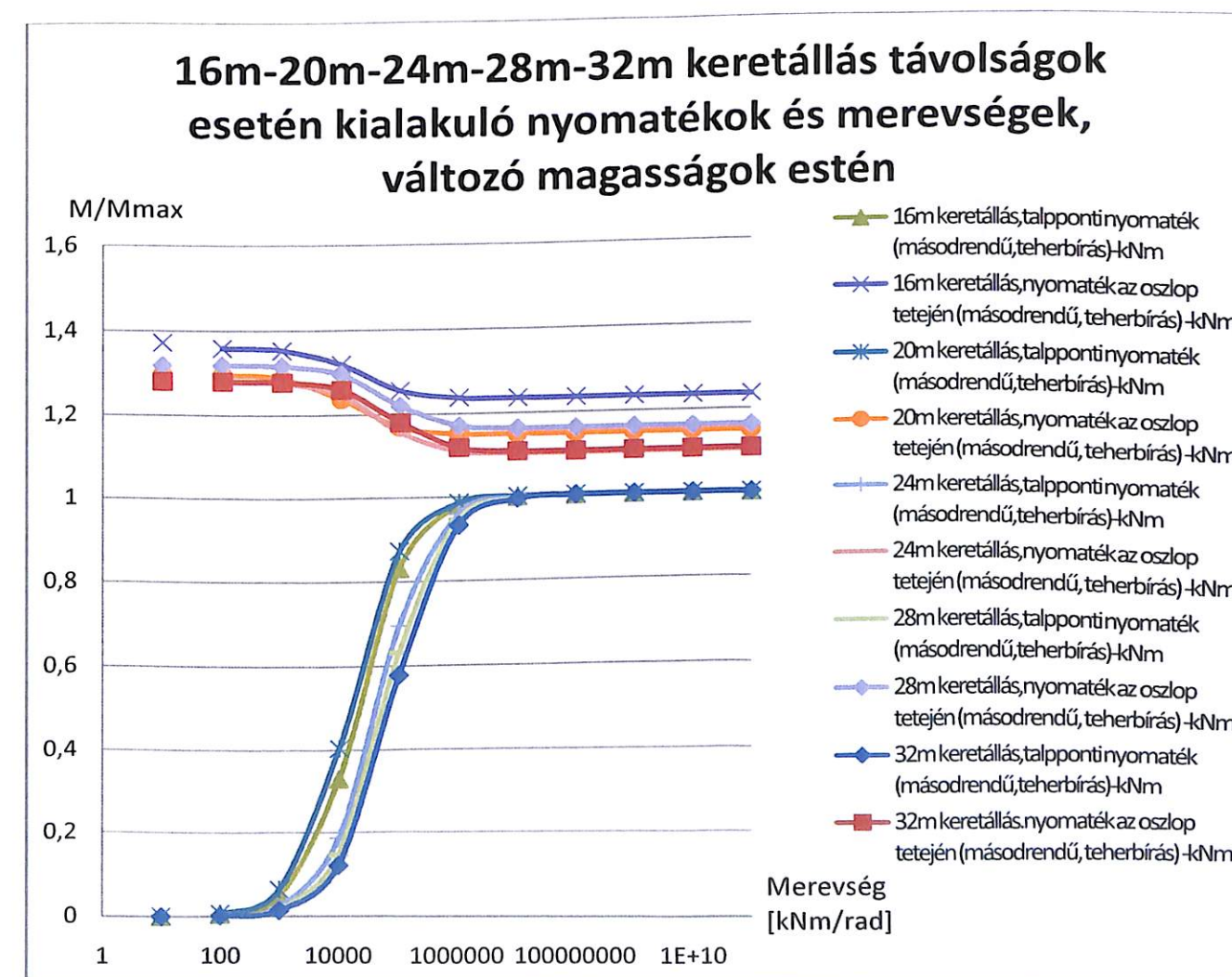
- alkalmazott szelvények a gerendák esetén: melegen hengerelt szelvények (IPE 330, IPE400, IPE450, IPE550, IPE600) .

Az állandó méretek :

- tető hajlásszöge: $8,8^\circ$,

- keretállások távolsága: 6m egységesen.

A kutatás alatt a vizsgált keretállásokat ebben az esetben is minden csomópontban merevnek feltételeztem, így az oszloptalp csomópontját is, de a szabadságfokokat zérussal kezdődően folyamatosan növeltem, mindaddig amíg a talpponti és a kiékelés alatti határnyomatékok és merevségek értékei tovább változást nem mutattak. Ezeket a vizsgálatokat összegezve kaptam a következő eredményt:



Az előző diagrammal összevetve látszódik, hogy az oszlop- és a taréjmagasság nincs befolyással a kapcsolati merevségekre. Az eltérés olyan minimális értékű, hogy nem változtat

a későbbiekben sem a kapcsolatok megfelelőségén sem a keretállások viselkedését és annak megítélését illetően. (Bővebben a témáról ld.: 3. és 4. Mellékleteket.)

II.3. Homloklemezes kapcsolatok

A modellezést a 4 csavaros, félmerev kapcsolatokkal kezdtem, majd folytattam a 6 illetve 8 csavaros megoldásokkal, mely során megvizsgáltam a kialakítások viselkedéseit: különböző méretű és vastagságú talplemezek esetén, eltérő csavar méretű és anyagminőségű variációkban, de vizsgáltam a homloklemezen a csavarok egymáshoz és a lemezszélhez képesti elhelyezkedési távolságait, továbbá az alaptest betonminőségének, hézagkiöntésének (anyagminőség és vastagság hatása) valamint az alaptest geometriai méretének hatását a kapcsolatra. Mindemellett megvizsgáltam a csavarok vízszintes és függőleges elhelyezkedésének befolyását valamint a varratok méretének hatását a talplemezes kapcsolatokra. Az így kapott eredményeket és következtetéseket a következő pontokban ismertetem.

II.3.1. A 4 csavaros homloklemezes kapcsolatok

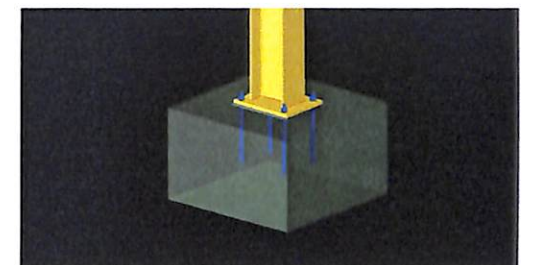
Az oszlop minden esetben melegen hengerelt HEA 400-as szelvény.

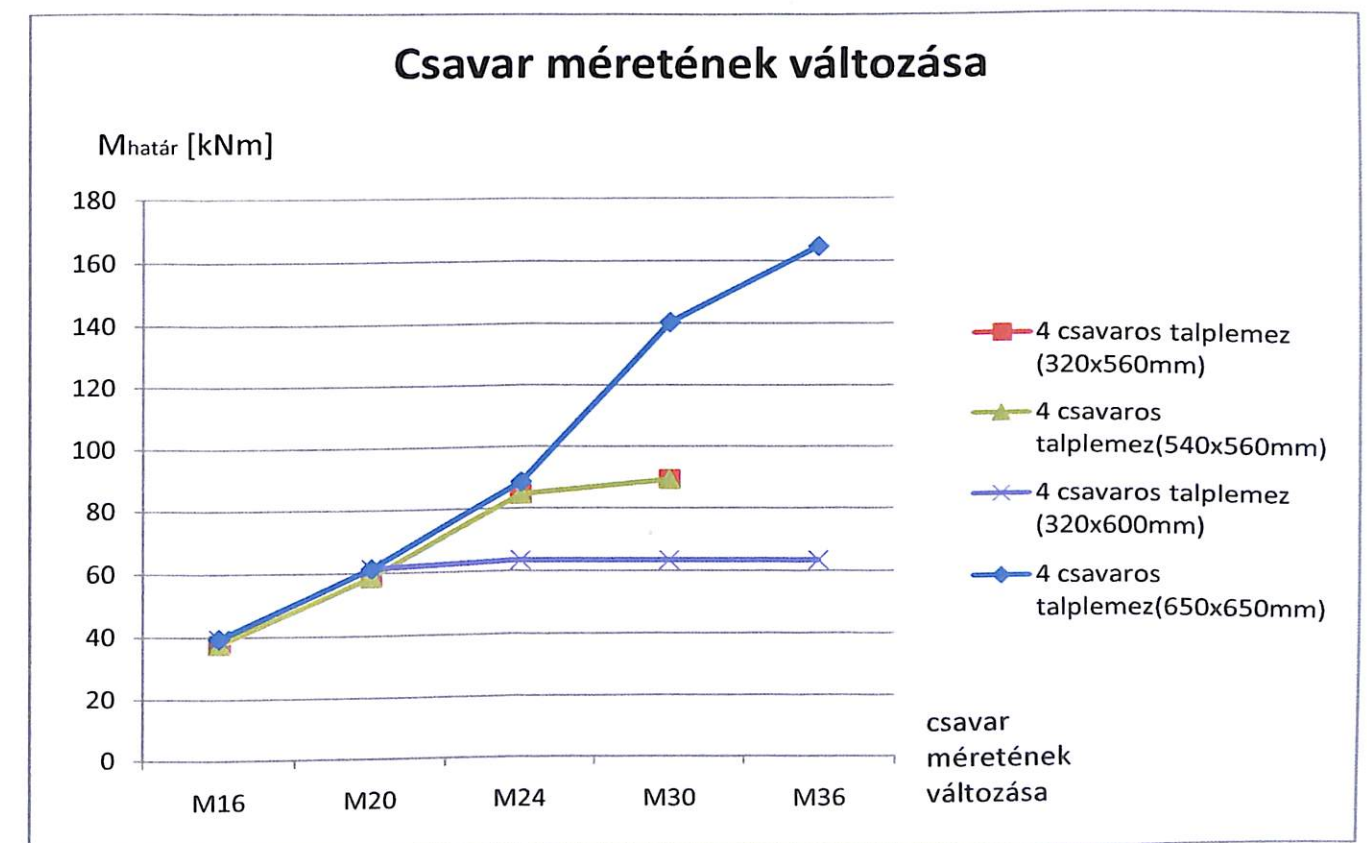
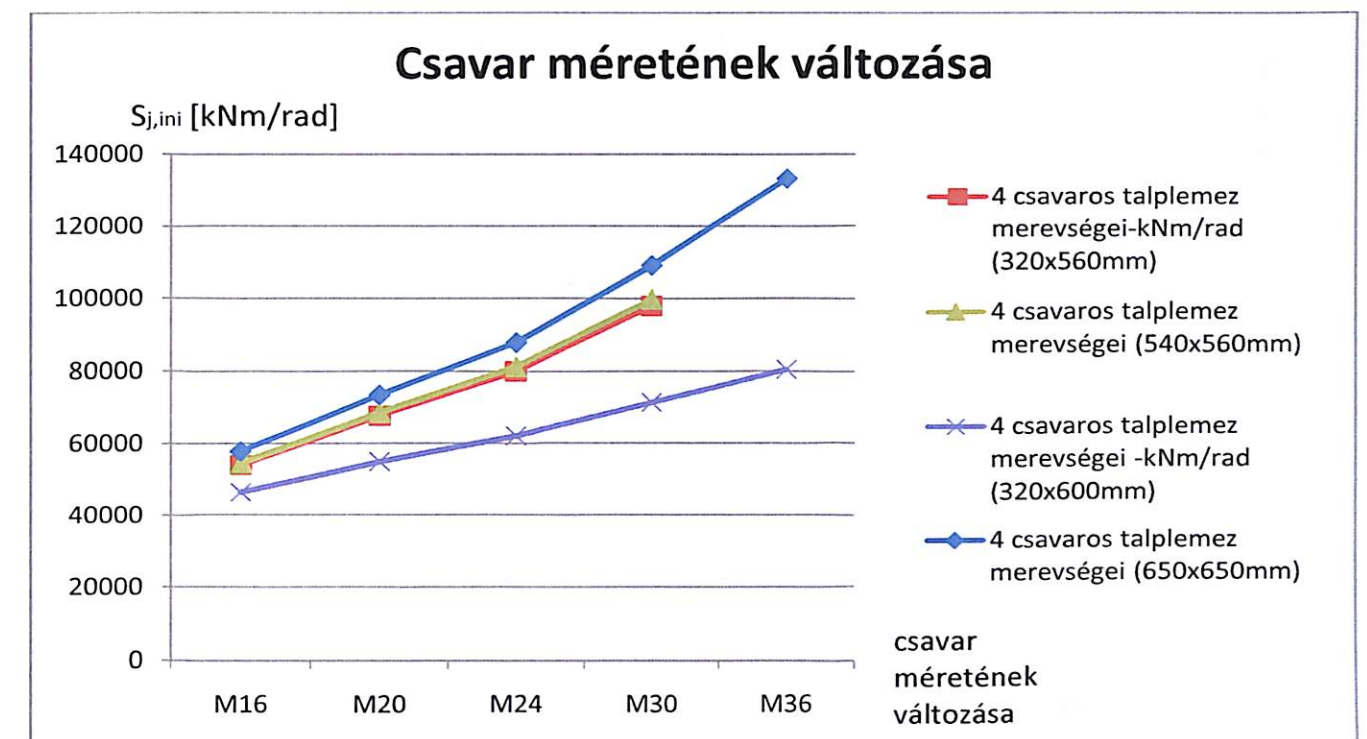
II.3.1.1. Különböző talplemezek esetén:

Fix paraméterek: - homloklemez vastagsága(30mm)

- csavar: 4.6, csavarsorok száma:2
- csavarok helyzete-függőlegesen $e=50\text{mm}$, $p=460\text{mm}$
 - vízszintesen 50mm éltávolság
- homloklemez helyzete: -85mm
- Anyagminőség: S235
- felső és alsó övvarrat, gerincvarrat :3mm gyökméret
- Alaptest anyagminősége: C12/15,
- Alaptest geometriai méretei: 1400x1400x900mm
- Hézagkiöntés anyagminősége : C12/15, vastagsága 20mm

Változó paraméter: a csavar mérete, homloklemez szélessége, hossza





A merevségek a talplemez és a csavarok geometriai méreteinek a függvényei, míg a határnyomatékokra inkább a csavar mérete és anyagminősége lesz hatással - ez utóbbiról a későbbiekben lesz szó.

II.3.1.2. Különböző talplemez vastagságok esetén:

Fix paraméterek: - csavar: M30, 4.6, csavarsorok száma:2

- csavarok helyzete-függőlegesen $e=50\text{mm}$, $p=460\text{mm}$

- vízszintesen 50mm eltávolság

- homloklemez helyzete: -85mm

- Anyagminőség: S235

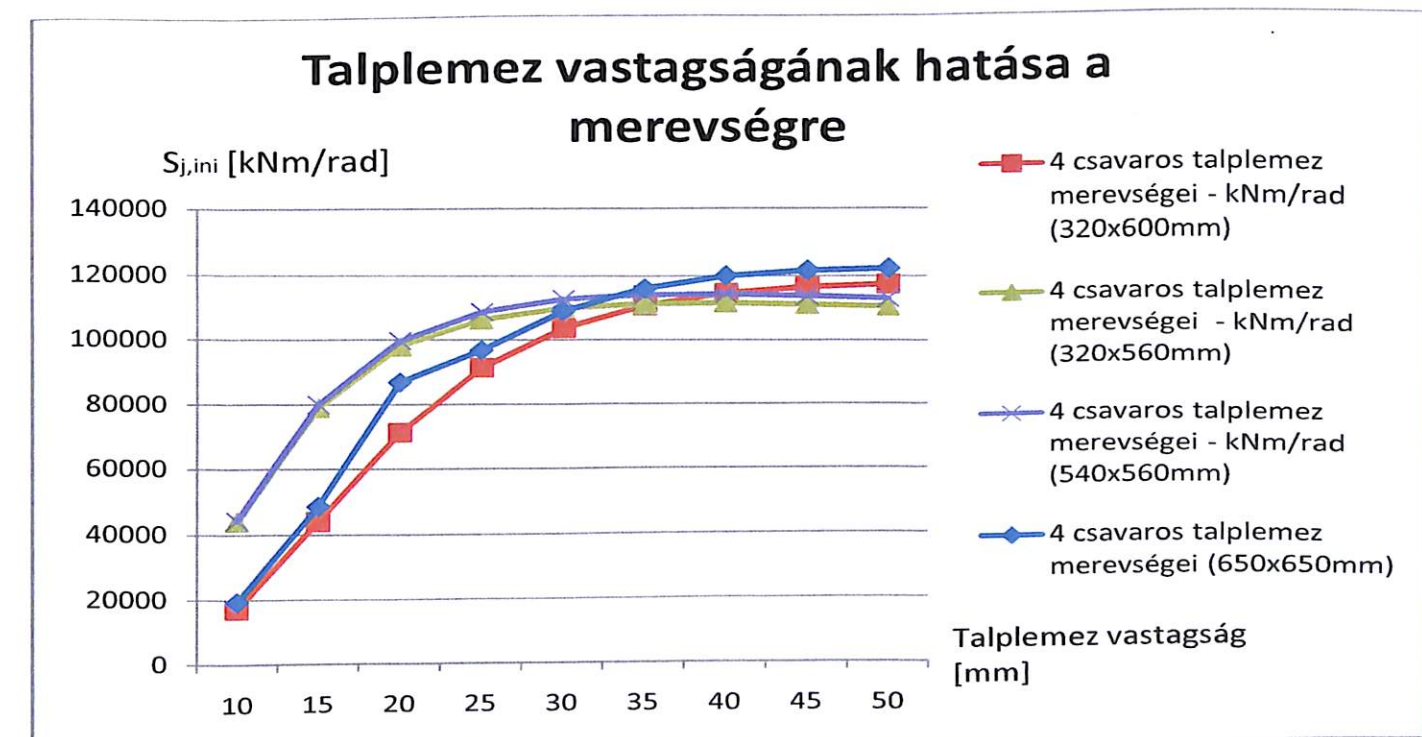
- felső és alsó övvarrat, gerincvarrat :3mm gyökméret

- Alaptest anyagminősége: C12/15,

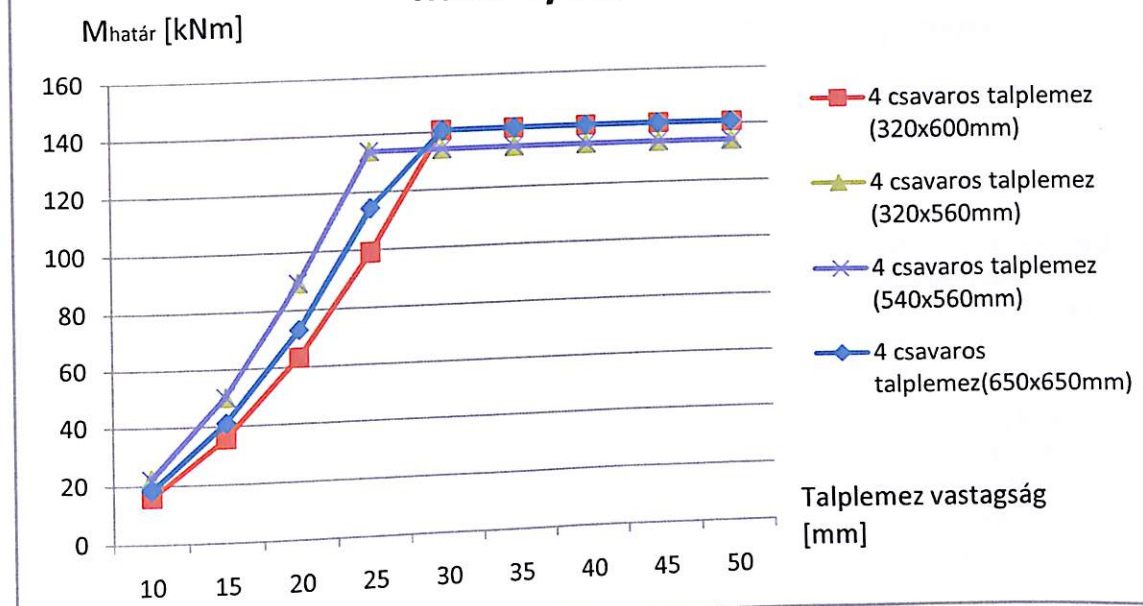
- Alaptest geometriai méretei: 1400x1400x900mm

- Hézagkiöntés anyagminősége : C12/15, vastagsága 20mm

Változó paraméter:homloklemez szélessége, hossza és vastagsága



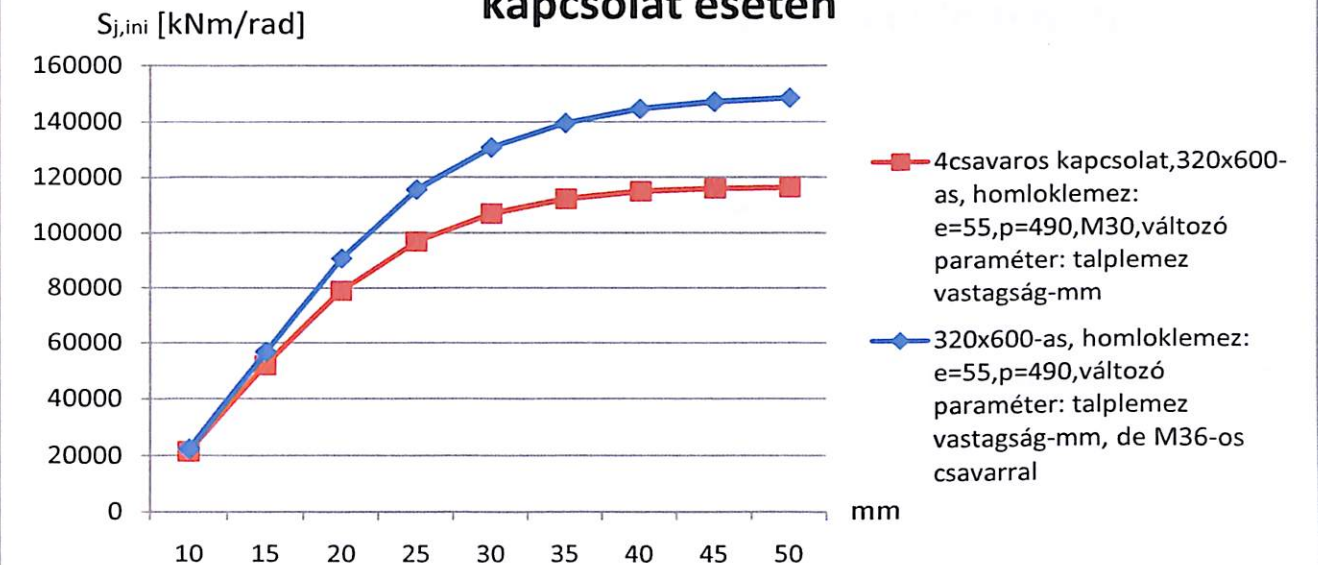
Talplemez vastagságának hatása a határnyomatékra



A diagramon látható, hogy a 25 milliméteres vastagság után nem nő tovább a határmerevség, holott a kezdeti merevség tovább emelkedik, mindegyik talplemez méret esetében. Éppen ezért további vizsgálatnak vettem alá a kapcsolatokat, s a következő eredményre jutottam:

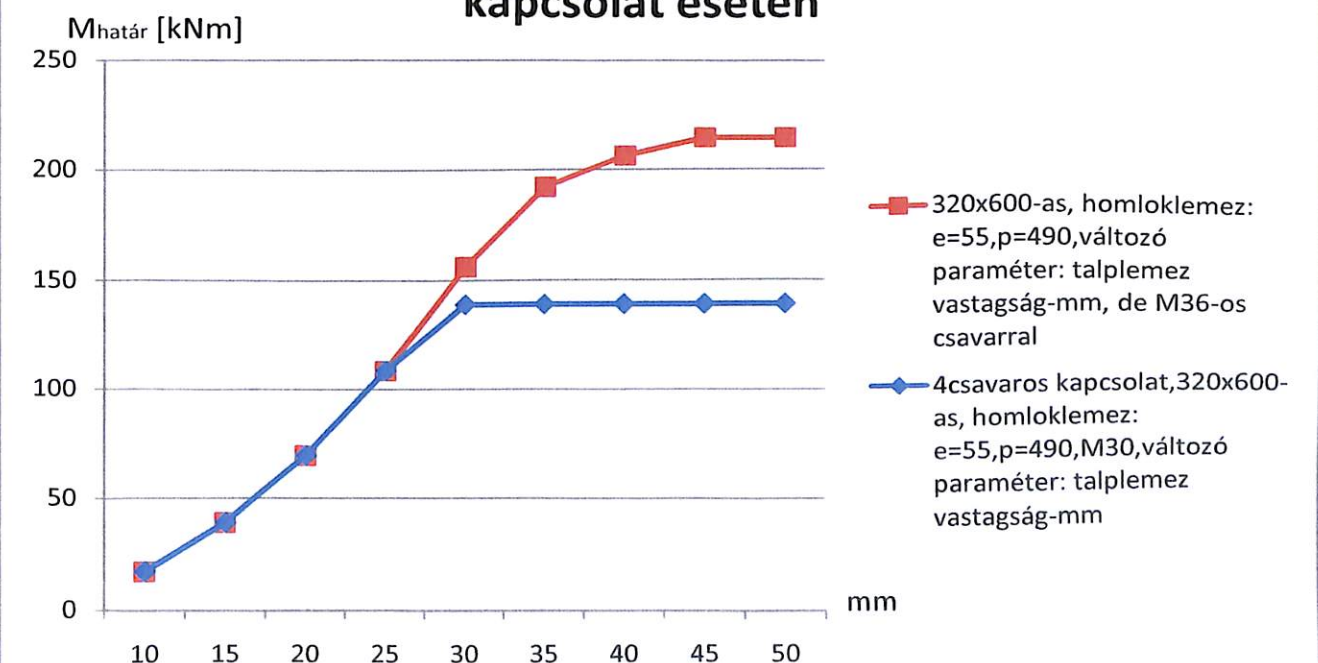
II.3.1.3. 4 csavaros talplemez, 320x600mm-es:

Változó talplemez vastagság mellett elérhető legnagyobb merevségek, 2 csavarsoros kapcsolat esetén



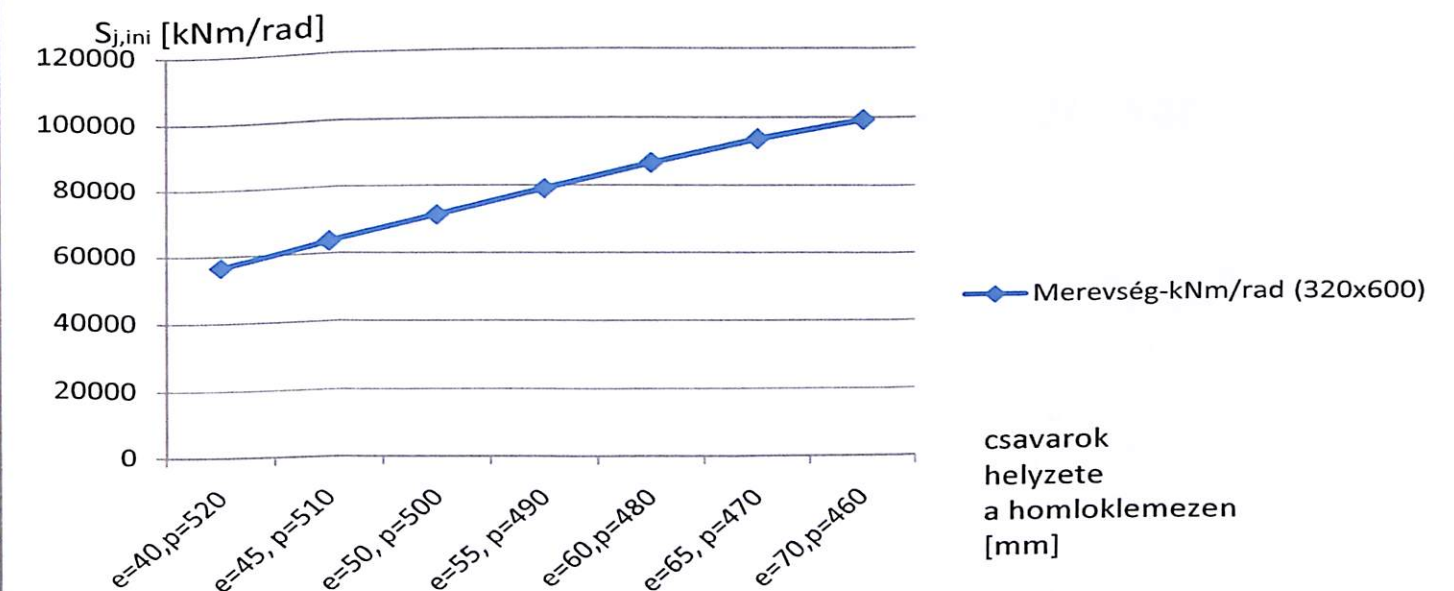
Elég a csavar méretét megnövelni M30-asról M36-osra ahhoz, hogy a merevséget megnöveljük.

Változó talplemez vastagság mellett elérhető legnagyobb határnyomatékok, 2 csavarsoros kapcsolat esetén

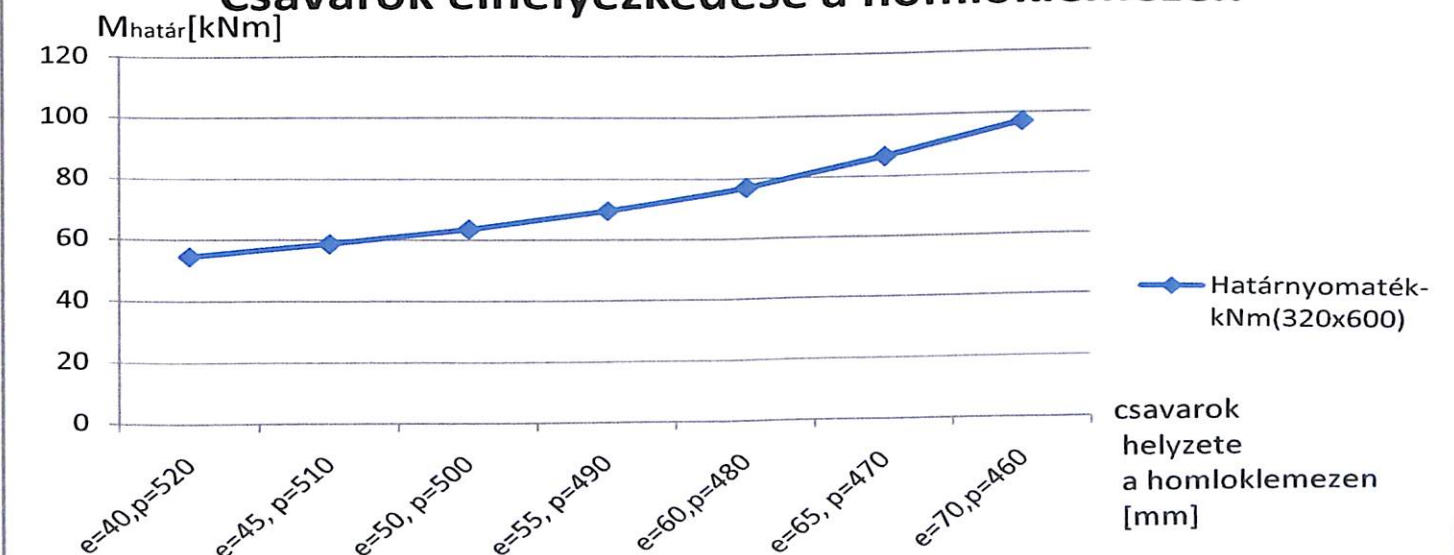


Ugyanez látható ezen a diagramon is, kék színnel M30-as csavar esetén és narancssárga színnel M36-os esetén. De hasonló hatást el lehet érni azzal is, ha megváltoztatjuk a homloklemezen a csavarok távolságait.

Csavarok elhelyezkedése a homloklemezen



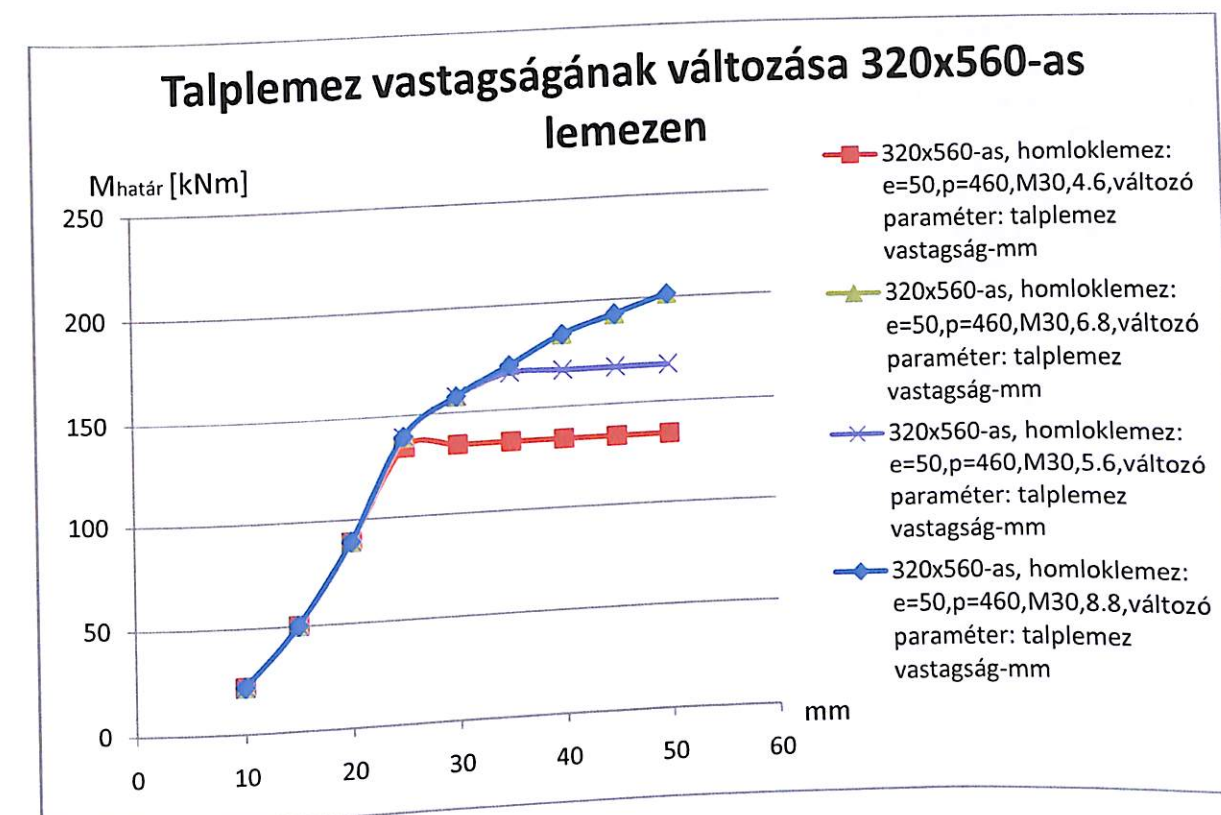
Csavarok elhelyezkedése a homloklemezen



Ez a megoldás akkor javasolható, ha túl nagy nyomatékot tovább már nem kell felvennie a kapcsolatnak, mivel ez esetben a maximális határnyomaték 96,98 kNm, míg a csavarméret megváltoztatásával 214,49 kNm -t kapunk.

II.3.1.4. 4 csavaros talplemez, 320x560mm-es:

A merevségek ez esetben szinte teljesen megegyező értékeket vesznek fel (ld. bővebben: 2. Melléklet), ellenben a határ-nyomatékokkal. Jól látszik az ábrán, hogy a csavarok anyagminőségének megnövelésével egyre magasabb értéket lehet elérni, mindaddig, míg tovább már nem emelkedik a maximális érték.

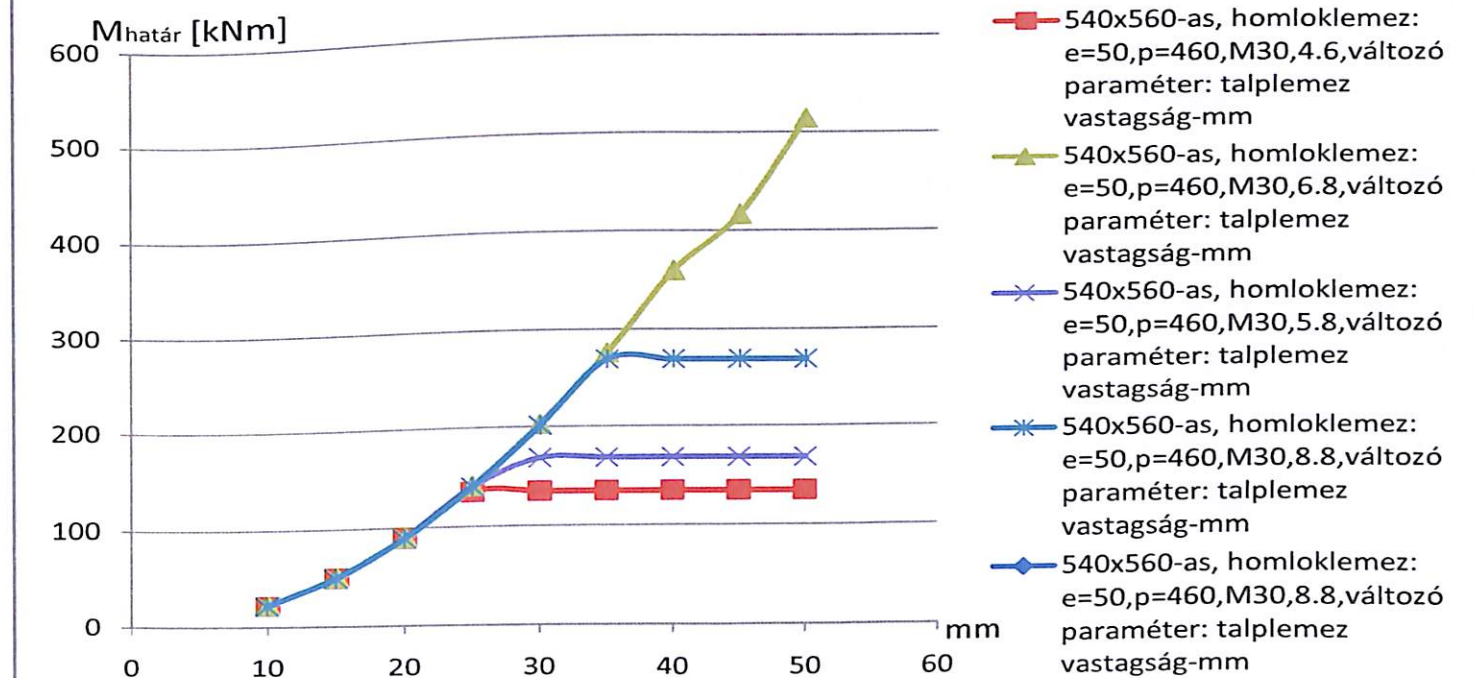


Az is kirajzolódik ebből, hogy a 6.8-as és a 8.8-as anyagminőség használatával ugyanazt a határnyomatékot kapjuk a talplemez vastagság függvényében, célszerű ezért a kisebb anyagminőséget választani, mivel az építőipar igen ár érzékeny.

II.3.1.5. 4 csavaros talplemez, 540x560mm-es:

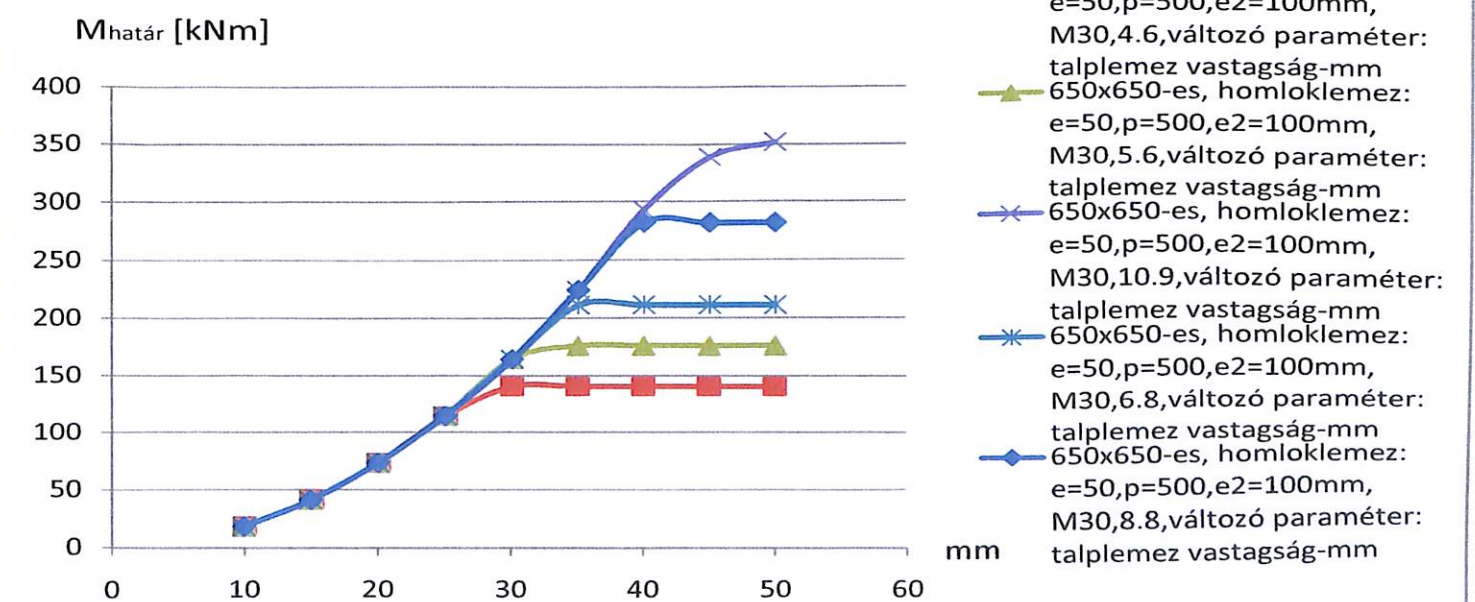
Minél jobban megnöveljük a talplemez geometriai méreteit, annál nagyobb merevséget és határnyomatékot kapunk, ezt tapasztaltam ennél a lemeznél is, melynél szintén a csavar anyagminőség változtatásával érhetünk el egyre növekvő határnyomatékot. Jól látszódik, hogy ismételten a 6.8-as anyagminőség adja a legmagasabb határnyomatéki értéket és merevséget (ld. bővebben: 2. Melléklet).

Talplemez vastagságának változása 540x560-as lemezen



II.3.1.6. 4 csavaros talplemez, 650x560mm-es:

Talplemez vastagságának változása 650x650-es lemezen



Az előzőekhez hasonlóan a merevségi görbék szórása egymás fedé (ld. bővebben: 2. Melléklet), míg a határnyomatéki értékek az előzőekkel ellentétben a csavar anyagszámmal

párhuzamosan lineárisan növekedő rendszert mutatnak. Ebben az esetben a maximális értéket a 10.9-es anyagminőség adja.

Összegzés:

- általánosan elmondható, hogy a merevségek azonos mértékben növekszenek,
- a határnyomatékok (ha változatlanul hagyjuk a kapcsolati paramétereket) 140kNm-es érték felé nem emelkednek,
- a határnyomatékok, ha megváltoztatjuk a csavar anyaminőségét, egészen 513,66 kNm - ig növelhetők (a talplemez vastagságának és geometriai méreteinek a függvényében),
- kisebb lemezeknél elegendő a csavarok méretét egyel növelni, hogy nagyobb határnyomaték értéket kapjunk, míg a közepes méretű talplemezeknél elegendő a 4.6-os anyagminőséget legfeljebb 6.8-asra változtatni,
- nagyobb lemezeknél is elegendő csupán a csavar anyagminőséget növelni, azonban megfontolandó, hogy abban az esetben, ha szükségessé válna a talplemez geometriai arányainak növelése - a gazdaságossági, erőtani és szilárdsági igényeket szem előtt tartva érdemesebb egy kisebb geometriai kialakítású lemezt alkalmazni gyengébb szilárdságú csavarral, mint egy nagyobb lemezt levágtatni erősebb szilárdságú csavarral (ez látható a vizsgálataimból is: például az 540x560-as lemez alkalmazása 6.8-as csavarokkal 513,66 kNm-es maximális határnyomatékot jelent, míg a 650x650-es lemeznél 10.9-es csavarokat használva 351,81 kNm a felvehető legnagyobb nyomatéki érték),
- a kapcsolati kialakítás szempontjából döntő befolyással bír a csavarok tönkremeneteli lehetőségei közül a csavarszakadás, illetve az ez ellen történő megerősítése a csomópontnak.

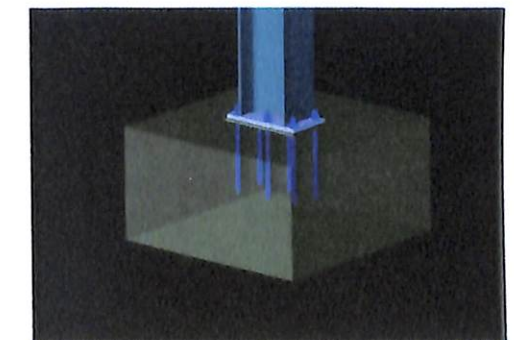
II.4. A 6 csavaros homloklemezes kapcsolatok

Az oszlop minden esetben melegen hengerelt HEA 400-as szelvény.

II.4.1. Különböző talplemezek esetén:

Fix paraméterek: - homloklemez vastagsága 30mm

- csavar: 4.6, csavarsorok száma:3



- csavarok helyzete-függőlegesen $e_1=50\text{mm}$, $e_2=40\text{mm}$, $p_1=250\text{mm}$,
 $p_2=220\text{mm}$

- vízszintesen 50mm eltávolság

- homloklemez helyzete: -91mm

- Anyagminőség: S235

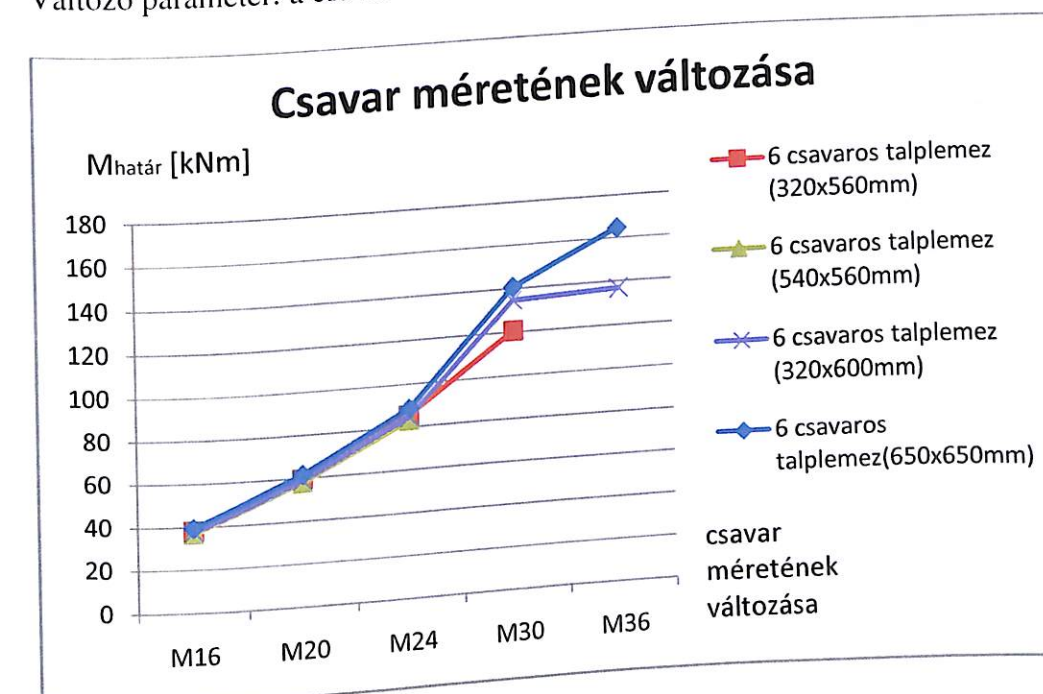
- felső és alsó övvarrat, gerincvarrat :3mm gyökméret

- Alaptest anyagminősége: C12/15,

- Alaptest geometriai méretei: 1400x1400x900mm

- Hézagkiöntés anyagminősége : C12/15, vastagsága 20mm

Változó paraméter: a csavar mérete, homloklemez szélessége, hossza



Ebben az esetben a merevségek szinte teljesen azonos értékeket vesznek fel (ld. bővebben: 1. Melléklet), s a határnyomatékok is csak végértékeikben térnek el - 120,63 kNm és 164,62 kNm között változnak.

II.4.2. Különböző talplemez vastagságok esetén:

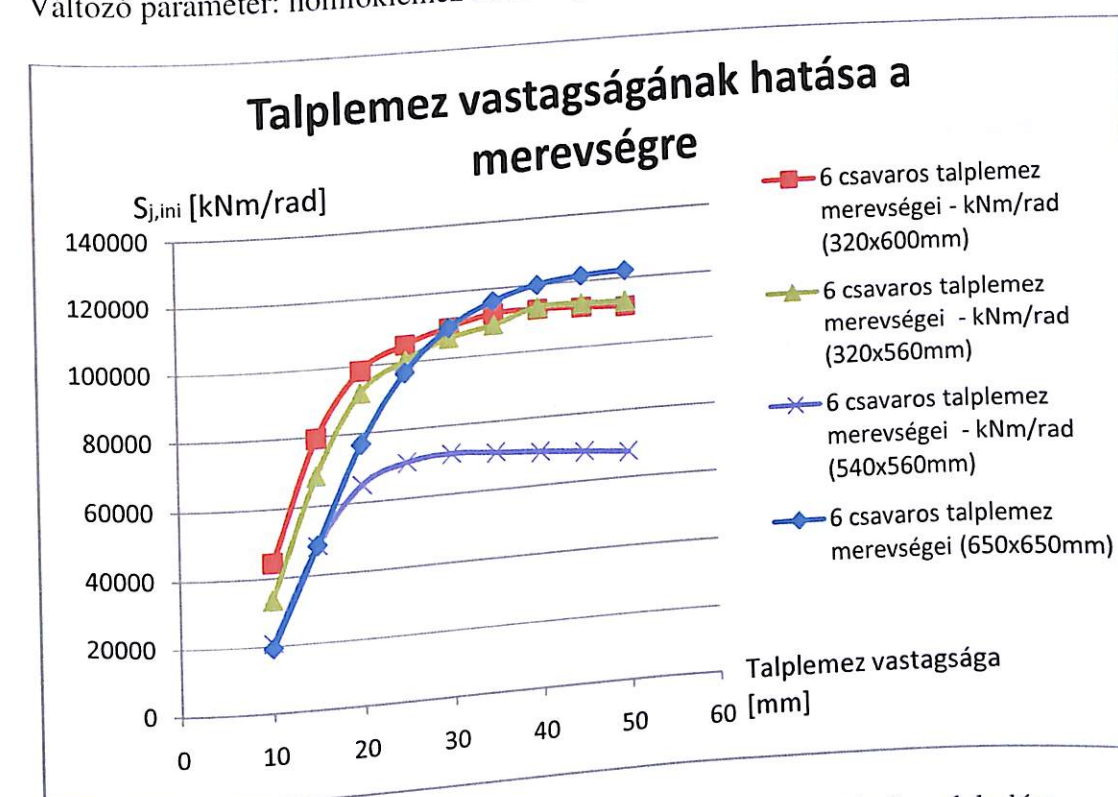
Fix paraméterek: - csavar: M30, 4.6, csavarsorok száma:3

- csavarok helyzete - függőlegesen $e=50\text{mm}$, $p=460\text{mm}$

- vízszintesen 50mm eltávolság

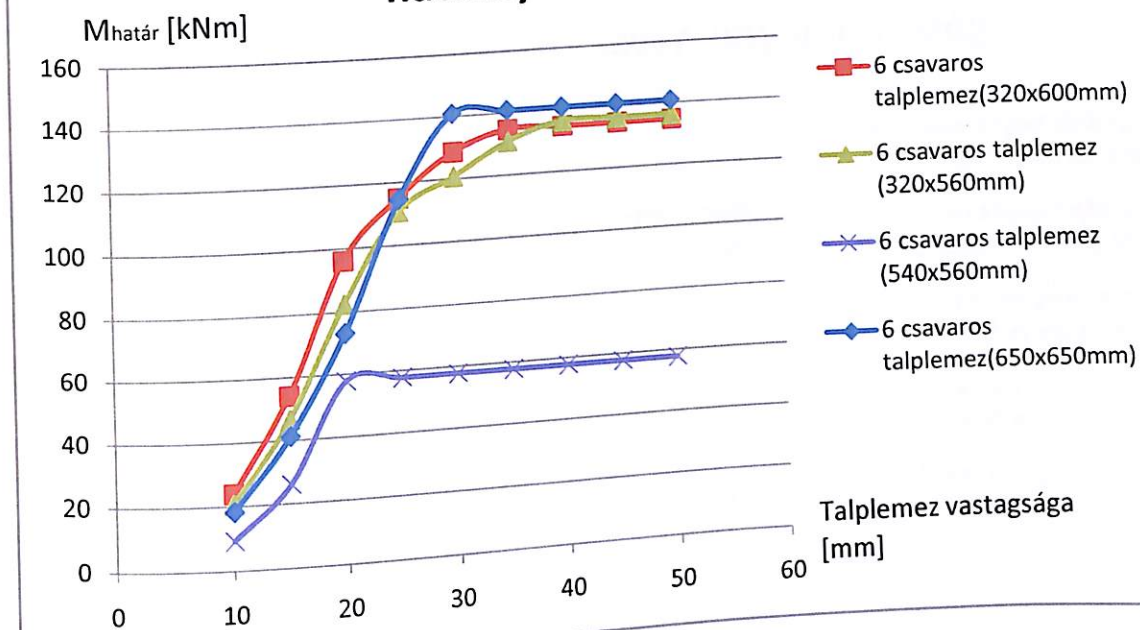
- homloklemez helyzete: -85mm
- Anyagminőség: S235
- felső és alsó övvarrat, gerincvarrat : 3mm gyökméret
- Alaptest anyagminősége: C12/15,
- Alaptest geometriai méretei: 1400x1400x900mm
- Hézagkiöntés anyagminősége : C12/15, vastagsága 20mm

Változó paraméter: homloklemez szélessége, hossza és vastagsága



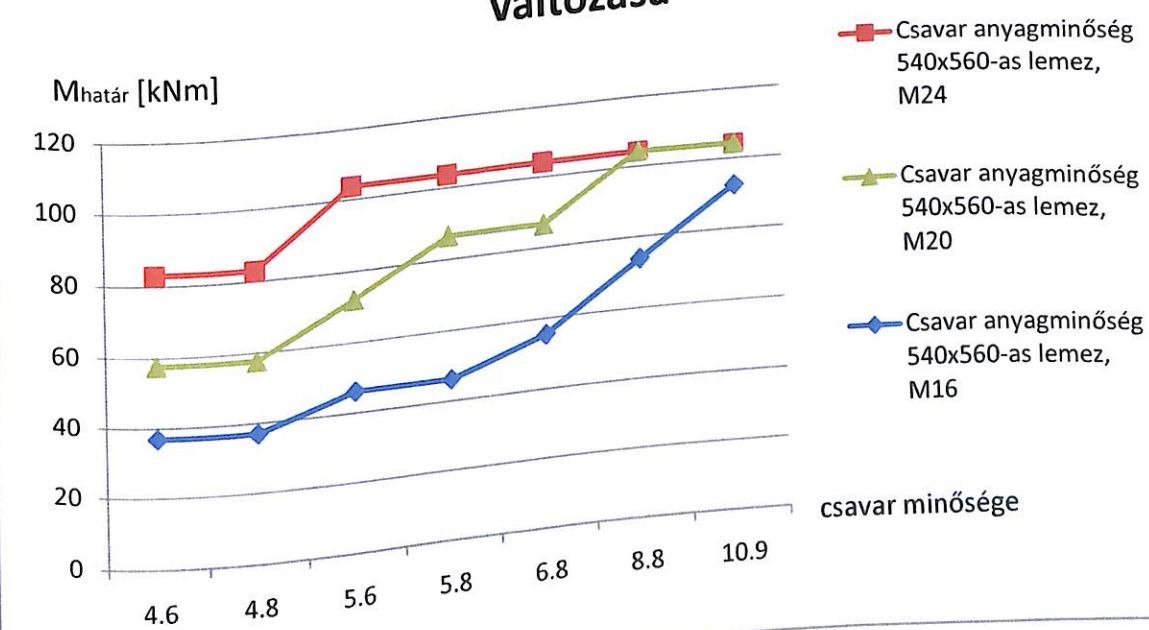
Sokkal látványosabb viszont a kezdeti merevségek alakulása a talplemez vastagságának függvényében. Az egymás melletti lemezek hasonló merevségi tulajdonságokkal rendelkeznek, míg a nagyobbak igen eltérővel. Merevségi szempontból a legkedvezőtlenebb kialakítás az 540x560mm-es.

Talplemez vastagságának hatása a határnyomatékra



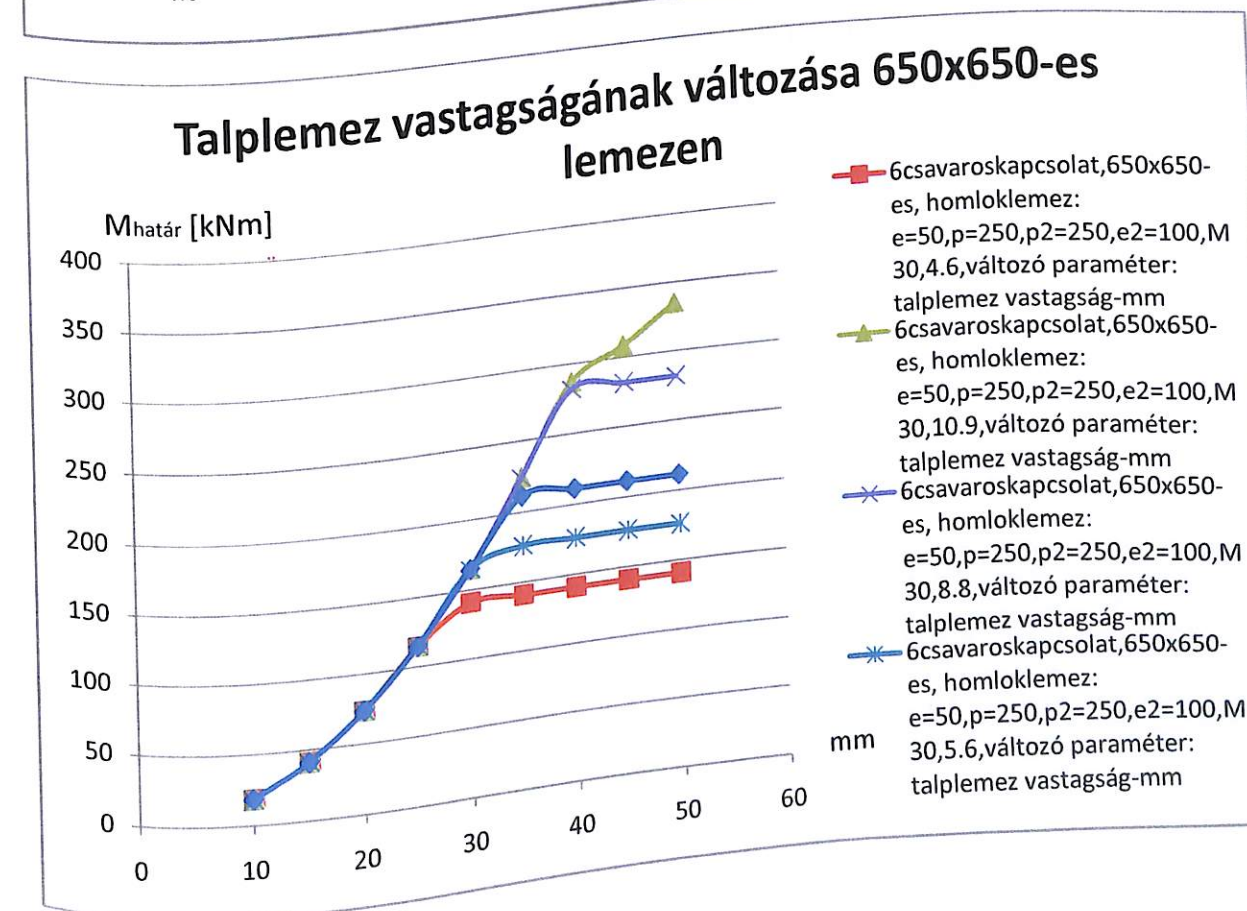
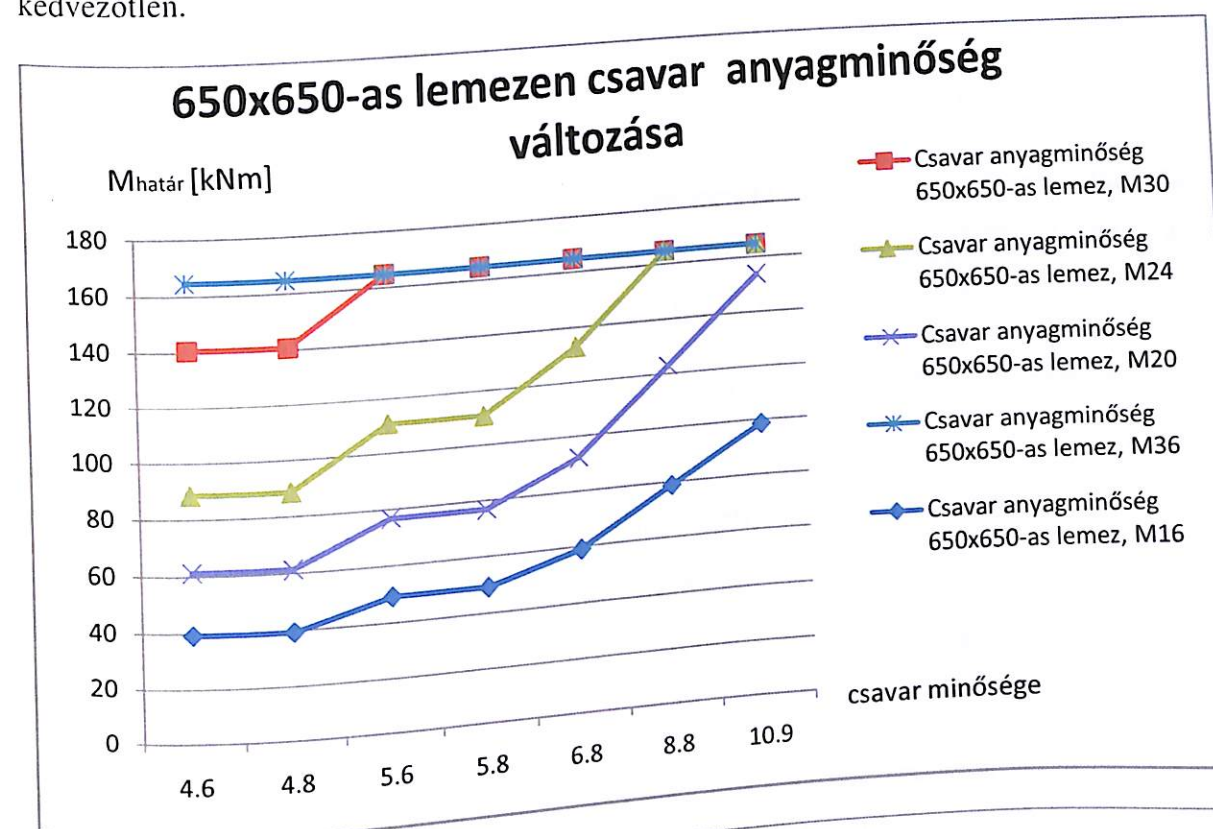
A határnyomatéki ábra egyértelműen bizonyítja, hogy az 540x560mm-es lemez kialakítás a legkevésbé megfelelő, míg a 650x650-es a leginkább használható típus. Mindezen lehet változtatni a csavar szilárdságának a növelésével (bővebben ld.: 1. Melléklet):

540x560-as lemezen csavar anyagminőség változása



Ezáltal eléri az 540x560mm-es kapcsolat a 104,24 kNm-es határmerevséget, míg a 650x650-es a 164,62 kNm-t. Bizonyos tervezési esetekben hasznos lehet kisebb lemez és

nagyobb szilárdságú csavar választása, azonban a kapcsolat mechanikai jellemzőit tekintve kedvezőtlen.



Mindezekből az következik (bővebben ld. 1. és 2. Mellékletek), hogy a csavarsorok minősége és a talplemez szélessége, hosszúsága, valamint vastagsága döntően tudja befolyásolni a kapcsolat teherbírását.

Összegzés:

- általánosan elmondható, hogy a merevségek igen nagy tartományokban képesek - különböző paraméterek befolyása alatt - változni, például a 540x560mm-es lemez 54722,63-127850,67 kNm/rad között (bővebben ld.: 1. és 2. Mellékletek).
- a határnyomatékok (ha változatlanul hagyjuk a csomóponti paramétereket) 140kNm-es érték felé nem emelkednek.
- a határnyomatékok növelésének leghatásosabb eszköze a csavarok méretének, szilárdságának valamint a talplemez vastagságának a növelése
- a határnyomatékok növelésével arányosan egyre merevebbé válnak a csomópontok,
- a gazdaságosság elvét követve, továbbá a legkedvezőbb mechanikai, szilárdságtani kialakításra törekedve érdemes kisebb geometriával rendelkező magasabb szilárdságú csavarral rendelkező vagy nagyobb geometriai méretekkel kialakított, gyengébb szilárdságú lemezt előnyben részesíteni, mint egy köztes megoldást választani, melynek ugyan vannak nem elhanyagolható gazdasági előnyei, de a csomóponti erőjáték működésének szempontjából kevésbé előnyösnek mondható.
- a kapcsolati kialakítás szempontjából itt is döntő befolyással bír a csavarok tönkremeneteli lehetőségei közül a csavarszakadás, illetve az ez ellen történő megerősítése a csomópontnak.

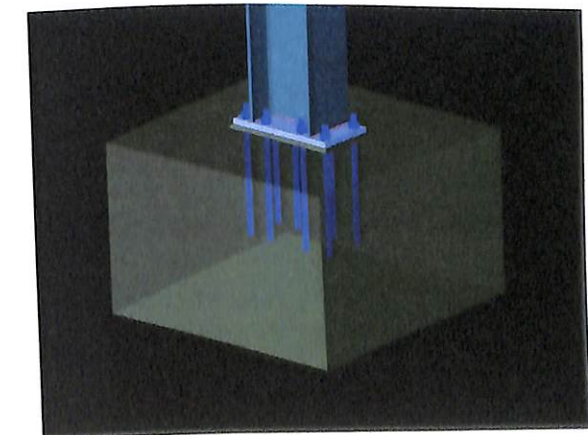
II.5. A 8 csavaros homloklemezes kapcsolatok

Az oszlop minden esetben melegen hengerelt HEA 400-as szelvény.

II.5.1. Különböző talplemezek esetén:

Fix paraméterek: - homloklemez vastagsága(30mm)

- csavar: 4.6, csavarsorok száma:4



- csavarok helyzete - függőlegesen $e_l=50\text{mm}$, $e_n=40\text{mm}$, $p_1=290\text{mm}$,
 $p_2=80\text{mm}$, $p_3=100\text{mm}$

- vízszintesen 50mm éltávolság

- homloklemez helyzete: -98mm

- Anyagminőség: S235

- felső és alsó övvarrat, gerincvarrat :3mm gyökméret

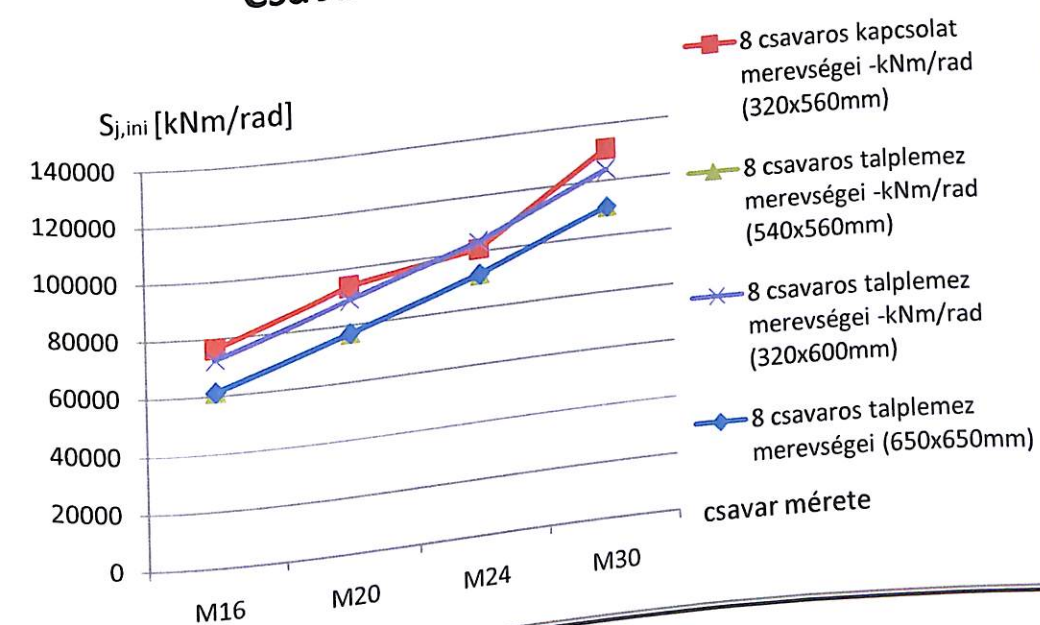
- Alaptest anyagminősége: C12/15,

- Alaptest geometriai méretei: 1400x1400x900mm

- Hézagkiöntés anyagminősége : C12/15, vastagsága 20mm

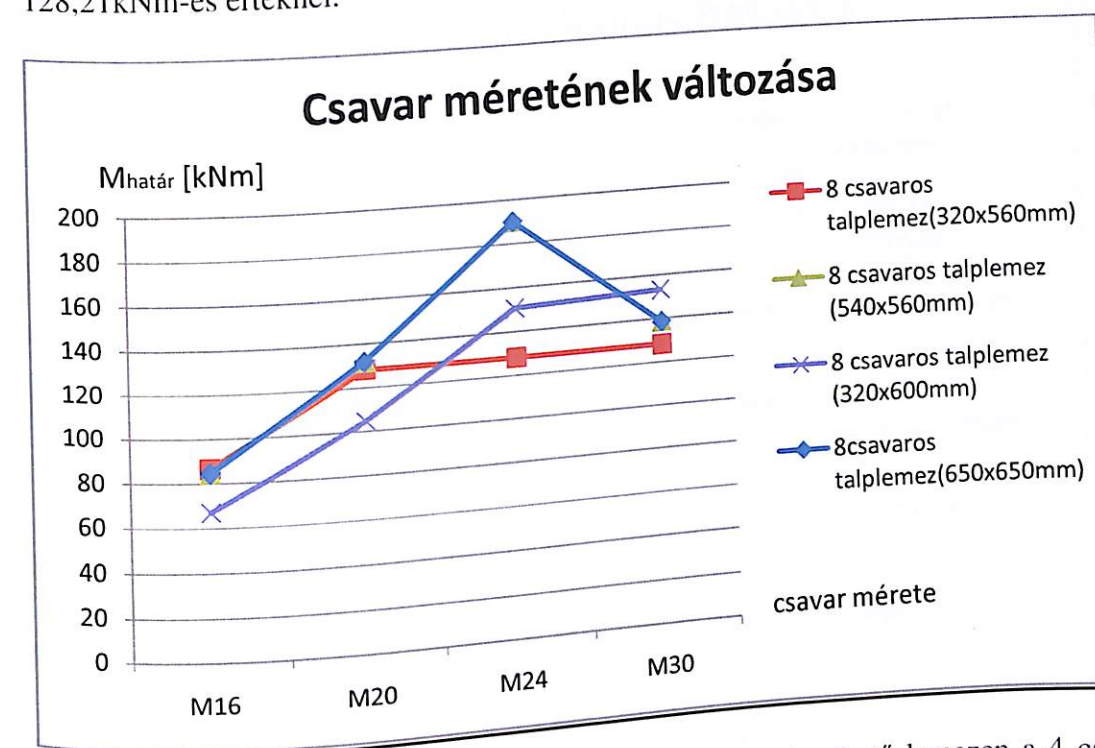
Változó paraméter: a csavar mérete, homloklemez szélessége és hosszúsága

Csavar méretének változása



A csavar méretének növelésével azonos mértékben nő a merevség, egyenes arányosság van a lemez mérete és a merevség között, ami fontos tulajdonsága a csomóponti kapcsolatnak. A határnyomatékok esetében azonban már igen eltérő eredményeket kaptam, egyrészt a 4 illetve 6 csavaros kapcsolatoknál domináns 140kNm-es határt átlépte ez a kapcsolattípus, de bizonyos értékek felé már nem nőtt tovább. A 650x650mm-es lemez esetében a legnagyobb,

190,01kNm, míg a 320x560mm-es lemez esetében nem éri el még a 140kNm-ert sem, megáll 128,21kNm-es értéknél.



Mindebből az következik, hogy kisebb geometriai méretű lemezen a 4 csavarsor túl sok, nem használhatók ki jól a kedvező tulajdonságai, míg a nagyobb lemezekben sokkal előnyösebb ez a kialakítás.

II.5.2. Különböző talplemez vastagságok esetén:

Fix paraméter: - csavar: M30, 4.6, csavarsorok száma: 4

- csavarok helyzete - függőlegesen $e_1=50\text{mm}$, $e_2=40\text{mm}$, $p_1=290\text{mm}$,
 $p_2=80\text{mm}$, $p_3=100\text{mm}$

- vízszintesen 50mm eltávolság

- homloklemez helyzete: -98mm

- Anyagminőség: S235

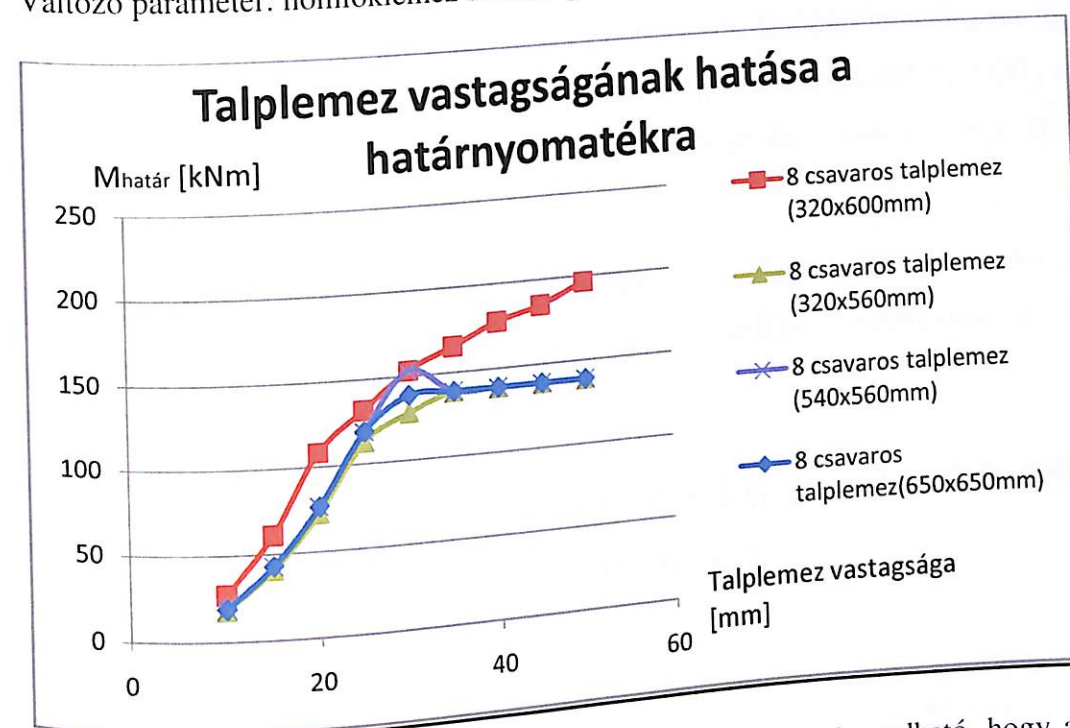
- felső és alsó övvarrat, gerincvarrat: 3mm gyökméret

- Alaptest anyagminősége: C12/15,

- Alaptest geometriai méretei: 1400x1400x900mm

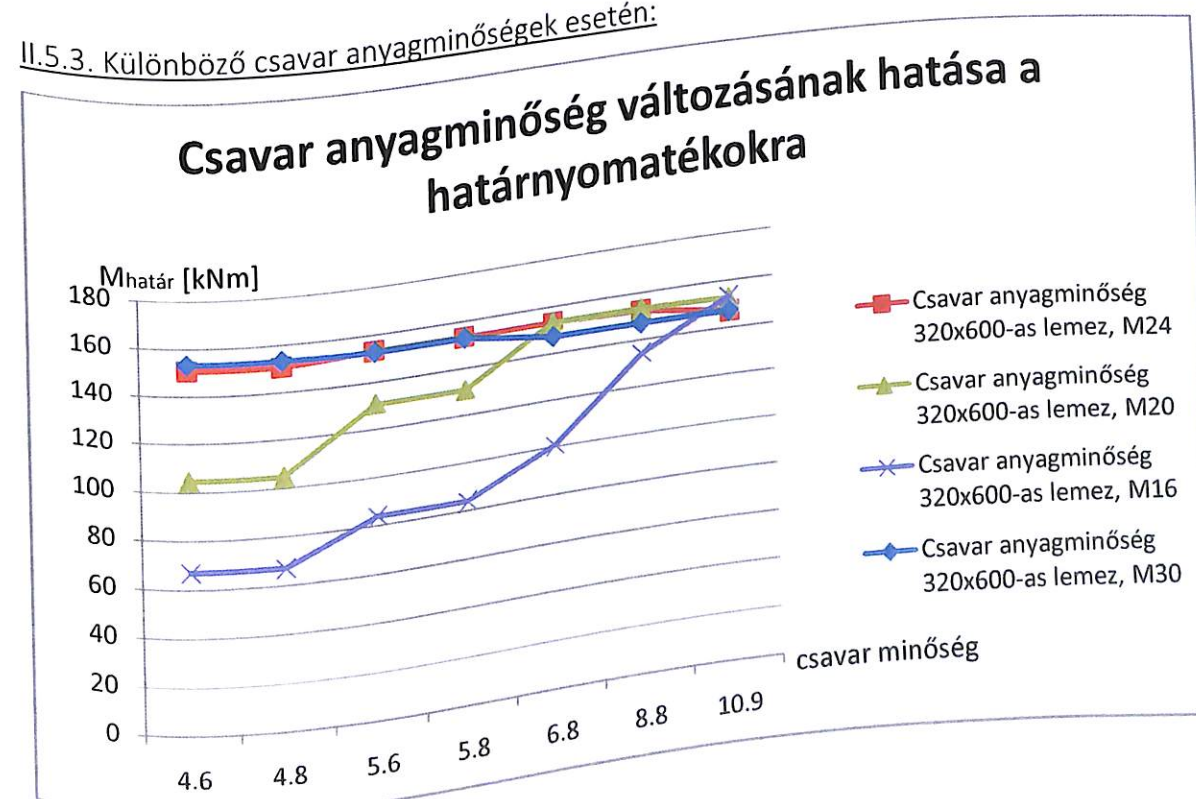
- Hézagkiöntés anyagminősége: C12/15, vastagsága 20mm

Változó paraméter: homloklemez szélessége és hosszúsága, vastagsága



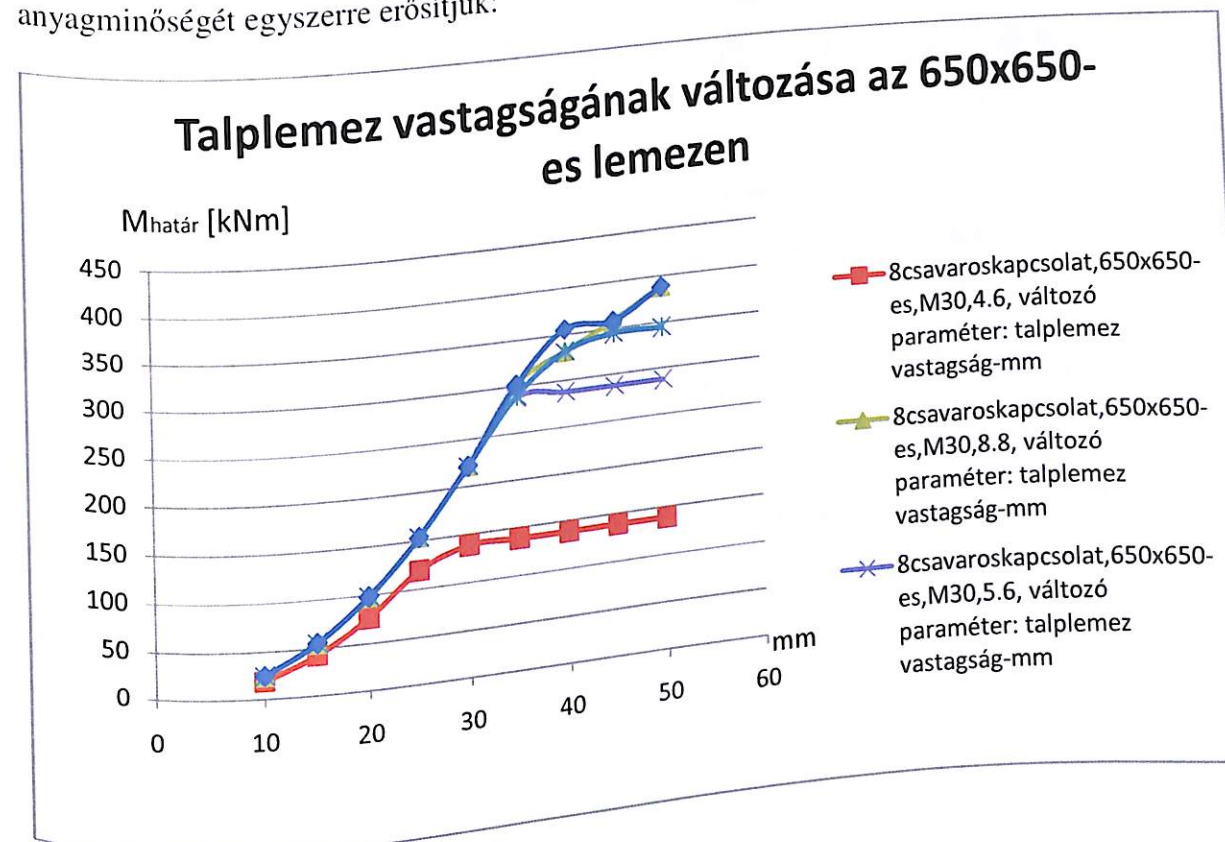
Mind a merevséget, mind a nyomatékokat illetően elmondható, hogy a 140kNm-es határ ez esetben 148kNm, mely után nem emelkednek tovább az értékek, kivéve a 320x600mm-es lemeznél, ahol a csavarsorok számának ellenére eléri a 196,45 kNm-es maximális értéket. Ennek az lehet az oka, hogy a hajlítási igénybevételekre kedvező irányban nagyobb a hosszúsága, míg a másik irányban igen rövid, ahol valójában nincs is szükség éppen emiatt szélesebb talplemezre, mindazáltal gazdaságos a kialakítása is.

II.5.3. Különböző csavar anyagminőségek esetén:



A kisebb csavarméreteket (M16, M20) ugyan érdemes 10.9-es szilárdságú anyaggal beépíteni a csomópontba, azonban ez nem gazdaságos, továbbá nem elegáns megoldás egy statikai tervezés során. Ilyen esetekben inkább nagyobb csavart (M24, M30) alkalmazunk kisebb szilárdságú csavarral, mint fordítva. Láthatóan az 5.8-as minőség már megfelelő ellenállással rendelkezik.

Ennél nagyobb igénybevétel felvételére is képesek a 8 csavaros kapcsolatok (bővebben tartalmazza a 2. Melléklet), ha a talplemez vastagságát és a csavarok anyagminőségét egyszerre erősítjük:



Összegzés:

- a merevségek igen nagy tartományokban képesek - különböző paraméterek befolyása alatt és mellett egyaránt - mozogni (57422,63-150540,82 kNm/rad között, bővebb információ erről az 1. és 2. Mellékletekben találhatók),
- a határnyomatékok (ha változatlanul hagyjuk a csomóponti paramétereket) 128,21- 196,45 kNm-es értékek között változnak,
- a határnyomatékok növelésének legeredményesebb eszköze ezekben az esetekben is a csavarok méretének, szilárdságának valamint a talplemez vastagságának a növelése, azonban itt a lehetőségek sokkal inkább teret adnak a tervezői fantáziának: egyaránt lehet jó

csomóponti megoldás egy keskenyebb lemez mint egy szélesebb, továbbá ugyanolyan megfelelő megoldás a gyengébb szilárdságú csavarsorok alkalmazása, mint az erősebb szilárdságúaké, a tervező a saját ízlésére és a csomóponti egyensúlyokra hagyatkozhat ennél a típusnál.

- 5.8-as szilárdságú csavarok megfelelő ellenállással rendelkeznek, ha azonban ez a megoldás nem megfelelő, érdemes inkább a talplemez vastagságához vagy a csavar méretéhez hozzányúlni, mintsem egy nagyobb szilárdságú csavart elhelyezni.

- a kapcsolati kialakítás szempontjából döntő befolyással bír ez esetekben is a csavarok tönkremeneteli lehetőségei közül a csavarszakadás, illetve az ez ellen történő erősítése a csomópontnak.

11.6. A 4 - 6 - 8 csavaros homloklemezes kapcsolatok, összegzés

- általánosan elmondható, hogy a annál merevebb a csomóponti kapcsolat, minél több a csavarsorok száma.

- általánosan elmondható az is, hogy annál nagyobb a határnyomatéki érték, minél több a csavarsorok száma.

- általánosságban kijelenthető, hogy a kapcsolati kialakítás szempontjából döntő befolyással bír mindegyik típusnál a csavarok tönkremeneteli lehetőségei közül a csavarszakadás, illetve az ez ellen történő erősítése a csomópontnak.

- a határnyomatékok növelésének legeredményesebb eszköze mindegyik esetben a csavarok méretének, szilárdságának valamint a talplemez vastagságának a növelése, azonban a csavarsorok számától függően eltérőek az optimális kialakítás lehetőségei: a 4 csavaros kapcsolat kevesebb tervezői lehetőséget ad, mint egy 6 vagy 8 csavaros kapcsolat.

- legfeljebb 6.8-as szilárdságú csavarok szinte mindegyik típusnál elegendőek lehetnek, kivéve ha valamilyen statikai vagy anyagi megfontolásból mégis célszerűvé válik az e fölötti anyagminőség használata.

- az alaptest mérete, minősége, a hézagkiöntés vastagsága, a varratok gyökmérete nem mértékadó a csomópontok mechanikai viselkedését illetően.

- a csavarok homloklemezen történő vízszintes illetve függőleges elhelyezése abból a szempontból mértékadó, hogy minden egyes lemeznel és csavarsor távolságnál létezik egy olyan elhelyezési távolság (függőleges és vízszintes értelemben egyaránt), aminél tovább a

határnyomaték és a kezdeti merevség értéke tovább nem nő, hanem folyamatosan csökken, mindegyik irányban, ez az a pont, ahol a határnyomatékot alkotó erő erőkarja a legnagyobb; ezt a maximális pontot alakítottam ki mindegyik vizsgált kapcsolatomban,

- az alaptest betonminőségének javításával nő a kezdeti merevség értéke, azonban a határnyomaték alakulása szempontjából nem jelent semmilyen változást, ez a tulajdonsága a csomópontnak akkor lehet hasznos, ha befolyással kívánunk lenni a merevség értékére, de a határnyomaték értéke már megfelelő,
- a hézagkiöntés zérus vastagságban rendelkezik a legnagyobb merevséggel, míg a vastagság növelésével egyre csökken a merevség értéke.

11.7. Kapcsolati merevségek és határnyomatékok a keretállás távolságok függvényében

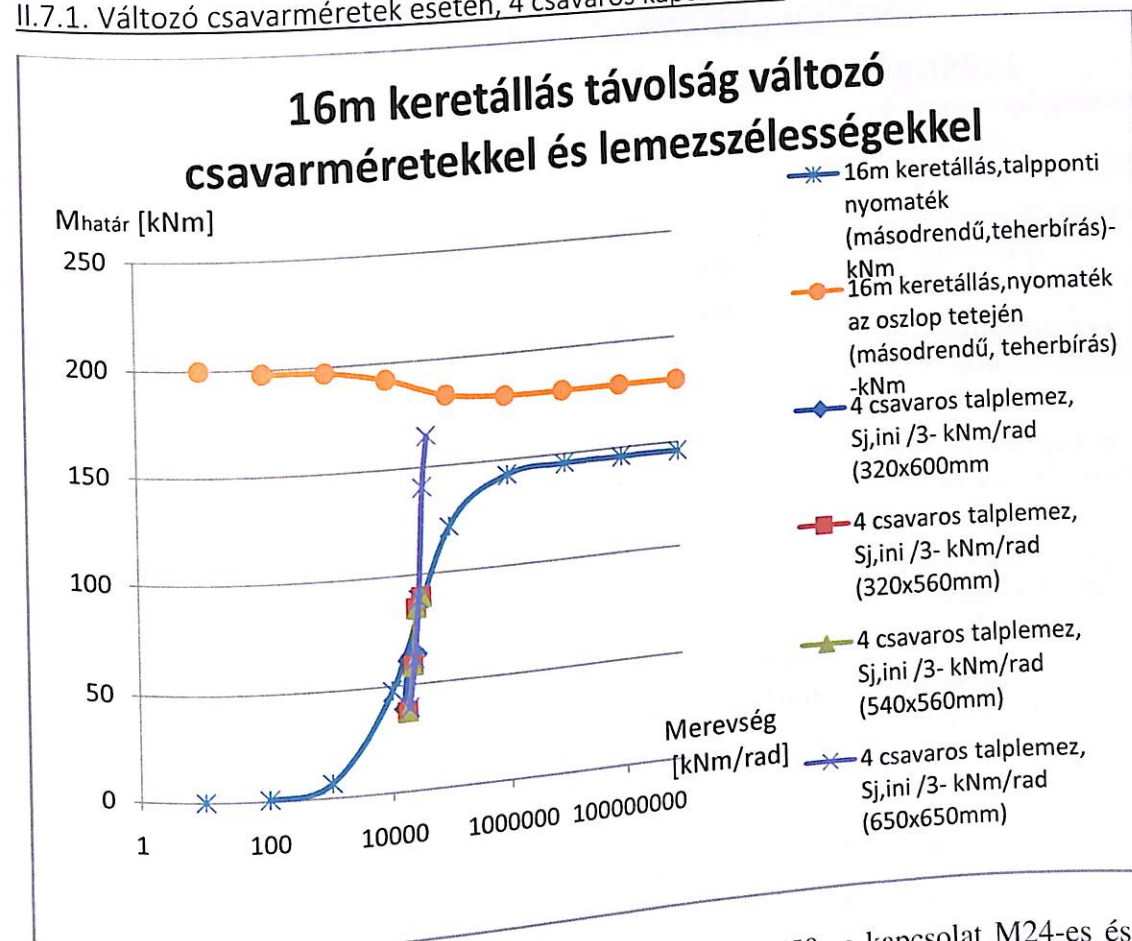
A felvett 2-3-4 csavarsoros kapcsolatoknak megvizsgáltam a kezdeti elfordulási merevségét és a határnyomatékát, ezt folytatva elhelyeztem a különböző fesztávolságú kereteken a csomópontokat (bővebben ld.: 3. Melléklet). Az előzőekben, illetve az 1. és 2. Mellékletekben bemutatott grafikonokon nem változtattam, csupán a kezdeti merevség értékének vettem a harmadát. Az Eurocode ugyanis kimondja, hogy a félmerev kapcsolatokat tartalmazó szerkezetek analízise során az alábbi közelítéssel lehet élni:

$$S_j = \frac{S_{j,ini}}{\eta} = \frac{E z^2}{\eta \sum_i \frac{1}{k_i}}$$

ahol $\eta=3$, gerendaillesztés, talpcsomópont esetén.⁸

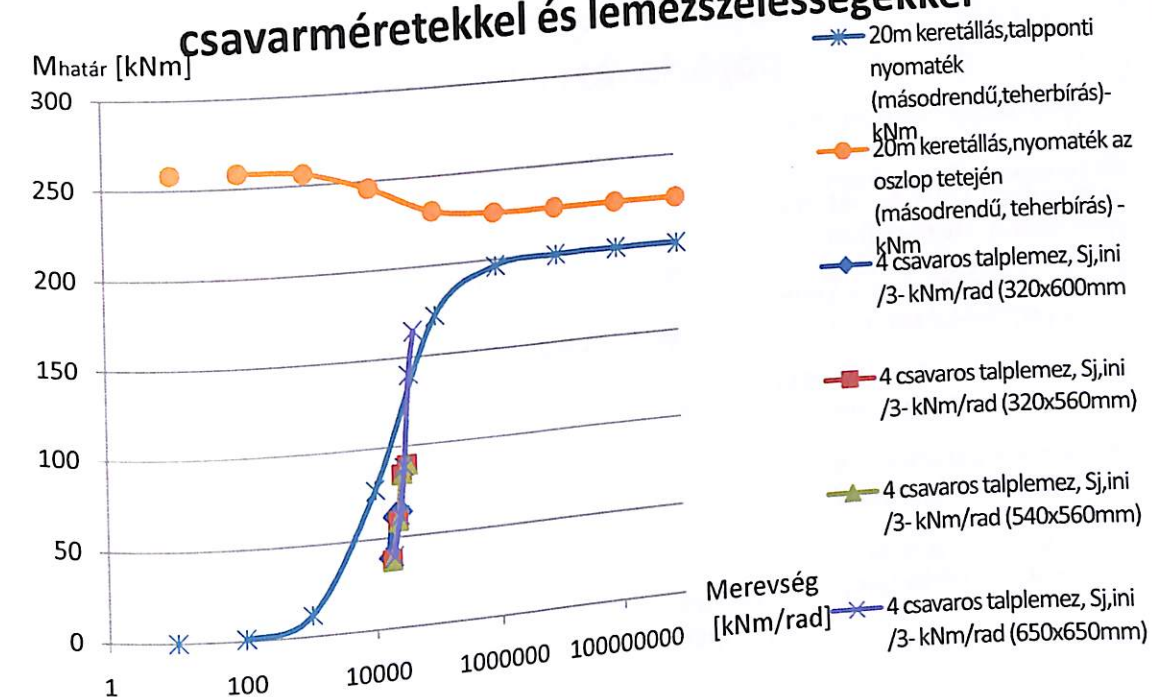
⁸ Forrás: Ádány Sándor - Dulácska Endre - Dunai László - Fernezelyi Sándor - Horváth László: Acélszerkezetek. 2. Speciális eljárások. Tervezés az Eurocode alapján, Business Media Magyarország Kft. 2007.

II.7.1. Változó csavarméreték esetén, 4 csavaros kapcsolatok



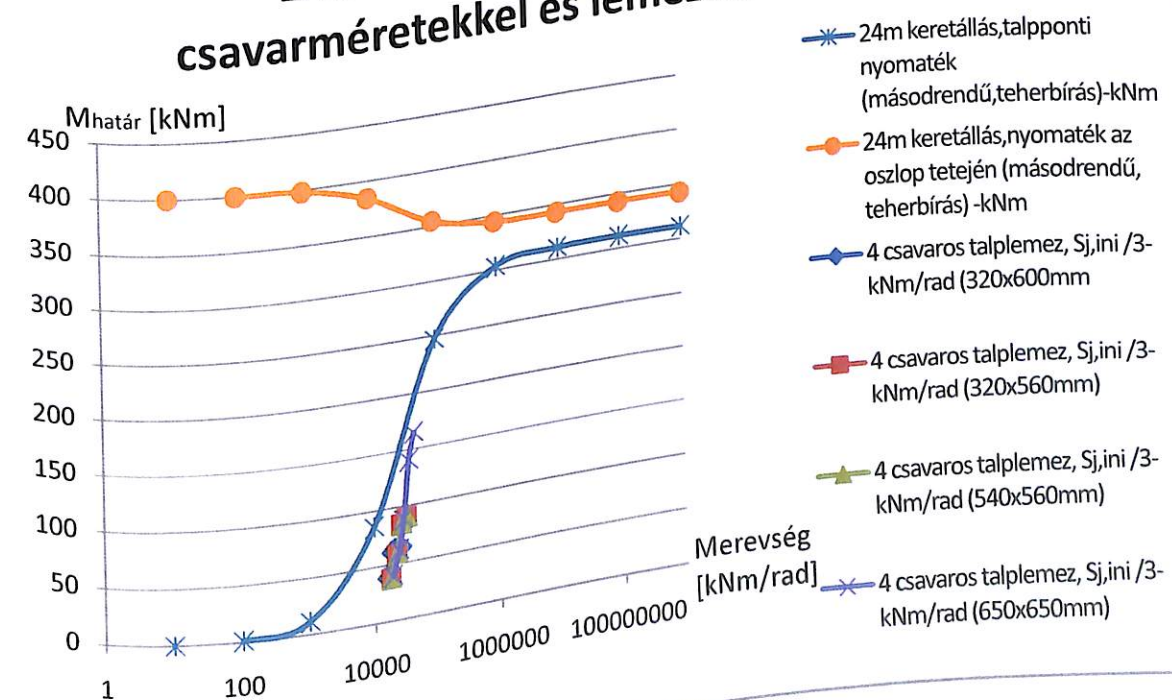
A 16 méteres fesztávolságú kereten csak a 650x650-es kapcsolat M24-es és M30-as csavarméretekkel, valamint a 320x560-as lemez M24-es csavarsorral felel meg a követelményeknek.

20m keretállás távolság változó csavarméretekkel és lemezszélességekkel

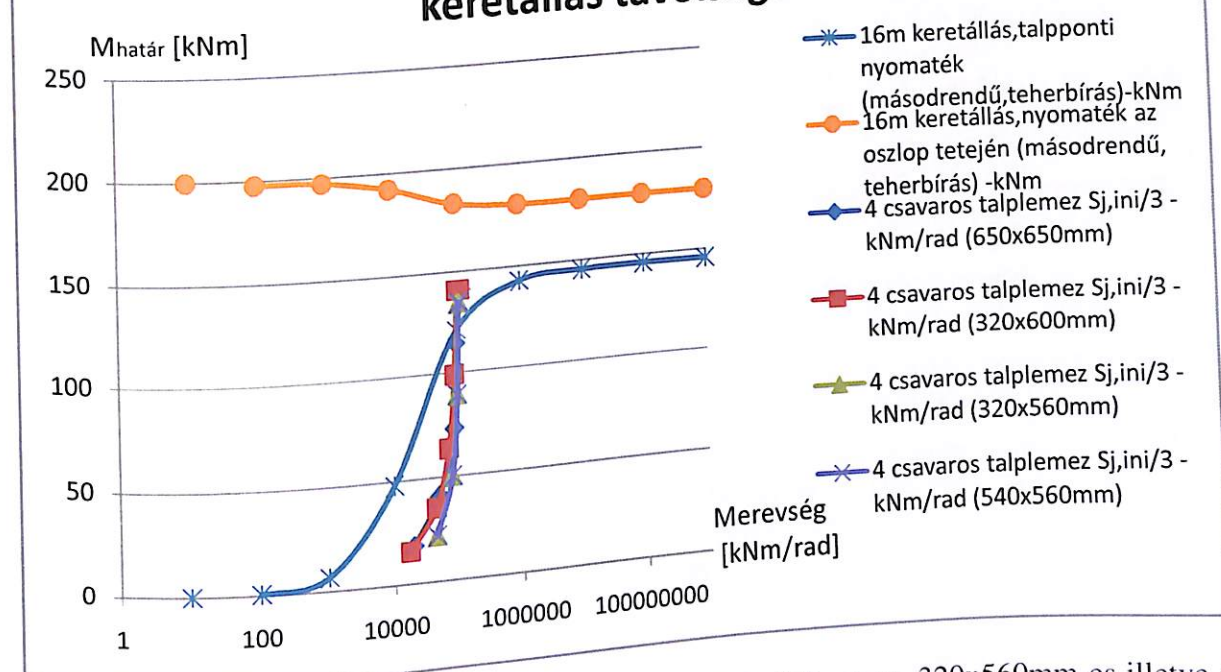


A 20 méteresén már csak a 650x650-es M24-es és M30-ascsavarokkal felel meg, mindegyik már alul marad a grafikonon, és ez történik a 650x650-es lemezzel is a következő vizsgált keretálláson:

24m keretállás távolság változó csavarméretekkel és lemezszélességekkel

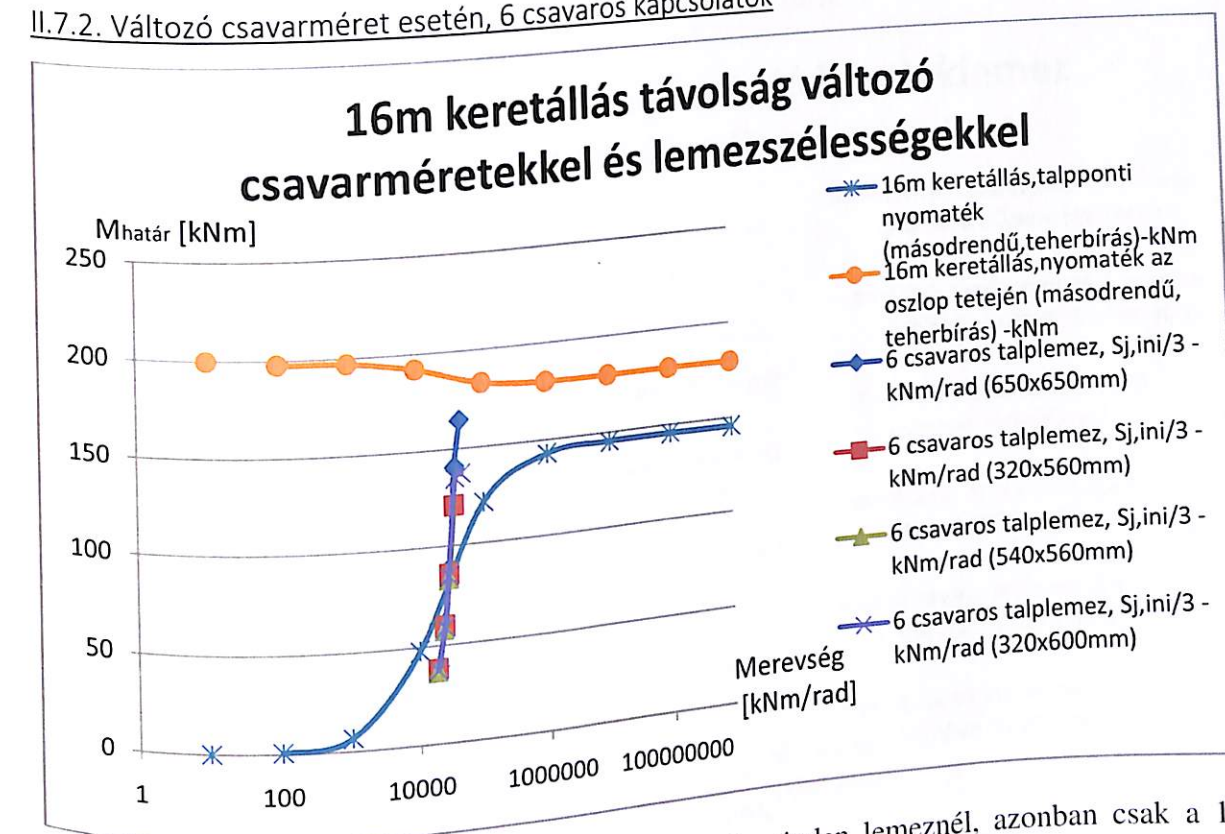


Talplemez vastagságának változása 16m keretállás távolságon



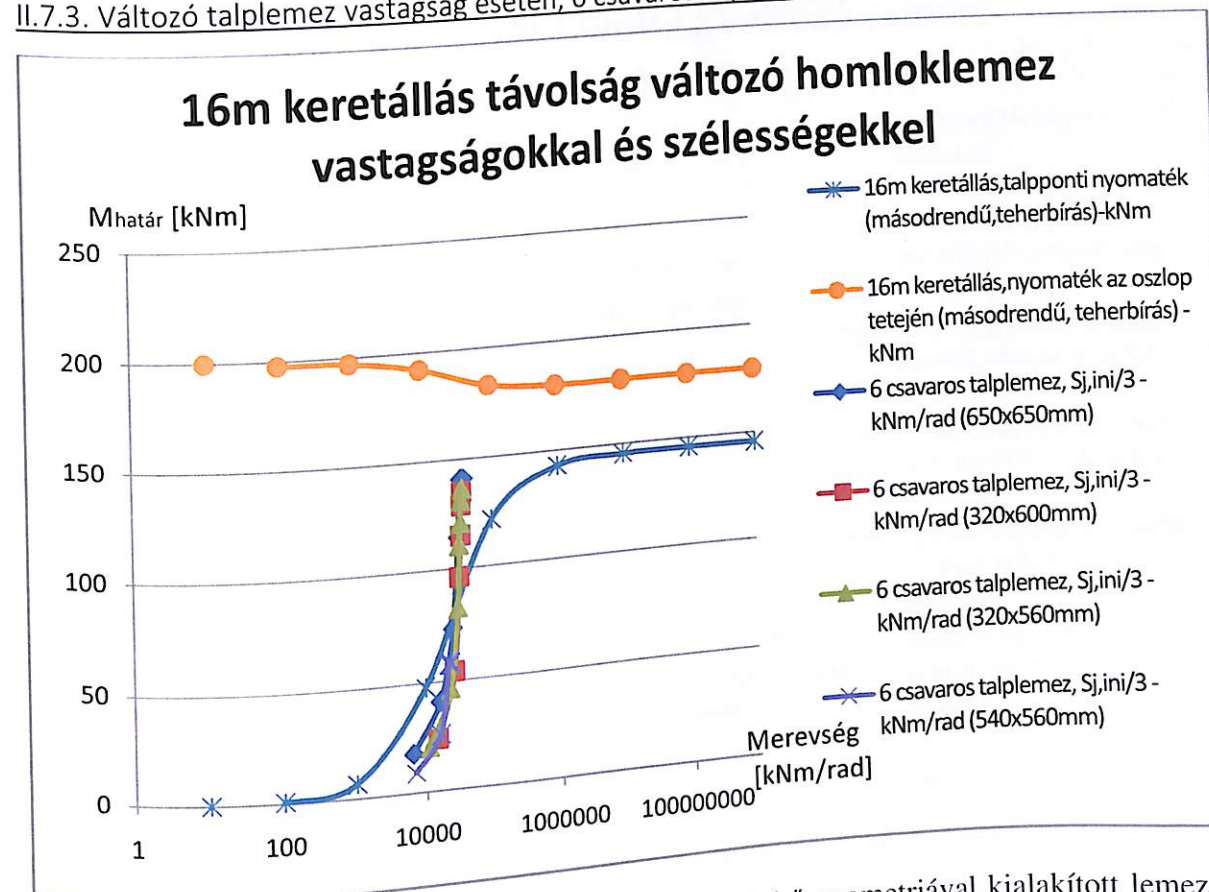
A 16 méteres keretállásnál megfelel ugyan a 320x600mm-es, 320x560mm-es illetve a 540x560mm-es, 50 milliméteres talplemez vastagság esetén, azonban M30-as csavarok mellett ez igen előnytelen kialakítás lenne. A többi keretállás távolság esetén nem felel meg egyetlen kapcsolat sem (bővebben ld.: 3. Melléklet).

II.7.2. Változó csavarméret esetén, 6 csavaros kapcsolatok



Megfelelnek az M24-es és M30-as csavarok minden lemeznél, azonban csak a 16 méteres keretálláson alkalmazhatók, mivel a 20 méteres keretállás távolságon már csak a 650x650mm-es lemez M24-es és M30-as csavarokkal felelne meg, a többi keretálláson pedig semelyik sem (bővebben ld.: 3. Melléklet).

II.7.3. Változó talplemez vastagság esetén, 6 csavaros kapcsolatok



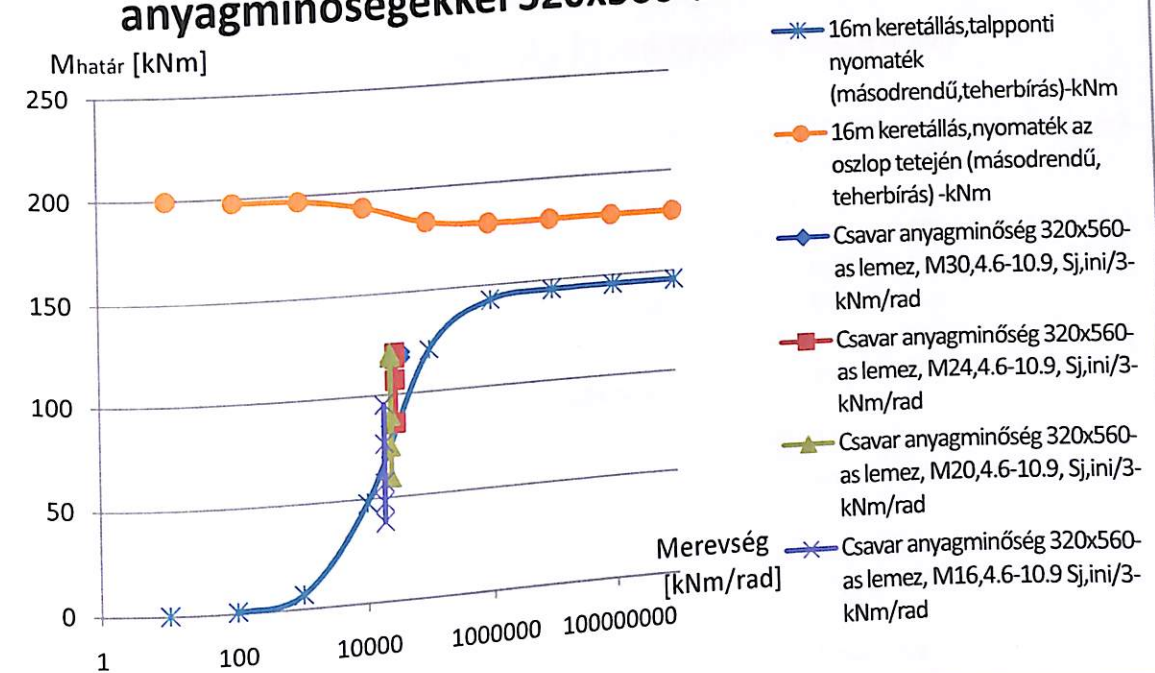
25 mm és feletti lemezvastagság esetén több, eltérő geometriával kialakított lemez is megfelelne, azonban a 20 méteres keretállás távolságon már csak az 50 milliméteres, 650x650-es talplemez fele meg (M30-as csavarmérettel). A többi esetben alatta maradnak a görbének, nem felelnek meg a teherbírási követelményeknek.

II.7.4. Változó csavar anyagminőségek esetén, 6 csavaros kapcsolatok

II.7.4. Változó csavar anyagminőségek esetén, 6 csavaros

A csavar anyagminőségek növelésével sokat javul a csomópontok teherbírása, így a megfelelőességük is a 16 méter fesztávolságú kereten, azonban a 20 méteres és 20 méter feletti keretállások esetén meglehetősen alul maradnak a teherbírási vonalaknak. Legalább 6.8-as szilárdságú és legalább M20-as csavar méret esetén megfelelnek a lemezek a 16 méteres keretálláson teherbírás szempontjából. (Részletesen ld.: 3. Mellékletben.)

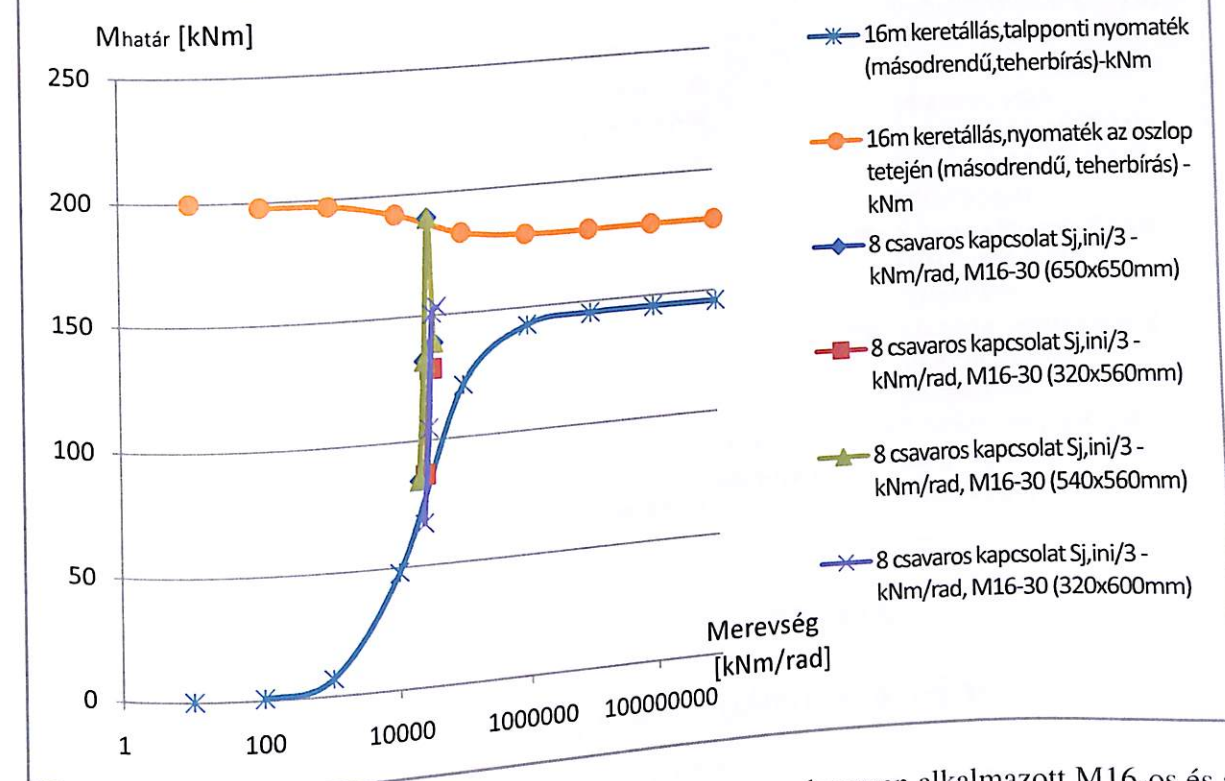
16m keretállás távolság változó csavar anyagminőségekkel 320x560-as lemez esetén



Már a 320x560mm-es kialakítás esetén is található olyan csavarméret és minőség, mely megfelel a követelményeknek, amelyeknek mindeddig egyetlen esetben sem sikerült.

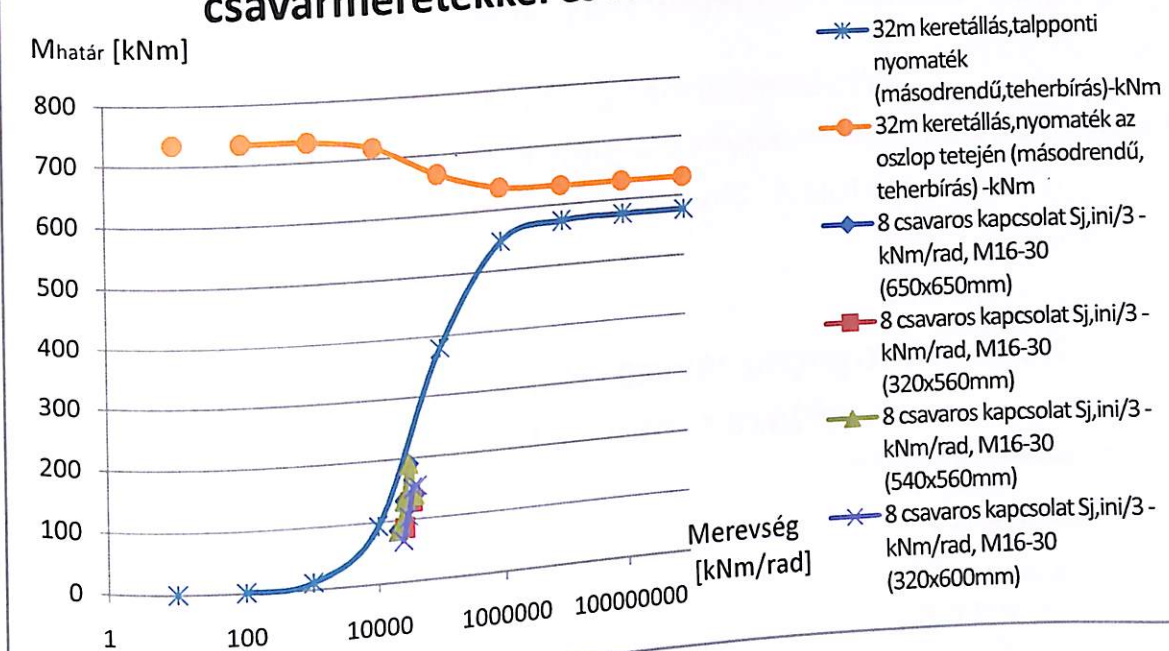
II.7.5. Változó csavar méretek esetén, 8 csavaros kapcsolatok

16m keretállás távolság változó csavarméretekkel és lemezszélességekkel



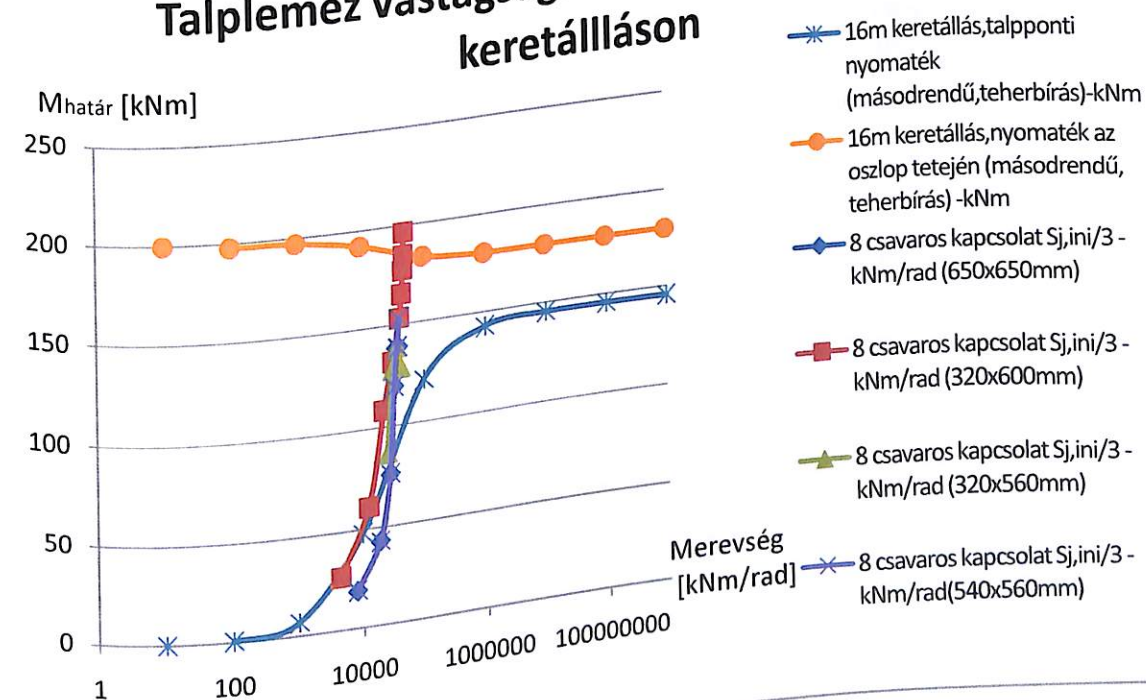
Jól látható a grafikonon, hogy csak a 320x600mm-es lemezen alkalmazott M16-os és a 540x560mm-esen az M24-es csavarsorok nem felelnek meg, mindegyik másik kapcsolat és a 16 méteres keretállás távolságon, már csak a 320x600mm-es lemezen alkalmazható a 16 méteres keretállás távolságon használható lemezek és csavarméretek fele alkalmazható, s ez a megfelelés folyamatosan csökken. A 28 méteres keretálláson már csak az a 540x560mm-es M24-es csavar méret felel meg, ami a 16 méteres nem felelt meg, de a 32 méteres keretállás távolságon már ez sem. (A kapcsolatok elemzése során készült diagramokat bővebben a 3. Melléklet tartalmazza.)

32m keretállás távolság változó csavarméretekkel és lemezszélességekkel



II.7.6. Változó talplemez vastagságok esetén, 8 csavaros kapcsolatok

Talplemez vastagságának változása 16m-es keretálláson

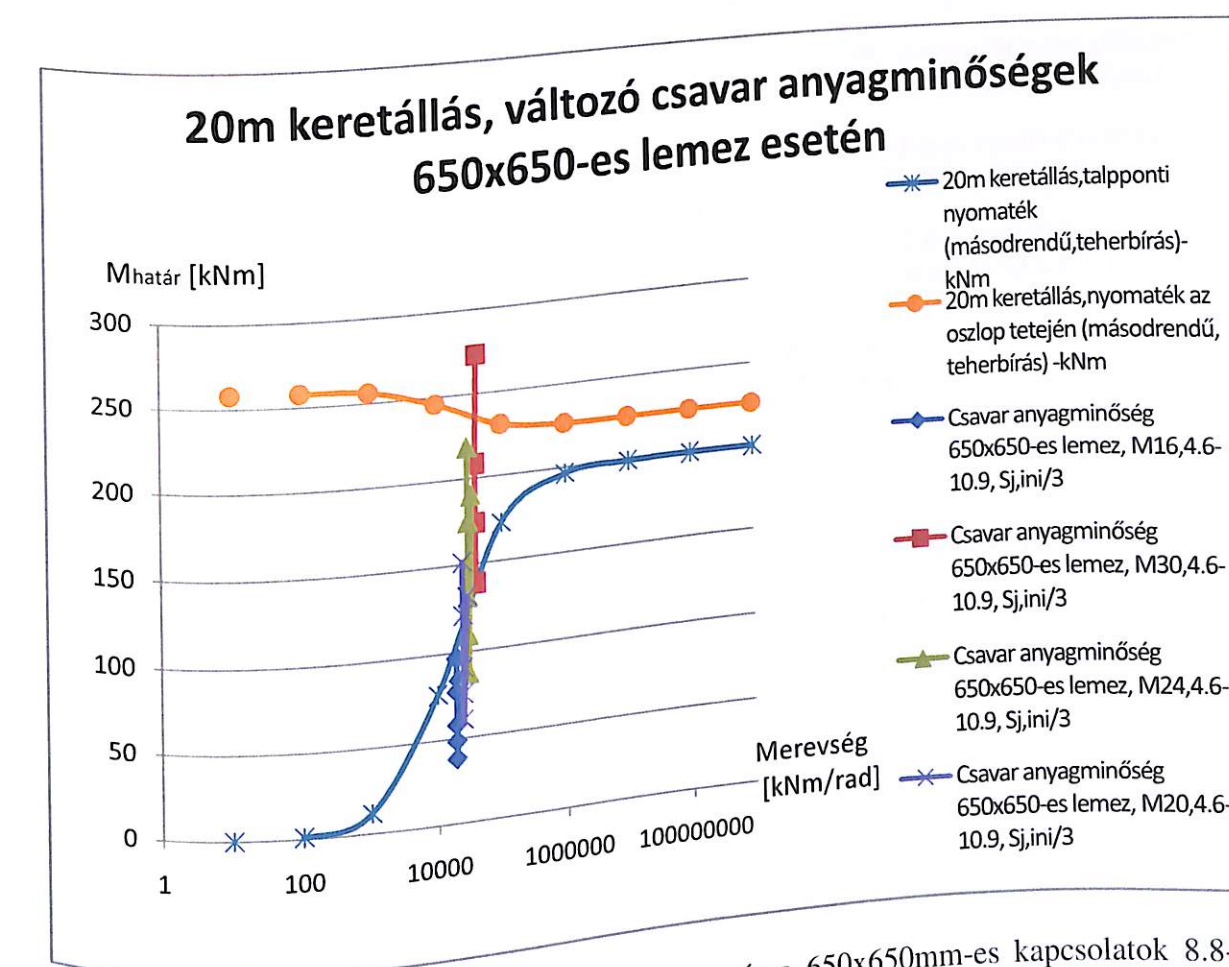


Ebben az esetben a 15-35 mm közötti talplemez vastagságok rendelkeznek a megfelelő ellenállással, de a 20 méteres keretállású tartón már csak a 320x600mm-es lemez felel meg 25-50 mm közötti talplemez vastagság esetén, valamint az 540x560mm-es 45-50 mm

talplemez vastagság esetén. A kapcsolatok megfelelősége a keretállás távolságok növekedésével fordítottan arányosak, a 24 méteres keret esetén már kívül esik minden kapcsolat a határvonalon, ezt követően pedig még távolodnak is a teherbírási vonaltól.

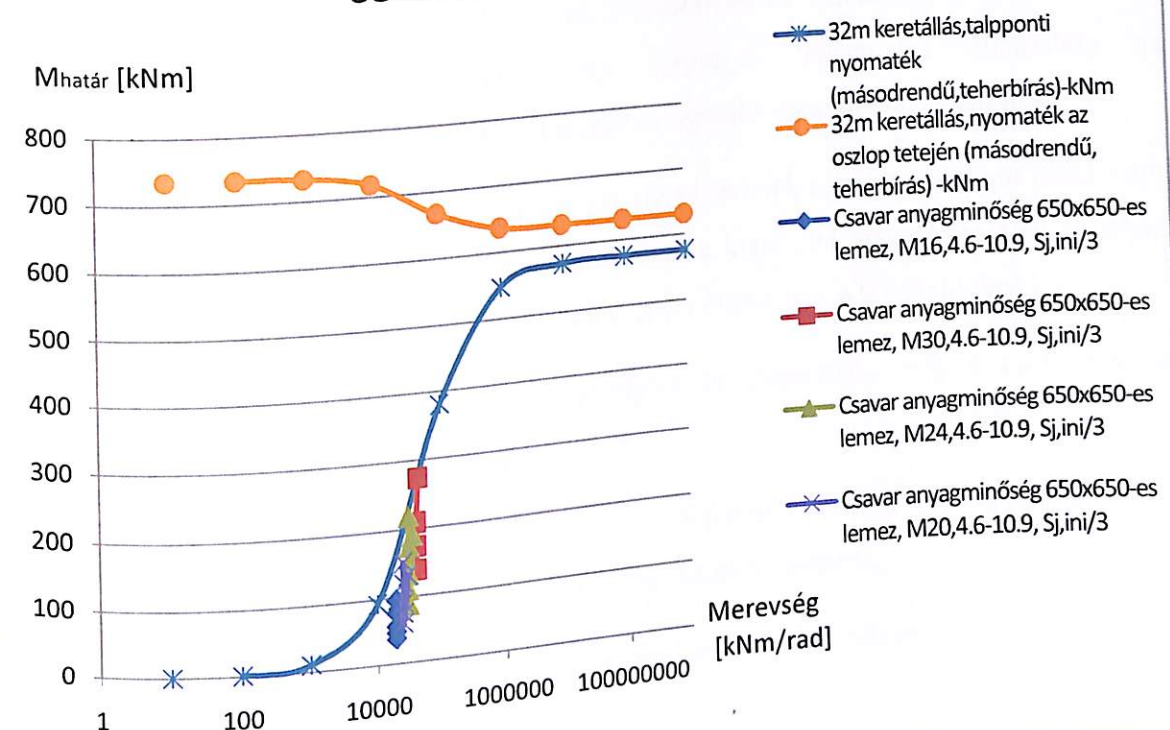
II.7.7. Változó csavar anyagminőségek esetén, 8 csavaros kapcsolatok

A csavar szilárdságának növelésével nagyobb a megfelelő kapcsolatok száma, főleg 16 méteres és 20 méteres keretállások esetében. (Bővebben ld. :3. Melléklet.)



A 24 méteres kereten már csak a 540x560mm-es és a 650x650mm-es kapcsolatok 8.8-as anyagminőség felett felelnek meg, a 28 méteres keretálláson pedig csupán a 650x650mm-es M24, 10.9-es és M30, 10.9-es csavarsorok ellenállása felel meg.

32m keretállás, változó csavar anyagminőségek 650x650-es lemez esetén



A 32 méteres keretálláson pedig már csak kizárólag 650x650mm-es lemez M30, 10.9-es csavarsorokkal rendelkező kapcsolat felelne meg, mely éppen a határgörbén helyezkedik el, de mivel pont a vonalon ül, ezért biztonságosabb egy másik kapcsolat létrehozása, mely megfelel a teherbírasi követelményeknek.

Összegzés:

- 4 csavaros kapcsolatok közül a 16 méteres fesztávolságú kereten csak a 650x650mm-es kapcsolat M24-es és M30-as csavarméretekkel, valamint a 320x560mm-es lemez M24-es csavarsorral alkalmazható, a 20 méteres keretálláson pedig csak a 650x650mm-es lemez legalább M24-es csavarokkal,
- a 6 csavaros kapcsolatok legalább 6.8-as szilárdságú és legalább M20-as csavar méret esetén megfelelnek a követelményeknek, kizárólag a 16 méteres keretállások talpponti csomópontjaiként alkalmazhatók,
- a 6 csavaros kapcsolatok közül a 28 méteres keretálláson az 540x560mm-es M24-es csavar méret ellenállása megfelelő.

- a 8 csavaros kapcsolatok esetén több kapcsolati kialakítás is megfelelő, amint az a diagramokból leolvasható, legoptimálisabb az 540x560mm-es kialakítású lemez, mely 28 méter fesztávolságig alakítható úgy, hogy elégséges legyen az ellenállása az igénybevételekkel szemben, azonban nem a leggazdaságosabb csomóponti kialakítás,
- a 32 méteres keretállás távolság esetén az igénybevételeknek egyetlen, általam létrehozott és vizsgált félmerev csomópont típus sem felel meg, a kapcsolat megerősítésével azonban kialakítható olyan félmerev vagy merev kapcsolat, mely eleget tesz a követelményeknek,
- a fesztávolság növekedésével az igénybevételek is megnőnek, míg a csomópontok megfelelősége ezzel párhuzamosan csökken,
- általánosan elmondható, hogy a vizsgált félmerev csomópont típusokat többségében a kisebb fesztávolságú kereteknél lehet alkalmazni (16m, 20m néhány esetben),
- az erősebb, 8 csavaros félmerev kapcsolatok inkább a 20-24 méteres távolságok esetén nevezhetők biztonságosnak,
- a 20-24 méteres tartomány felett pedig a merev, végtelennek feltételezett csomóponti kialakítás vagy csuklós kapcsolat lehet a legmegfelelőbb.

III. Optimalizált keretek

Az optimalizációk végrehajtásával az volt a célom, hogy mélyebb ismereteket szerezzek a szerkezetek statikai viselkedéséről, az igénybevételek alakíthatóságáról, alakulásáról, a csomópontok tulajdonságairól és a kapcsolatok befolyásáról az egész szerkezetet tekintve.

Az optimalizációt azonos oszlop - és taréjmagasságú keretállásokon hajtottam végre, melyek eltérő keretállás távolságokkal rendelkeznek. Ezekhez a vizsgálatokhoz a ConSteel Software 8.0.008-as diák verzióját használtam. A geometriai adatokat a következőkben ismertetem.

Eltérő méretek:

- fesztávolságok: 16m, 20m, 24m, 28m, 32m - e fölötti méret esetén a kiértékelt keret már nem gazdaságos, továbbá probléma lehet a lehajlásra való megfelelőség, ezért célszerű rácsos gerendatartókat alkalmazni.

- kiékelések hossza és magassága: 2500mm - 2750 milliméterig valamint 240mm - 450 milliméterig terjed,
- a tető hajlásszöge: $8,8^\circ$ - $4,29^\circ$ között lineárisan csökken,
- alkalmazott szelvények az oszlop esetén: melegen hengerelt szelvények (HEA280, HEA300, HEA340, HEA360, HEA450, HEA500, HEA550),
- alkalmazott szelvények a gerendák esetén: melegen hengerelt szelvények (IPE 330, IPE360, IPE400, IPE500, IPE550, IPE600, IPEO550) .

Állandó méretek :

- taréjmagasság: 6,2m minden keretállásnál
- oszlopmagasság: 5m minden fesztávolság esetében
- keretállások távolsága: 6m egységesen.

III.1. Terhek felvétele

Minden esetben a keretállásokat a 8 keretállásból álló csarnok második keretállásaként vettem figyelembe, mivel ez a mértékadó a szerkezet viselkedése szempontjából. Minden keretállás távolság esetén a talpcsomópont függvényében modelleztem a tartót, ezáltal minden egyes fesztávolság esetében vizsgáltam egy csuklós, egy félmerev és egy merev kialakítású talpcsomópontot (összesen 30 különböző tartót optimalizáltam), valamint megvizsgáltam a talpcsomóponti kialakítás hatását a szerkezet viselkedésére.

Az optimalizációt a geometriai kialakítások után a terhek felvételével folytattam, melyek az MSZ EN 1991 szabványai alapján kerültek meghatározásra. Az állandó terhek közül a tartószerkezet önsúlyát az állandó jellegű hasznos terhekkel együtt helyeztem rá a keretekre. A burkolat súlyát, a Z200-as tetőszelemenek, valamint az LTP45-ös és LTP20-as trapézlemezek terhét a LINDAB által meghatározott értékekkel számoltam, így $0,058 \text{ kN/m}^2$ -es, valamint $0,048 \text{ kN/m}^2$ -es egyenletesen megoszló terhekként terheltem a tartóra, figyelembe véve a 6 m-es terhelési mezők ráterhelését keretállásra.

	vastagság (cm)	sűrűség (kN/m^3)	önsúly (kN/m^2)
Trapézlemez LTP 45	0,05	-	0,058
hőszigetelés	10	1	0,100
Párazáró fólia	0,01	23,4	0,002
Trapézlemez LTP 20	0,05	-	0,048

$$G_{\text{tető}} := 0.208 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \text{ továbbá:}$$

$$g_{\text{tető}} := a \cdot G_{\text{tető}} = 1.248 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}, \text{ ahol } a := 6\text{m}.$$

Tetőszelemen: **Z200**

- folyóméter súly:

$$g_{\text{sz}} := 29 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

- önsúlyteher a rögzítési pontra redukálva:

$$F_{\text{sz}} := a \cdot g_{\text{sz}} = 0.174 \cdot \text{kN}$$

- szelemenek távolsága:

$$b_z := 2500 \cdot \text{mm}$$

- vonal menti megoszló erővé redukálva:

$$g_{\text{szel}} := \frac{F_{\text{sz}}}{b_z} = 0.07 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

A meteorológiai terhek közül a hóteher értéke 6 kN/m, ezzel az intenzitással hat egy tartókeretre. Hóteher esetén több terhelési esetet is figyelembe kellett vennem⁹, a teljes leterhelést, ahol a megoszló teher értéke mindkét gerendán egyenlő, majd a következő két terhelési esetet, ahol egyik esetben mértékadó a bal oldali hóteher értéke, másik esetben pedig a jobb oldali hóteher értéke. Az utóbbi két terhelés esetén a gerenda egyik része félig (3 kN/m), a másik része pedig teljes hóteher értékkel terhelt felület. A hóteher intenzitása pedig a keretállás távolságok függvényében:

$$p_s := s \cdot t_s = 6 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}},$$

ahol:

$$t_s := 6 \text{ m}, \text{ a keretek fesztávolsága}$$

$$s := \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k = 1 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \text{ a hóteher karakterisztikus értéke,}$$

$$\mu_i := 0.8, \text{ az alaki tényező,}$$

$$C_e := 1.0, \text{ a szélhatás tényező,}$$

$$C_t := 1.0, \text{ a hőmérsékleti tényező,}$$

$$S_k := 1.25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \text{ a felszíni hóteher karakterisztikus értéke.}$$

⁹ Bővebben: Deák György - Erdélyi Tamás - Fernezelyi Sándor - Kollár László - Visnovitz György: Terhek és hatások. Tervezés az Eurocode alapján. Business Media Magyarország Kft., 2006.

A szélteher számításánál az Eurocode a tető felületét tartományokra osztja fel, mely tartományokat különböző geometriai kialakítás esetén máshogy terhel a szél. A szél építményre gyakorolt hatása függ: az épület méretétől és alakjától (különösen a tetőszerkezet formájától), valamint a dinamikai tulajdonságától. A szélteher kiindulás értéke:

A szélső értékű szélesebességhez tartozó szélnyomás számítása, 16m keretállás esetén:

- magasság: $h := 5 \cdot \text{m}$
- széltámadta oldal szélessége: $b_0 := 48 \cdot \text{m}$ ($=0^\circ$ a csarnok hossztengetyére merőleges szélirány)
 $b_{90} := 16 \cdot \text{m}$ ($=90^\circ$)
- a külső nyomáshoz tartozó referenciamagasságok ($h/b_i < 1$): $z_0 := 0.05 \cdot \text{m}$ ($=0^\circ$)
 $z_{0.11} := z_0$ ($=90^\circ$)

- második helyszínekategória --> érdességi hossz: $z_0 := 0.05 \cdot \text{m}$ $z_{0.11} := z_0$
 minimális magasság: $z_{\min} := 2.0 \cdot \text{m}$

- tereptényező: $k_r := 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0.11}} \right)^{0.07} = 0.19$

- érdességi tényező ($z_{ei} > z_{\min}$): $c_{r,z} := k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0.875$

- alapértékű szélesebesség (Magyarország): $v_{b,0} := 23.6 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$ $c_{\text{dir}} := 0.8$ $c_{\text{season}} := 1.0$
 $v_b := c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} = 20.06 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$

- levegő sűrűsége: $\rho := 1.25 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

- topográfiai tényező: (sík vidék) $c_{0,z} := 1.0$ $q_b := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$

- alapértékű szélesebességhez tartozó nyomás: $q_b = 0.252 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

- turbulencia tényező: $k_l := 1.0$ $\frac{k_l}{c_{0,z} \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = 0.217$

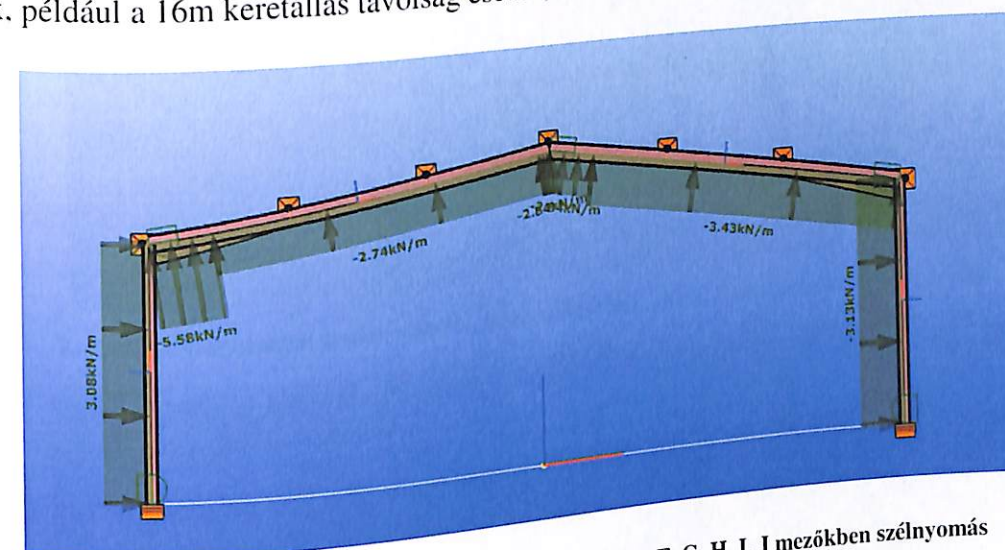
- turbulencia intenzitás: ($z_{ei} > z_{\min}$): $I_{v,z} := \frac{k_l}{c_{0,z} \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = 0.217$

- helyszín tényező: $c_{e,z} := (1 + 7 \cdot I_{v,z}) \cdot c_{r,z}^2 \cdot c_{0,z}^2 = 1.929$

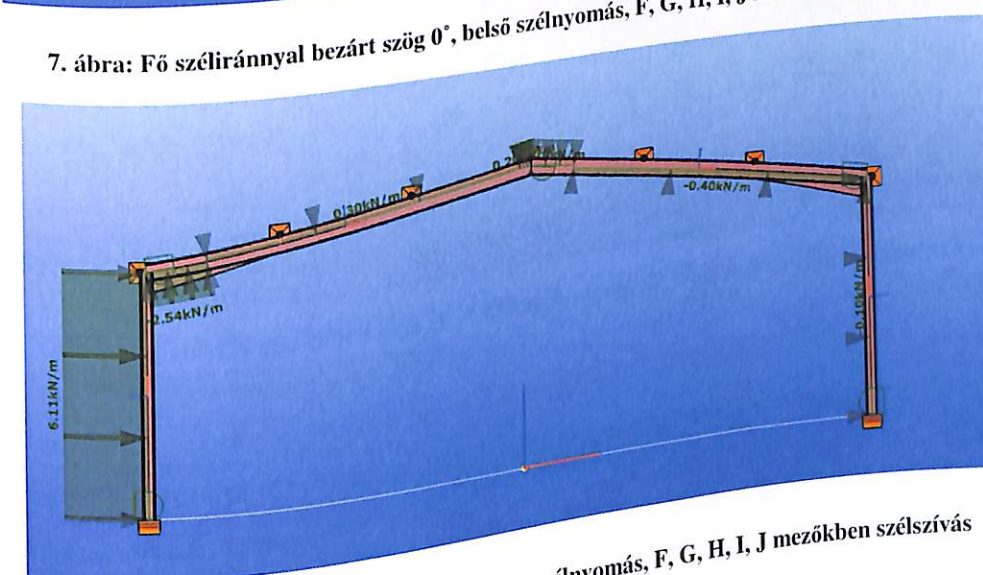
- szélső értékű szélesebességhez tartozó nyomás: $q_{p,z,e} := c_{e,z} \cdot q_b = 0.485 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

- szélső értékű szélesebességhez tartozó nyomás:

A szélteher értékét a ConSteel Software 8.0.008-as diák verziójával készítettem el, mivel minden zónában más-más teherintenzitással működnek a szélterhek. A szélteher felvétele során a külső és belső szélterheket együttesen működtettem.¹⁰ Szélteher terhelési esetek, például a 16m keretállás távolság esetén, a következők:

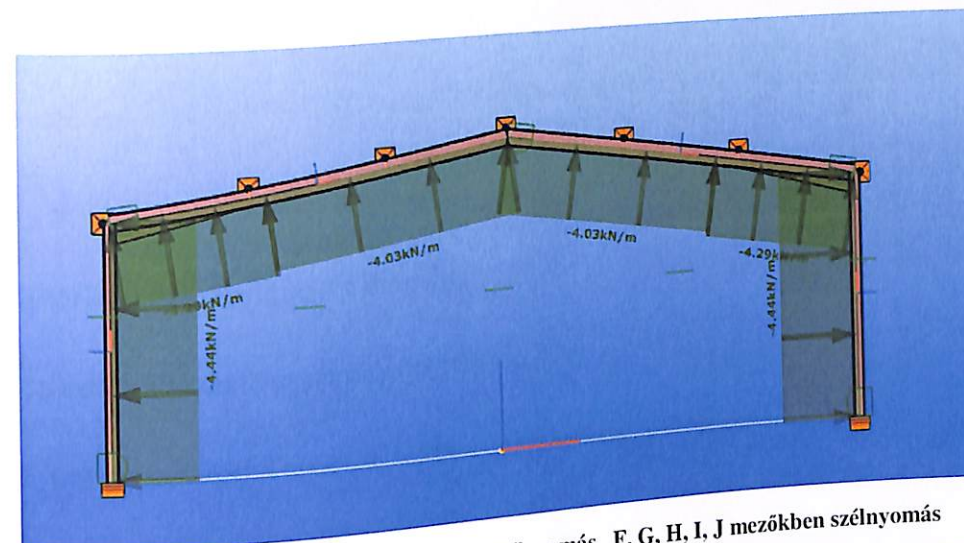


7. ábra: Fő széliránnyal bezárt szög 0°, belső szélnyomás, F, G, H, I, J mezőkben szélnyomás

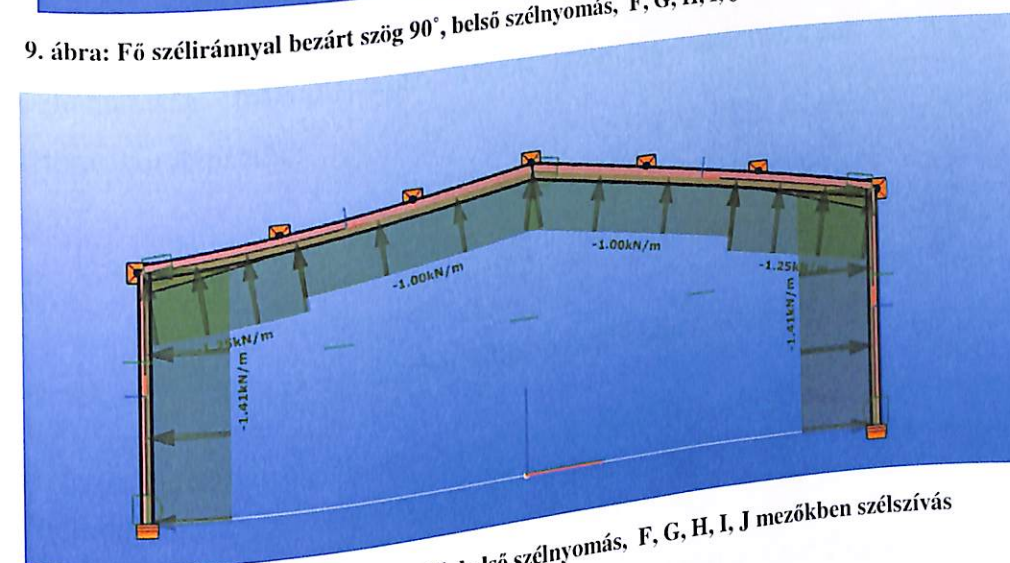


8. ábra: Fő széliránnyal bezárt szög 0°, belső szélnyomás, F, G, H, I, J mezőkben szélzívás

¹⁰ Bővebben: Deák György - Erdélyi Tamás - Fernezelyi Sándor - Kollár László - Visnovitz György: Terhek és hatások. Tervezés az Eurocode alapján. Business Media Magyarország Kft., 2006.



9. ábra: Fő széliránnyal bezárt szög 90°, belső szélnyomás, F, G, H, I, J mezőkben szélnyomás



10. ábra: széliránnyal bezárt szög 90°, belső szélnyomás, F, G, H, I, J mezőkben szélzívás

Minden keretállás távolság esetén felvettem ezeket a szélterhelési eseteket, melyek a fesztávolság arányban változnak.

A teherkombinációk összeállításánál két nagy csoportba tartoznak hatáskombinációk.

1., a teherbírási határállapotban történő számítás, ide tartoznak az úgynevezett tartós és ideiglenes tervezési helyzethez tartozó kombinációk:

$$\sum_{(1 \geq j)} (\gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}) + \sum_{(i > 1)} (\gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

ahol:

$\gamma_G := 1.35$: az állandó teher parciális tényezője,

γ_Q : a feszítésből származó teher parciális tényezője,

$\gamma_{Q,i} := 1.5$: a i -edik esetleges teher parciális tényezője,

$\psi_{0,i} := 0.5, 0.6$: a kombinációs tényezők, hóteher (0.5) és szélteher (0.6) esetén.

2., a használhatósági határállapotban történő számítás, ide tartoznak az úgynevezett karakterisztikus kombinációk:

$$\sum_{(1 \geq j)} (G_{k,j} + Q_{k,l}) + \sum_{(i > 1)} (\psi_{0,i} \cdot Q_{k,i})$$

A kombinációk száma függ az egyes teherfajtákon belüli teheresetek számától.

Az összes keretállásomnál három teherkombináció volt mértékadó (Teherkombináció-1 és Teherkombináció-3, valamint a 32 méteres fesztávolságú tartók esetében a Teherkombináció-5):

Teherkombináció-1: $1,35 \cdot \text{Önsúly} + 1,35 \cdot \text{Burkolat} + 1,50 \cdot \text{Teljes hó}$

Teherkombináció-3: $1,35 \cdot \text{Önsúly} + 1,35 \cdot \text{Burkolat} + 1,50 \cdot \text{Teljes hó} + 0,9 \cdot \text{Szél}_{0_Int_FGHmin_Imin}$

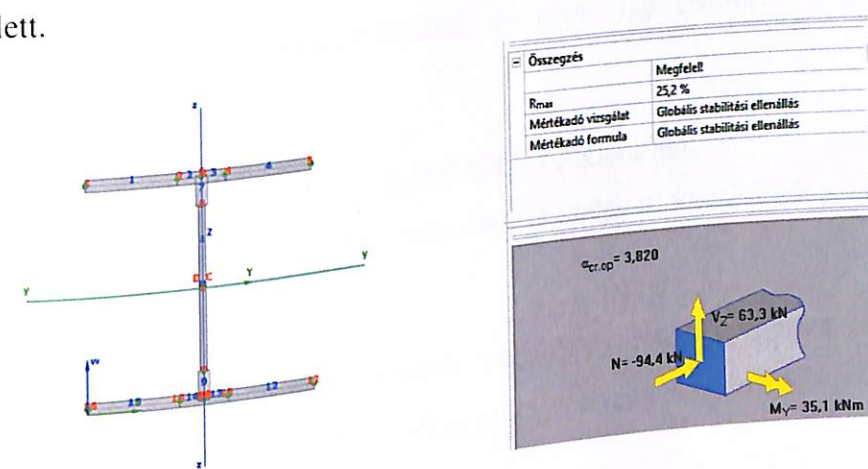
Teherkombináció-5: $1,35 \cdot \text{Önsúly} + 1,35 \cdot \text{Burkolat} + 1,50 \cdot \text{Teljes hó} + 0,9 \cdot \text{Szél}_{90_Int_FGHmin_Imin}$.

III.2. Stabilitás

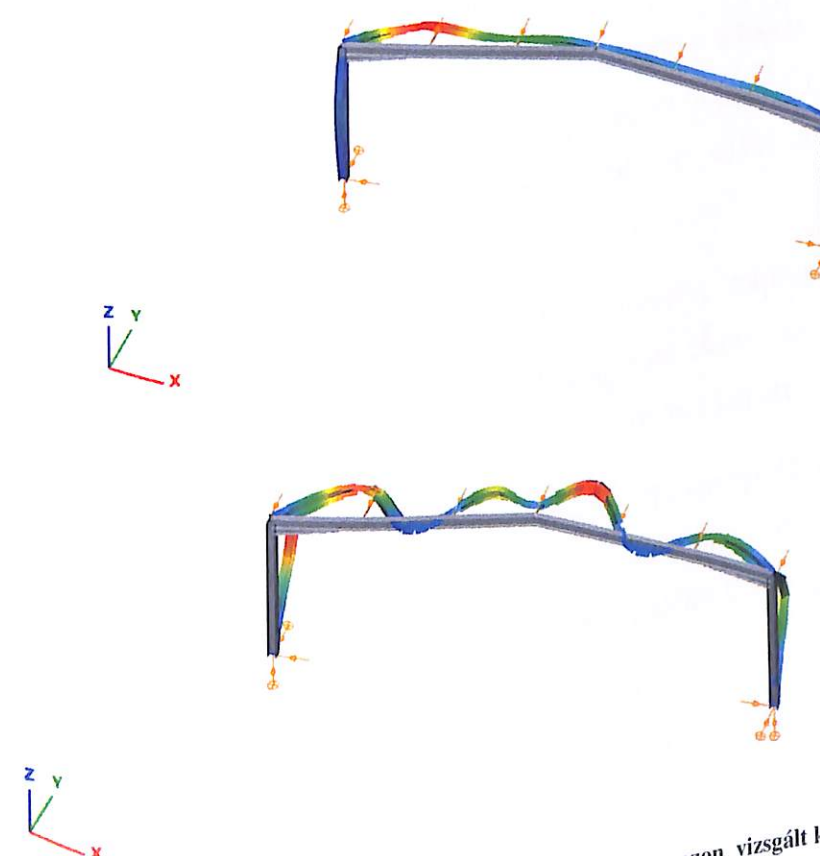
A szerkezeti elem megfelelőségének szükséges, de nem elégséges feltétele a szerkezeti elem keresztmetszeteinek megfelelősége. Mivel a szerkezeti elemek globális stabilitási vizsgálatai a keresztmetszeti vizsgálatokat sok esetben felülírják (rendszerint az utóbbi vizsgálat a mértékadó), a keresztmetszeti vizsgálat a szerkezet előtervezésének része.¹¹

¹¹ Forrás: Dr. Papp Ferenc: Magasépítési acélszerkezetek. 2004., BMEEOHSASA1 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére

Az analízis alá vetett keretállásaimnál az oszlopok és a gerendák nem csak egy irányban mozdulnak el, azaz létrejön az elfordulás, ami által instabil egyensúlyi állapot jön létre. A teher, mely ezt az deformációt okozza, megszűnése után a szerkezet képtelen eredeti állapotába visszatérni, azaz maradó alakváltozást szenved. Éppen emiatt nem hanyagolhatók el a másodrendű hatások számítása az elsőrendűk mellett, melyek során figyelembe vesszük a deformációt is, az igénybevételek, alakváltozások, keresztmetszeti feszültségek és elmozdulások mellett.



11. ábra: Keresztmetszet megfelelése az igénybevételekre



12. ábra: Rugalmas-kritikus stabilitásvesztés módok ugyanazon vizsgált keretálláson

A ConSteel Software segítségével számítható az öblösödés - az öblösödési inercia- , az a gátolt csavarodás, amely a szelvények öveiben ellenkező irányban kialakuló mozgást hoz létre.

III.3. Optimalizált keretek vizsgálati eredményei

A lokális és globális vizsgálatok alkalmával, először meghatároztam a legkedvezőbb szelvényméreteket és kiékeléseket, majd kapcsolatok kialakításával foglalkoztam, hogy a szelvények és a kapcsolatok minél kihasználtabbak legyenek, így elkerülve a többlet költségeket.

III.3.1. A vizsgálat összefoglalása - a 16m keretállás távolságra vonatkozóan:

- a félmerev és merev szerkezetek mind geometria, mint csomóponti kialakítását tekintve, mértékadó volt a lehajlásra való megfelelés,
- az SLS, használhatósági határállapokra történő megfelelés minden esetben döntő jelentőséggel bír, emiatt nem lehet tovább csökkenteni egyetlen szelvény magasságát sem (még a befogott talpcsomópont esetében sem),
- mértékadó teher a teljes hóteher a merev és félmerev és csuklós kialakítású talpcsomópontok esetében, valamint ezekre történő megerősítése a szerkezetnek fontos tervezési szempont,
- a merev kapcsolat esetén kisebb a tartó közepén létrejövő lehajlás értéke, mint csuklós oszloptalp esetén, vagy a félmerev oszloptalp esetén, éppen emiatt a csuklós és a félmerev talpkialakítású szerkezetet optimalizálni kellett lehajlásra, mivel a lehalás értéke nem haladhatja meg az $L/200$ -as határértéket,
- a legnagyobb lehajlás csuklós esetben jön létre, mivel a talpkapcsolatnál a kialakult nyomaték értéke éppen zérus, emiatt itt lesz a legnagyobb értékű az oszlop tetején ébredő nyomaték (223,28 kNm) , mind a félmerev és mind a merevhez képest,
- éppen emiatt a 16 méteres keretállás távolság esetén, talpcsomóponti kialakítást figyelembe véve, kedvezőtlen csuklós csomópontot létrehozni, az aránytalanul nagy oszlop tetején létrejövő nyomatékok, igénybevételek miatt, ennél a keretállás távolságnál a legkedvezőbb a félmerev kialakítású oszloptalp,
- legnagyobb igénybevételek minden esetben az oszlop tetején lévő keresztmetszetben ébrednek, a talpcsomópont statikai kialakításától függően, azaz a legnagyobb

saroknyomatékok csuklós talpponti kialakítás esetén lépnek fel, míg a legkisebbek a félmerev talpcsomópont esetén. s a kettő között helyezkedik el a merev megoldás,

- a globális stabilitásvesztési problémák közül meghatározó a kifordulás, kihajlás, horpadás, valamint ezek interakciója.

- jellemző tönkremeneteli mód a kapcsolatok esetében a csavarszakadás, valamint a T-idom megfolyása.

- az alacsony szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - nincs jelentős befolyással a szerkezet kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés).

- maximális kihasználtság az oszlopon csuklós talpkialakítás esetén 80,6%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van. a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 77,9%, és a talppontonál 8,8%. a maximális kihasználtság a gerendán 68,9%, mely az oszlop-gerenda kapcsolat közelében jön létre.

- maximális kihasználtság az oszlopon félmerev talpkialakítás esetén 92,4%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van. a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 71,6%, és a talppontonál 44 %. a maximális kihasználtság a gerendán 83,4%, mely az oszlop-gerenda kapcsolat közelében jön létre.

- maximális kihasználtság az oszlopon merev talpkialakítás esetén 98,3%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van. a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 72,3%, és a talppontonál 69,6%, a maximális kihasználtság a gerendán 98,3% mely az oszlop-gerenda kapcsolat közelében jön létre.

III.3.2. A vizsgálat összefoglalása - a 20m keretállás távolságra vonatkozóan:

- minden esetben a szerkezet mind geometria, mint csomóponti kialakítását tekintve, mértékadó volt a lehajlásra való megfelelés.

- az SLS, használhatósági határállapotra történő megfelelés minden esetben döntő jelentőséggel bír, emiatt nem lehet tovább csökkenteni egyetlen szelvény magasságát sem,

- mértékadó teher a teljes hőteher a merev, félmerev és csuklós kialakítású talpcsomópontok esetében egyaránt, valamint ezekre történő megerősítése a szerkezetnek fontos tervezési szempont.

- a csuklós kapcsolat esetén a legnagyobb a tartó közepén létrejövő lehajlás értéke, míg félmerev oszloptalp esetén egyre csökken, éppen emiatt a csuklós talpkialakítású szerkezetet optimalizálni kellett lehajlásra, mivel a lehalás értéke nem haladhatja meg az $L/200$ -as határértéket.
- a legnagyobb lehajlás csuklós esetben jön létre, mivel a talpkapcsolatnál a kialakult nyomaték értéke éppen a csuklós (0 kNm) és merev (221,84 kNm) között helyezkedik el (124,56 kNm), emiatt nagyobb értékű lesz az oszlop tetején ébredő nyomaték, míg a befogott esetében kisebb.
- a 20m keretállás távolság esetén a legkedvezőtlenebb kialakítás a csuklós talpponti kapcsolat, míg a legkedvezőbb a félmerev, illetve a merev kialakítás, az igénybevételek szempontjából, a lehajlás és használhatóság szempontjából azonban a csuklós és a merev kialakításúak a kedvezőbbek, míg a félmerev akkor alkalmazható jó kihasználtsággal, ha szükségessé válik a talpponti nyomaték csökkentése az oszlop tetején lévő keresztmetszeti igénybevételekkel együtt a lehajlás hátrányára.
- legnagyobb igénybevételek minden esetben az oszlop tetején lévő keresztmetszetben ébrednek, a talpcsomópont statikai kialakításától függően, azaz a legnagyobb saroknyomatékok csuklós talpponti kialakítás esetén lépnek fel, míg a legkisebbek a félmerev talpcsomópont esetén, s a kettő között helyezkedik el a merev megoldás.
- a globális stabilitásvesztési problémák közül meghatározó a kifordulás, kihajlás, horpadás, valamint ezek interakciója.
- jellemző tönkremeneteli mód a kapcsolatok esetében a csavarszakadás, valamint a T-idom megfolyása.
- az alacsony szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - nincs jelentős befolyással a szerkezet kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés).
- maximális kihasználtság az oszlopon csuklós talpkialakítás esetén 100,7%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 85%, és a talppontnál 14,5%, a maximális kihasználtság a gerendán 70,1% mely a gerenda-gerenda kapcsolat közelében jön létre.
- maximális kihasználtság az oszlopon félmerev talpkialakítás esetén 96,5%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 75,5%, és a

talppontonál 41,5%, a maximális kihasználtság a gerendán 64,3%, mely a gerenda-gerenda kapcsolat közelében jön létre.

- maximális kihasználtság az oszlopon merev talpkialakítás esetén 97,4%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 71,5%, és a talppontonál 70,9%, a maximális kihasználtság a gerendán 62%, mely a gerenda-gerenda kapcsolat közelében jön létre.

III.3.3. A vizsgálat összefoglalása - a 24m keretállás távolságra vonatkozóan:

- minden esetben a szerkezet mind geometria, mint csomóponti kialakítását tekintve, mértékadó volt a lehajlásra való megfelelés,

- az SLS. használhatósági határállapotra történő megfelelés minden esetben döntő jelentőséggel bír, emiatt nem lehet tovább csökkenteni egyetlen szelvény magasságát sem,

- mértékadó teher a teljes hőteher és a szélszívás együttes hatása a csuklós, félmerev és merev kialakítású talpcsomópontok esetében, valamint ezekre történő megerősítése a szerkezetnek fontos tervezési szempont,

- ebben az esetben is a félmerev kapcsolat esetén a legnagyobb a tartó közepén létrejövő lehajlás értéke, míg befogott oszloptalp esetén, vagy a csuklós oszloptalp esetén egyre csökken, éppen emiatt a félmerev talpkialakítású szerkezetet optimalizálni kellett lehajlásra, mivel a lehajlás értéke nem haladhatja meg az $L/200$ -as határértéket,

- a legnagyobb lehajlás félmerev esetben jön létre, mivel a talpkapcsolatnál a kialakult nyomaték értéke éppen a csuklós (0kNm) és merev (349,78 kNm) között helyezkedik el (194,88 kNm), emiatt nagyobb értékű lesz az oszlop tetején ébredő nyomaték, míg a befogott esetében kisebb,

- éppen emiatt a 24m keretállás távolság esetén a legkedvezőtlenebb kialakítás a félmerev talpponti kapcsolat - lehajlás szempontjából, de igénybevételek szempontjából -, illetve a csuklós, a legkedvezőbb a merev - lehajlás és igénybevételek szempontjából, míg a félmerev akkor alkalmazható jó lehajlás és használhatóság szempontjából, míg a talpponti nyomaték csökkentése az oszlop tetején kihasználtsággal, ha szükségessé válik a talpponti nyomaték csökkentése az oszlop tetején lévő keresztmetszeti igénybevételek csökkentésével együtt - a lehajlás terhére,

- legnagyobb igénybevételek minden esetben az oszlop tetején lévő keresztmetszetben ébrednek, a talpcsomópont statikai kialakításától függően, azaz a legnagyobb

saroknyomatékok csuklós talpponti kialakítás esetén lépnek fel, míg a legkisebbek a merev talpcsomópont esetén, s a kettő között helyezkedik el a félmerev megoldás,

- a globális stabilitásvesztési problémák közül meghatározó a kifordulás, kihajlás, horpadás, valamint ezek interakciója.

- jellemző tönkremeneteli mód a kapcsolatok esetében a csavarszakadás, valamint a T-idom megfolyása.

- az alacsony szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - nincs jelentős befolyással a szerkezet kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés).

- maximális kihasználtság az oszlopon csuklós talpkialakítás esetén 87,4%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 73,8%, és a talppontonál 10%, a maximális kihasználtság a gerendán 87,4%, mely a keretsarokban jön létre,

- maximális kihasználtság az oszlopon félmerev talpkialakítás esetén 98,5%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 77%, és a talppontonál 41,7%, a maximális kihasználtság a gerendán 77%, mely a gerenda-gerenda kapcsolat közelében jön létre.

- maximális kihasználtság az oszlopon merev talpkialakítás esetén 89,4%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 64,9%, és a talppontonál 68%, a maximális kihasználtság a gerendán 62,1%, mely a gerenda-gerenda kapcsolat közelében jön létre.

III.3.4. A vizsgálat összefoglalása - a 28m keretállás távolságra vonatkozóan:

- a félmerev és merev szerkezeteknél mind geometria, mint csomóponti kialakítását tekintve, mértékadó volt a lehajlásra való megfelelés,

- az SLS, használhatósági határállapotra történő megfelelés minden esetben döntő jelentőséggel bír, emiatt nem lehet tovább csökkenteni egyetlen szelvény magasságát sem (még a befogott talpcsomópont esetében sem),

- mértékadó teher a teljes hőteher és a szélszívás együttes hatása a csuklós, félmerev és merev kialakítású talpcsomópontok esetében, valamint ezekre történő megerősítése a szerkezetnek fontos tervezési szempont.

- a félmerev kapcsolat esetén kisebb a tartó közepén létrejövő lehajlás értéke, mint csuklós oszloptalp esetén, vagy a merev oszloptalp esetén, éppen emiatt a csuklós és a félmerev talpkialakítású szerkezetet optimalizálni kellett lehajlásra, mivel a lehalás értéke nem haladhatja meg az $L/200$ -as határértéket.

- a legnagyobb lehajlás félmerev esetben jön létre, mivel a talpkapcsolatnál a kialakult nyomaték értéke éppen a csuklós (0 kNm) és a merev (524,81 kNm) között helyezkedik el (276,01 kNm), emiatt nagyobb értékű lesz az oszlop tetején ébredő nyomaték csuklós esetben, mind a félmerev és mind a merevhez képest,

- éppen emiatt a 28 méteres keretállás távolság esetén, talpcsomóponti kialakítást figyelembe véve, kedvező a merev csomópont létrehozása, az arányosan oszlop tetején, valamint talppontnál létrejövő nyomatékok, igénybevételek miatt, illetve a lehajlás kedvező alakulása miatt, azonban ennél a keretállás távolságnál is a legkedvezőbb a csuklós kialakítású oszloptalp, a megnövekedett keretsarok igénybevételek ellenére is, míg a félmerev akkor alkalmazható jó kihasználtsággal, ha szükségessé válik a talpponti nyomaték csökkentése az oszlop tetején lévő keresztmetszeti igénybevételekkel együtt - a lehajlás hátrányára,

- legnagyobb igénybevételek minden esetben az oszlop tetején lévő keresztmetszetben ébrednek, a talpcsomópont statikai kialakításától függően, azaz a legnagyobb saroknyomatékok csuklós talpponti kialakítás esetén lépnek fel, míg a legkisebbek a merev talpcsomópont esetén, s a kettő között helyezkedik el a félmerev megoldás,

- a globális stabilitásvesztési problémák közül meghatározó a kifordulás, kihajlás, horpadás, valamint ezek interakciója,

- jellemző tönkremeneteli mód a kapcsolatokban a csavarszakadás, valamint a T-idom megfolyása,

- az alacsony szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - nincs jelentős befolyással a szerkezet kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés),

- maximális kihasználtság az oszlopon csuklós talpkialakítás esetén 98,5% mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 80,3%, és a talppontnál 11%, a maximális kihasználtság a gerendán 88,2%, mely a keretsarokban jön létre,

- maximális kihasználtság az oszlopon félmerev talpkialakítás esetén 80,1%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 62,4%, és a talppontonál 35,1%. a maximális kihasználtság a gerendán 80,1%, mely a keretsarokban jön létre.

- maximális kihasználtság az oszlopon merev talpkialakítás esetén 78,6%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 56%, és a talppontonál 65%, a maximális kihasználtság a gerendán 78,6%, mely a keretsarokban jön létre.

III.3.5. A vizsgálat összefoglalása - a 32m keretállás távolságra vonatkozóan:

- minden esetben a szerkezet mind geometria, mint csomóponti kialakítását tekintve, mértékadó volt a lehajlásra való megfelelés.

- az SLS, használhatósági határállapotra történő megfelelés minden esetben döntő jelentőséggel bír, emiatt nem lehet tovább csökkenti egyetlen szelvény magasságát sem,

- mértékadó teher a teljes hőteher és a szélszívás együttes hatása a csuklós, míg félmerev és merev kialakítású talpcsomópontok esetében a teljes hőteher és a 90°-os irányú szélszívás, valamint ezekre történő megerősítése a szerkezetnek fontos tervezési szempont,

- ebben az esetben is a félmerev kapcsolat esetén a legnagyobb a tartó közepén létrejövő lehajlás értéke, míg befogott oszloptalp esetén, vagy a csuklós oszloptalp esetén egyre csökken, éppen emiatt a félmerev talpkialakítású szerkezetet optimalizálni kellett lehajlásra, mivel a lehajlás értéke nem haladhatja meg az $L/200$ -as határértéket.

- a legnagyobb lehajlás félmerev esetben jön létre, mivel a talpkapcsolatnál a kialakult nyomaték értéke éppen a csuklós (0 kNm) és a merev (761,72 kNm) között helyezkedik el (347,61 kNm), emiatt nagyobb értékű lesz az oszlop tetején ébredő nyomaték csuklós esetben, mind a félmerev és mind a merevhez képest,

- éppen emiatt a 32 méteres keretállás távolság esetén, talpcsomóponti kialakítást figyelembe véve, kedvező a merev csomópont létrehozása, az arányosan oszlop tetején, valamint talppontonál létrejövő nyomatékok, igénybevételek miatt, illetve a lehajlás kedvező alakulása miatt, azonban ennél a keretállás távolságnál is a legkedvezőbb a csuklós kialakítású oszloptalp, a megnövekedett keretsarok igénybevételek ellenére is, míg a félmerev akkor alkalmazható jó kihasználtsággal, ha szükségessé válik a talpponti nyomaték csökkentése az oszlop tetején lévő keresztmetszeti igénybevételekkel együtt - a lehajlás rovására.

- legnagyobb igénybevételek minden esetben az oszlop tetején lévő keresztmetszetben ébrednek, a talpcsomópont statikai kialakításától függően, azaz a legnagyobb saroknyomatékok csuklós talpponti kialakítás esetén lépnek fel, míg a legkisebbek a merev talpcsomópont esetén, s a kettő között helyezkedik el a félmerev megoldás,
- a globális stabilitásvesztési problémák közül meghatározó a kifordulás, kihajlás, horpadás, valamint ezek interakciója,
- jellemző tönkremeneteli mód a kapcsolatok esetében a csavarszakadás, valamint a T-idom megfolyása,
- az alacsony szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - nincs jelentős befolyással a szerkezet kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés),
- maximális kihasználtság az oszlopon csuklós talpkialakítás esetén 94,1%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 80,2%, és a talppontonál 16,1%, a maximális kihasználtság a gerendán 100,4%, mely a keretsarok közelében jön létre,
- maximális kihasználtság az oszlopon félmerev talpkialakítás esetén 95,1%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 74,4%, és a talppontonál 40,8%, a maximális kihasználtság a gerendán 96,3%, mely az oszlop-gerenda kapcsolat közelében jön létre,
- maximális kihasználtság az oszlopon merev talpkialakítás esetén 94,4%, mely a vizsgált keresztmetszet felett van, a vizsgált keresztmetszetben (a kiékelés alatt) 66,6%, és a talppontonál 83,7%, a maximális kihasználtság a gerendán 95,3%, mely a tartókeret sarkának közelében jön létre.

III.3.6. A vizsgálat összefoglalása - a 10 m oszlopmagasságú keretállásokra vonatkozóan:

Az előzőekben vizsgált, alacsony tartómagasságú keretállások esetében az analízis során egyetlen esetben sem jelent meg a kilendülő keret, mint stabilitásvesztési mód, ezért további vizsgálatokat folytattam. El akartam érni azt a tartómagasságot, amikor már megjelenik a kilendülő keret és ezt sikerült is elérnem, úgy, hogy megdupláztam az eredeti vizsgált oszlopmagasságomat. 10m oszlopmagasság esetén csuklós talpponti kapcsolatoknál megjelenik a kilendülés. (Bővebben erről ld. 6. Melléklet.)

Az optimalizációt ebben az esetben is azonos oszlop - és taréjmagasságú keretállásokon hajtottam végre, melyek eltérő keretállás távolságokkal rendelkeznek. Ezekhez a vizsgálatokhoz is a ConSteel Software 8.0.008-as diák verzióját használtam. A geometriai adatokat a következőkben ismertetem.

Eltérő méretek:

- fesztávolságok: 16m, 20m, 24m, 28m, 32m - e fölötti méret esetén a kiékelt keret már nem gazdaságos, továbbá probléma lehet a lehajlásra való megfeleltetés, ezért célszerű rácsos gerendatartókat alkalmazni.
- kiékelések hossza és magassága: 2500mm - 2750 milliméterig valamint 240mm - 450 milliméterig terjed.
- a tető hajlásszöge: $8,8^\circ$ - $4,29^\circ$ között lineárisan csökken,
- alkalmazott szelvények az oszlop esetén: melegen hengerelt szelvények (HEA340, HEA400, HEA450, HEA500, HEA600, HEA700, HEA900),
- alkalmazott szelvények a gerendák esetén: melegen hengerelt szelvények (IPE 300, IPE330, IPE400, IPE550, IPE600, IPEO600, IPE 750x147, IPE750x173) .

Állandó méretek :

- taréjmagasság: 11,2m minden keretállásnál
- oszlopmagasság: 10m minden fesztávolság esetében
- keretállások távolsága: 6m egységesen.

A terhek felvétele a III.1. Terhek felvétele című fejezetben ismertettek szerint történt minden egyes keretállás esetében.

Az optimalizációk során minden esetben meghatározó volt a szerkezetek a lehajlásra való megfeleltetése, valamint az SLS, használhatósági határállapotra történő megfeleltetés. A 6. Mellékletben látható kihasználtságok az általam elérhető maximális kihasználtságok, tovább növelni nem lehet, mert akkor szilárdságra és stabilitásra nem felel meg a szerkezet - már egyetlen szelvényméret csökkentése esetében sem.

A legnagyobb lehajlás 16m és 32m keretállás távolságok esetében a félmerev talpponti kialakítású kereteken jön létre, míg a 20m, 24m és 28m keretállás távolságok esetében a csuklós talpponti kialakítás okozza a legnagyobb tartó középi lehajlást.

A 16 méretes keretállások esetében a félmerev talpponti kapcsolatok nagyobb saroknyomatékot okoznak - nagyobb a befogott és csuklós talpponti kapcsolatú keretek

saroknyomatékainál a félmerev saroknyomatéka, ellenben a talpponti nyomatéka a kettő között helyezkedik el, míg a többi esetben a félmerev kapcsolatokkal ellátott szerkezetek nyomaték ábrái a csuklós és merev között helyezkednek el.

A legkedvezőtlenebb kialakítás a félmerev talpkapcsolattal kialakított szerkezet 16m keretállás esetében, míg a legkedvezőtlenebb a csuklósan kialakított talpkapcsolatú szerkezet 20m, 24m, 28m és 32m keretállás távolságok esetében. Kis fesztávolság esetén előnyös, de nagyobb távolságok esetén már hátrányossá válik a nagy saroknyomatékok létrejötte, emiatt is válik kedvezőtlené a szerkezeti kialakítás. Az oszlop tetején létrejövő nagyobb nyomatéki értékek megnövekedett szelvény méreteket - de olcsóbb kapcsolatokat - okoznak, emiatt jelentősen drágul a szerkezet kivitelezési költsége. A legnagyobb igénybevételek ezeknél a vizsgált keretállásoknál is minden esetben az oszlop tetején lévő keresztmetszetben ébrednek, a talpcsomópont statikai kialakításától függően.

A globális stabilitásvesztési problémák közül meghatározó a kifordulás, kihajlás, horpadás, valamint ezek interakciója, emellett jellemző tönkremeneteli mód a kapcsolatok esetében a csavarszakadás, valamint a T-idom megfolyása.

A nagyobb szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - félmerev és merev talpkapcsolatokkal kialakított keretek esetén nincsenek jelentős befolyással a szerkezetek kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés), de csuklós esetben befolyásolják a szerkezeti és csomóponti kialakításokat. Egyetlen esetben, a 32m keretállású csuklós talpkapcsolatú esetben nem jelenik meg a hatása, mert ebben a kialakításban a szelvények nagyon erősek - gyengébb szelvények nem felelnek meg sem szilárdságra, sem stabilitásra.

A maximális kihasználtságok az oszlopokon csuklós talpkialakítás esetén 102-80,3% között alakulnak, melyek a vizsgált keresztmetszetek felett vannak, a vizsgált keresztmetszetekben (a kiékelés alatt) 68,1-86,5% között, és a talpponttoknál 5,4%-9,4% között, a maximális kihasználtság a gerendákon 102-80,3% közötti értékek, melyek a keretsarok közelében jönnek létre.

A maximális kihasználtságok az oszlopokon félmerev talpkialakítás esetén 71,4-95,6% között alakulnak, melyek a vizsgált keresztmetszetek felett vannak, a vizsgált keresztmetszetekben (a kiékelés alatt) 63,1-87,6% között, és a talpponttoknál 35,5-59,2% között, a maximális kihasználtság a gerendákon 82-101% közötti értékek, melyek a keretsarok közelében jönnek létre.

A maximális kihasználtságok az oszlopokon merev talpkialakítás esetén 80,6-97,8% között alakulnak, melyek a vizsgált keresztmetszetek felett vannak, a vizsgált keresztmetszetekben (a kiékelés alatt) 80,6-97,8% között, és a talpponttoknál 54-75,1% között, a maximális kihasználtság a gerendákon 80,6-97,8% közötti értékek, melyek a keretsarok közelében jönnek létre.

III.3.7. A vizsgálat összefoglalása - a kapcsolatok kialakítását illetően:

Az optimalizáció során az egyik legérdekesebb feladat a kapcsolatok megfelelő kialakítása volt. Ebben jelenik meg a tervező személyisége, azáltal, hogy milyen lesz a végső kialakítása a kapcsolatoknak. A tervezés során az eldöntendő kérdések a következők lehetnek:

- milyen vastagságú legyen a lemez,
- milyen geometriai kialakítással kerüljön megtervezésre a lemez,
- merevítő(ke)t használjunk vagy a csavarok méretét növeljük,
- a csavarok méretét vagy a csavarsorok számát növeljük,
- a szárnylemezek magasságát vagy a csavarok átmérőjét emeljük meg,
- a szárnylemezek vastagságát vagy a csavarok anyagminőségét változtassuk meg,
- a csavarok anyagminőségét vagy a lemez(ek) vastagságát növeljük meg inkább,
- mekkora legyen a maximális gyökmérete a varratoknak,
- a gyökméreten változtassunk vagy a szárnylemez magasságán,
- melyik az olcsóbb kialakítási mód,
- valamint mindezek együttes vizsgálta.

Bármelyik megoldás megfelelő lehet, annak függvényében, hogy mennyi a tényleges anyag és gyártási összköltség, továbbá milyen statikai kialakítású a szerkezetünk. Egy adott kapcsolatnál megfelelő lehet több csavarsor alkalmazása erősebb anyagminőséggel és vékonyabb lemezzel, vagy ugyanánál a kapcsolatnál megfelelő lehet kevesebb csavarsorral, gyengébb anyagminőséggel, de vastagabb lemezzel kialakított megoldás is. Mindez tervezői és anyagi kérdés. Mindenképpen mérlegelni szükséges az egyes kapcsolatok kialakításánál, hogy hol helyezkedik el a csomópont. A töcsavarok, a hosszúságuknál fogva, jóval költségesebbek, mint a gerenda-gerenda illetve az oszlop-gerenda kapcsolatokban használt.

75-95 mm közötti hosszúságú csavarok, továbbá a varratok gyökmérete is erősebb lehet a félmerev vagy merev talpcsomópontoknál. Emellett érdemes figyelembe venni a csomóponti kialakításoknál az igénybevételi ábrák, azon belül is a nyomatéki ábrák alakjait. A létrehozott megoldások többnyire követik a nyomatéki ábrák alakjait, s különösen ezeknél érdemes a költségeket mérlegelni (vastagabb lemezt használjunk erősebb anyagminőségű csavarokkal vagy vékonyabb lemezt több csavarsorral, stb.).

A keretek optimalizációja során igyekeztem minél olcsóbb kapcsolatokat létrehozni, követve a nyomatéki ábra és a további fellépő igénybevételek igénybevételi ábráinak vonalait. A talpcsomópontoknál a legdrágább elemek a töcsavarok, ezeknek a méretét igyekeztem minél kisebbre venni, szemben a talplemez vastagsággal (de semelyik esetben sem haladtam meg a 40 mm-es gyárthatósági határt). Az oszlop-gerenda és gerenda-gerenda csomópontoknál többszörös mérleget alkalmaztam, igyekeztem mind a csavarok számát, nagyságát és anyagminőségét, mind a talplemezek vastagságát, valamint a merevítők számát csökkenteni. Ha együttesen ez nem volt lehetséges, akkor a merevítők elhagyásával a csavarok erősítését választottam, annak költségei miatt, vagy a csavarsorok számát növeltem a talplemez vastagság helyett, de mindenképpen igyekeztem az olcsóbb megoldást választani, mindemellett pedig törekedtem arra, hogy az egyes csomópontok minél magasabb kihasználtságokat érjenek. (További információk a kapcsolat kialakításáról az 5. és 6. Mellékletekben találhatók.)

III.4. Optimalizált keretek költségbecslése

A kialakított keretállások mindegyikénél költség optimalizációt végeztem, hogy megtudjam a statikailag előnyösebb, illetve hátrányosabb keretek anyagilag is előnyösebbek vagy hátrányosabbak lehetnek-e.

Először meghatároztam a beépítésre kerülő HEA, IPE szelvények, valamint a kiékelés anyagárát, a csomópontok anyagának az árait, majd a gyártási költségeket minden egyes elemre. Az anyagköltségeket euróban határoztam meg, mert más adatot erre vonatkozólag magyar gyártók oldalain nem találtam.¹² (Az euró árát az éppen aktuális forint árfolyamon számoltam át.¹³) A tartó, lemezek és csavarok katalógusai alapján meghatároztam minden elem darab árát. Ezután konzultáltam magyar acélszerkezet gyártókkal, akik bővebben

¹² További információk: www.eisen-neumueller.at; www.weylend.at
¹³ Bővebb információ az aktuális forint árfolyamokról: <http://portfoliofinancial.hu/>

informáltak az acélok feldolgozásával kapcsolatosan, mind a hegesztések, mind a vágások, és egyéb járulékos gyártási és szerelési költségeket illetően.¹⁴

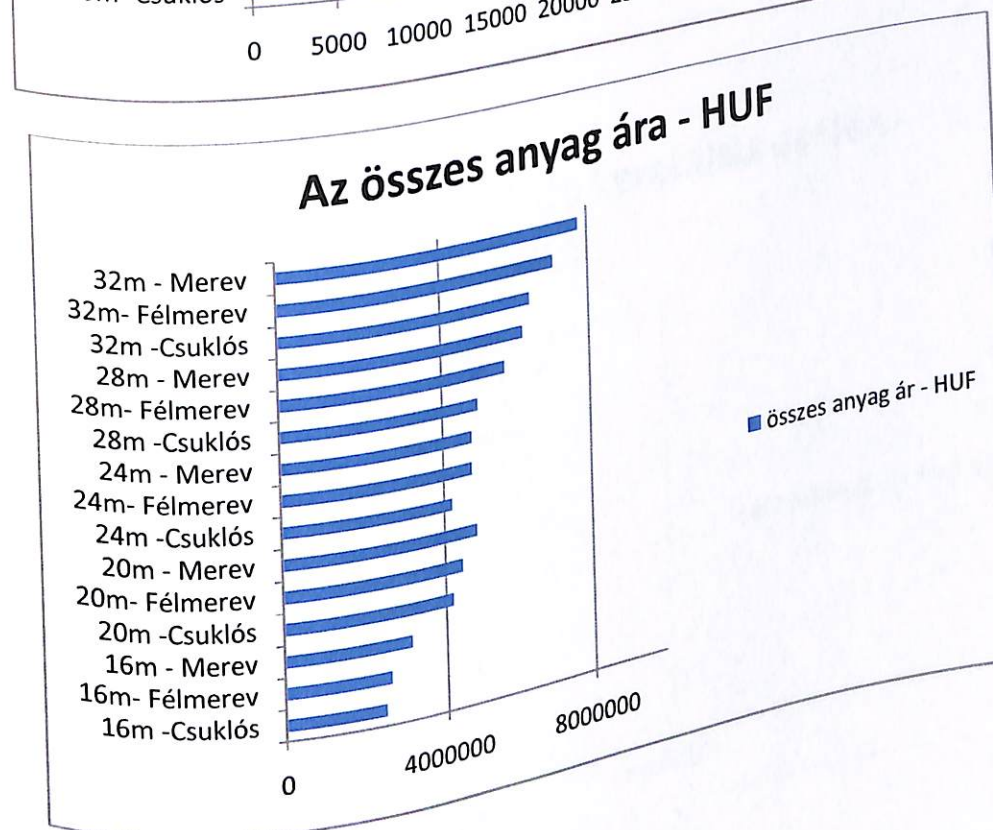
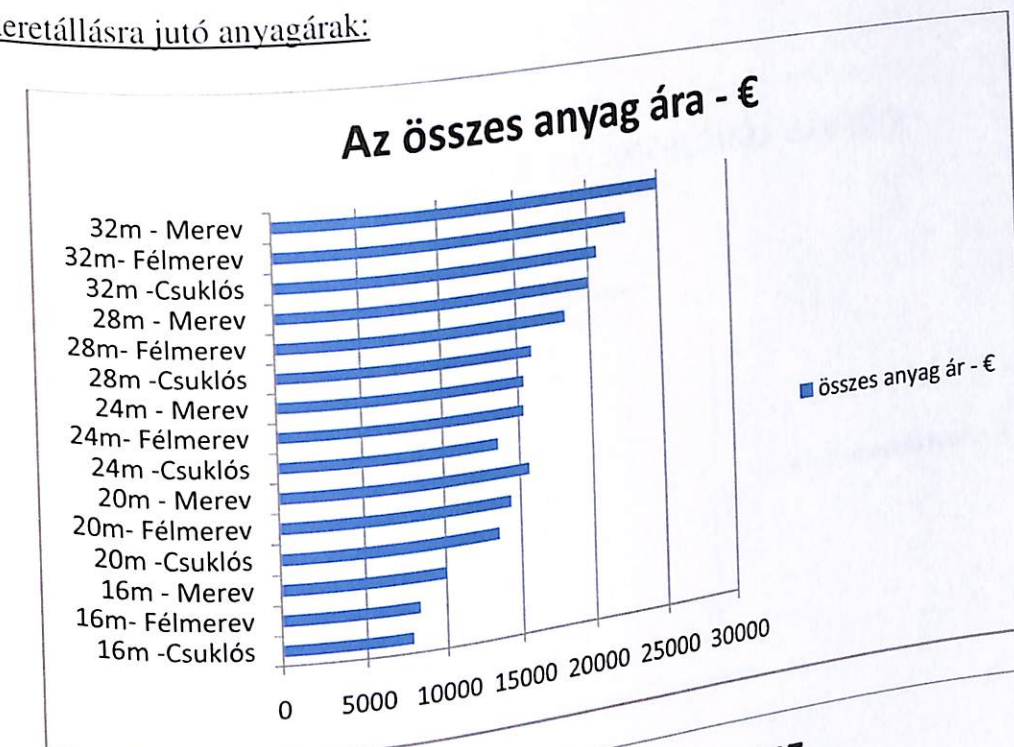
A gyártási árakat percre és tonnára mérik minden esetben, még a hegesztéseknél is (ahol 10 mm varrat elkészítése körülbelül 1 perc, hozzáadva nagyobb lemezvastagságok esetén a gyökölés idejét illetve a második varratsor elkészítési idejét). A rezsióradíjak vágások esetén a gyökölés idejét illetve a második varratsor elkészítési idejétől, a varrat típusától és használt vágási technológiától (például láng-, plazma-, lézervágás) függően, eszerint számoltam. A furatokat is percben mérik, attól függően hogy mekkora a furatátmérő valamint a lemez vastagsága, átlagosan 3-4 perc 1 db furat létrehozása, de 10mm alatti lemezvastagság alatt elegendő 1 perc a furat elkészítéséhez (ez esetben 1 fúrás elegendő). A magyar acélszerkezet gyártók 40mm lemezvastagságig tudnak lemezeket vágni és 50mm furatátmérőig tudnak létrehozni furatokat, ezen felül speciális szerkezeti feldolgozást igényel a kapcsolatok létrehozása, de ezek a típusú kapcsolatok már nem tartoznak a magasépítési szerkezetek csoportjába. A szelvények és kiékelések esetén tonnában mérik az árakat, 1 tonna anyag feldolgozása ez esetben 24-25 óra és 25 ezer Ft/óra a díja és szelvényenként, valamint méterenként változik minden egyes keretállás távolságánál az ára. Mindehhez még hozzáadódnak a felületkezelés költségei, amit egyik gyártó m²-ben, másik kg-ban mér, én ez utóbbi alapján számoltam.¹⁵ Ezek szerint számoltam végig minden egyes csomópontot.

A csarnokszerkezet kialakítás járulékos költségeit, mint például a padlószerkezet kialakítása, vagy a nyílászárók, tetőszerkezetek, stb. elhelyezése, nem vizsgáltam. Az alapozás és aléptítményi munkák becsült összegét a következő részben fogom tárgyalni.

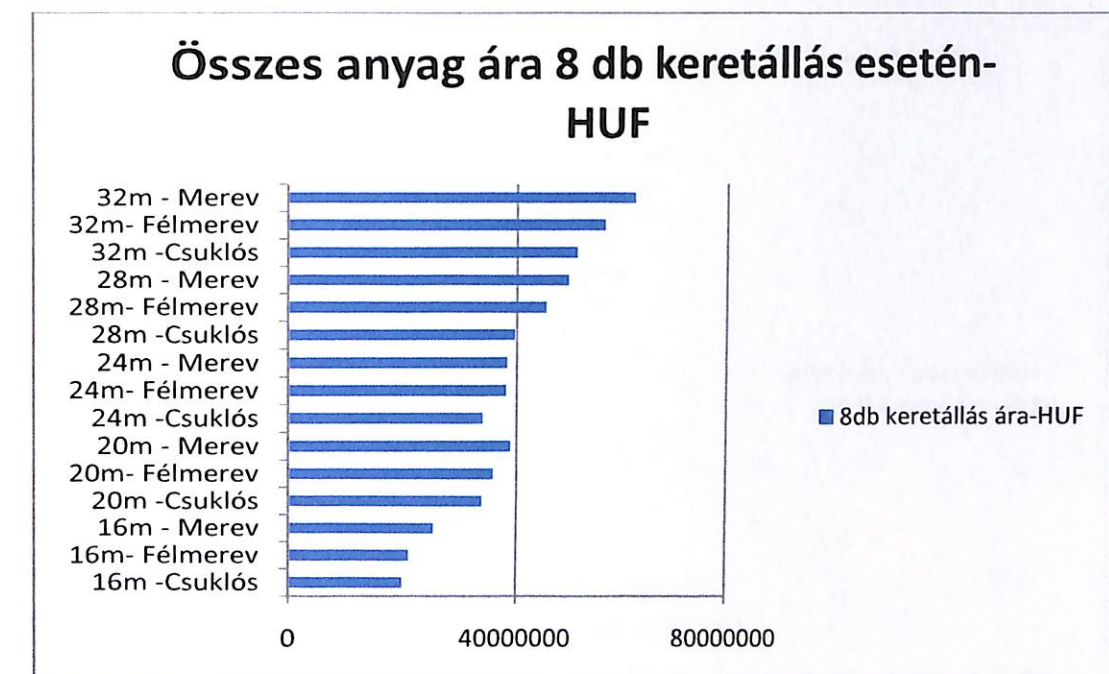
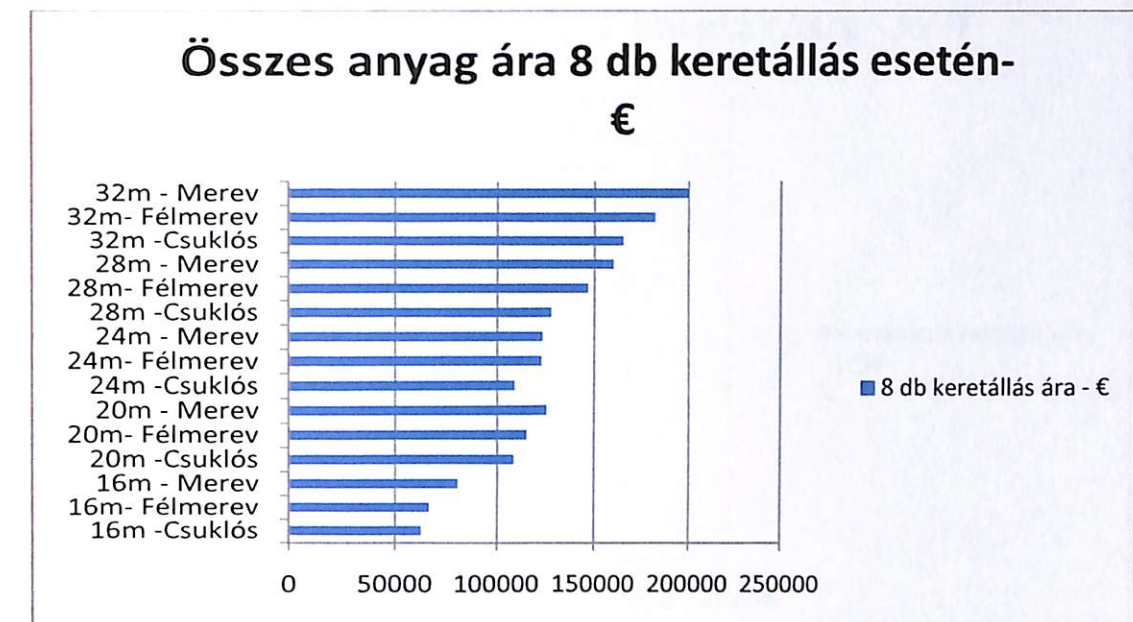
Az általam számolt összegek tájékoztató jellegű, becsült összegek, melyek gyártónként és szerkezetenként változnak. Ezekben összegekben nincsenek benne a véletlenszerűen vagy esetlegesen előforduló többletköltségek, az építési helyszínre történő szállítási költségek, a különböző csúszásokból adódó veszteségek költségei, illetve más, előre nem várt okokból fellépő többletköltségek.

¹⁴ További információk: www.havik.hu; www.behankft.hu/index.php
¹⁵ További információ: www.havik.hu

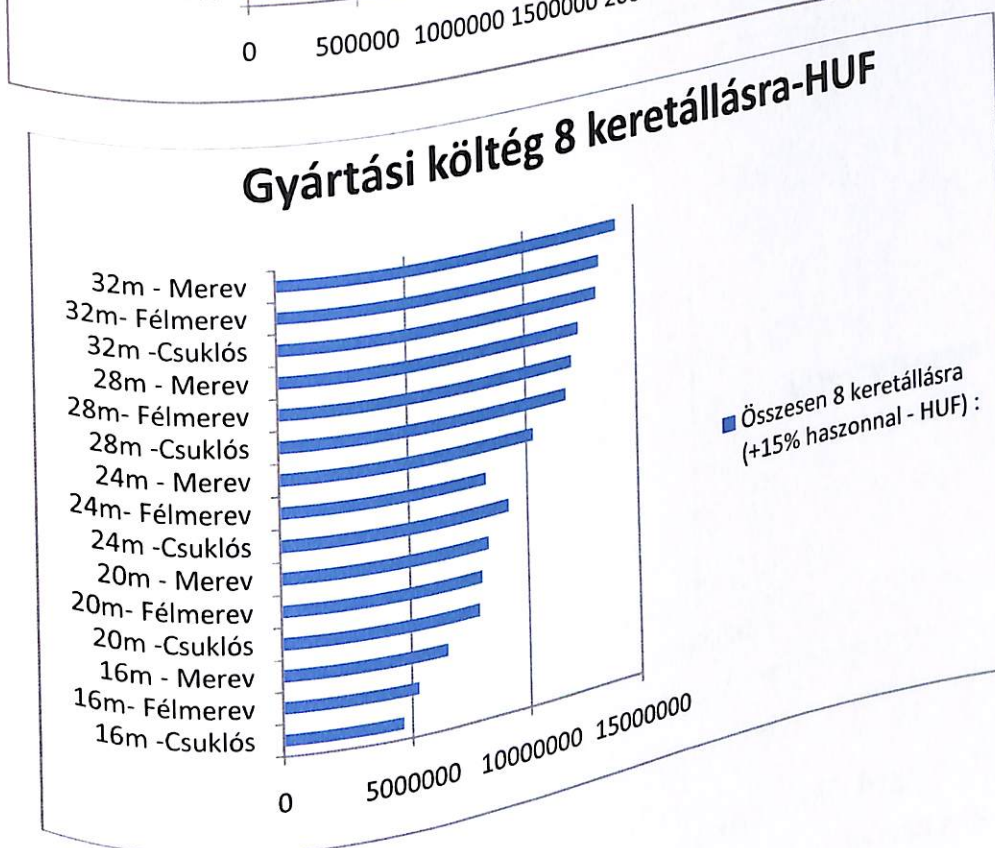
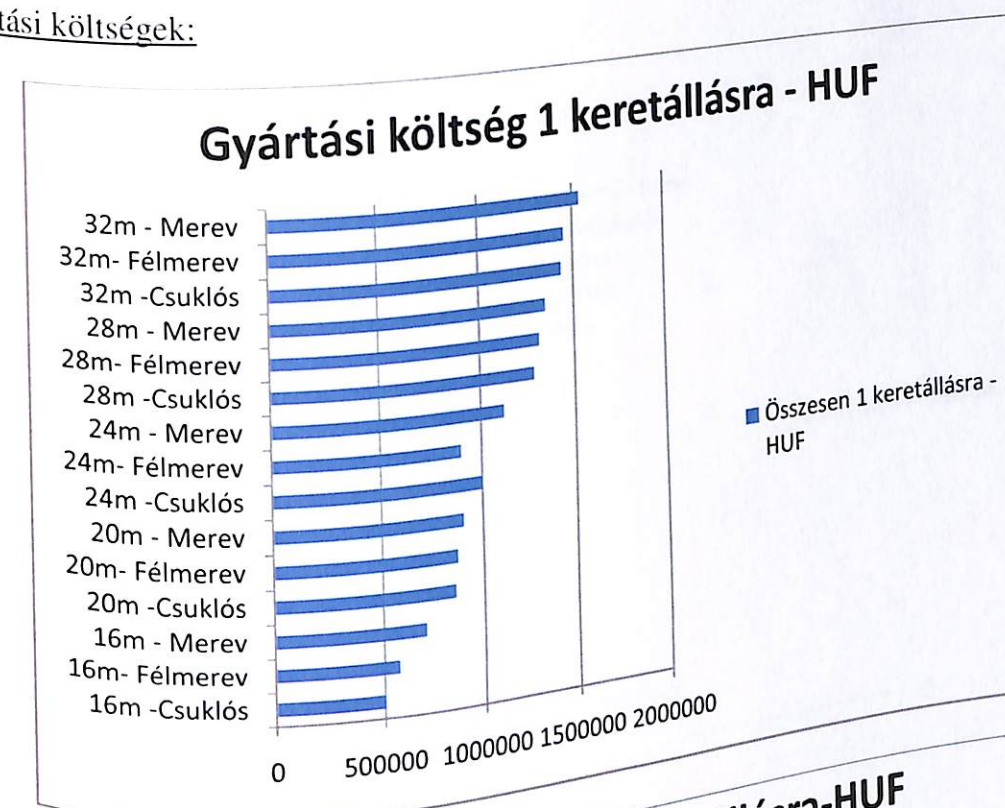
Egy keretállásra jutó anyagárak:



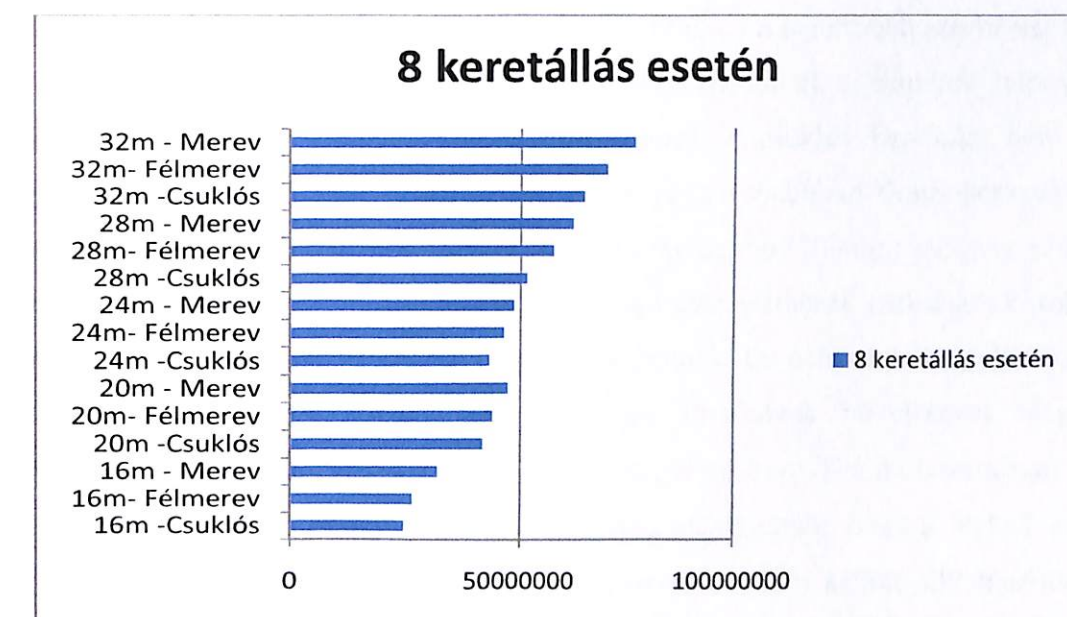
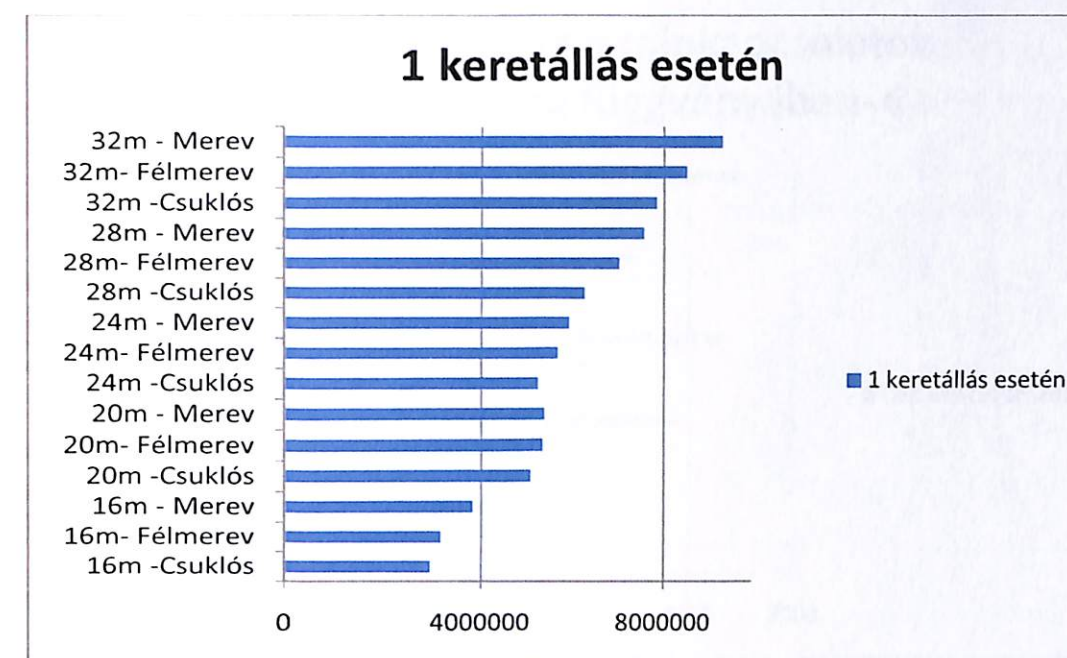
A 8 db keretállásra jutó teljes anyagárak:



Gyártási költségek:

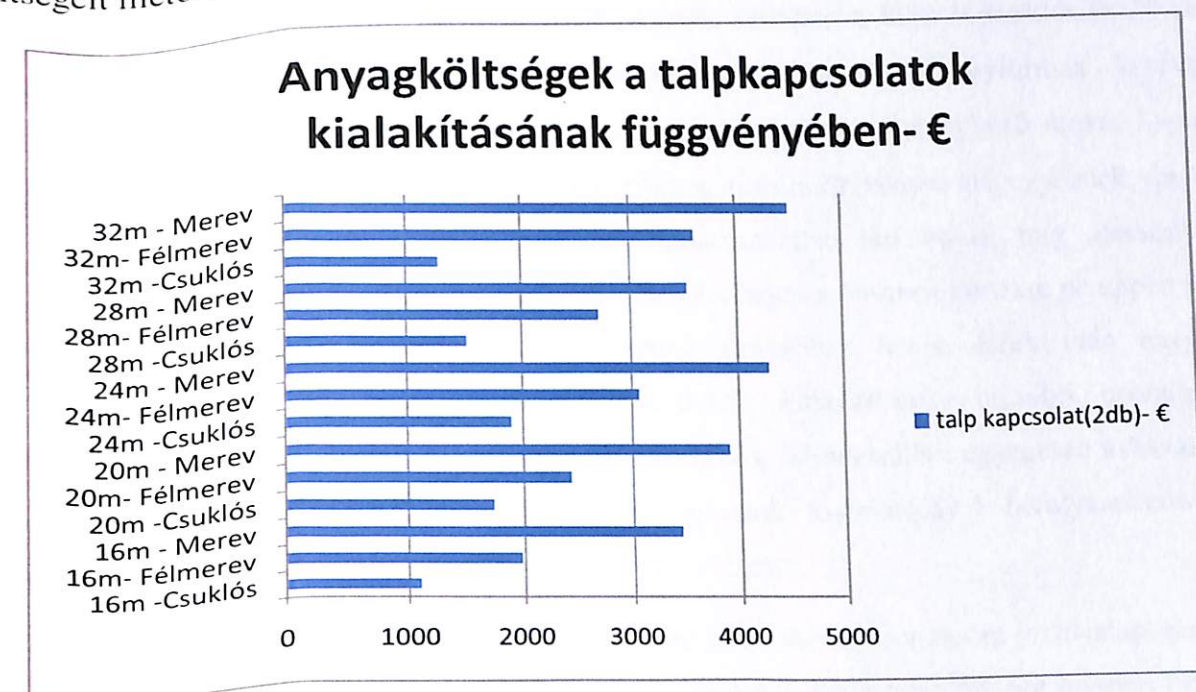


Gyártási és anyagköltség összesen:



A grafikon mindegyike ugyanazt mutatja, egyrészt azt, hogy a fesztávolság növekedésével majdnem teljesen lineárisan nőnek az anyag és gyártási költségek - kivéve a 20m keretállás távolságok esetén, melyek esetén a szilárdsági és stabilitási ellenállások, kihasználtságok miatt nem lehet tovább optimalizálni a szerkezeti kialakításokat, másrészt

pedig azt, hogy a szerkezeti kialakítás a talppontot illetően döntő befolyással bír a szerkezet költségeit illetően.



A csuklós kialakítású kapcsolat mindegyik esetben a legolcsóbb szerkezeti megoldás, míg a merev a legdrágább, s a kettő között helyezkedik el a félmerev talpcsomóponti kialakítás. Ennek kialakításbeli okai vannak, hiszen a csuklós kapcsolat nem vesz fel nyomatótkot, így elég elhelyezni 2 db kisebb átmérőjű és rövidebb (400mm hosszú) tőcsavart, félmerev esetében legalább 4 db, esetenként 6 db, hosszabb (700mm) tőcsavar szükséges, a merev kapcsolatoknál pedig 8 db tőcsavar, valamint szárnylemezek szükségesek (több lesz az anyagköltség) és hegesztési többletköltségek keletkeznek. De nem csupán a talpcsomópontok befolyásolják az árak alakulását. A keretállást távolságok növelésével megnőnek a szelvénymagasságok, a kiékelés hosszak és vastagságok, ezekkel párhuzamosan pedig az anyagköltségek és feldolgozási árak. A grafikonok jól mutatják, hogy a legkedvezőtlenebb szerkezeti megoldásokat 20 m-es keretállás távolságok esetén kellett alkalmaznom, míg a legkedvezőbbek a legolcsóbbak, a 16 méteres fesztávolságok, alacsony, 5m oszlop magasságú és 6,2m taréjmagasságú tartószerkezetek esetében. Mindezekből jól látszik, hogy nem mindig a statikailag kedvező szerkezeti, csomóponti megoldás jelenti a legolcsóbb szerkezetet is egyben.

Kiugróan alacsonyabb költségek láthatók a 24m-es fesztávolságú keretállások esetében, míg kiugróan magasabb árak a 20m-es keretállás távolságok esetében. Ennek egyrészt az az oka, hogy a szerkezeteknek szilárdsági és stabilitási ellenállásokra meg kell

felelniük, másrészt pedig használhatósági és lehajlási követelményekre. Ezek miatt a megfelelőségek miatt nem tudtam optimálisabb kialakítást létrehozni 20m-es keretállások esetében, míg más keretállás távolságoknál sikerült. Emellett a 20m-es csuklós és 24 m-es csuklós kialakítású szerkezetek csomóponti megoldásai, szinte teljesen egyformák - kivéve az szelvények méreteit-, emiatt hasonló, szinte majdnem teljesen megegyező árakat kaptam. Látható az is, hogy a 16 és 20 méteres keretállások oszlop szelvényei megegyeznek, mivel a 20m-es esetben nagyobb szelvénymagasság kihasználatlan lett volna, míg alacsonyabb szelvénymagasság nem felelt volna meg, ugyanez érvényes a 16 m-es esetekre is; éppen ezért 20 méteres esetben a csomóponti kialakítások drágábbak lettek. Ezek után nagyobb szelvénymagasságú 24 m-es fesztávolságú tartók következnek, olcsóbb csomóponti kialakításokkal, a szelvények magasságának a rovására. Mindezekből egyenesen következik, hogy a csomópontok, különösen a talpcsomópontok kialakításával befolyásolhatjuk a szerkezet végeleges kialakításához szükséges összegeket.

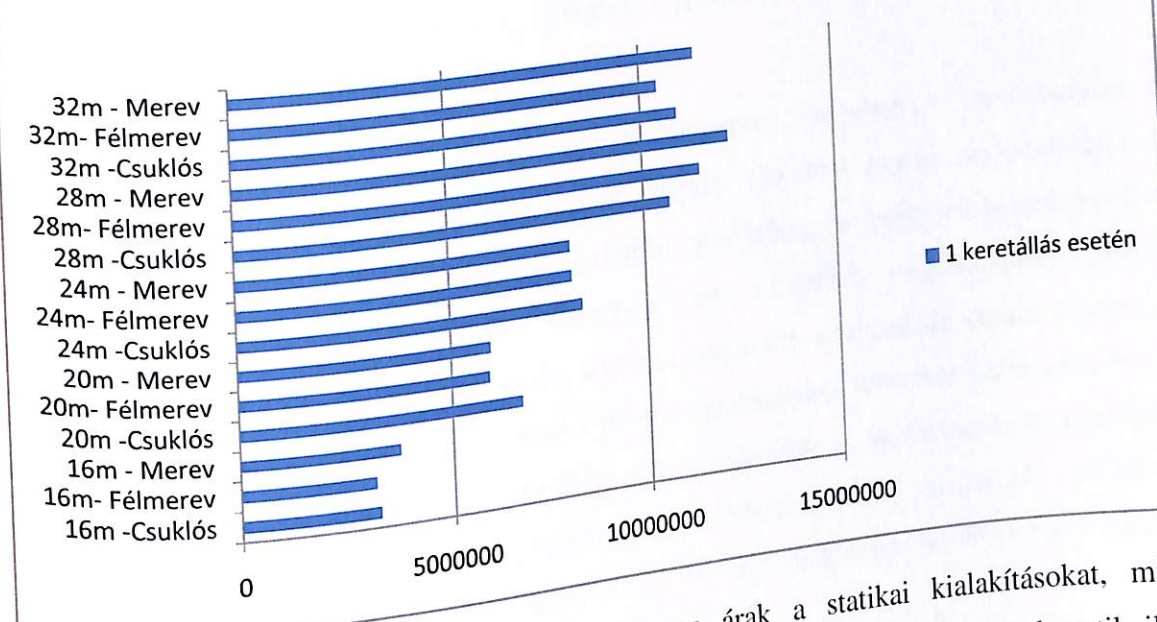
Szerepet játszik a költségek kialakításában a két másik csomópont (az oszlop-gerenda és a gerenda-gerenda csomópont), bár a gerenda-gerenda kapcsolat költsége minden esetben kevesebb, mint az oszlop-gerendáé (ez utóbbi egy keretállás esetén kétoldali kapcsolatot jelent, míg az előbbi csak 1 db kapcsolatot). A sarok és taréj kapcsolatok erőssége is majdnem lineárisan nő a fesztávolságok arányában. Mindezek ellenére jól látszódik a grafikonokon, hogy a talpponti kialakítás döntő jelentőséggel bír, nemcsak a szerkezet statikai viselkedését illetően, hanem a költségeket illetően is, és ez utóbbi sokszor eldönti a szerkezet statikai kialakítását is.

A keretszerkezetek optimalizációjáról bővebb információk az 5. Mellékletben található.

III.4.1. 10m oszlopmagasságú optimalizált keretek költségbecslése

A kialakított keretállások mindegyikénél szintén végeztem költség optimalizációt, hogy megtudjam a statikailag előnyösebb, illetve hátrányosabb keretek anyagilag is előnyösebbek vagy hátrányosabbak lehetnek-e. A költség elemzést a III.4. Optimalizált keretek költségbecslése című pontban ismertettek szerint végeztem el a 10m oszlopmagasságú keretek esetében is.

Gyártási és anyagköltség összesen, 1 keretállás esetén



Ezekben az esetekben jobban követik az árak a statikai kialakításokat, mint alacsonyabb kereteknél. 20m és 24m keretállások esetében egyértelműen nemcsak statikailag hátrányos a csuklós kialakítás, de egyben a legköltségesebb is. 16 méteres keretállás esetében a nagyobb saroknyomatékok miatt előnytelen félmerev megoldás a legolcsóbb, míg az előnyösebb csuklós és merev talpkapcsolatokkal ellátott keretek drágábbak. 28 méteres esetben lineárisan nőnek az értékek, mert ennél a feszítávolságnál nem tudtam tovább szelvény méretet csökkenteni, így az egyre erősebb kapcsolat, erőségének növekedésével arányosan egyre költségesebb is. A 32 méteres kereteknél is a félmerev a legolcsóbb megoldás, mivel a csuklósnak nagyon erős szelvényekre van szüksége, hogy megfeleljen a szilárdsági és stabilitási ellenállásokra, a merevnek pedig erős talpponti kapcsolatra.

A 10m oszlopmagasságú optimalizált keretek költségbecsléséről bővebben ld. 6. Mellékletet.

III.5. Optimalizált alaptestek

Az alaptestek optimalizációjával meg szerettem volna tudni, hogy a talplemezes kapcsolatok kialakítása mekkora befolyással van a létrehozott alaptestekre. Több lehetséges építési helyszín is felmerült, ezért megvizsgáltam kettő, eltérő teherbírású általajt, az AXIS VM 12 program Hallgatói változata segítségével. Az elemzésekhez MSZ szerint, 2001-2004. között készült Talajmechanikai szakvéleményeket használtam, melyeket a Telekes Kft. készített, amelyeket Prof. dr. Telekes Gábor PhD. bocsátott a rendelkezésemre. (Mellékelve

olvasható a kettő darab Talajmechanikai szakvélemény.) Az általajok kedvezőtlen valamint jó teherbírásiak, emellett eltérő rétegépítésiük. A tulajdonságaik miatt különböző mélységben szükséges a két alaptestet elhelyezni, különböző geometriai kialakítással. Minden egyes alaptest vasalt beton tömbalap.

A felszerkezetek csatlakozása miatt részesítettem előnyben a tömbalapokat a statikailag elegánsabb megoldású pilléralapok helyett. Továbbá anyagi megfontolásai is voltak a választásomnak: a pilléralap nyaka többletvasat jelent, de kevesebb betonkeveréket egészében nézve, míg a tömbalap több betonkeveréket és kevesebb vasalást igényel, a mai piaci árakon pedig a vasanyag beszerzési költsége magasabb a betonénál, emiatt a kevésbé drága megoldást választottam. (Körülbelül 1 m^3 -nyi betonkeverék többletvasat a minimális elkészítése, szemben a pillérekkel, továbbá a tömbalapban a többletvasat a minimális vasmennyiség jelenti, ellenben a pilléralapokkal.) Mindemellett a pillérszak kitérésre veszélyes, erre az igénybevételre is szükséges vasalni, míg tömbalapoknál nincs ilyen jellegű probléma.

Legkedvezőtlenebb a kedvezőtlen teherbírási általajon történő alapozás, mert a teherbíró réteg mélyen van. Ennél a talajnál a Talajmechanikai szakvéleményben javasolt megoldások közül választottam a síkalapozást, talajjavítással - mert a mélyalapozás, csarnokszerkezet esetén, indokolatlanul magas költségekkel járt volna, továbbá nem kerül kialakításra földalatti műtárgy a kivitelezésre váró szerkezet esetében. A talajjavítás, talajszilárdítás a mélytömörítést, talajcserét és függőleges drénezést egyesítő Soil-Cons eljárással történik. (Ez esetben a kicserélendő talaj elszállításának, deponálásának költségeivel nem kell számolni a későbbiekben.) Ezt követően megvizsgáltam ugyanezt a talajtípust mélyalapozással, azon belül cölöpalapozással is. A teherbíró réteg ez esetben 7,5m mélységben van, így 6,5m hosszú, 60 cm-es cölöpökkel számoltam (illetve az összefogó fejlemezével). A cölöpök előre gyártott cölöpök (SW Umwelttechnik 60cm átmérőjű, 6,5m-es cölöpök), mert ez olcsóbb megoldás, szemben a helyszínen készített cölöpökkel, ahol további anyag, gép és szerelési költségek járulnak a technológiához.

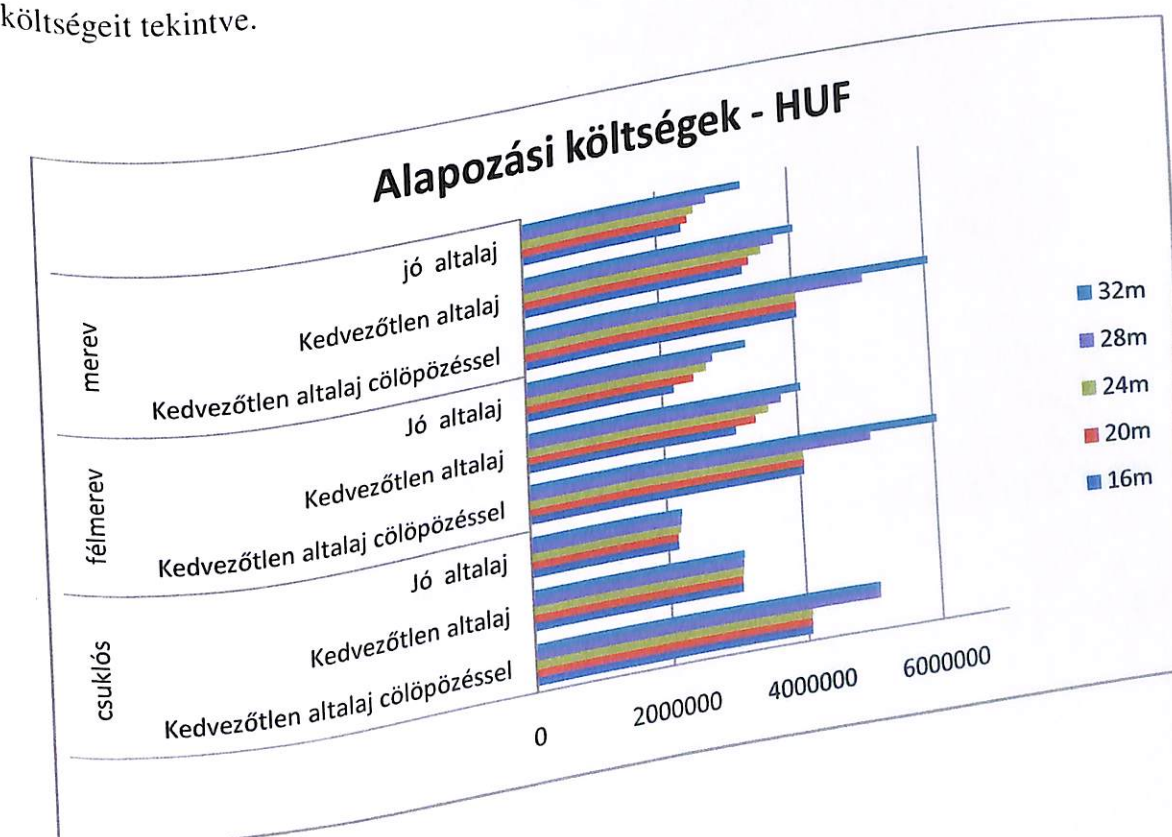
Az alapozási síkok felvételénél az 1,0 m (kötött talajok esetén), a 0,8m (szemcsés talajok esetén) és a 0,5m (szilárd közeten álló alap esetén) mélységű fagyhatárokat betartottam. A talajvíz többnyire igen mélyen helyezkedik el, ezért víznyomás nem alakul ki, ellenkező esetben pedig méretezni kell rá az alaptestet és elvezetni szükséges a vizet. Az építési helyszínen a csapadékvizek elvezetését szivárgó-rendszerrel oldottam meg, ennek a kialakítási költsége is benne van a költségbecslésekben. Az általam felvett alaptestek valamint

cölöpök egyike sem érintkezik a talajvízzel, továbbá mindegyik alaptest alatt 10mm vastagságban szerelőbeton kerül kialakításra. Az alaptestek talajtörési ellenállásai, maximális süllyedései kivétel nélkül megfelelnek az Eurocode szabványrendszerben előírtaknak.

A jó teherbírású altalaj esetében tömör mészkő és mésziszap rétegek váltják egymást, azonban az AXIS VM 12 (Hallgatói változat) pontalap tervező része semmilyen kőzetet nem tartalmaz, ezért a modellben tömör, száraz kavics rétegekkel helyettesítettem ezeket, melyeknek minimális a süllyedése (0,31mm körüli értékek). A kedvezőtlen teherbírású talaj esetében is eltértem a talajadottságok pontos ábrázolásától, mert az AXIS VM 12 (Hallgatói változat) pontalap tervező része nem annyira részletes kidolgozású, hogy pontosan tudjam felvenni a talajokat, emiatt kisebb eltérések láthatók a talajminőségeket illetően.

A fesztávolságok, valamint a talpponti kapcsolatok erősségének növekedésével az egyes keretek leadódó terhei egyenesen arányosan nőnek. Ebből következik, hogy a jó teherbírású altalaj vált a legkedvezőbb alapozási megoldássá.

A csuklós kapcsolatok esetében egyértelműen a legkedvezőbb kialakítás a jó teherbíró képességű altalaj, mivel ez a leggyengébb talpponti kialakítás, így a fesztávolság növekedésével nem erősödik a kapcsolat, továbbá az alaptest mérete ennél a talajbíró képességnél a legkisebb, éppen ezek miatt ez a legkedvezőbb megoldás - az alapozás költségeit tekintve.



Az alapozások költségeinek, valamint az alépítményi munkák összköltségének becslését az Építőipari Műszaki Iránynormák, 2. Alépítményi munkák¹⁶ című építőipari kalkulációs segédlet alapján végeztem, melynek aktuális árait a 2014. Július 1-jétől érvényes Építési Normagyűjteményből emeltem ki¹⁷(a gyűjtemény az ÉMÍR 1997-es árait aktualizálja 2014-esre, valamint a technológiai újítások költségeinek normáit is tartalmazza).

Az alaptestek méretezését, valamint a vasalások kialakítását, továbbá a becsült költségeket a 7. Melléklet tartalmazza.

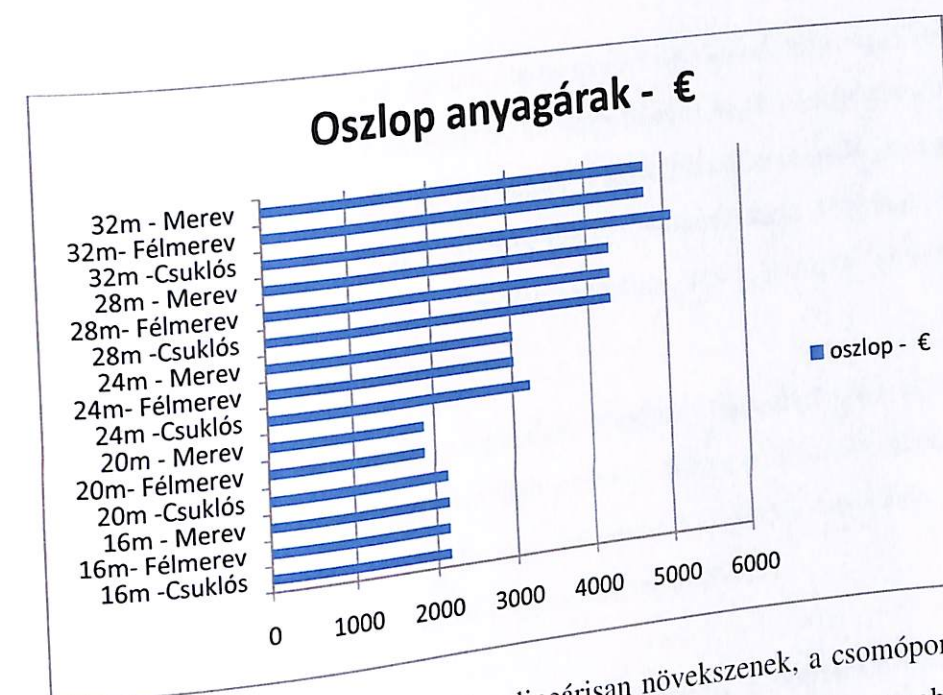
III.6. Összefoglalás az optimalizált kereteket és alaptesteket illetően

Az 5 m oszlop- és 6,2m taréjmagasságú keretekre vonatkozóan:

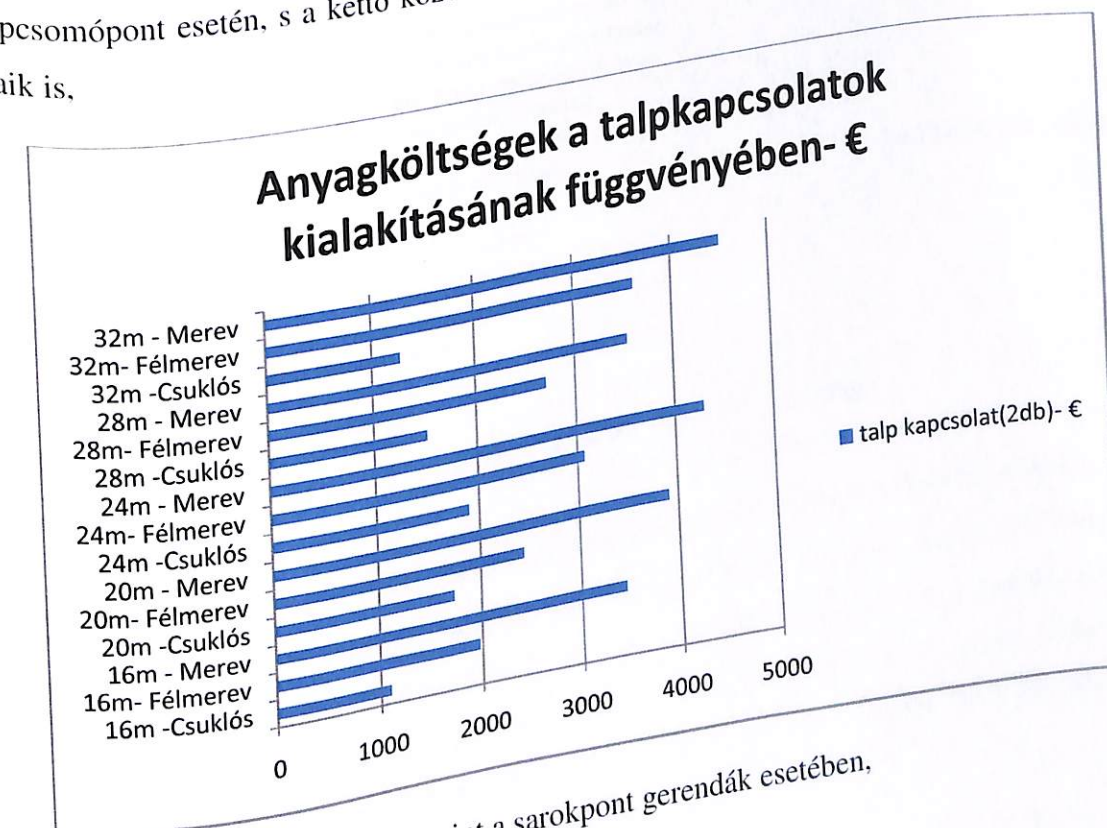
- a legnagyobb lehajlás 16 m és 32 m keretállás távolságok esetében a félmerev talpponti kialakítású kereteken jön létre, míg a 20 m, 24 m és 28 m keretállás távolságok esetében a csuklós talpponti kialakítás okozza a legnagyobb tartó középi lehajlást,
- a saroknyomatékok minden fesztávolság esetében a csuklós kialakítású talpkapcsolatok esetében a legnagyobbak, míg a legkisebbek merev talpkapcsolatok esetében, a kettő között pedig a félmerev helyezkedik el, ebből következik, hogy anyagi szempontból a gerendákat és oszlopokat tekintve a legkedvezőtlenebb kialakítás a csuklós, főleg nagyobb fesztávolságok esetében, ahol jelentős anyagár különbséget okoz, hogy a tartó anyaga követi a nyomatéki ábra alakját (ez mutatkozik meg már az oszlop és gerenda anyagárakban), mindezek ellenére összességében nézve egy anyagilag kedvező kialakítási mód.

¹⁶ Építőipari Műszaki Iránynormák, 2. Alépítményi munkák, ÉGSZI-SENIOR Kutató és Szervező Kft., 1997.

¹⁷ Az Építési Normagyűjteményről további információk: http://e-kerelem-engy.mvh.gov.hu/web_engy/regslogin.do



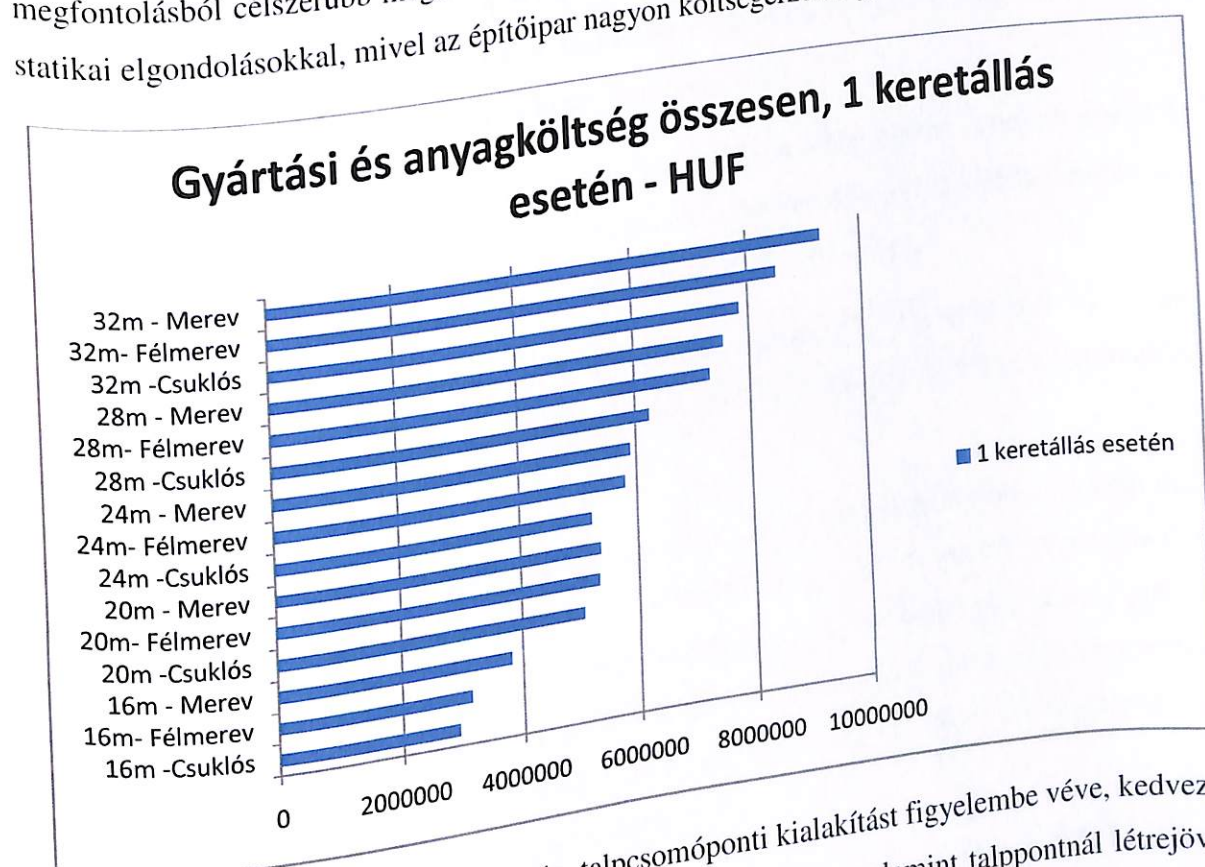
- a talpponti igénybevételek minden esetben lineárisan növekszenek, a csomópont erősítését követve, a talpcsomópont statikai kialakításától függően, azaz a legnagyobb talpponti nyomatékok merev talpponti kialakítás esetén lépnek fel, míg a legkisebbek a csuklós talpcsomópont esetén, s a kettő között helyezkedik el a félmerev megoldás, ezt követik az áraik is.



- a taréjpont kevésbé kihasználta, mint a sarokpont gerendák esetében,
 - a legnagyobb kihasználtságok a sarokpontokban jönnek létre,
 - kisebb fesztávolságok esetében előnyösebb anyagi szempontból a csuklós kialakítású kapcsolat, vagy merev megoldás, még a nagyobb saroknyomatékok ellenére is.

- a 16 méteres keretállás távolság esetén, talpcsomóponti kialakítást figyelembe véve, legkedvezőbb csuklós csomópontot létrehozni, az aránytalanul nagy oszlop tetején létrejövő nyomatékok, igénybevételek ellenére is, bár ennél a keretállás távolságnál kedvező még a merev kialakítású oszloptalp, anyagiakat tekintve pedig a csuklós, majd a félmerev megoldás, statikai megfontolásból a legkedvezőbb a merev megoldás lenne, azonban ez a legdrágább kivitelezési mód ezeken a fesztávolságokon,

- a 20-24 m keretállás távolságok esetén a legkedvezőtlenebb kialakítás statikai szempontból a csuklós talpponti kapcsolat, míg a legkedvezőbb a merev, illetve a félmerev, azonban anyagi megfontolásból célszerűbb mégis a csuklós vagy félmerev kialakítást választani, szemben a statikai elgondolásokkal, mivel az építőipar nagyon költségérzékeny,



- a 28 méteres keretállás távolság esetén, talpcsomóponti kialakítást figyelembe véve, kedvező a merev csomópont létrehozása, az arányosan oszlop tetején, valamint talppontonál létrejövő nyomatékok, igénybevételek miatt, illetve a lehajlás kedvező alakulása miatt, azonban ennél a keretállás távolságnál is a kedvező lehetőség a csuklós illetve a félmerev kialakítású oszloptalp, a megnövekedett keretsarok igénybevételek ellenére is, mert ezek a legolcsóbb kivitelezési megoldások, míg a merev a legdrágább,

- a 32 méteres keretállás távolság esetén, talpcsomóponti kialakítást figyelembe véve, anyagilag és statikailag is kedvező a félmerev csomópont létrehozása, továbbá kedvezőtlen anyagi megfontolásból a merev kapcsolat kialakítása, habár az arányosan az oszlop tetején,

valamint talppontonál létrejövő nyomatékok, igénybevételek miatt statikailag előnyösebb lenne, illetve a lehajlás alakulása miatt, azonban ennél a keretállás távolságnál a legelőnyösebb a csuklós kialakítású oszloptalp, mely statikailag nem a legkedvezőbb kivitelezési megoldás.

- a 16 - 20 méteres keretállások esetén a legnagyobb saroknyomaték csuklós esetben alakul ki, majd a félmerevnél lecsökken, végül a merev lesz a kettő közötti értékkel rendelkező keret, míg a taréjnyomatékok lineárisan csökkennek a talpcsomópont erősödésével,

- a 24 - 28 méteres keretállások esetén a legnagyobb saroknyomaték csuklós esetben alakul ki, majd a félmerevnél lecsökken, végül a merev lesz a legkisebb saroknyomatékkal rendelkező keret, ellenben a taréjnyomatékoknál a legkisebb érték merev esetben, míg a legnagyobb félmerev esetben keletkezik, kettő között pedig a csuklós áll,

- a 32 méteres keretállások esetén a legnagyobb saroknyomaték csuklós esetben alakul ki, majd a félmerevnél lecsökken, végül a merev lesz a legkisebb értékkel rendelkező keret, míg a taréjnyomatékok lineárisan csökkennek a talpcsomópont erősödésével,

- az alacsony szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - nincs jelentős befolyással a szerkezet kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés),

- anyagi szempontból a legdrágább elemek a szelvények és a talpkapcsolatok, továbbá ezek vágási díjai, ezek alapján érdemes eldönteni a kialakítás módját, a csuklós kapcsolatoknál olcsóbb a talpkapcsolat, de drágábbak a szelvények és a vágási díjak, míg merev esetben olcsóbbak a szelvények és a vágási díjak, de drágábbak a kapcsolatok, ezeket a szempontokat figyelembe véve a legjobb megoldásnak a csuklós, esetleg a félmerev talpkapcsolati csomópontokkal kialakított szerkezeteket tekintem.

További információk az 5m oszlopmagasságú keretek optimalizációjáról és a költségbecslések eredményeiről az 5. Mellékletben találhatók.

A 10 m oszlop- és 11,2m taréjmagasságú keretekre vonatkozóan:

- a legnagyobb lehajlás 16 m keretállás távolságok esetében a félmerev talpponti kialakítású kereteken jön létre, míg a 20 m, 24 m, 28m és 32m keretállás távolságok esetében a csuklós talpponti kialakítás okozza a legnagyobb tartó közepi lehajlást,

- legkedvezőtlenebb statikai kialakítás a félmerev talpkapcsolattal kialakított szerkezet 16m és 28m keretállás esetében, azonban anyagilag ez a legjobb megoldás, míg a legkedvezőtlenebb a csuklósan kialakított talpkapcsolatú szerkezet 20m, 24m és 32m keretállás távolságok esetében, még anyagilag is. Kis fesztávolság esetén előnyös, de nagyobb távolságok esetén már hátrányossá válik a nagy saroknyomatékok létrejötte, emiatt is válik kedvezőtlenné a szerkezeti kialakítás. Az oszlop tetején létrejövő nagyobb nyomatéki értékek megnövekedett szelvény méreteket - de olcsóbb kapcsolatokat - okoznak, emiatt jelentősen drágul a szerkezet kivitelezési költsége.

- anyagilag a legkedvezőbb megoldás 16m és 28m fesztávolság esetén a félmerev vagy csuklós megoldás, míg 20m keretállás távolságok esetén a csuklós kialakítás kerülendő,

- a 20-24-32 méteres fesztávolságok esetében a csuklós megoldás anyagi megfontolásból kerülendő szemben a merev vagy félmerev megoldásokkal, kivéve, ha mindhárom megoldásnál ugyanazokat a szelvényeket tudjuk csak alkalmazni, ebben az esetben a csuklós kialakítás megfelelővé is válhat (ld. 28m fesztávolság esetében),

- a legnagyobb igénybevételek ezeknél a vizsgált keretállásoknál is minden esetben az oszlop tetején lévő keresztmetszetben ébrednek, a talpcsomópont statikai kialakításától függően, azaz 16m és 28m keretállás távolságok esetében a legnagyobb saroknyomatékok félmerev esetben alakulnak ki, míg a legkisebbek merev esetben, a kettő között pedig a csuklós talpkapcsolatú keretek állnak, továbbá a 20 és 24 méteres keretállások esetében a félmerev talpponti kapcsolatok kisebb saroknyomatékot okoznak - kisebb a befogott és csuklós talpponti kapcsolatú keretek saroknyomatékainál a félmerev saroknyomatéka, ellenben a talpponti nyomatéka a kettő között helyezkedik el, míg a 32méteres keretállások esetében a félmerev kapcsolatokkal ellátott szerkezetek nyomaték ábrái a csuklós és merev között helyezkednek el, a taréjnyomatékok minden esetben a talpcsomópontok kialakításának erősítésével lineárisan csökkennek,

- 32m fesztávolság esetében a saroknyomatékok a talpkapcsolat erősítésével egyenesen arányosan csökkennek, ahogyan a taréjnyomatékok is,

- a talpcsomópontok minden keretállás távolság esetén a csomópontok erősítésével egyre nagyobb nyomatéki értékeket érnek el,

- a nagyobb szerkezeti magasság miatt a globális imperfekció - kezdeti ferdeség - félmerev és merev talpkapcsolatokkal kialakított keretek esetén nincsenek jelentős befolyással a

szerkezetek kialakítását, igénybevételeit tekintve (1 kNm a nyomatékok közötti eltérés), de csuklós esetben befolyásolják a szerkezeti és csomóponti kialakításokat. Egyetlen esetben, a 32m keretállású csuklós talpkapcsolatú esetben nem jelenik meg a hatása, mert ebben a kialakításban a szelvények nagyon erősek - gyengébb szelvények nem felelnek meg sem szilárdságra, sem stabilitásra,

- anyagi szempontból a legdrágább elemek a szelvények és a talpkapcsolatok, továbbá ezek vágási díjai, ezek alapján érdemes eldönteni a kialakítás módját, a csuklós kapcsolatoknál olcsóbb a talpkapcsolat, de drágábbak a szelvények és a vágási díjak, míg merev esetben olcsóbbak a szelvények és a vágási díjak, de drágábbak a kapcsolatok, ezeket a szempontokat figyelembe véve a legjobb megoldásnak a félmerev, esetleg merev talpkapcsolati csomópontokkal kialakított szerkezeteket tekintem.

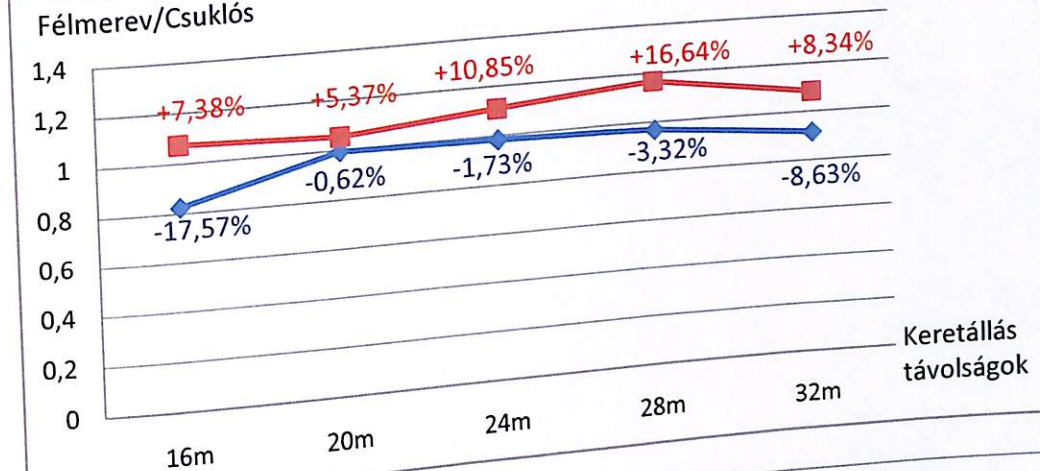
További információk a 10m oszlopmagasságú keretek optimalizációjáról és a költségbecslések eredményeiről a 6. Mellékletben található.

III.7. Összefoglalás az optimalizált kereteket és alaptesteket illetően a költségbecslés függvényében

Mivel eddigi munkám során elsősorban a félmerev talpkapcsolattal ellátott keretek vizsgálatát és mechanikai viselkedésének tanulmányozását végeztem, ezért szükségesnek éreztem ezeknek a szerkezeteknek a költségeit összevetni a csuklós és merev kialakítású szerkezetek költségeivel. Ezeket foglaltam össze az oszlopmagasságok és keretállás távolságok függvényében a következő két ábrában.

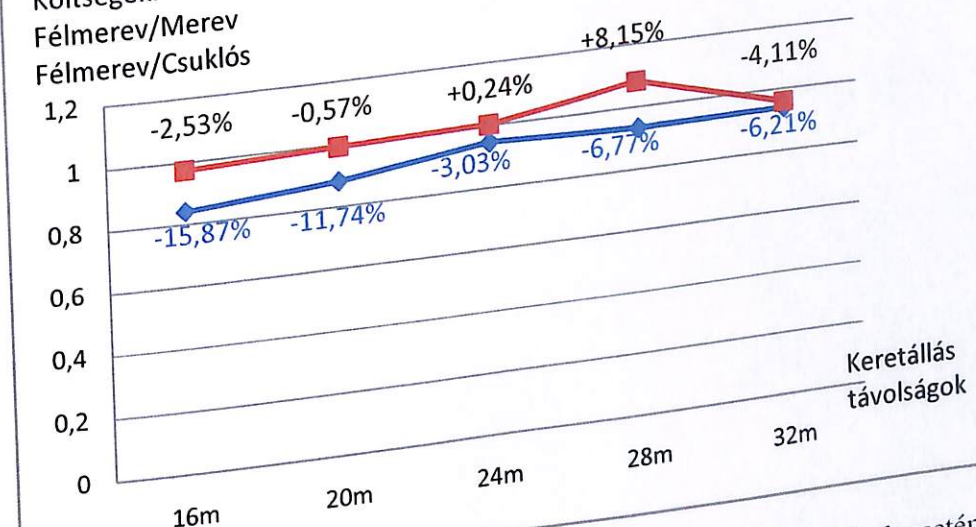
Összköltségek a kapcsolatok és a fesztávolságok függvényében, alacsony keretszerkezetek esetében

Költségek:
Félmerev/Merev
Félmerev/Csuklós



Összköltségek a kapcsolatok és a fesztávolságok függvényében, magasabb keretszerkezetek esetében

Költségek:
Félmerev/Merev
Félmerev/Csuklós



Jól leolvashatók a diagramokról, hogy alacsonyabb tartómagasságok esetén jelentősen olcsóbb kivitelezési megoldást jelent a csuklós és félmerev talpkapcsolati megoldással ellátott keretszerkezet megépítése, s ezeknél jól kirajzolódik az is, hogy igen jelentős az összköltségek közötti eltérés: 200-800 ezer forintnyi összegek között mozognak. Ez alól egyetlen kivétel a 20m keretállás távolságok, ahol 200 ezer forint alatti a különbség. Ezekben

az esetekben sikerült legjobb eredménnyel elvégezni a szelvények optimalizációját (mind 100% körüli kihasználtság értékű a sarokpontokban).

Nagyobb tartómagasságok esetén a költségek közötti eltérések megnövekednek: 200 ezer forint és közel 1 millió forint is lehet az árkülönbség. Itt még jobban kirajzolódik, hogy a 16m keretállás távolságok esetén még gazdaságos lehet a csuklós vagy félmerev talpcsomóponti kialakítás, azonban a továbbiakban már a legdrágább megoldást jelenti a csuklós kivitelezés. Ez alól kivételek a 28 m keretállás távolságú tartók, ahol a szelvény optimalizáció miatt - a talpkapcsolatok kialakításának megfelelően - lineárisan nőnek a költségek. Illetve kivétel a 20 m keretállás távolságú tartók, ahol az előzőekkel ellentétben a csuklós kialakítás jóval költségesebb (800 ezer forinttal kerül többre) megoldás, mint a félmerev vagy merev. A 20méteres csuklós kialakítás az, amelyenél a legkevésbé sikerült elvégezni a szelvények optimalizációját, 10m oszlopmagasságú tartók esetében.

A keretek optimalizációjáról és a költségbecslések eredményeiről további információk az 5. és a 6. Mellékletben találhatók.

A következőkben minden keretállás távolságot illetően összefoglalom a kapott eredményeket.

A 16 m keretállás távolságokat illetően:

- az anyagok árát illetően meghatározó a gerendák - kiékeléssel- és oszlopok, valamint a talpkapcsolat anyagára- főleg merev talpkapcsolat esetén,
- a gyártási költségeket tekintve a lemez és szelvény levágások, továbbá a hegesztések díja a legdrágább, a legolcsóbb pedig minden esetben a furatok és a védőbevonatok,
- a felszerkezet összköltségét tekintve legjelentősebbek az anyagárak, többnyire az oszlop, gerenda és kiékelések árai, illetve ezeknek a megmunkálási díjai közül a levágások és hegesztések a legköltségesebb technológiák,
- a teljes költséget tekintve is mértékadó az anyagár, illetve az előállítási díj, a legolcsóbb pedig minden altalaj típus esetében az alapozás - alépítményi munkákkal együtt,
- az alapozás jó teherbíró altalaj esetén olcsóbb, mint az alépítményi munkák, míg kedvezőtlen teherbíró talaj esetén az alépítményi munkák kerülnek kevesebbe az alapozás költségéhez viszonyítva,

- csuklós esetben jóval nagyobbak az anyagárak és előállítási költségek, anyagi szempontból kedvezőtlen kivitelezési megoldás,
- félmerev esetben egységesen ugyanannyiba kerülnek az anyagok, viszont a megmunkálás a csuklósnál olcsóbb, míg a merevnél drágább - kivéve a hegesztések árát,
- merev esetben az anyagköltség kevesebb, de a hegesztési díjak megnőnek,
- legkedvezőbb kialakítási mód összességében vizsgálva, mindezek függvényében az 5 méteres tartómagasságok esetében a csuklós, majd a félmerev, míg 10m tartómagasságok esetén a félmerev, ezt követően pedig a merev talpkapcsolattal ellátott keretszerkezet.

A 20 m keretállás távolságokat illetően:

- az anyagok árát illetően meghatározó a gerendák - kiékeléssel- és oszlopok, valamint a talpkapcsolat anyagára- főleg merev talpkapcsolat esetén,
- a gyártási költségeket tekintve a részmunkálatok díjai egységesnek mondhatók mindhárom esetben, hasonló árakon mozognak, nincs olyan részmunkálat ami kiugróan magas lenne a többihez képest,
- a felszerkezet összköltségét tekintve legjelentősebbek az anyagárak, többnyire az oszlop, gerenda és kiékelések árai, illetve ezeknek a megmunkálási díjai közül a levágások és hegesztések a legköltségesebb technológiák,
- a teljes költséget tekintve is mértékadó az anyagár, illetve az előállítási díj, a legolcsóbb pedig minden altalaj típus esetében az alapozás - alépítményi munkákkal együtt,
- az alapozás jó teherbíró altalaj esetén olcsóbb, mint az alépítményi munkák, míg kedvezőtlen teherbíró talaj esetén az alépítményi munkák kerülnek kevesebbe az alapozás költségéhez viszonyítva,
- csuklós esetben jóval nagyobbak az anyagárak és előállítási költségek, anyagi szempontból kedvezőtlen kivitelezési megoldás,
- félmerev esetben az anyagok ára a merev és csuklós közötti tartományban vannak, viszont a megmunkálás a csuklóssal és a merevvel egyenértékű elszámolási tartományokban mozognak, azonban gazdaságosabb megoldás, mint a csuklós kivitel,

- merev esetben sokat lehet spórolni a szelvények árán a talplemez hátrányára, azonban a talplemez ára - megmunkálással és szárnylemezekkel együtt- lényegesen olcsóbb, mint a szelvényeké, emiatt ez egy gazdaságos megoldássá is válhat,

- legkedvezőbb kialakítási mód mindezek függvényében az 5 méteres tartómagasságok esetében a csuklós, majd a félmerev, míg 10m tartómagasságok esetén a félmerev, ezt követően pedig a merev talpkapcsolattal ellátott keretszerkezet.

A 24 m keretállás távolságokat illetően:

- az anyagok árát illetően meghatározó a gerendák - kiékeléssel- és oszlopok, valamint a talpkapcsolat anyagára- főleg merev talpkapcsolat esetén,

- a gyártási költségeket tekintve a részmunkálatok díjai egységesnek mondhatók a furatokat és a felületkezeléseket illetően, hasonló árakon mozognak, a részmunkálatok esetében a levágási díjak csuklóstól merevig csökkennek, míg a hegesztési díjak fokozatosan nőnek,

- a felszerkezet összköltségét tekintve legjelentősebbek az anyagárak, többnyire az oszlop, gerenda és kiékelések árai, illetve ezeknek a megmunkálási díjai közül a levágások és hegesztések a legköltségesebb technológiák,

- a teljes költséget tekintve is mértékadó az anyagár, illetve az előállítási díj, a legolcsóbb pedig minden altalaj típus esetében az alapozás - aléptményi munkákkal együtt,

- az alapozás jó teherbíró altalaj esetén olcsóbb, mint az aléptményi munkák, míg kedvezőtlen teherbíró talajesetén az aléptményi munkák kerülnek kevesebbe az alapozás költségéhez viszonyítva,

- csuklós esetben jóval nagyobbak az anyagárak és előállítási költségek, anyagi szempontból kedvezőtlen kivitelezési megoldás,

- félmerev esetben az anyagok ára a merev és csuklós közötti tartományban vannak, viszont a megmunkálás a csuklósnál és a merevnél is olcsóbb az előállítási költsége, összesítve nézve, a leginkább gazdaságos megoldási forma a félmerev talpkapcsolat,

- merev esetben sokat lehet spórolni a szelvények árán a talplemez hátrányára, azonban a talplemez ára - megmunkálással és szárnylemezekkel együtt- lényegesen olcsóbb, mint a szelvényeké, emiatt ez is egy gazdaságos megoldás,

- legkedvezőbb kialakítási mód mindezek függvényében az 5 méteres tartómagasságok esetében a csuklós, majd a félmerev, míg 10m tartómagasságok esetén a félmerev, ezt követően pedig a merev talpkapcsolattal ellátott keretszerkezet.

A 28 m keretállás távolságokat illetően:

- az anyagok árát illetően meghatározó a gerendák - kiékeléssel- és oszlopok, valamint a talpkapcsolat anyagára- főleg merev talpkapcsolat esetén,
- a gyártási költségeket tekintve a részmunkálatok díjai egységesnek mondhatók a csuklós és félmerev kialakításokat illetően, hasonló árakon mozognak, a részmunkálatok esetében a hegesztésben és a levágási díjakban látszódik a merev esetben eltérés, a hegesztés drágább, bár a méretre vágás ez esetben olcsóbb,
- a felszerkezet összköltségét tekintve legjelentősebbek az anyagárak, többnyire az oszlop, gerenda és kiékelések árai, illetve ezeknek a megmunkálási díjai közül a levágások és hegesztések a legköltségesebb technológiák,
- a teljes költséget tekintve is mértékadó az anyagár, illetve az előállítási díj, a legolcsóbb pedig minden altalaj típus esetében az alapozás - aléptményi munkákkal együtt,
- az alapozás jó teherbíró altalaj esetén olcsóbb, mint az aléptményi munkák, míg kedvezőtlen teherbíró talaj esetén az aléptményi munkák kerülnek kevesebbe az alapozás költségéhez viszonyítva,
- csuklós esetben jóval nagyobbak az anyagárak és előállítási költségek, anyagi szempontból kedvezőtlen kivitelezési megoldás,
- félmerev esetben az összköltséget tekintve az anyagok árai megegyeznek a merev kapcsolatú szerkezet anyag áraival, és a részköltségekben sincs túl nagy eltérés, összesítve nézve, a gazdaságosságot illetően a félmerev talpkapcsolat minden esetben jó választás,
- merev esetben sokat lehet spórolni a szelvények árán a talplemez hátrányára, azonban a talplemez ára - megmunkálással és szárnylemezekkel együtt- lényegesen olcsóbb, mint a szelvényeké, emiatt ez a leggazdaságosabb megoldás is lehet,
- legkedvezőbb kialakítási mód mindezek függvényében az 5 méteres tartómagasságok esetében a csuklós, majd a félmerev, míg 10m tartómagasságok esetén a csuklós, ezt követően pedig a félmerev talpkapcsolattal ellátott keretszerkezet.

A 32 m keretállás távolságokat illetően:

- az anyagok árát illetően meghatározó a gerendák - kiékeléssel- és oszlopok, valamint a talpkapcsolat anyagára- főleg merev talpkapcsolat esetén,
- a gyártási költségeket tekintve a részmunkálatok díjai majdnem teljesen azonosnak mondhatók a csuklós és félmerev kialakításokat illetően, hasonló árakon mozognak, a részmunkálatok esetében a hegesztésben és a levágási díjakban látszódik a merev esetben eltérés, a hegesztés drágább, bár a méretre vágás ez esetben olcsóbb,
- a felszerkezet összköltségét tekintve legjelentősebbek az anyagárak, többnyire az oszlop, gerenda és kiékelések árai, illetve ezeknek a megmunkálási díjai közül a levágások és hegesztések a legköltségesebb technológiák,
- a teljes költséget tekintve is mértékadó az anyagár, illetve az előállítási díj, a legolcsóbb pedig minden altalaj típus esetében az alapozás - alépítményi munkákkal együtt,
- az alapozás jó teherbíró altalaj esetén olcsóbb, mint az alépítményi munkák, míg kedvezőtlen teherbíró talaj esetén az alépítményi munkák kerülnek kevesebbe az alapozás költségéhez viszonyítva,
- csuklós esetben jóval nagyobbak az anyagárak és előállítási költségek, mint a másik kettő megoldás esetében, anyagi szempontból kedvezőtlen kivitelezési megoldás,
- félmerev esetben az összköltséget tekintve az anyagok árai majdnem teljesen megegyeznek a merev kapcsolatú szerkezet anyag áraival, és a részköltségekben sincs túl nagy eltérés, összesítve nézve, a leginkább megfelel a gazdaságosságot illetően, 32m fesztávolság esetében, a félmerev talpkapcsolat,
- merev esetben sokat lehet spórolni a szelvények árán a talplemez hátrányára, azonban a talplemez ára - megmunkálással és szárnylemezekkel együtt- lényegesen olcsóbb, mint a szelvényeké, emiatt ezen a keretállás távolságon a magasság növelésével leggazdaságosabb megoldássá válhat,
- legkedvezőbb kialakítási mód mindezek függvényében az 5 méteres tartómagasságok esetében a csuklós, majd a félmerev, míg 10m tartómagasságok esetén a merev, ezt követően pedig a félmerev talpkapcsolattal ellátott keretszerkezet.

III.8. Összességében a különböző keretállás távolságokat és a költségeket illetően:

- minden esetben mértékadó a szelvények és a kiékelések anyag és megmunkálási díjai,
- a gyártási költségek esetében a méretre vágás és a hegesztés döntő befolyással bír, mindegyik keretállás távolság esetében,
- a teljes költséget tekintve minden esetben mértékadó az anyagár, illetve az előállítási díj, a legolcsóbb pedig minden altalaj típus esetében az alapozás - alépítményi munkákkal együtt,
- az alapozás jó teherbíró altalaj esetén olcsóbb, mint az alépítményi munkák, míg kedvezőtlen teherbíró talaj esetén az alépítményi munkák kerülnek kevesebbe az alapozás költségéhez viszonyítva minden kerettávolság esetében,
- a csuklós talpkapcsolat, mint kivitelezésre szánt megoldás, egyetlen esetben volt gazdaságos nagyobb tartómagasságban - a 28 m keretállás távolságoknál mert ezekben az esetekben a keretek optimalizációja során nem lehetett a szelvények magasságát növelni vagy csökkenteni, egyik talpkapcsolati megoldás esetében sem -, mert jóval nagyobbak az anyagárak és előállítási költségek, mint a másik kettő megoldás esetében, mivel a szerkezet felépítése minden esetben követi a nyomatéki ábra alakját, ezzel szemben az alacsonyabb tartómagasságokban kivétel nélkül minden fesztávolságnál ez a legolcsóbb kivitelezési megoldás,
- a félmerev talpkialakítású esetek elég gazdaságos kivitelezési megoldások kis fesztávolságú tartók esetében, egészen jól alkalmazhatók 16 - 20 méteres tartó távolságok esetében, de még akár 24 m fesztávolságig is - ekkor körülbelül egyeznek a félmerev és merev kialakítású szerkezetek összköltségei nagyobb tartómagasságok esetében, míg alacsony tartómagasságok esetében minden esetben a második legolcsóbb megoldás a félmerev talpcsomópont létrehozása,
- a merev talplemezes kapcsolatok legelőnyösebben a nagy tartómagasságoknál használhatók ki és nagy fesztávolságok esetén ajánlottak, a 28 - 32 méteres tartományokban, ekkor a nyomatéki igénybevételek miatt válnak a legolcsóbb megoldásokká, szemben a félmerev kialakítással, míg az alacsony tartómagasságok esetén ez a legdrágább megoldás,
- összességében elmondható, hogy a kiékelte, hegesztett kialakítású acél kerettartók még nagy fesztávolságok esetében is gazdaságosabbak a rácsos tartós megoldásoknál, hiszen jóval kevesebb összegbe kerülnek a felhasznált anyagok, a méretre szabási költségek, mint a rácsos tartóval ellátott esetben, tehát egyszerű, nyeregterősen kialakított csarnokszerkezetnél

érdemes nagy keretállás távolságok esetében is kiékelt keretet választani kivitelezési megoldásként.

Bővebb információkat a költségekről az 5., 6., 7. Mellékletek tartalmaznak.

IV. Csarnokszerkezet kivitelezési terve

A vizsgálatok alapján kiválasztottam egy szerkezetileg és anyagilag is optimálisnak mondható keretállás távolságot és talpkapcsolati kialakítási módot. A megvizsgált altalajok és felvehető alaptest méretek és kialakítások közül is a legkedvezőbbet, a jó teherbírású altalajt választottam.

A statikai számítást és az AXIS VM 12 Hallgatói változatával készült alaptest számítást a 8. Statikai dokumentációk című mellékletben találhatók. A hozzájuk tartozó kivitelei tervek az S-1 és S-2 jelű tervrajzok.

Felhasznált irodalom jegyzéke:

- 1., Halász Ottó - Platthy Pál: Acélszerkezetek, Tankönyvkiadó, Budapest, 1987.
- 2., Komócsin Mihály: Gépipari anyagismeret, COKOM Mérnökiroda Kft. Miskolc, 2005.
- 3., Dr. Seregi György: Acélvázcsarnokok, TERC Kft. Budapest, 2001.
- 4., Dr. Horváth László: Acélszerkezetek II., 2007., BMEEOHSAS07 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére
- 5., Dr. Papp Ferenc: Magasépítési acélszerkezetek, 2004., BMEEOHSASA1 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére
- 6., Viczián Csaba: Félmerev oszloptalpak tervezése az EuroCode 3 szabvány szerint, Miskolci Egyetem, Multidiszciplináris Tudományok, 1.kötet, 1.szám, 2011.
- 7., Katula Levente: Magasépítési acélszerkezetek, Előadásvázlatok, 2008., BME Építőmérnöki Kar, Hidak és Szerkezetek Tanszéke
- 8., Ádány Sándor - Dulácska Endre - Dunai László - Fernezelyi Sándor - Horváth László: Acélszerkezetek, 2. Speciális eljárások, Tervezés az Eurocode alapján, Business Media Magyarország Kft, 2007.
- 9., http://www.eisen-neumueller.at/Media/490856a6-ee37-422f-bff2-0e5e02dd34f0/Stahlhandel/Downloads/Lagerliste_0912_Traeger.pdf
- 10., http://www.eisen-neumueller.at/Media/490856a6-ee37-422f-bff2-0e5e02dd34f0/Stahlhandel/Downloads/Lagerliste/Lagerliste_0714_gesamt_web.pdf
- 11., http://www.weylend.at/fileadmin/kataloge_datenbank/Schraubenkatalog%202005.pdf
- 12., http://www.wuerth.de/web/media/downloads/pdf/meinwuerth_1/downloadcenter/broschueren/stahlbaubroschuere.pdf
- 13., Építőipari Műszaki Iránynormák, 2. Alépitményi munkák, ÉGSZI-SENIOR Kutató és Szervező Kft., 1997.
- 14., Építőipari Műszaki Iránynormák, 3. Építőmesteri munkák, ÉGSZI-SENIOR Kutató és Szervező Kft., 1997.
- 15., Építőipari Műszaki Iránynormák, 4. Szakipar, ÉGSZI-SENIOR Kutató és Szervező Kft., 1997.
- 16., Szeredi - Petro: Építőipari Költségbecslési Segédlet, 2011., Építésügyi Tájékoztatási Központ, 2011.
- 17., <http://www.terc.hu/files/download>
- 18., <http://www.timarvasker.hu/>
- 19., http://e-kerelem-engy.mvh.gov.hu/web_engy/regslogin.do
- 20., <http://portfoliofinansial.hu/>
- 21., www.havik.hu;

22., www.behankft.hu/index.php

23., <http://www.epitesijog.hu/hatalyos-epitesugyi-jogszabalyok/munkavedelem>

24., <http://www.e-epites.hu/jogszabalyfigyelo/megjelent-a-forster-gyula-nemzeti-orokseggazdalkodasi-es-szolgaltatasi-kozpontrol-0>

25., <http://www.sze.hu/~szepesr/index.html>

26., <http://www.sze.hu/~szepesr/anyagok/oktatas/SZR-GEO-2012.pdf>

27., Deák György - Draskóczy András - Dulácska Endre - Kollár László - Visnovitz György: Vasbeton szerkezetek, Tervezés az Eurocode alapján, Artiflex Kiadó Kft., 2011.

28., <http://www.rockwool.hu/alkalmazastechnika/cad-reszletrajzok>

