

SZENT ISTVÁN EGYETEM
YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR

SZAKDOLGOZAT

ACÉLSZERKEZETŰ RÁCSOS TORONY ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Konzulens:

Horváth Katalin
mesteroktató

Kovács Attila
tervezőmérnök

Slezák László
tervezőmérnök

Készítette:

Kiss Ádám



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

2017/18.

Kiss Ádám

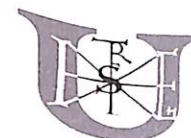
Nappali Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe:	Acélszerkezetű rácsos torony összehasonlító vizsgálata
Belső konzulens:	Horváth Katalin <i>mesteroktató</i> Kovács Attila <i>tervezőmérnök</i>
Külső konzulens:	Slezák László <i>tartószerkezeti tervező</i>

A szakdolgozat beadási határideje: 2018. május 31. (csütörtök) 12⁰⁰

Budapest, 2018. május 24.

Dr. Dombay Gábor
intézetigazgató



SZENT ISTVÁN
EGYETEM

YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
ÉPÍTŐMÉRNÖKI INTÉZET

YBL

Kiss Ádám nappali BSc építőmérnök hallgató

Mechanika és Tartószerkezetek Szakcsoport
Diplomatervezési feladatkiírás

Acélszerkezetű rácsos torony összehasonlító vizsgálata

Feladat leírása

Vizsgálandó és összehasonlítandó egy acélszerkezetű rácsos torony tartószerkezete különböző rácsos és különböző terepkategória esetén.

A torony 30,00 m magas, alsó részén 3,40 m x 3,40 m befoglaló alapterülettel, felső részén 1,60 m x 1,60 m befoglaló alapterülettel.

A szakdolgozat tartalmazza:

- a rácsos torony tartószerkezet különböző rácsos kialakításának vizsgálatát és összehasonlítását,
- a rácsos torony tartószerkezet kialakításának vizsgálatát és összehasonlítását három különböző terepkategória (I, II, III) esetén.

A terheket az adatszolgáltatás, a vonatkozó szabványok, előírások és irányelvek alapján kell felvenni.

Horváth Katalin
Horváth Katalin
mesteroktató

Kovács Attila
Kovács Attila
tervezőmérnök

Budapest 2018. január

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
Felhasznált szabványok	5
<i>Felhasznált szoftverek</i>	<i>5</i>
2. A feladat ismertetése	5
3. Az 1-es jelű torony szélterhének meghatározása	9
4. A 2-es jelű torony szélterhének meghatározása	26
5. A 3-as jelű torony szélterhének meghatározása	34
6. Igénybevételek meghatározása	42
7. Teherbírás ellenőrzése	60
8. Használhatósági követelmények vizsgálata.....	66
9. Összefoglalás	70

1. Bevezetés

Mai világunk szerves részét képi az információcsere. A telekommunikáció és az informatika térhódítása, valamint annak rohamos fejlődése senkinek nem meglepő információ, mai világunk elképzelhetetlen lenne internet vagy épp mobiltelefon hálózat nélkül. Gyakran észre sem vesszük az ország minden pontján megtalálható telekommunikációs tornyokat, melyek nélkül a mára már szinte 100%-os mobilhálózat lefedettség valamint a gyors internet elérése lehetetlen lenne. Dolgozatom témájával szeretném bemutatni a kommunikációhoz szükséges szektorsugárzó antennák, mikro antennák és egyéb mobilkommunikációs berendezések tartószerkezeti feladatait ellátó acél szerkezetű rácsos tornyokat. Dolgozatom jelentős része foglalkozik a szélteher értékek nagyságát jelentősen befolyásoló beépítettségi kategória pontos megválasztásának fontosságáról.

Felhasznált szabványok

MSZ EN 1990:2005	A tartószerkezetek tervezésének alapjai
MSZ EN 1991-1-1:2005	A tartószerkezeteket érő hatások: Általános hatások 1-1. rész: Sűrűség, önsúly és az épületek hasznos terhei
MSZ-EN 1991-1-4:2007	A tartószerkezeteket érő hatások: Általános hatások. Szélhatás
MSZ-EN 1993-1-1:2009	Acélszerkezetek tervezése: Általános és épületekre vonatkozó szabályok
EN-1993-3-1:2006	Acélszerkezetek tervezése: Tornyak, antennatornyok és kémények

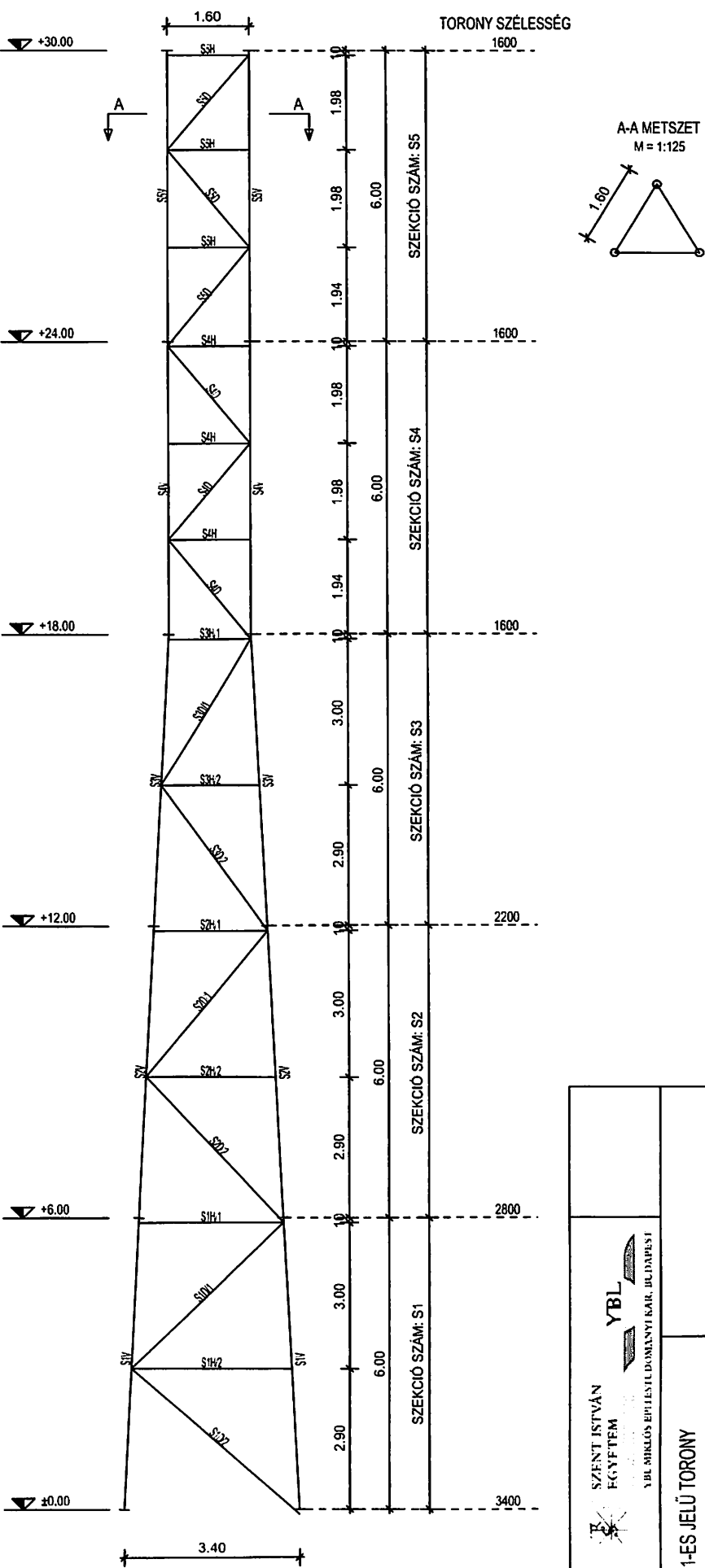
Felhasznált szoftverek

Axis VM X4	Statikai méretező és számító programrendszer
MathCAD 13	Mérnöki matematikai szoftver
AutoCAD 2013	Mérnöki tervező szoftver
Microsoft Office	irodai szoftverek
Adobe Acrobat PDF	szerkesztő, megjelenítő szoftver

2. A feladat ismertetése

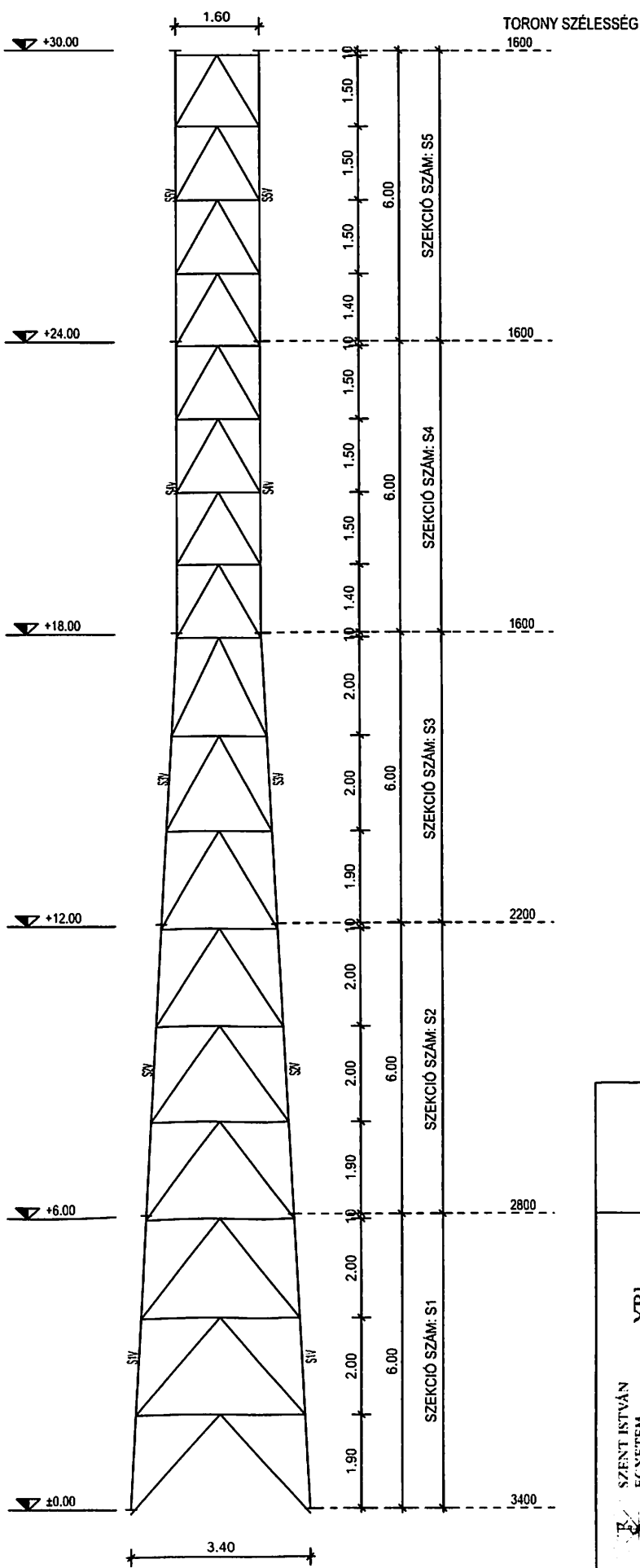
Dolgozotomban acél szerkezetű, háromövé, rácsos tornyak összehasonlítását végeztem el. Három különböző beépítési osztályban vizsgáltam a keletkező mértékadó terhek nagyságát, a terhekből adódó igénybevételek alakulását, valamint a rácsos torony öv,- illetve rácsrúdjainak a mértékadó teherre történő kihasználtság értékeinek alakulását. Dolgozatom fő célja a különböző beépítettségi kategóriákban vizsgált tornyak igénybevételei között kialakuló különbségek meghatározása volt, valamint vizsgáltam, hogy a különböző beépítési osztályban vizsgált torony elemeinek kihasználtsága miként változik. A vizsgálat eredményének összehasonlításához valamint egy esetleges konklúzió felállításához három különböző toronyszerkezeten vizsgáltam az eredmények alakulását. A három torony befoglaló méretei, valamint övrúd szelvényeinek mérete megegyező, a tornyak között a különbség a rácskozás kialakítása volt. A torony 30,00m magas, alsó részén 3,40m x 3,40m befoglaló alapterülettel, felső részén pedig 1,60m x 1,60m befoglaló alapterülettel. A három torony geometriai kialakítását az R-1, R-2 és R-3 tervlap tartalmazza.

SZELVÉNY MÉRTEK			SZEKCIÓ SZÁM
VÍZSZINTES	FERDE	ÖVRÜD	
S5H Ø 51 / 29	S5J Ø 51 / 29	S5V Ø 76 / 32	S5
S4H Ø 51 / 29	S4J Ø 51 / 29	S4V Ø 76 / 32	S4
S3H Ø 60 3 / 29	S3J Ø 60 3 / 29	S3V Ø 102 / 36	S3
S2H Ø 60 3 / 29	S2J Ø 60 3 / 29	S2V Ø 114 / 45	S2
S1H Ø 60 3 / 29	S1J Ø 60 3 / 29	S1V Ø 133 / 45	S1



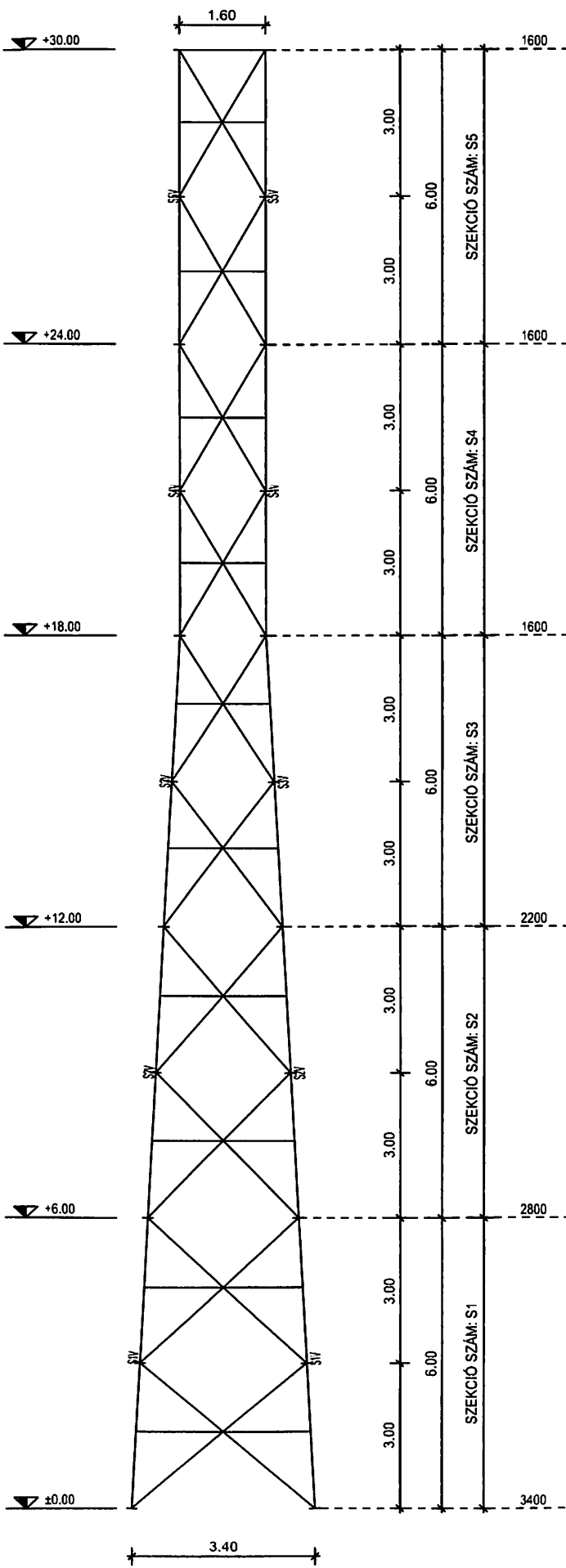
	1-ES JELŰ TORONY		Elrendezési terv	
	ÁLTALÁNOS NÉZET			
Készítette: Kiss Ádám	Ellátta: Horváth Katalin	Arány: 1:125	Dátum: 2018.05.03.	Terület: R-1

SZELVÉNY MÉRTEK			SZEKCIÓ SZÁM
VÍZSZINTES	FERDE	ÖVRÜD	
S3H Ø 51 / 29	S3D Ø 51 / 29	S3V Ø 76 / 32	S3
S4H Ø 51 / 29	S4D Ø 51 / 29	S4V Ø 76 / 32	S4
S3H Ø 63,3 / 29	S3D Ø 60,3 / 29	S3V Ø 102 / 36	S3
S2H Ø 63,3 / 29	S2D Ø 60,3 / 29	S2V Ø 114 / 45	S2
S1H Ø 63,3 / 29	S1D Ø 60,3 / 29	S1V Ø 133 / 45	S1



SZENT ISTVÁN EGYETEM YBL YBL MŰKÖDŐ ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KÖZPONT, BUDAPEST I	2-ES JELŰ TORONY		Elrendezési terv	
	ÁLTALÁNOS NÉZET		R-2	
Kiss Ádám	Horváth Katalin	2018.05.03.		

SZELVÉNY MÉRETEK			SZEKCIÓ SZÁM
VÍZSZINTES	FERDE	ÓVRÚD	
S5H Ø 5' : 29	S5D Ø 5' : 23	S5V Ø 76 : 32	S5
S4H Ø 5' : 29	S4D Ø 5' : 23	S4V Ø 76 : 32	S4
S3H Ø 60 : 29	S3D Ø 60 : 29	S3V Ø 102 : 36	S3
S2H Ø 60 : 29	S2D Ø 60 : 29	S2V Ø 114 : 45	S2
S1H Ø 60 : 29	S1D Ø 60 : 29	S1V Ø 133 : 45	S1



R-3	SZENT ISTVÁN EGYETEM YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSDOMANTAN KARRAL		2-ES JELÜ TORONY		Elrendezési terv	
	ÁLTALÁNOS NÉZET		Készítette: Horváth Katalin		R-3	
Kiss Ádám	Horváth Katalin	2018.05.03.	2018.05.03.	2018.05.03.	2018.05.03.	2018.05.03.

3. Az 1-es jelű torony szélterhének meghatározása:

3.1. Együtthatók szélteher meghatározásához :

3.1.1. Alapértékek :

iránytényező : $c_{dir} := 1.0$

évszaktényező : $c_{season} := 1.0$

a szélesebesség kiindulási alapértéke : $v_{b,0} := 23.6 \frac{m}{s}$

a szélesebesség alapértéke : $v_b := c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$

$$v_b = 23.6 \frac{m}{s}$$

3.1.2. Átlagos szélesebesség :

3.1.2.1. Terepérdesség

A torony magassága: $h := 30.0m$

Beépítettségi osztály : I-III. kategória

I. beépítettségi osztály

Tavak vagy sík, vízszintes terület elhanyagolható növényzettel és akadályok nélkül.



II. beépítettségi osztály

Kevés növényzettel, pl. fűvel borított, egymástól legalább az akadályok magasságának 20-szorosát kitevő távolságban egyedül álló, elkülönített akadályokat (fákat, épületeket) tartalmazó terület.



III. beépítettségi osztály

Növényzettel vagy épületekkel egyenletesen fedett, egymástól legfeljebb az akadályok magasságának 20-szorosát kitevő távolságban egyedül álló, elkülönített akadályokat tartalmazó terület (falvak, külvárosi terület, folyamatosan erdővel borított vidék).



Beépítettség osztályok és beépítettségi jellemzők :

Beépítettségi osztály	z_0 [m]	z_{MIN} [m]
I.	0,01	1
II.	0,05	2
III.	0,3	5

A II. beépítettségi osztályhoz tartozó z_0 érték : $z_{0,II} := 0.05m$

A szabvány által előírt érték : $z_{max} := 200m$

$$k_r := 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0.07}$$

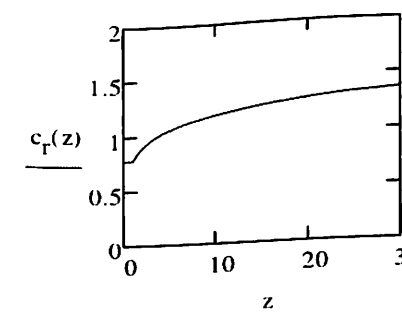
Beépítettségi tényező :

Beépítettségi osztály	k_r
I.	0,1698
II.	0,1900
III.	0,2154

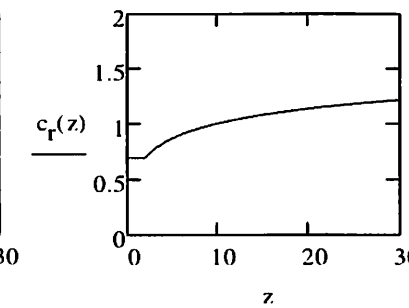
Érdességi tényező :

$$c_r(z) := \begin{cases} k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) & \text{if } z_{min} \leq z \leq z_{max} \\ k_r \cdot \ln\left(\frac{z_{min}}{z_0}\right) & \text{if } z < z_{min} \end{cases}$$

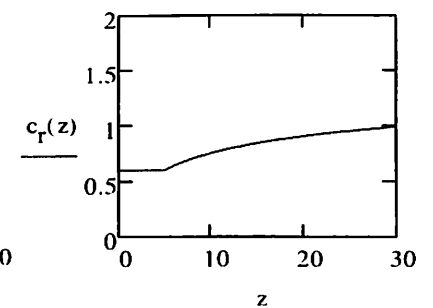
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály



III. beépítettségi osztály



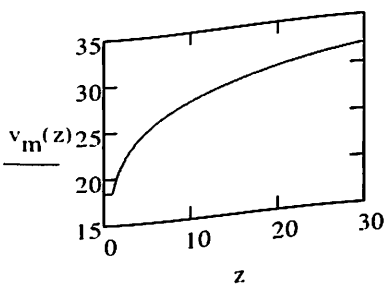
3.1.2.2. Domborzat

Domborzati tényező : $c_0(z) := 1.0$

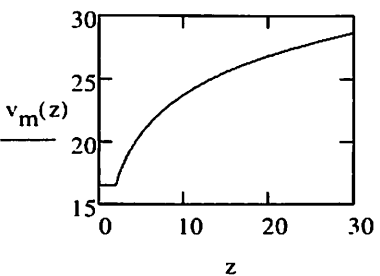
3.1.2.3. Magasság menti változás

Átlagos szélesség z magasságban : $v_m(z) := c_T(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$

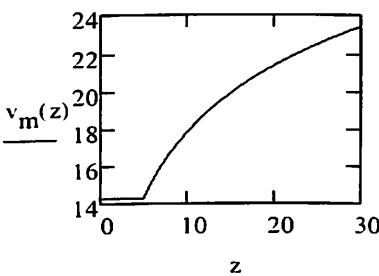
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály



III. beépítettségi osztály



3.1.3. Szélörvény

Örvénylési tényező ajánlott értéke : $k_I := 1$

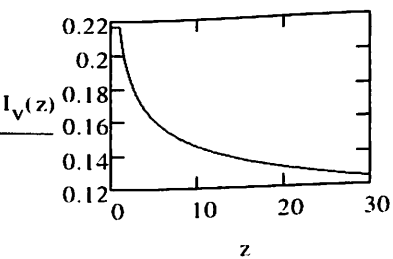
Az örvénylés szórása : $\sigma_v := k_T \cdot v_b \cdot k_I$

Beépítettségi osztály	σ_v [m/s]
I.	4,0062
II.	4,4840
III.	5,0832

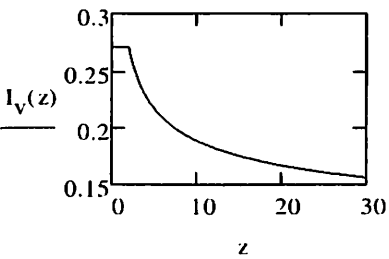
Örvénylési intenzitás :

$$I_v(z) := \begin{cases} \frac{\sigma_v}{v_m(z)} & \text{if } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \\ \frac{\sigma_v}{v_m(z)} & \text{if } z < z_{\min} \end{cases}$$

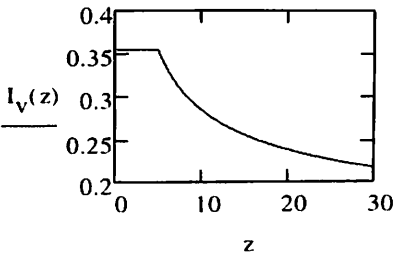
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály



III. beépítettségi osztály



3.1.4. A torlónyomás csúcsértéke

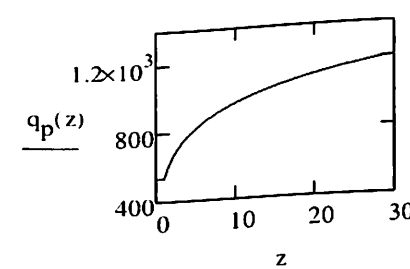
A levegő sűrűsége, nemzeti melléklet szerint : $\rho := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

A torlónyomás alapértéke : $q_b := \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$

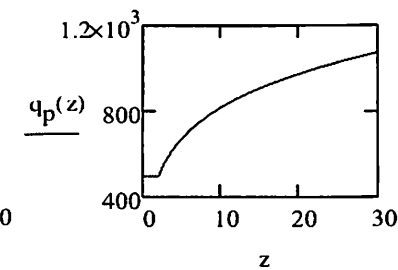
$$q_b = 0.348 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

A torlónyomás csúcsértéke : $q_p(z) := (1 + 7 \cdot I_V(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m(z)^2$

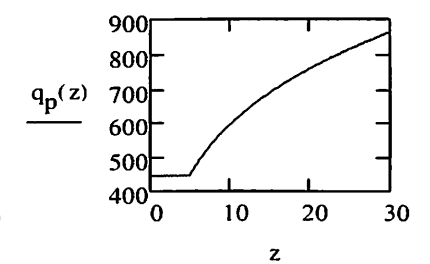
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály

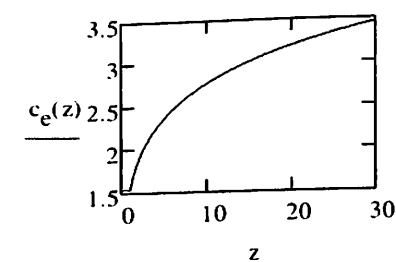


III. beépítettségi osztály

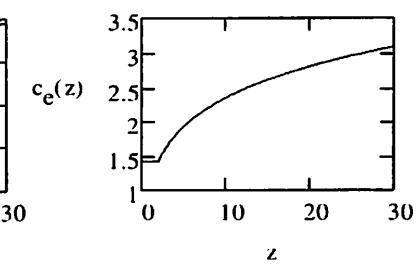


Kitettség tényező : $c_e(z) := \frac{q_p(z)}{q_b}$

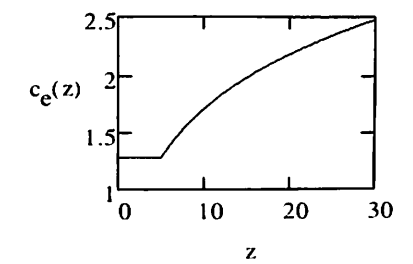
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály



III. beépítettségi osztály



3.1.5. Dinamikai jellemzők
3.1.5.1. Alaprezgésszám

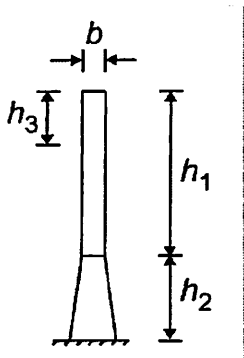
Alaprezgésszám : $n_1 := \frac{46\text{Hz}\cdot\text{m}}{h}$ $n_1 = 1.533 \frac{1}{\text{s}}$

3.1.5.2. Helyettesítő tömeg

Helyettesítő tömeg (a szerkezet felső harmada (h_3 hosszúságú szakasza) mentén átlagolt g_e tömeggel közelíthető.

$b := 1.6\text{m}$
 $h_3 := 4.0\text{m}$
A h_3 részhez tartozó tömeg : $g_e := 215\text{kg}$

Helyettesítő tömeg : $m_e := \frac{g_e}{h_3}$
 $m_e = 53.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$



3.1.5.3. A csillapítás logaritmikus dekrementuma

A szélirányhoz tartozó szélirányú erőtenyező : $c_f := 1.615$

A szélirányú rezgésekhez tartozó aerodinamikai csillapítás δ_a logaritmikus dekrementuma :

$$\delta_a := \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_c}$$

Beépítettségi osztály	δ_a
I.	0,6040
II.	0,5401
III.	0,4408

Az alaprezgéshez tartozó szerkezeti csillapítás δ_s logaritmikus dekrementumának közelítő értéke:
A hajlítási alaprezgésalakhoz tartozó csillapítás δ logaritmikus dekrementuma :

$$\delta_s := 0.05$$

$$\delta := \delta_a + \delta_s$$

Beépítettségi osztály	δ
I.	0,6540
II.	0,5901
III.	0,4908

3.1.6. A c_s és c_D tényezők meghatározása

3.1.6.1. Örvényleválás

Referencia magasság : $z_t := 200\text{m}$

Örvénylési referenciahossz : $L_t := 300\text{m}$

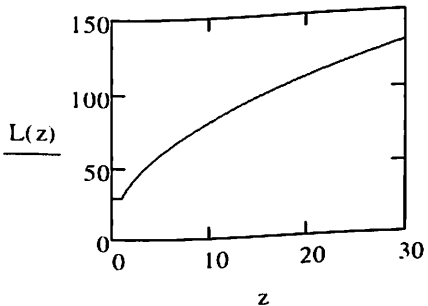
Segédmenyiség : $\alpha := 0.67 + 0.05 \cdot \ln\left(\frac{z_0}{m}\right)$

Beépítettségi osztály	α
I.	0,4390
II.	0,5202
III.	0,6098

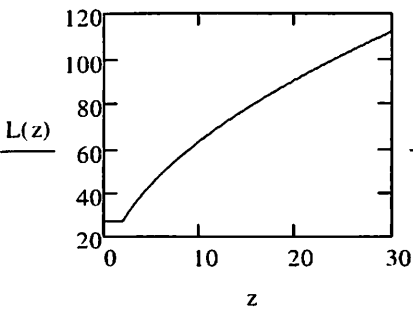
$L(z)$ örvénylési hossz :

$$L(z) := \begin{cases} \left(\frac{z}{z_t}\right)^\alpha \cdot L_t & \text{if } z \geq z_{\min} \\ \left(\frac{z_{\min}}{z_t}\right)^\alpha \cdot L_t & \text{if } z < z_{\min} \end{cases}$$

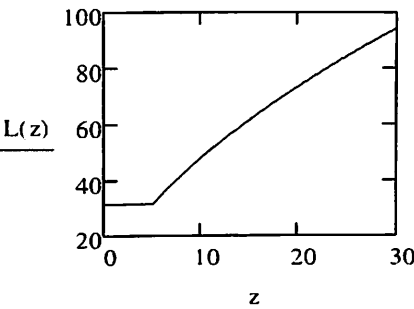
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály

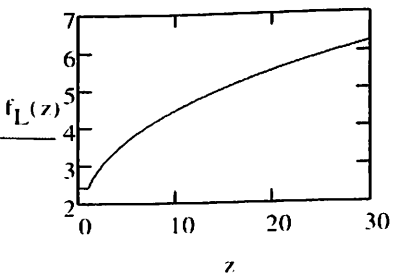


III. beépítettségi osztály

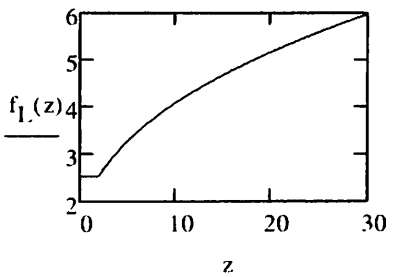


mértékegység nélküli frekvencia : $f_L(z) := \frac{n_L \cdot L(z)}{v_m(z)}$

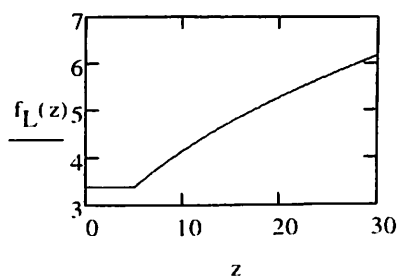
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály



III. beépítettségi osztály



3.1.6.2. Szerkezeti tényező

Háttérválasz tényező :
$$B := \sqrt{\frac{1}{1 + 0.9 \cdot \left(\frac{b + h}{L(z_s)}\right)^{0.63}}}$$

Beépítettségi osztály	B ²
I.	0,7306
II.	0,7113
III.	0,6888

$$\eta_h := \frac{4.6 \cdot h}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s) \quad \text{és} \quad \eta_b := \frac{4.6 \cdot b}{L(z_s)} \cdot f_L(z_s)$$

Beépítettségi osztály	η_h	η_b
I.	6,5969	0,3518
II.	7,3770	0,3934
III.	9,0393	0,4821

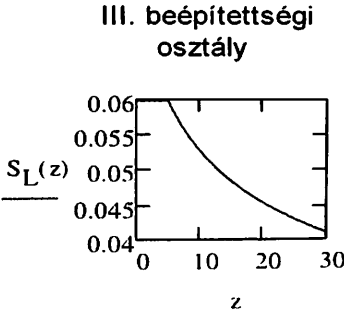
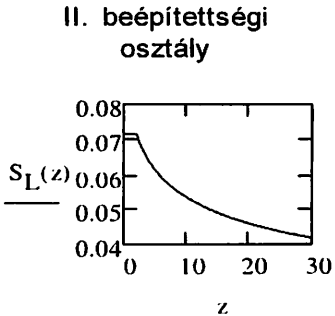
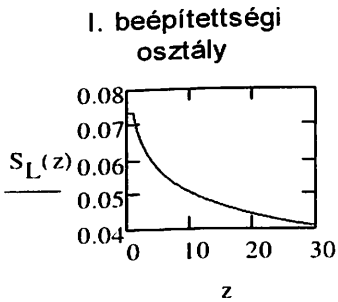
Aerodinamikai vezetőképességi függvények :

$$R_h := \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \cdot \eta_h^2} \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot \eta_h}\right) \quad \text{és} \quad R_b := \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \cdot \eta_b^2} \cdot \left(1 - e^{-2 \cdot \eta_b}\right)$$

Beépítettségi osztály	R _h	R _b
I.	0,1401	0,8015
II.	0,1264	0,7821
III.	0,1045	0,7432

Spektrális teljesítménysűrűség-függvény :

$$S_L(z) := \frac{6.8 \cdot f_L(z)}{\left(1 + 10.2 \cdot f_L(z)\right)^{\frac{5}{3}}}$$



Rezonancia válasz tényező : $R := \sqrt{\frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s) \cdot R_h \cdot R_b}$

Beépítettségi osztály	R ²
I.	0,0346
II.	0,0346
III.	0,0320

Túllépési frekvencia : $\nu := n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad \nu \geq 0,08 \text{ Hz}$

Beépítettségi osztály	\nu
I.	0,3259
II.	0,3303
III.	0,3232

Az átlagos szélesebséghez tartozó időtartam : $T_w := 600s$

Csúcs tényező : $k_p := \max\left(\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}}, 3\right)$

Beépítettségi osztály	k _p
I.	3,4330
II.	3,4369
III.	3,4306

A c_s mérettényező : $c_s := \frac{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s)}$

A c_d mérettényező : $c_d := \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}$

Beépítettségi osztály	c _s	c _d
I.	0,9322	1,0016
II.	0,9182	1,0027
III.	0,8974	1,0015

3.2. Terhek meghatározása

3.2.1. Antennák:

3.2.1.1. A tornyon elhelyezett antennák:

- Antenna 1: 0° 2000x250x160mm, 20kg, H=28,0m
- Antenna 2: 120° 2000x250x160mm, 20kg, H=28,0m
- Antenna 3: 240° 2000x250x160mm, 20kg, H=28,0m
- Mikro antenna 1: 0° 1,2 m átmérőjű, 60kg, H=25,0m
- Mikro antenna 2: 120° 1,2 m átmérőjű, 60kg, H=25,0m

3.2.1.2. Az antennák szélnek kitett felülete:

- Antenna 1
- önsúly: $g_{tp1} := 0.20\text{kN}$
 - antenna magassága: $h_{t1} := 2000\text{mm}$
 - antenna szélessége: $b_{t1} := 250\text{mm}$
 - antenna mélysége: $t_{t1} := 160\text{mm}$
 - antenna talpmagassága: $H_{t1} := 28\text{m}$
 - $A_{t1} := h_{t1} \cdot b_{t1}$ $A_{t1} = 0.5\text{m}^2$

- Antenna 2
- önsúly: $g_{tp2} := 0.20\text{kN}$
 - antenna magassága: $h_{t2} := 2000\text{mm}$
 - antenna szélessége: $b_{t2} := 250\text{mm}$
 - antenna mélysége: $t_{t2} := 160\text{mm}$
 - antenna talpmagassága: $H_{t2} := 28\text{m}$
 - $A_{t2} := h_{t2} \cdot b_{t2}$ $A_{t2} = 0.5\text{m}^2$

- Antenna 3
- önsúly: $g_{tp3} := 0.20\text{kN}$
 - antenna magassága: $h_{t3} := 2000\text{mm}$
 - antenna szélessége: $b_{t3} := 250\text{mm}$
 - antenna mélysége: $t_{t3} := 160\text{mm}$
 - antenna talpmagassága: $H_{t3} := 28\text{m}$
 - $A_{t3} := h_{t3} \cdot b_{t3}$ $A_{t3} = 0.5\text{m}^2$

Mikro antenna 1

önsúly: $g_{tm4} := 0.6 \text{ kN}$
antenna átmérője: $d_{t4} := 1200 \text{ mm}$
antenna mélysége: $t_{t4} := 300 \text{ mm}$
antenna tengelymagassága: $H_{t4} := 25 \text{ m}$
 $A_{t4} := 0.25 \cdot d_{t4}^2 \pi$ $A_{t4} = 1.131 \text{ m}^2$

Mikro antenna 2

önsúly: $g_{tm5} := 0.6 \text{ kN}$
antenna átmérője: $d_{t5} := 1200 \text{ mm}$
antenna mélysége: $t_{t5} := 300 \text{ mm}$
antenna tengelymagassága: $H_{t5} := 25 \text{ m}$
 $A_{t5} := 0.25 \cdot d_{t5}^2 \pi$ $A_{t5} = 1.131 \text{ m}^2$

3.2.1.3. Antennák szélterhelésének erőtenyezője :

Mikroantennák szélirányt figyelembe vevő csökkentő tényezője : $K_{ancill_m} := 1$

Szektorsugárzó antennák szélirányt figyelembe vevő csökkentő tényezője : $K_{ancill_s} := 1$

Szektorsugárzó antennák alaki tényezői (c_p) :

Szemből érkező szél esetén: $c_{pfront} := 1.0$
Oldalról érkező szél esetén: $c_{poldal} := 0.7$
Hátulról érkező szél esetén: $c_{phátul} := 1.6$

Mikro antennák alaki tényezői (c_m) :

Szemből érkező szél esetén: $c_{mfront} := 1.4$
Oldalról érkező szél esetén: $c_{moldal} := 0.6$
Hátulról érkező szél esetén: $c_{mhátul} := 1.4$

Szélterhelés erőtenyezője : $C_{f,a} = K_{ancill} * c_p$

3.2.2. Kábelek

3.2.2.1. Az antennák üzemeléséhez szükséges, tornyon elhelyezett kábelek:

3 db 7/8" kábel torony lábától az antennák magasságáig vezetve

2 db 1/2" kábel torony lábától a mikro antennák magasságáig vezetve

3.2.2.2. A kábelek szélnek kitett felülete

1/2" átmérő: $d_{t0.5} := 12\text{mm}$
 folyóméter önsúly: $g_{t0.5} := 0.0022 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

7/8" átmérő: $d_{t7.8} := 22.4\text{mm}$
 folyóméter önsúly: $g_{t7.8} := 0.0055 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Kábelek folyóméter önsúlya: $g_{tkábel} := 3g_{t7.8} + 2g_{t0.5}$

Kábelek "összátmérője": $d_{tkábel} := 3d_{t7.8} + 2d_{t0.5}$
 $d_{tkábel} = 0.091\text{m}$

Kábelek felülete
 szekciónként (6m): $A_{tkábel} := (3d_{t7.8} + 2d_{t0.5}) \cdot 6\text{m}$
 $A_{tkábel} = 0.547\text{m}^2$

3.2.2.3. Kábelek szélterhelésének erőtenyezője

A torony árnyékolását figyelembe vevő csökkentő tényező: $K_A := 0.8$

A szög az uralkodó széliránynak a lineáris
 szerkezeti elemek hossz tengelyével bezárt szöge: $\psi := \frac{\pi}{2}\text{rad}$

Kábelek alaki tényezője: $c_{kábel} := 1.20$

Szélterhelés erőtenyezője: $C_{f,a,kábel} = K_A \cdot c_{kábel} \cdot \sin(\psi)^2$

3.2.3. Hágcsó

3.2.3.1. Hágcsó szélnek kitett felülete

Hágcsó szélnek kitett felülete 1,0m-re: $A_{hágcsó} := 0.19\text{m}^2$

Hágcsó folyóméter súlya: $g_{hágcsó} := 0.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Hágcsó alaki tényezője: $c_{hágcsó} := 2.0$

3.2.3.2. Hágcsó szélterhelésének erőtenyezője

Szélterhelés erőtenyezője: $C_{f,a,hágcsó} = K_A \cdot c_{hágcsó} \cdot \sin(\psi)^2$

3.2.2.2. A kábelek szélnek kitett felülete

$$\begin{aligned} 1/2'' \quad \text{átmérő:} \quad d_{t0.5} &:= 12\text{mm} \\ \text{folyóméter önsúly:} \quad g_{t0.5} &:= 0.0022 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \\ 7/8'' \quad \text{átmérő:} \quad d_{t7.8} &:= 22.4\text{mm} \\ \text{folyóméter önsúly:} \quad g_{t7.8} &:= 0.0055 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \end{aligned}$$

$$\text{Kábelek folyóméter önsúlya:} \quad g_{tkábel} := 3g_{t7.8} + 2g_{t0.5}$$

$$g_{tkábel} = 0.021 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\begin{aligned} \text{Kábelek "összátmérője":} \quad d_{tkábel} &:= 3d_{t7.8} + 2d_{t0.5} \\ d_{tkábel} &= 0.091\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kábelek felülete} \quad A_{tkábel} &:= (3d_{t7.8} + 2d_{t0.5}) \cdot 6\text{m} \\ \text{szekciónként (6m):} \quad A_{tkábel} &= 0.547\text{m}^2 \end{aligned}$$

3.2.2.3. Kábelek szélterhelésének erőtenyezője

$$\text{A torony árnyékolását figyelembe vevő csökkentő tényező:} \quad K_A := 0.8$$

$$\begin{aligned} \text{A szög az uralkodó széliránynak a lineáris} \\ \text{szerkezeti elemek hossz tengelyével bezárt szöge:} \quad \psi &:= \frac{\pi}{2} \text{rad} \end{aligned}$$

$$\text{Kábelek alakí tényezője:} \quad c_{kábel} := 1.20$$

$$\text{Szélterhelés erőtenyezője:} \quad C_{f,a,kábel} = K_A \cdot c_{kábel} \cdot \sin(\psi)^2$$

3.2.3. Hágcsó

3.2.3.1. Hágcsó szélnek kitett felülete

$$\text{Hágcsó szélnek kitett felülete 1,0m-re:} \quad A_{hágcsó} := 0.19\text{m}^2$$

$$\text{Hágcsó folyóméter súlya:} \quad g_{hágcsó} := 0.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Hágcsó alakí tényezője:} \quad c_{hágcsó} := 2.0$$

3.2.3.2. Hágcsó szélterhelésének erőtenyezője

$$\text{Szélterhelés erőtenyezője:} \quad C_{f,a,hagcso} = K_A \cdot c_{hágcsó} \cdot \sin(\psi)^2$$

3.2.2.2. A kábelek szélnek kitett felülete

1/2" átmérő: $d_{t0.5} := 12\text{mm}$
folyóméter önsúly: $g_{t0.5} := 0.0022 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

7/8" átmérő: $d_{t7.8} := 22.4\text{mm}$
folyóméter önsúly: $g_{t7.8} := 0.0055 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Kábelek folyóméter önsúlya: $g_{tkábel} := 3g_{t7.8} + 2g_{t0.5}$

Kábelek "összátmérője": $d_{tkábel} := 3d_{t7.8} + 2d_{t0.5}$
 $d_{tkábel} = 0.091\text{m}$

Kábelek felülete
szekciónként (6m): $A_{tkábel} := (3d_{t7.8} + 2d_{t0.5}) \cdot 6\text{m}$
 $A_{tkábel} = 0.547\text{m}^2$

3.2.2.3. Kábelek szélterhelésének erőtenyezője

A torony árnyékolását figyelembe vevő csökkentő tényező: $K_A := 0.8$

A szög az uralkodó széliránynak a lineáris
szerkezeti elemek hossz tengelyével bezárt szöge: $\psi := \frac{\pi}{2}\text{rad}$

Kábelek alak tényezője: $c_{kábel} := 1.20$

Szélterhelés erőtenyezője: $C_{f,a,kábel} = K_A \cdot c_{kábel} \cdot \sin(\psi)^2$

3.2.3. Hágcsó

3.2.3.1. Hágcsó szélnek kitett felülete

Hágcsó szélnek kitett felülete 1,0m-re: $A_{hágcsó} := 0.19\text{m}^2$

Hágcsó folyóméter súlya: $g_{hágcsó} := 0.07 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Hágcsó alak tényezője: $c_{hágcsó} := 2.0$

3.2.3.2. Hágcsó szélterhelésének erőtenyezője

Szélterhelés erőtenyezője: $C_{f,a,hágcsó} = K_A \cdot c_{hágcsó} \cdot \sin(\psi)^2$

3.3. Szélteher meghatározása

3.3.1. Statikus helyettesítő teher alkalmazhatósága

$$\frac{7m_T}{\rho_s \cdot R_{wt6} \cdot \sqrt{d_b} \cdot \tau_0} \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 < 1$$

A torony anyagának sűrűsége : $\rho_s := 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$\tau_0 := 0.001 \text{m}$$

A torony terpesztése az alapnál : $b_a := 3.40 \text{m}$

Torony mélysége a szél irányától függően:

0°-os, rácssíkra merőleges szélirány esetén:

$$d_{B,0} := b_a \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 0.75 \quad d_{B,0} = 2.208 \text{m}$$

A toronyszerkezet és kiegészítő szerkezetek szélnek kitett felületének összege:

$$\Sigma (c_f A_{ref}) + \Sigma (c_{f,a} A_{antenna}) + \Sigma (c_{f,a,kabel} A_{kabel}) + \Sigma (c_{f,a,hagcso} A_{hagcso}) = R_{wt}$$

$$R_{wt} := R_{t1,aw} + R_{t2,aw} + R_{t3,aw} + R_{t4,aw} + R_{t5,aw} + R_{t,awkabel} \cdot 5 + R_{aw} \cdot 5 + R_{sw}$$

$$R_{wt} := 32.371 \text{m}^2$$

A felület legalább harmadát adó elemek magassága fentről lefelé : $h_T := 6 \text{m}$

A toronyszerkezet és kiegészítő szerkezetek szélnek kitett felületének harmada :

$$R_{wt6} := R_{t1,aw} + R_{t2,aw} + R_{t3,aw} + R_{t4,aw} + R_{t5,aw} + R_{t,awkabel} \cdot 1 + R_{aw} \cdot 1 + R_{sw} \cdot 5$$

$$R_{wt6} := 9.986 \text{m}^2$$

$$\frac{R_{wt6}}{R_{wt}} = 0.308$$

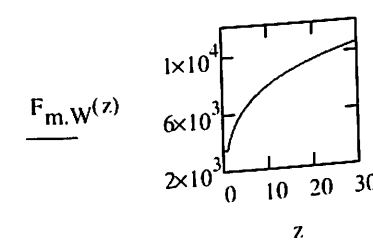
A szélnek kitett felületek harmadát adó elemek tömege : $m_T := 410 \text{kg}$

$$\frac{7m_T}{\rho_s \cdot R_{wt6} \cdot \sqrt{d_{B,0}} \cdot \tau_0} \cdot \left(\frac{5}{6} - \frac{h_T}{h} \right)^2 = 0.312 < 1 \quad \text{a statikus helyettesítő teher alkalmazható!}$$

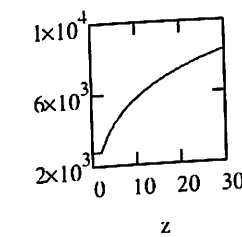
3.3.2. Szélteher számítása helyettesítő statikus teherrel

A szerkezetre ható szélterő : $F_{m,w}(z) := \frac{q_p(z)}{1 + 7 \cdot I_v(z)} \cdot c_f \cdot A_{ref}$

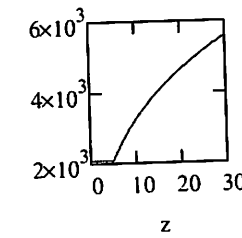
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály

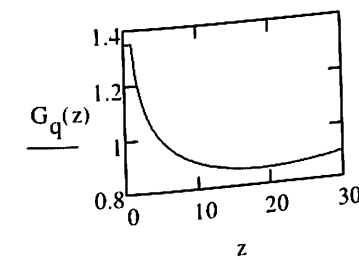


III. beépítettségi osztály

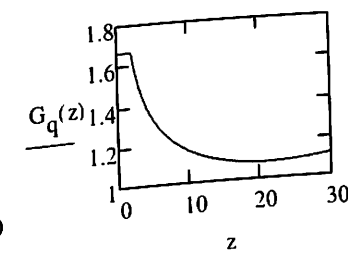


$$G_q(z) := \left[1 + 0.2 \cdot \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right] \cdot \frac{(1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot c_s \cdot c_d - 1}{c_0(z)}$$

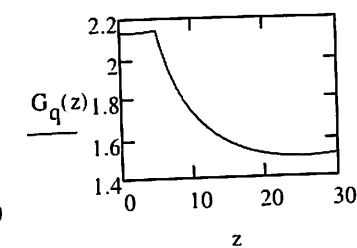
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály



III. beépítettségi osztály



$$F_{Tw}(z) = F_{m,w}(z) \cdot [1 + (G_q)]$$

3.3.2.1. Antennák szélterheinek meghatározása

Antenna 1

$$R_{t1.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{pfront} \cdot A_{t1})$$

$$F_{t1.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m(H_{t1} + h_{t1})^2 \left[(R_{t1.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t1} + \frac{h_{t1}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t1.aw} = 0.5 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t1.tw} [kN]	
	I.	0,6091
	II.	0,5420
III.	0,4304	

Antenna 2

$$R_{t2.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{pfront} \cdot A_{t2})$$

$$F_{t2.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m(H_{t2} + h_{t2})^2 \left[(R_{t2.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t2} + \frac{h_{t2}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t2.aw} = 0.5 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t2.tw} [kN]	
	I.	0,6091
	II.	0,5420
III.	0,4304	

Antenna 3

$$R_{t3.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{phátul} \cdot A_{t3})$$

$$F_{t3.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m(H_{t3} + h_{t3})^2 \left[(R_{t3.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t3} + \frac{h_{t3}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t3.aw} = 0.8 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t3.tw} [kN]	
	I.	0,9746
	II.	0,8671
III.	0,6886	

Mikro antenna 1

$$R_{t4.aw} := K_{ancill_m} \cdot (c_{mfront} \cdot A_{t4})$$

$$F_{t4.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m \left(H_{t4} + \frac{d_{t4}}{2} \right)^2 \left[R_{t4.aw} \cdot (1 + G_q(H_{t4})) \right]$$

$$R_{t4.aw} = 1.583 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t4.tw} [kN]	
	I.	1,8351
	II.	1,6188
III.	1,2663	

Mikro antenna 2

$$R_{t5.aw} := K_{ancill_m} \cdot (c_{mfront} \cdot A_{t5})$$

$$F_{t5.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m \left(H_{t5} + \frac{d_{t5}}{2} \right)^2 \left[R_{t5.aw} \cdot (1 + G_q(H_{t5})) \right]$$

$$R_{t5.aw} = 1.583 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t5.tw} [kN]	
	I.	1,8351
	II.	1,6188
III.	1,2663	

3.3.2.2. Kábelekből származó megoszló terhek

Kábelek széltamada felületei valamint az abból származó megoszló terhek szekciónként :

$$R_{t,awkábel} := (d_{tkábel} \cdot c_{kábel}) \cdot 6m \cdot K_A \cdot \sin(\psi)^2$$

$$R_{t,awkábel} = 0.525 m^2$$

1. szekció

$$F_{t,awkábel.1} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((3m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,awkábel.1} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0353
	II.	0,0287
	III.	0,0191

2. szekció

$$F_{t,awkábel.2} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((9m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,awkábel.2} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0416
	II.	0,0352
	III.	0,0255

3. szekció

$$F_{t,awkábel.3} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((15m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,awkábel.3} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,046
	II.	0,0398
	III.	0,0301

4. szekció

$$F_{t,awkábel.4} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((21m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,awkábel.4} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0498
	II.	0,0438
	III.	0,034

5. szekció

$$F_{t,awkábel.5} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((27m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,awkábel.5} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0535
	II.	0,0476
	III.	0,0378

3.3.2.3. Hágcsóból származó megoszló terhek

Hágcsó széltamadta felülete valamint az abból származó megoszló terhek szekciónként :

$$d_{\text{hágcsó}} := \frac{A_{\text{hágcsó}}}{1000\text{mm}} \quad d_{\text{hágcsó}} = 0.19 \text{ m}$$

$$A_{\text{aw}} := d_{\text{hágcsó}} \cdot 6\text{m} \quad A_{\text{aw}} = 1.14 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{aw}} := c_{\text{hágcsó}} \cdot A_{\text{aw}} \cdot K_A \cdot \sin(\psi)^2 \quad R_{\text{aw}} = 1.824 \text{ m}^2$$

1. szekció

$$F_{\text{aw.1}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(3\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.1} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,130
	II.	0,109
	III.	0,069

2. szekció

$$F_{\text{aw.2}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(9\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.2} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,146
	II.	0,125
	III.	0,093

3. szekció

$$F_{\text{aw.3}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(15\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.3} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,160
	II.	0,139
	III.	0,106

4. szekció

$$F_{\text{aw.4}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(21\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.4} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,172
	II.	0,152
	III.	0,119

5. szekció

$$F_{\text{aw.5}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(27\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.5} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,184
	II.	0,164
	III.	0,131

3.3.2.4. A torony szekcióiból származó megoszló terhek
A torony szekcióiból származó megoszló terhek :

1. szekció

$$F_{tw.1} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6m)^2 \cdot [4.173m^2 \cdot (1 + G_q(3m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.1} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,297	
	II.	0,250	
	III.	0,158	

2. szekció

$$F_{tw.2} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12m)^2 \cdot [3.576m^2 \cdot (1 + G_q(9m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.2} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,287	
	II.	0,245	
	III.	0,182	

3. szekció

$$F_{tw.3} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18m)^2 \cdot [3.088m^2 \cdot (1 + G_q(15m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.3} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,271	
	II.	0,235	
	III.	0,180	

4. szekció

$$F_{tw.4} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24m)^2 \cdot [2.883m^2 \cdot (1 + G_q(21m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.4} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,272	
	II.	0,240	
	III.	0,187	

5. szekció

$$F_{tw.5} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30m)^2 \cdot [2.67m^2 \cdot (1 + G_q(27m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.5} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,270	
	II.	0,240	
	III.	0,191	

4. A 2-es jelű torony szélterhének meghatározása :

4.1. Együtthatók szélteher meghatározásához :

4.1.1. Alapértékek : lásd 3.1.1.

4.1.2. Átlagos szélsebesség : lásd 3.1.2.

4.1.3. Szélörvény lásd 3.1.3.

4.1.4. A torlónyomás csúcscsértéke lásd 3.1.4.

4.1.5. Dinamikai jellemzők lásd 3.1.5.

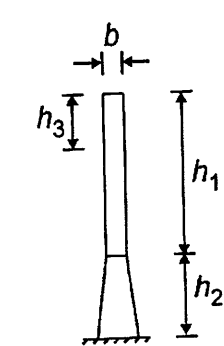
4.1.5.1. Alaprezgésszám

4.1.5.2. Helyettesítő tömeg

Helyettesítő tömeg (a szerkezet felső harmada (h_3 hosszúságú szakasza) mentén átlagolt g_e tömeggel közelíthető.

A h_3 részhez tartozó tömeg :
 $b := 1.6\text{m}$
 $h_3 := 4.0\text{m}$
 $g_e := 271\text{kg}$

Helyettesítő tömeg :
 $m_e := \frac{g_e}{h_3}$
 $m_e = 67.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$



4.1.5.3. A csillapítás logaritmikus dekrementuma

A szélirányhoz tartozó szélirányú erőtenyező :

$c_f := 1.556$

A szélirányú rezgésekhez tartozó aerodinamikai csillapítás δ_a logaritmikus dekrementuma :

$$\delta_a := \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e}$$

Beépítettség osztály	δ_a
I.	0,4800
II.	0,4300
III.	0,3510

Az alaprezgéshez tartozó szerkezeti csillapítás δ_s $\delta_s := 0.05$
 logaritmus dekrementumának közelítő értéke:
 A hajlítási alaprezgésekhez tartozó csillapítás δ $\delta := \delta_a + \delta_s$
 logaritmus dekrementuma :

Beépítettségi osztály	δ
I.	0,5300
II.	0,4801
III.	0,4010

4.1.6. A c_s és c_D tényezők meghatározása

4.1.6.1. Örvényleválás

4.1.6.2. Szerkezeti tényező

Háttérválasz tényező :

Aerodinamikai vezetőképességi függvények :

Spektrális teljesítménysűrűség-függvény :

Rezonancia válasz tényező : $R := \sqrt{\frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s) \cdot R_h \cdot R_b}$

Beépítettségi osztály	R^2
I.	0,0426
II.	0,0430
III.	0,0390

Túllépési frekvencia :

$\nu := n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}}$ $\nu \geq 0,08 \text{ Hz}$

Beépítettségi osztály	ν
I.	0,3600
II.	0,3645
III.	0,3559

Az átlagos szélsébséghez tartozó időtartam : $T := 600s$

Csúcs tényező : $k_p := \max\left(\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}}, 3\right)$

Beépítettség osztály	k_p
I.	3,4618
II.	3,4654
III.	3,4585

$$k_p = 3.459$$

A c_s mérettényező :

$$c_s := \frac{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s)}$$

A c_d mérettényező :

$$c_d := \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}$$

$$c_d = 1.009$$

Beépítettség osztály	c_s	c_d
I.	0,9322	1,0075
II.	0,9182	1,0093
III.	0,8974	1,0089

4.2. Terhek meghatározása

lásd 3.2.

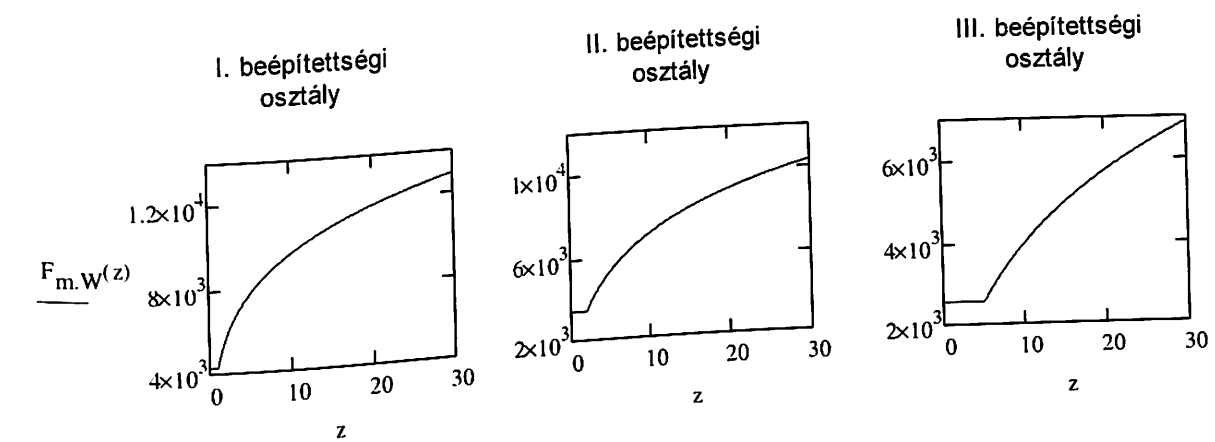
4.3. Szélteher meghatározása

4.3.1. Statikus helyettesítő teher alkalmazhatósága

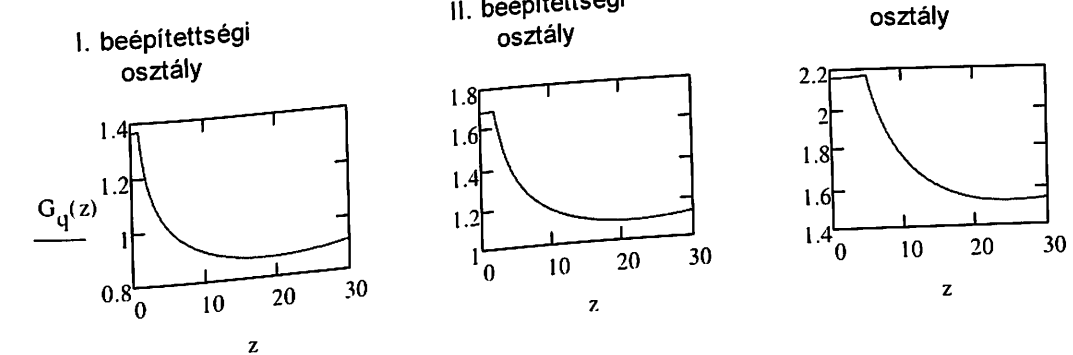
lásd 3.3.1.

4.3.2. Szélteher számítása helyettesítő statikus teherrel

A szerkezetre ható szélterő : $F_{m,W}(z) := \frac{q_p(z)}{1 + 7 \cdot I_v(z)} \cdot c_f \cdot A_{ref}$



$$G_q(z) := \left[1 + 0.2 \cdot \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right] \frac{(1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot c_s \cdot c_d - 1}{c_0(z)}$$



$$F_{Tw}(z) = F_{m,w}(z) \cdot [1 + (Gq)]$$

4.3.2.1. Antennák szélterheinek meghatározása

Antenna 1

$$R_{t1.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{pfront} \cdot A_{t1})$$

$$F_{t1.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m (H_{t1} + h_{t1})^2 \left[(R_{t1.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t1} + \frac{h_{t1}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t1.aw} = 0.5 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t1.tw} [kN]	
	I.	0,6130
	II.	0,5458
	III.	0,4338

Antenna 2

$$R_{t2.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{pfront} \cdot A_{t2})$$

$$F_{t2.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m (H_{t2} + h_{t2})^2 \left[(R_{t2.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t2} + \frac{h_{t2}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t2.aw} = 0.5 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t2.tw} [kN]	
	I.	0,6130
	II.	0,5458
	III.	0,4338

Antenna 3

$$R_{t3.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{phátul} \cdot A_{t3})$$

$$F_{t3.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m (H_{t3} + h_{t3})^2 \left[(R_{t3.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t3} + \frac{h_{t3}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t3.aw} = 0.8 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t3.tw} [kN]	
	I.	0,9808
	II.	0,8733
	III.	0,6941

Mikro antenna 1

$$R_{t4.aw} := K_{ancill_m} \cdot (c_{mfront} \cdot A_{t4})$$

$$F_{t4.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m \left(H_{t4} + \frac{d_{t4}}{2} \right)^2 \left[R_{t4.aw} \cdot (1 + G_q(H_{t4})) \right]$$

$$R_{t4.aw} = 1.583 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t4.tw} [kN]	
	I.	1,8467
	II.	1,6301
	III.	1,2762

Mikro antenna 2

$$R_{t5.aw} := K_{ancill_m} \cdot (c_{mfront} \cdot A_{t5})$$

$$F_{t5.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m \left(H_{t5} + \frac{d_{t5}}{2} \right)^2 \left[R_{t5.aw} \cdot (1 + G_q(H_{t5})) \right]$$

$$R_{t5.aw} = 1.583 \text{ m}^2$$

Beép. Osztály	F _{t5.tw} [kN]	
	I.	1,8467
	II.	1,6301
	III.	1,2762

4.3.2.2. Kábelekből származó megoszló terhek

Kábelek széltaadta felületei valamint az abból származó megoszló terhek szekciónként :

$$R_{t,awkábel} := (d_{tkábel} \cdot c_{kábel}) \cdot 6m \cdot K_A \cdot \sin(\psi)^2$$

$$R_{t,awkábel} = 0.525 m^2$$

1. szekció

$$F_{t,tkábel.1} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((3m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.1} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0376
	II.	0,0287
	III.	0,0317

2. szekció

$$F_{t,tkábel.2} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((9m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.2} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0424
	II.	0,0363
	III.	0,0269

3. szekció

$$F_{t,tkábel.3} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((15m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.3} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0464
	II.	0,0404
	III.	0,0308

4. szekció

$$F_{t,tkábel.4} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((21m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.4} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0499
	II.	0,044
	III.	0,0344

5. szekció

$$F_{t,tkábel.5} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((27m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.5} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,0535
	II.	0,0481
	III.	0,0378

4.3.2.3. Hágcsóból származó megoszló terhek

Hágcsó szeltemadta felülete valamint az abból származó megoszló terhek szekciónként :

$$d_{\text{hágcsó}} := \frac{A_{\text{hágcsó}}}{1000\text{mm}} \quad d_{\text{hágcsó}} = 0.19 \text{ m}$$

$$A_{\text{aw}} := d_{\text{hágcsó}} \cdot 6\text{m} \quad A_{\text{aw}} = 1.14 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{aw}} := c_{\text{hágcsó}} \cdot A_{\text{aw}} \cdot K_A \cdot \sin(\psi)^2 \quad R_{\text{aw}} = 1.824 \text{ m}^2$$

1. szekció

$$F_{\text{aw.1}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}}(1 + G_q(3\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.1} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,131
	II.	0,11
	III.	0,07

2. szekció

$$F_{\text{aw.2}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}}(1 + G_q(9\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.2} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,147
	II.	0,126
	III.	0,094

3. szekció

$$F_{\text{aw.3}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}}(1 + G_q(15\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.3} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,161
	II.	0,140
	III.	0,107

4. szekció

$$F_{\text{aw.4}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}}(1 + G_q(21\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.4} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,173
	II.	0,153
	III.	0,119

5. szekció

$$F_{\text{aw.5}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}}(1 + G_q(27\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.5} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,185
	II.	0,165
	III.	0,132

4.3.2.4. A torony szekcióiból származó megoszló terhek
A torony szekcióiból származó megoszló terhek :

1. szekció

$$F_{tw.1} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6m)^2 \cdot [5.102m^2 \cdot (1 + G_q(3m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.1} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,365
	II.	0,307
	III.	0,195

2. szekció

$$F_{tw.2} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12m)^2 \cdot [4.405m^2 \cdot (1 + G_q(9m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.2} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,355
	II.	0,304
	III.	0,226

3. szekció

$$F_{tw.3} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18m)^2 \cdot [3.832m^2 \cdot (1 + G_q(15m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.3} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,338
	II.	0,294
	III.	0,225

4. szekció

$$F_{tw.4} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24m)^2 \cdot [3.470m^2 \cdot (1 + G_q(21m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.4} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,330
	II.	0,291
	III.	0,227

5. szekció

$$F_{tw.5} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30m)^2 \cdot [3.323m^2 \cdot (1 + G_q(27m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.5} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,338
	II.	0,301
	III.	0,240

5. A 3-as jelű torony szélterhének számítása

5.1. Együtthatók szélteher meghatározásához :

5.1.1. Alapértékek : lásd 3.1.1.

5.1.2. Átlagos szélesebség : lásd 3.1.2.

5.1.3. Szélörvény lásd 3.1.3.

5.1.4. A torlónyomás csúcsértéke lásd 3.1.4.

5.1.5. Dinamikai jellemzők lásd 3.1.5.

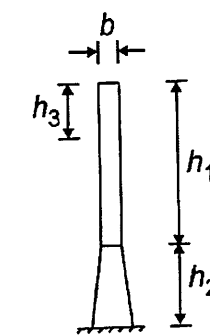
5.1.5.1. Alaprezgésszám

5.1.5.2. Helyettesítő tömeg

Helyettesítő tömeg (a szerkezet felső harmada (h_3 hosszúságú szakasza) mentén átlagolt g_e tömeggel közelíthető.

A h_3 részhez tartozó tömeg : $g_e := 259 \text{ kg}$

Helyettesítő tömeg : $m_e := \frac{g_e}{h_3}$
 $m_e = 64.75 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$



5.1.5.3. A csillapítás logaritmikus dekrementuma

A szélirányhoz tartozó szélirányú erőtenyező

$c_f := 1.579$

A szélirányú rezgésekhez tartozó aerodinamikai csillapítás δ_a logaritmikus dekrementuma :

$$\delta_a := \frac{c_f \cdot \rho \cdot b \cdot v_m(z_s)}{2 \cdot n_1 \cdot m_e}$$

Beépítettség osztály	δ_a
I.	0,5101
II.	0,4562
III.	0,3723

Az alaprezgéshez tartozó szerkezeti csillapítás δ_s
logaritmusos dekrementumának közelítő értéke:

$$\delta_s := 0.05$$

A hajlítási alaprezgésalakhoz tartozó csillapítás δ
logaritmusos dekrementuma :

$$\delta := \delta_a + \delta_s$$

Beépítettségi osztály	δ
I.	0,5601
II.	0,5062
III.	0,4223

5.1.6. A c_s és c_D tényezők meghatározása

5.1.6.1. Örvényleválás

5.1.6.2. Szerkezeti tényező

Háttérválasz tényező :

Aerodinamikai vezetőképességi függvények :

Spektrális teljesítménysűrűség-függvény :

Rezonancia válasz tényező :

$$R := \sqrt{\frac{\pi^2}{2 \cdot \delta} \cdot S_L(z_s) \cdot R_h \cdot R_b}$$

Beépítettségi osztály	R^2
I.	0,0404
II.	0,0404
III.	0,0372

Túllépési frekvencia :

$$\nu := n_1 \cdot \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad \nu \geq 0,08 \text{ Hz}$$

Beépítettségi osztály	ν
I.	0,3508
II.	0,3553
III.	0,3472

Az átlagos szélsébséghez tartozó időtartam : $T := 600s$

Csúcstényező : $k_p := \max\left(\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)} + \frac{0.6}{\sqrt{2 \cdot \ln(\nu \cdot T)}}, 3\right)$

Beépítettség osztály	k_p
I.	3,4544
II.	3,4658
III.	3,4513

A c_s mérettényező : $c_s := \frac{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s)}$

A c_d mérettényező : $c_d := \frac{1 + 2 \cdot k_p \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \cdot I_V(z_s) \cdot \sqrt{B^2}}$

Beépítettség osztály	c_s	c_d
I.	0,9322	1,0059
II.	0,9182	1,0075
III.	0,8974	1,0069

5.2. Terhek meghatározása

lásd 3.2.

5.3. Szélteher meghatározása

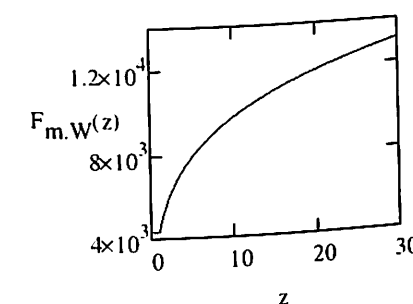
5.3.1. Statikus helyettesítő teher alkalmazhatósága

lásd 3.3.1.

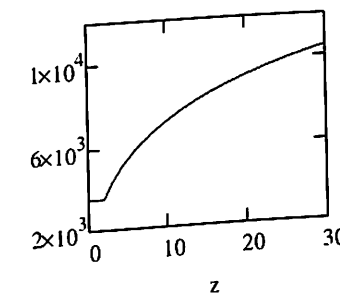
5.3.2. Szélteher számítása helyettesítő statikus teherrel

A szerkezetre ható szélterő : $F_{m,w}(z) := \frac{q_p(z)}{1 + 7 \cdot I_v(z)} \cdot c_f \cdot A_{ref}$

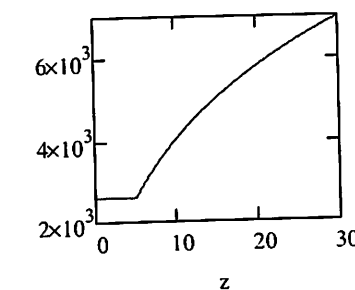
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály

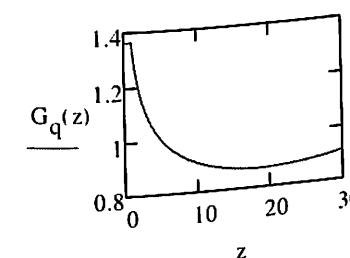


III. beépítettségi osztály

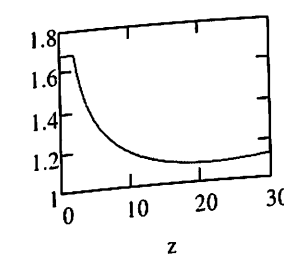


$$G_q(z) := \left[1 + 0.2 \cdot \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right] \cdot \frac{(1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot c_s \cdot c_d - 1}{c_0(z)}$$

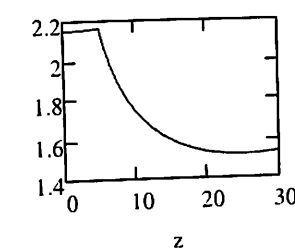
I. beépítettségi osztály



II. beépítettségi osztály



III. beépítettségi osztály



$$F_{Tw}(z) = F_{m,w}(z) \cdot [1 + (G_q)]$$

5.3.2.1. Antennák szélterheinek meghatározása

Antenna 1

$$R_{t1.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{pfront} \cdot A_{t1})$$

$$F_{t1.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m(H_{t1} + h_{t1})^2 \left[(R_{t1.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t1} + \frac{h_{t1}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t1.aw} = 0.5 \text{ m}^2$$

		F _{t1.tw} [kN]
Beép. Osztály	I.	0,6120
	II.	0,5448
	III.	0,4329

Antenna 2

$$R_{t2.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{pfront} \cdot A_{t2})$$

$$F_{t2.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m(H_{t2} + h_{t2})^2 \left[(R_{t2.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t2} + \frac{h_{t2}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t2.aw} = 0.5 \text{ m}^2$$

		F _{t2.tw} [kN]
Beép. Osztály	I.	0,6120
	II.	0,5448
	III.	0,4329

Antenna 3

$$R_{t3.aw} := K_{ancill_s} \cdot (c_{phátul} \cdot A_{t3})$$

$$F_{t3.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m(H_{t3} + h_{t3})^2 \left[(R_{t3.aw}) \cdot \left(1 + G_q \left(H_{t3} + \frac{h_{t3}}{2} \right) \right) \right]$$

$$R_{t3.aw} = 0.8 \text{ m}^2$$

		F _{t3.tw} [kN]
Beép. Osztály	I.	0,9792
	II.	0,8717
	III.	0,6926

Mikro antenna 1

$$R_{t4.aw} := K_{ancill_m} \cdot (c_{mfront} \cdot A_{t4})$$

$$F_{t4.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m \left(H_{t4} + \frac{d_{t4}}{2} \right)^2 \left[R_{t4.aw} \cdot (1 + G_q(H_{t4})) \right]$$

$$R_{t4.aw} = 1.583 \text{ m}^2$$

		F _{t4.tw} [kN]
Beép. Osztály	I.	1,8436
	II.	1,6271
	III.	1,2735

Mikro antenna 2

$$R_{t5.aw} := K_{ancill_m} \cdot (c_{mfront} \cdot A_{t5})$$

$$F_{t5.tw} := \frac{\rho}{2} \cdot v_m \left(H_{t5} + \frac{d_{t5}}{2} \right)^2 \left[R_{t5.aw} \cdot (1 + G_q(H_{t5})) \right]$$

$$R_{t5.aw} = 1.583 \text{ m}^2$$

		F _{t5.tw} [kN]
Beép. Osztály	I.	1,8436
	II.	1,6271
	III.	1,2735

5.3.2.2. Kábelekből származó megoszló terhek

Kábelek széltamadta felületei valamint az abból származó megoszló terhek szekciónként :

$$R_{t,awkábel} := (d_{tkábel} \cdot c_{kábel}) \cdot 6m \cdot K_A \cdot \sin(\psi)^2 \quad R_{t,awkábel} = 0.525 m^2$$

1. szekció

$$F_{t,tkábel.1} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((3m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.1} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,0376	
	II.	0,0316	
	III.	0,0200	

2. szekció

$$F_{t,tkábel.2} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((9m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.2} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,0424	
	II.	0,0362	
	III.	0,0269	

3. szekció

$$F_{t,tkábel.3} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((15m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.3} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,0463	
	II.	0,0403	
	III.	0,0308	

4. szekció

$$F_{t,tkábel.4} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((21m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.4} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,0498	
	II.	0,0439	
	III.	0,0343	

5. szekció

$$F_{t,tkábel.5} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30m)^2 \cdot [R_{t,awkábel} \cdot [1 + G_q((27m))]]}{2 \times 6m}$$

		F _{t,tkábel.5} [kN/m]	
Beép. Osztály	I.	0,053	
	II.	0,0471	
	III.	0,0378	

5.3.2.3. Hágcsóból származó megoszló terhek

Hágcsó széltaadta felülete valamint az abból származó megoszló terhek szekciónként :

$$d_{\text{hágcsó}} := \frac{A_{\text{hágcsó}}}{1000\text{mm}} \quad d_{\text{hágcsó}} = 0.19 \text{ m}$$

$$A_{\text{aw}} := d_{\text{hágcsó}} \cdot 6\text{m} \quad A_{\text{aw}} = 1.14 \text{ m}^2$$

$$R_{\text{aw}} := c_{\text{hágcsó}} \cdot A_{\text{aw}} \cdot K_A \cdot \sin(\psi)^2 \quad R_{\text{aw}} = 1.824 \text{ m}^2$$

1. szekció

$$F_{\text{aw.1}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(3\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.1} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,131
	II.	0,11
	III.	0,07

2. szekció

$$F_{\text{aw.2}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(9\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.2} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,147
	II.	0,126
	III.	0,093

3. szekció

$$F_{\text{aw.3}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(15\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.3} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,161
	II.	0,140
	III.	0,107

4. szekció

$$F_{\text{aw.4}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(21\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.4} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,173
	II.	0,153
	III.	0,119

5. szekció

$$F_{\text{aw.5}} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30\text{m})^2 \cdot [R_{\text{aw}} \cdot (1 + G_q(27\text{m}))]}{2 \times 6\text{m}}$$

		F _{aw.5} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,185
	II.	0,165
	III.	0,131

5.3.2.4. A torony szekcióiból származó megoszló terhek
A torony szekcióiból származó megoszló terhek :

1. szekció

$$F_{tw.1} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(6m)^2 \cdot [5.149m^2 \cdot (1 + G_q(3m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.1} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,368
	II.	0,310
	III.	0,195

2. szekció

$$F_{tw.2} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(12m)^2 \cdot [4.465m^2 \cdot (1 + G_q(9m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.2} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,359
	II.	0,308
	III.	0,228

3. szekció

$$F_{tw.3} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(18m)^2 \cdot [3.881m^2 \cdot (1 + G_q(15m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.3} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,342
	II.	0,297
	III.	0,227

4. szekció

$$F_{tw.4} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(24m)^2 \cdot [3.291m^2 \cdot (1 + G_q(21m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.4} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,312
	II.	0,275
	III.	0,215

5. szekció

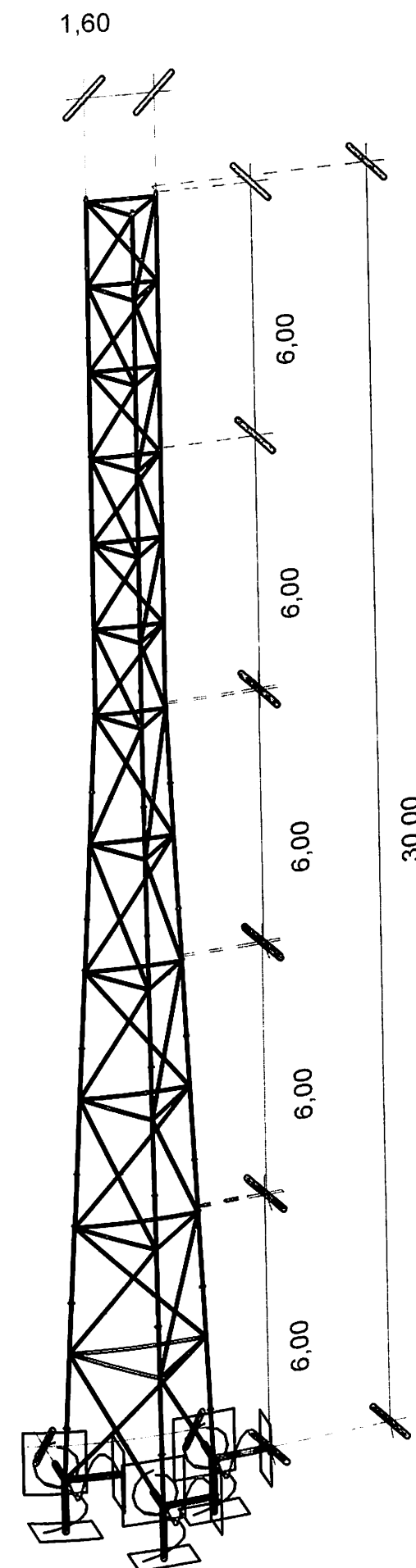
$$F_{tw.5} := \frac{\frac{\rho}{2} \cdot v_m(30m)^2 \cdot [3.275m^2 \cdot (1 + G_q(27m))]}{2 \cdot 6m}$$

		F _{tw.5} [kN/m]
Beép. Osztály	I.	0,332
	II.	0,296
	III.	0,236

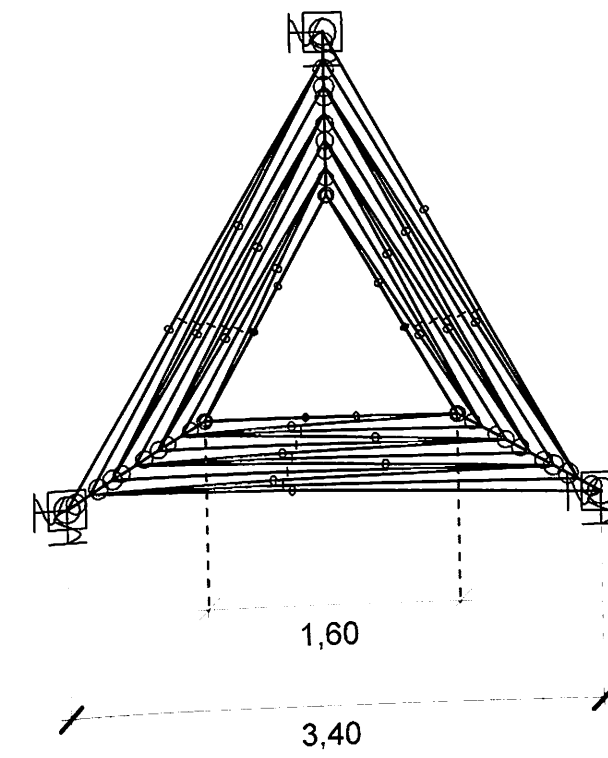
6. Igénybevételek meghatározása

Az előző három pontban meghatároztam a három beépítési osztályhoz tartozó szélteher értékeket mind a három torony esetén. Az igénybevételek meghatározásához felépítettem az Axis VM statikai méretező és számító programban a három torony modelljét. A modell az R-1, R-2 és R-3 tervlapokon látható geometriai, valamint szelvényméretek szerint épült fel. Mindhárom torony azonos befoglaló méretekkel rendelkezik, övrúdjaik szelvénye és kialakítása azonos, különbséget a tornyok rácsozásának kialakítása jelenti. A tornyokról elmondható, hogy egyenlő oldalú háromszög alaprajzú, 30,0m magasságú acélszerkezetű rácsos tornyok. A torony öv- és rácsrúdjai csőszelvényűek. Az öt 30,0m magasságú acélszerkezetű rácsos tornyok terpesztése alul 3,4m, a csúcsonál 1,6m. A torony övrúdjai rácsos szakaszból álló tornyok terpesztése alul 3,4m, a csúcsonál 1,6m. A torony övrúdjai csőszelvényűek, csavarozott karimás kapcsolattal rögzítettek egymáshoz. A rácssíkokat az övrudak és a közöttük lévő rácsosok alkotják. Az övrudakra hegesztett csomólemezekhez csavarozottan, csuklósan csatlakoznak a rácsrudak.

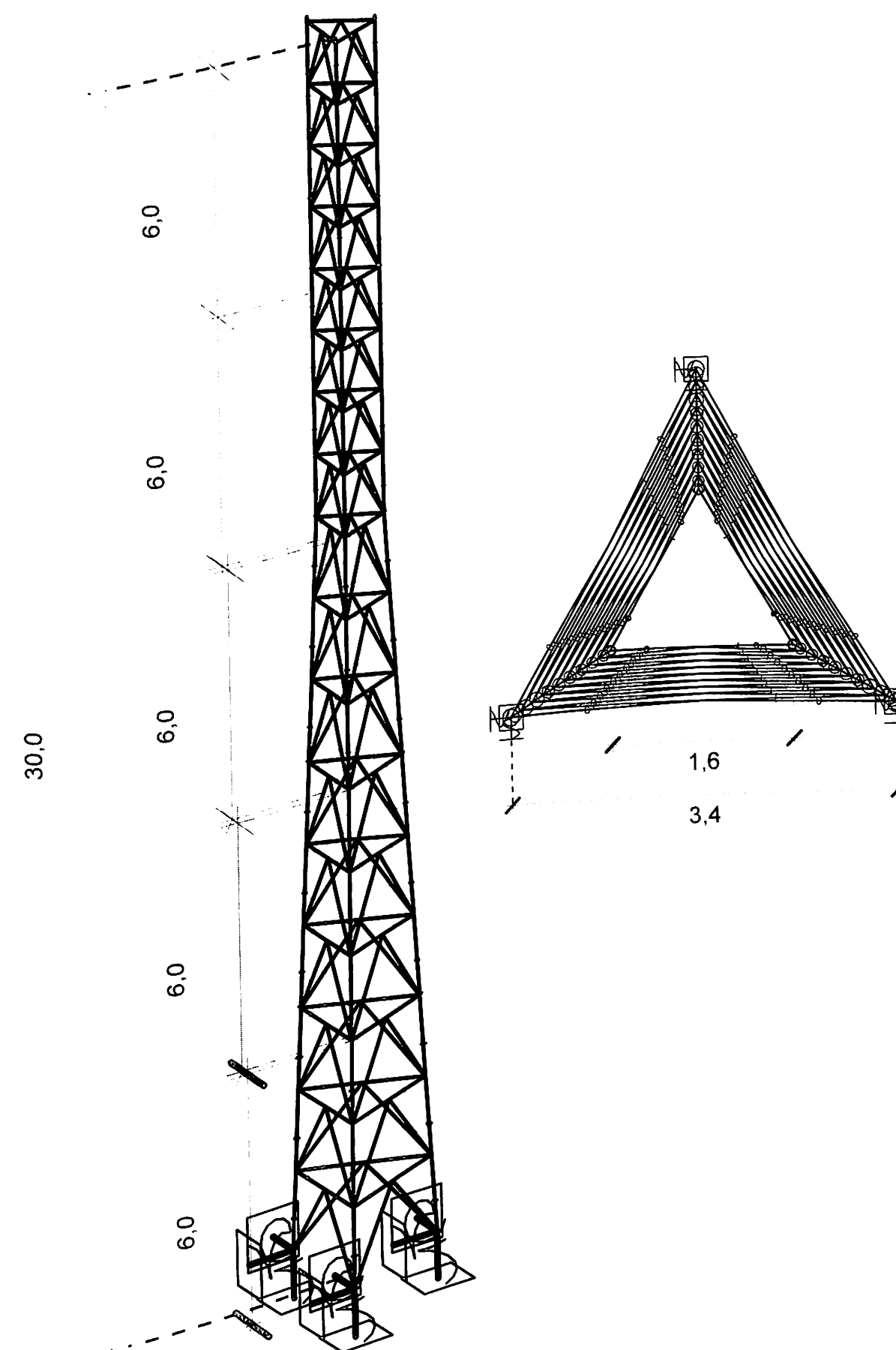
1-es jelű torony



Felülnézet



2-es jelű torony

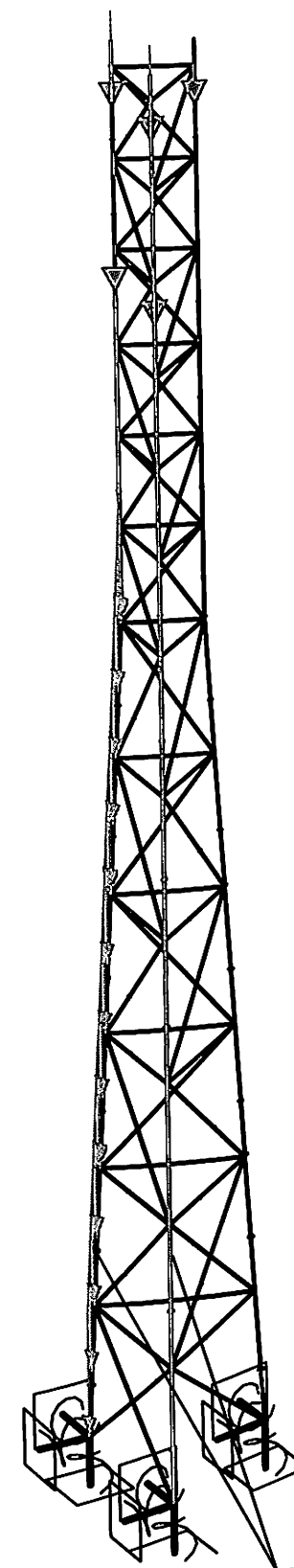


Az antennákból adódó önsúly illetve szélterheket koncentrált, míg az antennák működését biztosító kábelek és a torony antennaszintjére való feljutást biztosító hágcsóból származó önsúly illetve szélterheket megoszoló teherként definiáltam a modellen. A torony szerkezetéből adódó önsúlyt az Axis VM által generáltam, míg a szerkezet hatására keletkező szélterheket az előző három pontban meghatározott értékekkel megoszoló teherként definiáltam. A terhekből előállítottam a mértékadó teherkombinációt az EN-1993-3-1:2006 szabványban leírtak szerint felvett biztonsági tényezővel. A szabvány három biztonsági kategóriába sorolja a toronyokat attól függően, hogy milyen környezetben található. Ahol az 1-es kategória az üresen álló telken, nem látogatott területen található torony, mely egy esetleges tartószerkezeti tönkremenetel esetén nagy valószínűséggel nem fog sérülést okozni, míg a 3-as kategória a sűrűn lakott területeken épített tornyokra vonatkozik, ahol egy esetleges szerkezeti tönkremenetel valószínűsíthetően sérüléseket, emberéletek kioltását okozhatja. Dolgozatomban a két kategória közötti 2-es biztonsági kategóriában vizsgáltam a tornyot, ahol az állandó terhek 1,1-es az esetleges terhek pedig 1,4-es biztonsági szorzóval veendőek figyelembe.

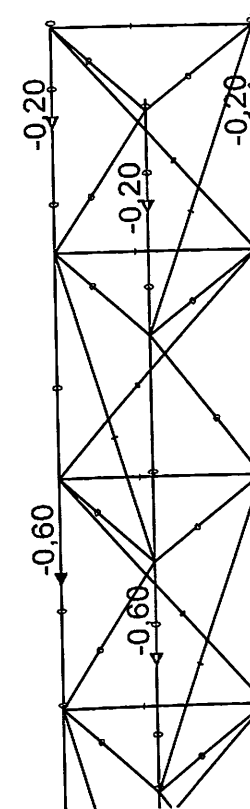
Név Δ	Típus	Torony (Állandó)	Hágcsó (Állandó)	Antenna (Állandó)	Torony szél (Esetleges)	Hágcsó szél (Esetleges)	Antenna szél (Esetleges)	Megjegyzés
1. Tk	-	1.10	1.10	1.10	1.40	1.40	1.40	
2. Tk	-	1.10	1.10	0	1.40	1.40	0	
3. Tk	-	0	0	1.10	0	0	1.40	

Név: Teherkombináció neve; Típus: Teherkombináció típusa;
Antenna szél (Esetleges): Szorzó:

A tornyokon megjelenő önsúly terhek elhelyezkedése

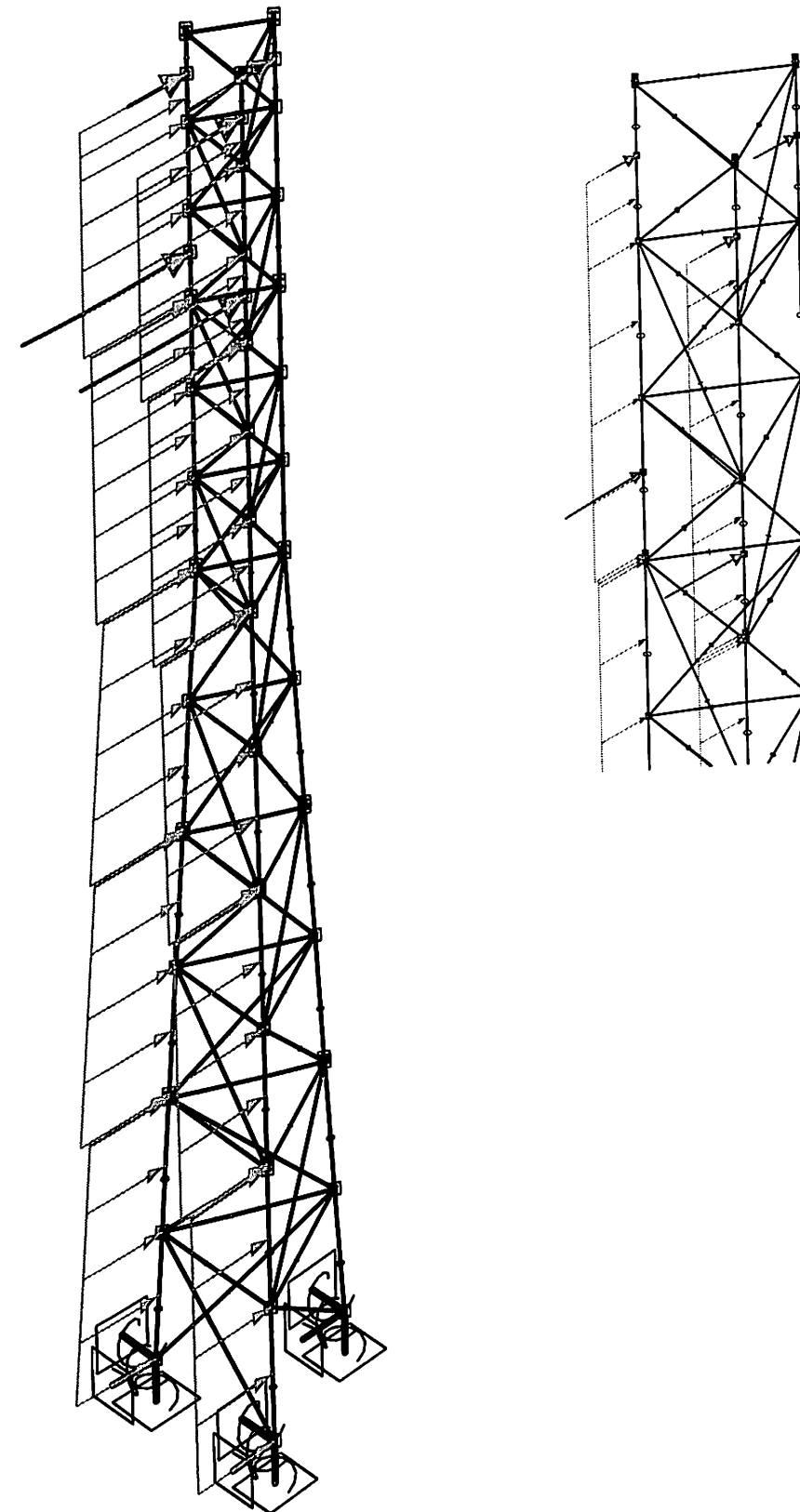


Antennák önsúly terhei
3db antenna (20 kg)
2db mikro antenna (60 kg)

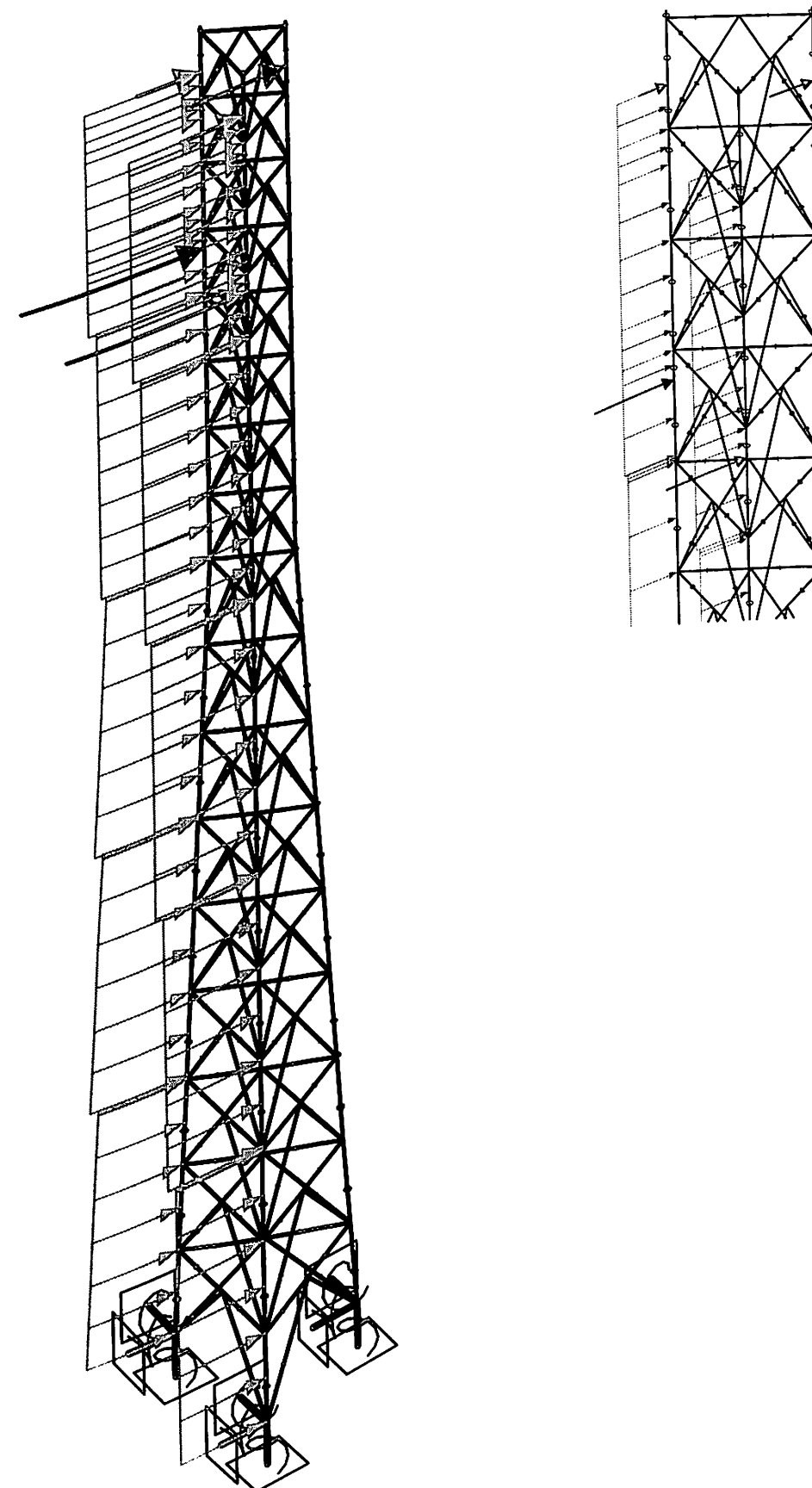


-Kábelek önsúly terhe
-Hágcsó önsúly terhe
(megoszló teherként definiálva, a 3.2. pontban
meghatározott értékek alapján)

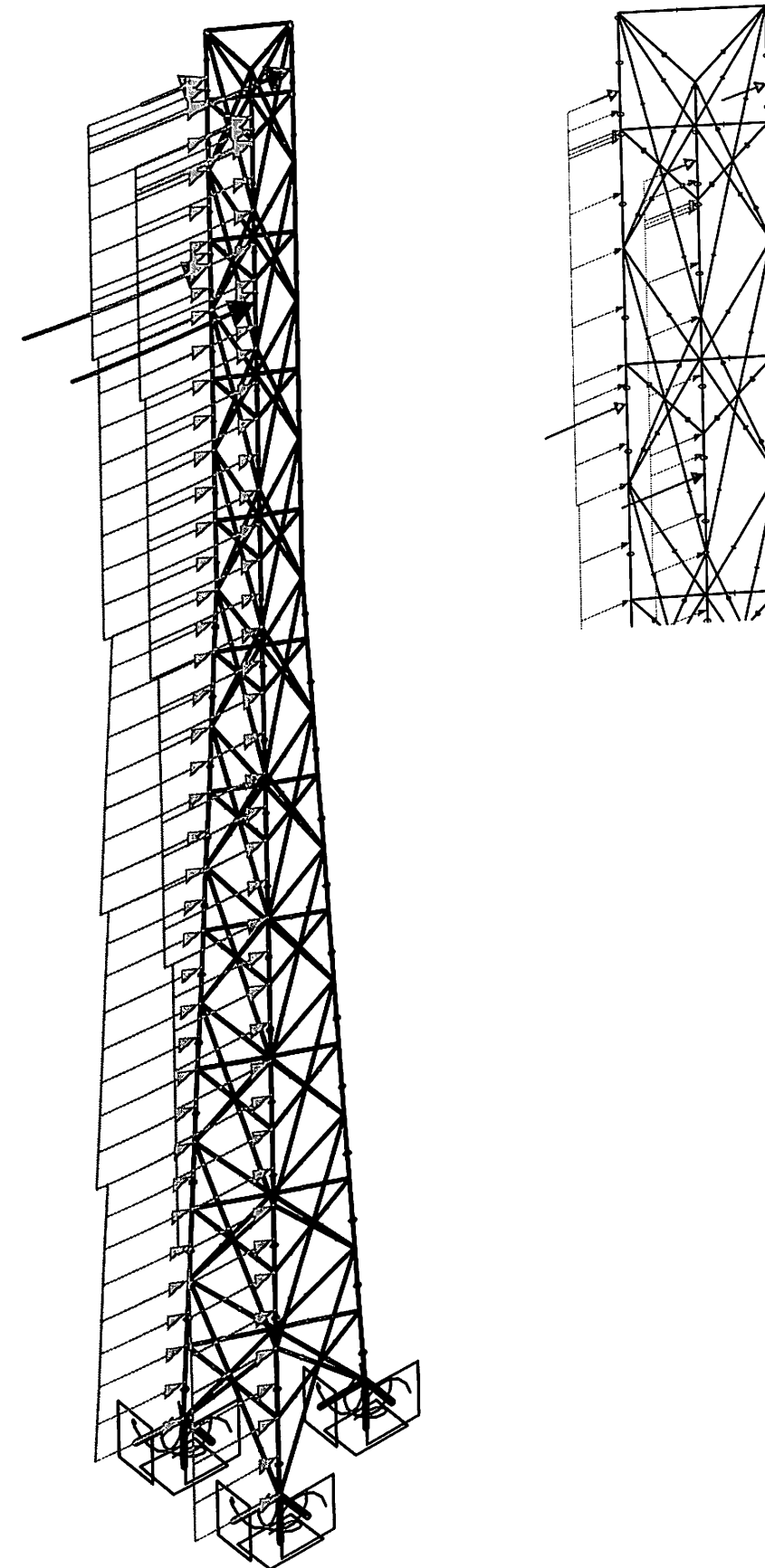
Az 1-es jelű tornyon megjelenő szélterhek a 3.3. pontban meghatározott értékek szerint



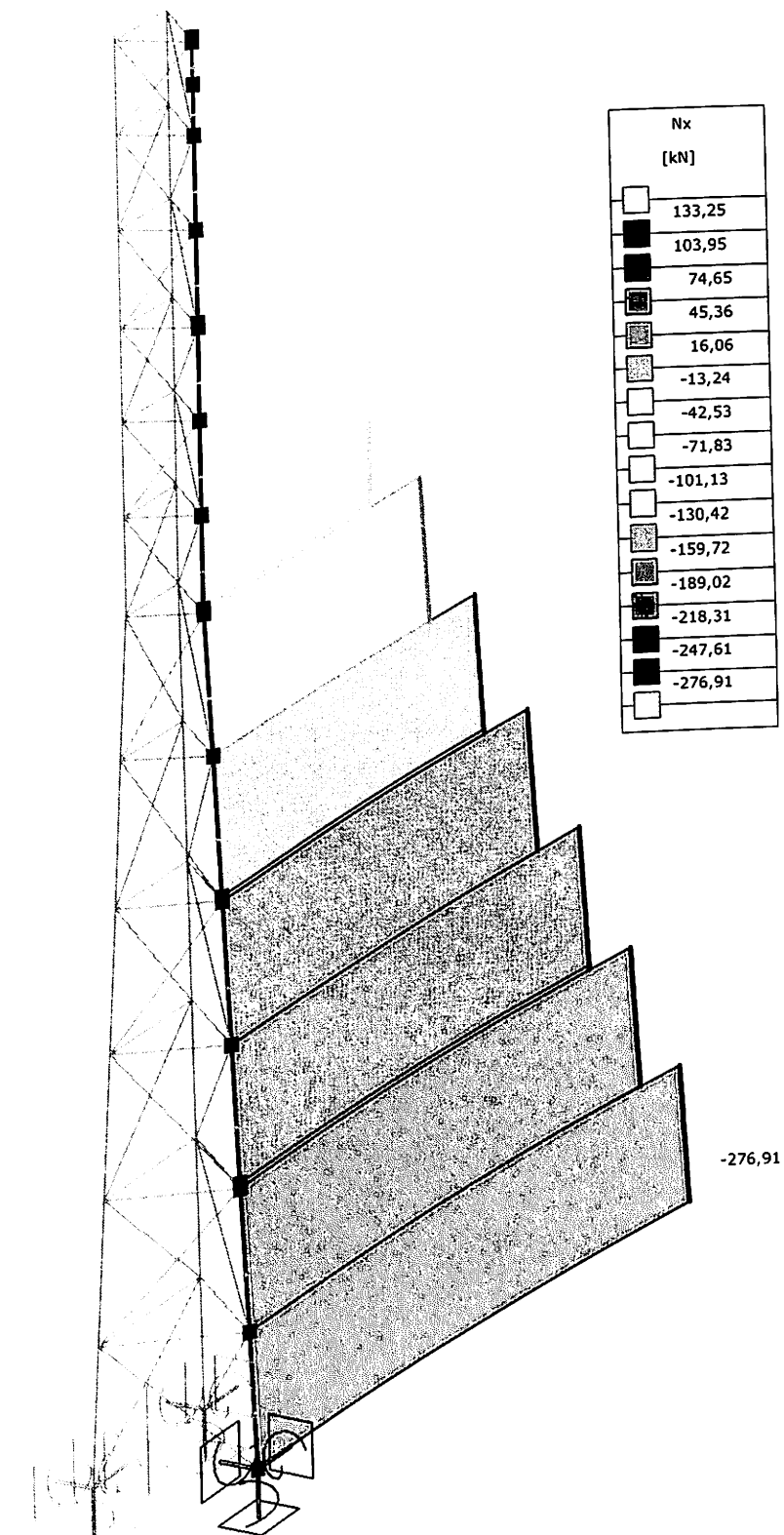
A 2-es jelű tornyon megjelenő szélterhek a 4.3. pontban meghatározott értékek szerint



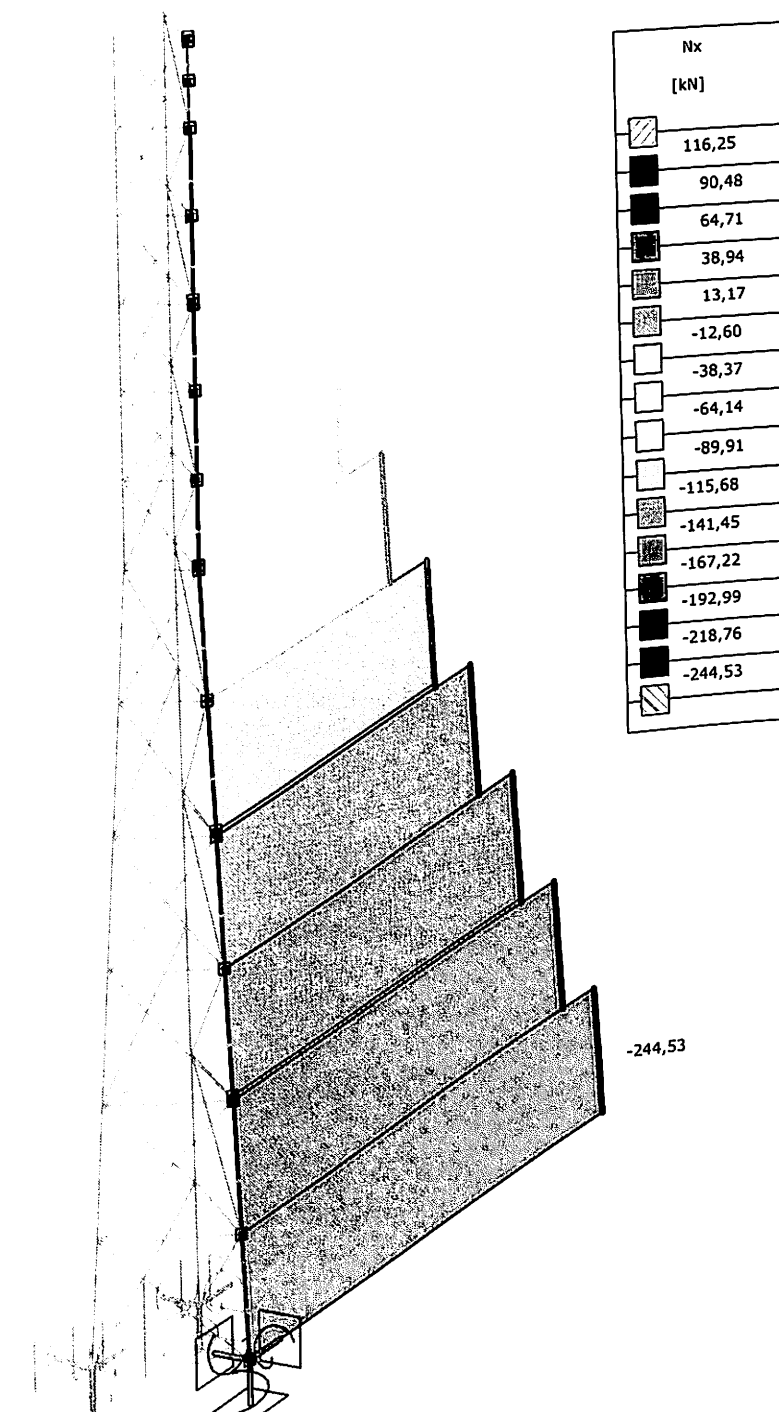
A 3as jelű tornyon megjelenő szélterhek az 5.3. pontban meghatározott értékek szerint



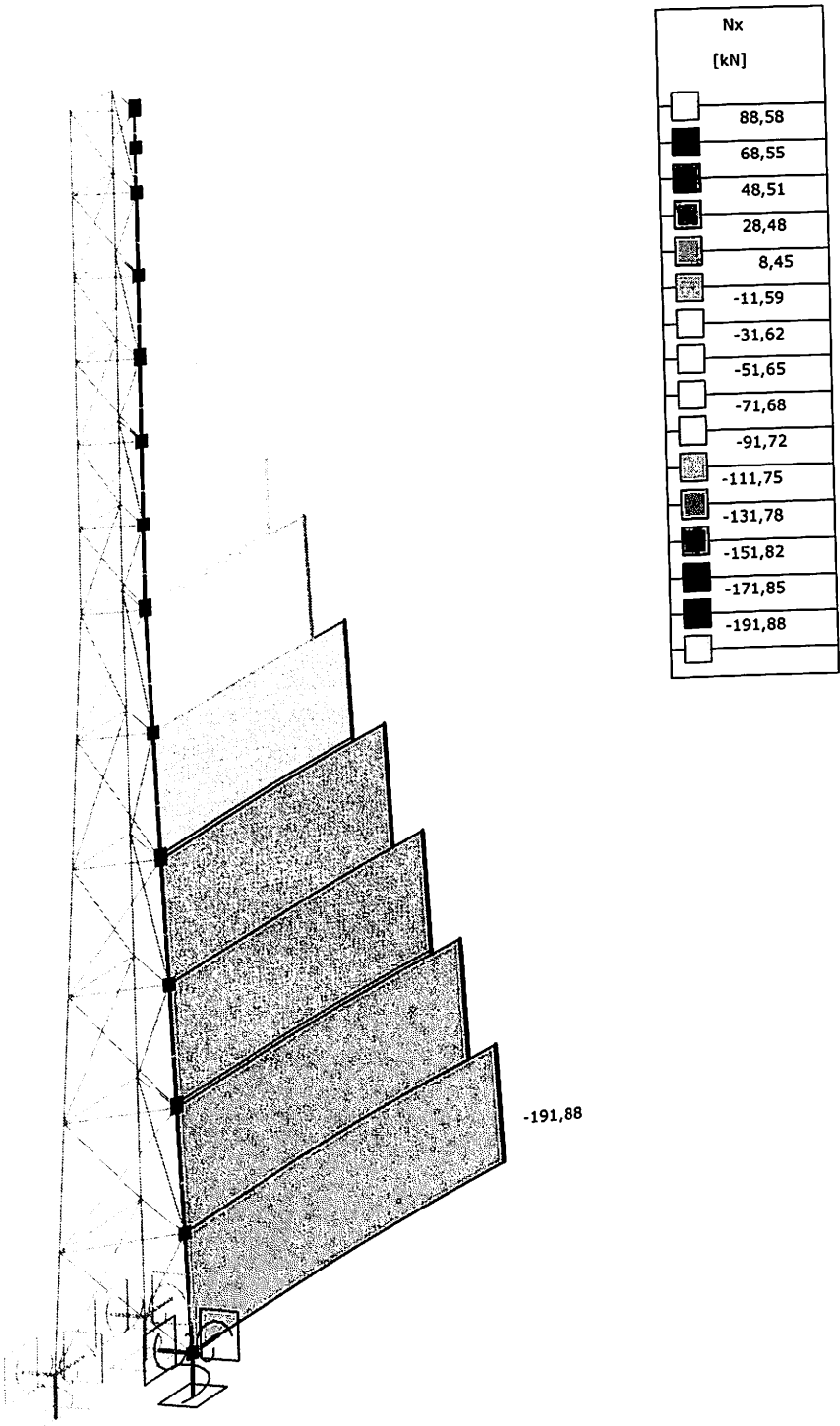
Az 1-es jelű torony, 1-es beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított N_x normálerő értékek a nyomott övrúdban:



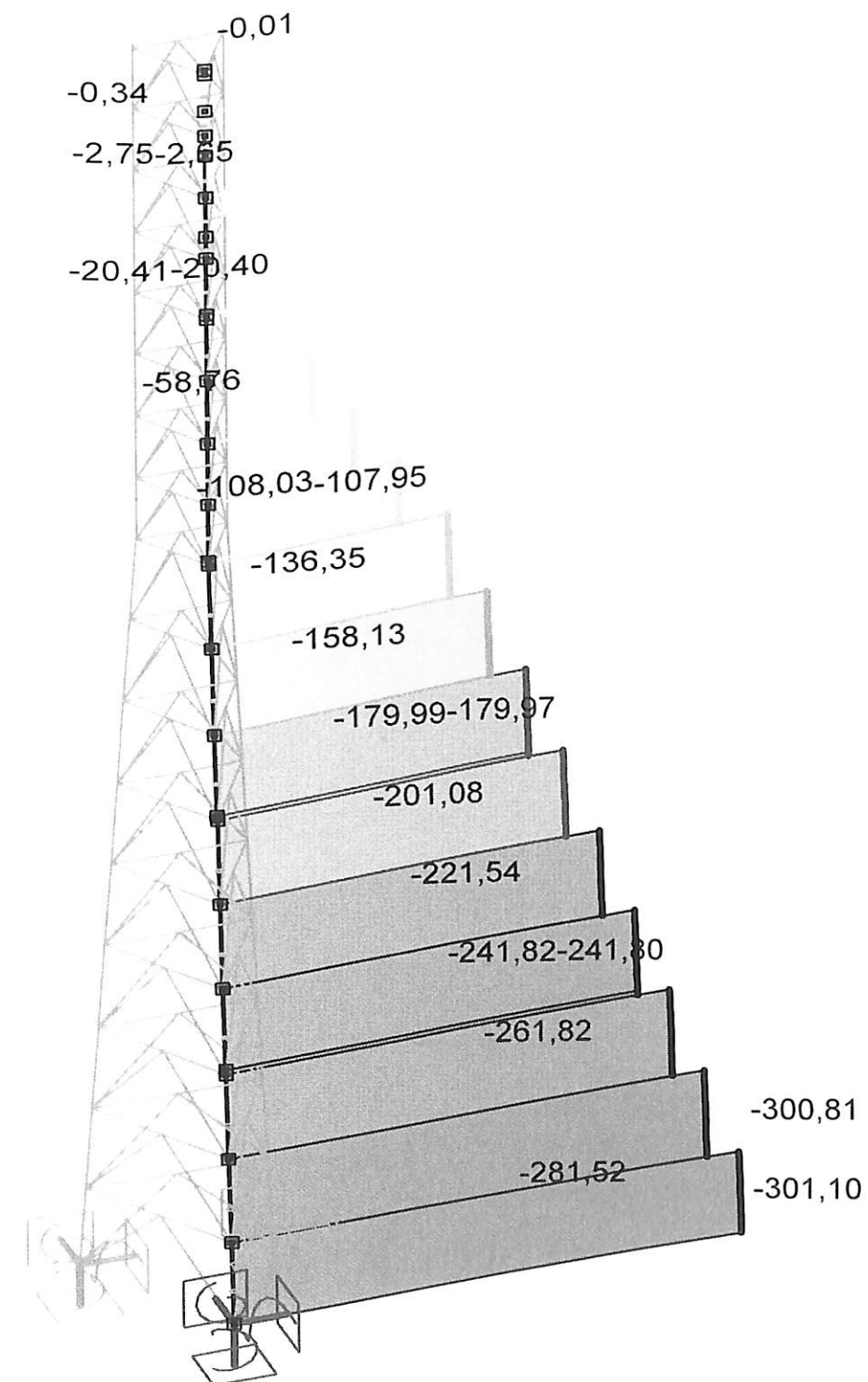
Az 1-es jelű torony, 2-es beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított Nx normálerő értékek a nyomott övrúdban:



Az 1-es jelű torony, 3-as beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított Nx normálerő értékek a nyomott övrúdban:

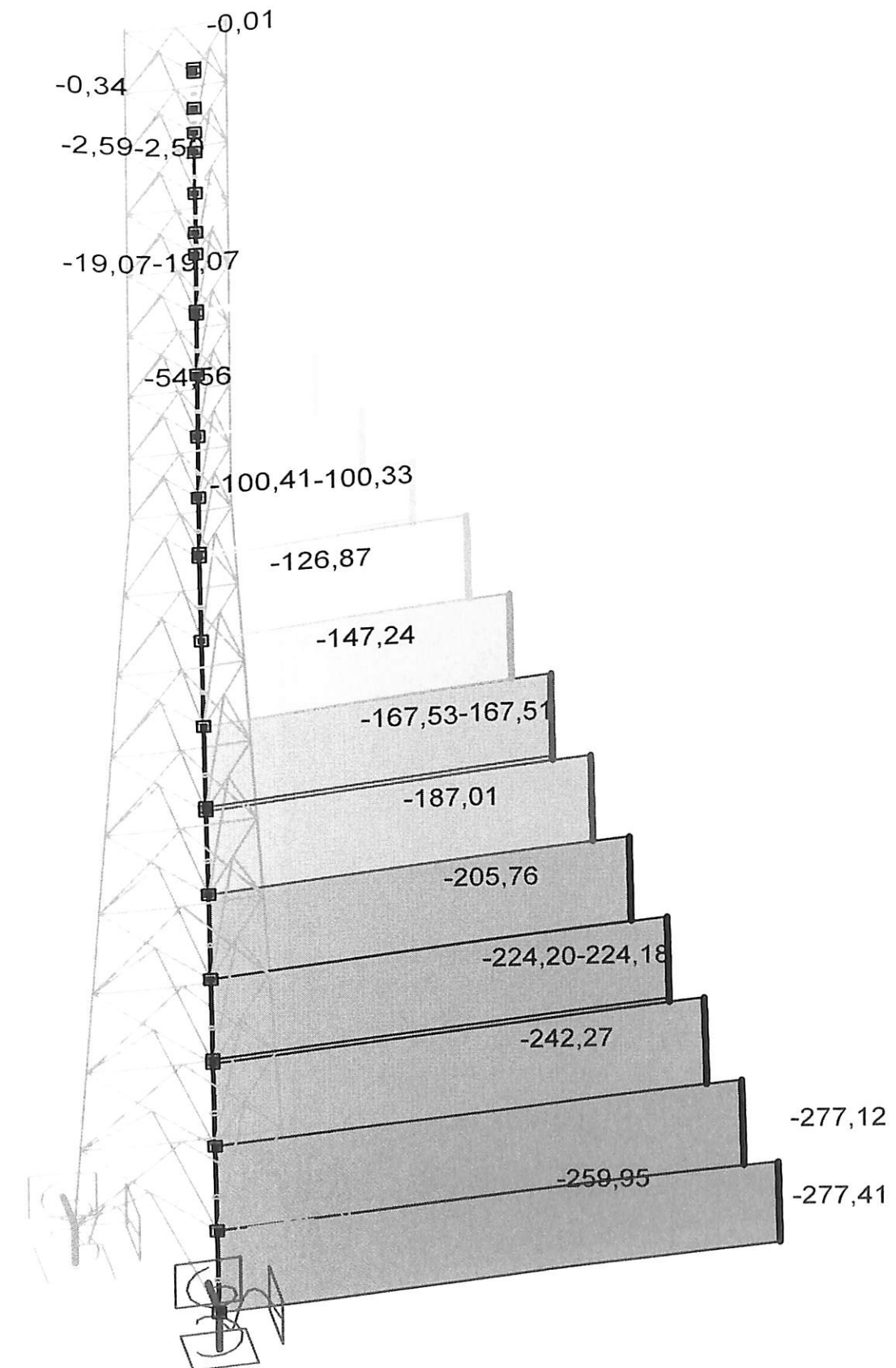


A 2-es jelű torony, 1-es beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított N_x normálerő értékek a nyomott övrúdban:



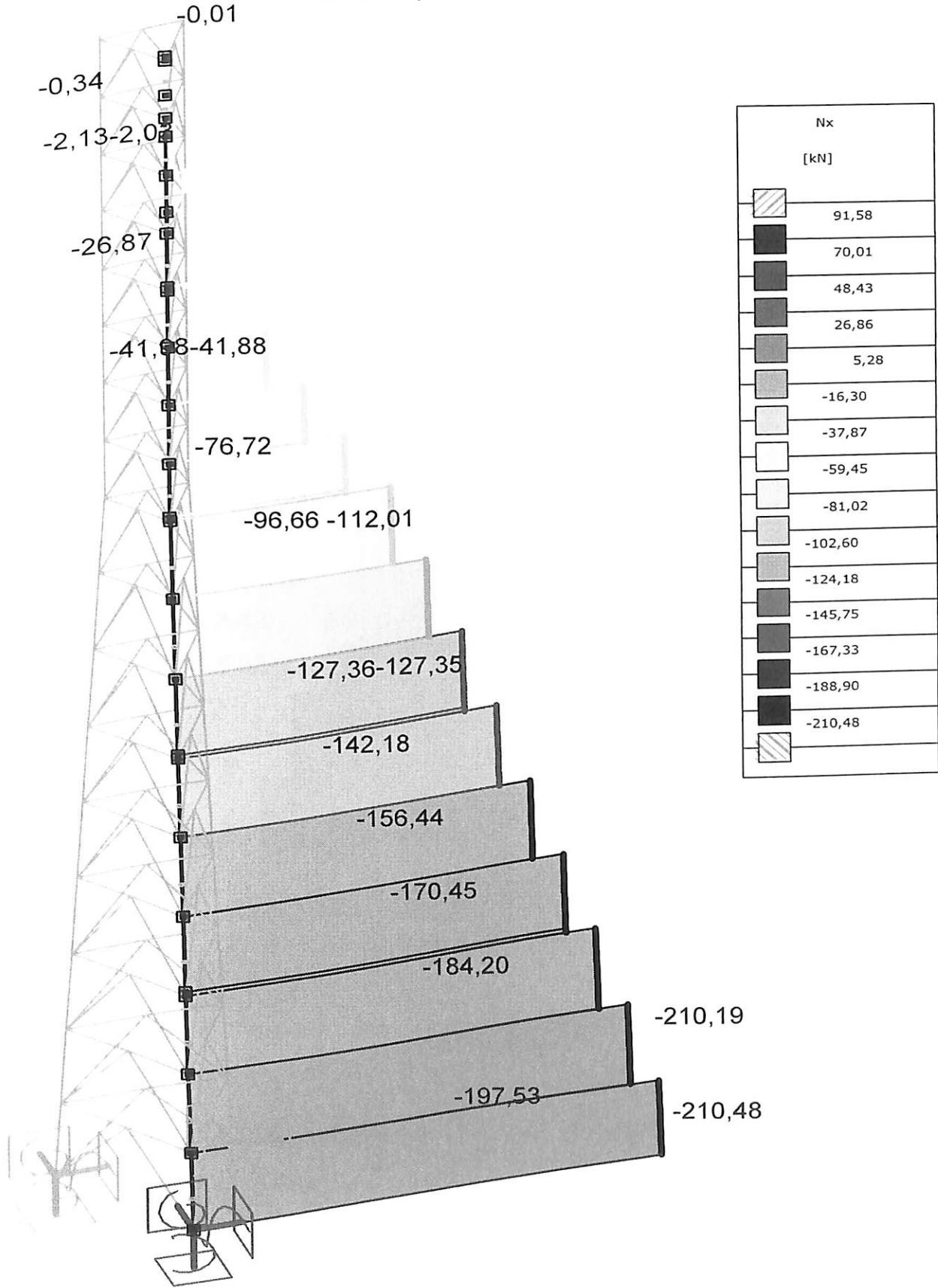
Nx [kN]	
	136,89
	105,60
	74,32
	43,03
	11,75
	-19,54
	-50,82
	-82,11
	-113,39
	-144,68
	-175,96
	-207,25
	-238,53
	-269,82
	-301,10

A 2-es jelű torony, 2-es beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított Nx normálerő értékek a nyomott övrúdban:

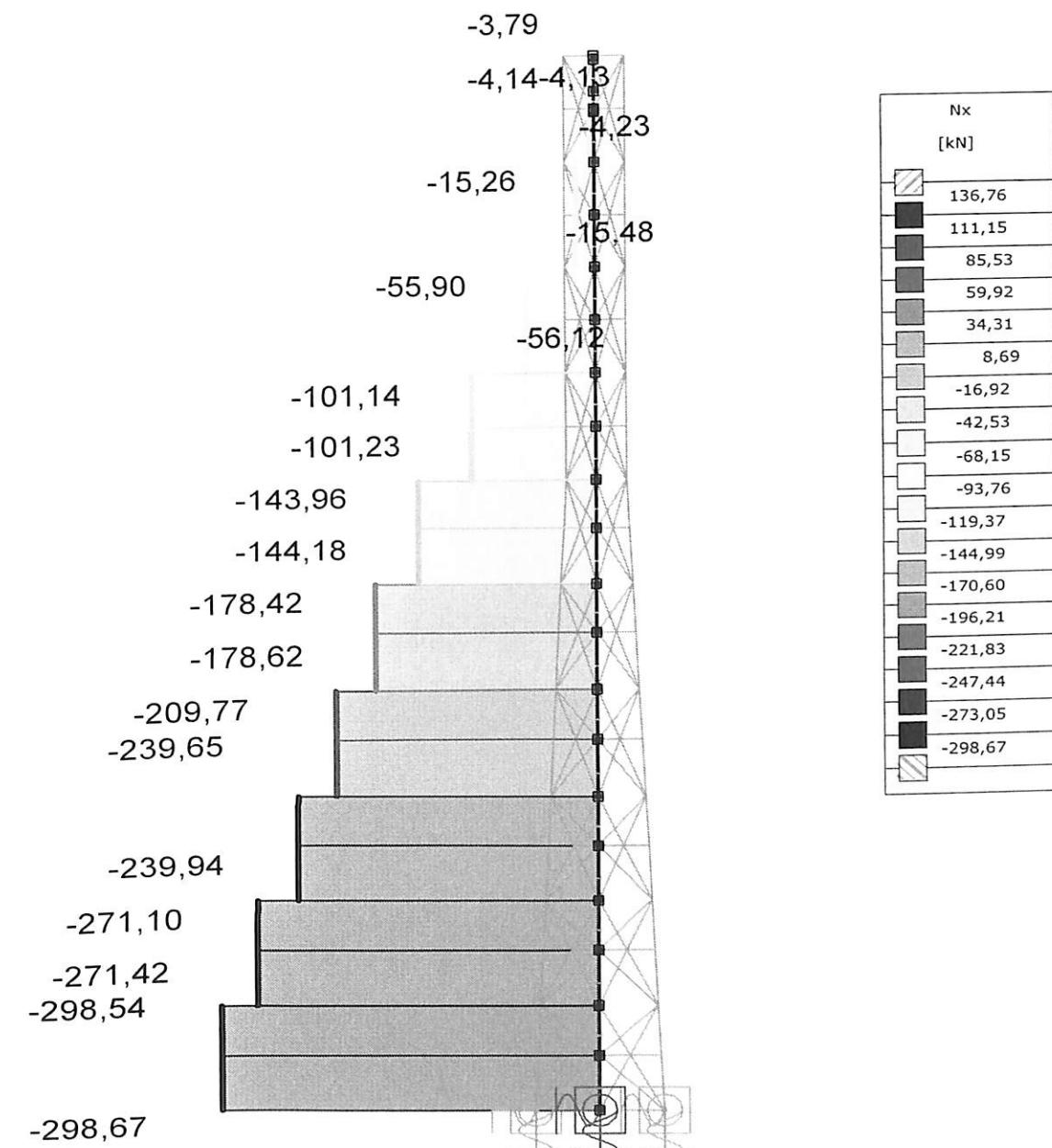


Nx [kN]	
	125,04
	96,30
	67,55
	38,80
	10,06
	-18,69
	-47,44
	-76,18
	-104,93
	-133,68
	-162,42
	-191,17
	-219,91
	-248,66
	-277,41

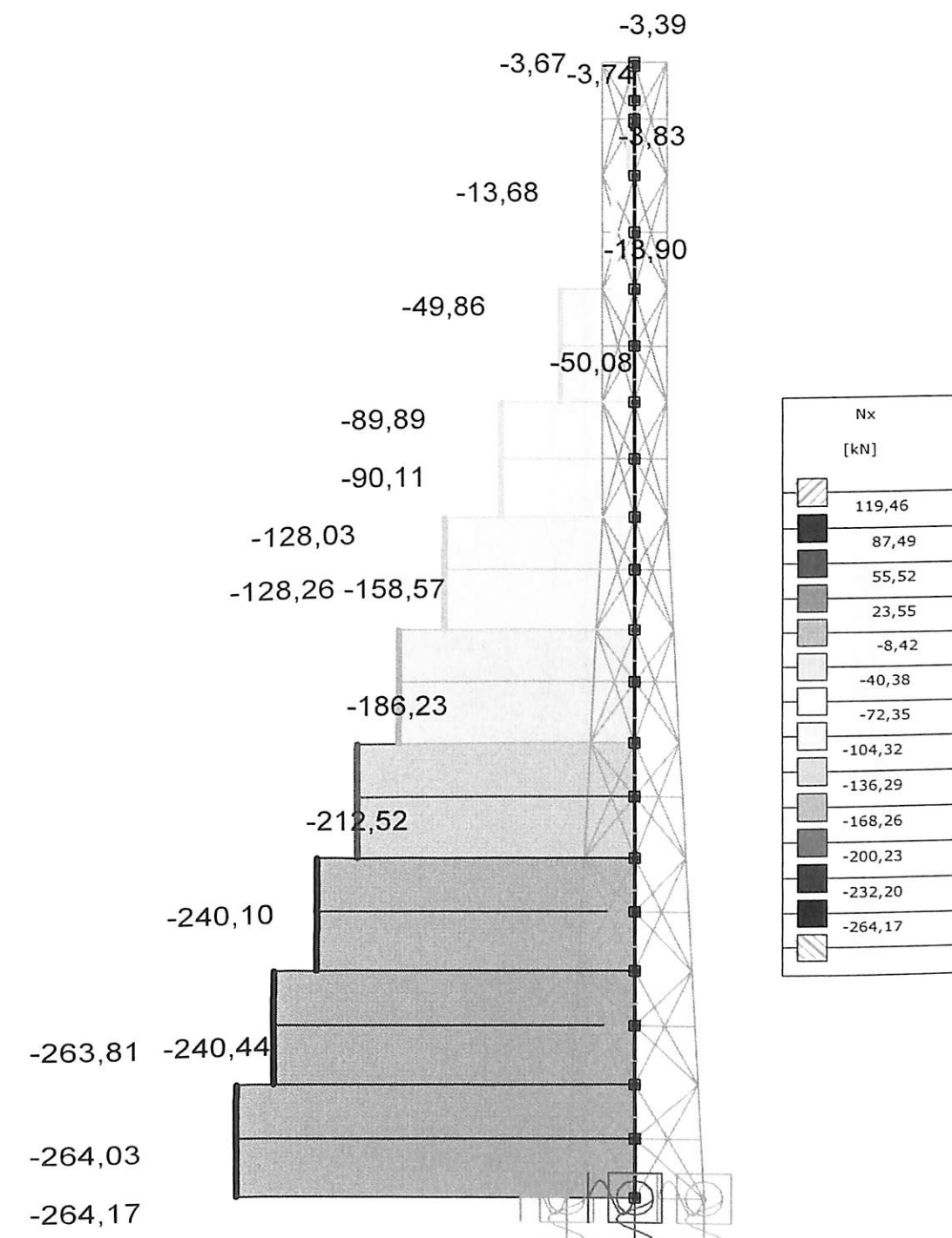
A 2-es jelű torony, 3-as beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított Nx normálerő értékek a nyomott övrúdban:



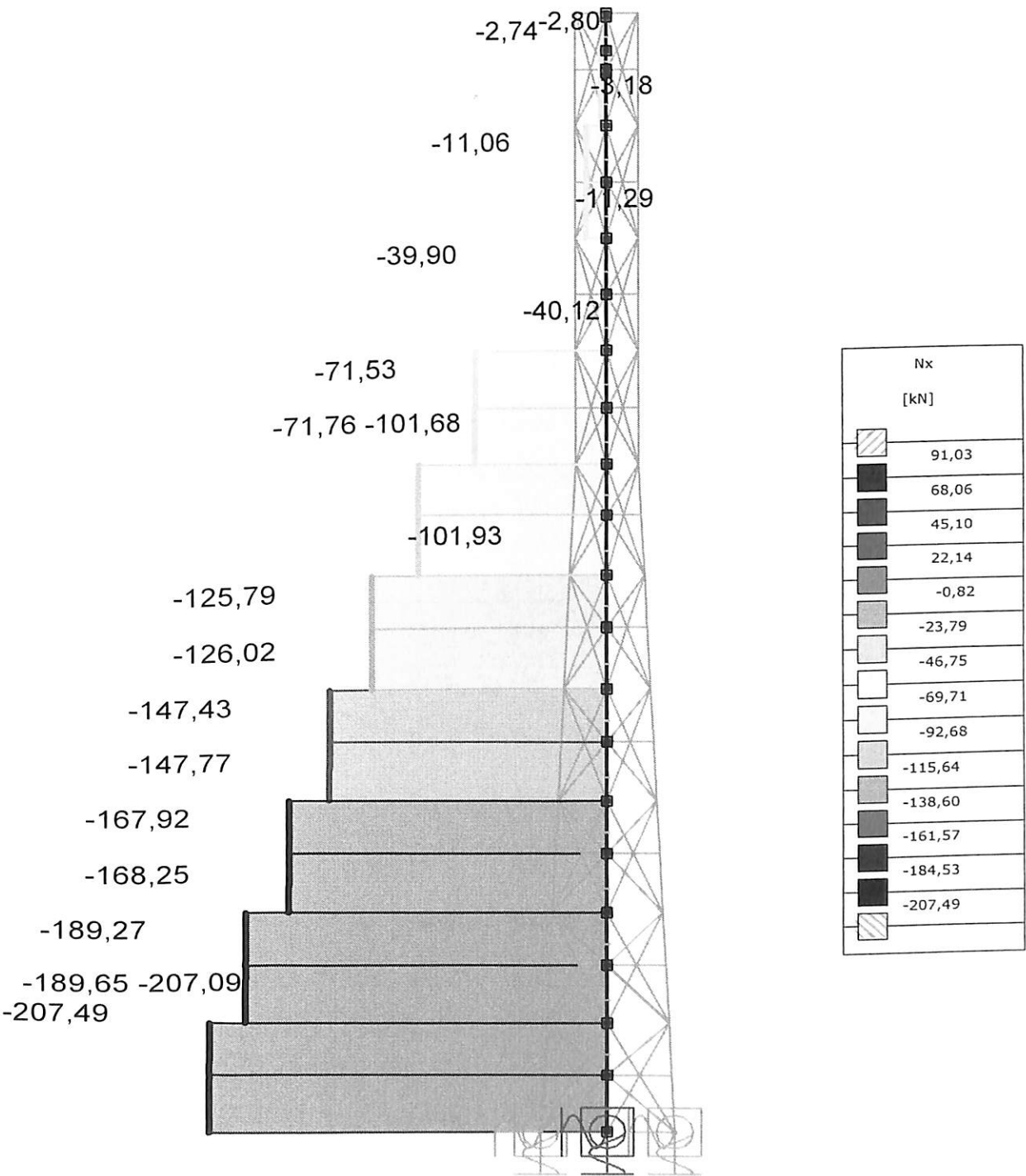
A 3-es jelű torony, 1-es beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított N_x normálerő értékek a nyomott övrúdban:



A 3-es jelű torony, 2-es beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított Nx normálerő értékek a nyomott övrúdban:



A 3-es jelű torony, 3-as beépítettségi osztályhoz tartozó terhekből számított Nx normálerő értékek a nyomott övrúdban:



7. Teherbírás ellenőrzése

Az előző pontban megállapított igénybevételek segítségével ellenőriztem a szerkezet elemeit síkbeli kihajlásra mely a mértékadó erőhatás. A síkbeli kihajlási ellenállás kétszeresen szimmetrikus keresztmetszetű, központosan nyomott rudak esetén számítható.

A síkbeli kihajlási ellenállás számítása:

A keresztmetszetet osztályba soroljuk, meghatározzuk a kihajlási hosszakat, majd kiszámoljuk a viszonyított karcsúságokat. Kiválasszuk a megfelelő kihajlási görbét és a viszonyított karcsúságok alapján a kihajlási csökkentő tényezőket meghatározhatjuk. A kihajlási csökkentő tényező alapján meghatározhatjuk a kihajlási ellenállást.

Az előző pontban meghatározott nyomott övrudakban lévő mértékadó normálerőket hasonlítottam össze táblázatos formában a szelvények síkbeli kihajlási ellenállásával.

Anyagok

	Név	Típus	E_x [kN/cm ²]	ρ [kg/m ³]	P_f
1	S 235	Acél	21000	7850	f_y [kN/cm ²] = 23,50

Szelvények

	Név	Rajz	Gyártás	Alak	t_w [cm]	A_x [cm ²]	I_y [cm ⁴]	i_y [cm]
1	O 51.0 X 2.9		Heng.	Cso	0,3	4,38	12,7	1,7
2	O 60.3 X 2.9		Heng.	Cso	0,3	5,22	21,5	2,0
3	O 76.0 X 3.2		Heng.	Cso	0,3	7,31	48,5	2,6
4	O 102.0 X 3.6		Heng.	Cso	0,4	11,11	134,5	3,5
5	O 114.0 X 4.5		Heng.	Cso	0,4	15,46	231,8	3,9
6	O 133.0 X 4.5		Heng.	Cso	0,4	18,14	374,5	4,5

1-es számú torony

TORONY 1 1-es beép. Oszt.	Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasznátltság [%]
	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _{sz}) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{meglévő}	N _{brd}	Összes Meglévő
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	2,00	1.	a	1,00	24,37	134,16	18,2%
		4.	Ø76,0 x 3,2	2,00	1.	a	1,00	107,62	134,16	80,2%
		3.	Ø102,0 x 3,6	3,00	1.	a	1,00	169,12	188,87	89,5%
		2.	Ø114,0 x 4,5	3,00	1.	a	1,00	224,69	284,25	79,0%
		1.	Ø133,0 x 4,5	3,00	1.	a	1,00	276,91	361,34	76,6%
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	2,60	1.	a	0,95	12,11	36,50	33,2%
		4.	Ø51,0 x 2,9	2,60	1.	a	0,95	21,95	36,50	60,1%
		3.	Ø60,3 x 2,9	3,64	1.	a	0,95	17,66	32,80	53,8%
		2.	Ø60,3 x 2,9	4,00	1.	a	0,95	18,00	27,61	65,2%
		1.	Ø60,3 x 2,9	4,22	1.	a	0,95	18,58	25,05	74,2%

TORONY 1 2-es beép. oszt.	Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasznátltság [%]
	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _{sz}) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{meglévő}	N _{brd}	Összes Meglévő
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	2,00	1.	a	1,00	21,80	134,16	16,2%
		4.	Ø76,0 x 3,2	2,00	1.	a	1,00	95,70	134,16	71,3%
		3.	Ø102,0 x 3,6	3,00	1.	a	1,00	150,14	188,87	79,5%
		2.	Ø114,0 x 4,5	3,00	1.	a	1,00	199,00	284,25	70,0%
		1.	Ø133,0 x 4,5	3,00	1.	a	1,00	244,53	361,34	67,7%
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	2,60	1.	a	0,95	10,76	36,50	29,5%
		4.	Ø51,0 x 2,9	2,60	1.	a	0,95	19,46	36,50	53,3%
		3.	Ø60,3 x 2,9	3,64	1.	a	0,95	15,56	32,80	47,4%
		2.	Ø60,3 x 2,9	4,00	1.	a	0,95	15,72	27,61	56,9%
		1.	Ø60,3 x 2,9	4,22	1.	a	0,95	16,16	25,05	64,5%

TORONY 1 3-as beép. oszt.	Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasználtság [%]
Acél anyagminőség (f _y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _w) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{meglévő}	N _{brd}	Összes Meglévő
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	2,00	1.	a	1,00	17,52	134,16	13,1%
		4.	Ø76,0 x 3,2	2,00	1.	a	1,00	76,04	134,16	56,7%
		3.	Ø102,0 x 3,6	3,00	1.	a	1,00	118,96	188,87	63,0%
		2.	Ø114,0 x 4,5	3,00	1.	a	1,00	157,12	284,25	55,3%
		1.	Ø133,0 x 4,5	3,00	1.	a	1,00	191,88	361,34	53,1%
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	2,60	1.	a	0,95	8,55	36,50	23,4%
		4.	Ø51,0 x 2,9	2,60	1.	a	0,95	15,34	36,50	42,0%
		3.	Ø60,3 x 2,9	3,64	1.	a	0,95	12,17	32,80	37,1%
		2.	Ø60,3 x 2,9	4,00	1.	a	0,95	12,13	27,61	43,9%
		1.	Ø60,3 x 2,9	4,22	1.	a	0,95	12,26	25,05	48,9%

2-es számú torony

TORONY 2 1-es beép. Oszt.	Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasználtság [%]
Acél anyagminőség (f _y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _w) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{meglévő}	N _{brd}	Összes Meglévő
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	20,40	151,73	13,4%
		4.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	108,03	151,73	71,2%
		3.	Ø102,0 x 3,6	2,00	1.	a	1,00	179,97	231,57	77,7%
		2.	Ø114,0 x 4,5	2,00	1.	a	1,00	241,80	330,35	73,2%
		1.	Ø133,0 x 4,5	2,00	1.	a	1,00	301,10	398,63	75,5%
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	9,65	67,77	14,2%
		4.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	15,69	67,77	23,2%
		3.	Ø60,3 x 2,9	2,24	1.	a	0,95	12,11	72,01	16,8%
		2.	Ø60,3 x 2,9	2,45	1.	a	0,95	11,99	63,80	18,8%
		1.	Ø60,3 x 2,9	2,56	1.	a	0,95	12,22	59,44	20,6%

TORONY 2 2-es beép. oszt.	Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasználtság [%]
	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _w) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{mejlévő}	N _{brd}	Összes Meglévő
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	19,07	151,73	12,6%
		4.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	100,41	151,73	66,2%
		3.	Ø102,0 x 3,6	2,00	1.	a	1,00	167,51	231,57	72,3%
		2.	Ø114,0 x 4,5	2,00	1.	a	1,00	224,18	330,35	67,9%
		1.	Ø133,0 x 4,5	2,00	1.	a	1,00	277,41	398,63	69,6%
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	8,92	67,77	13,2%
		4.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	14,84	67,77	21,9%
		3.	Ø60,3 x 2,9	2,24	1.	a	0,95	11,26	72,01	15,6%
		2.	Ø60,3 x 2,9	2,45	1.	a	0,95	10,81	63,80	16,9%
		1.	Ø60,3 x 2,9	2,56	1.	a	0,95	10,94	59,44	18,4%

TORONY 2 3-es beép. oszt.	Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasználtság [%]
	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _w) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{mejlévő}	N _{brd}	Összes Meglévő
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	14,81	151,73	9,8%
		4.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	76,72	151,73	50,6%
		3.	Ø102,0 x 3,6	2,00	1.	a	1,00	127,35	231,57	55,0%
		2.	Ø114,0 x 4,5	2,00	1.	a	1,00	170,44	330,35	51,6%
		1.	Ø133,0 x 4,5	2,00	1.	a	1,00	210,48	398,63	52,8%
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	6,82	67,77	10,1%
		4.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	11,16	67,77	16,5%
		3.	Ø60,3 x 2,9	2,24	1.	a	0,95	8,49	72,01	11,8%
		2.	Ø60,3 x 2,9	2,45	1.	a	0,95	8,17	63,80	12,8%
		1.	Ø60,3 x 2,9	2,56	1.	a	0,95	8,10	59,44	13,6%

3-as számú torony

TORONY 3 1-es beép. oszt.		Szerk. elem		Geometriai jellemzők						Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasználtság [%]
Acél anyagminőség (f _y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _{sz}) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{mejlévő}	N _{újra}	Összes Meglévő		
	235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	15,48	151,73	10,2%	
4.			Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	101,23	151,73	66,7%		
3.			Ø102,0 x 3,6	1,50	1.	a	1,00	178,62	244,94	72,9%		
2.			Ø114,0 x 4,5	1,50	1.	a	1,00	239,94	345,42	69,5%		
1.			Ø133,0 x 4,5	1,50	1.	a	1,00	298,67	412,03	72,5%		
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	11,60	67,86	17,1%		
		4.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	18,15	67,86	26,7%		
		3.	Ø60,3 x 2,9	1,89	1.	a	0,95	12,75	86,98	14,7%		
		2.	Ø60,3 x 2,9	2,12	1.	a	0,95	12,72	77,24	16,5%		
		1.	Ø60,3 x 2,9	2,31	1.	a	0,95	14,06	68,93	20,4%		

TORONY 3 2-es beép. oszt.		Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasználtság [%]
Acél anyagminőség (f _y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L _{sz}) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes N _{megelevő}	N _{újra}	Összes Meglevő	
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	13,90	151,73	9,2%	
		4.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	90,11	151,73	59,4%	
		3.	Ø102,0 x 3,6	1,50	1.	a	1,00	158,79	244,94	64,8%	
		2.	Ø114,0 x 4,5	1,50	1.	a	1,00	212,83	345,42	61,6%	
		1.	Ø133,0 x 4,5	1,50	1.	a	1,00	264,17	412,03	64,1%	
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	10,32	67,86	15,2%	
		4.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	16,12	67,86	23,8%	
		3.	Ø60,3 x 2,9	1,89	1.	a	0,95	11,30	86,98	13,0%	
		2.	Ø60,3 x 2,9	2,12	1.	a	0,95	11,14	77,24	14,4%	
		1.	Ø60,3 x 2,9	2,31	1.	a	0,95	12,23	68,93	17,7%	

TORONY 3 3-as beép. oszt.	Szerk. elem		Geometriai jellemzők					Igénybevételek [kN]	Kihajlási ellenállás [kN]	Kihasznátság [%]
	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Hálózati hossz (L_{rw}) [m]	Szelvény osztályozása	Kihajlási görbe	Effektív karcsúsági tényező (k)	Összes $N_{meglévő}$	N_{bRd}	Összes Meglévő
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	11,29	151,73	7,4%
		4.	Ø76,0 x 3,2	1,50	1.	a	1,00	71,76	151,73	47,3%
		3.	Ø102,0 x 3,6	1,50	1.	a	1,00	126,02	244,94	51,4%
		2.	Ø114,0 x 4,5	1,50	1.	a	1,00	168,25	345,42	48,7%
		1.	Ø133,0 x 4,5	1,50	1.	a	1,00	207,49	412,03	50,4%
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	8,21	67,86	12,1%
		4.	Ø51,0 x 2,9	1,70	1.	a	0,95	12,75	67,86	18,8%
		3.	Ø60,3 x 2,9	1,89	1.	a	0,95	8,91	86,81	10,3%
		2.	Ø60,3 x 2,9	2,12	1.	a	0,95	8,61	77,02	11,2%
		1.	Ø60,3 x 2,9	2,31	1.	a	0,95	9,10	69,10	13,2%

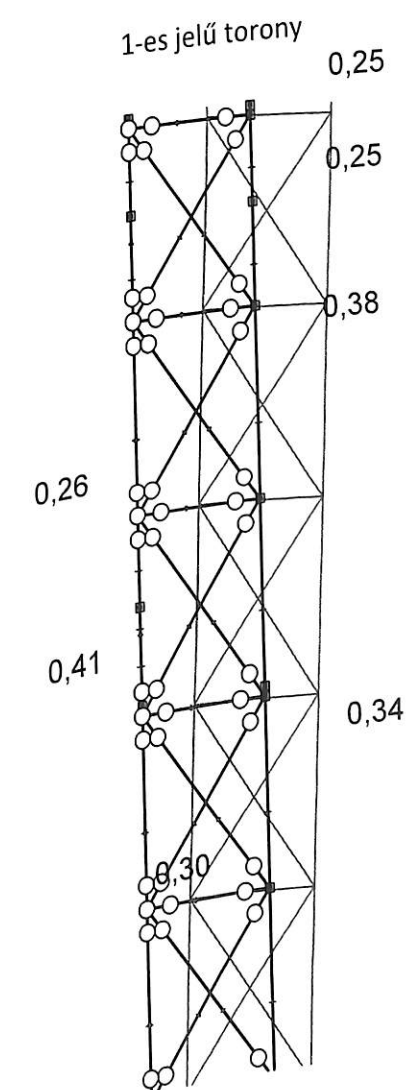
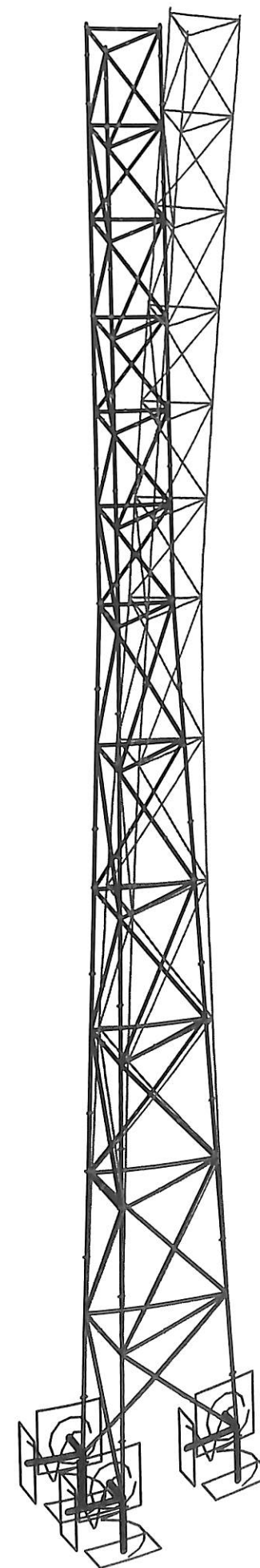
8. Használhatósági követelmények vizsgálata

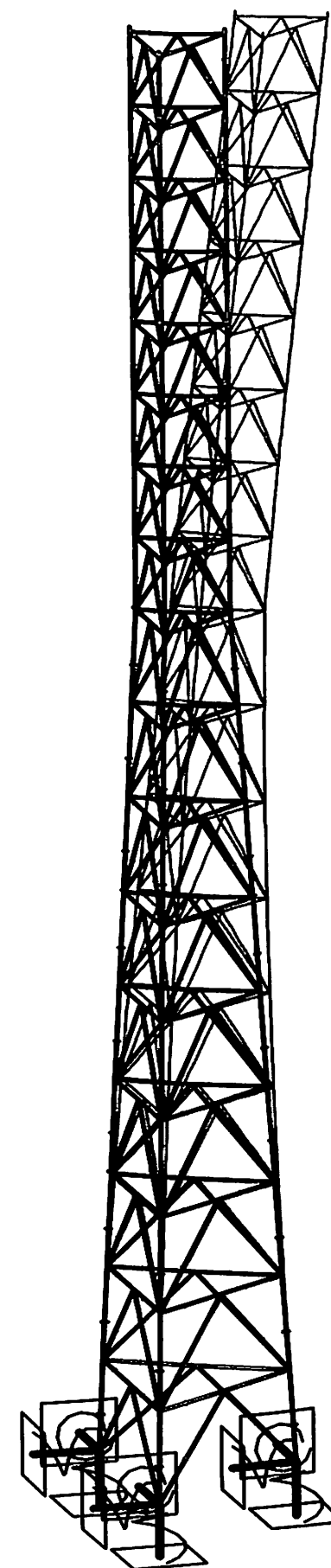
A tartószerkezet a szokásos használati körülmények közötti működésével kapcsolatos követelmények teljesülését használhatósági határállapotban vizsgáljuk. Az Eurocode nem ad számszerűsített határértékeket a használhatósági követelményekre vonatkozóan, ezért használhatósági követelményként az antennák gondtalan üzemeléséhez szükséges, az antennák üzemeltetője által meghatározott szokásosan előírt értékeket vettük alapul, melyek a következők:

Maximális szögelfordulás a torony tetején: $2,0^\circ$

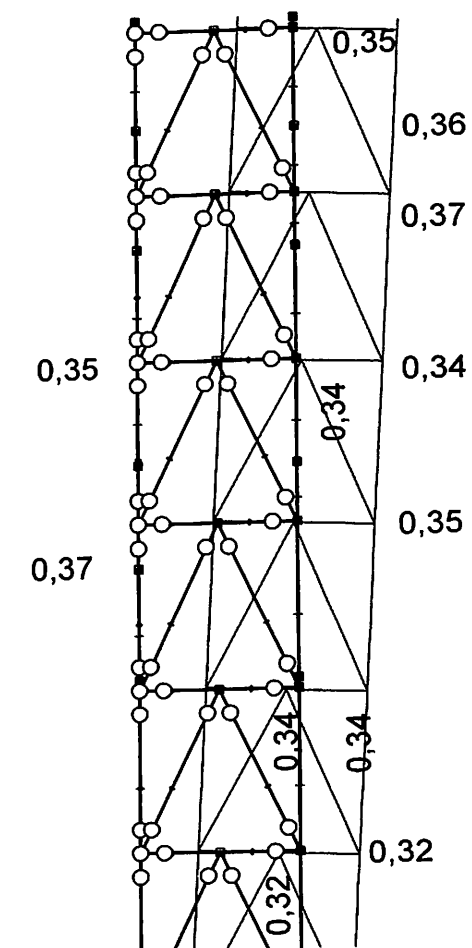
Maximális szögelfordulás a mikro antenna magasságában: $0,5^\circ$

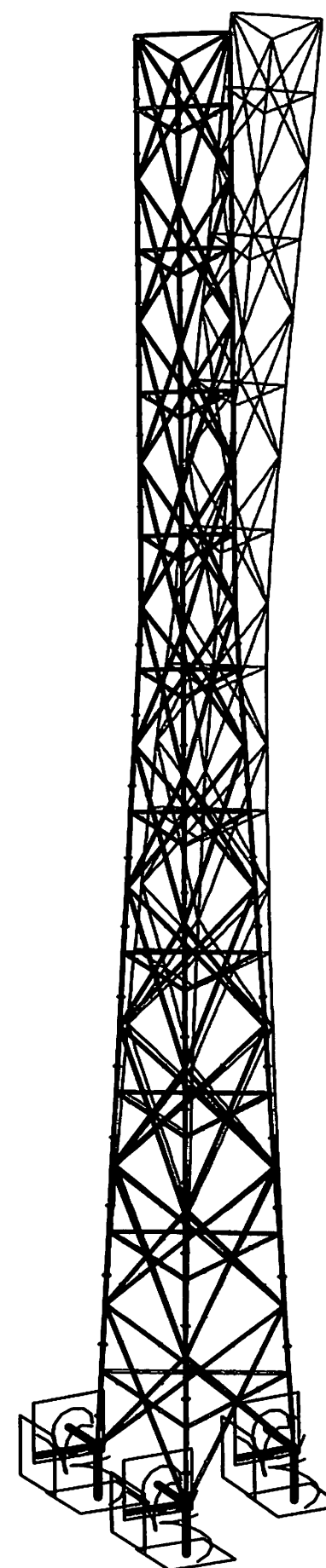
A szögelfordulások vizsgálatát a karakterisztikus teherkombinációból számítottam. A következő három ábrán látható a három toronyszerkezet szögelfordulási értékei a legkedvezőtlenebb, tehát az 1. beépítési osztályhoz tartozó szélterhek esetén vizsgálva. A mikro antenna magasságában az 1-es jelű toronynál alakult ki a legnagyobb szögelfordulás $0,41^\circ$, a torony tetején pedig a 2-es jelű toronynál alakult ki a legnagyobb szögelfordulás $0,35^\circ$. Ezek az értékek megfelelnek az üzemeltetők által kért követelményeknek.



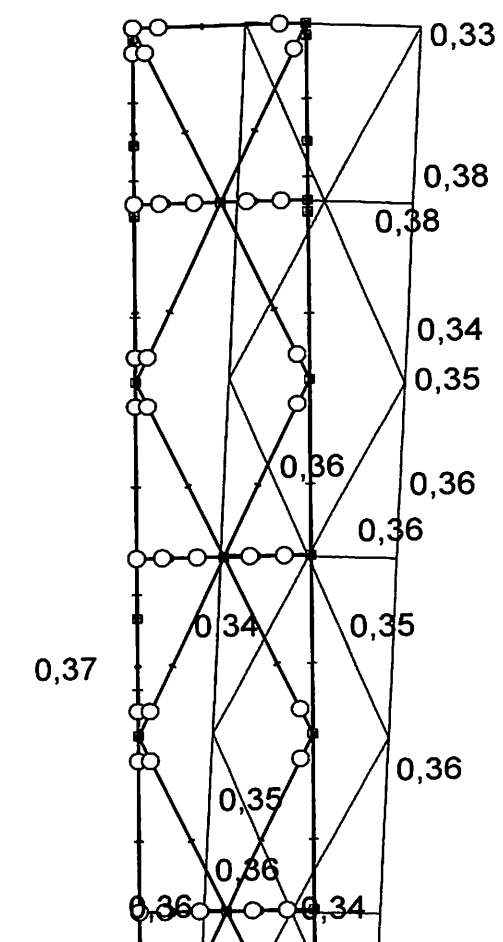


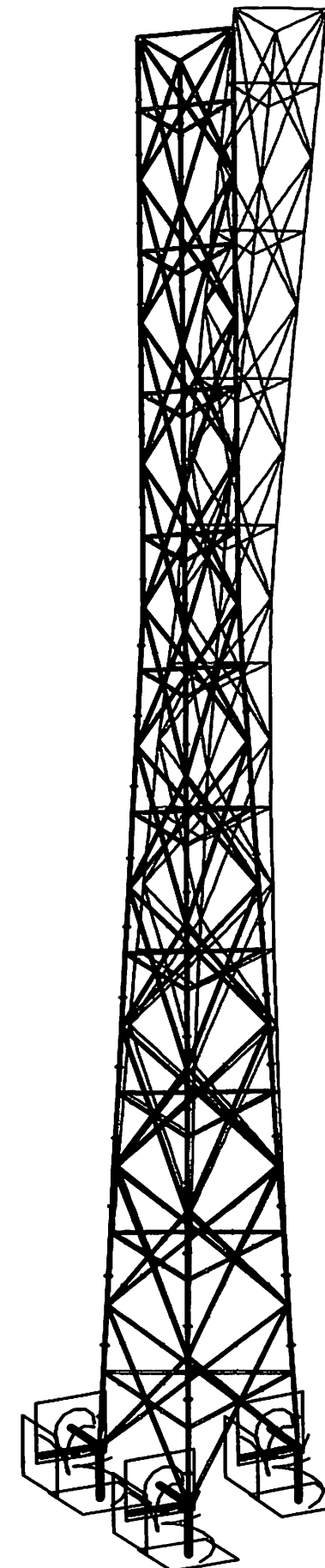
2-es jelű torony



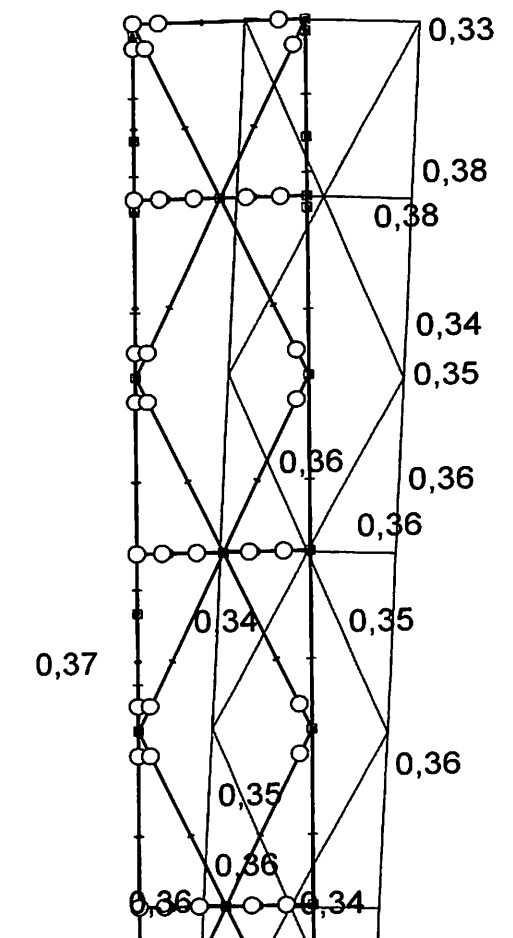


3-as jelű torony





3-as jelű torony



9. Összefoglalás

Dolgozatom célja a különböző beépítettségi osztályokban vizsgált tornyok igénybevételei között kialakuló különbségek vizsgálata, összehasonlítása volt. Három különböző kialakítású toronyszerkezeten vizsgáltam a kialakuló igénybevételeket. A vizsgálatot a szélteher értékeinek meghatározásával kezdtem. A torony geometriai kialakítása, a felhasznált szelvények valamint a beépítettségi osztályok által befolyásolt szélteher együtthatók meghatározásával, a szabványokban leírtak szerint eljárva meghatároztam a szerkezetekre ható szélteher értékeit. Ezeket az értékeket tornyonként és beépítettségi osztályonként táblázatokban adtam meg. Axis VM statikai méretező programban felépítettem a három torony modelljét melyre rávezettem az előzőekben meghatározott szélterheket. A szoftver segítségével meghatároztam a mértékadó erőhatásokat melyek segítségével ellenőriztem a fő szerkezeti elemek teherbírását valamint ellenőriztem a használhatósági feltételek megfelelőségét.

A vizsgálat során természetesen bebizonyosodott, hogy a kedvezőtlenebb beépítési osztályban vizsgált szerkezetekre nagyobb erőhatások jutnak így a szerkezeti elemek kihasználtságának mértéke is nagyobb. A dolgozatom egyik célja volt ezen erőhatások és kihasználtság értékek közti különbség mértékének megvizsgálása. Összességében elmondható, hogy a három különböző kialakítású torony szerkezeti elemeinek kihasználtságában számottevően nagy különbség nem alakult ki. A sűrűbb rácsoszással ellátott toronynál (3. torony) az övrudak kihajlása miatt nagyobb súly valamint rácsoszással ellátott toronyhoz képest (1. torony, viszont a sűrűbb rácsoszás miatt nagyobb súly valamint nagyobb szélfelület, így nagyobb szélteher értékeket számolhattam. Érdekesebb lehet a beépítettségi osztályok között kialakuló különbségek szemügyre vétele. Nagyságrendileg 10-15%-nyi különbség alakult ki a szerkezeti elemek kihasználtságai között attól függően, hogy melyik beépítettségi osztályban vizsgáltam. Az eredményeket vizsgálva észrevehető, hogy az I. és II. beépítettségi osztály között kisebb a különbség (~10%), mint a II. és III. beépítettségi osztály között. Az utóbbi két osztály között ~15%-nyi különbség alakult ki a kihasználtságok között, de előfordult több mint 17%-nyi különbség is.

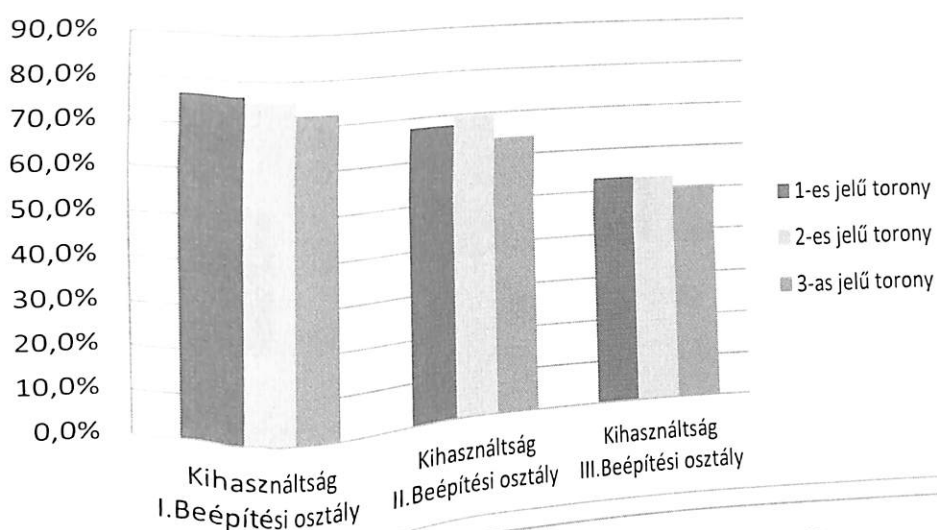
Övrudak kihasználtsága tornyonként, beépítési osztályonként

1. jelű torony						
Acél anyagminőség (f_y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Kihasználtság I. Beépítési osztály	Kihasználtság II. Beépítési osztály	Kihasználtság III. Beépítési osztály
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	18,2%	16,2%	13,1%
		4.	Ø76,0 x 3,2	80,2%	71,3%	56,7%
		3.	Ø102,0 x 3,6	89,5%	79,5%	63,0%
		2.	Ø114,0 x 4,5	79,0%	70,0%	55,3%
		1.	Ø133,0 x 4,5	76,6%	67,7%	53,1%

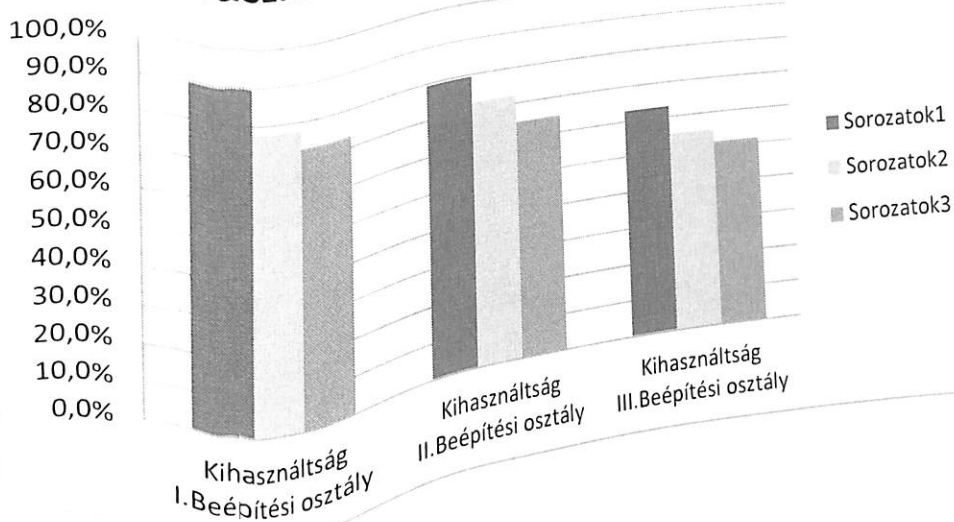
2. jelű torony						
Acél anyagminőség (f_y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Kihasználtság I. Beépítési osztály	Kihasználtság II. Beépítési osztály	Kihasználtság III. Beépítési osztály
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	13,4%	12,6%	9,8%
		4.	Ø76,0 x 3,2	71,2%	66,2%	50,6%
		3.	Ø102,0 x 3,6	77,7%	72,3%	55,0%
		2.	Ø114,0 x 4,5	73,2%	67,9%	51,6%
		1.	Ø133,0 x 4,5	75,5%	69,6%	52,8%

3. jelű torony						
Acél anyagminőség (f_y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Kihasználtság I. Beépítési osztály	Kihasználtság II. Beépítési osztály	Kihasználtság III. Beépítési osztály
235	Övrudak	5.	Ø76,0 x 3,2	10,2%	9,2%	7,4%
		4.	Ø76,0 x 3,2	66,7%	59,4%	47,3%
		3.	Ø102,0 x 3,6	72,9%	64,8%	51,4%
		2.	Ø114,0 x 4,5	69,5%	61,6%	48,7%
		1.	Ø133,0 x 4,5	72,5%	64,1%	50,4%

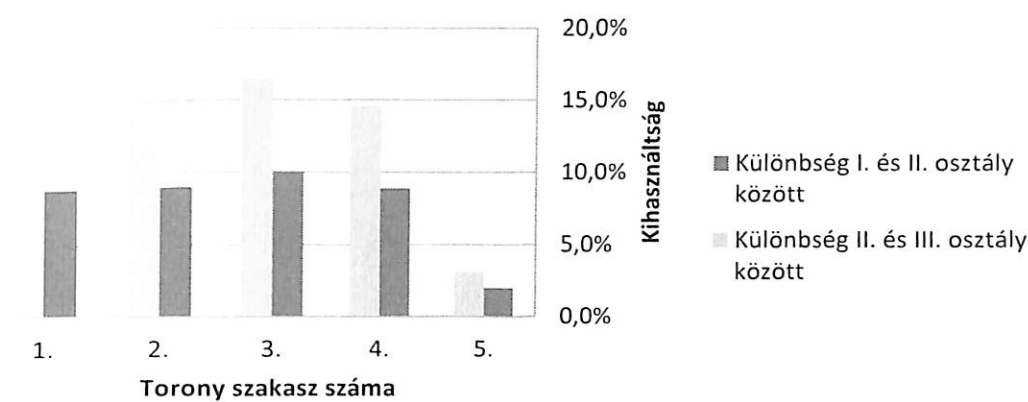
Kihasználtságok alakulása az alsó szekcióban



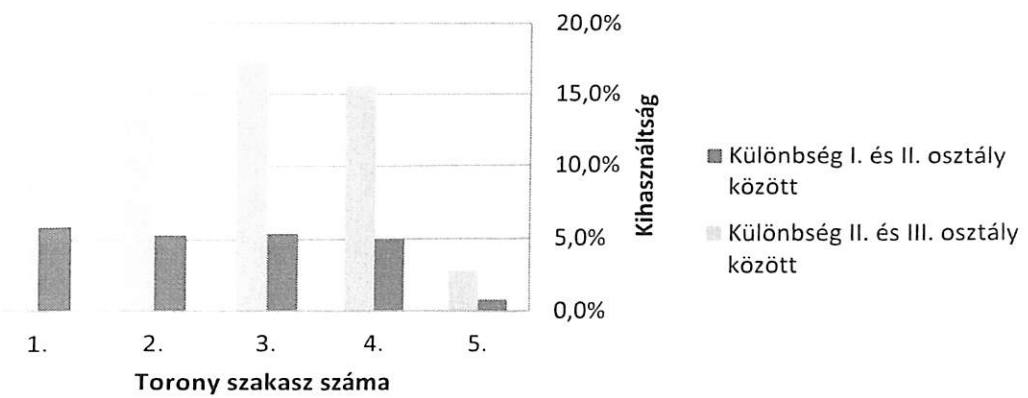
Kihasználtságok alakulása a 3. szekcióban



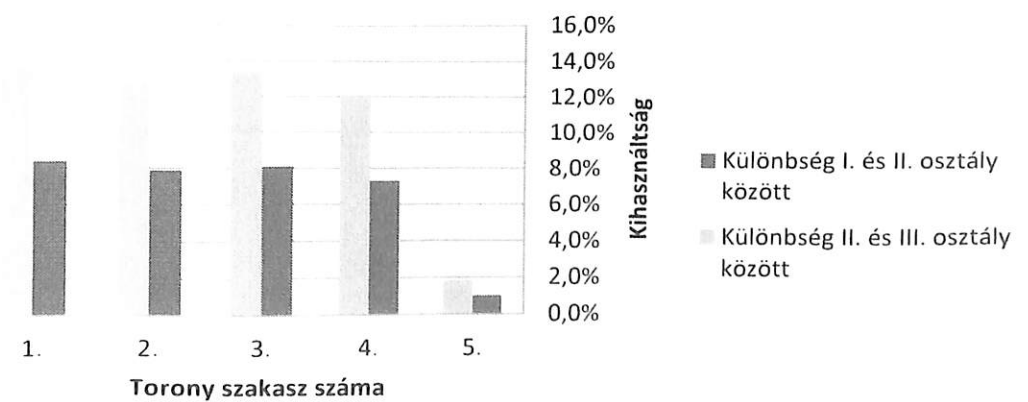
Beépítettségi osztályok közötti különbség
(1-es jelű torony)



Beépítettségi osztályok közötti különbség
(2-es jelű torony)



Beépítettségi osztályok közötti különbség
(3-as jelű torony)



Rácsrudak kihasználtsága tornyonként, beépítési osztályonként

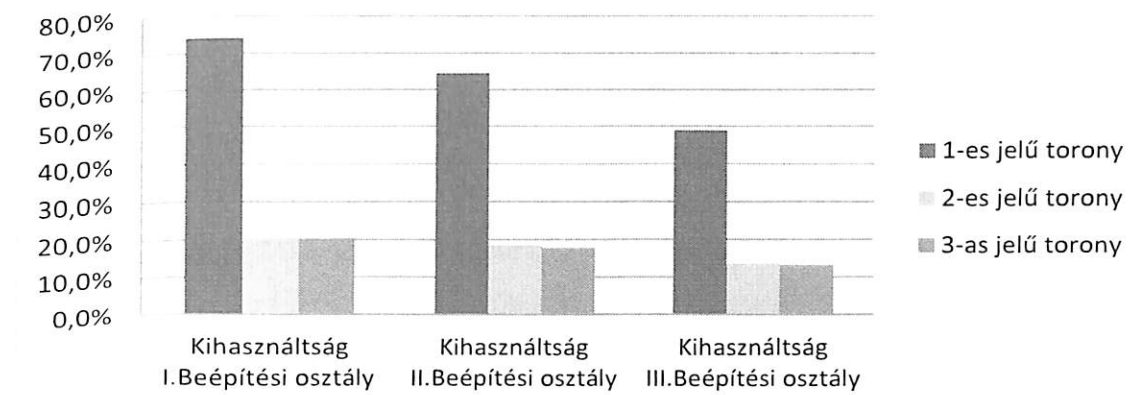
1. jelű torony						
Acél anyagminőség (f _y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Kihasználtság I.Beépítési osztály	Kihasználtság II.Beépítési osztály	Kihasználtság III.Beépítési osztály
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	33,2%	29,5%	23,4%
		4.	Ø51,0 x 2,9	60,1%	53,3%	42,0%
		3.	Ø60,3 x 2,9	53,8%	47,4%	37,1%
		2.	Ø60,3 x 2,9	65,2%	56,9%	43,9%
		1.	Ø60,3 x 2,9	74,2%	64,5%	48,9%

2. jelű torony						
Acél anyagminőség (f _y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Kihasználtság I.Beépítési osztály	Kihasználtság II.Beépítési osztály	Kihasználtság III.Beépítési osztály
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	14,2%	13,2%	10,1%
		4.	Ø51,0 x 2,9	23,2%	21,9%	16,5%
		3.	Ø60,3 x 2,9	16,8%	15,6%	11,8%
		2.	Ø60,3 x 2,9	18,8%	16,9%	12,8%
		1.	Ø60,3 x 2,9	20,6%	18,4%	13,6%

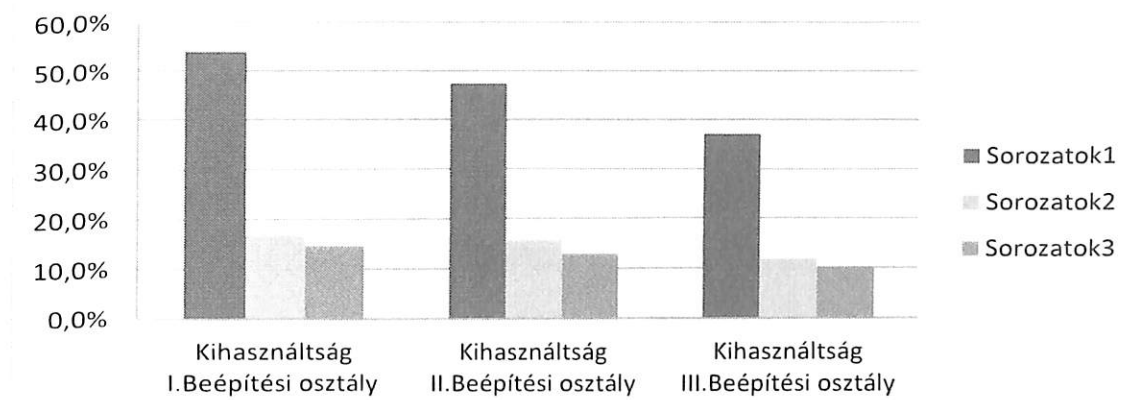
3. jelű torony						
Acél anyagminőség (f _y) [N/mm ²]	Rudak	Torony szakasz	Szelvény	Kihasználtság I.Beépítési osztály	Kihasználtság II.Beépítési osztály	Kihasználtság III.Beépítési osztály
235	Rácsrudak	5.	Ø51,0 x 2,9	17,1%	15,2%	12,1%
		4.	Ø51,0 x 2,9	26,7%	23,8%	18,8%
		3.	Ø60,3 x 2,9	14,7%	13,0%	10,3%
		2.	Ø60,3 x 2,9	16,5%	14,4%	11,2%
		1.	Ø60,3 x 2,9	20,4%	17,7%	13,2%

A rácsrudak kihasználtságának mértékén látszódik, hogy míg az 1. jelű toronynál 60-70% körüli kihasználtságokat figyelhetünk meg, addig a sűrűbben rácsozott (2., 3. jelű torony), kisebb hálózati hosszokkal rendelkező rácsrudak kihasználtságaiban jelentős tartalékok vannak.

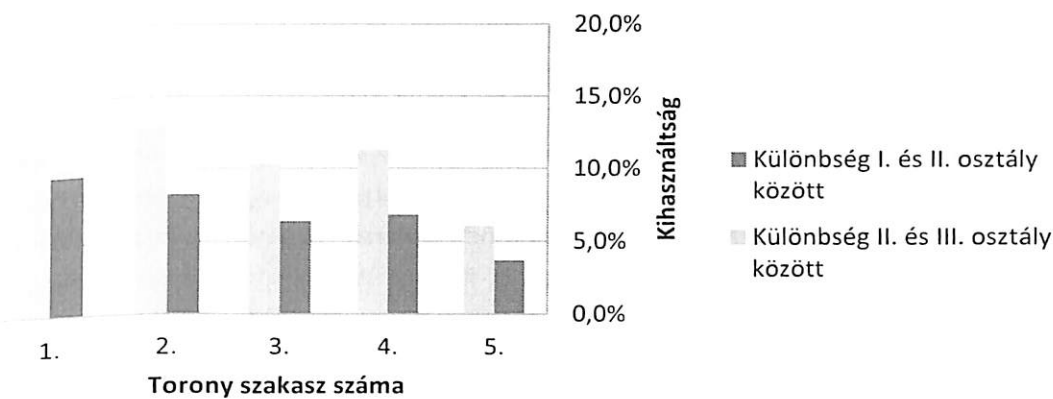
Kihasználtságok alakulása a rácsrudakban (1.szekció)



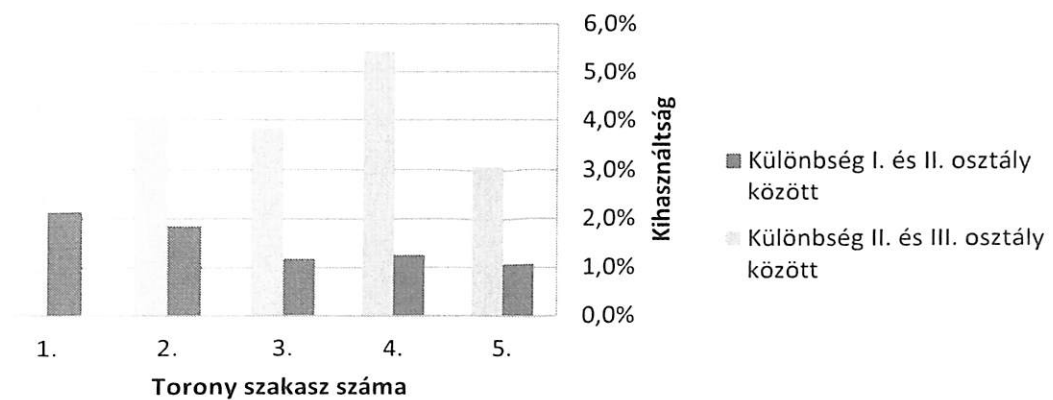
Kihasználtságok alakulása a rácsrudakban (3. szekció)



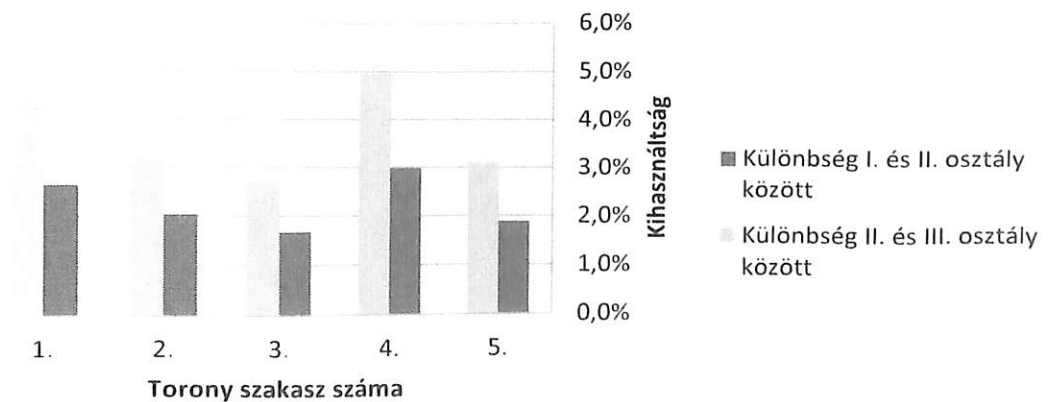
Beépítettségi osztályok közötti különbség
(1-es jelű torony, rácsrudakban)



Beépítettségi osztályok közötti különbség
(2-es jelű torony, rácsrudakban)



Beépítettségi osztályok közötti különbség
(3-as jelű torony, rácsrudakban)



A beépítettségi osztályok közötti különbség diagram a szerkezeti elemek kihasználtságának különbségét mutatja be az I. és II. beépítési osztály, valamint a II. és III. beépítési osztály között. Következtetésképpen azt levonhatjuk, hogy a beépítési osztály helyes megválasztásának jelentős szerepe van. Láthatjuk, hogy egy tévesen megválasztott beépítési osztály 15% körüli, esetenként akár közel 20%-nyi kihasználtság különbséget is okozhatna. Tanulásképpen újból megállapítható, hogy mind új, mind a meglévő építmények esetén rendkívül fontos a helyszín bejárása, megvizsgálása. Ha egy meglévő építményt vizsgálunk, ellenőrizzük és esetleg rendelkezésünkre áll egy korábbi szakvélemény, akkor is elhagyhatatlan a helyszín megvizsgálása rengeteg egyéb más indok mellett a beépítési osztály helyes megválasztása végett is. Ha még az előző szakvélemény helyesen is járt el az akkori beépítési osztály meghatározásakor, könnyen előfordulhat, hogy a környezet megváltozása miatt (pl. kivágott erdő, torony köré épített új épületek stb.) ma már egy másik osztályban kell vizsgálnunk a szerkezetet, épületet