

DIPLOMAMUNKA

Nádasdi Zoltán
2009

SZIE-YMÉTK
Mechanika és Tartószerkezetek Tanszék
Szakirányú Diplomamunka

70 m-es Antennatorony

Kiviteli terve

TERV ÉS IRATJEGYZÉK

- Tervezői nyilatkozat.....	-2-
- Műszaki leírás	-3-
- 1. Előzmények	-3-
- 2. Kiindulási adatok.....	-4-
- 3. Alapozás	-5-
- 4. Közművek	-5-
- 5. Környezetvédelem.....	-5-
- 5.1. Szerelési időszak	-5-
- 5.2. Üzemeltetési időszak.....	-6-
- 5.3. Összefoglalás	-6-
- 6. Szerelés.....	-6-
- 7. A torony szerkezete	-7-
- 8. Anyagminőségek, felületvédelem	-8-
- 9. Tűzvédelmi műszaki leírás.....	-8-
- 10. Munkavédelem	-10-
- Statikai számítás.....	-10-
- 11. Kiindulási adatok.....	-12-
- 12. Geometria kialakítása és vizsgálata.....	-13-
- 13. Szélteher számítás	-28-
- 14. Tervezés/Ellenőrzés	-30-
- 14.1. Szilárdsági méretezés	-33-
- 14.2. Merevség ellenőrzése	-34-
- 14.3. Kapcsolatok tervezése	-36-
- 14.4. Alapozás tervezése	-37-
- 14.5. Talpfeszültség ellenőrzése.....	-38-
- 15. Komplex statika vizsgálata.....	-38-
- 15.1. Globális biztonsági tényező.....	-45-
- 15.2. Sajátfrekvencia számítása.....	-47-
- 15.3. Szeizmikus terhek számítása	-47-

- Tervrajzok:

E-1 Átnézeti helyszínrajz	M=1:500
E-2 Helyszínrajzi elrendezés	M=1:100
E-3 Antennaelrendezési terv	M=1:150
S-1 Összeállítási terv	M=1:150
S-2 1. Toronyegység gyártmányterve	M=1:25
S-3 Pódium gyártmányterve	M=1:15
S-4 Alapozási terv	M=1:50

TERVEZŐI NYILATKOZAT

A 37/2007. (XII. 13.) ÖTM rendelet 19. § értelmében nyilatkozom, hogy

Építtető: Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar

Építés helye: Guckler Károly Köz 1.szám

Hrsz.: 16437/1

részére az építési engedélyezésére vonatkozó, általam készített építészeti-műszaki tervek elkészítésére jogosultsággal rendelkezem.

Az általam tervezett építészeti-műszaki megoldás megfelel a vonatkozó jogszabályoknak, általános érvényű és eseti előírásoknak, így különösen:

- a) a környezetvédelmi előírásoknak, a statikai, és az életvédelmi követelményeknek,
- b) a jogszabályokban meghatározottaktól eltérés engedélyezése nem szükséges
- c) a vonatkozó nemzeti szabványtól eltérő műszaki megoldás alkalmazása nem szükséges
- d) az adott tervezési feladatra azonos módszert alkalmaztam a hatások (terhek) és az ellenállások (teherbírás) megállapítására és azt a tervezés során teljes körűen alkalmaztam.
- e) az építmény tervezésekor alkalmazott műszaki megoldás az Étv. 31. § (2) bekezdés c)-h) pontjában meghatározott követelményeknek megfelel,
- f) az érdekelt közmű-szolgáltatóval az egyeztetés megtörtént, továbbá annak tartalmáról, illetve a követelmények teljesítése módjának a műszaki leírásban történő igazolásáról,
- g) az építési, bontási tevékenységgel érintett építmény azbesztet nem tartalmaz

Budapest, 2009. május 15.



aláírás

MŰSZAKI LEÍRÁS

1. Előzmények

A feladat a Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar Mechanika és Tartószerkezetek Tanszék Szakirányú Diplomamunkájának tervdokumentációja. Az állomás egy 70 m magas antennatoronyból és három – a tornyon elhelyezett – a T-Mobil által AT-4-nek nevezett típus antennatartóból áll. A tornyon 6 darab 739 636 panel és 6 darab mikró elhelyezését kell biztosítani. Az antennák magassági helyzetét a megrendelő határozza meg.

2. Kiindulási adatok

Megtervezendő egy kb. 70 m magas, acélcsövekből épülő antennatorony egybefüggő, hatszög alaprajzú tömbalapozással. A torony egyszeres ún. „K” rácsozású (mellékrácsozással együtt), háromszög alaprajzú, a statikai modell szempontjából térbeli szerkezet. Az övek karimás kötésekkel illesztve, a rácsrudak és övek kapcsolata az övekre hegesztett csomólemezek és a rácsrudak végébe hegesztett kapcsolólemezek egy db egyszer nyírt csavaros kötésével legyenek megoldva.

Az antennatartó tornyon 12 darab antenna elhelyezését kell biztosítani, amelyből 6 darab az AT-4 antennatartó karra kerül. A többi antenna az antennatorony övrúdjaiban helyezkednek el.

AZ ANTENNÁK ADATAI:

- 4 db 2.6m-es 739 636 panel, AT-4 tartón ($H \approx 66,6$ m)
fősugárzási irány: 87° , 147° , 267° , 327°
- 2 db 1.3m-es 739 636 panel, AT-4 tartón ($H \approx 66,6$ m)
fősugárzási irány: 27° , 207°
- 1 db 2.6m-es 739 636 panel, 2,5 m-es tartón ($H \approx 60,0$ m)
fősugárzási irány: 87°

- 1 db $\varnothing 1,20$ mikró, övekre szerelve ($H \approx 60,0$ m)
sugárzási irány: 312°
- 1 db $\varnothing 0,80$ mikró, övekre szerelve ($H \approx 60,0$ m)
sugárzási irány: 192°
- 1 db 1,3m-es 739 636 panel, 1,5 m-es tartón ($H \approx 52,8$ m)
főszugárzási irány: 327°
- 2 db $\varnothing 0,60$ mikró, övekre szerelve ($H \approx 52,8$ m)
sugárzási irány: $102^\circ, 192^\circ$

Az AT-4 típustartó ezen antennák terhére megfelel.

3. Alapozás

A rétegek a felszínnel párhuzamos elhelyezkedésűek, homogének. Az észlelt talajvíz laboratóriumi vizsgálat alapján nem agresszív.

Talajszelvények a talajmechanikai vizsgálat adatai szerint:

	Talaj	Z(m)	P(t/m ³)	$\Phi(^{\circ})$	c(kN/m ²)	Es(MN/m ²)
1.	Feltöltés	0,00-0,90	1,49	-	-	17
2.	Sz.durva homok	0,90-2,30	1,72	29	-	28
3.	Sz.s.hom.liszt	2,30-4,50	1,70	24	15	20
4.	S.iszap.hom.liszt	4,50-11,80	1,83	18	25	10

Építési tv. = -3,20 m
Becs.max.tv. = -2,40 m
 $\sigma_a = 200 \text{ kN/m}^2$

Az egyes rétegek teherbírási jellemzői szerint a torony alapozására a szürke, durva homok a legalkalmasabb, ezért az alapsíkot -1,90 m-en vettem fel.

Az építési talajvízszint 130 cm-rel lejjebb van a alapozási síkhoz képest, tehát a talajvízszint süllyesztése nem szükséges.

A becsült maximális talajvízszint 30 cm-rel lejjebb van az alapozási síkhoz képest, tehát a talajvízzel nem kell számolni.

A torony alapja egy hatszög alaprajzú beton tömbalap, a külső felületein egy koszorúgerenda-szerű, alul-felül egy három irányban elhelyezett legyező-szerű vasalással ellátva. A toronyalap háromszögre kiegészített befoglaló mérete 14,00x10,39x1,90, amely alá 20cm szerelőbeton kerül. A betonminőség: C12-32/KK. A betonacél minősége: B.60.50. A szerelőbeton minősége: C8/KK. Az alaptestbe lehorgonyzó szerkezetet kell létesíteni.

Az alaptömb méretének meghatározása – a szilárdsági követelményeken túl – a torony feldőléssel szembeni biztonság alapján történt.

A torony feldőléssel szembeni biztonsága: 2,06

4. Közművek

Az állomás az elektromos energián kívül közműcsatlakozást nem igényel. A kábelvezetés a konténerbe az alapba betonozott védőcsövön keresztül történik.

5. Környezetvédelem

A környezetvédelmi műleírásban azt vizsgáljuk, hogy a telepítendő rádiótechnikai berendezések a szerelés és az üzemeltetés időszakában milyen hatást gyakorolnak a környezetükre.

5.1. Szerelési időszak

A berendezések szerelése során a levegő tisztaságával, az élővizekkel, a talajszennyeződéssel, sugárzással kapcsolatos környezet károsító, vagy szennyező hatás, illetve termék nem keletkezik.

A szerelés során keletkező hulladék (fa, papír, kis mennyiségű fém, műanyag) háztartási hulladék tekinthető, ezért különleges kezelést nem igényel, a háztartási szeméthyűjtő helyekre kell elszállítani.

5.2. Üzemeltetési időszak

A rádiótechnikai berendezések üzemeltetése során környezetvédelmi szempontból a hasznos információt tartalmazó, az antennán keresztül kisugárzandó rádiófrekvenciás energia tekinthető "szennyező" anyagnak.

Ezen kívül hulladéknak tekinthető a berendezések által disszipált hőmennyiség. A kisugárzásra kerülő energia a lakossággal és az élővilággal kapcsolatba kerül, ezért ezt részletesebben vizsgáljuk és rövid számítást végzünk, mellyel bizonyítjuk, hogy a vonatkozó szabvány előírásait a tervezett rádiótelefon összeköttetés messzemenően kielégíti.

A rádiótelefon antennák közvetlen közelébe illetéktelen személyek nem kerülhetnek.

5.3. Üzemeltetési időszak

Jelen tervfejezet és az ennek alapjául szolgáló műszaki tervek egyértelműen rögzítik, hogy a rádióállomás a tervezettkialakítás esetén semmiféle környezetkárosító hatást nem eredményez, sem a szerelés sem az üzemeltetés során, mivel az energiasűrűség nem éri el a szabványban előírt határértéket. Különleges környezetvédelmi megoldást nem kell tervezni.

6. Szerelés

A torony összeállítása a helyszínen két ütemben történik. Az első ütemben a torony alsó 10 toronyegységét felállítják és az alaptestre, lehorgonyzó szerkezetre helyezik. A rögzítés után következhet a második ütem. Ekkor kerül fel a torony tetejére az utolsó 3 toronyegység. A helyszíni rögzítések csak csavaros kapcsolattal oldhatók meg.

Az antennák, antennatartók közül azon szerkezetek elhelyezését, amelyek az összeállítás során nem sérülhetnek, célszerű még a beemelés előtt felszerelni a megfelelő helyre.

7. A torony szerkezete

A rácsos toronyszerkezet keresztmetszete egyenlő oldalú háromszög, változó oldalhosszúsággal, csőszelvényekből kialakítva. A rácssíkokat övrudak és a közöttük lévő, ún. „K” rácsozás alkotja, az alsó toronyszakaszokon a szükséges mértékű mellékrácsozással. Az övrúd és a rácsrúd kapcsolata csavarozott kialakítású. A csomólemezek, amelyek az övrúd palástjára, illetve a rácsrúd felhasított végére vannak hegesztve, egymáshoz egy egyszer nyírt csavarral kapcsolódnak. Az övrudak hosszirányú toldása csavarozott karimás kötéssel készül.

A hágcsó egységei hevederrel és csavarral toldottak. Illetéktelenek feljutását zárható ajtó gátolja. A kitámasztó rudak a toronyhoz a rácsrudakra hegesztett csomólemezekhez kapcsolódnak. Ez a csomólemez csak a próbaszerelésnél varrható fel pontosan. A létra oldaltámjára kábeltartó konzolok lesznek hegesztve, valamint speciális, réz-acél csavarok, a villámhárító levezetésének rögzítésére. Ugyanilyen csavarokat kell a karimák közelében az övrudakra felhegeszteni és a fémes kapcsolat biztosítása érdekében az összeszerelést követően rézszalaggal átkötni. A csavart horganyzás előtt zárt védőanyagával kell ellátni.

A pódiumok járófelülete taposórácsként kerül kialakításra, korláttal, láblemezzel ellátva. A közbelső pódiumok utáni létraszakasz a pódium megközelíthetősége érdekében nyitható kialakítású.

8. Anyagminőség, felületvédelem

A tornyot légi akadályt jelző festéssel kell ellátni.

Az acélszerkezet anyagának minősége: A 38 MSZ 500: 1989.

A csavar minősége:

- csakis tűzhorganyzott csavar használható, galvanikusan horganyzott, ill. esztergált csavar használata tilos;
- a horganyréteg minimális vastagsága 50 μ (ISO 1461 E osztály);
- a csavarok kilazulásának megakadályozására rugós alátét, vagy ragasztó alkalmazható;

Varratminőség az MSZ EN 25817: 1993 szerint:

- sarokvarrat: D.
- tompavarrat: C. gyökhegesztés nélkül.

A varrat ellenőrzése szemrevételezéssel történik, teljes hosszában, az MSZ 6442 1M (1983) 3. táblázat szerint.

A korrózióvédelmet tűzhorganyzás biztosítja, a bevonat vastagsága 150 μ .

A horganyzott tornyok festését a szakhatósági előírások figyelembevételével zsír- és portalanítás után a következő (vagy ezekkel egyenértékű pl. Helios Zentax) rétegekkel kell elvégezni:

- 1 rtg Aqua Primer
- 1 rtg Passivit H₂O Glimmerfarbe
- A festék összes száraz vastagsága 150 μ legyen.

9. Tűzvédelmi műszaki leírás

A bázisállomás egy 70 m magas acélszerkezetű antennatoronyból és három AT-4 antennatartóból áll. Az antennatorony alapozása monolit vasbeton tömbalap. A létesítmény tűzveszélyességi osztálya (D (mérsékelt tűzveszélyes) Tűzállósági fokozat (III./nehezen éghető 0,5 óra)). A megközelíthetőség szilárd burkolatú közúton, (a Guckler Károly úton), és a telekhez tartozó 1 m széles úton biztosított. A konténer a PVC padlóburkolaton és a PVC szigetelésű kábeleken kívül nem tartalmaz éghető anyagokat, vízmentesen zárt, hegesztett acélszerkezet. Oldalfalában és födémében a kettős acéllemez között tűzálló ásványgyapot réteg biztosítja a hőszigetelést. A termikus egyensúlyt 2 db osztott rendszerű klímaberendezés biztosítja, a belső hőmérsékletet 22 °C-on tartva.

A beépített szerkezetek védelméről egy biztonsági és beléptető rendszer gondoskodik, kizárva illetéktelen személy belépését a központi ügyelet tudta és engedélye nélkül. A konténerben tűzjelző berendezés van elhelyezve, amelyhez a konténer méretének megfelelő oltópalack tartozik. Ha mindkét érzékelőről jel érkezik, a jelzőközpont (a tűz terjedésének megakadályozása érdekében) indítja az oltóberendezést, amely NAF SIII oltóanyaggal árasztja el a konténer belső terét. A tűzjelző berendezés állapotára vonatkozó információk a bázisállomás távfelügyeleti rendszerén át jutnak el a központi ügyeletre.

10. Munkavédelem

Az építés során a korábban leírt műszaki utasításokat be kell tartani. A tervdokumentáció készítése során a 31/1981/XII. 28/ÉVM és a 47/1979. MT. sz. rendeletében foglaltak e munkára vonatkozó előírásait betartottuk.

A kivitelezés végrehajtásánál az MSZ 04.800 és az MSZ 04.900 szabványsorozatok a munkamenetre vonatkozó általános előírásait kell betartani. A nem szabályozott részekre az időközben hatálytalanított ÉKSZ előírásai érvényesek.

A munka jellege olyan, hogy feltételezi az alpin technikában jártas kivitelező gárdát, aki a saját tevékenységével kapcsolatos munkavédelmi előírásokat a legmesszebbmenőkig ismeri és azokat maradéktalanul betartja ill. betartatja.

Munkavégzés csak az adott munkanemben jártas felelős vezető jelenlétében történhet. A munkavégzés ideje alatt a munkavédelmi szabályzatban előírt védőfelszerelés alkalmazása kötelező.

A földmunka megkezdése előtt a terület közmómentességéről a helyi üzemeltetővel való egyeztetéssel meg kell győződni.

Veszélyes időjárási viszonyok (30 km/ó-nál nagyobb szélsébség, köd, közeledő zivatar) esetén a toronyra felmászni, ott tartózkodni illetve munkát végezni tilos.

Az üzemeltetés során csak abban az esetben van szükség speciálisan képzett szerelőre ha a szerelés csak a pódiumon kívül, annak elhagyásával hajtható végre. A pódiumról végrehajtható állítások és szerelések esetén erre nincs szükség, azonban ebben az esetben is meg kell követelni a szerelő teljes értékű munkavédelmi felvilágosítását.

STATIKAI SZÁMÍTÁS

11. Kiindulási adatok

A megrendelő előírása szerint a magasság legyen ≈ 70 m (H). A szerelési és üzemeltetési igényeket figyelembe véve a torony felső szélessége az utolsó ≈ 10 m-en legyen 3 m (a_1). Az alsó terpesztés jó közelítéssel vehető fel a magasság 1:7 arányában, tehát legyen $70/7=10$ m (a_k). Az antennák magasságában korláttal ellátott pódiumokat kell kialakítani, ezek $\approx 52,8$; 60,0; 66,6 m magasak legyenek.

AZ ANTENNÁK ADATAI:

- 4 db 2,6m-es 739 636 panel, $H \approx 66,6$ m
- 2 db 1,3m-es 739 636 panel, $H \approx 66,6$ m
- 1 db 2,6m-es 739 636 panel, $H \approx 60,0$ m
- 1 db $\phi 1,20$ mikró, $H \approx 60,0$ m
- 1 db $\phi 0,80$ mikró, $H \approx 60,0$ m
- 1 db 1,3m-es 739 636 panel, $H \approx 52,8$ m
- 2 db $\phi 0,60$ mikró, $H \approx 52,8$ m

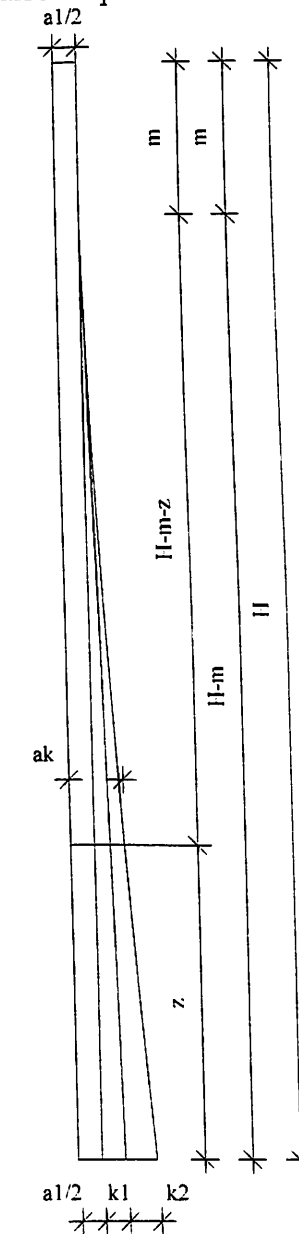
12. Geometria kialakítása és vizsgálata

A torony alakját úgy alakítottam ki, hogy a magasság függvényében változzon a merevség, kövesse a kialakuló igénybevételeket, ezáltal csökkentve az anyagfelhasználás mennyiségét. Ezért a torony geometriája három különböző függvény szerint változik: egy konstans (a_1), amely a torony felső szélessége, egy lineáris (k_1), amely a toronyra szerelt antennák szélteherből keletkezik és egy parabolikus (k_2), amely a torony saját szélterhéből keletkező igénybevételeket követi. Tehát, ha a torony merevsége az utolsó „m” ≈ 10 m-en nem változik akkor a geometria jellemző pontjait „z” magasságban a következő képlet alapján számíthatjuk:

$$a_k = (H - m - z) \cdot \frac{k_1}{H - m} + (H - m - z)^2 \cdot \frac{k_2}{(H - m)^2} + \frac{a_1}{2}$$

A $z = 0,000$ helyen az egyenletnek 10 m-t kell adnia, mivel az alsó terpesztést már meghatároztuk. Így következtethetünk a k_1 , k_2 arányára, amelyre a behelyettesítés után 1,5:2 kapunk. A torony ferde rácsozásának a vízszintessel bezárt szöge előzetes számítások alapján, statikai és esztétikai okokból legyen minden toronyegységben $\alpha = 65,5^\circ$. Ebből egy szögfüggvényel megkapható az 1. toronyegység magassága, majd a fenti képlet ismételt alkalmazásával az ehhez tartozó terpesztés is. Ezen algoritmust addig ismételjük amíg a magasság el nem éri a kívánt ≈ 70 m-es magasságot.

Toronyegység	Magasság, z (m)	Terpesztés, a_k (m)	Toronyegység magassága (m)
1	10,971	8,122	10,971
2	19,883	6,794	8,911
3	27,337	5,819	7,454
4	33,721	5,081	6,384
5	39,296	4,512	5,575
6	44,246	4,064	4,950
7	48,704	3,707	4,458
8	52,771	3,420	4,067
9	56,522	3,187	3,752
10	60,019	3,000	3,497
11	63,311	3,000	3,291
12	66,602	3,000	3,291
13	69,894	3,000	3,291



Ezen táblázat elkészítéséhez a Microsoft Office Exel 2007 programot használtam. Az egyenlet egy jellemző magasságban sem lehet kisebb 3 m-nél, ezért a torony utolsó része változatlan keresztmetszetű, ami megfelel a kezdeti feltételezésnek, miszerint $m = 3 \cdot 3,291$ m $= 9,873$ m ≈ 10 m. A ferde rácsrudak vízszintessel bezárt szöge is megfelelő, hiszen a torony magassága $H = 69,894$ m ≈ 70 m-re jött ki. A geometria alapján a pódiumokat a 8., a 10., és a 12. toronyegység tetején kell elhelyezni.

A mellékrácsozás kialakítása a kihajlási hosszak csökkentése érdekében legyen két szintű az alsó 3 toronyegységben, az utolsó 3-ban pedig elhanyagolható.

13. Szélteher számítás

A szélteher alapértékét a következő összefüggésből kell meghatározni: $p_w = c \cdot w_0$, ahol a „c” az építmény alakjától, a terhelt felület helyzetétől és a széliránytól függő alaki tényező, a „w₀” pedig a torlónyomás. Mérési adatok hiányában, nyitott térségben szabadon álló, 100 m-nél nem magasabb építmény esetében a terepszintől „h” magasságban a torlónyomást a következő képlettel kell számítani:

$$w_0 = 0,7 \cdot (h/10)^{0,32} \text{ (kN/m}^2\text{)}.$$

Adott „h” magasságban a szélteher értéke a következő képpen határozható meg:

$$F_a = \mu \cdot c \cdot A \cdot w_0 \text{ (kN)},$$

ahol az „A” a toronyot alkotó rudak alapfelülete, „μ” pedig a dinamikus hatást figyelembe vevő tényező, melynek értéke:

$$\mu = 1 + 0,1 \cdot 1/f \approx 1,05 < 1,4 \checkmark.$$

A merőlegesen terhelő szelet a rácsrudak megtörik (gátolják az örvények kialakulását), ezért a „c” összevont alaki tényező értékét egy ún. teljességi fok (φ) alapján lehet meghatározni, melynek értéke:

$$\varphi = A/A_k$$

ahol „A_k” a torony egy oldalának befoglaló mérete.

Ebből:

$$\text{ha } \varphi < 0,1 \rightarrow c = 1,9$$

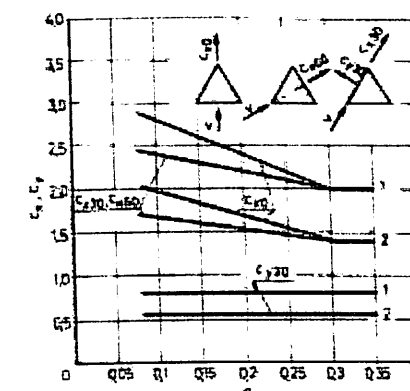
$$\text{ha } 0,3 \leq \varphi \rightarrow c = 1,4$$

$$\text{ha } 0,1 \leq \varphi < 0,3 \text{ „c” értéke lineáris interpolációval határozható meg, ahogy azt a}$$

mellékelt ábrán is láthatjuk (1: idomacél; 2: csőszelvény).

A torony saját szélteher számításának az egyszerűsítése érdekében a szerkezetet övrúdakból és rácsrudakból álló térbeli rácsostartónak tekintjük. Ezt csak akkor tehetjük meg, ha a szerkezetet a továbbiakban csomópontonként terheljük és csak a normálerő kialakulását engedjük meg. Ezt az egyszerűsítést azért alkalmazhatjuk, mert az egyébként megoszló szélterhelésből keletkező hajlító igénybevétel a torony aljától a tetejéig fokozatosan nő, amit a rudak kihasználtsága ellensúlyoz, hiszen az a magasság függvényében csökken.

A számítást toronyszakaszonként végeztem. Meghatároztam a torony szélátamada oldalának a felületét, majd a fent leírt egyenletek segítségével előállítottam a toronyegységek tetején működő terheket. Az így kapott koncentrált erőt szintenként 6 csomópontra osztottam, hogy a szél megoszló hatását is figyelembe vegyem.



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	10,000
Felső szélesség (m)	8,122
A toronyegység magassága (m)	10,971
A teher magassága (m)	10,971
Torlónyomás (kN/m ²)	0,721

A toronyegység magassága (m)	10,971
A teher magassága (m)	10,971
Torlónyomás (kN/m ²)	0,721

Az 1. szakasz egy falának adatai

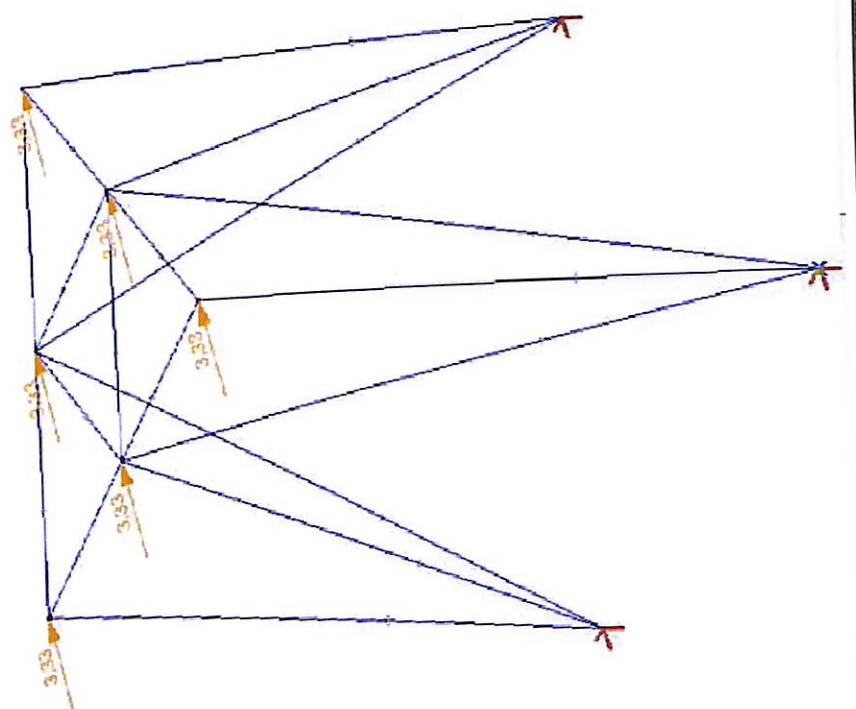
Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
ív	22,049	159,00	3,51
ferde főrács	24,138	108,00	2,61
vízszintes főrács	8,122	83,00	0,67
vízszintes mellékrcs	7,716	48,00	0,37
ferde mellékrcs	15,689	73,00	1,15
ferde főrács összekötők	8,122	83,00	0,67
vízszintes belső merevítő	7,716	48,00	0,37
ferde belső merevítő	18,586	89,00	1,65
hágcsó 50%	10,971	150,00	1,65
kábel 50%	10,971	200,00	2,19
podium	8,122	0,00	0,00
			14,84

Az elemek összes szélfelülete egy falra:

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	99,408
teljességi fok	0,149
összevont alakí tény	1,777
szélteher (kN)	19,965

6 csomópontira osztva	3,327 kN/csp.
-----------------------	---------------

- 13 -



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	8,122
Felső szélesség (m)	6,794
A toronyegység magassága (m)	8,911
A teher magassága (m)	19,882
Torlónyomás (kN/m ²)	0,872

A toronyegység magassága (m)
A teher magassága (m)
Törőnyomás (kN/m^2)

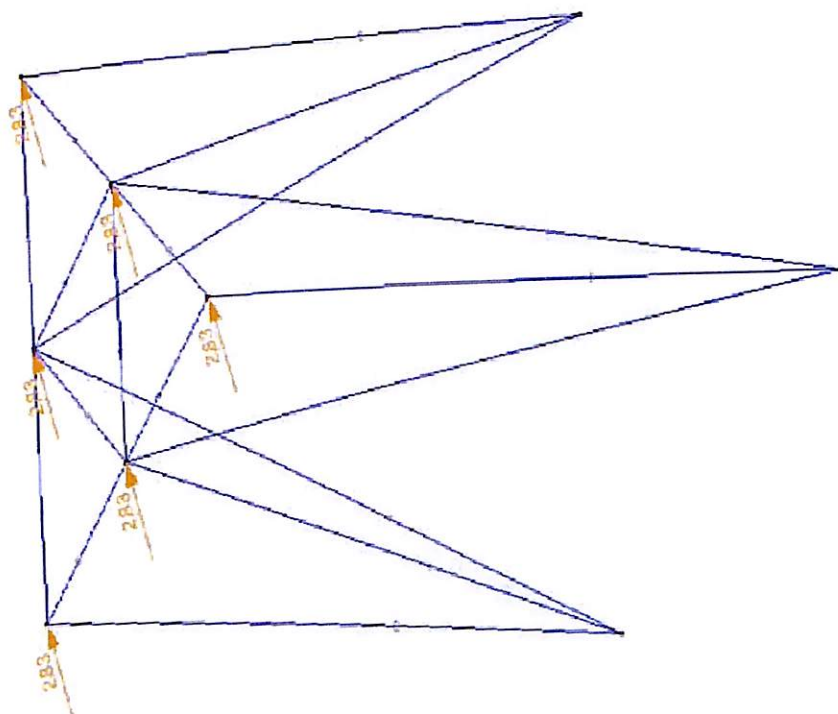
Az 2. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
őv	17,888	133,00	2,38
ferde főrács	19,600	83,00	1,63
vízszintes főrács	6,794	73,00	0,50
vízszintes mellrács	6,454	48,00	0,31
ferde mellrács	12,740	57,00	0,73
ferde főrács összekötők	6,794	73,00	0,50
vízszintes belső merevítő	6,454	48,00	0,31
ferde belső merevítő	15,092	73,00	1,10
hágcsó 50%	8,911	150,00	1,34
kábel 50%	8,911	200,00	1,78
pódium	6,794	0,00	0,00
			10,56

Az elemek összes szélfeülete egy falra:

Egy oldal befoglalt területe (m ²)	66,458
teljességi fok	0,159
összevont alakí tény	1,753
szélteher (kN)	16,956

6 csomópontra osztva	2,826	kN/csp.
----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	6,794
Felső szélesség (m)	5,819
A toronyegység magassága (m)	7,454
A teher magassága (m)	27,336
Torlónyomás (kN/m ²)	0,966

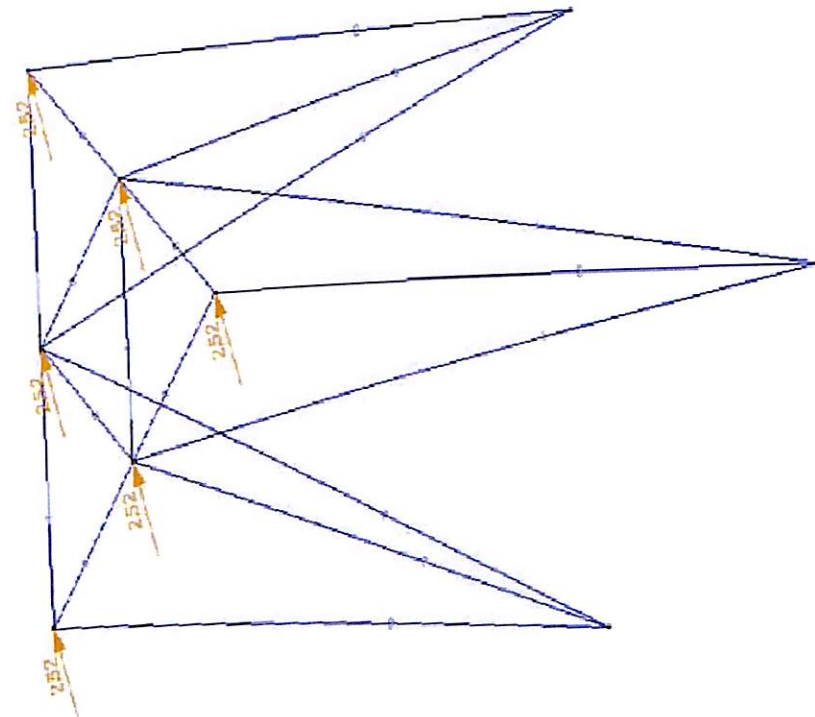
Az 3. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Feltület (m ²)
ív	14,950	133,000	1,99
ferde főrács	16,393	83,000	1,36
vízszintes főrács	5,819	73,000	0,42
vízszintes mellékrcs	5,528	48,000	0,27
ferde mellékrcs	10,655	57,000	0,61
ferde főrács összekötők	5,819	73,000	0,42
vízszintes belső merevítő	5,528	48,000	0,27
ferde belső merevítő	12,622	73,000	0,92
hágcsó 50%	7,454	150,000	1,12
kábel 50%	7,454	200,000	1,49
podium	5,819	0,000	0,00
Az elemek összes szélfelülete egy falra:			8,87

Az elemek összes szélfelülete egy falra:

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	47,009
teljességi fok	0,189
összevont alaki tény	1,678
szélteher (kN)	15,091

6 csomópontra osztva	2,515	kN/csp.
----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

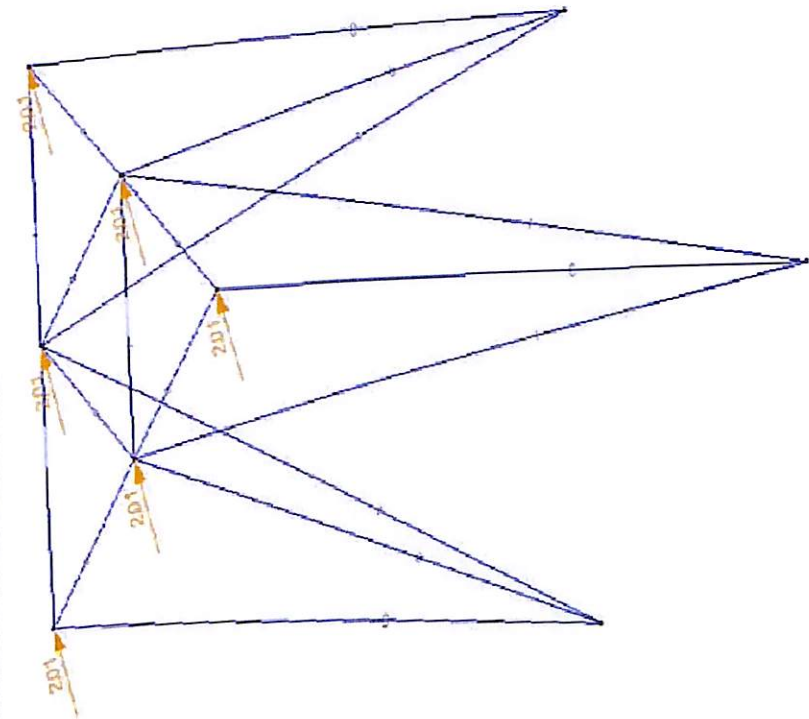
Alsó szélesség (m)	5,819
Felső szélesség (m)	5,081
A toronyegység magassága (m)	6,384
A teher magassága (m)	33,720
Toronyomlás (kN/m ²)	1,033

Az 4. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
ív	12,796	133,000	1,70
ferde főrács	14,038	83,000	1,17
vízszintes főrács	5,081	57,000	0,29
vízszintes mellékrács	2,541	48,000	0,12
ferde mellékrács	7,019	48,000	0,34
ferde főrács összekötők	5,081	57,000	0,29
vízszintes belső merevítő	2,541	48,000	0,12
ferde belső merevítő	7,019	57,000	0,40
húcsó 50%	6,384	150,000	0,96
kábel 50%	6,384	200,000	1,28
pódium	5,081	0,000	0,00
Az elemek összes szélfelülete egy falra:			6,66

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	34,793
teljességi fok	0,191
összevont alakí tény	1,671
szélteher (kN)	12,074

6 csomópontira osztva	2,012	kN/csp.
-----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

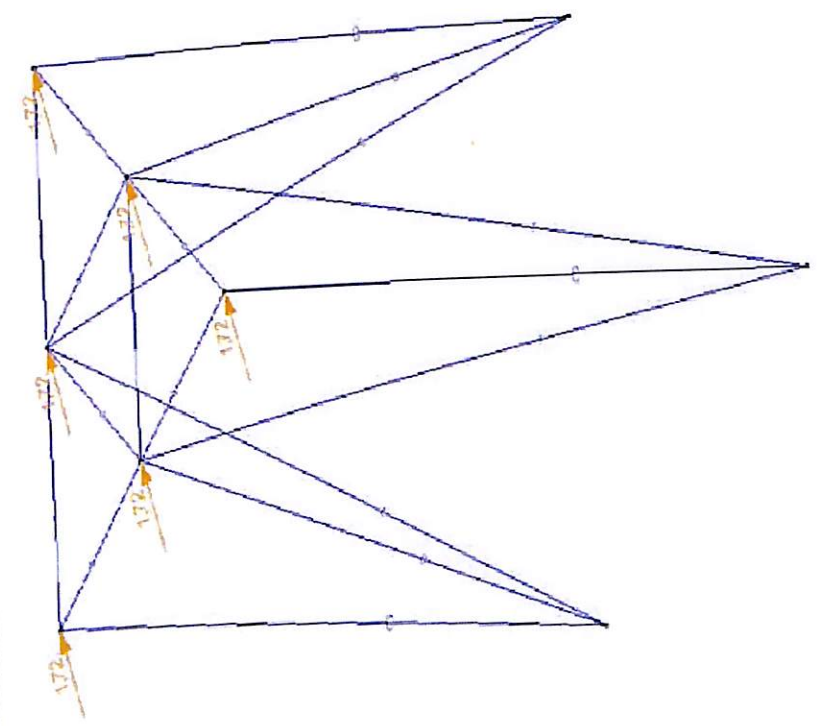
Alsó szélesség (m)	5,081
Felső szélesség (m)	4,512
A toronyegység magassága (m)	5,575
A teher magassága (m)	39,295
Torlónyomás (kN/m ²)	1,085

Az 5. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
ív	11,169	133,000	1,49
ferde főrács	12,258	73,000	0,89
vízszintes főrács	4,512	48,000	0,22
vízszintes mellérács	2,256	48,000	0,11
ferde mellérács	6,129	48,000	0,29
ferde főrács összekötők	4,512	48,000	0,22
vízszintes belső merevítő	2,256	48,000	0,11
ferde belső merevítő	6,129	48,000	0,29
húgcsó 50%	5,575	150,000	0,84
kábel 50%	5,575	200,000	1,12
pódium	4,512	0,000	0,00
Az elemek összes szélfelülete egy falra:			5,57

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	26,740
teljességi fok	0,208
összevont alakí tény	1,629
szélteher (kN)	10,335

6 csomópontra osztva	1,722	kN/csp.
----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	4,512
Felső szélesség (m)	4,064
A toronyegység magassága (m)	4,950
A teher magassága (m)	44,245
Torlónyomás (kN/m ²)	1,127

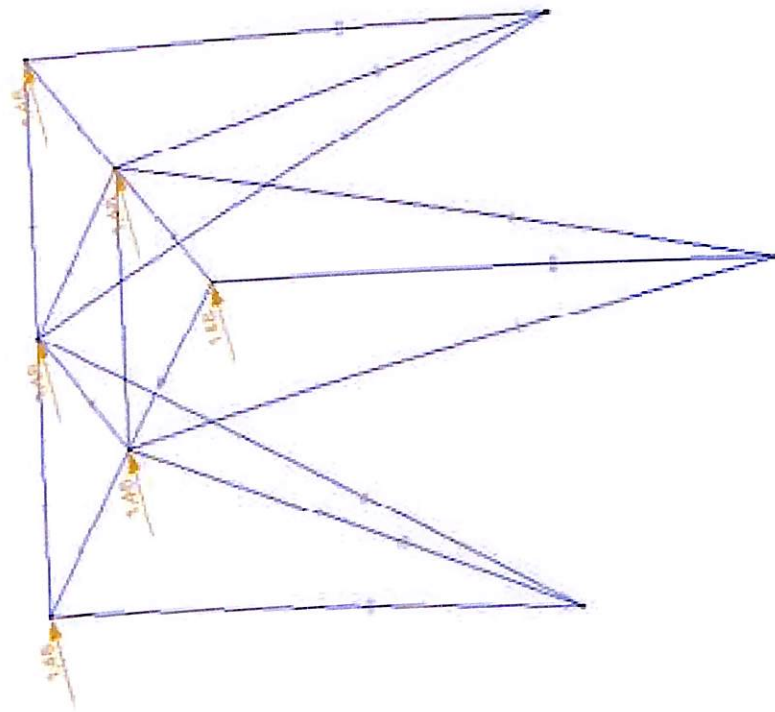
Az 6. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
ív	9,914	108,000	1,07
ferde főrács	10,883	73,000	0,79
vízszintes főrács	4,064	48,000	0,20
vízszintes mellrács	2,032	48,000	0,10
ferde mellrács	5,441	48,000	0,26
ferde főrács összekötők	4,064	48,000	0,20
vízszintes belső merevítő	2,032	48,000	0,10
ferde belső merevítő	5,441	48,000	0,26
húcszó 50%	4,950	150,000	0,74
kábel 50%	4,950	200,000	0,99
podium	4,064	0,000	0,00
Az elemek összes szélfelülete egy falra:			4,71

Az elemek összes szélfelülete egy falra:

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	21,226
teljességi fok	0,222
összevont alakú tény	1,596
szélteher (kN)	8,882

6 csomópontira osztva	1,480	kN/csp.
-----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

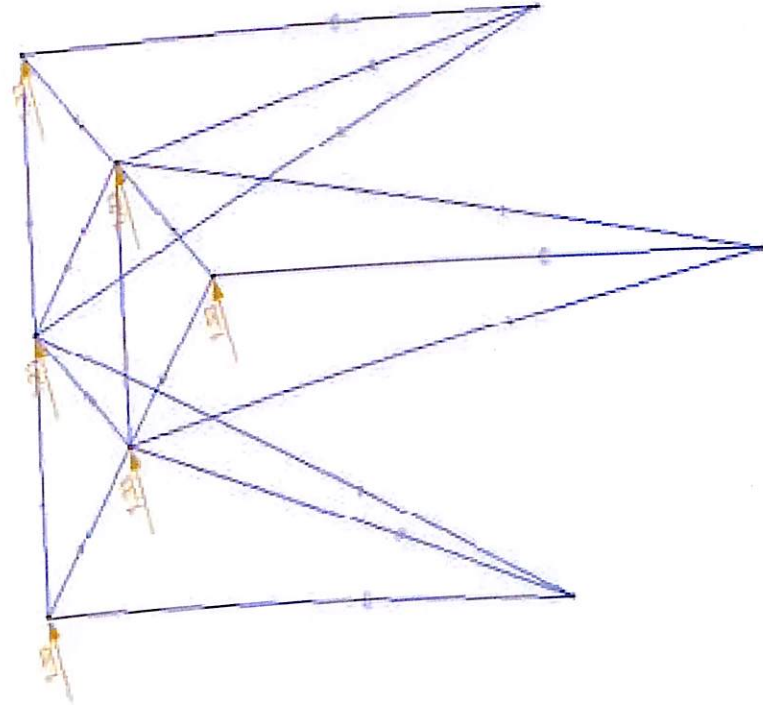
Alsó szélesség (m)	4,064
Felső szélesség (m)	3,707
A toronyegység magassága (m)	4,458
A teher magassága (m)	48,703
Toronyomás (kN/m ²)	1,162

Az 7. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
öv	8,926	108,000	0,96
ferde főrács	9,801	73,000	0,72
vízszintes főrács	3,707	48,000	0,18
vízszintes mellékrács	1,854	48,000	0,09
ferde mellékrács	4,900	48,000	0,24
ferde főrács összekötők	3,707	48,000	0,18
vízszintes belső merevítő	1,854	48,000	0,09
ferde belső merevítő	4,900	48,000	0,24
hágcsó 50%	4,458	150,000	0,67
kábel 50%	4,458	200,000	0,89
podium	3,707	0,000	0,00
Az elemek összes szélfellete egy falra:			4,24

Egy oldal befoglaltó területe (m ²)	17,322
teljességi fok	0,245
összevont alaki tény	1,537
szélteher (kN)	7,959

6 csomópontonra osztva	1,327	kN/csp.
------------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	3,707
Felső szélesség (m)	3,420
A toronyegység magassága (m)	4,067
A teher magassága (m)	52,770
Torlónyomás (kN/m ²)	1,192

Az 8. szakasz egy falának adatai

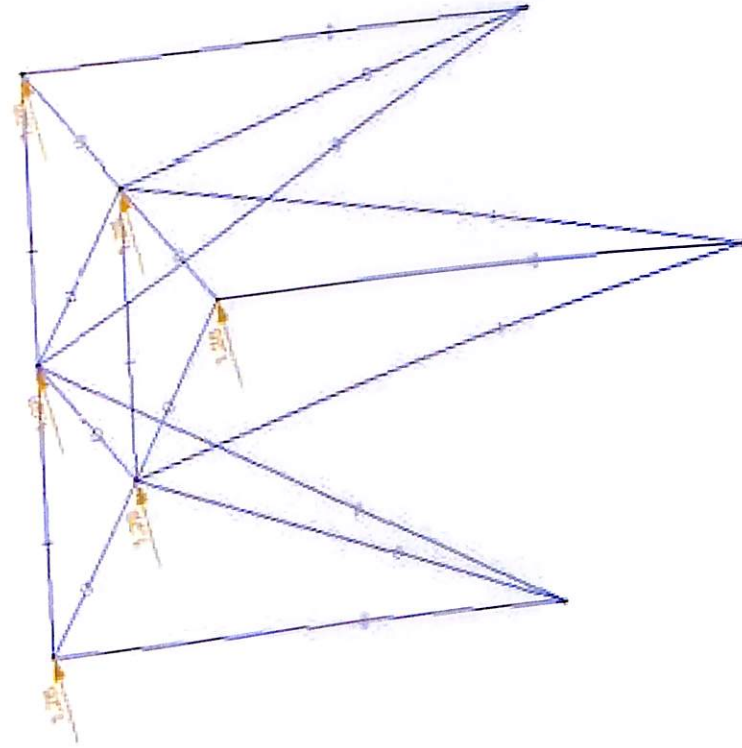
Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
ív	8,141	89,000	0,72
Ferde főrács	8,940	73,000	0,65
vízszintes főrács	3,420	76,000	0,26
vízszintes mellrács	1,710	48,000	0,08
ferde mellrács	4,470	48,000	0,21
ferde főrács összekötők	3,420	76,000	0,26
vízszintes belső merevítő	1,710	48,000	0,08
ferde belső merevítő	4,470	48,000	0,21
húgcső 50%	4,067	150,000	0,61
kábel 50%	4,067	200,000	0,81
pódium			
korlát	10,260	25,000	0,26
oszlop	5,000	45,000	0,23

Az elemek összes szélfelülete egy falra:

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	14,493
feljességi fok	0,303
összevont alaki tényező	1,400
szélteher (kN)	7,701

6 csomópontonra osztva	1,284	kN/csp.
------------------------	-------	---------

4,40



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

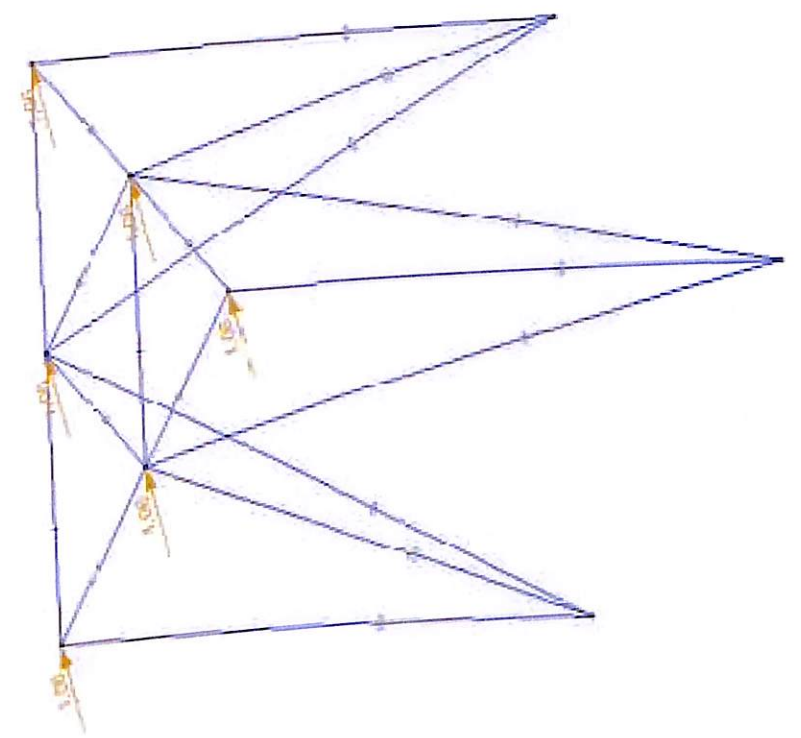
Alsó szélesség (m)	3,420
Felső szélesség (m)	3,187
A toronyegység magassága (m)	3,752
A teher magassága (m)	56,522
Toronyomlás (kN/m ²)	1,218

Az 9. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
öv	7,509	83,000	0,62
ferde főrács	8,248	73,000	0,60
vízszintes főrács	3,187	48,000	0,15
vízszintes mellékrács	1,594	48,000	0,08
ferde mellékrács	4,124	48,000	0,20
ferde főrács összekötők	3,187	48,000	0,15
vízszintes belső merevítő	1,594	48,000	0,08
ferde belső merevítő	4,124	48,000	0,20
hágcsó 50%	3,752	150,000	0,56
kábel 50%	3,752	200,000	0,75
pódium	3,187	0,000	0,00
Az elemek összes szélfelülete egy falra:			3,39

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	12,395
teljességi fok	0,274
összevont alaki tény	1,466
szélteher (kN)	6,363

6 csomópontra osztva	1,060	kN/csp.
----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	3,187
Felső szélesség (m)	3,000
A toronyegység magassága (m)	3,497
A teher magassága (m)	60,019
Torlónyomás (kN/m ²)	1,242

Az 10. szakasz egy falának adatai

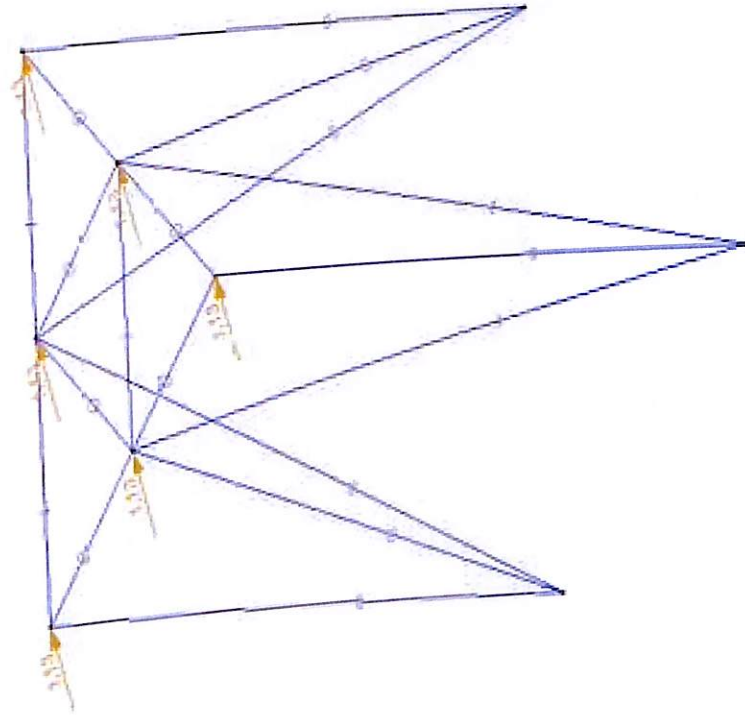
Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
öv	6,997	73,000	0,51
ferde főrács	7,687	73,000	0,56
vízszintes főrács	3,000	76,000	0,23
vízszintes mellrács	1,500	48,000	0,07
ferde mellrács	3,843	48,000	0,18
ferde főrács összekötők	3,000	76,000	0,23
vízszintes belső merevítő	1,500	48,000	0,07
ferde belső merevítő	3,843	48,000	0,18
húgcsó 50%	3,497	150,000	0,52
kábel 50%	3,497	200,000	0,70
pódium			
koriát	9,000	25,000	0,23
oszlop	5,000	45,000	0,23

Az elemek összes szélfelülete egy falra:

3,71

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	10,818
teljességi fok	0,343
összevont alaki tény	1,400
szélteher (kN)	6,783

6 csomópontra osztva	1,130	kN/csp.
----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

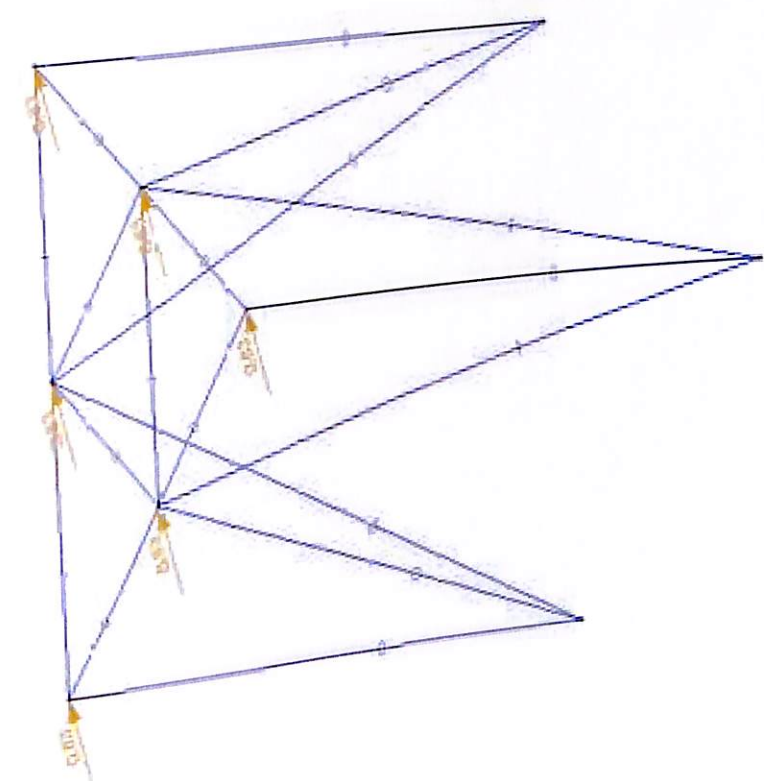
Alsó szélesség (m)	3,000
Felső szélesség (m)	3,000
A toronyegység magassága (m)	3,291
A teher magassága (m)	63,310
Torlónyomás (kN/m ²)	1,263

Az 11. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Feltület (m ²)
ív	6,582	73,000	0,48
ferde főrács	7,233	73,000	0,53
vízszintes főrács	3,000	48,000	0,14
vízszintes mellrács	1,500	0,000	0,00
ferde mellrács	3,617	0,000	0,00
ferde főrács összekötők	3,000	48,000	0,14
vízszintes belső merevítő	1,500	0,000	0,00
ferde belső merevítő	3,617	0,000	0,00
húgcső 50%	3,291	150,000	0,49
kábel 50%	3,291	200,000	0,66
podium	3,000	0,000	0,00
Az elemek összes szélfelülete egy falra:			2,45

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	9,873
teljességi fok	0,248
összevont alakí tény	1,530
szélteher (kN)	4,970

6 csomópontra osztva	0,828	kN/csp.
----------------------	-------	---------



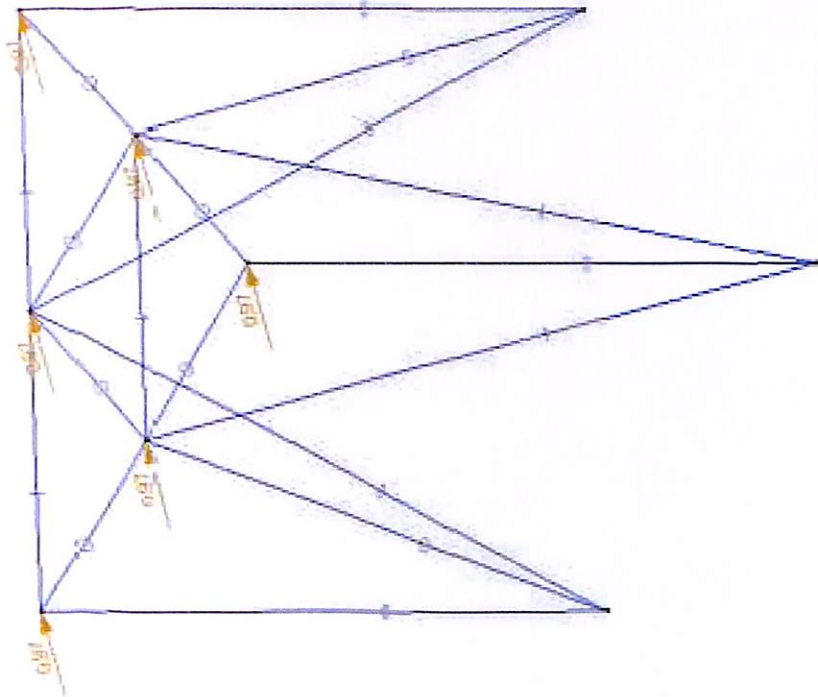
Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	3,000
Felső szélesség (m)	3,000
A toronyegység magassága (m)	3,291
A teher magassága (m)	66,601
Torlónyomás (kN/m ²)	1,284

Az 12. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
öv	6,582	73,000	0,48
ferde főrács	7,233	73,000	0,53
vízszintes főrács	3,000	76,000	0,23
vízszintes mellérács	1,500	0,000	0,00
ferde mellérács	3,617	0,000	0,00
ferde főrács összekötők	3,000	76,000	0,23
vízszintes belső merevítő	1,500	0,000	0,00
ferde belső merevítő	3,617	0,000	0,00
hágcsó 50%	3,291	150,000	0,49
kábel 50%	3,291	200,000	0,66
pódium			
korlát	9,000	25,000	0,23
oszlop	5,000	45,000	0,23



Az elemek összes szélfelülete egy falra:

3,07

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	9,873
teljességi fok	0,311
összevont alaki tény	1,400
szélteher (kN)	5,788

6 csomópontra osztva	0,965	kN/csp.
----------------------	-------	---------

Háromszög alaprajzú torony saját szélterhének számítása toronyszakaszonként

Alapadatok

Alsó szélesség (m)	3,000
Felső szélesség (m)	3,000
A toronyvég magassága (m)	3,291
A teher magassága (m)	69,892
Torlónyomás (kN/m ²)	1,304

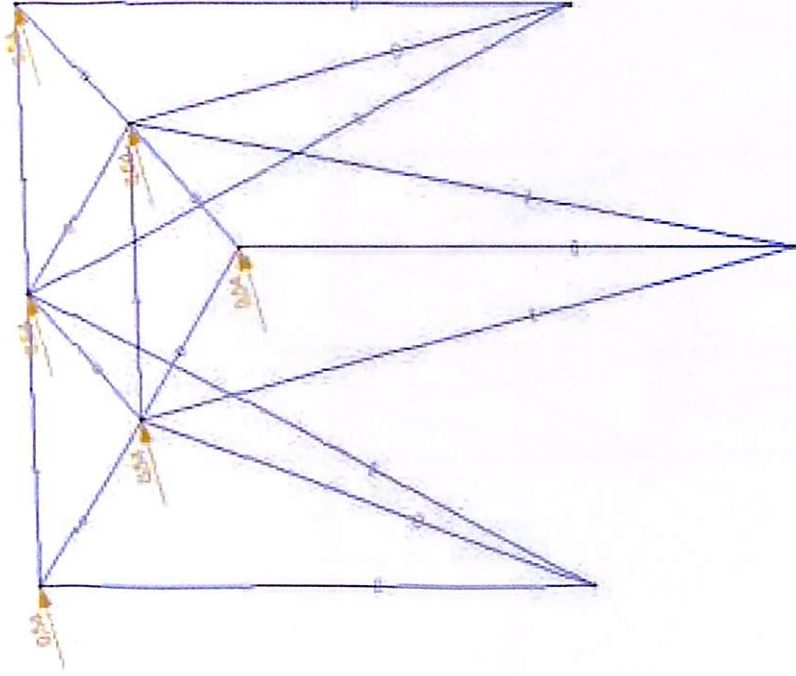
Az 13. szakasz egy falának adatai

Elem	Össz. hossz (m)	Átmérő (mm)	Feület (m ²)
öv	6,582	73,000	0,48
ferde főrács	7,233	73,000	0,53
vízszintes főrács	3,000	48,000	0,14
vízszintes mellékraács	1,500	0,000	0,00
ferde mellékraács	3,617	0,000	0,00
ferde főrács összekötők	3,000	48,000	0,14
vízszintes belső merevítő	1,500	0,000	0,00
ferde belső merevítő	3,617	0,000	0,00
húgcső 50%	3,291	0,000	0,00
kábel 50%	3,291	0,000	0,00
pódium	3,000	0,000	0,00

Az elemek összes szélfülete egy falra:

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	9,873
teljességi fok	0,131
összevont alaki tény	1,822
szélteher (kN)	3,234

6 csomópontra osztva	0,539	kN/csp.
----------------------	-------	---------



Háromszög alaprajzú torony szélerhének számítása

Alapadatok

A teher magassága (m)	66,601
Torlónyomás (kN/m ²)	1,284

Az AT-4 antennatartó egy oldalának adatai

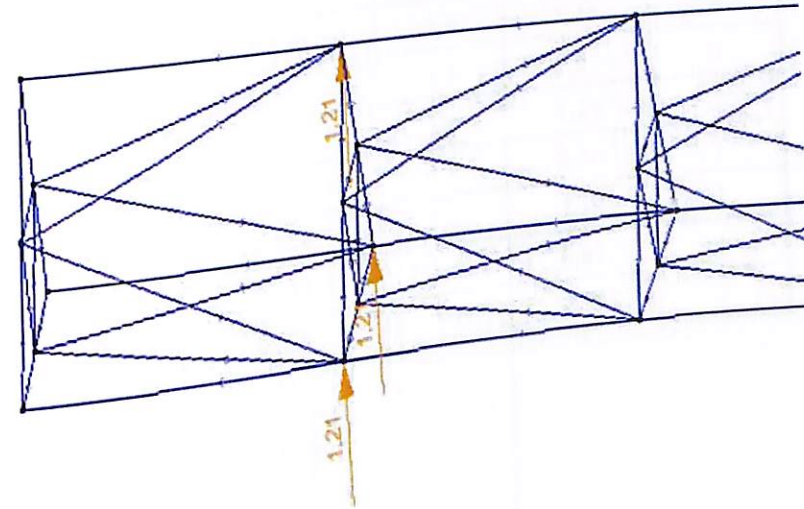
Elem	Össz hossz (m)	Átmérő (mm)	Felület (m ²)
vízszintes felső	3,285	76,000	0,25
vízszintes alsó	3,285	48,000	0,16
függőleges 48	3,000	48,000	0,14
függőleges 76	5,600	76,000	0,43
ferde 48	3,682	48,000	0,18
ferde 57	2,206	57,000	0,13

Az elemek összes szélfelülete egy falra:

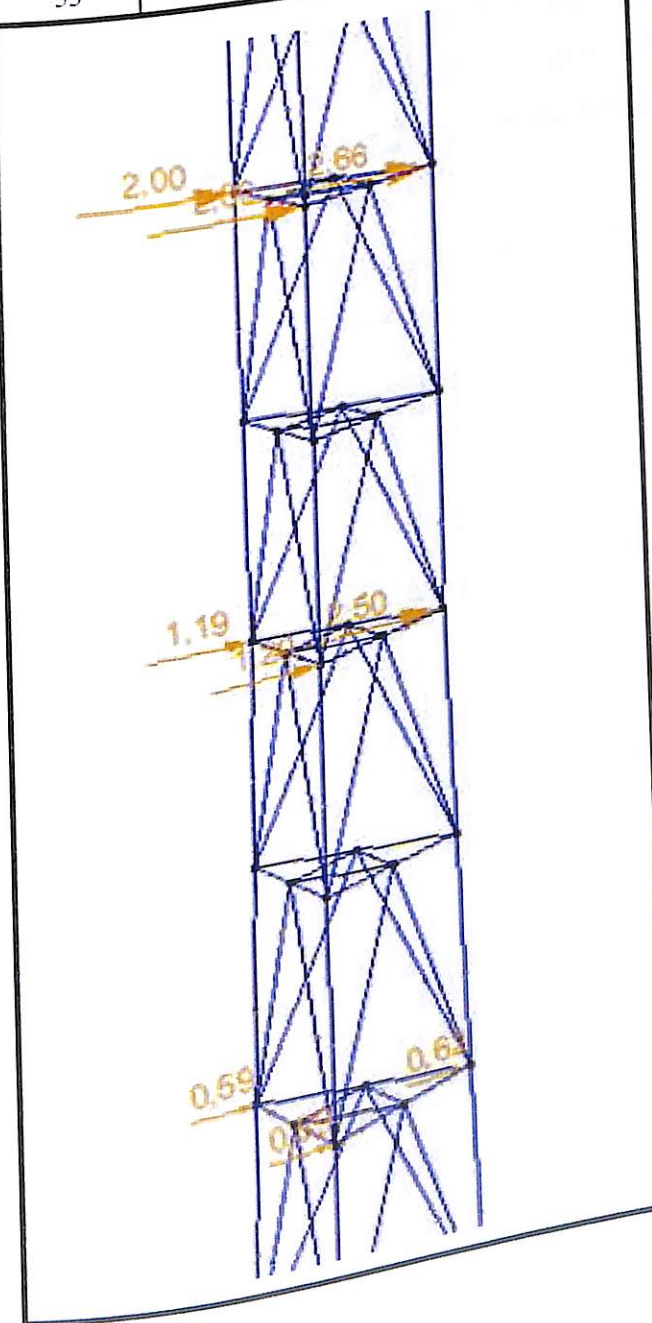
1,28

Egy oldal befoglaló területe (m ²)	4,214
teljességi fok	0,304
összevont alakí tény	1,400
szélteher egy tartóra (kN)	2,415
szélteher három tartóra (kN)	3,623

3 csomóponttra osztva	1,208	kN/csp.
-----------------------	-------	---------



Antennák, antenntartók						
megnevezés	magasság [m]	terheltség "w" [kN/m ²]	szélfelület an- tennák [m ²]	alakí ténye- ző "c"; antenna	csoporton- ti erő [kN]	n [db]
4 db 2,6 739636 panel	66	1,28	0,676	1,4	1,33	4
2 db 1,3 739633 panel	66	1,28	0,338	1,4	0,67	2
1 db 2,6 739636 panel	60	1,24	0,676	1,4	1,29	1
1 db φ1,20	60	1,24	1,307	1,4	2,50	1
1 db φ0,80	60	1,24	0,622	1,4	1,19	1
1 db 1,3 739633 panel	53	1,19	0,338	1,4	0,62	1
2 db φ0,60	53	1,19	0,374	1,2	0,59	2



14. Tervezés/Ellenőrzés

Az igénybevételek számítását az AxisVM 9 diplomázó változatával készítettem. Az ehhez tartozó statikai vázat az AutoCAD 2004 program segítségével szerkesztettem, majd importáltam az Axis-ba. A modell csak a teherviselő szerkezetet tartalmazza.

A különböző szerkezetrészek igénybevételeinek meghatározása érdekében 5 különböző teherkombinációt vettem fel:

	Név	Önsúly	Szél Antenna	Szél Y	Szél AT-4
1	Szélső	1,60	1,20	1,20	1,20
2	Alap	1,35	0,50	0,50	0,50
3	Önsúly	1,35	0	0	0
4	Csavar	1,35	1,20	1,20	1,20
5	Felborulás	0	1,20	1,20	1,20

Mivel a statikai model nem tartalmazza a mellékrácsok, belső merevítők, antennák, antennatartók, kötőelemek, csomólemezek, kábelek és a hágsó súlyát, ezért a torony alap önsúlyát 1,35-szeresére vettem fel. Ebből a szélsőérték teherkombináció önsúlya: $1,35 \cdot 1,2 = 1,62 \approx 1,6$.

A szilárdságtani tervezésre vonatkozó szélsőbesség az 50 évenként egy alkalommal 3 másodperc időtartamig fennálló maximális szélsőbesség. A szerkezet merevsége feleljen meg az 1 évente egyszer fellépő maximális szélsőbességre.

n (év)	1	5	10	20	50	100	500
v_n/v_{50}	0,67	0,82	0,88	0,93	1,00	1,06	1,17

Az alapértékhez számítható torlónyomás értéke az előbbi táblázat alapján:

$$w_0 = (0,69 \cdot v)^2 / 1600 = 0,69^2 \cdot v^2 / 1600 = 0,48 w_0 \approx 0,5 w_0 \text{ (kN/m}^2\text{)}.$$

ugyanis az 50 éves gyakoriságú szélteherhez képest az 1 éves gyakoriságú teher kb. a fele.

A teherkombinációk funkciója:

- 1. teherkombináció: szilárdsági méretezés
- 2. teherkombináció: merevség ellenőrzése
- 3. teherkombináció: önsúly számítása
- 4. teherkombináció: övrudak toldása
- 5. teherkombináció: alapozás ellenőrzése

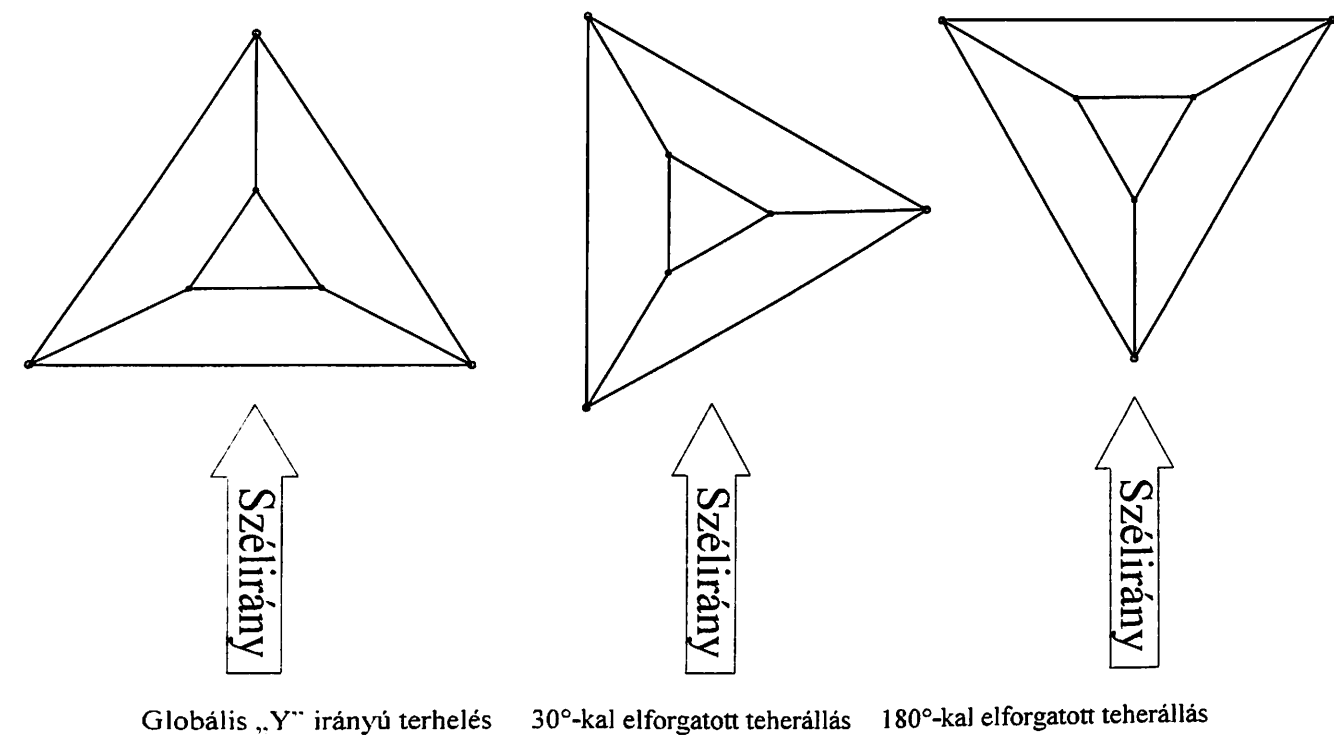
Az övrudak szilársági tervezéséhez, a már fent említett globális „Y” irányú terhelés a mértékadó. mivel ebben az esetben az erők úgy alakulnak ki, hogy a három övrúdból kettő húzott és csak egy nyomott. A rudakat a legnagyobb nyomásra kell méretezni.

A vízszintes rácsrudak és a ferde rácsrudak méretezéséhez egy 30° -kal elforgatott teherállás szükséges. Így a szélterhelés iránya pontosan párhuzamos lesz a torony egyik oldalfalával és az ebben elhelyezkedő nyomott rudak mértékadó helyzetbe kerülnek.

A merevség követelményeinek ellenőrzéséhez is ezt a teherállást kell alkalmazni, hiszen a torony merevségét a rácsozás típusa és sűrűsége befolyásolja.

Külön teherállás kell az alapozás méretezéséhez és az övrudak toldásához is. Az övrudak toldását a legnagyobb húzásra kell méretezni, ehhez egy 180° -kal elforgatott teherállás ad mértékadó igénybevételeket, mivel az övrudakból így kettő nyomott és csak egy húzott.

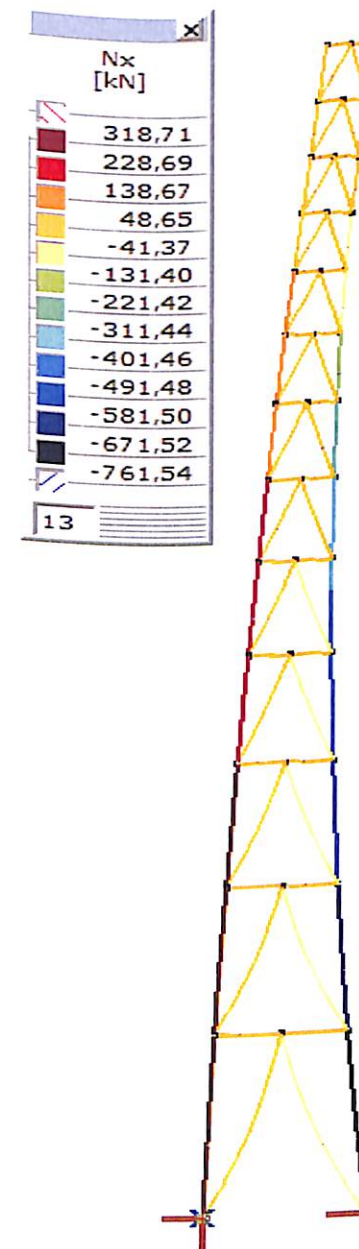
Az alapozás feldőlés elleni biztonságát a legnagyobb felborító erőre kell kiszámítani. A részleteket később, az alapozás tervezésénél tárgyaljuk.



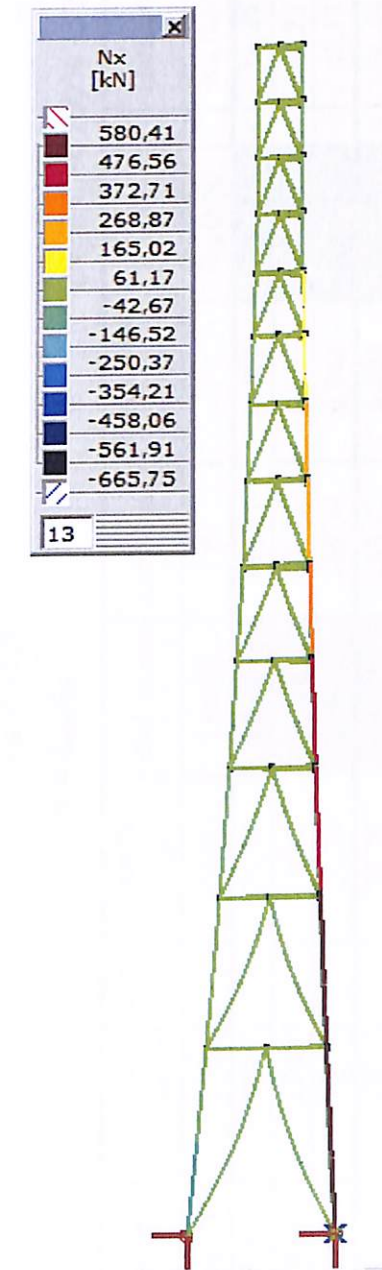
Bár a terhelés szöge esetenként változó, a torony szabályos háromszög alaprajza miatt az összevont alaki tényező (c) értéke mind a három teherállás esetén megegyező. így ezt nem kell újraszámítani.

14.1 Szilárdsági méretezés

A rudak szilárdsági méretezését az 1. teherkombinációra végeztem el.



Övrudak mértékadó igénybevételei



Rácsrudak mértékadó igénybevételei

A mellékrácsok és a belső merevítők teherviselő szerepe csekély, ezért ezen rudak szelvényinek a felvétele a karcsúság (λ) alapján történt. A szabvány megengedi, hogy az önsúlyon kívül csak szélterheléssel terhelt rudak karcsúsága $\lambda \leq 200$ legyen.

Szelvény	89 x 5,0	83 x 3,2	76 x 2,9	73 x 3,2	57 x 2,9	48 x 2,6
Max. Hossz (m)	5,0	5,60	5,20	5,00	3,80	3,20

RÚD ELLENŐRZŐ TÁBLÁZATOK

A rudak teherbírást a következő képlet alapján számítjuk: $N_H = \varphi \cdot A \cdot \sigma_H > N_{Hf} \text{ (kN)}$

A: a csőszelvény keresztmetszeti területe (mm²)

σ_H : a határfeszültség értéke (kN/mm²)

φ : karcsúsági tényező

A karcsúsági tényező (φ) számítása:

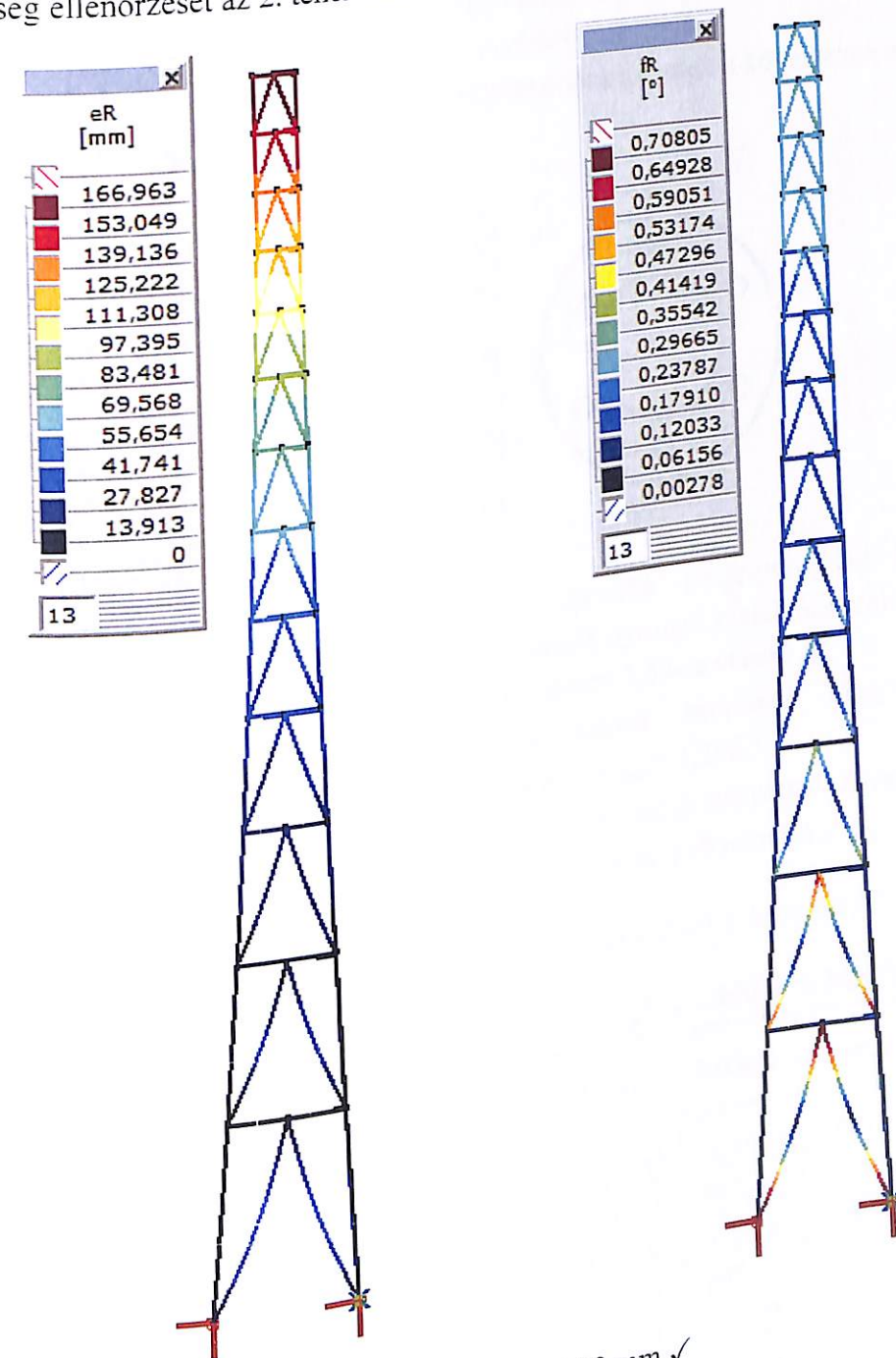
$$\varphi := \beta - \sqrt{\beta^2 - \frac{1}{\lambda^2}}$$
$$\beta := \frac{1 + 0.21 \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_E} - 0.2 \right) + \left(\frac{\lambda}{\lambda_E} \right)^2}{2 \cdot \left(\frac{\lambda}{\lambda_E} \right)^2}$$
$$\lambda = i_{\min} / l_0$$

A38 → $\lambda_E = 93,01$

Törny- egység	Rúd	Szelvény	Inercia I (mm ⁴)	Kereszmetzeti terület A (mm ²)	Inercia- sugár i (mm)	Rúd- hossz l (mm)	Karcsúság λ	Karcsúsági tenyező φ	Rúderő N _R (kN)	Határerő N _H (kN)	Kihasz- náltság N _H /N _R
10.	Övrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	1852	74,97	0,792	75,11	< 111,18	67,55%
	V. Rácsrúd	76 x 2,9	445546	665,99	25,87	1500	57,99	0,881	11,60	< 117,33	9,89%
	F. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	2034	82,34	0,744	33,62	< 104,36	32,22%
9.	Övrúd	83 x 3,2	639612	802,24	28,24	2005	71,01	0,816	127,21	< 130,91	97,17%
	V. Rácsrúd	48 x 2,6	95857	370,83	16,08	1594	99,14	0,620	13,79	< 45,95	30,01%
	F. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	2202	89,14	0,695	37,04	< 97,47	38,00%
8.	Övrúd	89 x 5,0	1167895	1319,47	29,75	2193	73,71	0,800	185,05	< 211,10	87,66%
	V. Rácsrúd	76 x 2,9	445546	665,99	25,87	1710	66,11	0,843	15,87	< 112,23	14,14%
	F. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	2408	97,47	0,632	42,81	< 88,70	48,26%
7.	Övrúd	108 x 8,0	3161699	2513,27	35,47	2427	68,43	0,830	252,95	< 417,37	60,61%
	V. Rácsrúd	48 x 2,6	95857	370,83	16,08	1854	115,32	0,505	16,90	< 37,48	45,25%
	F. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	2665	107,88	0,556	45,48	< 78,01	58,30%
6.	Övrúd	108 x 8,0	3161699	2513,27	35,47	2725	76,83	0,780	325,30	< 392,32	82,92%
	V. Rácsrúd	48 x 2,6	95857	370,83	16,08	2052	126,39	0,439	17,86	< 32,53	54,90%
	F. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	2991	121,07	0,469	48,04	< 65,87	72,93%
5.	Övrúd	133 x 12,5	8681194	4732,02	42,83	3105	72,49	0,807	403,64	< 763,99	52,83%
	V. Rácsrúd	48 x 2,6	95857	370,83	16,08	2256	140,32	0,369	18,42	< 27,35	67,34%
	F. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	3408	137,95	0,380	50,07	< 53,27	93,98%
4.	Övrúd	153 x 12,5	8681194	4732,02	42,83	3605	84,17	0,731	485,94	< 691,53	70,27%
	V. Rácsrúd	57 x 2,9	180841	492,88	19,15	2541	132,66	0,405	18,93	< 39,95	47,38%
	F. Rácsrúd	83 x 3,2	639612	802,24	28,24	3955	140,07	0,370	52,20	< 59,36	87,94%
3.	Övrúd	153 x 12,5	8681194	4732,02	42,83	3261	74,73	0,794	572,64	< 751,15	76,23%
	V. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	2910	117,79	0,490	19,33	< 68,70	28,14%
	F. Rácsrúd	83 x 3,2	639612	802,24	28,24	3510	124,31	0,450	54,78	< 72,26	75,81%
2.	Övrúd	153 x 12,5	8681194	4732,02	42,83	3741	87,34	0,708	664,77	< 669,83	99,24%
	V. Rácsrúd	73 x 3,2	428241	701,71	24,70	3397	137,51	0,382	19,23	< 53,57	35,90%
	F. Rácsrúd	83 x 3,2	639612	802,24	28,24	4099	145,17	0,348	55,58	< 55,82	99,57%
1.	Övrúd	159 x 12,5	15546516	5753,04	51,98	4477	86,12	0,717	761,54	< 824,57	92,36%
	V. Rácsrúd	83 x 3,2	639612	802,24	28,24	4061	143,82	0,354	18,82	< 56,73	33,18%
	F. Rácsrúd	108 x 8	3161699	2513,27	35,47	4901	138,18	0,379	58,15	< 190,29	30,56%

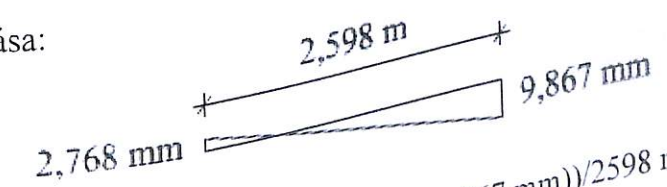
14.2 Merevség ellenőrzése

A merevség ellenőrzését az 2. teherkombináció használatával végeztem.



Maximális elhajlás: $e_r = 166.96 \text{ mm} < 1/400 = 174.73 \text{ mm} \checkmark$

Az antennák elfordulására meghatározott követelmény: $\varphi_{\max} = 0.3^\circ$. A torony véglapjának elfordulása:

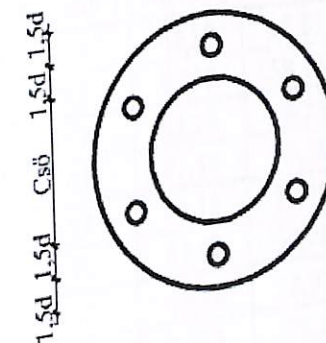
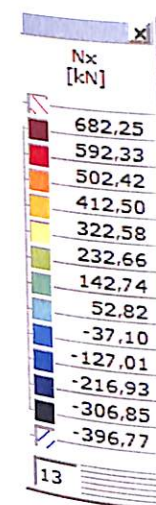


$$\varphi = \arctg \cdot (e_{z1} - e_{z2})/m = \arctg \cdot (2.768 \text{ mm} - (-9.867 \text{ mm}))/2598 \text{ mm} = 0.278^\circ < 0.3^\circ \checkmark$$

14.3 Kapcsolatok tervezése

Az övrudak toldásának méretezéséhez a 4. teherkombinációt használtam, ahol az önsúlyt alapértékkel vettem számításba, mivel a szerkezet önsúlya a húzóerőket csökkenti.

A toldások kontaktlemezeinek méreteit a következők alapján kell meghatározni:



- Szélesség: a legkisebb tengelytávolság a lemez szélétől a minimális nyíróerő kialakulása miatt, az erő irányára merőlegesen $1,5d$ -re vehető fel.
- Vastagság: a csavar minősége függvényében. Esetünkben: $8,8 \rightarrow v_{min} = 1,25d$.
- Ne alkalmazzunk 6 darab csavarnál kevesebbet és M16-os csavarnál vékonyabb átmérőt.

A következő táblázat elkészítéséhez a Microsoft Office Excel 2007 programot használtam.

$(N_M/N_H < 100\% \rightarrow \text{Megfelelt!})$

Torony-egység	Csavar	Darabszám	Feszültség-keresztmetszet	Határerő	Rúderő	Kihasználtság
		n (db)	$A_s (mm^2)$	$N_H (kN)$	$N_M (kN)$	N_M/N_H
1.	M22 8.8 po.	6	303	818,10	668,41	81,70%
2.	M22 8.8 po.	6	303	818,10	676,18	82,65%
3.	M20 8.8 po.	6	245	661,50	598,61	90,49%
4.	M20 8.8 po.	6	245	661,50	520,93	78,75%
5.	M20 8.8 po.	6	245	661,50	446,21	67,45%
6.	M20 8.8 po.	6	157	423,90	373,73	88,16%
7.	M16 8.8 po.	6	157	423,90	302,65	71,40%
8.	M16 8.8 po.	6	157	423,90	235,43	55,54%
9.	M16 8.8 po.	6	157	423,90	171,91	40,55%
10.	M16 8.8 po.	6	157	423,90	117,05	27,61%
11.	M16 8.8 po.	6	157	423,90	67,63	15,95%
12.	M16 8.8 po.	6	157	423,90	31,86	7,52%
13.	M16 8.8 po.	6	157	423,90	3,73	0,88%

A rácsrudak, mellékrácsok és belső merevítők egy darab egyszer nyírt csavaros kötéssel kapcsolódnak a csomólemezekhez. E csavarok átmérője ne legyen kisebb M16-os csavarnál.

$$(N_M/N_H < 100\% \rightarrow \text{Megfelelt!})$$

Torony- egység	Rúd	Csavar	Darbszám	Feszültség- keresztmet- szet	Határerő	Rúderő	Kihasználtság
			n (db)	A _s (mm ²)	N _H (kN)	N _M (kN)	N _M /N _H
			1	157	43,18	18,82	43,59%
1.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	245	67,38	58,15	86,31%
	F. Rácsrúd	M20 8.8 po.	1	157	43,18	19,23	44,54%
2.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	245	67,38	55,58	82,49%
	F. Rácsrúd	M20 8.8 po.	1	157	43,18	19,33	44,77%
3.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	245	67,38	54,78	81,31%
	F. Rácsrúd	M20 8.8 po.	1	157	43,18	18,93	43,84%
4.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	245	67,38	52,2	77,48%
	F. Rácsrúd	M20 8.8 po.	1	157	43,18	18,42	42,66%
5.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	245	67,38	50,07	74,32%
	F. Rácsrúd	M20 8.8 po.	1	157	43,18	17,86	41,37%
6.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	201	55,28	48,07	86,97%
	F. Rácsrúd	M18 8.8 po.	1	157	43,18	16,96	39,28%
7.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	201	55,28	45,48	82,28%
	F. Rácsrúd	M18 8.8 po.	1	157	43,18	15,87	36,76%
8.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	201	55,28	42,81	77,45%
	F. Rácsrúd	M18 8.8 po.	1	157	43,18	13,79	31,94%
9., 10., 11., 12., 13.	V. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	157	43,18	37,04	85,79%
	F. Rácsrúd	M16 8.8 po.	1	157	43,18	37,04	85,79%

A rácsrudak kapcsolólemeznének legkisebb mérete:

$$F. \text{ Rácsrúd: } v \cdot (l_{\min} - (d_{20} + 1 \text{ mm})) \cdot \sigma_H \geq N_M = 58,15 \text{ kN} \rightarrow l_{\min} = 69,46 \text{ mm} \leq l = 120 \text{ mm.} \checkmark$$

$$V. \text{ Rácsrúd: } v \cdot (l_{\min} - (d_{16} + 1 \text{ mm})) \cdot \sigma_H \geq N_M = 19,33 \text{ kN} \rightarrow l_{\min} = 33,11 \text{ mm} \leq l = 60 \text{ mm.} \checkmark$$

A kapcsolólemezek varratai végigmenő szimmetrikus sarokvarratok, melyek legkisebb hossza:

$$4 \cdot (l_{h\min} - 2a) \cdot a \cdot \tau_{vH} \geq N_M = 58,15 \text{ kN} \rightarrow l_{h\min} = 40,38 \text{ mm} \leq l_h = 70 \text{ mm.} \checkmark$$

A csomólemezek legkisebb vastagsága a palástnyomás alapján:

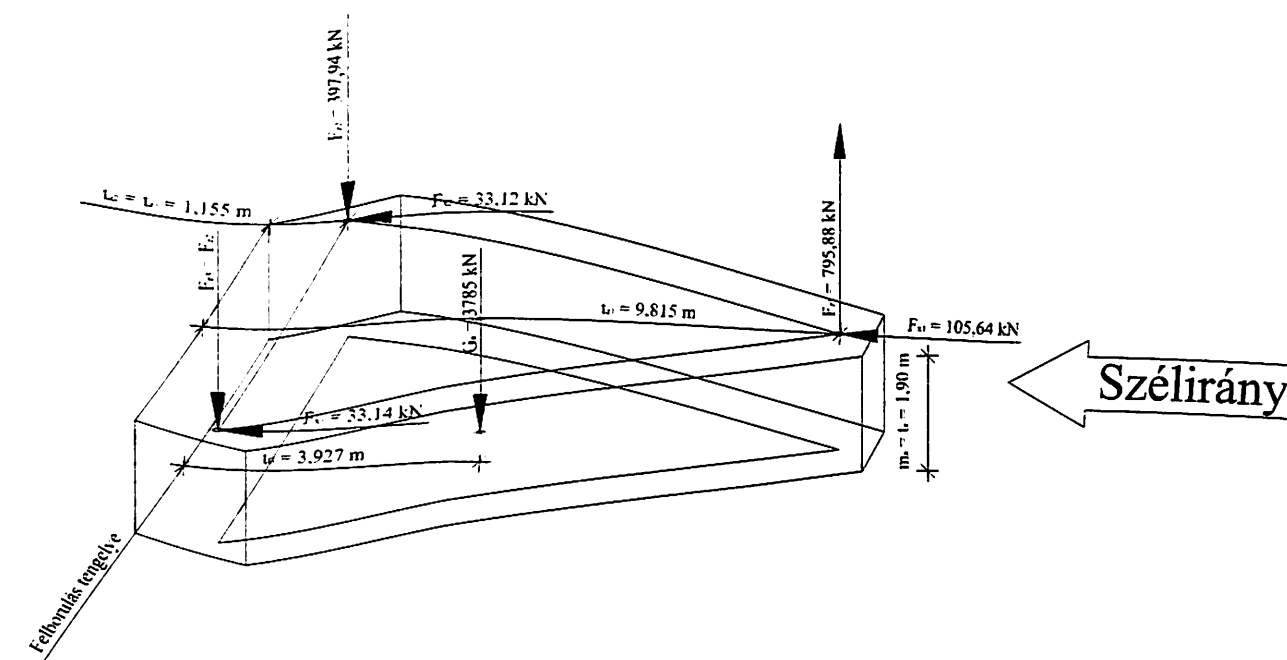
$$F. \text{ Rácsrúd: } v_{\min} \cdot d_{20} \cdot \sigma_{pH} \geq N_M = 58,15 \text{ kN} \rightarrow v_{\min} = 8,31 \text{ mm} \leq v = 10 \text{ mm} \checkmark$$

$$V. \text{ Rácsrúd: } v_{\min} \cdot d_{16} \cdot \sigma_{pH} \geq N_M = 19,33 \text{ kN} \rightarrow v_{\min} = 3,45 \text{ mm} \leq v = 6 \text{ mm} \checkmark$$

A csomólemezek további méreteit a geometria határozza meg.

14.4 Alapozás tervezése

Az alapozás méretezéséhez az 5. teherkombinációt használtam, ahol az önsúly értékét 0-ra redukáltam a minnél nagyobb felborítóerő elérése érdekében. Maximális igénybevételhez a 180°-kal elforgatott teherállás felvételével jutunk.



A felborulás tengelyére felírt nyomatéki egyenlet segítségével meghatározzuk a biztonsági tényező (n) értékét.

$$n = \frac{G_a \cdot t_G}{F_{z1} \cdot t_{z1} + F_{z2} \cdot t_{z2} + F_{z3} \cdot t_{z3} + (F_{x1} + F_{x2} + F_{x3}) \cdot t_x} = 2.059$$

ahol: $G_a = T_a \cdot \gamma \cdot m_a = 3785 \text{ kN}$

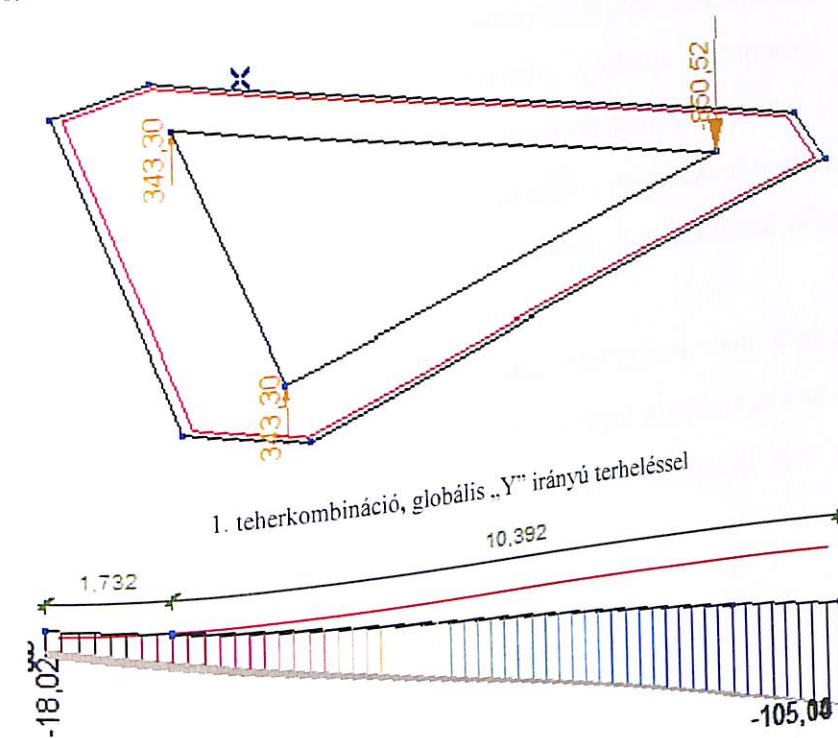
$$T_a = 79.674 \text{ m}^2$$

$$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$$

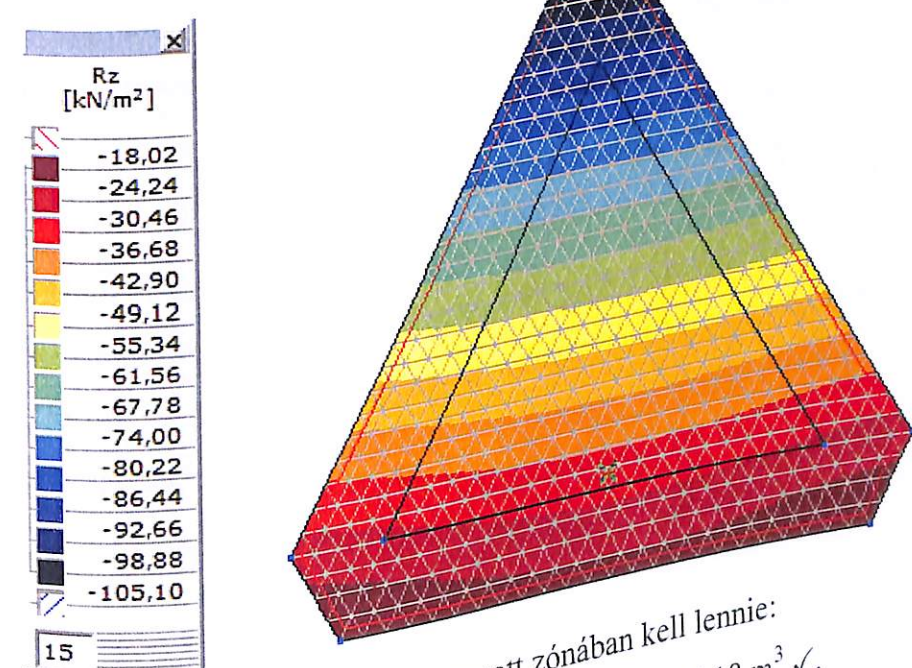
A torony feldőléssel szembeni biztonsága: $n = 2.06 \geq 2.00 \checkmark$.

14.5 Talpfeszültség ellenőrzése

A talpfeszültség ellenőrzését az 1. teherkombináció alapján végeztem, globális „Y” irányú terheléssel.



2. talpfeszültségi ábra



A feszültségtest legalább 50%-ának a nyomott zónában kell lennie:
 $V/2 = 151.38/2 = 75.69 \text{ m}^3 < V_{nyomott} = 115.18 \text{ m}^3 \checkmark$

A talpfeszültség értéke:

$$\sigma_{th} = \sigma_a \cdot (2+t+B)/4 = 200 \text{ kN/m}^2 \cdot (2+1.5+10.4)/4 = 704.5 \text{ kN/m}^2 > R_z = 105.1 \text{ kN/m}^2 \checkmark$$

15. Komplex statika vizsgálata

Korábbi tanulmányaim során az „Épületek komplex statikai vizsgálata” c. tantárgy keretein belül az épületek globális viselkedésével is foglalkoztam. E tapasztalataimat felhasználva tanulmányoztam a 70 m-es antennatorony komplex viselkedését. A vizsgálat során meghatároztam a szerkezet kritikus terheit, globális biztonsági tényezőjét, sajátfrekvenciáját és egy esetleges földrengés során fellépő szeizmikus terheit.

Mivel a fent említett tantárgy eredetileg a lakóépületek vizsgálatával foglalkozik, ezért a lehető legtöbb biztonság javára való közelítést alkalmaztam. A számítások elkészítéséhez a Mathcad v14 nevű programot használtam.

A kezdeti feltételezések alapján a szerkezet sem csavarásra, sem földrengésre nem érzékeny, mivel az alaprajz szabályos és a magasságához képest alacsonyan van a súlypontja, továbbá rácsos szerkezetű, rugalmas és könnyű, tehát a várt biztonság akár egy nagyságrenddel is meghaladhatja az ajánlott értéket ($F_{kr}/F_M \geq 10$).

15.1 Globális biztonsági tényező

A kritikus terhek számításának az elve az, hogy létrehozunk egy olyan helyettesítő tartót a merevségi középpontban, amelynek merevségi tulajdonságai megegyeznek az eredeti szerkezetével. A helyettesítő tartó statikai váza egy alul befogott függőleges konzol, amely a következő feltételezések mellett hozható létre:

- rugalmas építmény ✓
- anyaga homogén ✓
- alakváltozások kicsinyek ✓
- az építmény födémei (jelen esetben diafragmái) a saját síkjukban végtelenül merevnek tekinthetők ✓
- az épület szabályos rendszert alkot szintenként azonos elrendezéssel X

Belátható, hogy az utolsó feltételezés nem igaz a szerkezetünkre, hiszen a „12. Geometria felvétele” pontban leírtak alapján a szerkezet geometriája követi az igénybevételek kialakulását. Ennek a problémának a megoldására több módszert is vizsgáljunk meg:

A torony adatai: $H = 69.892\text{m}$; $E = 206\text{kN/mm}^2$, $F_M = 138,3\text{kN}$ (3. teherkombinációból).

Első lépésben vizsgáljuk meg a szerkezet biztonsági tényezőjét abban az esetben, ha a helyettesítő tartó merevségeit a torony leggyengébb keresztmetszete alapján számítjuk ki a szerkezet teljes magasságában.

A helyettesítő tartó adatai:

$$\begin{aligned} D_{73} &:= 73 \text{ mm} \\ v_{73} &:= 3.2 \text{ mm} \\ A_{73} &:= \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{73}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{73}}{2} - v_{73} \right)^2 \right] = 7.017 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ I_{73} &:= \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(\frac{D_{73}}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_{73}}{2} - v_{73} \right)^4 \right] = 4.282 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \\ I_{y73} &:= I_{73} + A_{73} \cdot t_{73y1}^2 + 2 \cdot \left(I_{73} + A_{73} \cdot t_{73y2}^2 \right) = 3.159 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \\ I_{x73} &:= 3I_{73} + A_{73} \cdot t_{73x1}^2 + A_{73} \cdot t_{73x2}^2 = 3.159 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \\ I_{T73} &:= 0.8 \cdot I_{y73} = 2.527 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{73y1} &:= 1.732 \text{ m} \\ t_{73y2} &:= 0.866 \text{ m} \\ t_{73x1} &:= 1.5 \text{ m} \\ t_{73x2} &:= -1.5 \text{ m} \end{aligned}$$

„ahol a „D” szelvényátmérőt, a „v” csőfal-vastagságot, az „A” keresztmetszeti területet, a „t” merevségi kp-tól mért távolságot x és y irányban, az „I” pedig a merevséget jelenti. A végleges inerciát a síkbeli rácsos tartókra jellemző közelítő eljárás alapján 80%-os csökkentéssel vettem figyelembe a biztonság növelése érdekében.

Az adatok alapján a kritikus teher:

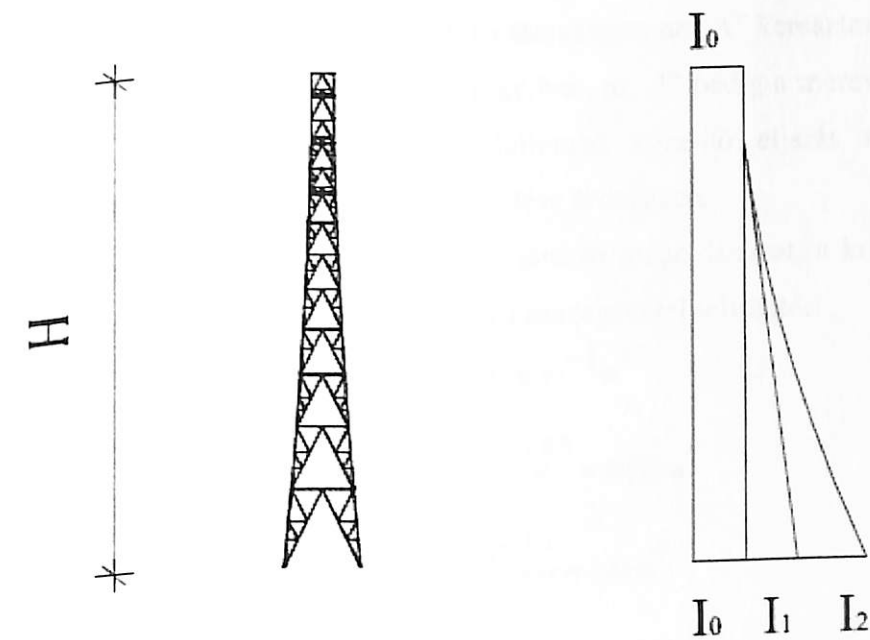
$$F_{kr} := \frac{7.837 \cdot E \cdot I_{T73}}{H^2} = 835.163 \text{ kN}$$

A kritikus teherből számított globális biztonsági tényező:

$$\frac{F_{kr}}{F_M} = 6.039$$

A végeredmény biztató, mivel a lehető legnagyobb biztonság javára való közelítés alkalmazásával is majdnem teljesül az előírt biztonság ($F_{kr}/F_M \geq 10$).

Pontosabb megoldáshoz jutunk a Southwell-tétel alkalmazásával. A torony önsúlya – közelítően – egyenletesen megoszlnak tekinthető, merevsége viszont a magasság mentén változó. Ilyen merevség-megoszlással rendelkező rúd kritikus erejére nincs zárt alakú megoldás, de a merevség felbontható egy konstans (I_0), egy lineáris (I_1) és egy másodfokú parabola (I_2) szerinti részmerevségekre, amire viszont léteznek zárt alakú megoldások (Timoshenko-Gere: Theory of elastic stability, 1961).



$I_0 = I_{73}$, azaz a torony legfelső keresztmetszetében számított merevség
 $I_0 + I_1 + I_2 = I_{159}$, azaz a torony legalsó keresztmetszetében számított merevség
 $I_1: I_2 = 1.5/2.0 \rightarrow$ a „12. Geometria felvétele” pont alapján,
 ahol:

$$\begin{aligned}
 D_{73} &:= 73\text{mm} & A_{73} &:= \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{73}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{73}}{2} - v_{73} \right)^2 \right] = 7.017 \times 10^{-4} \text{m}^2 & t_{73y1} &:= 1.732\text{m} \\
 v_{73} &:= 3.2\text{mm} & & & t_{73y2} &:= 0.866\text{m} \\
 & & & & t_{73x1} &:= 1.5\text{m} \\
 & & & & t_{73x2} &:= -1.5\text{m}
 \end{aligned}$$

$$I_{73} := \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(\frac{D_{73}}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_{73}}{2} - v_{73} \right)^4 \right] = 4.282 \times 10^{-7} \text{m}^4$$

$$I_{y73} := I_{73} + A_{73} \cdot t_{73y1}^2 + 2 \cdot \left(I_{73} + A_{73} \cdot t_{73y2}^2 \right) = 3.159 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

$$I_{x73} := 3I_{73} + A_{73} \cdot t_{73x1}^2 + A_{73} \cdot t_{73x2}^2 = 3.159 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

$$I_{F73} := 0.8 \cdot I_{y73} = 2.527 \times 10^{-3} \text{m}^4$$

$$\begin{aligned}
 D_{159} &:= 159\text{mm} & A_{159} &:= \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{159}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{159}}{2} - v_{159} \right)^2 \right] = 5.753 \times 10^{-3} \text{m}^2 & t_{159y1} &:= 5.774\text{m} \\
 v_{159} &:= 12.5\text{mm} & & & t_{159y2} &:= 2.887\text{m} \\
 & & & & t_{159x1} &:= 5\text{m} \\
 & & & & t_{159x2} &:= -5\text{m}
 \end{aligned}$$

$$I_{159} := \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(\frac{D_{159}}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_{159}}{2} - v_{159} \right)^4 \right] = 1.555 \times 10^{-5} \text{m}^4$$

$$I_{y159} := I_{159} + A_{159} \cdot t_{159y1}^2 + 2 \cdot \left(I_{159} + A_{159} \cdot t_{159y2}^2 \right) = 0.288 \text{m}^4$$

$$I_{x159} := 3I_{159} + A_{159} \cdot t_{159x1}^2 + A_{159} \cdot t_{159x2}^2 = 0.288 \text{m}^4$$

$$I_{F159} := 0.8 \cdot I_{y159} = 0.23 \text{m}^4$$

„ahol a „D” szelvényátmérőt, a „v” csőfal-vastagságot, az „A” keresztmetszeti területet, a „f” merevségi kp-tól mért távolságot x és y irányban, az „I” pedig a merevséget jelenti. A végleges inerciát a síkbeli rácsos tartókra jellemző közelítő eljárás alapján 80%-os csökkentéssel vettem figyelembe a biztonság növelése érdekében.

Felhasználva az I_0 , I_1 és I_2 merevségekhez tartozó megoldásokat, a kritikus teher alsó korlátja a Southwell-tétel alkalmazásával egyszerű összegzéssel felírható:

$$I_0 := I_{f73} = 2.527 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

$$I_1 := \frac{(I_{f159} - I_{f73}) \cdot 1.5}{3.5} = 0.098 \text{ m}^4$$

$$I_2 := \frac{(I_{f159} - I_{f73}) \cdot 2}{3.5} = 0.13 \text{ m}^4$$

Az adatok alapján a kritikus teher:

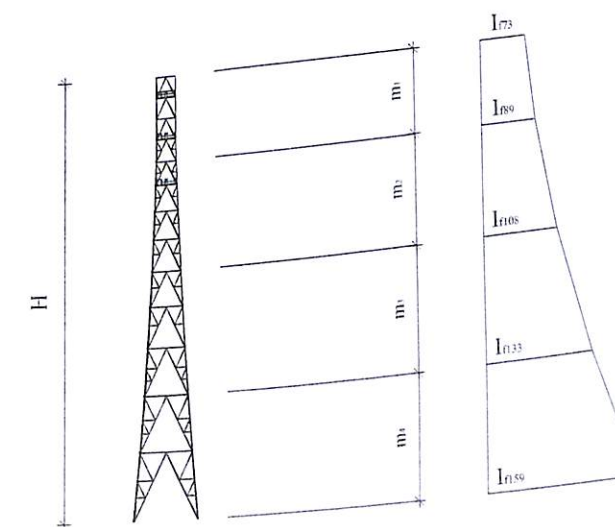
$$F_{kr} := \frac{E}{H^2} \cdot (7.84 \cdot I_0 + 5.78 \cdot I_1 + 3.67 \cdot I_2) = 4.475 \times 10^4 \text{ kN}$$

A kritikus teherből számított globális biztonsági tényező:

$$\frac{F_{kr}}{F_M} = 323.598 \quad \checkmark \checkmark$$

Tehát a kezdeti feltételezésnek megfelelően a pontos számítás végeredményeként egy várt értéket kaptunk, ami nagyságrenddel nagyobb az előírt értéknél ($F_{kr}/F_M \geq 10$).

Egy újabb közelítő eljárás keretében a torony merevségét szakaszonként számítjuk ki. A számítás lerövidítése érdekében a szerkezetet egész számú toronyegységeket tartalmazó négy nagyjából egyenlő részre osztottam:



Jelzett helyeken számított részmerevségek:

$$\begin{aligned} D_{73} &:= 73\text{mm} \\ v_{73} &:= 3.2\text{mm} \\ A_{73} &:= \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{73}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{73}}{2} - v_{73} \right)^2 \right] = 7.017 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\ I_{73} &:= \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(\frac{D_{73}}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_{73}}{2} - v_{73} \right)^4 \right] = 4.282 \times 10^{-7} \text{ m}^4 \\ I_{y73} &:= I_{73} + A_{73} \cdot t_{73y1}^2 + 2 \cdot \left(I_{73} + A_{73} \cdot t_{73y2}^2 \right) = 3.159 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \\ I_{x73} &:= 3I_{73} + A_{73} \cdot t_{73x1}^2 + A_{73} \cdot t_{73x2}^2 = 3.159 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \\ I_{f73} &:= 0.8 \cdot I_{y73} = 2.527 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{73y1} &:= 1.732\text{m} \\ t_{73y2} &:= 0.866\text{m} \\ t_{73x1} &:= 1.5\text{m} \\ t_{73x2} &:= -1.5\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{89} &:= 89\text{mm} \\ v_{89} &:= 5.0\text{mm} \\ A_{89} &:= \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{89}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{89}}{2} - v_{89} \right)^2 \right] = 1.319 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ I_{y89} &:= A_{89} \cdot t_{89y1}^2 + 2 \cdot \left(A_{89} \cdot t_{89y2}^2 \right) = 6.701 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \\ I_{f89} &:= 0.8 \cdot I_{y89} = 5.361 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{89y1} &:= 1.840\text{m} \\ t_{89y2} &:= 0.920\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{108} &:= 108\text{mm} \\ v_{108} &:= 8.0\text{mm} \\ A_{108} &:= \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{108}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{108}}{2} - v_{108} \right)^2 \right] = 2.513 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ I_{y108} &:= A_{108} \cdot t_{108y1}^2 + 2 \cdot \left(A_{108} \cdot t_{108y2}^2 \right) = 0.026 \text{ m}^4 \\ I_{f108} &:= 0.8 \cdot I_{y108} = 0.02 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{108y1} &:= 2.604\text{m} \\ t_{108y2} &:= 1.302\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_{133} &:= 133\text{mm} \\ v_{133} &:= 12.5\text{mm} \\ A_{133} &:= \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{133}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{133}}{2} - v_{133} \right)^2 \right] = 4.732 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ I_{y133} &:= A_{133} \cdot t_{133y1}^2 + 2 \cdot \left(A_{133} \cdot t_{133y2}^2 \right) = 0.08 \text{ m}^4 \\ I_{f133} &:= 0.8 \cdot I_{y133} = 0.064 \text{ m}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{133y1} &:= 3.36\text{m} \\ t_{133y2} &:= 1.680\text{m} \end{aligned}$$

$$D_{159} := 159 \text{ mm} \quad v_{159} := 12.5 \text{ mm} \quad A_{159} := \pi \cdot \left[\left(\frac{D_{159}}{2} \right)^2 - \left(\frac{D_{159}}{2} - v_{159} \right)^2 \right] = 5.753 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$t_{159y1} := 5.774 \text{ m}$$

$$t_{159y2} := 2.887 \text{ m}$$

$$t_{159x1} := 5 \text{ m}$$

$$t_{159x2} := -5 \text{ m}$$

$$I_{159} := \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(\frac{D_{159}}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_{159}}{2} - v_{159} \right)^4 \right] = 1.555 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_{y159} := I_{159} + A_{159} \cdot t_{159y1}^2 + 2 \cdot \left(I_{159} + A_{159} \cdot t_{159y2}^2 \right) = 0.288 \text{ m}^4$$

$$I_{x159} := 3I_{159} + A_{159} \cdot t_{159x1}^2 + A_{159} \cdot t_{159x2}^2 = 0.288 \text{ m}^4$$

$$I_{f159} := 0.8 \cdot I_{y159} = 0.23 \text{ m}^4$$

Az adatok alapján az összmerevség:

$$m_1 := 13.37 \text{ m} \quad m_2 := 17.227 \text{ m} \quad m_3 := 19.413 \text{ m} \quad m_4 := 19.882 \text{ m}$$

$$I := \frac{\frac{I_{f73} + I_{f89}}{2} \cdot m_1 + \frac{I_{f89} + I_{f108}}{2} \cdot m_2 + \frac{I_{f108} + I_{f133}}{2} \cdot m_3 + \frac{I_{f133} + I_{f159}}{2} \cdot m_4}{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)} = 0.058 \text{ m}^4$$

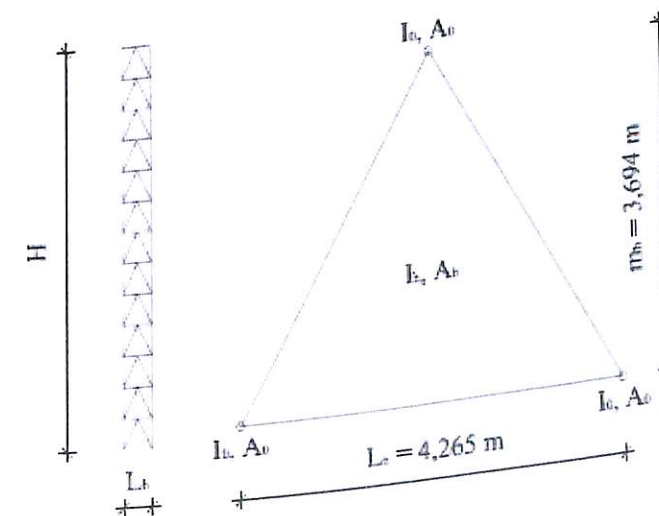
A helyettesítő tartó adatai:

$$A_0 := \frac{\frac{A_{73} + A_{89}}{2} \cdot m_1 + \frac{A_{89} + A_{108}}{2} \cdot m_2 + \frac{A_{108} + A_{133}}{2} \cdot m_3 + \frac{A_{133} + A_{159}}{2} \cdot m_4}{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)} = 3.163 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$I_0 := \frac{\pi}{4} \cdot \left[\left(\frac{D_{89}}{2} \right)^4 - \left(\frac{D_{89}}{2} - v_{89} \right)^4 \right] = 1.168 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

$$A_h := 7.877 \text{ m}^2 \quad m_h := 3.694 \text{ m} \quad L_h := \sqrt{\frac{I}{A_0}} = 4.265 \text{ m} \quad I_h := \frac{L_h \cdot m_h^3}{36} = 5.972 \text{ m}^4$$

$$i_p := \sqrt{\frac{2 \cdot I}{A_h}} = 0.121 \text{ m}$$



$$I_{\omega} := 3 \cdot \left[I_0 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot m_h \right)^2 \right] = 2.125 \times 10^{-5} \cdot \text{m}^6$$

$$G_{cs} := \frac{E}{2 \cdot (1 + 0.2)} = 8.583 \times 10^7 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$J_{cs} := 3 \cdot \left[\frac{4 \cdot A_h^2}{\left(\frac{D_{89} \cdot \pi}{v_{89}} \right)} \right] = 2.147 \times 10^{-6} \cdot \text{m}^4$$

$$k := H \cdot \sqrt{\frac{G_{cs} \cdot J_{cs}}{E \cdot I_{\omega}}} = 14.341 \quad k_s := \frac{k}{\sqrt{r_s}} = 14.503$$

$$k \rightarrow \eta = 3.87; k_s \rightarrow \alpha = 322.07 \text{ (táblázatok alapján, interpolációval)}$$

$$\text{Az „} r_s \text{” redukciós tényező: } r_s = n / (n + 1.588) = 0.978$$

A földemeken megoszló teherrel terhelt épületnél a kritikus terhet úgy határoztuk meg, hogy az épület szintenként koncentrált erőkként jelentkező terhet a függőleges mentén megoszlóknak vettük. Ennek a közelítésnek a hatása a mi szerkezetünk esetén csekély, mivel a torony önsúlya – közelítően – egyenletesen megoszlóknak tekinthető.

Az adatok alapján a kritikus terhek:

$$F_{kr} := \frac{7.837 \cdot E \cdot I \cdot r_s}{H^2} = 1.859 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$F_{kr\phi} := \frac{\frac{\alpha \cdot r_s \cdot E \cdot I_{\omega}}{H^2} + G_{cs} \cdot J_{cs}}{i_p^2} = 3.193 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

Az alaprajz szabályossága miatt a kritikus terhek nem kombinálódnak, nagysága a kisebbik értékkel egyezik meg ($F_{kr} = F_{kr, \min} (F_{kr} F_{kr\phi})$).

A kritikus terhekből számított globális biztonsági tényezők:

$$\frac{F_{kr}}{F_M} = 134.445 \quad \frac{F_{kr\phi}}{F_M} = 230.882$$

A biztonság javára való közelítő számítás alapján is kiderül, hogy kezdeti feltételezések helyesek, a szerkezet csavarásra nem érzékeny, értéke többszörösen meghaladja az ajánlás előírt értékét ($F_{kr\phi}/F_M \geq 10$).

15.2 Sajátfrekvencia számítása

A következőkben az épület legkisebb sajátfrekvenciájának kiszámítására alkalmas közelítő módszert mutatunk be a 15.1 pont adatai alapján.

Segédmenyiségek:

$$r_f := \sqrt{\frac{n}{n+2.06}} = 0.986 \quad \gamma := 0.084 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \quad \rho := \frac{\gamma}{g} = 8.566 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Az épület sajátfrekvenciái

$$f := \frac{0.56 \cdot r_f}{H^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{\rho \cdot A_h}} = 1.498 \frac{1}{s}$$

$$f_\phi := \frac{\eta \cdot r_f}{i_p \cdot H^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{\rho \cdot A_h}} = 1.645 \frac{1}{s}$$

Az alaprajz szabályossága miatt a sajátfrekvenciák nem kombinálódnak, nagysága a kisebbik értékkel egyezik meg ($f = f_{\min}(f; f_\phi)$). A következő 3-ad fokú függvény megoldása is bizonyítja, hogy a sajátfrekvenciák nem kombinálódnak:

$$0 = f_{kr}^3 + f_{kr}^2 \cdot a_2 + f_{kr} \cdot a_1 + a_0$$

ahol:

$$a_2 := \frac{f^2 \cdot \tau_x^2 + f^2 \cdot \tau_y^2 - f^2 - f_\phi^2}{1 - \tau_x^2 - \tau_y^2} = -7.193 \frac{1}{s^2}$$

$$a_1 := \frac{f^2 \cdot f^2 + f^2 \cdot f_\phi^2 + f^2 \cdot f_\phi^2}{1 - \tau_x^2 - \tau_y^2} = 17.173 \frac{1}{s^4}$$

$$a_0 := \frac{-f^2 \cdot f^2 \cdot f_\phi^2}{1 - \tau_x^2 - \tau_y^2} = -13.617 \frac{1}{s^6}$$

és

$$X_c := 0 \quad Y_c := 0 \quad \tau_x := \frac{X_c}{i_p} = 0 \quad \tau_y := \frac{Y_c}{i_p} = 0$$

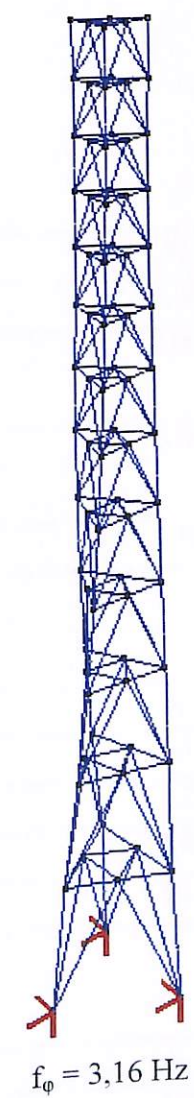
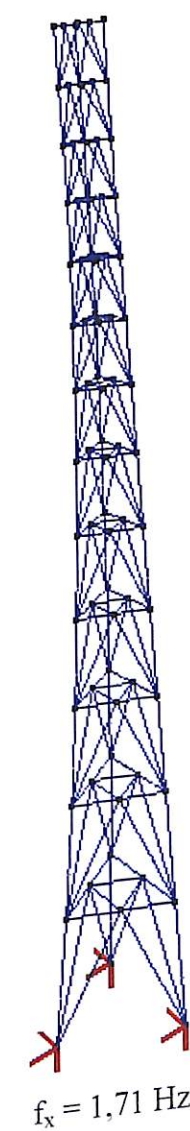
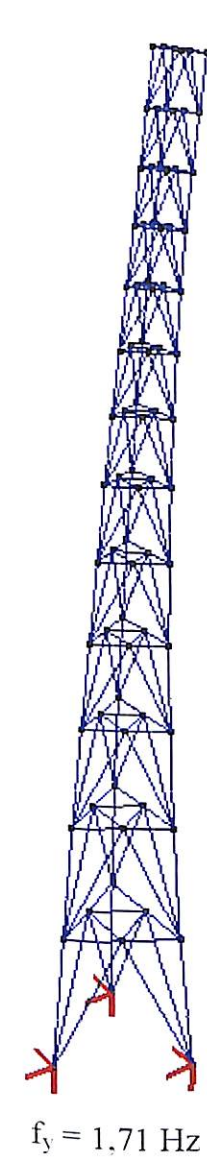
Az adatok behelyettesítése után a függvény a következő megoldást adja:

$$f_{kr} = 2.243 \frac{1}{s}$$

$$f_{KR} := \sqrt{f_{kr}} = 1.498 \frac{1}{s}$$

Látható, hogy az alaprajz szabályossága miatt: $f = f_{KR} = 1.498 \text{ 1/s}$.

Az AxisVM 9 program által számított sajátfrekvenciák:



Az adatok behelyettesítése után a függvény a következő megoldást adja:

$$f_{kr} = 2,924 \frac{1}{s}$$

$$f_{KR} := \sqrt{f_{kr}} = 1,71 \frac{1}{s}$$

Látható, hogy az alaprajz szabályossága miatt: $f_y = f_x = f_{KR} = 1,71 \text{ Hz}$.

15.3 Szeizmikus terhek számítása

A szeizmikus erő értéke a Dulácska-Kollár féle ajánlás szerint:

$$S_{M,S} = \beta \cdot Q \cdot k_g \cdot k_s \cdot k_t / q$$

ahol: a k_g , k_s , k_t , és q értékeit a következő táblázatok tartalmazzák:

A k_g relatív tervezési gyorsulás értékei

Zónák	Megyék	k_g
1. zóna	-	0,04
2. zóna	Nógrád, Szabolcs-Szatmár-Bereg, Tolna, Békés, Borsod-Abaúj-Zemplén, Csongrád, Hajdú-Bihar, Jász-Nagykun-Szolnok	0,06
3. zóna	Baranya, Bács-Kiskun, Fejér, Győr-Moson-Sopron, Heves, Somogy, Vas, Veszprém, Zala, Pest és Budapest	0,08
4. zóna	Komárom	0,10

A k_s épületfontossági tényező értékei

Fontossági kategória	k_s
1. Igen fontos létesítmény (kórház, tűzoltóság)	1,4
2. Nagy forgalmú létesítmény (pályaudvar, irodaház, színház)	1,2
3. Normál lakó- és középület	1,0
4. Alárendeltebb épületek (mezőgazdasági és ideiglenes épületek)	0,8

A k_t talajminőségi szorzó értékei

Talaj	k_t
Szíkla, tömör és száraz kavics	1,0
Száraz, szemcsés és kötött talajok	1,2
Víz alatti szemcsés és kötött talajok	1,4

A q viselkedési tényező értékei

Szerkezettípus	q	
	Vízszintes irányban	Függőleges irányban
Falazott épületek	1,5	1,5
Vasbeton épületek	2,0	
Faszerkezetek	1,5	
Hagyományos hengerelt acél szerkezetek	2,5	
Vékonyfalú acélszerkezetek	1,5	

A Budapesten lévő, alárendelt fontosságú, száraz, szemcsés talajon álló, hengerelt acél szerkezetű épületünk adatai:

$$k_g := 0.08 \quad k_s := 0.8 \quad k_t := 1.2 \quad q := 2.5 \quad \beta := 1.498 \quad Q := F_M = 138.3 \text{ kN}$$

Az adatok alapján a szeizmikus teher értéke:

$$S_{M.S} := \frac{\beta \cdot Q \cdot k_g \cdot k_s \cdot k_t}{q} = 6.364 \text{ kN}$$

Az AxisVM 9 programmal számolt sajátfrekvencia alapján:

$$k_g := 0.08 \quad k_s := 0.8 \quad k_t := 1.2 \quad q := 2.5 \quad \beta := 1.71 \quad Q := F_M = 138.3 \text{ kN}$$

Az adatok alapján a szeizmikus teher értéke:

$$S_{M.S} := \frac{\beta \cdot Q \cdot k_g \cdot k_s \cdot k_t}{q} = 7.265 \text{ kN}$$

A kapott terhek az épület magasságának (H) 2/3-ban ($\approx 46,6 \text{ m}$) működnek minden irányban. Az értékek megfelelnek annak a kezdeti feltételezésnek, miszerint a szerkezetünk nem érzékeny a földrengésre. Ezt a következő összehasonlítás is alátámasztja:

$$\Sigma F_{y.szel} = 171,9 \text{ kN} \gg F_{S,max} = 7,265 \text{ kN}$$

Tehát megállapítható, hogy a földrengés okozta terhelés nem mértékadó, mivel értéke nagyságrendekkel kisebb, mint a „13. szélteher számítás” pontban számolt terhelések összege.