SZAKDOLGOZAT

Filipcsei Áron Dávid
2015

SZENT ISTVÁN EGYETEM
YBL
YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

Építőmérnöki Intézet

Mechanika és Tartószerkezetek Szakcsoport

Magasépítési szakirány

Szakdolgozat

Kéthajós, acélszerkezetű tornacsarnok tervezése

Készítette: Filipcsei Áron Dávid

Konzulens: Horváth Katalin mérnöktanár

Budapest
2015

SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr.Dombay Gábor PhD.
intézetigazgató, főiskolai tanár

YBL

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

SZAKDOLGOZAT KIÍRÁS
2015

Filipcsei Áron

Nappali Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe: Kéthajós acélszerkezetű tornacsarnok tervezése

Belső konzulens: Horváth Katalin mérnöktanár

Külső konzulens: -

A szakdolgozat beadási határideje: 2015. június 05., péntek $12^{\underline{00}}$

Budapest, 2015. május 28.

Dr. Dombay Gábor
intézetigazgató

SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr.Dombay Gábor PhD.
intézetigazgató, főiskolai tanár

YBL

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

Részletes feladatkiírás

Filipcsei Áron

Nappali Építőmérnök
hallgató részére

Kéthajós acélszerkezetű tornacsarnok tervezése

című szakdolgozatához

Feladat leírása

Megtervezendő egy kéthajós, acélszerkezetű, rácsos tetős, hőszigetelt tornacsarnok.

Geometriai kialakítás, terhek

A csarnok nyolc keretállásból áll, a keretállások távolsága 6,00 m.
A csarnok főhajó oszlopok tengelytávolsága ~24,00 m (**A** és **B** tengelyek), a mellékhajó oszlopok tengelytávolsága 8,00 m (**B** és **C** tengelyek).
A csarnok főhajó belmagassága 10,00 m, a gerincmagasság ~13,00 m, a tető szerkezete rácsos kialakítású, lejtése ~10%.
A mellékhajó váll tengely magassága ~7,00 m, a tető lejtése ~18%.
A mellékhajóban kerül kialakításra a kiszolgáló épületrész a B és C jelű tengelyek között.
A földszinten öltöző, vizesblokk és raktár, az emeleten iroda, vizesblokk és öltözők kerülnek kialakításra.
Az emeletre történő feljutást lépcső biztosítja.
A csarnok hőszigetelt.

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

Budapest, 2015. május 28.

Horváth Katalin.
Horváth Katalin
belső konzulens

Tervjegyzék

I. Műszaki leírás

1. Diploma tervfeladat ismertetése 1
2. A csarnok alapadatai 1
3. A szerkezet leírása 3

II. Statikai számítás

1. LINDAB elemek méretezése 1
2. Tartószerkezeti elemek méretezése 35
3. Merevítés méretezése 116
4. Alapozás ellenőrzése 128

III. Mellékletek

IV. Kiviteli tervek

ALT-1 – Általános terv

ACT-1 – Csarnok terve (Elölnézet)

ACT-2 – Csarnok terve (Oldal- és felülnézet)

ACT-3 – Rácsos szaruzat terve

ACT-4 – Lépcső terve

ACM-1 – Csarnok merevítésének terve

ACL-1 – LINDAB elemek terve

ALA-1 – Alapozási terv

MŰSZAKI LEÍRÁS

1. Diploma tervfeladat ismertetése

Megtervezendő egy kéthajós, acélszerkezetű, rácsos tetős, hőszigetelt tornacsarnok. A tervezés az alábbi tartószerkezeti elemekre terjed ki:

- a csarnok burkolati rendszerét és födémrendszerét adó LINDAB elemek tervezése;
- a csarnok fő tartószerkezeti elemeinek tervezése:
  - rácsos szaruzat tervezése,
  - keretoszlopok, keretgerendák és födémgerendák tervezése;
- a kiszolgáló épületrész emeletére történő feljutást biztosító acélszerkezetű lépcső;
- a csarnok merevítésének tervezése;
- a különböző tartószerkezeti elemek kapcsolatainak tervezése;
- és a keretoszlopok síkalapozásának tervezése.

2. A csarnok alapadatai

2.1. Geometriai adatok

- Keretállások száma: 8 db
- Keretállások tengelytávolsága: 6,00 m
- Főhajó oszlopok közötti tengelytávolság: 23,50 m
- Mellékhajó oszlop és főhajó oszlop közötti tengelytávolság: 8,00 m
- A teljes csarnok hasznos alapterülete: 1323 m^2
- Főhajó belmagassága: 10,00 m
- Főhajó vállmagassága: 11,32 m
- Mellékhajó vállmagassága: 5,65 m
- Mellékhajó teljes belmagassága: 6,40 m
- Csarnok teljes magassága: 12,80 m

2.2. Terhelési adatok

A csarnok tartószerkezeti elemeire ható terhelések az állandó terhekből (önsúly), hasznos terhekből és esetleges terhekből (hóteher, szélteher) állnak.
A kiszolgáló melléképület födémének hasznos terhei:

- B-osztály: Irodaterületek – 3,0 kN/m^2
- C1-osztály: Asztalokkal, padokkal ellátott födémterületek (öltözők) – 3,0 kN/m^2
- C5-osztály: Tömeg gyülekezésére szolgáló födémterületek (közlekedő, lépcső) – 5,0 kN/m^2

2.3. Geotechnika

A talajfeltárások során, a fúrások alapján a talajrétegződés a következő:

Talajréteg	ρ_d (t/m^3)	ρ_n (t/m^3)	φ (°)	c (kPa)	E (MN/m^2)
humusz 0,00-0,40 m	-	-	-	-	-
homokos kavics 0,40-5,40 m	1,80	2,10	34	-	55
agyag 5,40-6,90 m	1,75	1,98	15	95	9
homok 6,90-10,00 m	1,80	2,00	25	-	25

A helyszíni feltárások során a talajvíz a felszín alatt 8,00 méteres mélységben jelentkezett.

2.4. Anyagminőségek, anyagjellemzők

<u>Szerkezeti acél:</u>

A méretezett tartószerkezeti elemek keresztmetszetei kizárólag melegen hengerelt szelvények.

Alkalmazott szerkezeti acél jele: *S 235 JRG2*

Általános anyagjellemzők:

- Rugalmassági modulus: $E_s = 210\ kN/mm^2$
- Folyáshatár: $f_y = 235\ N/mm^2$
- Térfogatsúly: $\gamma_s = 78{,}50\ kN/m^3$

<u>Beton:</u>

Alkalmazott betonminőség: *C20/25-XC1-24-F2*

Általános anyagjellemzők:

- Térfogatsúly: $\gamma_b = 25{,}0\ kN/m^3$
- Nyomószilárdság: $f_{cd} = 13{,}3\ N/mm^2$

<u>Csavarok:</u>

Alkalmazott csavarminőségek:

- 4.6: $f_{yb} = 240\ N/mm^2$ $f_{ub} = 400\ N/mm^2$
- *5.6*: $f_{yb} = 300\ N/mm^2$ $f_{ub} = 500\ N/mm^2$
- *6.8*: $f_{yb} = 480\ N/mm^2$ $f_{ub} = 600\ N/mm^2$
- *8.8*: $f_{yb} = 640\ N/mm^2$ $f_{ub} = 800\ N/mm^2$
- *10.9*: $f_{yb} = 900\ N/mm^2$ $f_{ub} = 1000\ N/mm^2$

Alkalmazott csavarátmérők:

- *M12*: $d = 12\ mm$ $d_0 = 13\ mm$ $A = 113\ mm^2$
- *M16*: $d = 16\ mm$ $d_0 = 18\ mm$ $A = 201\ mm^2$
- *M20*: $d = 20\ mm$ $d_0 = 22\ mm$ $A = 314\ mm^2$

A csavaralátét és a csavaranya minősége megfelel a csavar minőségének.

2.5. Felhasznált szabványok, előírások és szoftverek

MSZ EN 1990 EC: A tartószerkezetek tervezésének alapjai.
MSZ EN 1991 EC1: A tartószerkezeteket érő hatások.
- MSZ EN 1991-1-1: Általános hatások. Sűrűség, önsúly és az épületek hasznos terhei.
- MSZ EN 1991-1-3: Általános hatások. Hóteher.
- MSZ EN 1991-1-4: Általános hatások. Szélhatás.

MSZ EN 1993 EC 3: Acélszerkezetek tervezése.
- MSZ EN 1993-1-1: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok.
- MSZ EN 1993-1-8: Kapcsolatok.

LINDAB tervezési segédletek.
NAGÉV tervezési segédletek.

A feladat során a tartószerkezeti elemek igénybevételeinek meghatározása az *AXIS VM 12* nevű végeselemes számítógépes szoftverrel történt.
A LINDAB elemek méretezésére a *DIMroof v3.5* nevű programot használtam fel.
A tartószerkezeti elemek kapcsolatainak ellenőrzésére, ill. méretezésére az *Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015* nevű szoftvert használtam.

3. A szerkezet leírása

3.1. Szerkezeti kialakítás, statikai modell

A főhajó oszlopára a rácsos szaruzat, a mellékhajó keretgerendája és a födém-mestergerenda is csuklósan csatlakozik. A mellékhajó keretoszlopára a mestergerenda és a keretgerenda is sarokmereven kapcsolódik. A födém-fiókgerendák csuklósan kapcsolódnak a födém-mestergerendákhoz. A szélső födém-mestergerendák csuklósan kapcsolódnak a mellékhajó falvázoszlopához. A lépcsőgerendák egyrészt alaptesthez, másrészt pihenőt tartó gerendához, harmadrészt födém-fiókgerendához csatlakoznak csuklós kapcsolattal. A keretoszlopok és az alaptestek kapcsolata nyomatékbíró kialakítású, a falvázoszlopok nem adnak át nyomatékot az alaptestre.

3.2. Tartószerkezeti elemek szelvényei, kapcsolatai

Alkalmazott szelvények:

o Főhajó oszlop:	HEA 260
o Rácsos tartó övrúdjai:	HEA 140
o Rácsos tartó rácsrúdjai:	RHS-szelvények
o Mellékhajó oszlop és falvázoszlop:	HEA 260
o Mellékhajó gerenda:	IPE 330
o Főhajó falvázoszlop:	HEA 160
o Födém-mestergerenda:	HEA 320
o Födém-fiókgerenda:	HEA 260, HEA 200, HEA 180, HEA 160

A csavaros kapcsolatok kialakítása megtalálható a kiviteli terveken. A csatlakozó elemeket össze kell fúrni.

A helyszíni hegesztési munkákat kizárólag minősített hegesztő végezheti. A hegesztési varratokat szemrevételezéssel és penetrációs eljárással ellenőrizni kell.

3.3. Acéllépcső kialakítása

A kiszolgáló épületrész födémére a kétkarú acéllépcsővel lehet feljutni. A lépcső hasznos szélessége az OTÉK előírásait figyelembe véve 1,80 m. A lépcsőfokok és a pihenő NAGÉV ipari lépcsőfokrácsokból és járdarácsokból alakítandó ki.

Alkalmazott szelvények:

- Lépcsőgerenda: UPE 140
- Pihenőt tartó gerenda: HEA 100
- Pihenőt tartó oszlopok: RHS 40x40x4
- Korlát oszlop: Egyenlőszárú szögacél (L 500x50x5)
- Kézléc: Hidegen hajlított körszelvény (O51x2,0)
- Térdléc: Laposacél (50x5)
- Bokaléc: Laposacél (100x5)

3.4. LINDAB elemek szelvényei

Trapézlemezek alkalmazott szelvényei:

- Külső tető trapézlemez: LTP 45-0,5
- Belső tető trapézlemez: LTP 20-0,5
- Fal trapézlemez: LVP 20-0,5
- Födém trapézlemez: LTP 85-1,25

Z-szelemenek alkalmazott szelvényei:

- Főhajó tetőszelemen: Z 200-2,5
- Mellékhajó tetőszelemen: Z 250-3,0
- Falszelemen: Z 200-2,5

3.5. Merevítés kialakítása

A csarnok két szélső mezőjében került kialakításra merevítés, melyek falsíkban és a rácsos szaruzat miatt, a két övrúd síkjában lettek elhelyezve.

Alkalmazott szelvények:

- Falsíki húzott rúd: Tömör köracél (ϕ20)
- Falsíki nyomott rúd: Egyenlőszárú szögacél (L 100x100x8)
- Alsó övrúd síkjában lévő húzott rúd: Tömör köracél (ϕ20)

- Alsó övrúd síkjában lévő nyomott rúd: Egyenlőszárú szögacél (L 100x100x8)
- Felső övrúd síkjában lévő húzott rúd: Tömör köracél (ϕ10)
- Felső övrúd síkjában lévő nyomott rúd: Egyenlőszárú szögacél (L 60x60x6)

A merevítő rudak kapcsolatai csavarozottak, azok csomólemezzel kapcsolódnak a főbb tartószerkezeti elemekhez.

3.6. Kiszolgáló épület födémének kialakítása

A födém rétegrendjének terhét a magasbordás acél trapézlemez hordja, amiket fiók- és mestergerendák támasztanak alá. A födém rétegrendjei az építésztervek szerint kialakítandóak, azok nem lehetnek eltérőek az abban meghatározottaktól.

3.7. Alapozás

Az alaptestek pontalapok, a csarnok szélén húzódó alaptesteket talpgerendával kell összekötni a süllyedés-különbségek mértékének csökkentése érdekében. Az alaptestek alatt 20 cm-es vastagságban, Try=95%-os tömörségű homokos kavics ágyazati réteg kialakítása szükséges.

Az alaptestek méretei:

- Főhajó oszlop alapteste: 0,90x0,80x0,60 m és 1,40x1,30x0,50 m
- Mellékhajó oszlop alapteste: 0,85x0,80x0,60 m és 1,25x1,10x0,40 m
- Főhajó oszlop alapteste: 0,40x0,40x0,35 m és 0,70x0,70x0,30 m
- Mellékhajó falvázoszlop alapteste: 0,50x0,40x0,35 m és 0,80x0,90x0,30 m
- Lépcsőgerenda alapteste: 2,00x0,50x0,60 m
- Lépcső pihenőt tartó oszlop alapteste: 0,20x0,20x0,60 m

STATIKAI SZÁMÍTÁS

Tartalomjegyzék

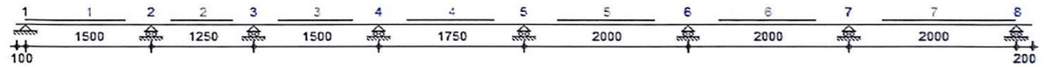
1. LINDAB elemek méretezése 1
1.1. Trapézlemezek méretezése 1
1.2. Szelemenek méretezése 19
2. Tartószerkezeti elemek méretezése 35
2.1. Statikai modell 35
2.2. Acéllépcső méretezése 35
2.3. Rácsos szaruzat méretezése 42
2.4. Mellékhajó méretezése 79
2.5. Főhajó oszlop méretezése 99
2.6. Csomópontok méretezése 104
3. Merevítés méretezése 116
3.1. Falvázoszlopok méretezése 116
3.2. Szélrácsok méretezése 124
4. Alapozás ellenőrzése 128
4.1. Geotechnika 128
4.2. Mellékhajó oszlop síkalap ellenőrzése 129
4.3. Főhajó oszlop síkalap ellenőrzése 131
4.4. Mellékhajó falvázoszlop síkalap ellenőrzése 135

1. LINDAB elemek méretezése

1.1. Trapézlemezek méretezése

1.1.1. Főhajó külső tető trapézlemezének méretezése

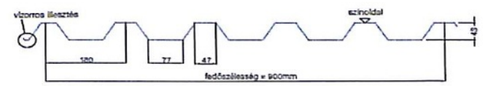
1.1.1.1. Statikai váz, keresztmetszet



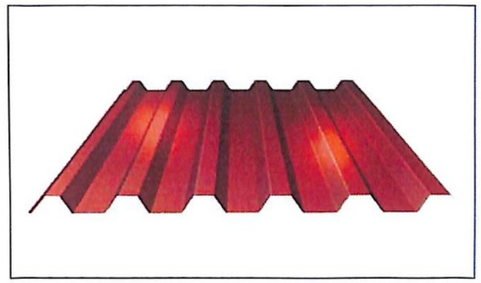
Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett keresztmetszet: LTP 45-0,7

LTP 45



Fedőszélesség	mm			900	
Vastagság	mm	0.40	0.50	0.60	0.70
Folyáshatár f_y	N/mm²	250	250	250	350
Tömeg	kg/m²	4.29	5.36	6.44	7.51
Gyártási hossz	min (mm)	210	210	210	210
	max (mm)	10000	13000	13000	13000



1.1.1.2. Terhek

<u>Állandó teher:</u>

Külső trapézlemez önsúlya:

$\alpha = 5{,}7° \rightarrow p_g^k = p_{g,\perp}^k$

$p_{g,\perp}^k = t * g = 1{,}0 * 0{,}075 = \mathbf{0{,}08\ kN/m}$

<u>Esetleges terhek:</u>

- Hóteher:

  $\alpha = 5{,}7° \rightarrow p_s^k = p_{s,\perp}^k$

  $A = 120\ mBf \rightarrow s_k = 1{,}25\ kN/m^2$

  $s = c_e * c_t * \mu_1 * s_k = 1{,}0 * 1{,}0 * 0{,}8 * 1{,}25 = 1{,}0\ kN/m^2$

  $p_{s,\perp}^k = t * s = 1{,}0 * 1{,}0 = \mathbf{1{,}0\ kN/m}$

- Szélteher:

  III. beépítési kategória, z = 12,70 m $\rightarrow c_e(z) = 1{,}90 \rightarrow q_p(z) = \mathbf{0{,}48\ kN/m^2}$

  - Keresztirányú-külső szélteher (θ=0°):

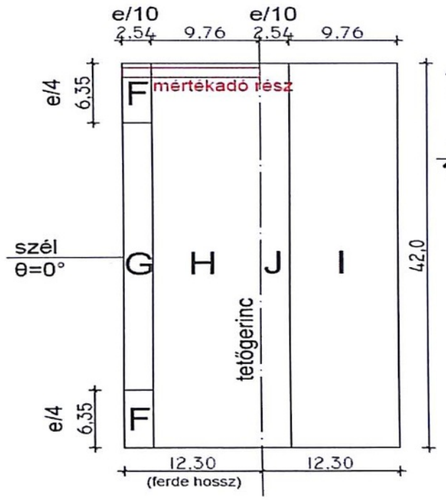
    <u>Szívás:</u>

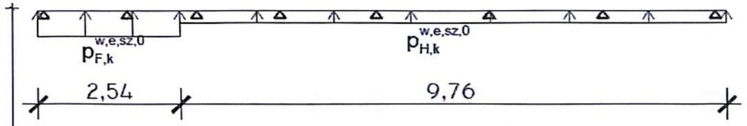
    F-zóna:

    $p_{w,e,sz,0}^{F,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^F = 1{,}0 * 0{,}48 * 2{,}5 = \mathbf{-1{,}20\ kN/m}$

    H-zóna:

    $p_{w,e,sz,0}^{H,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^H = 1{,}0 * 0{,}48 * 1{,}2 = \mathbf{-0{,}58\ kN/m}$





$$e = min\begin{pmatrix} b = 42{,}0 \\ 2h = 2 * 12{,}7 = 25{,}4 \end{pmatrix} = 25{,}4\ m$$

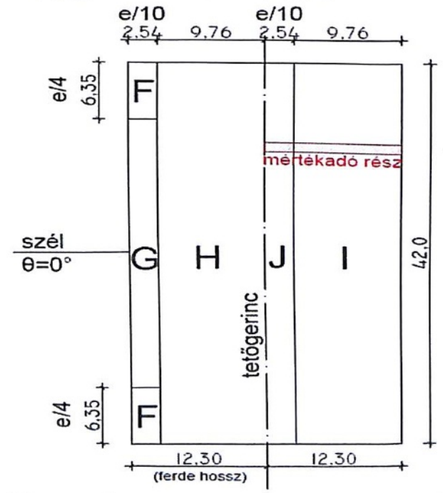
<u>Nyomás:</u>

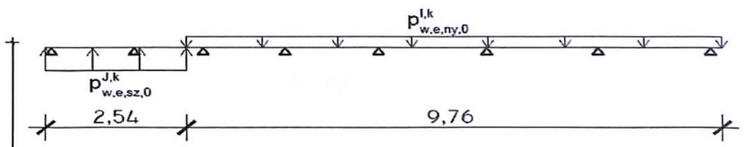
I-zóna:

$p^{I,k}_{w,e,ny,0} = t * q_p * c^{I}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}48 * 0{,}6 = \mathbf{-0{,}29\ kN/m}$

J-zóna:

$p^{J,k}_{w,e,ny,0} = t * q_p * c^{J}_{pe,1,ny} = 1{,}0 * 0{,}48 * 0{,}2 = \mathbf{+0{,}10\ kN/m}$





$$e = min\begin{pmatrix} b = 42{,}0 \\ 2h = 2 * 12{,}7 = 25{,}4 \end{pmatrix} = 25{,}4\ m$$

- Hosszirányú-külső szélteher (θ=90°):

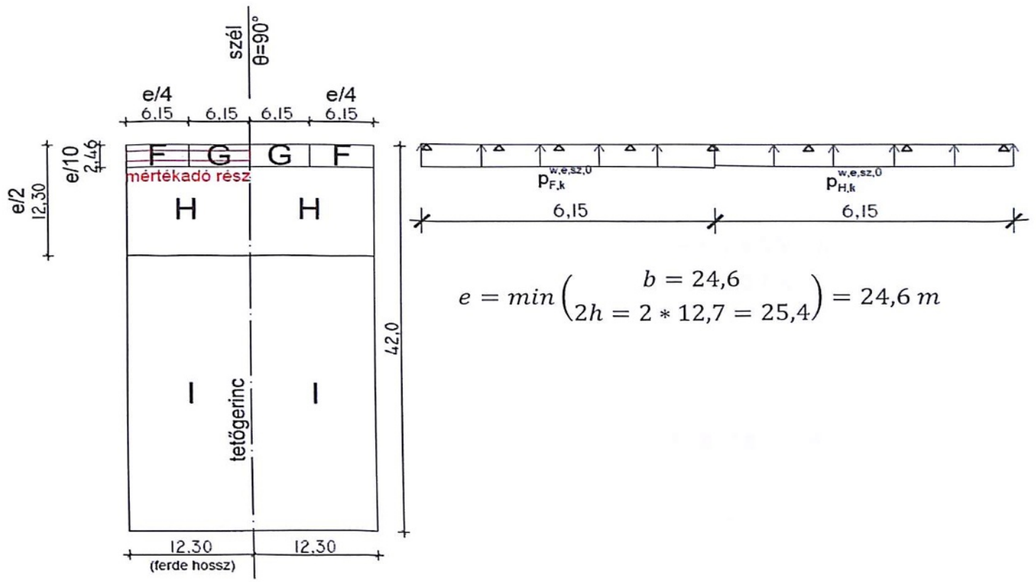
<u>Szívás:</u>

F-zóna:

$p^{F,k}_{w,e,sz,90} = t * q_p * c^{F}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}48 * 2{,}2 = \mathbf{-1{,}06\ kN/m}$

G-zóna:

$p^{G,k}_{w,e,sz,90} = t * q_p * c^{G}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}48 * 2{,}0 = \mathbf{-0{,}96\ kN/m}$



$$e = min\begin{pmatrix} b = 24{,}6 \\ 2h = 2 * 12{,}7 = 25{,}4 \end{pmatrix} = 24{,}6\ m$$

1.1.1.3. Teherkombinációk

1. teherkombináció: max. önsúly + hóteher + szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,1,I} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^{k} + \gamma_{s} * p_{s,\perp}^{k} + \psi_{0,w} * \gamma_{w} * p_{w,e,ny,0}^{I,k}$$

$$p_{\perp}^{U,1,I} = 1{,}35 * 0{,}08 + 1{,}5 * 1{,}0 + 0{,}6 * 1{,}5 * 0{,}10 = \mathbf{+1{,}70\ kN/m}$$

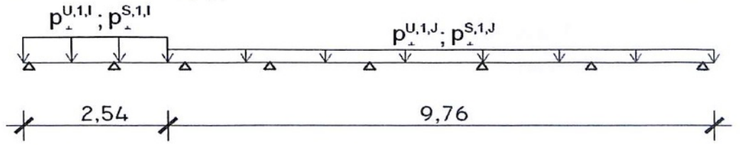
$$p_{\perp}^{U,1,J} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^{k} + \gamma_{s} * p_{s,\perp}^{k} + \psi_{0,w} * \gamma_{w} * p_{w,e,ny,0}^{J,k}$$

$$p_{\perp}^{U,1,J} = 1{,}35 * 0{,}08 + 1{,}5 * 1{,}0 - 0{,}6 * 1{,}5 * 0{,}29 = \mathbf{+1{,}35\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,1,I} = p_{g,\perp}^{k} + p_{s,\perp}^{k} + \psi_{0,w} * p_{w,e,ny,0}^{I,k} = 0{,}08 + 1{,}0 + 0{,}6 * 0{,}10 = \mathbf{+1{,}14\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,1,J} = p_{g,\perp}^{k} + p_{s,\perp}^{k} + \psi_{0,w} * p_{w,e,ny,0}^{J,k} = 0{,}08 + 1{,}0 - 0{,}6 * 0{,}29 = \mathbf{+0{,}91\ kN/m}$$



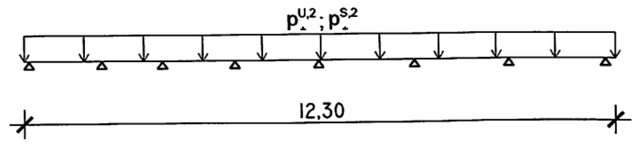
2. teherkombináció: min. önsúly + rendkívüli hóteher

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,2} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} + \gamma_{s,sup} * p_{s,\perp}^{k} = 1{,}0 * 0{,}08 + 2{,}0 * 1{,}0 = \mathbf{+2{,}08\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,2} = p_{g,\perp}^{k} + p_{s,\perp}^{k} = 0{,}08 + 1{,}0 = \mathbf{+1{,}08\ kN/m}$$



3. teherkombináció: min. önsúly + szélszívás (θ=0°)

Teherbírási határállapot (ULS):

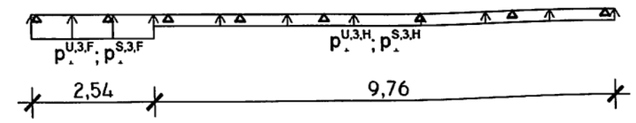
$$p_{\perp}^{U,3,F} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_w * p_{w,e,sz,0}^{F,k} = 1{,}0 * 0{,}08 - 1{,}5 * 1{,}20 = \mathbf{-1{,}72\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,3,H} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_w * p_{w,e,sz,0}^{H,k} = 1{,}0 * 0{,}08 - 1{,}5 * 0{,}58 = \mathbf{-0{,}79\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,3,F} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,0}^{F,k} = 0{,}08 - 1{,}20 = \mathbf{-1{,}12\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,3,H} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,0}^{H,k} = 0{,}08 - 0{,}58 = \mathbf{-0{,}40\ kN/m}$$



4. teherkombináció: önsúly + szélszívás (θ=90°)

Teherbírási határállapot (ULS):

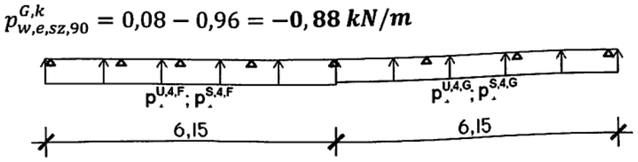
$$p_{\perp}^{U,4,F} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_w * p_{w,e,sz,90}^{F,k} = 1{,}0 * 0{,}08 - 1{,}5 * 1{,}06 = \mathbf{-1{,}51\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,4,G} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_w * p_{w,e,sz,90}^{G,k} = 1{,}0 * 0{,}08 - 1{,}5 * 0{,}96 = \mathbf{-1{,}36\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,4,F} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,90}^{F,k} = 0{,}08 - 1{,}06 = \mathbf{-0{,}98\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,4,G} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,90}^{G,k} = 0{,}08 - 0{,}96 = \mathbf{-0{,}88\ kN/m}$$



1.1.1.4. Trapézlemez méretezése (DIMroof)

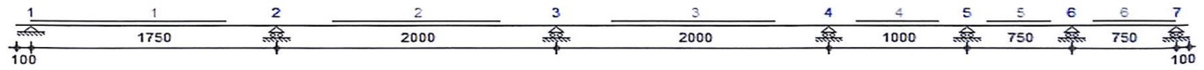
Teherkombinációk	Kihasználtság (%)	
	Teherbírási határállapot (ULS)	Használhatósági határállapot (SLS)
1. teherkombináció	51 %	59 %
2. teherkombináció	**78 %**	**71 %**
3. teherkombináció	30 %	34 %
4. teherkombináció	43 %	57 %

Alkalmazott trapézlemez: LTP 45-0,5

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.1.2. Mellékhajó külső tető trapézlemezének méretezése

1.1.2.1. Statikai váz, keresztmetszet



Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett keresztmetszet: LTP 45-0,7

1.1.2.2. Terhek

Állandó teher:

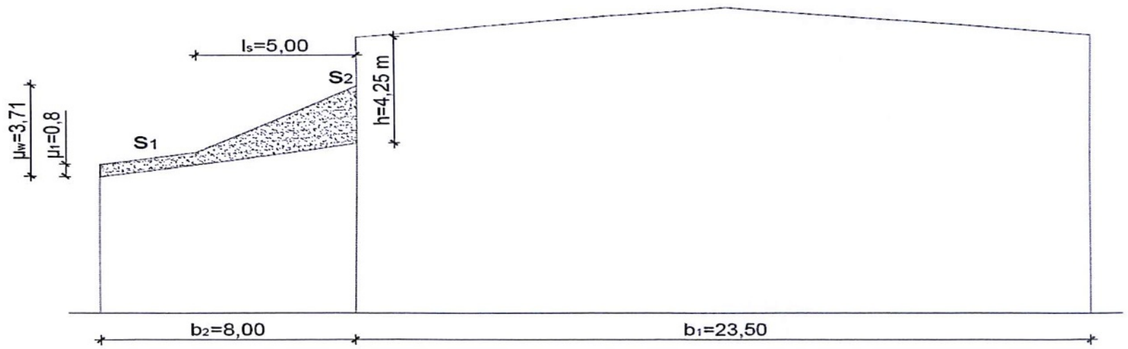
Külső trapézlemez önsúlya:

$\alpha = 10{,}2° \rightarrow p_g^k \neq p_{g,\perp}^k$

$p_{g,\perp}^k = t * g * \cos\alpha = 1{,}0 * 0{,}075 * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}07\ kN/m}$

Esetleges terhek:

- Hóteher:



A szél átrendező hatásából adódó teherelrendezés:

Tehernövekmény-hossz:

$l_s = min\{5\ m;\ 2h\}\ de\ l_s \leq 15\ m$

$l_s = min\{5\ m;\ 2 * 4{,}25\} = 5\ m \leq 15\ m$

Alaki tényező:

$$\mu_w = min\left\{4{,}0;\ \frac{b_1 + b_2}{2h};\ \frac{\gamma_{set} * h}{s_k}\right\} min\left\{4{,}0;\ \frac{23{,}5 + 8{,}0}{2 * 4{,}25};\ \frac{2{,}0 * 4{,}25}{1{,}25}\right\} = 3{,}71$$

Hóteher tervezési értékei:

$s_1 = c_e * c_t * \mu_1 * s_k = 1{,}0 * 1{,}0 * 0{,}8 * 1{,}25 = 1{,}0\ kN/m^2$

$s_2 = c_e * c_t * \mu_w * s_k = 1{,}0 * 1{,}0 * 3{,}71 * 1{,}25 = 4{,}64\ kN/m^2$

$\alpha = 10{,}2° \rightarrow p_s^k \neq p_{s,\perp}^k$

$p_{s,\perp}^{k,1} = t * s_1 * \cos^2\alpha = 1{,}0 * 1{,}0 * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{0{,}97\ kN/m}$

$p_{s,\perp}^{k,2} = t * s_2 * \cos^2\alpha = 1{,}0 * 4{,}64 * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{4{,}49\ kN/m}$

- Szélteher:

  III. beépítési kategória, z = 7,30 m → $c_e(z) = 1{,}50 \rightarrow q_p(z) = \mathbf{0{,}38\ kN/m^2}$

  - Keresztirányú-külső szélteher (θ=0°):

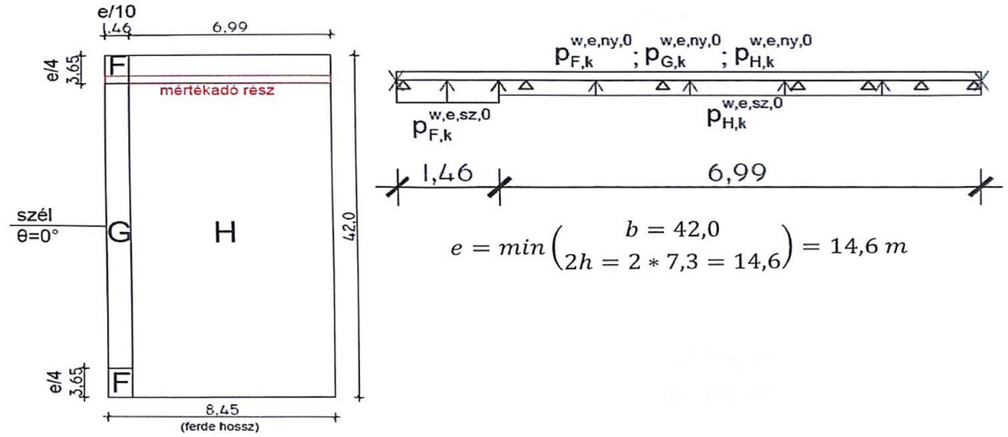
    Szívás:

    F-zóna:

    $p^{F,k}_{w,e,sz,0} = t * q_p * c^{F}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}38 * 2{,}25 = \mathbf{-0{,}86\ kN/m}$

    H-zóna:

    $p^{H,k}_{w,e,sz,0} = t * q_p * c^{H}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}38 * 1{,}75 = \mathbf{-0{,}67\ kN/m}$



$$e = min\begin{pmatrix} b = 42{,}0 \\ 2h = 2 * 7{,}3 = 14{,}6 \end{pmatrix} = 14{,}6\ m$$

  - Hosszirányú-külső szélteher (θ=90°):

    Szívás:

    F_{up}-zóna:

    $p^{F_{up},k}_{w,e,sz,90} = t * q_p * c^{F_{up}}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}38 * 2{,}75 = \mathbf{-1{,}05\ kN/m}$

    F_{low}-zóna:

    $p^{F_{low},k}_{w,e,sz,90} = t * q_p * c^{F_{low}}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}38 * 2{,}4 = \mathbf{-0{,}91\ kN/m}$

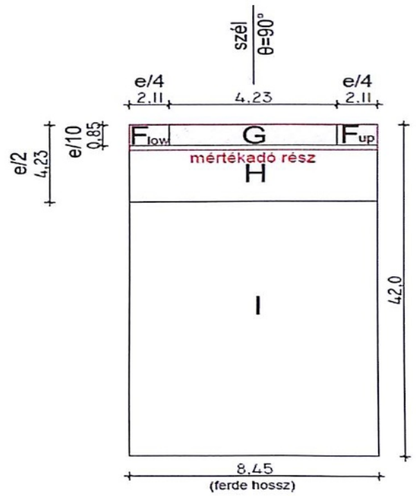
    G-zóna:

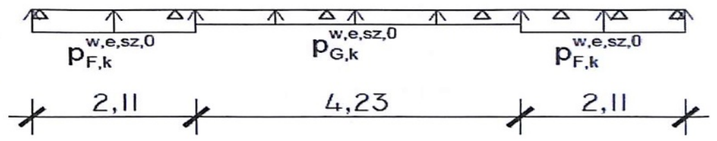
    $p^{G,k}_{w,e,sz,90} = t * q_p * c^{G}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}38 * 2{,}25 = \mathbf{-0{,}86\ kN/m}$

    H-zóna:

    $p^{H,k}_{w,e,sz,90} = t * q_p * c^{H}_{pe,1,sz} = 1{,}0 * 0{,}38 * 1{,}2 = \mathbf{-0{,}46\ kN/m}$

    Megj.: A számítás egyszerűsítése céljából és a biztonság javára a H-zóna területén is az F_{up}-, G- és F_{low}-zóna nyomási tényezőivel számolunk.





$$e = min\begin{pmatrix} b = 8{,}45 \\ 2h = 2 * 7{,}3 = 14{,}6 \end{pmatrix} = 8{,}45\ m$$

1.1.2.3. Teherkombinációk

1. teherkombináció: max. önsúly + átrendeződött hóteher

Teherbírási határállapot (ULS):

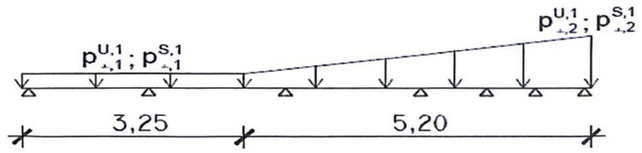
$$p_{\perp,1}^{U,1} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^{k} + \gamma_s * p_{s,\perp}^{k,1} = 1{,}35 * 0{,}07 + 1{,}5 * 0{,}97 = +\mathbf{1{,}55\ kN/m}$$

$$p_{\perp,1}^{U,1} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^{k} + \gamma_s * p_{s,\perp}^{k,2} = 1{,}35 * 0{,}07 + 1{,}5 * 4{,}49 = +\mathbf{6{,}83\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp,1}^{S,1} = p_{g,\perp}^{k} + p_{s,\perp}^{k,1} = 0{,}07 + 0{,}97 = +\mathbf{1{,}04\ kN/m}$$

$$p_{\perp,2}^{S,1} = p_{g,\perp}^{k} + p_{s,\perp}^{k,2} = 0{,}07 + 4{,}49 = +\mathbf{4{,}56\ kN/m}$$



2. teherkombináció: min. önsúly + szélszívás (θ=0°)

Teherbírási határállapot (ULS):

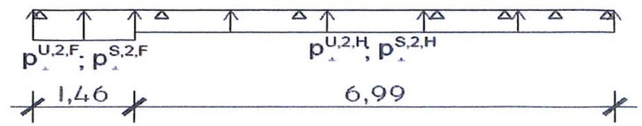
$$p_{\perp}^{U,2,F} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_w * p_{w,e,sz,0}^{F,k} = 1{,}0 * 0{,}07 - 1{,}5 * 0{,}86 = \mathbf{-1{,}22\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,2,H} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_w * p_{w,e,sz,0}^{H,k} = 1{,}0 * 0{,}07 - 1{,}5 * 0{,}67 = \mathbf{-0{,}94\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,2,F} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,0}^{F,k} = 0{,}07 - 0{,}86 = \mathbf{-0{,}79\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,2,H} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,0}^{H,k} = 0{,}07 - 0{,}67 = \mathbf{-0{,}60\ kN/m}$$



3. teherkombináció: önsúly + szélszívás (θ=90°)

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,3,F_{up}} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_{w} * p_{w,e,sz,90}^{F_{up},k} = 1{,}0 * 0{,}07 - 1{,}5 * 1{,}05 = \mathbf{-1{,}51\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,3,F_{low}} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_{w} * p_{w,e,sz,90}^{F_{low},k} = 1{,}0 * 0{,}07 - 1{,}5 * 0{,}91 = \mathbf{-1{,}30\ kN/m}$$

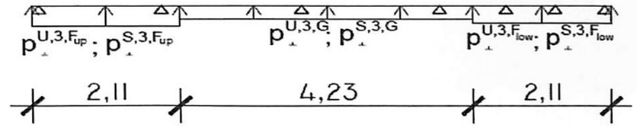
$$p_{\perp}^{U,3,G} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} - \gamma_{w} * p_{w,e,sz,90}^{G,k} = 1{,}0 * 0{,}07 - 1{,}5 * 0{,}86 = \mathbf{-1{,}22\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,3,F_{up}} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,90}^{F_{up},k} = 0{,}07 - 1{,}05 = \mathbf{-0{,}98\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,3,F_{low}} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,90}^{F_{low},k} = 0{,}07 - 0{,}91 = \mathbf{-0{,}84\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,3,G} = p_{g,\perp}^{k} - p_{w,e,sz,90}^{G,k} = 0{,}07 - 0{,}86 = \mathbf{-0{,}79\ kN/m}$$



1.1.2.4. Trapézlemez méretezése (DIMroof)

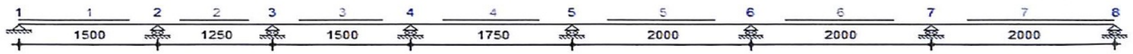
Teherkombinációk	**Kihasználtság (%)**	
	Teherbírási határállapot (ULS)	Használhatósági határállapot (SLS)
1. teherkombináció	**97 %**	**49 %**
2. teherkombináció	27 %	44 %
3. teherkombináció	38 %	45 %

Alkalmazott trapézlemez: LTP 45-0,5

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.1.3. Főhajó belső trapézlemezének méretezése

1.1.3.1. Statikai váz, keresztmetszet

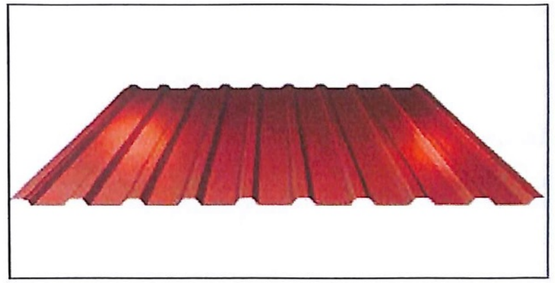


Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett keresztmetszet: LTP 20-0,5

LTP 20

Fedőszélesség	mm		1028		
Vastagság	mm	0.40	0.50	0.60	0.70
Folyáshatár f_y	N/mm²	250	250	250	350
Tömeg	kg/m²	3.76	4.70	5.64	6.57
Gyártási hossz	min (mm)	210	210	210	210
	min (mm)	8000	10000	10000	10000



1.1.3.2. Terhek

<u>Állandó terhek:</u>

$\alpha = 5{,}7° \rightarrow p_g^k = p_{g,\perp}^k$

Külső trapézlemez önsúlya: $p_{LTP,\perp}^k = t * g_{LTP} = 1{,}0 * 0{,}047 = 0{,}05\ kN/m$

Hőszigetelés súlya: $p_{szig,\perp}^k = t * g_{szig} = 1{,}0 * 0{,}225 = 0{,}23\ kN/m$

Összes állandó teher: $p_{g,\perp}^k = p_{LTP,\perp}^k + p_{szig,\perp}^k = \mathbf{0{,}28\ kN/m}$

<u>Esetleges terhek:</u>

Szélteher:

$q_p(z) = \mathbf{0{,}48\ kN/m^2}$

Belső szélteher:

<u>Szívás:</u>

$p_{w,i,sz}^k = t * q_p * c_{pi,sz} = 1{,}0 * 0{,}48 * 0{,}3 = \mathbf{+0{,}14\ kN/m}$

<u>Nyomás:</u>

$p_{w,i,ny}^k = t * q_p * c_{pi,ny} = 1{,}0 * 0{,}48 * 0{,}2 = \mathbf{-0{,}10\ kN/m}$

1.1.3.3. Teherkombinációk

1. teherkombináció: max. önsúly + belső szélszívás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_\perp^{U,1} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^k + \gamma_w * p_{w,i,sz,0}^k = 1{,}35 * 0{,}28 + 1{,}5 * 0{,}14 = \mathbf{+0{,}59\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_\perp^{S,1} = p_{g,\perp}^k + p_{w,i,sz,0}^k = 0{,}28 + 0{,}14 = \mathbf{+0{,}42\ kN/m}$

2. teherkombináció: min. önsúly + belső szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,1} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k} + \gamma_{w} * p_{w,i,ny,0}^{k} = 1{,}0 * 0{,}28 - 1{,}5 * 0{,}10 = +0{,}13\ kN/m$ *(nem mértékadó)*

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,1} = p_{g,\perp}^{k} + p_{w,i,ny,0}^{k} = 0{,}28 - 0{,}10 = +0{,}18\ kN/m$ *(nem mértékadó)*

1.1.3.4. Trapézlemez méretezése (DIMroof)

Kihasználtság teherbírási határállapotban: **38 %**

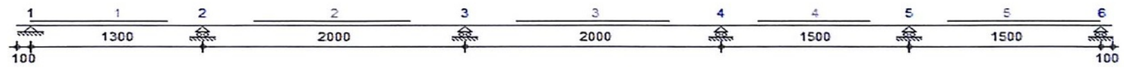
Kihasználtság használhatósági határállapotban: **45 %**

Alkalmazott trapézlemez: LTP 20-0,5

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.1.4. Mellékhajó belső trapézlemezének méretezése

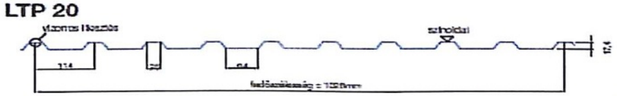
1.1.4.1. Statikai váz, keresztmetszet



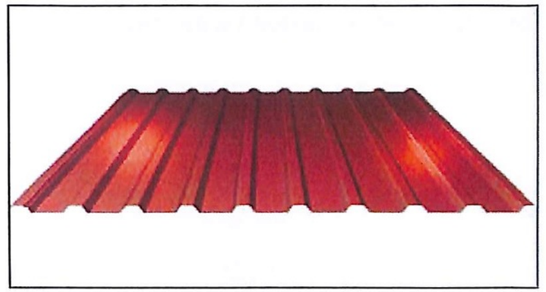
Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett keresztmetszet: LTP 20-0,5

LTP 20



Fedőszélesség	mm	1028			
Vastagság	mm	0.40	0.50	0.60	0.70
Folyáshatár f_y	N/mm²	250	250	250	350
Tömeg	kg/m²	3.76	4.70	5.64	6.57
Gyártási hossz	min (mm)	210	210	210	210
	min (mm)	8000	10000	10000	10000



1.1.4.2. Terhek

Állandó terhek:

$\alpha = 10{,}2° \rightarrow p_g^k \sim p_{g,\perp}^k$

Külső trapézlemez önsúlya: $p_{LTP,\perp}^k = t * g_{LTP} = 1{,}0 * 0{,}047 = 0{,}05\ kN/m$

Hőszigetelés súlya: $p_{szig,\perp}^k = t * g_{szig} = 1{,}0 * 0{,}225 = 0{,}23\ kN/m$

Összes állandó teher: $p_{g,\perp}^k = p_{LTP,\perp}^k + p_{szig,\perp}^k = \mathbf{0{,}28\ kN/m}$

Esetleges terhek:

Szélteher:

$q_p(z) = \mathbf{0{,}38\ kN/m^2}$

Belső szélteher:

Szívás:

$p_{w,i,sz}^k = t * q_p * c_{pi,sz} = 1{,}0 * 0{,}38 * 0{,}3 = \mathbf{+0{,}11\ kN/m}$

Nyomás:

$p_{w,i,ny}^k = t * q_p * c_{pi,ny} = 1{,}0 * 0{,}38 * 0{,}2 = \mathbf{-0{,}08\ kN/m}$

1.1.4.3. Teherkombinációk

1. teherkombináció: max. önsúly + belső szélszívás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_\perp^{U,1} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^k + \gamma_w * p_{w,i,sz,0}^k = 1{,}35 * 0{,}28 + 1{,}5 * 0{,}11 = \mathbf{+0{,}55\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_\perp^{S,1} = p_{g,\perp}^k + p_{w,i,sz,0}^k = 0{,}28 + 0{,}11 = \mathbf{+0{,}39\ kN/m}$

2. teherkombináció: min. önsúly + belső szélnyomás

Nem mértékadó. (ld. 3.1.3.3)

1.1.4.4. Trapézlemez méretezése (DIMroof)

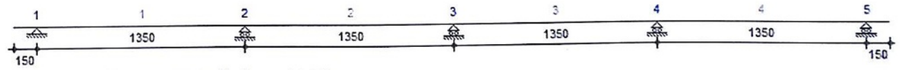
Kihasználtság teherbírási határállapotban: **36 %**
Kihasználtság használhatósági határállapotban: **78 %**

Alkalmazott trapézlemez: LTP 20-0,5

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.1.5. Mellékhajó fal trapézlemezének méretezése

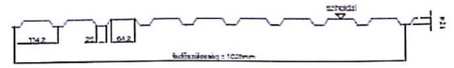
1.1.5.1. Statikai váz, keresztmetszet



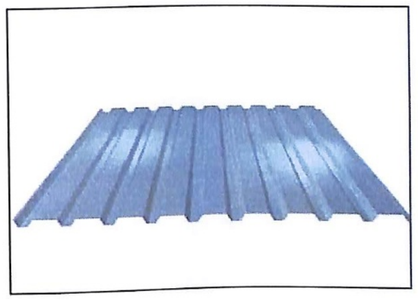
Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett keresztmetszet: LVP 20-0,5

LVP 20



Fedőszélesség	mm	1028			
Vastagság	mm	0.40	0.50	0.60	0.70
Folyáshatár f_y	N/mm²	250	250	250	350
Tömeg	kg/m²	3.76	4.70	5.64	6.57
Gyártási hossz	min (mm)	210	210	210	210
	min (mm)	8000	10000	10000	10000



1.1.5.2. Terhek

<u>Állandó terhek:</u>

Függőleges irányú teherként nem vehető számításba a trapézlemez önsúlya.

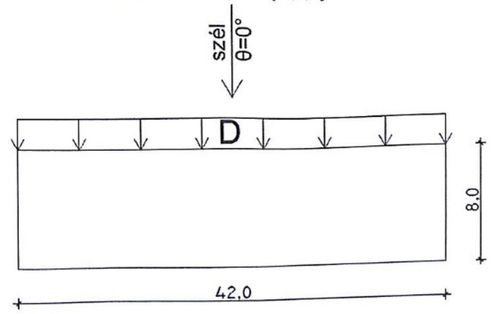
<u>Esetleges terhek:</u>

Szélteher:

$q_p(z) = \mathbf{0,38\ kN/m^2}$

<u>Nyomás:</u>

D-zóna: $p_{w,e,ny}^{D,k} = t * q_p * c_{pe,1,ny}^{D} = 1{,}0 * 0{,}38 * 1{,}0 = \mathbf{+0,38\ kN/m}$

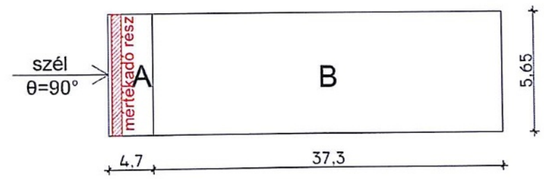


<u>Szívás:</u>

A-zóna: $p_{w,e,sz}^{A,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^{A} = 1{,}0 * 0{,}38 * 1{,}4 = \mathbf{-0,53\ kN/m}$

B-zóna: $p_{w,e,sz}^{B,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^{B} = 1{,}0 * 0{,}38 * 1{,}1 = -0{,}42\ kN/m$

E-zóna: $p_{w,e,sz}^{E,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^{E} = 1{,}0 * 0{,}38 * 0{,}5 = -0{,}19\ kN/m$



1.1.5.3. Teherkombinációk

1. teherkombináció: szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,1} = \gamma_w * p_{w,e,ny}^{D,k} = 1{,}5 * 0{,}38 = \mathbf{+0{,}57\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,1} = p_{w,e,ny}^{D,k} = \mathbf{+0{,}38\ kN/m}$

2. teherkombináció: szélszívás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,2} = \gamma_w * p_{w,e,sz}^{A,k} = 1{,}5 * 0{,}53 = \mathbf{-0{,}80\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,2} = p_{w,e,sz}^{A,k} = \mathbf{-0{,}53\ kN/m}$

1.1.5.4. Trapézlemez méretezése (DIMroof)

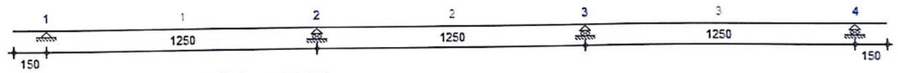
Teherkombinációk	**Kihasználtság (%)**	
	Teherbírási határállapot (ULS)	Használhatósági határállapot (SLS)
1. teherkombináció	23 %	61 %
2. teherkombináció	**32 %**	**85 %**

Alkalmazott trapézlemez: LVP 20-0,5

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.1.6. Főhajó és mellékhajó közti fal trapézlemezének méretezése

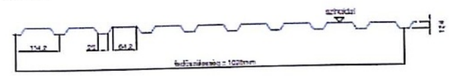
1.1.6.1. Statikai váz, keresztmetszet



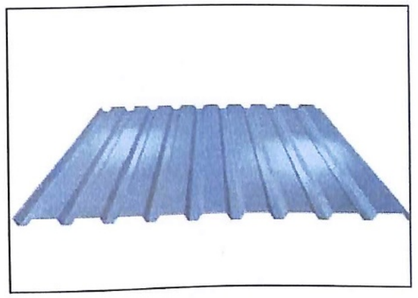
Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett keresztmetszet: LVP 20-0,5

LVP 20



Fedőszélesség	mm	1028			
Vastagság	mm	0.40	0.50	0.60	0.70
Folyáshatár f_y	N/mm²	250	250	250	350
Tömeg	kg/m²	3.76	4.70	5.64	6.57
Gyártási hossz	min (mm)	210	210	210	210
	min (mm)	8000	10000	10000	10000



1.1.6.2. Terhek

<u>Állandó terhek:</u>

Függőleges irányú teherként nem vehető számításba a trapézlemez önsúlya.

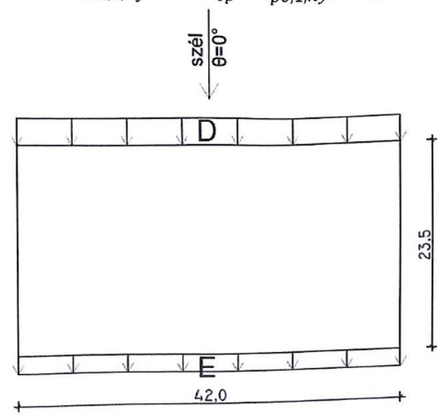
<u>Esetleges terhek:</u>

Szélteher:

$q_p(z) = \mathbf{0,48\ kN/m^2}$

<u>Nyomás:</u>

D-zóna: $p_{w,e,ny}^{D,k} = t * q_p * c_{pe,1,ny}^{D} = 1{,}0 * 0{,}48 * 1{,}0 = \mathbf{+0,48\ kN/m}$

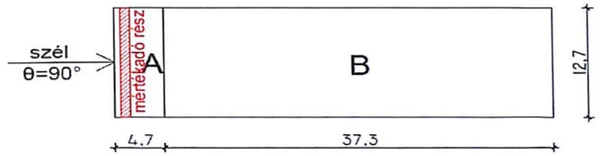


<u>Szívás:</u>

A-zóna: $p_{w,e,sz}^{A,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^{A} = 1{,}0 * 0{,}48 * 1{,}4 = \mathbf{-0,67\ kN/m}$

B-zóna: $p_{w,e,sz}^{B,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^{B} = 1{,}0 * 0{,}48 * 1{,}1 = -0{,}53\ kN/m$

E-zóna: $p_{w,e,sz}^{E,k} = t * q_p * c_{pe,1,sz}^{E} = 1{,}0 * 0{,}48 * 0{,}5 = -0{,}24\ kN/m$



1.1.6.3. Teherkombinációk

1. teherkombináció: szélnyomás (θ=0°)

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,1} = \gamma_w * p_{w,e,ny}^{D,k} = 1{,}5 * 0{,}48 = +\mathbf{0{,}72\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,1} = p_{w,e,ny}^{D,k} = +\mathbf{0{,}48\ kN/m}$$

2. teherkombináció: szélszívás (θ=90°)

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,2} = \gamma_w * p_{w,e,sz}^{A,k} = 1{,}5 * 0{,}67 = -\mathbf{1{,}01\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,2} = p_{w,e,sz}^{A,k} = -\mathbf{0{,}67\ kN/m}$$

1.1.6.4. Trapézlemez méretezése (DIMroof)

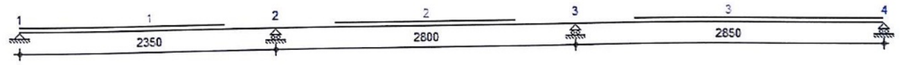
Teherkombinációk	Kihasználtság (%)	
	Teherbírási határállapot (ULS)	Használhatósági határállapot (SLS)
1. teherkombináció	24 %	63 %
2. teherkombináció	**33 %**	**88 %**

Alkalmazott trapézlemez: LVP 20-0,5

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.1.7. Mellékhajó födém trapézlemezének méretezése

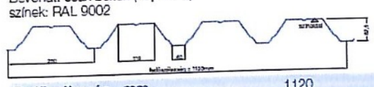
1.1.7.1. Statikai váz, keresztmetszet, alaprajz



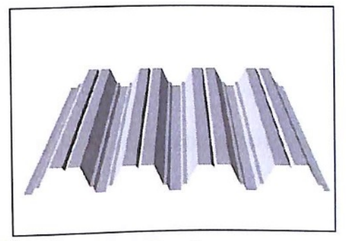
Szerkezeti acél anyagminősége: S235

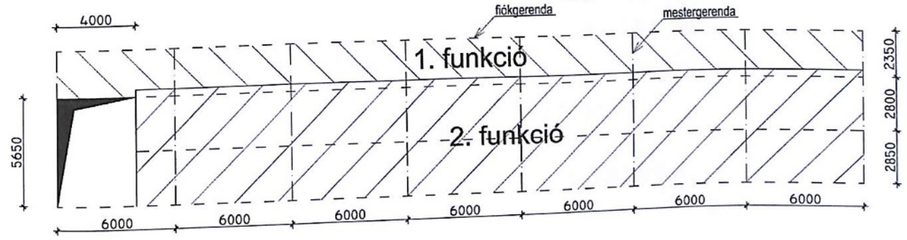
Feltételezett keresztmetszet: LTP 85-1,25

LTP 85
Bevonat: csak beltéri (15µm PE)
színek: RAL 9002



Fedőszélesség	mm	1120			
Vastagság	mm	0.75	0.88	1.00	1.25
Folyáshatár f_y	N/mm²	320	320	320	320
Tömeg	kg/m²	7.89	9.25	10.51	13.14
Gyártási hossz	min (mm)	2000	2000	2000	2000
	max (mm)	13500	13500	13500	13500





1.1.7.2. Terhek

<u>Állandó teher:</u>

1. funkció: folyosó

Réteg neve	v (cm)	g (kN/m²)
Lapburkolat (linóleum)+ragasztó	0,3	0,054
RIGIDUR E20 + RIGIDUR 10 mm	3,0	0,312
POLIFOAM	0,5	elhanyagolható
Tehereloszto beton	4,0+8,5	1,835
Teherhordó trapézlemez (LTP 85)	8,5	0,131
	$g_{r,1}$=	*2,332*

$$p_g^{k,1} = t * g_{r,1} = 1{,}0 * 2{,}257 = \mathbf{2{,}33\ kN/m}$$

2. funkció: öltözők, iroda

Réteg neve	v (cm)	g (kN/m²)
Lapburkolat (gresalp)+ragasztó	2,5	0,590
RIGIDUR E20	2,0	0,208
POLIFOAM	0,5	elhanyagolható
Tehereloszto beton	4,0+8,5	1,835
Teherhordó trapézlemez (LTP 85)	8,5	0,131
	$g_{r,2}$=	*2,764*

$$p_g^{k,2} = t * g_{r,2} = 1{,}0 * 2{,}579 = \mathbf{2{,}76\ kN/m}$$

Esetleges terhek:

- Hasznos teher:

  1. funkció: $p_{q,1} = 5{,}0\ kN/m^2$

  $p_q^{k,1} = t * p_{q,1} = 1{,}0 * 5{,}0 = \mathbf{5{,}0\ kN/m}$

  2. funkció: $p_{q,2} = 3{,}0\ kN/m^2$

  $p_q^{k,2} = t * p_{q,2} = 1{,}0 * 3{,}0 = \mathbf{3{,}0\ kN/m}$

- Válaszfal teher:

  $p_{fal} = 0{,}5\ kN/m^2$

  $p_{fal}^k = t * p_{fal} = 1{,}0 * 0{,}5 = \mathbf{0{,}5\ kN/m^2}$

  Megj.: A válaszfalteher a folyosón nincs működtetve, a válaszfalak anyaga gipszkarton.

1.1.7.3. Teherkombináció

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,1} = \gamma_{G,sup} * p_g^{k,1} + \gamma_q * p_q^{k,1} = 1{,}35 * 2{,}33 + 1{,}5 * 5{,}0 = \mathbf{10{,}65\ kN/m}$

$p_{\perp}^{U,2} = \gamma_{G,sup} * p_g^{k,2} + \gamma_q * p_q^{k,2} + \psi_{0,fal} * \gamma_{fal} * p_{fal}^k$

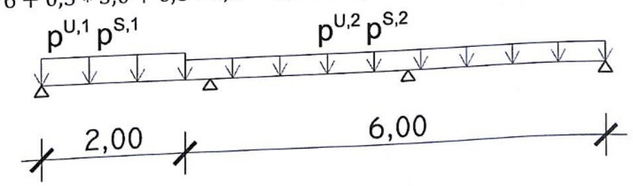
$p_{\perp}^{U,2} = 1{,}35 * 2{,}76 + 1{,}5 * 3{,}0 + 1{,}0 * 1{,}5 * 0{,}50 = \mathbf{8{,}98\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,1} = \gamma_{G,inf} * p_g^{k,1} + \psi_{2,q} * p_q^{k,1} = 1{,}0 * 2{,}33 + 0{,}6 * 5{,}0 = \mathbf{5{,}33\ kN/m}$

$p_{\perp}^{S,2} = \gamma_{G,inf} * p_g^{k,2} + \psi_{2,q} * p_q^{k,2} + \psi_{2,fal} * p_{fal}^k$

$p_{\perp}^{S,2} = 1{,}0 * 2{,}76 + 0{,}3 * 3{,}0 + 0{,}8 * 0{,}5 = \mathbf{4{,}06\ kN/m}$



1.1.7.4. Trapézlemez méretezése (DIMroof)

Kihasználtság teherbírási határállapotban: **91 %**
Kihasználtság használhatósági határállapotban: **17 %**

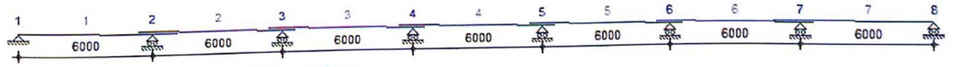
Alkalmazott trapézlemez: LTP 85-1,25

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.2. Szelemenek méretezése

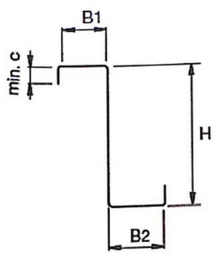
1.2.1. Főhajó tetőszelemen méretezése

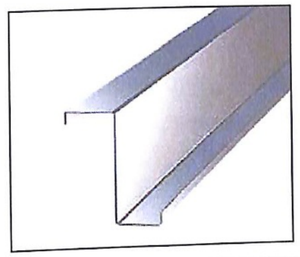
1.2.1.1. Statikai váz, keresztmetszet



Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett szelvény: Z200-2,5





Profil	t [mm]	H	B_2	B_1	g [kg/m]	f_y [N/mm²]	I_g [cm⁴]	I_{ef} [cm⁴]	M_H [kNm]	T_H [kN]	$F_{H,e}$ [kN]	$F_{H,i}$ [kN]
Z200	1.00	200.00	74.00	66.00	2.90	350	217.1	125.0	3.22	4.75	3.58	7.12
	1.20	200.00	74.00	66.00	3.48	350	263.5	176.3	4.84	8.54	4.98	9.95
	1.50	200.00	74.00	66.00	4.34	350	330.4	258.1	7.69	16.98	7.36	14.72
	2.00	200.00	74.00	66.00	5.79	350	443.1	405.1	13.43	41.38	12.23	24.46
	2.50	200.00	74.00	66.00	7.24	350	555.0	542.9	18.97	69.13	18.10	36.19

1.2.1.2. Terhek

<u>Állandó terhek:</u>

Rétegrend súlya:

Réteg neve	v (cm)	g (kN/m²)
Külső trapézlemez (LTP 45-0,5)	4,3	0,054
Hőszigetelés	15,0	0,225
Párazáró fólia	elhanyagolható	
Belső trapézlemez (LTP 20-0,5)	1,7	0,047
	$g_{r,3}$=	*0,326*

Z-szelemen önsúlya: g_z=*0,072 kN/m*

$\alpha = 5{,}7° \rightarrow p_i^k = p_{i,\perp}^k$

$p_{g,\perp}^{k,1} = (t_1 * g_{r,3}) + g_z = (2{,}0 * 0{,}326) + 0{,}072 = \mathbf{0{,}72\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,2} = (t_2 * g_{r,3}) + g_z = (1{,}875 * 0{,}326) + 0{,}072 = \mathbf{0{,}68\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,3} = (t_3 * g_{r,3}) + g_z = (1{,}625 * 0{,}326) + 0{,}072 = \mathbf{0{,}60\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,4} = (t_4 * g_{r,3}) + g_z = (1{,}375 * 0{,}326) + 0{,}072 = \mathbf{0{,}52\ kN/m}$

Esetleges terhek:

- Hóteher:

$s = 1{,}0\ kN/m^2$

$p_{s,\perp}^{k,1} = t_1 * s = 2{,}0 * 1{,}0 = \mathbf{2{,}0\ kN/m}$

$p_{s,\perp}^{k,2} = t_2 * s = 1{,}875 * 1{,}0 = \mathbf{1{,}88\ kN/m}$

$p_{s,\perp}^{k,3} = t_3 * s = 1{,}625 * 1{,}0 = \mathbf{1{,}63\ kN/m}$

$p_{s,\perp}^{k,4} = t_4 * s = 1{,}375 * 1{,}0 = \mathbf{1{,}38\ kN/m}$

- Szélteher:

$q_p = 0{,}48\ kN/m^2$

- Keresztirányú-külső szélteher (θ=0°):

Szívás:

F-zóna:

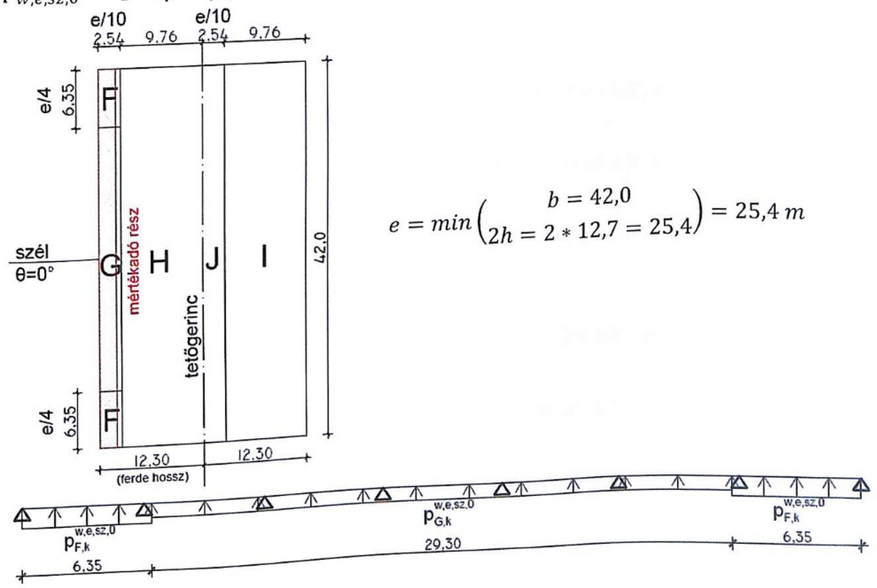
$p_{w,e,sz,0}^{F,k} = t_4 * q_p * c_{pe,10,sz}^{F} = 1{,}375 * 0{,}48 * 1{,}7 = \mathbf{-1{,}12\ kN/m}$

G-zóna:

$p_{w,e,sz,0}^{G,k} = t_4 * q_p * c_{pe,10,sz}^{G} = 1{,}375 * 0{,}48 * 1{,}2 = \mathbf{-0{,}79\ kN/m}$

H-zóna:

$p_{w,e,sz,0}^{H,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 2{,}0 * 0{,}48 * 0{,}6 = -0{,}58\ kN/m$ *(nem mértékadó)*



$e = min\begin{pmatrix} b = 42{,}0 \\ 2h = 2 * 12{,}7 = 25{,}4 \end{pmatrix} = 25{,}4\ m$

Nyomás:

J-zóna:

$p_{w,e,ny,0}^{J,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,ny}^{J} = 2{,}0 * 0{,}48 * 0{,}2 = \mathbf{+0{,}19\ kN/m}$

- Hosszirányú-külső szélteher (θ=90°):

  Szívás:

  - 1. rész:

    F-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{F,k} = t_4 * q_p * c_{pe,10,sz}^{F} = 1{,}375 * 0{,}48 * 1{,}6 = -1{,}06\ kN/m$

    H-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{H,k} = t_4 * q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 1{,}375 * 0{,}48 * 0{,}7 = -0{,}46\ kN/m$

    I-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{I,k} = t_4 * q_p * c_{pe,10,sz}^{I} = 1{,}375 * 0{,}48 * 0{,}5 = -0{,}33\ kN/m$

  - 2. rész:

    G-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{G,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{G} = 2{,}0 * 0{,}48 * 1{,}3 = \mathbf{-1{,}25\ kN/m}$

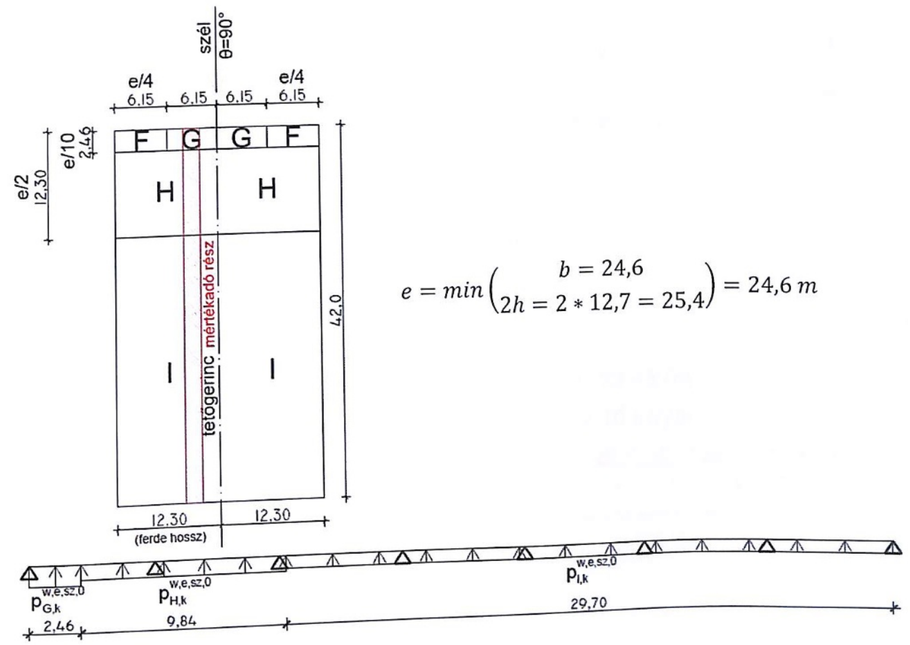
    H-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{H,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 2{,}0 * 0{,}48 * 0{,}7 = \mathbf{-0{,}67\ kN/m}$

    I-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{I,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{I} = 2{,}0 * 0{,}48 * 0{,}5 = \mathbf{-0{,}48\ kN/m}$

    A 2. rész a mértékadó!



$$e = min\begin{pmatrix} b = 24{,}6 \\ 2h = 2 * 12{,}7 = 25{,}4 \end{pmatrix} = 24{,}6\ m$$

- Belső szélteher:

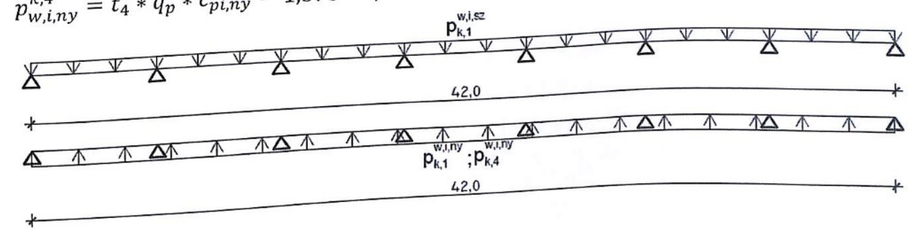
<u>Szívás:</u>

$p_{w,i,sz}^{k,1} = t_1 * q_p * c_{pi,sz} = 2{,}0 * 0{,}48 * 0{,}3 = \mathbf{+0{,}29\ kN/m}$

<u>Nyomás:</u>

$p_{w,i,ny}^{k,1} = t_1 * q_p * c_{pi,ny} = 2{,}0 * 0{,}48 * 0{,}2 = \mathbf{-0{,}19\ kN/m}$

$p_{w,i,ny}^{k,4} = t_4 * q_p * c_{pi,ny} = 1{,}375 * 0{,}48 * 0{,}2 = \mathbf{-0{,}13\ kN/m}$



1.2.1.3. Teherkombinációk

1. teherkombináció: max. önsúly + hóteher + külső szélnyomás + belső szélszívás

Teherbírási határállapot (ULS):

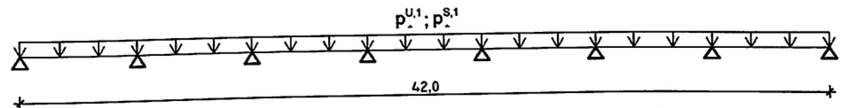
$p_{\perp}^{U,1} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^{k,1} + \gamma_s * p_{s,\perp}^{k,1} + \psi_{0,w} * \gamma_w * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k,1}\right)$

$p_{\perp}^{U,1} = 1{,}35 * 0{,}72 + 1{,}5 * 2{,}0 + 0{,}6 * 1{,}5 * (0{,}19 + 0{,}29) = \mathbf{+4{,}40\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,1} = p_{g,\perp}^{k,1} + p_{s,\perp}^{k,1} + \psi_{0,w} * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k,1}\right)$

$p_{\perp}^{S,1} = 0{,}72 + 2{,}0 + 0{,}6 * (0{,}19 + 0{,}29) = \mathbf{+3{,}01\ kN/m}$



2. teherkombináció: min. önsúly + szélszívás (θ=0°) + belső szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,2,F} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,4} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,0}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k,4}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,2,F} = 1{,}0 * 0{,}52 - 1{,}5 * (1{,}12 + 0{,}13) = \mathbf{-1{,}36\ kN/m}$$

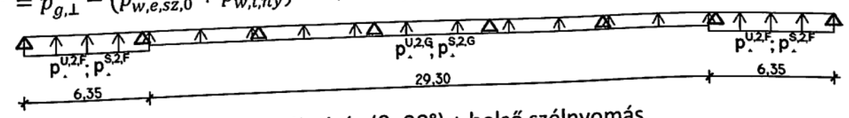
$$p_{\perp}^{U,2,G} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,4} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,0}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k,4}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,2,G} = 1{,}0 * 0{,}52 - 1{,}5 * (0{,}79 + 0{,}13) = \mathbf{-0{,}86\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,2,F} = p_{g,\perp}^{k,4} - \left(p_{w,e,sz,0}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k,4}\right) = 0{,}52 - (1{,}12 + 0{,}13) = \mathbf{-0{,}73\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,2,G} = p_{g,\perp}^{k,4} - \left(p_{w,e,sz,0}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k,4}\right) = 0{,}52 - (0{,}79 + 0{,}13) = \mathbf{-0{,}40\ kN/m}$$



3. teherkombináció: önsúly + szélszívás (θ=90°) + belső szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,3,G} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k,1}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,3,G} = 1{,}0 * 0{,}72 - 1{,}5 * (1{,}25 + 0{,}19) = \mathbf{-1{,}44\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,3,H} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{H,k} + p_{w,i,ny}^{k,1}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,3,H} = 1{,}0 * 0{,}72 - 1{,}5 * (0{,}67 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}57\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,3,I} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{I,k} + p_{w,i,ny}^{k,1}\right)$$

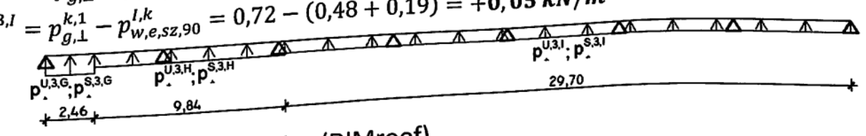
$$p_{\perp}^{U,3,I} = 1{,}0 * 0{,}72 - 1{,}5 * (0{,}48 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}29\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,3,G} = p_{g,\perp}^{k,1} - p_{w,e,sz,90}^{G,k} = 0{,}72 - (1{,}25 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}72\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,3,H} = p_{g,\perp}^{k,1} - p_{w,e,sz,90}^{H,k} = 0{,}72 - (0{,}67 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}14\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,3,I} = p_{g,\perp}^{k,1} - p_{w,e,sz,90}^{I,k} = 0{,}72 - (0{,}48 + 0{,}19) = \mathbf{+0{,}05\ kN/m}$$



1.2.1.4. Szelemen méretezése (DIMroof)

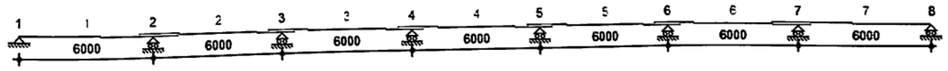
Teherkombinációk	Kihasználtság (%)	
	Teherbírási határállapot (ULS)	Használhatósági határállapot (SLS)
1. teherkombináció	**99 %**	**62 %**
2. teherkombináció	38 %	18 %
3. teherkombináció	29 %	9 %

Alkalmazott szelemen: Z 200-2,5

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.2.2. Mellékhajó tetőszelemen méretezése

1.2.2.1. Statikai váz, keresztmetszet



Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett szelvény: Z250-3,0

Profil	t [mm]	H	B_2	B_1	g [kg/m]	f_y [N/mm²]	I_g [cm⁴]	I_{ef} [cm⁴]	M_H [kNm]	T_H [kN]	$F_{H,e}$ [kN]	$F_{H,i}$ [kN]
Z250	1.50	250.00	74.00	66.00	4.99	350	565.1	420.1	9.70	13.55	8.21	16.41
	2.00	250.00	74.00	66.00	6.66	350	758.8	666.1	17.02	33.04	13.58	27.17
	2.50	250.00	74.00	66.00	8.32	350	951.6	910.8	24.88	65.68	20.03	40.06
	3.00	250.00	74.00	66.00	9.99	350	1127.6	1118.7	31.55	97.49	26.85	53.69

1.2.2.2. Terhek

Állandó terhek:

$\alpha = 10{,}2° \rightarrow p_i^k \neq p_{i,\perp}^k$

Rétegrend súlya:

Réteg neve	v (cm)	g (kN/m²)
Külső trapézlemez (LTP 45-0,5)	4,3	0,054
Hőszigetelés	15,0	0,225
Párazáró fólia	elhanyagolható	
Belső trapézlemez (LTP 20-0,5)	1,7	0,047
	g_{r4}=	*0,326*

$p_{g,\perp}^{k,1} = [(t_1 * g_{r4}) + g_z] * \cos\alpha = [(2{,}5 * 0{,}326) + 0{,}10] * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}90\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,2} = [(t_2 * g_{r4}) + g_z] * \cos\alpha = [(2{,}0 * 0{,}326) + 0{,}10] * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}74\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,3} = [(t_3 * g_{r4}) + g_z] * \cos\alpha = [(1{,}50 * 0{,}326) + 0{,}10] * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}58\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,4} = [(t_4 * g_{r4}) + g_z] * \cos\alpha = [(1{,}125 * 0{,}326) + 0{,}10] * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}46\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,5} = [(t_5 * g_{r4}) + g_z] * \cos\alpha = [(0{,}75 * 0{,}326) + 0{,}10] * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}34\ kN/m}$

$p_{g,\perp}^{k,6} = [(t_6 * g_{r4}) + g_z] * \cos\alpha = [(0{,}375 * 0{,}326) + 0{,}10] * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}22\ kN/m}$

Esetleges terhek:

- Hóteher:

  Hóteher tervezési értékei:

  $s_1 = 1{,}0\ kN/m^2$ $s_2 = 4{,}64\ kN/m^2$ (ld. 3.1.2.2)

  $p_{s,\perp}^{k,1} = s^1 * t_1 * \cos^2\alpha = 1{,}0 * 2{,}5 * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{2{,}46\ kN/m}$

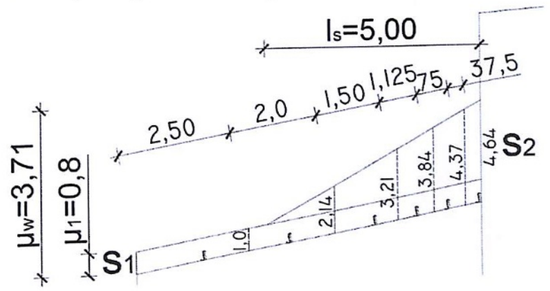
  $p_{s,\perp}^{k,2} = s^2 * t_2 * \cos^2\alpha = \left(\frac{1{,}0 + 2{,}14}{2} * 2{,}0\right) * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{3{,}04\ kN/m}$

  $p_{s,\perp}^{k,3} = s^3 * t_3 * \cos^2\alpha = \left(\frac{2{,}14 + 3{,}21}{2} * 1{,}50\right) * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{3{,}89\ kN/m}$

  $p_{s,\perp}^{k,4} = s^4 * t_4 * \cos^2\alpha = \left(\frac{3{,}21 + 3{,}84}{2} * 1{,}125\right) * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{3{,}84\ kN/m}$

$$p_{s,\perp}^{k,5} = s^5 * t_5 * \cos^2\alpha = \left(\frac{3{,}84 + 4{,}37}{2} * 0{,}75\right) * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{3{,}11\ kN/m}$$

$$p_{s,\perp}^{k,6} = s^6 * t_6 * \cos^2\alpha = \left(\frac{4{,}37 + 4{,}64}{2} * 0{,}375\right) * \cos^2 10{,}2° = \mathbf{1{,}64\ kN/m}$$



- Szélteher:

$q_p = 0{,}38\ kN/m^2$

- Keresztirányú-külső szélteher (θ=0°):

Szívás:

F-zóna:

$$p_{w,e,sz,0}^{F,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{F} = 2{,}5 * 0{,}38 * 1{,}3 = \mathbf{-1{,}24\ kN/m}$$

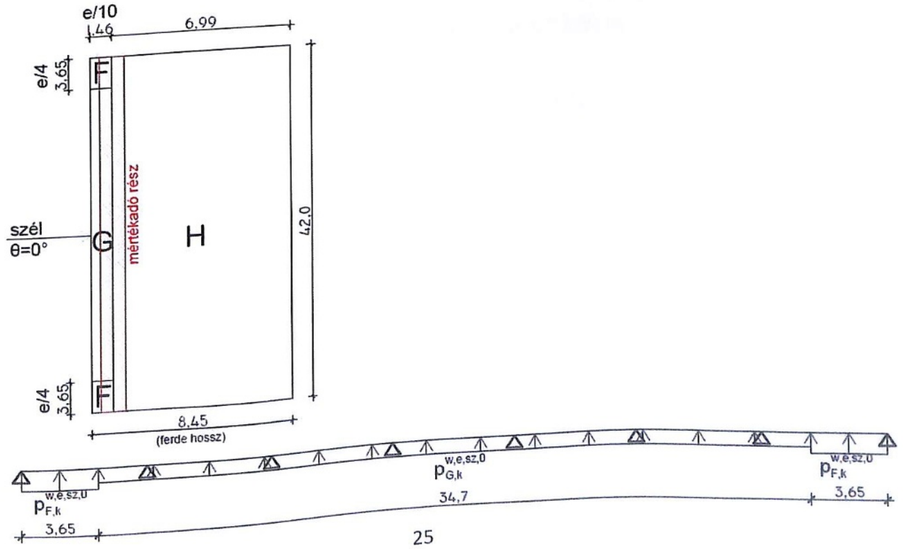
G-zóna:

$$p_{w,e,sz,0}^{G,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{G} = 2{,}5 * 0{,}38 * 1{,}0 = \mathbf{-0{,}95\ kN/m}$$

H-zóna:

$$p_{w,e,sz,0}^{H,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 2{,}5 * 0{,}38 * 0{,}45 = -0{,}43\ kN/m$$ *(nem mértékadó)*

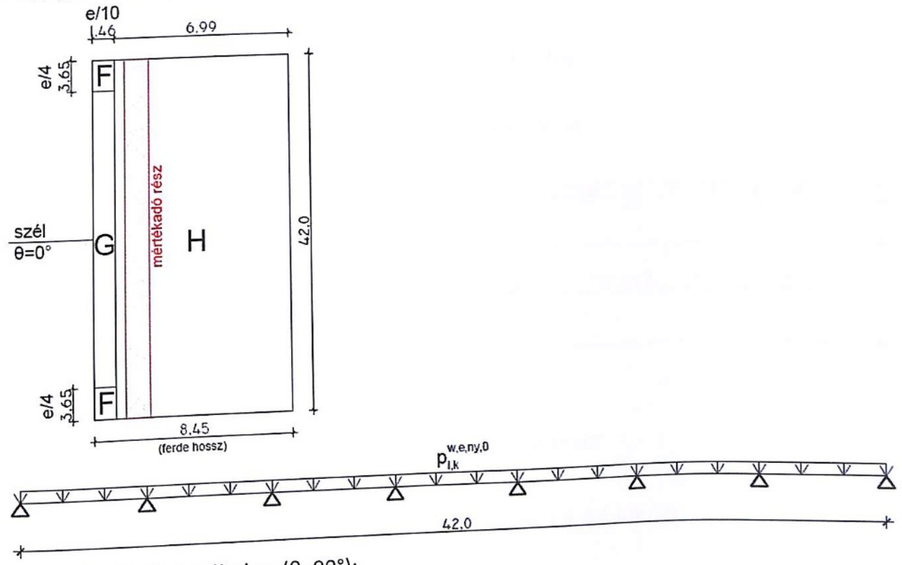
Megj.: A számítás egyszerűsítése céljából és a biztonság javára a H-zóna területén is az F, ill. G-zóna nyomási tényezőivel számolunk.



Nyomás:

H-zóna:

$$p_{w,e,ny,0}^{H,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,ny} = 2{,}5 * 0{,}38 * 0{,}1 = +\mathbf{0{,}10\ kN/m}$$



- Hosszirányú-külső szélteher (θ=90°):

Szívás:

F_{low}-zóna:

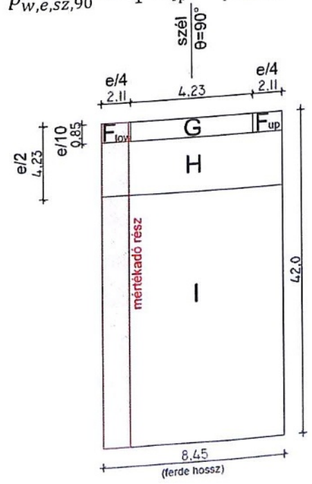
$$p_{w,e,sz,90}^{F,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{F_{low}} = 2{,}5 * 0{,}38 * 1{,}85 = \mathbf{-1{,}76\ kN/m}$$

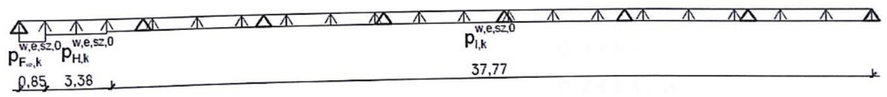
H-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{H,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 2{,}5 * 0{,}38 * 0{,}7 = \mathbf{-0{,}67\ kN/m}$$

I-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{I,k} = t_1 * q_p * c_{pe,10,sz}^{I} = 2{,}5 * 0{,}38 * 0{,}6 = \mathbf{-0{,}57\ kN/m}$$





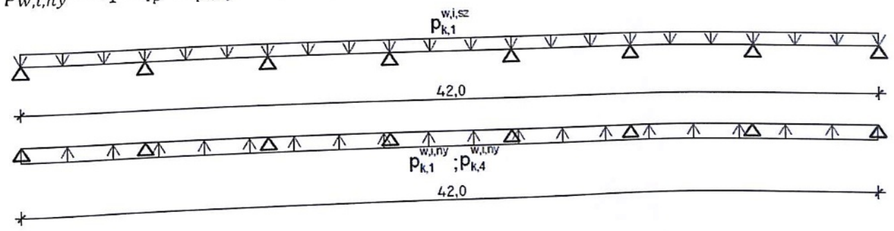
- Belső szélteher:

Szívás:

$p_{w,i,sz}^{k} = t_1 * q_p * c_{pi,sz} = 2{,}5 * 0{,}38 * 0{,}3 = +\mathbf{0{,}29\ kN/m}$

Nyomás:

$p_{w,i,ny}^{k} = t_1 * q_p * c_{pi,ny} = 2{,}5 * 0{,}38 * 0{,}2 = -\mathbf{0{,}19\ kN/m}$



1.2.2.3. Teherkombinációk

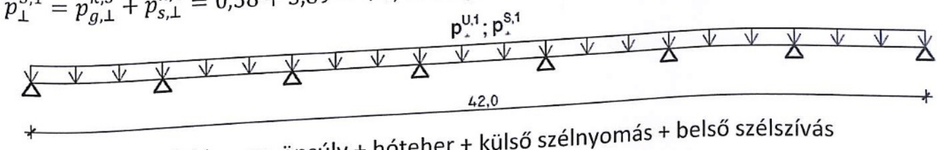
1. teherkombináció: max. önsúly + átrendeződött max. hóteher

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,1} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^{k,3} + \gamma_s * p_{s,\perp}^{k,4} = 1{,}35 * 0{,}58 + 1{,}5 * 3{,}89 = +\mathbf{6{,}62\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,1} = p_{g,\perp}^{k,3} + p_{s,\perp}^{k,4} = 0{,}58 + 3{,}89 = +\mathbf{4{,}47\ kN/m}$



2. teherkombináció: max. önsúly + hóteher + külső szélnyomás + belső szélszívás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,2} = \gamma_{G,sup} * p_{g,\perp}^{k,1} + \gamma_s * p_{s,\perp}^{k,1} + \psi_{0,w} * \gamma_w * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k,1}\right)$

$p_{\perp}^{U,2} = 1{,}35 * 0{,}90 + 1{,}5 * 2{,}46 + 0{,}6 * 1{,}5 * (0{,}10 + 0{,}29) = +5{,}26\ kN/m$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,2} = p_{g,\perp}^{k,1} + p_{s,\perp}^{k,1} + \psi_{0,w} * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k,1}\right)$

$p_{\perp}^{S,2} = 0{,}90 + 2{,}46 + 0{,}6 * (0{,}10 + 0{,}29) = +3{,}59\ kN/m$

A 2. teherkombináció nem mértékadó.

3. teherkombináció: min. önsúly + szélszívás (θ=0°) + belső szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,3,F} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,0}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

$p_{\perp}^{U,3,F} = 1{,}0 * 0{,}90 - 1{,}5 * (1{,}24 + 0{,}19) = -\mathbf{1{,}25\ kN/m}$

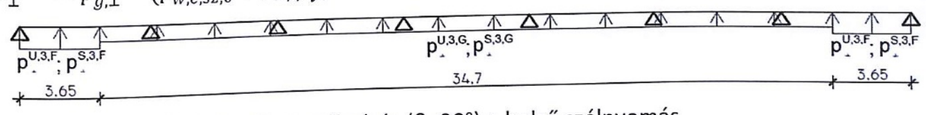
$p_{\perp}^{U,3,G} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,0}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

$p_{\perp}^{U,3,G} = 1{,}0 * 0{,}90 - 1{,}5 * (0{,}95 + 0{,}19) = -\mathbf{0{,}81\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,3,F} = p_{g,\perp}^{k,1} - \left(p_{w,e,sz,0}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}90 - (1{,}24 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}53\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,3,G} = p_{g,\perp}^{k,1} - \left(p_{w,e,sz,0}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}90 - (0{,}95 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}24\ kN/m}$$



4. teherkombináció: önsúly + szélszívás (θ=90°) + belső szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,4,F} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,4,G} = 1{,}0 * 0{,}90 - 1{,}5 * (1{,}76 + 0{,}19) = \mathbf{-2{,}03\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,4,H} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{H,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,4,H} = 1{,}0 * 0{,}90 - 1{,}5 * (0{,}67 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}39\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{U,4,I} = \gamma_{G,inf} * p_{g,\perp}^{k,1} - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{I,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$$

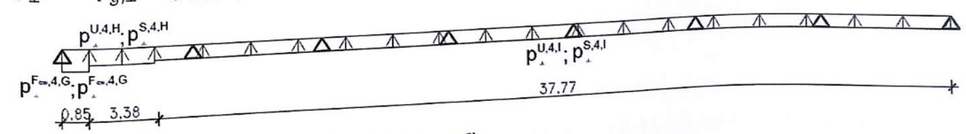
$$p_{\perp}^{U,4,I} = 1{,}0 * 0{,}90 - 1{,}5 * (0{,}57 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}24\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,4,F} = p_{g,\perp}^{k,1} - \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}90 - (1{,}76 + 0{,}19) = \mathbf{-1{,}05\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,4,H} = p_{g,\perp}^{k,1} - \left(p_{w,e,sz,90}^{H,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}90 - (0{,}67 + 0{,}19) = \mathbf{-0{,}04\ kN/m}$$

$$p_{\perp}^{S,4,I} = p_{g,\perp}^{k,1} - \left(p_{w,e,sz,90}^{I,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}90 - (0{,}57 + 0{,}19) = \mathbf{+0{,}14\ kN/m}$$



1.2.2.4. Szelemen méretezése (DIMroof)

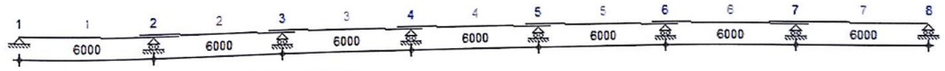
Teherkombinációk	Kihasználtság (%)	
	Teherbírási határállapot (ULS)	Használhatósági határállapot (SLS)
1. teherkombináció	**98 %**	**45 %**
3. teherkombináció	23 %	5 %
4. teherkombináció	10 %	2 %

Alkalmazott szelemen: Z 250-3,0

(Megj.: DIMroof dokumentáció a Mellékletekben található)

1.2.3. Mellékhajó falszelemen méretezése

1.2.3.1. Statikai váz, keresztmetszet



Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett szelvény: Z200-2,5

1.2.3.2. Terhek

Állandó terhek:

Rétegrend súlya:

Réteg neve	v (cm)	g (kN/m^2)
Külső trapézlemez (LVP 20-0,5)	4,3	0,047
Hőszigetelés	15,0	0,225
Párazáró fólia	elhanyagolható	
Belső trapézlemez (LVP 20-0,5)	1,7	0,047
	g_{r5}=	*0,319*

$p^k_{g,\perp} = t * g_{r5} + g_z = 1{,}35 * 0{,}319 + 0{,}072 = \mathbf{0{,}50\ kN/m}$

Esetleges terhek:

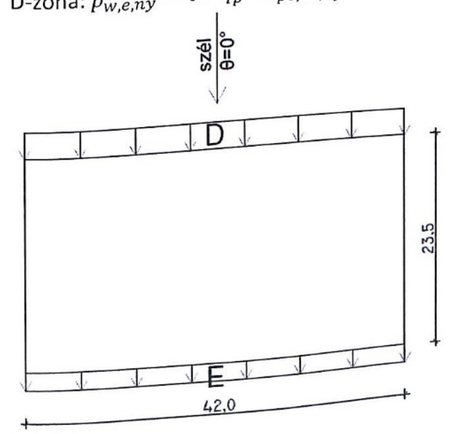
Szélteher:

$q_p(z) = \mathbf{0{,}38\ kN/m^2}$

- Külső szélteher:

Nyomás:

D-zóna: $p^{D,k}_{w,e,ny} = t * q_p * c^D_{pe,10,ny} = 1{,}35 * 0{,}38 * 0{,}8 = +0{,}41\ kN/m$ *(nem mértékadó)*

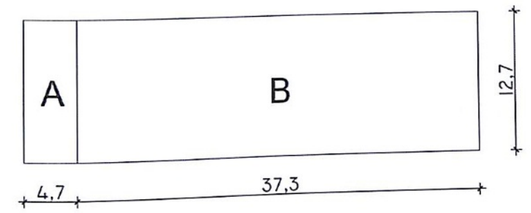


Szívás:

A-zóna: $p^{A,k}_{w,e,sz} = t * q_p * c^A_{pe,10,sz} = 1{,}35 * 0{,}38 * 1{,}2 = \mathbf{-0{,}62\ kN/m}$

B-zóna: $p^{B,k}_{w,e,sz} = t * q_p * c^B_{pe,10,sz} = 1{,}35 * 0{,}38 * 0{,}8 = \mathbf{-0{,}41\ kN/m}$

E-zóna: $p^{E,k}_{w,e,sz} = t * q_p * c^E_{pe,10,sz} = 1{,}35 * 0{,}38 * 0{,}5 = -0{,}26\ kN/m$ *(nem mértékadó)*



- Belső szélteher:

Szívás:

$p^k_{w,i,sz} = t * q_p * c_{pi,sz} = 1{,}35 * 0{,}38 * 0{,}3 = +0{,}15\ kN/m$ *(nem mértékadó)*

Nyomás:

$p^k_{w,i,ny} = t * q_p * c_{pi,ny} = 1{,}35 * 0{,}38 * 0{,}2 = \mathbf{-0{,}10\ kN/m}$

1.2.3.3. Teherkombinációk

Mértékadó teherkombináció: kétirányú hajlítás (állandó terhek + szélszívás)

Teherbírási határállapot (ULS):

$p^U_z = \gamma_{G,sup} * p^k_{g,\perp} = 1{,}35 * 0{,}50 = \mathbf{0{,}68\ kN/m}$

$p^{U,A}_y = \gamma_w * \left(p^{A,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny}\right) = 1{,}5 * (0{,}62 + 0{,}10) = \mathbf{-1{,}08\ kN/m}$

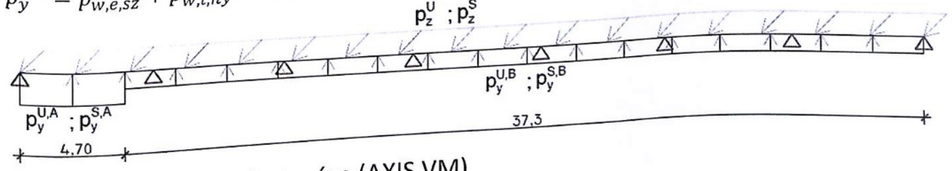
$p^{U,B}_y = \gamma_w * \left(p^{B,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny}\right) = 1{,}5 * (0{,}41 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}77\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p^S_z = p^k_{g,\perp} = \mathbf{0{,}50\ kN/m}$

$p^{S,A}_y = p^{A,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny} = 0{,}62 + 0{,}10 = \mathbf{-0{,}72\ kN/m}$

$p^{S,B}_y = p^{B,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny} = 0{,}41 + 0{,}10 = \mathbf{-0{,}51\ kN/m}$



1.2.3.4. Szelemen méretezése (AXIS VM)

z-irányú igénybevételek és elmozdulás (állandó terhek):

Teherbírási határállapot (ULS):

$$V_{z,pl.Rd} = \frac{A_{v,y} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{[(74 + 66) * 2{,}5] * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{47{,}49\ kN} > V_{z,Ed} = 2{,}47\ kN$$

Megfelel!

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16{,}8 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{3{,}95\ kNm} > M_{y,Ed} = 2{,}59\ kN$$

Megfelel!

Használhatósági határállapot (SLS):

$w_{z,max} = L/200 = 6000/200 = 30\ mm > e_z = \mathbf{6\ mm}$

Megfelel!

y-irányú igénybevételek és elmozdulás (szélszívás):

Teherbírási határállapot (ULS):

$$V_{y,pl.Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{(200 * 2{,}5) * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{67{,}84\ kN} > V_{y,Ed} = 3{,}47\ kN$$

Megfelel!

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{68{,}4 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{16{,}07\ kNm} > M_{z,Ed} = 3{,}56\ kN$$

Megfelel!

Használhatósági határállapot (SLS):

$$w_{y,max} = L/200 = 6000/200 = 30\ mm > e_y = \mathbf{10\ mm}$$

Megfelel!

Kihasználtság:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl.Rd}} + \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl.Rd}} = \frac{2{,}47}{47{,}49} + \frac{3{,}47}{67{,}84} = \mathbf{0{,}10} > 1{,}0$$

Megfelel!

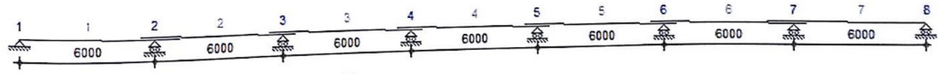
$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{2{,}59}{3{,}95} + \frac{3{,}56}{16{,}07} = \mathbf{0{,}88} > 1{,}0$$

Megfelel!

Alkalmazott szelemen: Z 200-2,5

1.2.4. Főhajó és mellékhajó közti falszelemen méretezése

1.2.4.1. Statikai váz, keresztmetszet



Szerkezeti acél anyagminősége: S235

Feltételezett szelvény: Z200-2,5

1.2.4.2. Terhek

Állandó terhek:

Rétegrend súlya:

Réteg neve	v (cm)	g (kN/m^2)
Külső trapézlemez (LVP 20-0,5)	4,3	0,047
Hőszigetelés	15,0	0,225
Párazáró fólia	elhanyagolható	
Belső trapézlemez (LVP 20-0,5)	1,7	0,047
	g_{r5}=	*0,319*

$$p_{g,\perp}^{k} = t * g_{r5} + g_z = 1{,}25 * 0{,}319 + 0{,}072 = \mathbf{0{,}47\ kN/m}$$

Esetleges terhek:

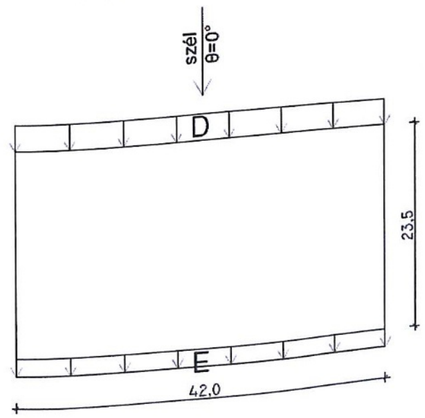
Szélteher:

$$q_p(z) = \mathbf{0{,}48\ kN/m^2}$$

- Külső szélteher:

Nyomás:

D-zóna: $p_{w,e,ny}^{D,k} = t * q_p * c_{pe,10,ny}^{D} = 1{,}25 * 0{,}48 * 0{,}8 = +0{,}48\ kN/m$ *(nem mértékadó)*

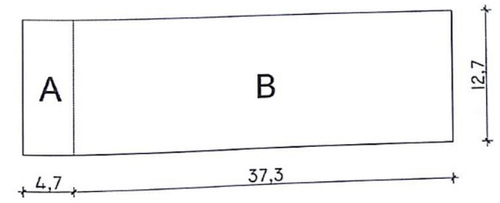


Szívás:

A-zóna: $p_{w,e,sz}^{A,k} = t * q_p * c_{pe,10,sz}^{A} = 1{,}25 * 0{,}48 * 1{,}2 = \mathbf{-0{,}72\ kN/m}$

B-zóna: $p_{w,e,sz}^{B,k} = t * q_p * c_{pe,10,sz}^{B} = 1{,}25 * 0{,}48 * 0{,}8 = \mathbf{-0{,}48\ kN/m}$

E-zóna: $p_{w,e,sz}^{E,k} = t * q_p * c_{pe,10,sz}^{E} = 1{,}25 * 0{,}48 * 0{,}5 = -0{,}30\ kN/m$ *(nem mértékadó)*



- Belső szélteher:

Szívás:

$$p^k_{w,i,sz} = t * q_p * c_{pi,sz} = 1{,}25 * 0{,}48 * 0{,}3 = \mathbf{+0{,}18\ kN/m}$$

Nyomás:

$$p^k_{w,i,ny} = t * q_p * c_{pi,ny} = 1{,}25 * 0{,}48 * 0{,}2 = \mathbf{-0{,}12\ kN/m}$$

1.2.4.3. Teherkombinációk

Mértékadó teherkombináció: kétirányú hajlítás (állandó terhek + szélszívás)

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p^U_z = \gamma_{G,sup} * p^k_{g,\perp} = 1{,}35 * 0{,}47 = \mathbf{0{,}63\ kN/m}$$

$$p^{U,A}_y = \gamma_w * \left(p^{A,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny}\right) = 1{,}5 * (0{,}72 + 0{,}12) = \mathbf{-1{,}26\ kN/m}$$

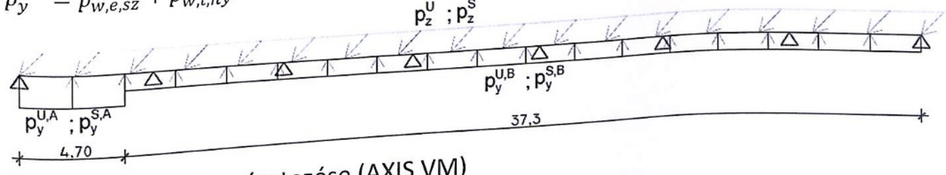
$$p^{U,B}_y = \gamma_w * \left(p^{B,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny}\right) = 1{,}5 * (0{,}48 + 0{,}12) = \mathbf{-0{,}99\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p^S_z = p^k_{g,\perp} = \mathbf{0{,}47\ kN/m}$$

$$p^{S,A}_y = p^{A,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny} = 0{,}72 + 0{,}12 = \mathbf{-0{,}84\ kN/m}$$

$$p^{S,B}_y = p^{B,k}_{w,e,sz} + p^k_{w,i,ny} = 0{,}48 + 0{,}12 = \mathbf{-0{,}60\ kN/m}$$



1.2.4.4. Szelemen méretezése (AXIS VM)

z-irányú igénybevételek és elmozdulás (állandó terhek):

Teherbírási határállapot (ULS):

$$V_{z,pl.Rd} = \frac{A_{v,y} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{[(74 + 66) * 2{,}5] * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{47{,}49\ kN} > V_{z,Ed} = 2{,}29\ kN$$

Megfelel!

$$M_{y,pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16{,}8 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{3{,}95\ kNm} > M_{y,Ed} = 2{,}40\ kNm$$

Megfelel!

Használhatósági határállapot (SLS):

$$w_{z,max} = L/200 = 6000/200 = 30\ mm > e_z = \mathbf{6\ mm}$$

Megfelel!

y-irányú igénybevételek és elmozdulás (szélszívás):

Teherbírási határállapot (ULS):

$$V_{y,pl.Rd} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{(200 * 2{,}5) * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{67{,}84\ kN} > V_{y,Ed} = 4{,}19\ kN$$

Megfelel!

$$M_{z,pl,Rd} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{68{,}4 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{16{,}07\ kNm} > M_{z,Ed} = 4{,}32\ kNm$$

Megfelel!

Használhatósági határállapot (SLS):

$$w_{y,max} = L/200 = 6000/200 = 30\ mm > e_y = \mathbf{11\ mm}$$

Megfelel!

Kihasználtság:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{z,pl.Rd}} + \frac{V_{y,Ed}}{V_{y,pl.Rd}} = \frac{2{,}29}{47{,}49} + \frac{4{,}19}{67{,}84} = \mathbf{0{,}11} > 1{,}0$$

Megfelel!

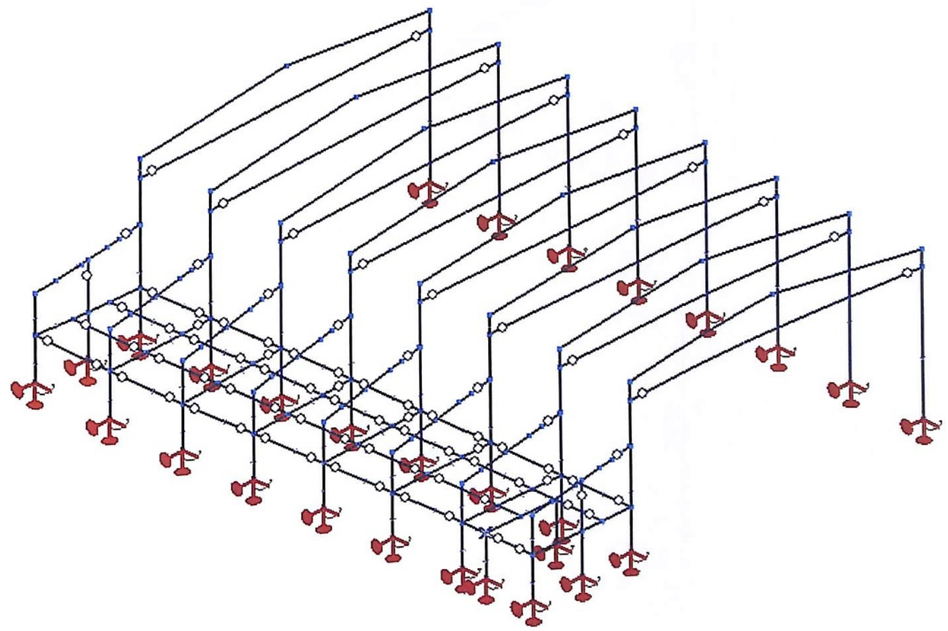
$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,pl,Rd}} = \frac{2{,}40}{3{,}95} + \frac{4{,}32}{16{,}07} = \mathbf{0{,}88} > 1{,}0$$

Megfelel!

Alkalmazott szelemen: Z 200-2,5

2. Tartószerkezeti elemek méretezése

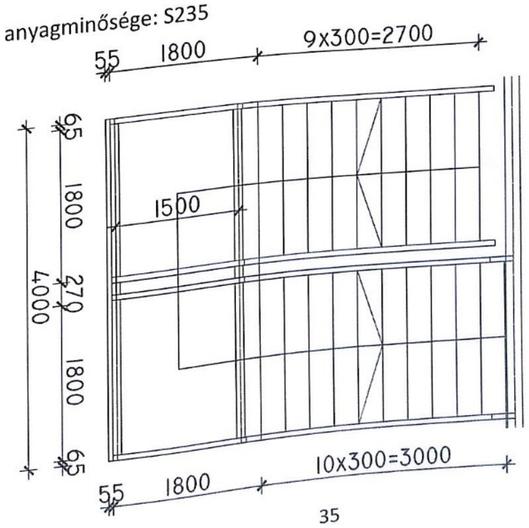
2.1. Statikai modell

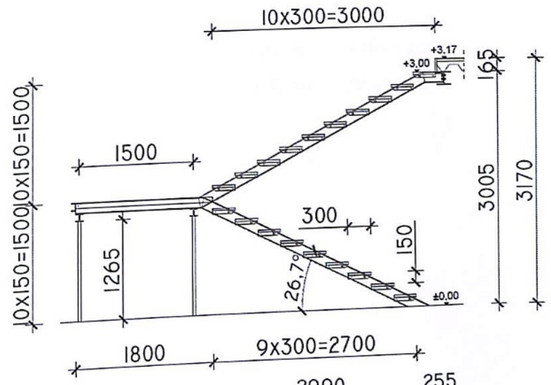


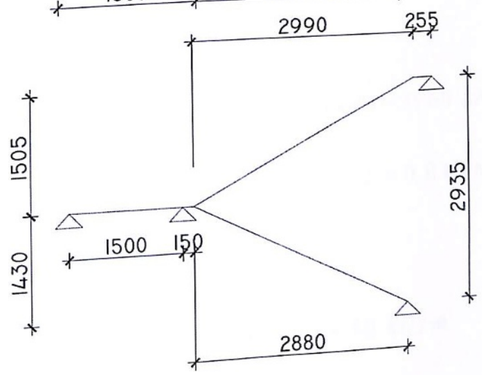
2.2. Acéllépcső méretezése

2.2.1. Alaprajz, statikai váz, keresztmetszetek

Szerkezeti acél anyagminősége: S235

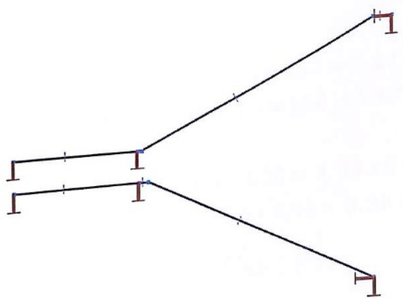






AXIS-modell:

- Lépcsőkar:



- Pihenőkeret:

Felhasznált szelvények:

- Lépcsőfok: NAGÉV 30/30-50x4 1,80x0,30 m-es lépcsőfokrács
- Lépcsőpihenő: NAGÉV 30/30-50x5 1,80x1,80 m-es járdarács
- Lépcsőgerenda: UPE-szelvény
- Pihenőlemezt tartó oszlop: RHS négyzetszelvény
- Kézléc: O51x2,0
- Korlátoszlop: L50x50x5
- Térdléc: 50x5
- Bokaléc: 100x5

2.2.2. Terhek, teherkombinációk

Állandó terhek:

Lépcsőfokrács önsúlya: $g_{k,fok} = 0{,}75\ kN/m^2$

Egy UPE-gerendára: $g_{k,fok}^{UPE} = g_{k,fok} * a/2 = 0{,}75 * 1{,}8/2 = \mathbf{0{,}68\ kN/m}$

Lépcsőpihenő önsúlya: $g_{k,pih} = 0{,}92\ kN/m^2$

Egy UPE-gerendára: $g_{k,pih}^{UPE} = g_{k,fok} * a/2 = 0{,}92 * 1{,}8/2 = \mathbf{0{,}83\ kN/m}$

Tartószerkezet önsúlya: AXIS VM-ben meghatározott.

Esetleges terhek:

Hasznos teher: $q_k = 5{,}0\ kN/m^2$

Egy U-gerendára: $q_k^{UPE} = q_k * a/2 = 5{,}0 * 1{,}8/2 = \mathbf{4{,}50\ kN/m}$

Hasznos teher a kézlécen: $q_{k,léc} = 0{,}12\ kN/m$

Teherkombinációk:

Teherbírási határállapot (ULS):

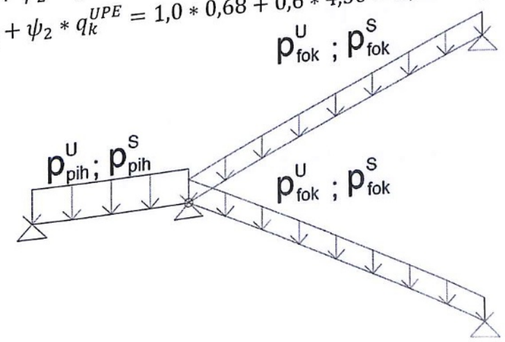
$p_{pih}^{U} = \gamma_{G,sup} * g_{k,pih}^{UPE} + \gamma_Q * q_k^{UPE} = 1{,}35 * 0{,}83 + 1{,}5 * 4{,}50 = \mathbf{7{,}87\ kN/m}$

$p_{fok}^{U} = \gamma_{G,sup} * g_{k,fok}^{UPE} + \gamma_Q * q_k^{UPE} = 1{,}35 * 0{,}68 + 1{,}5 * 4{,}50 = \mathbf{7{,}67\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{pih}^{S} = \gamma_{G,inf} * g_{k,pih} + \psi_2 * q_k = 1{,}0 * 0{,}83 + 0{,}6 * 4{,}50 = \mathbf{3{,}53\ kN/m^2}$

$p_{fok}^{S} = \gamma_{G,inf} * g_{k,fok}^{UPE} + \psi_2 * q_k^{UPE} = 1{,}0 * 0{,}68 + 0{,}6 * 4{,}50 = \mathbf{3{,}38\ kN/m}$



2.2.3. Lépcsőgerenda méretezése

Szilárdsági ellenőrzés:

Igénybevételek AXIS VM-ből (UPE 140):

$N_{x,Ed} = 7{,}50\ kN$ $\quad N_x^M = \emptyset$

$V_{z,Ed} = 17{,}18\ kN$ $\quad V_z^M = \emptyset$

$M_{y,Ed} = 9{,}12\ kNm$

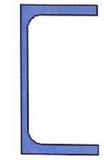
Keresztmetszeti adatok (UPE 140):

$b = 65\ mm$ $\quad t_f = 9\ mm$

$h = 140\ mm$ $\quad t_w = 5\ mm$

$A = 1842\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 856\ mm^2$

$W_{pl,y} = 98{,}8 * 10^3\ mm^3$ $\quad I_y = 6{,}0 * 10^6\ mm^4$



- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1842 * 235}{1{,}0} = \mathbf{432{,}87\ kN} > N_{x,Ed} = 7{,}50\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{856 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{116{,}14\ kN} > V_{z,Ed} = 17{,}18\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{98{,}8 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{23{,}22\ kNm} > M_{y,Ed} = 9{,}12\ kNm$$

Megfelel!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Megj.: A gerendát a lépcsőfokrácsok 335 mm-ként z-tengely körül megtámasztják, így a kihajlás y-tengely körül mértékadó ($L_{cr} = 4{,}01\ m$).

$$N_{cr} = \frac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 6{,}0 * 10^6 * \pi^2}{3365^2} = 1098{,}2\ kN$$

$$N_{cr,k} = 362{,}37\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{432{,}87}{1098{,}2}} = 0{,}628 \rightarrow \chi = 0{,}77$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}77 * 1842 * 235 = \mathbf{333{,}31\ kN} > N_{x,Ed} = 7{,}50\ kN$$

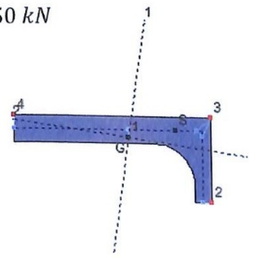
Megfelel!

- Kifordulás /egyszerűsített módszer/:

Vizsgálathoz szükséges keresztmetszeti adatok:

$A_{fz} = 718\ mm^2$

$I_{fz} = 29{,}7 * 10^4\ mm^4$



$$i_{fz} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{29{,}7 * 10^4}{718}} = 20{,}3\ mm$$

Kifordulás vizsgálat:

$$\overline{\lambda_f} = \frac{k_c * L_c}{i_{fz} * \lambda_E} = \frac{0{,}90 * 335}{20{,}3 * 93{,}9} = 0{,}16 < \overline{\lambda_{co}} * \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{y,Ed}} = 0{,}5 * \frac{23{,}22}{9{,}12} = 1{,}27$$

↓

A kifordulás-vizsgálatot nem kell elvégezni.

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

  A kis kihajlási és kifordulási kihasználtság miatt megfelel!

- Nyírási horpadás:

  $h_w/t_w = 122/5 = 24{,}4 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

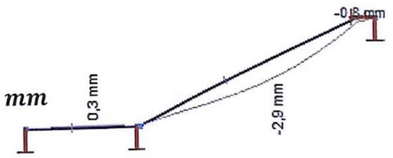
  ↓

  A nyírási horpadás nem mértékadó.

<u>Lehajlás ellenőrzése:</u>

$w_{eng} = L/200 = 3365/200 = 16{,}8\ mm > w_{max} = \mathbf{2{,}9\ mm}$

Megfelel!



2.2.4. Pihenőgerenda méretezése

<u>Szilárdsági ellenőrzés:</u>

Igénybevételek AXIS VM-ből (HEA 100):

$N_{x,Ed} = \emptyset$

$V_{z,Ed} = 29{,}31\ kN$ $\qquad V_z^M = 29{,}31\ kN$

$M_{y,Ed} = 3{,}50\ kNm$

Keresztmetszeti adatok (HEA 100):

$b = 100\ mm$ $\qquad t_f = 8\ mm$

$h = 96\ mm$ $\qquad t_w = 5\ mm$

$A = 2124\ mm^2$ $\qquad A_{v,z} = 760\ mm^2$

$W_{pl,y} = 83{,}0 * 10^3\ mm^3$ $\qquad I_y = 3{,}49 * 10^6\ mm^4$

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

  $V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{760 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{103{,}11\ kN} > V_{z,Ed} = 29{,}31\ kN$ *Megfelel!*

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

  $M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{83{,}0 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{19{,}50\ kNm} > M_{y,Ed} = 3{,}50\ kNm$ *Megfelel!*

- Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

  $\frac{V_z^M}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{29{,}31}{103{,}11} = 0{,}28 < 0{,}5$

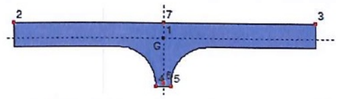
  ↓

  Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kifordulás /egyszerűsített módszer/:

Vizsgálathoz szükséges keresztmetszeti adatok:



$A_{fz} = 928\ mm^2$

$I_{fz} = 66{,}9 * 10^4\ mm^4$

$$i_{fz} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{66{,}9 * 10^4}{928}} = 26{,}8\ mm$$

Kifordulás vizsgálat:

$$\overline{\lambda_f} = \frac{k_c * L_c}{i_{fz} * \lambda_E} = \frac{0{,}86 * 2000}{26{,}8 * 93{,}9} = 0{,}68 > \overline{\lambda_{co}} * \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{y,Ed}} = 0{,}5 * \frac{19{,}50}{3{,}50} = 2{,}79$$

↓

A kifordulás-vizsgálatot nem kell elvégezni.

- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 80/5 = 16 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

Lehajlás ellenőrzése:

Minimális lehajlás (0,1 mm) következik be az igénybevételek hatására, ezért elhanyagolható.

2.2.5. Pihenőt tartó oszlop méretezése

Szilárdsági ellenőrzés:

Igénybevételek AXIS VM-ből (RHS 40x40x4):

$N_{x,Ed} = 56{,}11\ kN$

Keresztmetszeti adatok (RHS 50x50x5):

$b = h = 40\ mm$ $\quad t = 4\ mm$

$A = 559\ mm^2$ $\quad I_y = 11{,}8 * 10^4\ mm^4$

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{559 * 235}{1{,}0} = \mathbf{131{,}36\ kN} > N_{x,Ed} = 56{,}11\ kN$$

Megfelel!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

$$N_{cr} = \frac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 11{,}8 * 10^4 * \pi^2}{1250^2} = 15{,}65\ kN$$

$N_{cr,k} = 131{,}36\ kN$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{15{,}65}{131{,}36}} = 0{,}345 \rightarrow \chi = 0{,}965$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}965 * 559 * 235 = \mathbf{126{,}76\ kN} > N_{x,Ed} = 56{,}11\ kN$$

Megfelel!

2.2.6. Korlát méretezése

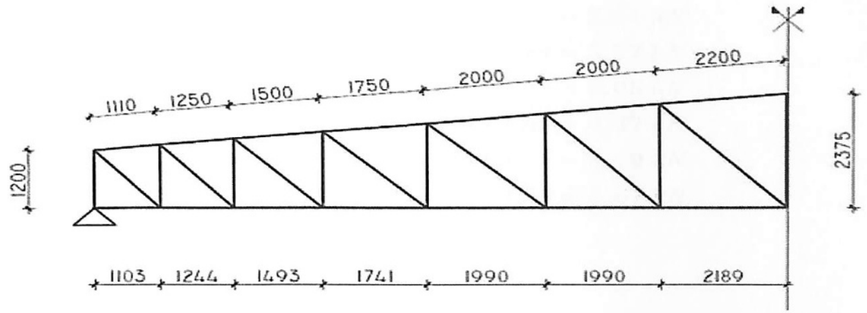
Megj.: Az igénybevételek elhanyagolhatóan kis értékűek, ezért a kézléc méretezése nem szükséges. Mindezek igazak a korlátoszlopra, a térd- és bokalécre is, így ezek szelvényméretei lépcsőknél járatos szelvények alapján lettek meghatározva.

2.2.7. Kapcsolatok méretezése

Megj.: Az igénybevételek elhanyagolhatóan kis értékűek, ezért kapcsolatokra alternatív megoldások lettek meghatározva. A kapcsolatok kialakítása a kiviteli terven megtalálható.

2.3. Rácsos szaruzat méretezése

2.3.1. Statikai váz, keresztmetszet



Szerkezeti acél anyagminősége: S235
Feltételezett szelvények:

- Rácsrudak: RHS 60x60x5
- Övrudak: HEA 120

2.3.2. Terhek, teherkombinációk

A rácsos tartó csomópontjaiban ható koncentrált erők értékei a szelemenekről átadódó támaszerőkkel egyeznek meg. A szelemenek tengelytávolsága különböző, ezért a végeselemes programban az egyes mértékadó teherkombinációk felületi teherként lettek szétosztva a szelemenekre. Az így megkapott mértékadó negatív (↓) és pozitív (↑) irányú támaszerők lettek rátéve a rácsos tartó felső csomópontjaira. Szükséges még a szaruzatnál meghatározni a gépészeti terhet, ami a rácsos tartó alsó csomópontjaiban működve, koncentrált erőként fog jelentkezni.

<u>Állandó terhek:</u>

Önsúlyteher (szaruzat és szelemen): AXIS VM-ből meghatározott.
Tető-rétegrend súlya (ld. szelemen méretezése): $g_r = \mathbf{0,33\ kN/m^2}$

<u>Állandó jellegű hasznos teher (gépészet):</u>

$q_{gép}^{k} = 0{,}45\ kN/m^2 \qquad t_{keret} = 6{,}0\ m$

A megoszló teher redukálása koncentrált erővé, a szelemenek terhelési mezőjétől függően:
Teherbírási határállapotban:

$$F_{gép}^{U,i} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,i}$$
$$F_{gép}^{U,1} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,1} = 1{,}35 * 0{,}45 * 6{,}0 * 2{,}19 = \mathbf{7{,}98\ kN}$$
$$F_{gép}^{U,2} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,2} = 1{,}35 * 0{,}45 * 6{,}0 * 2{,}09 = \mathbf{7{,}62\ kN}$$
$$F_{gép}^{U,3} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,3} = 1{,}35 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}99 = \mathbf{7{,}25\ kN}$$
$$F_{gép}^{U,4} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,4} = 1{,}35 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}87 = \mathbf{6{,}80\ kN}$$
$$F_{gép}^{U,5} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,5} = 1{,}35 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}62 = \mathbf{5{,}89\ kN}$$
$$F_{gép}^{U,6} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,6} = 1{,}35 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}37 = \mathbf{4{,}99\ kN}$$
$$F_{gép}^{U,7} = \gamma_{G,sup} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,7} = 1{,}35 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}73 = \mathbf{6{,}29\ kN}$$

Használhatósági határállapotban:

$F_{gép}^{S,i} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,i}$

$F_{gép}^{S,1} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,1} = 1{,}0 * 0{,}45 * 6{,}0 * 2{,}19 = \mathbf{5{,}91\ kN}$

$F_{gép}^{S,2} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,2} = 1{,}0 * 0{,}45 * 6{,}0 * 2{,}09 = \mathbf{5{,}64\ kN}$

$F_{gép}^{S,3} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,3} = 1{,}0 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}99 = \mathbf{5{,}37\ kN}$

$F_{gép}^{S,4} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,4} = 1{,}0 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}87 = \mathbf{5{,}05\ kN}$

$F_{gép}^{S,5} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,5} = 1{,}0 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}62 = \mathbf{4{,}37\ kN}$

$F_{gép}^{S,6} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,6} = 1{,}0 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}37 = \mathbf{3{,}70\ kN}$

$F_{gép}^{S,7} = \gamma_{G,inf} * q_{gép}^{k} * t_{keret} * t_{Z,7} = 1{,}0 * 0{,}45 * 6{,}0 * 1{,}73 = \mathbf{4{,}67\ kN}$

Esetleges terhek:

- Hóteher:

  $s = \mathbf{1{,}0\ kN/m^2}$

- Szélteher:

  $q_p = \mathbf{0{,}48\ kN/m^2}$

  - Keresztirányú-külső szélteher (θ=0°):

    Szívás:

    F-zóna:

    $p_{w,e,sz,0}^{F,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{F} = 0{,}48 * 1{,}7 = \mathbf{-0{,}82\ kN/m^2}$

    G-zóna:

    $p_{w,e,sz,0}^{G,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{G} = 0{,}48 * 1{,}2 = \mathbf{-0{,}58\ kN/m^2}$

    H-, I- és J-zóna:

    $p_{w,e,sz,0}^{H,I,J,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 0{,}48 * 0{,}6 = \mathbf{-0{,}29\ kN/m^2}$

    Nyomás:

    J-zóna:

    $p_{w,e,ny,0}^{J,k} = q_p * c_{pe,10,ny}^{J} = 0{,}48 * 0{,}2 = \mathbf{+0{,}10\ kN/m^2}$

  - Hosszirányú-külső szélteher (θ=90°):

    Szívás:

    F-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{F,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{F} = 0{,}48 * 1{,}6 = \mathbf{-0{,}77\ kN/m^2}$

    G-zóna:

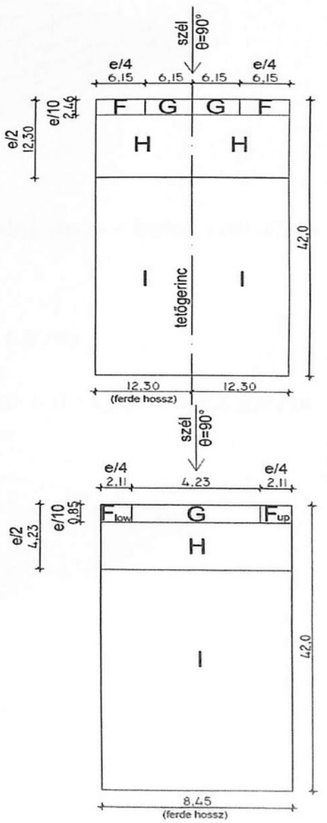
    $p_{w,e,sz,90}^{F,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{F} = 0{,}48 * 1{,}3 = \mathbf{-0{,}62\ kN/m^2}$

    H-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{H,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 0{,}48 * 0{,}7 = \mathbf{-0{,}34\ kN/m^2}$

    I-zóna:

    $p_{w,e,sz,90}^{I,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{I} = 0{,}48 * 0{,}6 = \mathbf{-0{,}29\ kN/m^2}$



- Belső szélteher:

  Szívás:

  $$p_{w,i,sz}^{k} = q_p * c_{pi,sz} = 0{,}48 * 0{,}3 = +\mathbf{0{,}14\ kN/m^2}$$

  Nyomás:

  $$p_{w,i,ny}^{k} = q_p * c_{pi,ny} = 0{,}48 * 0{,}2 = -\mathbf{0{,}10\ kN/m^2}$$

Teherkombinációk:

1. teherkombináció: max. önsúly + totál hóteher + külső szélnyomás + belső szélszívás

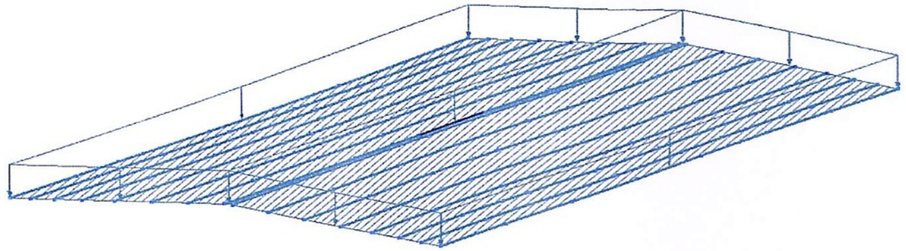
Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,1} = \gamma_{G,sup} * g_r + \gamma_s * s + \psi_{0,w} * \gamma_w * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,1} = 1{,}35 * 0{,}33 + 1{,}5 * 1{,}0 + 0{,}6 * 1{,}5 * (0{,}10 + 0{,}14) = +\mathbf{2{,}16\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,1} = g_r + s + \psi_{0,w} * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k}\right) = 0{,}33 + 1{,}0 + 0{,}6 * (0{,}10 + 0{,}14) = +\mathbf{1{,}47\ kN/m}$$



2. teherkombináció: max. önsúly + féloldalas hóteher + külső szélnyomás + belső szélszívás

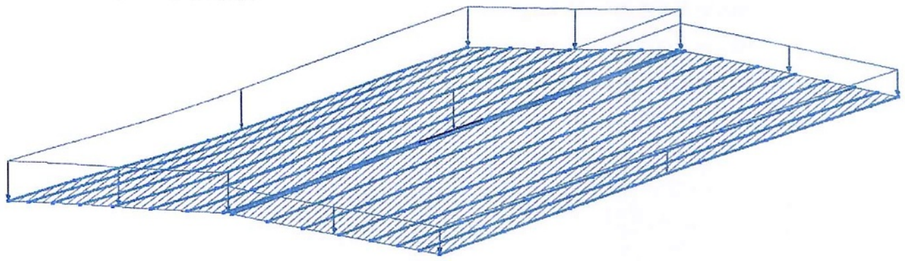
Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,2} = \gamma_{G,sup} * g_r + \gamma_s * s + \psi_{0,w} * \gamma_w * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,2} = 1{,}35 * 0{,}33 + 1{,}5 * 0{,}5 + 0{,}6 * 1{,}5 * (0{,}10 + 0{,}14) = +\mathbf{1{,}41\ kN/m}$$

Használhatósági határállapot (SLS):

$$p_{\perp}^{S,2} = g_r + s + \psi_{0,w} * \left(p_{w,e,ny,0}^{J,k} + p_{w,i,sz}^{k}\right) = 0{,}33 + 0{,}5 + 0{,}6 * (0{,}10 + 0{,}14) = +\mathbf{0{,}72\ kN/m}$$



3. teherkombináció: min. önsúly + szélszívás (θ=0°) + belső szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$$p_{\perp}^{U,3,F} = \gamma_{G,inf} * g_r - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,0}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$$

$$p_{\perp}^{U,3,F} = 1{,}0 * 0{,}33 - 1{,}5 * (0{,}82 + 0{,}10) = -\mathbf{1{,}05\ kN/m}$$

$p_{\perp}^{U,3,G} = \gamma_{G,inf} * g_r - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,0}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

$p_{\perp}^{U,3,G} = 1{,}0 * 0{,}33 - 1{,}5 * (0{,}58 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}69\ kN/m}$

$p_{\perp}^{U,3,H;J;I} = \gamma_{G,inf} * g_r - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,0}^{H;J;I,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

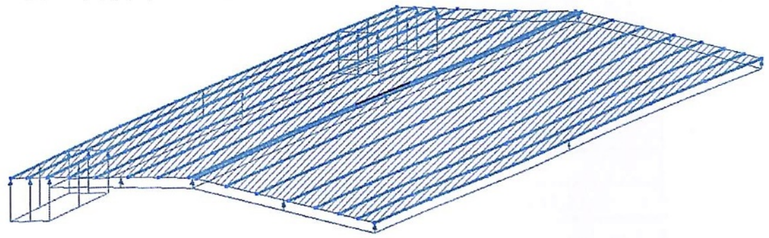
$p_{\perp}^{U,3,H;J;I} = 1{,}0 * 0{,}33 - 1{,}5 * (0{,}29 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}26\ kN/m}$

Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,3,F} = g_r - \left(p_{w,e,sz,0}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}33 - (0{,}82 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}59\ kN/m}$

$p_{\perp}^{S,3,G} = g_r - \left(p_{w,e,sz,0}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}33 - (0{,}58 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}35\ kN/m}$

$p_{\perp}^{S,3,H;J;I} = g_r - \left(p_{w,e,sz,0}^{G,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}33 - (0{,}29 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}06\ kN/m}$



4. teherkombináció: önsúly + szélszívás (θ=90°) + belső szélnyomás

Teherbírási határállapot (ULS):

$p_{\perp}^{U,4,F} = \gamma_{G,inf} * g_r - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

$p_{\perp}^{U,4,F} = 1{,}0 * 0{,}33 - 1{,}5 * (0{,}77 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}98\ kN/m}$

$p_{\perp}^{U,4,G} = \gamma_{G,inf} * g_r - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

$p_{\perp}^{U,4,G} = 1{,}0 * 0{,}33 - 1{,}5 * (0{,}62 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}75\ kN/m}$

$p_{\perp}^{U,4,H} = \gamma_{G,inf} * g_r - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

$p_{\perp}^{U,4,H} = 1{,}0 * 0{,}33 - 1{,}5 * (0{,}34 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}33\ kN/m}$

$p_{\perp}^{U,4,I} = \gamma_{G,inf} * g_r - \gamma_w * \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right)$

$p_{\perp}^{U,4,I} = 1{,}0 * 0{,}33 - 1{,}5 * (0{,}29 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}26\ kN/m}$

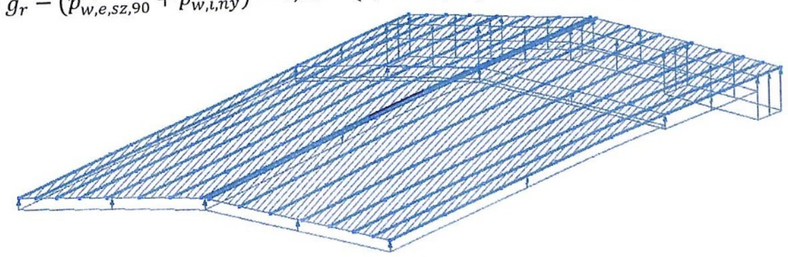
Használhatósági határállapot (SLS):

$p_{\perp}^{S,4,F} = g_r - \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}33 - (0{,}77 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}54\ kN/m}$

$p_{\perp}^{S,4,G} = g_r - \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}33 - (0{,}62 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}39\ kN/m}$

$p_{\perp}^{S,4,H} = g_r - \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}33 - (0{,}34 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}11\ kN/m}$

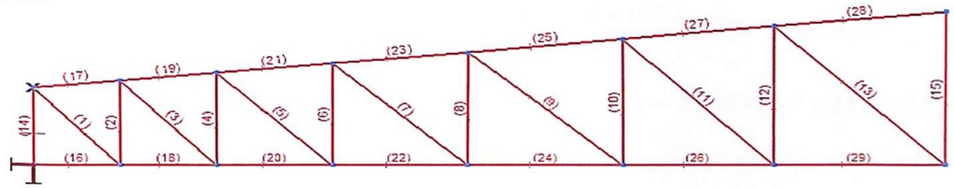
$p_{\perp}^{S,4,I} = g_r - \left(p_{w,e,sz,90}^{F,k} + p_{w,i,ny}^{k}\right) = 0{,}33 - (0{,}29 + 0{,}10) = \mathbf{-0{,}06\ kN/m}$



2.3.3. Rudak szilárdsági méretezése

2.3.3.1. Rúderők AXIS VM-ből

Rúdjelölés:



AXIS VM – a szelvények optimalizálása utáni rudak mértékadó igénybevételei:

Rúd jele	Max. húzóerő (kN)	Max. nyomóerő (kN)
S_1	+276,71	-
S_2	-	-196,85
S_3	+224,51	-
S_4	-	-157,21
S_5	+177,40	-
S_6	-	-116,33
S_7	+122,00	-
S_8	+0,47	-74,53
S_9	+61,81	-
S_{10}	+3,13	-32,89
S_{11}	+2,68	-
S_{12}	+6,58	-
S_{13}	-	-48,57
S_{14}	-	-231,63
S_{15}	+77,27	-
S_{16}	vakrúd	
S_{17}	-	-188,20
S_{18}	+187,26	-
S_{19}	-	-343,53
S_{20}	+341,83	-
S_{21}	-	-472,07
S_{22}	+469,72	-
S_{23}	-	-562,76
S_{24}	+559,97	-
S_{25}	-	-609,31
S_{26}	+606,29	-
S_{27}	-	-611,22
S_{28}	-	-576,44
S_{29}	+608,19	-

2.3.3.2. Húzott rudak ellenőrzése

Húzott alsó övrudak:

$N_{Ed}{}^{max} = +608{,}19\ kN$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} > N_{Ed} \rightarrow A_{szüks} = \frac{N_{Ed}{}^{max} * \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{608{,}19 * 10^3 * 1{,}0}{235} = 2588\ mm^2$$

$$\downarrow$$

$$A_{alk} = 3142\ mm^2\ (\boldsymbol{HEA\ 140})$$

Húzott rácsrudak:

$S_1 -$ rúd: $N_{Ed} = +276{,}71\ kN$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} > N_{Ed} \rightarrow A_{szüks} = \frac{N_{Ed} * \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{277{,}60 * 10^3 * 1{,}0}{235} = 1181\ mm^2$$

$$\downarrow$$

$$A_{alk} = 1265\ mm^2\ (\boldsymbol{RHS\ 60x60x6})$$

$S_3 -$ rúd: $N_{Ed} = +224{,}51\ kN$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} > N_{Ed} \rightarrow A_{szüks} = \frac{N_{Ed} * \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{224{,}51 * 10^3 * 1{,}0}{235} = 955\ mm^2$$

$$\downarrow$$

$$A_{alk} = 1078\ mm^2\ (\boldsymbol{RHS\ 60x60x5})$$

$S_5 -$ rúd: $N_{Ed} = +177{,}40\ kN$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} > N_{Ed} \rightarrow A_{szüks} = \frac{N_{Ed} * \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{177{,}40 * 10^3 * 1{,}0}{235} = 755\ mm^2$$

$$\downarrow$$

$$A_{alk} = 878\ mm^2\ (\boldsymbol{RHS\ 50x50x5})$$

Az összes többi húzott rácsrúd: $N_{Ed}{}^{max} = +122{,}00\ kN$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} > N_{Ed} \rightarrow A_{szüks} = \frac{N_{Ed}{}^{max} * \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{122{,}00 * 10^3 * 1{,}0}{235} = 519\ mm^2$$

$$\downarrow$$

$$A_{alk} = 562\ mm^2\ (\boldsymbol{RHS\ 40x40x4})$$

2.3.3.3. Nyomott rudak ellenőrzése

Nyomott felső övrudak:

$N_{Ed}{}^{max} = -611{,}22\ kN$

Feltételezett szelvény: $\boldsymbol{HEA\ 140}$

Kihajlási hossz: $L_{cr} = 0{,}9 * L^{max} = 0{,}9 * 2{,}20 = 1{,}98\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{L_{cr}{}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 10{,}333 * 10^6 * \pi^2}{1980^2} = 5462{,}80\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3142 * 235}{1{,}0} = 738{,}37\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{738{,}37}{5462{,}80}} = 0{,}368 \rightarrow \chi = 0{,}874$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}874 * 3142 * 235 = 645{,}21\ kN > N_{Ed}{}^{max} = 611{,}22\ kN$$

Megfelel!

Nyomott rácsrudak:

S_2 – rúd: $N_{Ed} = -196{,}85\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 60x60x6***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 1{,}31\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 0{,}612 * 10^6 * \pi^2}{1310^2} = 739{,}14\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1265 * 235}{1{,}0} = 297{,}28\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{297{,}28}{739{,}14}} = 0{,}634 \rightarrow \chi = 0{,}687$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}687 * 1265 * 235 = 204{,}20\ kN > N_{Ed} = 196{,}85\ kN$$

Megfelel!

S_4 – rúd: $N_{Ed} = -157{,}21\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 60x60x5***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 1{,}435\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 0{,}541 * 10^6 * \pi^2}{1435^2} = 544{,}52\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1078 * 235}{1{,}0} = 253{,}33\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{253{,}33}{544{,}52}} = 0{,}682 \rightarrow \chi = 0{,}655$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}655 * 1078 * 235 = 165{,}92\ kN > N_{Ed} = 157{,}21\ kN$$

Megfelel!

S_6 – rúd: $N_{Ed} = -116{,}33\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 60x60x5***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 1{,}584\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 0{,}541 * 10^6 * \pi^2}{1584^2} = 446{,}90\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1078 * 235}{1{,}0} = 253{,}33\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{253{,}33}{446{,}90}} = 0{,}753 \rightarrow \chi = 0{,}609$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}609 * 1078 * 235 = 154{,}30\ kN > N_{Ed} = 116{,}33\ kN$$

Megfelel!

S_8 – rúd: $N_{Ed} = -74{,}53\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 50x50x5***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 1{,}758\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 0{,}295 * 10^6 * \pi^2}{1758^2} = 197{,}84\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{878 * 235}{1{,}0} = 206{,}33\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{206{,}33}{197{,}84}} = 1{,}021 \rightarrow \chi = 0{,}457$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}457 * 878 * 235 = 94{,}20\ kN > N_{Ed} = 74{,}53\ kN$$

Megfelel!

S_{10} – rúd: $N_{Ed} = -32{,}89\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 40x40x4***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 1{,}957\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 0{,}161 * 10^6 * \pi^2}{1957^2} = 87{,}13\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{562 * 235}{1{,}0} = 132{,}07\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{132{,}07}{87{,}13}} = 1{,}231 \rightarrow \chi = 0{,}364$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}364 * 562 * 235 = 48{,}09\ kN > N_{Ed} = 32{,}89\ kN$$

Megfelel!

S_{13} – rúd: $N_{Ed} = -48{,}57\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 60x60x5***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 3{,}073\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 0{,}541 * 10^6 * \pi^2}{3073^2} = 118{,}74\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1078 * 235}{1{,}0} = 253{,}33\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{253{,}33}{118{,}74}} = 1{,}461 \rightarrow \chi = 0{,}288$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}288 * 1078 * 235 = 72{,}86\ kN > N_{Ed} = 48{,}57\ kN$$

Megfelel!

S_{14} – rúd: $N_{Ed} = -231{,}63\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 60x60x8***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 1{,}20\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 0{,}724 * 10^6 * \pi^2}{1200^2} = 1042{,}07\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1609 * 235}{1{,}0} = 378{,}12\ kN$$

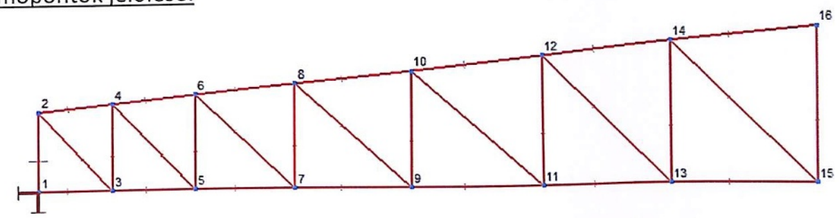
$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{378{,}12}{1042{,}07}} = 0{,}602 \rightarrow \chi = 0{,}708$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}708 * 1609 * 235 = 267{,}86\ kN > N_{Ed} = 231{,}63\ kN$$

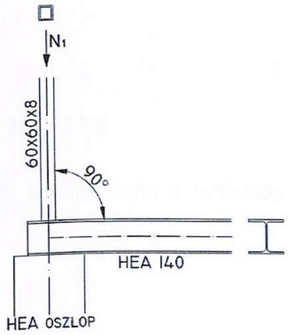
Megfelel!

2.3.4. Hegesztett csomópontok ellenőrzése

Csomópontok jelölése:



1-es csomópont:



$N_{0,Ed} = \emptyset$

$N_{1,Ed} = -231{,}63\ kN$

$\theta_1 = 84{,}3°$

$g = \emptyset$

Geometriai feltételek:

- Övrúd:

  $c_w = h_0 - 2t_0 - 2r = 133 - 2 * 8 - 2 * 12 = 93\ mm$

  $c_w/t_w = 93/5{,}5 = 16{,}9 < 33\varepsilon = 33$

  ↓

  1. keresztmetszeti osztály, megfelel!

- Nyomott rácsrúd:

  $c_f = h_1 - 2t_1 = 60 - 2 * 8 = 44\ mm$

  $c_f/t_f = 44/8 = 5{,}5 < 33\varepsilon = 33$

  ↓

  1. keresztmetszeti osztály, megfelel!

  $h_1/t_1 = b_1/t_1 = 60/8 = 7{,}5 < 35$

  Megfelel!

  $0{,}5 < h_1/b_1 = 60/60 = 1{,}0 < 2{,}0$

  Megfelel!

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_i * \gamma_{M5}}$$

$$b_{w,i} = \frac{h_i}{\sin\theta_i} + 5(t_f + r)\ de\ b_{w,i} \leq 2t_i + 10(t_f + r)$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_1 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 162{,}5}{\sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{210{,}03\ kN} < N_{1,Ed} = 231{,}63\ kN$$

$$b_{w,1} = \frac{h_1}{\sin\theta_1} + 5(t_f + r) = \frac{60}{\sin 90°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 162{,}5\ mm$$

$$2t_1 + 10(t_f + r) = 2 * 8 + 10 * (8{,}5 + 12) = 221\ mm > 162{,}5\ mm \rightarrow b_w = 162{,}5\ mm$$

Nem felel meg!

↓

Nyomott rácsrúd szelvényének növelése: RHS 80x80x5

Rácsrúd szilárdsági ellenőrzése:

S_{14} – rúd: $N_{Ed} = -231{,}63\ kN$

Feltételezett szelvény: ***RHS 80x80x5***

Kihajlási hossz: $L_{cr} = L = 1{,}20\ m$

$$N_{cr} = \frac{E * I * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 1{,}38 * 10^6 * \pi^2}{1200^2} = 1986{,}26\ kN$$

$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1478 * 235}{1{,}0} = 347{,}33\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{347{,}33}{1986{,}26}} = 0{,}418 \rightarrow \chi = 0{,}837$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_y = 0{,}837 * 1478 * 235 = 290{,}85\ kN > N_{Ed} = 231{,}63\ kN$$

Megfelel!

Megj.: A 60x60x8-as szelvény önsúlya nagyobb, mint a 80x80x5-ös önsúlya, ezért a biztonság javára nem szükséges újraszámolni a rúderőt.

Geometriai feltételek:

- Nyomott rácsrúd:

$c_f = h_1 - 2t_1 = 80 - 2 * 5 = 70\ mm$

$c_f/t_f = 70/5 = 14 < 33\varepsilon = 33$

↓

1. keresztmetszeti osztály, megfelel!

$h_1/t_1 = b_1/t_1 = 80/5 = 16 < 35$

Megfelel!

$0{,}5 < h_1/b_1 = 80/80 = 1{,}0 < 2{,}0$

Megfelel!

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_1 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 182{,}5}{\sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{235{,}88\ kN} < N_{1,Ed} = 231{,}63\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,1} = \frac{h_1}{\sin\theta_1} + 5(t_f + r) = \frac{80}{\sin 90°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 182{,}5\ mm$$

$2t_1 + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 182{,}5\ mm \rightarrow b_w = 182{,}5\ mm$

- Húzott rácsrúd elszakadása: nincs húzott rácsrúd
- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_i * \gamma_{M5}}$$

$A_v = A_0 - (2 - \alpha)b_0 * t_f + (t_w + 2r)t_f = 3142 - 1 * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5$

$A_v = 2203\ mm^2$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{\left(1 + 4g^2/3{t_f}^2\right)}}\ g = \emptyset \rightarrow \alpha = 1$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_1 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{298{,}90\ kN} > N_{1,Ed} = 231{,}63\ kN$$

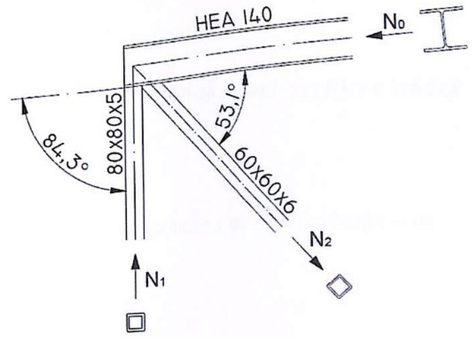
Megfelel!

$N_{0,Rd} > 0 > N_{0,Ed} = \emptyset$

Megfelel!

2-es csomópont:

$N_{0,Ed} = -188{,}20\ kN$
$N_{1,Ed} = -231{,}63\ kN$
$N_{2,Ed} = +276{,}71\ kN$
$\theta_1 = 84{,}3°$
$\theta_2 = 53{,}1°$
$g = \emptyset$



Geometriai feltételek:

- Övrúd:
  (ld. 1-es csomópont) → *Megfelel!*
- Nyomott rácsrúd:
  (ld. 1-es csomópont) → *Megfelel!*
- Húzott rácsrúd:

$h_2/t_2 = b_2/t_2 = 60/6 = 10{,}0 < 35$

Megfelel!

$0{,}5 < h_2/b_2 = 60/60 = 1{,}0 < 2{,}0$

Megfelel!

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_1 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 182{,}9}{\sin 84{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{237{,}57\ kN} < N_{1,Ed} = 231{,}63\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,1} = \frac{h_1}{\sin\theta_1} + 5\left(t_f + r\right) = \frac{80}{\sin 84{,}3°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 182{,}9\ mm$$

$$2t_1 + 10\left(t_f + r\right) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 182{,}9\ mm \rightarrow b_w = 182{,}9\ mm$$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_2 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 177{,}5}{\sin 53{,}1° * 1{,}0} = \mathbf{286{,}89\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,2} = \frac{h_2}{\sin\theta_2} + 5\left(t_f + r\right) = \frac{60}{\sin 53{,}1°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 177{,}5\ mm$$

$$2t_2 + 10\left(t_f + r\right) = 2 * 6 + 10 * (8{,}5 + 12) = 217\ mm > 177{,}5\ mm \rightarrow b_w = 177{,}5\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása:

$$N_{i,Rd} = \frac{2f_{yi} * t_i * p_{eff,i}}{\gamma_{M5}}$$

$$p_{eff,i} = t_w + 2r + 7t_f * \frac{f_{y0}}{f_{yi}} \; de \; p_{eff,i} \leq b_i + h_i - 2t_i$$

$$N_{2,Rd} = \frac{2f_{y2} * t_2 * p_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{2 * 235 * 6 * 89{,}0}{1{,}0} = \mathbf{250{,}98\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$$

$$p_{eff,2} = t_w + 2r + 7t_f * \frac{f_{y0}}{f_{y2}} = 5{,}5 + 2 * 12 + 7 * 8{,}5 * \frac{235}{235} = 89{,}0\ mm$$

$$b_2 + h_2 - 2t_2 = 60 + 60 - 2 * 6 = 108\ mm > 89{,}0\ mm \rightarrow p_{eff} = 89{,}0\ mm$$

Nem felel meg!

↓

Húzott rácsrúd szelvényvastagságának növelése: RHS 60x60x8

Geometriai feltételek:

A vastagság növelésével megfelel a szelvény a feltételeknek.

Ellenállás:

A rúderő növekményének értéke elhanagyolhatóan kicsi, a továbbiakban nincs számításba véve.

- Öv gerincének stabilitása:

  Az ellenállás értéke nem változik.

- Húzott rácsrúd elszakadása:

$$N_{2,Rd} = \frac{2f_{y2} * t_2 * p_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{2 * 235 * 8 * 89{,}0}{1{,}0} = \mathbf{334{,}64\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$$

Megfelel!

$$p_{eff,2} = 89{,}0\ mm$$

$$b_2 + h_2 - 2t_2 = 60 + 60 - 2 * 8 = 104\ mm > 89{,}0\ mm \rightarrow p_{eff} = 89{,}0\ mm$$

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$g = \emptyset \rightarrow A_v = 2203\ mm^2$ (ld. 1-es csomópont)

$$N_{1,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_1 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 84{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{300{,}38\ kN} > N_{1,Ed} = 231{,}63\ kN$$

Megfelel!

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_2 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 53{,}1° * 1{,}0} = \mathbf{373{,}77\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$$

Megfelel!

$$N_{0,Rd} = \frac{(A_0 - A_v)f_{y0} + A_v * f_{y0}\sqrt{1 - \left(V_{Ed}/V_{pl,Rd}\right)^2}}{\gamma_{M5}}$$

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,1} = N_{1,Ed} * \sin\theta_1 = 231{,}63 * \sin 84{,}3° = 230{,}48\ kN \\ V_{Ed,2} = N_{2,Ed} * \sin\theta_2 = 276{,}71 * \sin 53{,}1° = 221{,}28\ kN \end{Bmatrix} = 230{,}48\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2203 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 298{,}90\ kN > V_{Ed} = 230{,}48\ kN$$

Megfelel!

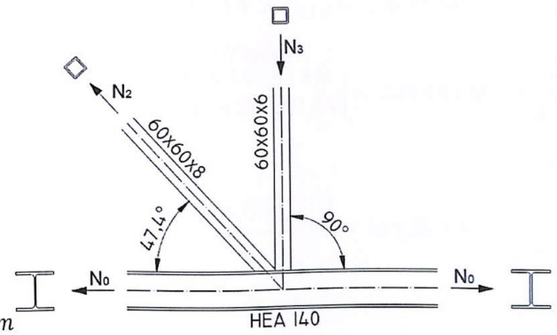
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2203) * 235 + 2203 * 235 * \sqrt{1 - (230{,}48/298{,}90)^2}}{1{,}0} = 550{,}30\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{550{,}30\ kN} > N_{0,Ed} = 188{,}20\ kN$$

Megfelel!

3-as csomópont:

$N_{0,Ed} = +187{,}26\ kN$
$N_{3,Ed} = -196{,}85\ kN$
$N_{2,Ed} = +276{,}71\ kN$
$\theta_2 = 47{,}4°$
$\theta_3 = 90°$
$g = \emptyset$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd:

$c_f = h_3 - 2t_3 = 60 - 2 * 6 = 48\ mm$
$c_f/t_f = 48/6 = 8{,}0 < 33\varepsilon = 33$

↓

1. keresztmetszeti osztály, megfelel!

$h_3/t_3 = b_3/t_3 = 60/6 = 10{,}0 < 35$

Megfelel!

$0{,}5 < h_3/b_3 = 60/60 = 1{,}0 < 2{,}0$

Megfelel!

- Húzott rácsrúd: (ld. 2-es csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{3,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_3 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 162{,}5}{\sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{210{,}03\ kN} > N_{3,Ed} = 196{,}85\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,3} = \frac{h_3}{\sin\theta_3} + 5(t_f + r) = \frac{60}{\sin 90°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 162{,}5\ mm$$

$2t_3 + 10(t_f + r) = 2 * 6 + 10 * (8{,}5 + 12) = 217\ mm > 162{,}5\ mm \rightarrow b_w = 162{,}5\ mm$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_2 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 184{,}0}{\sin 47{,}4° * 1{,}0} = \mathbf{323{,}10\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,2} = \frac{h_2}{\sin\theta_2} + 5(t_f + r) = \frac{60}{\sin 47{,}4°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 184{,}0\ mm$$

$2t_2 + 10(t_f + r) = 2 * 6 + 10 * (8{,}5 + 12) = 217\ mm > 184{,}0\ mm \rightarrow b_w = 184{,}0\ mm$

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 2-es csomópont)

$N_{2,Rd} = \mathbf{334{,}64\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$

Megfelel!

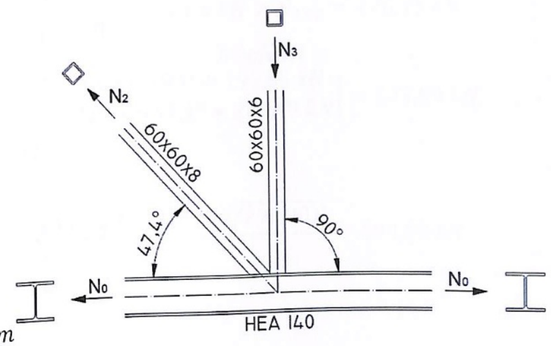
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2203) * 235 + 2203 * 235 * \sqrt{1 - (230{,}48/298{,}90)^2}}{1{,}0} = 550{,}30\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{550{,}30\ kN} > N_{0,Ed} = 188{,}20\ kN$$

Megfelel!

3-as csomópont:

$N_{0,Ed} = +187{,}26\ kN$
$N_{3,Ed} = -196{,}85\ kN$
$N_{2,Ed} = +276{,}71\ kN$
$\theta_2 = 47{,}4°$
$\theta_3 = 90°$
$g = \emptyset$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd:

$c_f = h_3 - 2t_3 = 60 - 2 * 6 = 48\ mm$
$c_f/t_f = 48/6 = 8{,}0 < 33\varepsilon = 33$

↓

1. keresztmetszeti osztály, megfelel!

$h_3/t_3 = b_3/t_3 = 60/6 = 10{,}0 < 35$

Megfelel!

$0{,}5 < h_3/b_3 = 60/60 = 1{,}0 < 2{,}0$

Megfelel!

- Húzott rácsrúd: (ld. 2-es csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{3,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_3 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 162{,}5}{\sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{210{,}03\ kN} > N_{3,Ed} = 196{,}85\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,3} = \frac{h_3}{\sin\theta_3} + 5(t_f + r) = \frac{60}{\sin 90°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 162{,}5\ mm$$

$2t_3 + 10(t_f + r) = 2 * 6 + 10 * (8{,}5 + 12) = 217\ mm > 162{,}5\ mm \rightarrow b_w = 162{,}5\ mm$

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_2 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 184{,}0}{\sin 47{,}4° * 1{,}0} = \mathbf{323{,}10\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,2} = \frac{h_2}{\sin\theta_2} + 5(t_f + r) = \frac{60}{\sin 47{,}4°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 184{,}0\ mm$$

$2t_2 + 10(t_f + r) = 2 * 6 + 10 * (8{,}5 + 12) = 217\ mm > 184{,}0\ mm \rightarrow b_w = 184{,}0\ mm$

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 2-es csomópont)

$N_{2,Rd} = \mathbf{334{,}64\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$g = \emptyset \rightarrow A_v = 2203\ mm^2$ (ld. 1-es csomópont)

$$N_{3,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_3 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{298{,}90\ kN} > N_{3,Ed} = 196{,}85\ kN$$

Megfelel!

$$N_{2,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_2 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 47{,}4° * 1{,}0} = \mathbf{406{,}06\ kN} > N_{2,Ed} = 276{,}71\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,3} = N_{3,Ed} * \sin\theta_3 = 196{,}85 * \sin 90° = 196{,}85\ kN \\ V_{Ed,2} = N_{2,Ed} * \sin\theta_2 = 276{,}71 * \sin 47{,}4° = 203{,}69\ kN \end{Bmatrix} = 203{,}69\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = 298{,}90\ kN > V_{Ed} = 203{,}69\ kN$$

Megfelel!

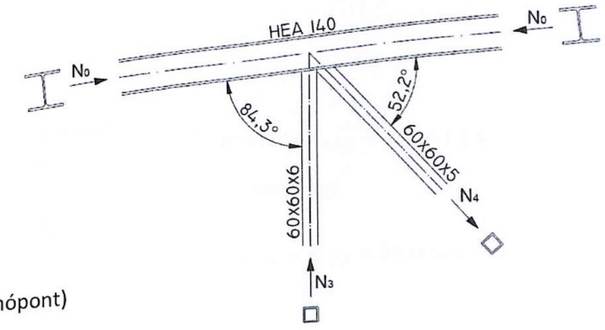
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2203) * 235 + 2203 * 235 * \sqrt{1 - (203{,}69/298{,}90)^2}}{1{,}0} = 599{,}55\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{599{,}55\ kN} > N_{0,Ed} = 187{,}26\ kN$$

Megfelel!

4-es csomópont:

$N_{0,Ed} = -343{,}53\ kN$
$N_{3,Ed} = -196{,}85\ kN$
$N_{4,Ed} = +224{,}51\ kN$
$\theta_3 = 84{,}3°$
$\theta_4 = 52{,}2°$
$g = \emptyset$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 3-as csomópont)
- Húzott rácsrúd:

$h_4/t_4 = b_4/t_4 = 60/5 = 12{,}0 < 35$

Megfelel!

$0{,}5 < h_4/b_4 = 60/60 = 1{,}0 < 2{,}0$

Megfelel!

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$N_{3,Rd} = N_{1,Rd} = \mathbf{237{,}57\ kN} > N_{3,Ed} = 196{,}85\ kN$ (ld. 2-es csomópont)

Megfelel!

$$N_{4,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_4 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 178{,}4}{\sin 52{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{291{,}87\ kN} > N_{4,Ed} = 224{,}51\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,4} = \frac{h_4}{\sin\theta_4} + 5(t_f + r) = \frac{60}{\sin 52{,}2°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 178{,}4\ mm$$

$2t_4 + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 178{,}4\ mm \rightarrow b_w = 178{,}4\ mm$

- Húzott rácsrúd elszakadása:

$$N_{4,Rd} = \frac{2f_{y4} * t_4 * p_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{2 * 235 * 5 * 89{,}0}{1{,}0} = \mathbf{209{,}15\ kN} > N_{4,Ed} = 224{,}51\ kN$$

$p_{eff,4} = 89{,}0\ mm$ (ld. 2-es csomópont)

$b_4 + h_4 - 2t_4 = 60 + 60 - 2 * 5 = 110\ mm > 89{,}0\ mm \rightarrow p_{eff} = 89{,}0\ mm$

Nem felel meg!

↓

Húzott rácsrúd szelvényvastagságának növelése: RHS 60x60x6

Geometriai feltételek:

- Húzott rácsrúd:

$h_4/t_4 = b_4/t_4 = 60/6 = 10{,}0 < 35$

Megfelel!

$0{,}5 < h_4/b_4 = 60/60 = 1{,}0 < 2{,}0$

Megfelel!

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:
  Az ellenállás értéke nem változik.
- Húzott rácsrúd elszakadása:

$$N_{4,Rd} = \frac{2f_{y4} * t_4 * p_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{2 * 235 * 6 * 89{,}0}{1{,}0} = \mathbf{250{,}98\ kN} > N_{4,Ed} = 224{,}51\ kN$$

Megfelel!

$p_{eff,4} = 89{,}0\ mm$ (ld. 2-es csomópont)

$b_4 + h_4 - 2t_4 = 60 + 60 - 2 * 6 = 108\ mm > 89{,}0\ mm \rightarrow p_{eff} = 89{,}0\ mm$

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$g = \emptyset \rightarrow A_v = 2203\ mm^2$ (ld. 1-es csomópont)

$N_{3,Rd} = N_{1,Rd} = \mathbf{300{,}38\ kN} > N_{3,Ed} = 196{,}85\ kN$ (ld. 2-es csomópont)

Megfelel!

$$N_{4,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_4 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 52{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{378{,}28\ kN} > N_{4,Ed} = 224{,}51\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,3} = N_{3,Ed} * \sin\theta_3 = 196{,}85 * \sin 84{,}3° = 195{,}88\ kN \\ V_{Ed,4} = N_{4,Ed} * \sin\theta_4 = 224{,}51 * \sin 52{,}2° = 177{,}40\ kN \end{Bmatrix} = 195{,}88\ kN$$

$V_{pl,Rd} = 298{,}90\ kN > V_{Ed} = 195{,}88\ kN$

Megfelel!

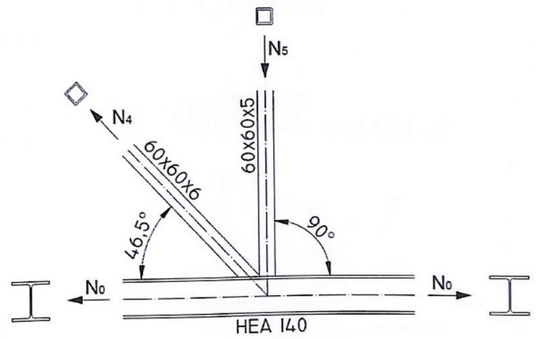
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2203) * 235 + 2203 * 235 * \sqrt{1 - (195{,}88/298{,}90)^2}}{1{,}0} = 611{,}71\ kN$$

$N_{0,Rd} = \mathbf{611{,}71\ kN} > N_{0,Ed} = 343{,}53\ kN$

Megfelel!

5-ös csomópont:

$N_{0,Ed} = +341{,}83\ kN$
$N_{5,Ed} = -157{,}21\ kN$
$N_{4,Ed} = +224{,}51\ kN$
$\theta_4 = 46{,}5°$
$\theta_5 = 90°$
$g = \emptyset$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd:

$c_f = h_5 - 2t_5 = 60 - 2 * 5 = 50\ mm$
$c_f/t_f = 50/6 = 8{,}3 < 33\varepsilon = 33$
↓
1. keresztmetszeti osztály, megfelel!

$h_3/t_3 = b_3/t_3 = 60/5 = 12{,}0 < 35$
Megfelel!

$0{,}5 < h_3/b_3 = 60/60 = 1{,}0 < 2{,}0$
Megfelel!

- Húzott rácsrúd: (ld. 4-es csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$N_{5,Rd} = N_{3,Rd} = \mathbf{210{,}03\ kN} > N_{5,Ed} = 157{,}21\ kN$ (ld. 3-as csomópont)
Megfelel!

$N_{4,Rd} = \dfrac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_4 * \gamma_{M5}} = \dfrac{235 * 5{,}5 * 182{,}5}{\sin 46{,}5° * 1{,}0} = \mathbf{325{,}22\ kN} > N_{4,Ed} = 224{,}51\ kN$
Megfelel!

$b_{w,4} = \dfrac{h_4}{\sin\theta_4} + 5(t_f + r) = \dfrac{60}{\sin 46{,}5°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 185{,}2\ mm$

$2t_4 + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 185{,}2\ mm \rightarrow b_w = 185{,}2\ mm$

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 4-es csomópont)

$N_{4,Rd} = \mathbf{250{,}98\ kN} > N_{4,Ed} = 224{,}51\ kN$
Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$g = \emptyset \rightarrow A_v = 2203\ mm^2$ (ld. 2-es csomópont)
$N_{5,Rd} = N_{3,Rd} = \mathbf{298{,}90\ kN} > N_{5,Ed} = 157{,}21\ kN$
Megfelel!

$N_{4,Rd} = \dfrac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_4 * \gamma_{M5}} = \dfrac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 46{,}5° * 1{,}0} = \mathbf{412{,}06\ kN} > N_{4,Ed} = 224{,}51\ kN$
Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,5} = N_{5,Ed} * \sin\theta_5 = 157{,}21 * \sin 90° = 157{,}21\ kN \\ V_{Ed,4} = N_{4,Ed} * \sin\theta_4 = 224{,}51 * \sin 46{,}5° = 162{,}85\ kN \end{Bmatrix} = 162{,}85\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = 298{,}90\ kN > V_{Ed} = 157{,}21\ kN$$

Megfelel!

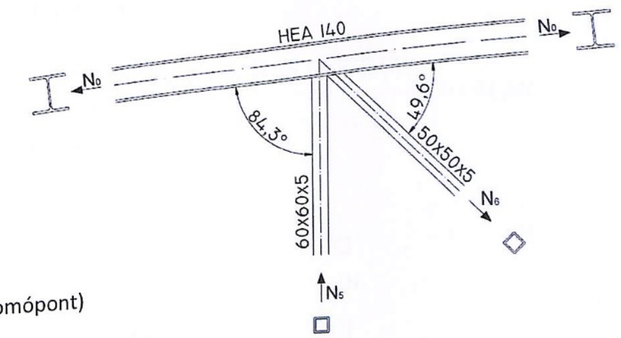
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2203) * 235 + 2203 * 235 * \sqrt{1 - (162{,}85/298{,}90)^2}}{1{,}0} = 654{,}78\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{654{,}78\ kN} > N_{0,Ed} = 341{,}83\ kN$$

Megfelel!

6-os csomópont:

$N_{0,Ed} = -472{,}07\ kN$
$N_{5,Ed} = -157{,}21\ kN$
$N_{6,Ed} = +177{,}40\ kN$
$\theta_5 = 84{,}3°$
$\theta_6 = 49{,}6°$
$g = \emptyset$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 5-ös csomópont)
- Húzott rácsrúd:

$$h_6/t_6 = b_6/t_6 = 50/5 = 10{,}0 < 35$$

Megfelel!

$$0{,}5 < h_6/b_6 = 50/50 = 1{,}0 < 2{,}0$$

Megfelel!

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$N_{5,Rd} = N_{1,Rd} = \mathbf{237{,}57\ kN} > N_{5,Ed} = 157{,}21\ kN$ (ld. 2-es csomópont)

Megfelel!

$$N_{6,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_6 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 168{,}2}{\sin 49{,}6° * 1{,}0} = \mathbf{285{,}47\ kN} > N_{4,Ed} = 177{,}40\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,6} = \frac{h_6}{\sin\theta_6} + 5(t_f + r) = \frac{50}{\sin 49{,}6°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 168{,}2\ mm$$

$$2t_6 + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 168{,}2\ mm \rightarrow b_w = 168{,}2\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása:

$$N_{6,Rd} = \frac{2f_{y6} * t_6 * p_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{2 * 235 * 5 * 89{,}0}{1{,}0} = \mathbf{209{,}15\ kN} > N_{6,Ed} = 177{,}40\ kN$$

Megfelel!

$p_{eff,6} = 89{,}0\ mm$ (ld. 2-es csomópont)

$$b_6 + h_6 - 2t_6 = 50 + 50 - 2 * 5 = 90\ mm > 89{,}0\ mm \rightarrow p_{eff} = 89{,}0\ mm$$

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$g = \emptyset \rightarrow A_v = 2203\ mm^2$ (ld. 1-es csomópont)

$N_{5,Rd} = N_{1,Rd} = \mathbf{300,38\ kN} > N_{5,Ed} = 157{,}21\ kN$

Megfelel!

$$N_{6,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_6 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 49{,}6° * 1{,}0} = \mathbf{392,49\ kN} > N_{6,Ed} = 177{,}40\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,5} = N_{5,Ed} * \sin\theta_5 = 157{,}21 * \sin 84{,}3° = 156{,}43\ kN \\ V_{Ed,6} = N_{6,Ed} * \sin\theta_6 = 177{,}40 * \sin 49{,}6° = 135{,}10\ kN \end{Bmatrix} = 156{,}43\ kN$$

$V_{pl,Rd} = 298{,}90\ kN > V_{Ed} = 156{,}43\ kN$

Megfelel!

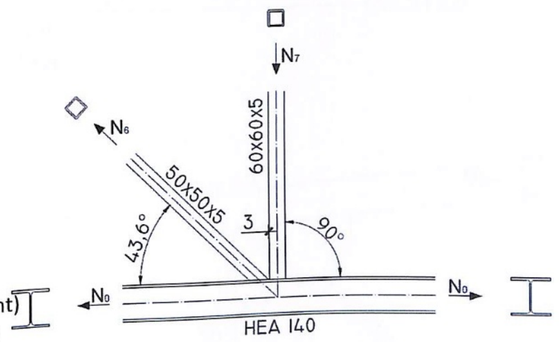
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2203) * 235 + 2203 * 235 * \sqrt{1 - (156{,}43/298{,}90)^2}}{1{,}0} = 661{,}81\ kN$$

$N_{0,Rd} = \mathbf{661,81\ kN} > N_{0,Ed} = 472{,}07\ kN$

Megfelel!

7-es csomópont:

$N_{0,Ed} = +469{,}72\ kN$
$N_{7,Ed} = -116{,}33\ kN$
$N_{6,Ed} = +177{,}40\ kN$
$\theta_6 = 43{,}6°$
$\theta_7 = 90°$
$g = 3\ mm$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 5-ös csomópont)
- Húzott rácsrúd: (ld. 6-os csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$N_{7,Rd} = N_{3,Rd} = \mathbf{210,03\ kN} > N_{7,Ed} = 116{,}33\ kN$ (ld. 3-as csomópont)

Megfelel!

$$N_{6,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_6 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 175{,}0}{\sin 43{,}6° * 1{,}0} = \mathbf{327,99\ kN} > N_{6,Ed} = 177{,}40\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,6} = \frac{h_6}{\sin\theta_6} + 5(t_f + r) = \frac{50}{\sin 43{,}6°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 175{,}0\ mm$$

$2t_6 + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 175{,}0\ mm \rightarrow b_w = 175{,}0\ mm$

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 6-os csomópont)

$N_{6,Rd} = \mathbf{209,15\ kN} > N_{6,Ed} = 177{,}40\ kN$

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$g = 3\ mm \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4 * 3^2/3 * 8{,}5^2)}} = 0{,}93$$

$$A_v = 3142 - (2 - 0{,}93) * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5 = 2115\ mm^2$$

$$N_{7,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_7 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2115}{\sqrt{3} * \sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{286{,}96\ kN} > N_{7,Ed} = 116{,}33\ kN$$

Megfelel!

$$N_{6,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_6 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2115}{\sqrt{3} * \sin 43{,}6° * 1{,}0} = \mathbf{416{,}11\ kN} > N_{6,Ed} = 177{,}40\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,7} = N_{7,Ed} * \sin\theta_7 = 116{,}33 * \sin 90° = 116{,}33\ kN \\ V_{Ed,6} = N_{6,Ed} * \sin\theta_6 = 177{,}40 * \sin 43{,}6° = 122{,}34\ kN \end{Bmatrix} = 122{,}34\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2115 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 286{,}96\ kN > V_{Ed} = 122{,}34\ kN$$

Megfelel!

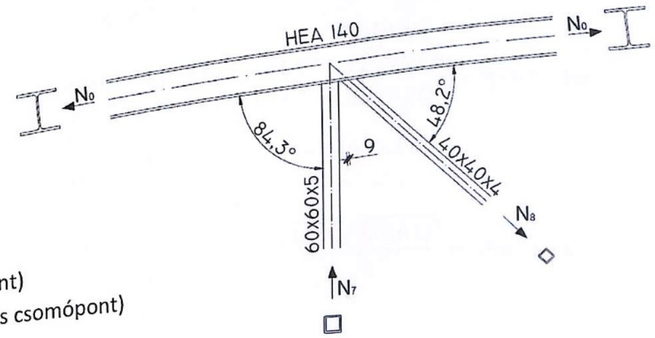
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2115) * 235 + 2115 * 235 * \sqrt{1 - (122{,}34/286{,}96)^2}}{1{,}0} = 690{,}94\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{690{,}94\ kN} > N_{0,Ed} = 469{,}72\ kN$$

Megfelel!

8-as csomópont:

$N_{0,Ed} = -562{,}76\ kN$
$N_{7,Ed} = -116{,}33\ kN$
$N_{8,Ed} = +122{,}0\ kN$
$\theta_7 = 84{,}3°$
$\theta_8 = 48{,}2°$
$g = 9\ mm$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 5-ös csomópont)
- Húzott rácsrúd:

$$h_8/t_8 = b_8/t_8 = 40/4 = 10{,}0 < 35$$

Megfelel!

$$0{,}5 < h_8/b_8 = 40/40 = 1{,}0 < 2{,}0$$

Megfelel!

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$N_{7,Rd} = N_{1,Rd} = \mathbf{237{,}57\ kN} > N_{7,Ed} = 116{,}33\ kN$ (ld. 2-es csomópont)

Megfelel!

$$N_{8,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_8 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 156{,}2}{\sin 48{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{270{,}82\ kN} > N_{8,Ed} = 122{,}0\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,8} = \frac{h_8}{\sin\theta_8} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 48{,}2°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 156{,}2\ mm$$

$$2t_8 + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 156{,}2\ mm \rightarrow b_w = 156{,}2\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása:

$$N_{8,Rd} = \frac{2f_{y8} * t_8 * p_{eff}}{\gamma_{M5}} = \frac{2 * 235 * 4 * 72}{1{,}0} = \mathbf{135{,}36\ kN} > N_{8,Ed} = 122{,}0\ kN$$

Megfelel!

$p_{eff,6} = 89{,}0\ mm$ (ld. 2-es csomópont)

$$b_8 + h_8 - 2t_8 = 40 + 40 - 2 * 4 = 72\ mm > 89{,}0\ mm \rightarrow p_{eff} = 72\ mm$$

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$g = 9\ mm \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4 * 9^2/3 * 8{,}5^2)}} = 0{,}63$$

$$A_v = 3142 - (2 - 0{,}63) * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5 = 1766\ mm^2$$

$$N_{7,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_7 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1766}{\sqrt{3} * \sin 84{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{240{,}80\ kN} > N_{7,Ed} = 116{,}33\ kN$$

Megfelel!

$$N_{8,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_8 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1766}{\sqrt{3} * \sin 48{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{321{,}41\ kN} > N_{8,Ed} = 122{,}0\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,7} = N_{7,Ed} * \sin\theta_7 = 116{,}33 * \sin 84{,}3° = 115{,}75\ kN \\ V_{Ed,8} = N_{8,Ed} * \sin\theta_8 = 122{,}0 * \sin 48{,}2° = 90{,}95\ kN \end{Bmatrix} = 115{,}75\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1766 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 239{,}61\ kN > V_{Ed} = 115{,}75\ kN$$

Megfelel!

$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 1766) * 235 + 1766 * 235 * \sqrt{1 - (115{,}75/239{,}61)^2}}{1{,}0} = 686{,}73\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{686{,}73\ kN} > N_{0,Ed} = 562{,}76\ kN$$

Megfelel!

9-es csomópont:

$N_{0,Ed} = +559{,}97\ kN$

$N_{9,Ed} = -74{,}53\ kN$

$N_{8,Ed} = +122{,}0\ kN$

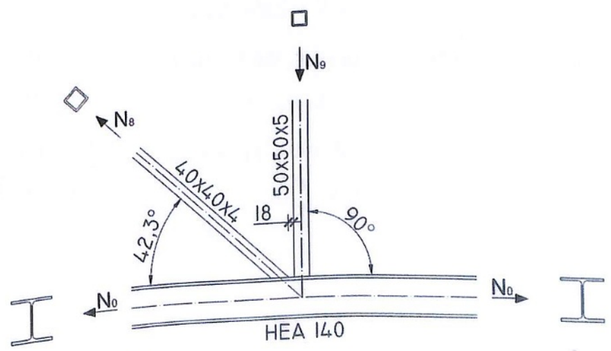
$\theta_9 = 42{,}3°$

$\theta_8 = 90°$

$g = 18\ mm$

Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)



- Nyomott rácsrúd:

$c_f = h_9 - 2t_9 = 50 - 2 * 5 = 40\ mm$

$c_f/t_f = 40/5 = 8{,}0 < 33\varepsilon = 33$

↓

1. keresztmetszeti osztály, megfelel!

$h_9/t_9 = b_9/t_9 = 50/5 = 10{,}0 < 35$

Megfelel!

$0{,}5 < h_9/b_9 = 50/50 = 1{,}0 < 2{,}0$

Megfelel!

- Húzott rácsrúd: (ld. 8-as csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{9,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_9 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 152{,}5}{\sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{197{,}11\ kN} > N_{9,Ed} = 74{,}53\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,9} = \frac{h_9}{\sin\theta_9} + 5(t_f + r) = \frac{50}{\sin 90°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 152{,}5\ mm$$

$$2t_9 + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 152{,}5\ mm \rightarrow b_w = 152{,}5\ mm$$

$$N_{8,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_8 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 161{,}9}{\sin 42{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{310{,}99\ kN} > N_{8,Ed} = 122{,}0\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,8} = \frac{h_8}{\sin\theta_8} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 42{,}3°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 161{,}9\ mm$$

$$2t_8 + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 161{,}9\ mm \rightarrow b_w = 161{,}9\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 8-as csomópont)

$$N_{8,Rd} = N_{8,Rd} = \mathbf{135{,}36\ kN} > N_{8,Ed} = 122{,}0\ kN$$

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$g = 18\ mm \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4 * 18^2/3 * 8{,}5^2)}} = 0{,}38$$

$$A_v = 3142 - (2 - 0{,}38) * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5 = 1463\ mm^2$$

$$N_{9,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_9 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1463}{\sqrt{3} * \sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{198{,}50\ kN} > N_{9,Ed} = 74{,}53\ kN$$

Megfelel!

$$N_{8,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_8 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1463}{\sqrt{3} * \sin 42{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{294{,}94\ kN} > N_{8,Ed} = 122{,}0\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,9} = N_{9,Ed} * \sin\theta_9 = 74{,}53 * \sin 90° = 74{,}53\ kN \\ V_{Ed,8} = N_{8,Ed} * \sin\theta_8 = 122{,}0 * \sin 42{,}3° = 82{,}11\ kN \end{Bmatrix} = 82{,}11\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1463 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 198{,}50\ kN > V_{Ed} = 82{,}11\ kN$$

Megfelel!

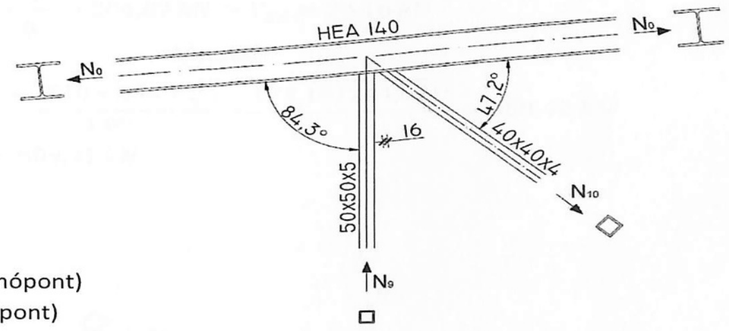
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 1463) * 235 + 1463 * 235 * \sqrt{1 - (82{,}11/198{,}50)^2}}{1{,}0} = 707{,}58\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{707{,}58\ kN} > N_{0,Ed} = 559{,}97\ kN$$

Megfelel!

10-es csomópont:

$N_{0,Ed} = -609{,}31\ kN$
$N_{9,Ed} = -74{,}53\ kN$
$N_{10,Ed} = +61{,}81\ kN$
$\theta_9 = 84{,}3°$
$\theta_{10} = 47{,}2°$
$g = 16\ mm$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 9-es csomópont)
- Húzott rácsrúd: (ld. 8-as csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{9,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_9 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 152{,}7}{\sin 84{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{198{,}35\ kN} > N_{9,Ed} = 74{,}53\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,9} = \frac{h_9}{\sin\theta_9} + 5(t_f + r) = \frac{50}{\sin 84{,}3°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 152{,}7\ mm$$

$$2t_9 + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 152{,}7\ mm \rightarrow b_w = 152{,}7\ mm$$

$$N_{10,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_{10} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 157{,}0}{\sin 47{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{276{,}56\ kN} > N_{10,Ed} = 61{,}81\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,10} = \frac{h_{10}}{\sin\theta_{10}} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 47{,}2°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 157{,}0\ mm$$

$$2t_{10} + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 157{,}0\ mm \rightarrow b_w = 157{,}0\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása:

$N_{10,Rd} = N_{8,Rd} = \mathbf{135{,}36\ kN} > N_{10,Ed} = 61{,}81\ kN$ (ld. 8-as csomópont)

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$g = 16\ mm \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4 * 16^2/3 * 8{,}5^2)}} = 0{,}42$$

$$A_v = 3142 - (2 - 0{,}42) * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5 = 1510\ mm^2$$

$$N_{9,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_9 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1510}{\sqrt{3} * \sin 84{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{205{,}89\ kN} > N_{9,Ed} = 74{,}53\ kN$$

Megfelel!

$$N_{10,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_{10} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1510}{\sqrt{3} * \sin 47{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{279{,}22\ kN} > N_{10,Ed} = 61{,}81\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,9} = N_{9,Ed} * \sin\theta_9 = 74{,}53 * \sin 84{,}3° = 74{,}16\ kN \\ V_{Ed,10} = N_{10,Ed} * \sin\theta_{10} = 61{,}81 * \sin 47{,}2° = 45{,}35\ kN \end{Bmatrix} = 115{,}75\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1510 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 204{,}87\ kN > V_{Ed} = 74{,}16\ kN$$

Megfelel!

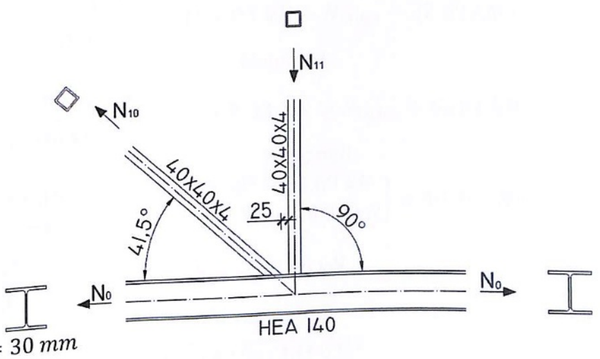
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 1510) * 235 + 1510 * 235 * \sqrt{1 - (74{,}16/204{,}87)^2}}{1{,}0} = 680{,}42\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{714{,}30\ kN} > N_{0,Ed} = 609{,}31\ kN$$

Megfelel!

11-es csomópont:

$N_{0,Ed} = +606{,}29\ kN$
$N_{11,Ed} = -32{,}89\ kN$
$N_{10,Ed} = +61{,}81\ kN$
$\theta_9 = 41{,}5°$
$\theta_8 = 90°$
$g = 25\ mm$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd:

$c_f = h_{11} - 2t_{11} = 40 - 2 * 5 = 30\ mm$
$c_f/t_f = 30/4 = 7{,}5 < 33\varepsilon = 33$
↓
1. keresztmetszeti osztály, megfelel!
$h_{11}/t_{11} = b_{11}/t_{11} = 40/4 = 10{,}0 < 35$
Megfelel!
$0{,}5 < h_{11}/b_{11} = 40/40 = 1{,}0 < 2{,}0$
Megfelel!

- Húzott rácsrúd: (ld. 8-as csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{11,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_{11} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 142{,}5}{\sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{184{,}18\ kN} > N_{11,Ed} = 32{,}89\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,11} = \frac{h_{11}}{\sin\theta_{11}} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 90°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 142{,}5\ mm$$

$$2t_{11} + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 142{,}5\ mm \rightarrow b_w = 142{,}5\ mm$$

$$N_{10,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_{10} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 162{,}9}{\sin 41{,}5° * 1{,}0} = \mathbf{317{,}68\ kN} > N_{10,Ed} = 61{,}81\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,10} = \frac{h_{10}}{\sin\theta_{10}} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 41{,}5°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 162{,}9\ mm$$

$$2t_{10} + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 162{,}9\ mm \rightarrow b_w = 162{,}9\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 8-as csomópont)

$$N_{10,Rd} = N_{8,Rd} = \mathbf{135{,}36\ kN} > N_{10,Ed} = 61{,}81\ kN$$

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$g = 25\ mm \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4 * 25^2/3 * 8{,}5^2)}} = 0{,}28$$

$$A_v = 3142 - (2 - 0{,}28) * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5 = 1349\ mm^2$$

$$N_{11,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_{11} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1349}{\sqrt{3} * \sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{183{,}03\ kN} > N_{11,Ed} = 32{,}89\ kN$$

Megfelel!

$$N_{10,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_{10} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1349}{\sqrt{3} * \sin 41{,}5° * 1{,}0} = \mathbf{267{,}21\ kN} > N_{10,Ed} = 61{,}81\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,11} = N_{11,Ed} * \sin\theta_{11} = 32{,}89 * \sin 90° = 32{,}89\ kN \\ V_{Ed,10} = N_{10,Ed} * \sin\theta_{10} = 61{,}81 * \sin 41{,}5° = 40{,}96\ kN \end{Bmatrix} = 40{,}96\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1349 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 183{,}03\ kN > V_{Ed} = 40{,}96\ kN$$

Megfelel!

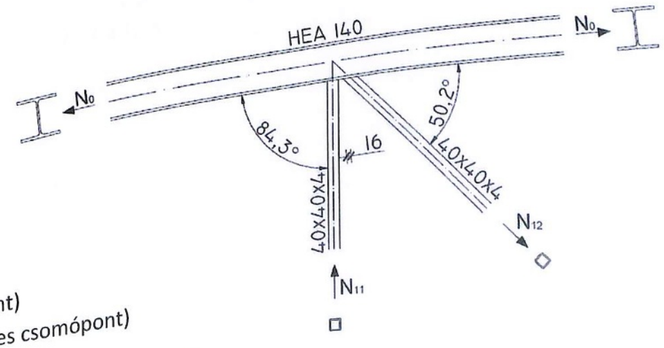
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 1349) * 235 + 1349 * 235 * \sqrt{1 - (40{,}96/183{,}03)^2}}{1{,}0} = 730{,}33\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{730{,}33\ kN} > N_{0,Ed} = 606{,}29\ kN$$

Megfelel!

12-es csomópont:

$N_{0,Ed} = -611{,}22\ kN$
$N_{11,Ed} = -32{,}89\ kN$
$N_{12,Ed} = +2{,}68\ kN$
$\theta_{11} = 84{,}3°$
$\theta_{12} = 50{,}2°$
$g = 16\ mm$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 11-es csomópont)

- Húzott rácsrúd: (ld. 8-as csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{11,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_{11} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 142{,}7}{\sin 84{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{185{,}35\ kN} > N_{11,Ed} = 32{,}89\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,11} = \frac{h_{11}}{\sin\theta_{11}} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 84{,}3°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 142{,}7\ mm$$

$$2t_{11} + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 142{,}7\ mm \rightarrow b_w = 142{,}7\ mm$$

$$N_{12,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_{12} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 154{,}6}{\sin 50{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{260{,}03\ kN} > N_{10,Ed} = 2{,}68\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,12} = \frac{h_{12}}{\sin\theta_{12}} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 50{,}2°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 154{,}6\ mm$$

$$2t_{12} + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 154{,}6\ mm \rightarrow b_w = 154{,}6\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása:

$N_{12,Rd} = N_{8,Rd} = \mathbf{135{,}36\ kN} > N_{12,Ed} = 2{,}68\ kN$ (ld. 8-as csomópont)

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$g = 16\ mm \rightarrow \alpha = 0{,}42 \rightarrow A_v = 1510\ mm^2$

$N_{11,Rd} = N_{9,Rd} = \mathbf{205{,}89\ kN} > N_{11,Ed} = 32{,}89\ kN$ (ld. 10-es csomópont)

Megfelel!

$$N_{12,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_{12} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1510}{\sqrt{3} * \sin 50{,}2° * 1{,}0} = \mathbf{266{,}66\ kN} > N_{12,Ed} = 2{,}68\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,11} = N_{11,Ed} * \sin\theta_{11} = 32{,}89 * \sin 84{,}3° = 32{,}73\ kN \\ V_{Ed,12} = N_{12,Ed} * \sin\theta_{12} = 2{,}68 * \sin 50{,}2° = 2{,}06\ kN \end{Bmatrix} = 32{,}73\ kN$$

$V_{pl,Rd} = 204{,}87\ kN > V_{Ed} = 74{,}16\ kN$ (ld. 10-es csomópont)

Megfelel!

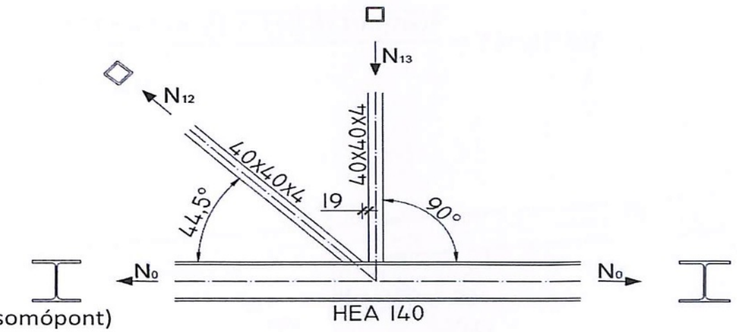
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 1510) * 235 + 1510 * 235 * \sqrt{1 - (32{,}73/204{,}87)^2}}{1{,}0} = 733{,}81\ kN$$

$N_{0,Rd} = \mathbf{733{,}81\ kN} > N_{0,Ed} = 611{,}22\ kN$

Megfelel!

13-as csomópont:

$N_{0,Ed} = +608{,}19\ kN$
$N_{12,Ed} = +2{,}68\ kN$
$N_{13,Ed} = +6{,}58\ kN$
$\theta_{12} = 44{,}5°$
$\theta_{13} = 90°$
$g = 19\ mm$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 11-es csomópont)
- Húzott rácsrúd: (ld. 8-as csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása:

$N_{13,Rd} = N_{11,Rd} = \mathbf{184{,}18\ kN} > N_{13,Ed} = 6{,}58\ kN$ (ld. 11-es csomópont)

Megfelel!

$$N_{12,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin\theta_{12} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 159{,}6}{\sin 44{,}5° * 1{,}0} = \mathbf{294{,}25\ kN} > N_{12,Ed} = 2{,}68\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,12} = \frac{h_{12}}{\sin\theta_{12}} + 5(t_f + r) = \frac{40}{\sin 44{,}5°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 159{,}6\ mm$$

$$2t_{12} + 10(t_f + r) = 2 * 4 + 10 * (8{,}5 + 12) = 213\ mm > 159{,}6\ mm \rightarrow b_w = 159{,}6\ mm$$

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 8-as csomópont)

$N_{12,Rd} = N_{8,Rd} = \mathbf{135{,}36\ kN} > N_{Ed}{}^{max} = 6{,}58\ kN$

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$g = 19\ mm \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4 * 19^2/3 * 8{,}5^2)}} = 0{,}36$$

$$A_v = 3142 - (2 - 0{,}36) * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5 = 1443\ mm^2$$

$$N_{13,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_{13} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1443}{\sqrt{3} * \sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{195{,}78\ kN} > N_{13,Ed} = 6{,}58\ kN$$

Megfelel!

$$N_{12,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_{12} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1443}{\sqrt{3} * \sin 44{,}5° * 1{,}0} = \mathbf{279{,}33\ kN} > N_{12,Ed} = 2{,}68\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,13} = N_{13,Ed} * \sin\theta_{13} = 6{,}58 * \sin 90° = 6{,}58\ kN \\ V_{Ed,12} = N_{12,Ed} * \sin\theta_{12} = 2{,}68 * \sin 44{,}5° = 1{,}88\ kN \end{Bmatrix} = 6{,}58\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1443 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 195{,}78\ kN > V_{Ed} = 6{,}58\ kN$$

Megfelel!

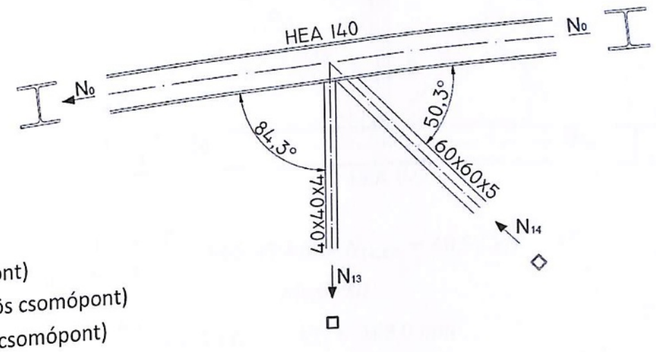
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 1443) * 235 + 1443 * 235 * \sqrt{1 - (6{,}58/195{,}78)^2}}{1{,}0} = 738{,}18\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{738{,}18\ kN} > N_{0,Ed} = 608{,}19\ kN$$

Megfelel!

14-es csomópont:

$N_{0,Ed} = -611{,}22\ kN$
$N_{13,Ed} = +6{,}58\ kN$
$N_{14,Ed} = -48{,}57\ kN$
$\theta_{13} = 84{,}3°$
$\theta_{14} = 50{,}3°$
$g = \emptyset$



Geometriai feltételek:

- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 5-ös csomópont)
- Húzott rácsrúd: (ld. 8-as csomópont)

Ellenállás:

- Öv gerincének stabilitása: (ld. 12-es csomópont)

$$N_{13,Rd} = N_{12,Rd} = \mathbf{260{,}03\ kN} > N_{13,Ed} = 6{,}58\ kN$$

Megfelel!

$$N_{14,Rd} = N_{11,Rd} = \mathbf{185{,}35\ kN} > N_{14,Ed} = 48{,}57\ kN$$

Megfelel!

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 4-es csomópont)

$$N_{13,Rd} = N_{4,Rd} = \mathbf{209{,}15\ kN} > N_{13,Ed} = 6{,}58\ kN$$ (ld. 8-as csomópont)

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$g = \emptyset \rightarrow A_v = 2203\ mm^2$ (ld. 1-es csomópont)

$$N_{13,Rd} = N_{1,Rd} = \mathbf{300{,}38\ kN} > N_{5,Ed} = 157{,}21\ kN$$ (ld. 1-es csomópont)

Megfelel!

$$N_{14,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin\theta_{14} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 2203}{\sqrt{3} * \sin 50{,}3° * 1{,}0} = \mathbf{388{,}48\ kN} > N_{14,Ed} = 48{,}57\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,13} = N_{13,Ed} * \sin\theta_{13} = 6{,}58 * \sin 84{,}3° = 6{,}55\ kN \\ V_{Ed,14} = N_{14,Ed} * \sin\theta_{14} = 48{,}57 * \sin 50{,}3° = 37{,}37\ kN \end{Bmatrix} = 37{,}37\ kN$$

$V_{pl,Rd} = 298{,}90\ kN > V_{Ed} = 37{,}37\ kN$ (ld. 1-es csomópont)

Megfelel!

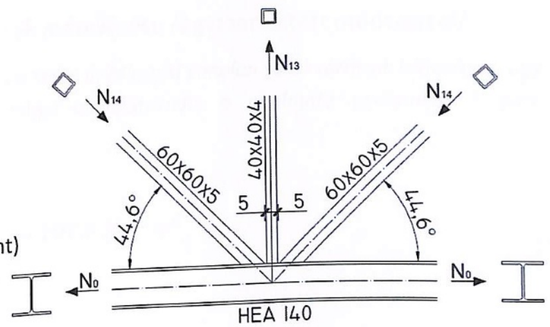
$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 2203) * 235 + 2203 * 235 * \sqrt{1 - (37{,}37/298{,}90)^2}}{1{,}0} = 734{,}34\ kN$$

$$N_{0,Rd} = \mathbf{734{,}31\ kN} > N_{0,Ed} = 611{,}22\ kN$$

Megfelel!

15-ös csomópont:

$N_{0,Ed} = +608{,}19\ kN$
$N_{14,Ed} = -48{,}57\ kN$
$N_{15,Ed} = +77{,}27\ kN$
$\theta_{14} = 44{,}6°$
$g = 5\ mm$



Geometriai feltételek:
- Övrúd: (ld. 1-es csomópont)
- Nyomott rácsrúd: (ld. 5-ös csomópont)
- Húzott rácsrúd: (ld. 8-as csomópont)

Ellenállás:
- Öv gerincének stabilitása:

$$N_{14,Rd} = \frac{f_{y0} * t_w * b_w}{\sin 4 * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 5{,}5 * 188{,}0}{\sin 44{,}6° * 1{,}0} = \mathbf{345{,}97\ kN} > N_{14,Ed} = 48{,}57\ kN$$

Megfelel!

$$b_{w,14} = \frac{h_{14}}{\sin \theta_{14}} + 5(t_f + r) = \frac{60}{\sin 44{,}6°} + 5 * (8{,}5 + 12) = 188{,}0\ mm$$

$$2t_{14} + 10(t_f + r) = 2 * 5 + 10 * (8{,}5 + 12) = 215\ mm > 188{,}0\ mm \rightarrow b_w = 188{,}0\ mm$$

$N_{15,Rd} = N_{11,Rd} = \mathbf{184{,}18\ kN} > N_{15,Ed} = 77{,}27\ kN$ (ld. 11-es csomópont)

Megfelel!

- Húzott rácsrúd elszakadása: (ld. 8-as csomópont)

$$N_{15,Rd} = N_{8,Rd} = \mathbf{135{,}36\ kN} > N_{15,Ed} = 77{,}27\ kN$$

Megfelel!

- Övrúd nyírási tönkremenetele:

$$g = 5\ mm \rightarrow \alpha = \sqrt{\frac{1}{(1 + 4 * 5^2/3 * 8{,}5^2)}} = 0{,}83$$

$$A_v = 3142 - (2 - 0{,}83) * 140 * 8{,}5 + (5{,}5 + 2 * 12) * 8{,}5 = 1997\ mm^2$$

$$N_{14,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin \theta_{14} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1997}{\sqrt{3} * \sin 44{,}6° * 1{,}0} = \mathbf{385{,}88\ kN} > N_{14,Ed} = 48{,}57\ kN$$

Megfelel!

$$N_{15,Rd} = \frac{f_{y0} * A_v}{\sqrt{3} * \sin \theta_{15} * \gamma_{M5}} = \frac{235 * 1997}{\sqrt{3} * \sin 90° * 1{,}0} = \mathbf{270{,}95\ kN} > N_{15,Ed} = 77{,}27\ kN$$

Megfelel!

$$V_{Ed} = max\begin{Bmatrix} V_{Ed,14} = N_{14,Ed} * \sin \theta_{14} = 48{,}57 * \sin 44{,}6° = 34{,}10\ kN \\ V_{Ed,15} = N_{15,Ed} * \sin \theta_{15} = 77{,}27 * \sin 90° = 77{,}27\ kN \end{Bmatrix} = 77{,}27\ kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_{y0}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1997 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = 270{,}95\ kN > V_{Ed} = 77{,}27\ kN$$

Megfelel!

$$N_{0,Rd} = \frac{(3142 - 1997) * 235 + 1997 * 235 * \sqrt{1 - (77{,}27/270{,}95)^2}}{1{,}0} = 718{,}88\ kN$$

$N_{0,Rd} = \mathbf{718{,}88\ kN} > N_{0,Ed} = 608{,}19\ kN$

Megfelel!

2.3.5. Kapcsolatok méretezése

2.3.5.1. Rácsrudakat bekötő varratok méretezése /egyszerűsített módszerrel/

Megj.: A rácsrudak bekötését az övrúdba a teljes érintkezési vonalon sarokvarratok biztosítják. Egy rúd mindkét végén ugyanazon gyökméret alkalmazandó, a minimális gyökméret 3 mm. Alkalmazott varratminőség: S235.

Varrat szilárdságának tervezési értéke:

$$f_{wd} = \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2} * \sqrt{3}} = \frac{360}{0{,}80 * 1{,}25 * \sqrt{3}} = 207{,}8\ N/mm^2$$

$S_1 -$ rúd:

$N_{Rd} = 297{,}27\ kN$

$K_{min} = 174\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{297{,}27 * 10^3}{174} = 1708{,}4\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 1708{,}4$

$a \geq 8{,}2\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_1 = 10\ mm}$

$S_2 -$ rúd:

$N_{Rd} = 196{,}85\ kN$

$K_{min} = 180\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{196{,}85 * 10^3}{180} = 1093{,}6\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 1093{,}6$

$a \geq 5{,}3\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_2 = 6\ mm}$

$S_3 -$ rúd:

$N_{Rd} = 224{,}51\ kN$

$K_{min} = 198\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{224{,}51 * 10^3}{198} = 1133{,}9\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 1133{,}9$

$a \geq 5{,}5\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_3 = 6\ mm}$

$S_4 -$ rúd:

$N_{Rd} = 157{,}21\ kN$

$K_{min} = 180\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{157{,}21 * 10^3}{180} = 873{,}4\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 873{,}4$

$a \geq 4{,}2\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_4 = 5\ mm}$

S_5 – rúd:

$N_{Rd} = 177{,}40\ kN$

$K_{min} = 231\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{177{,}40 * 10^3}{231} = 768{,}0\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 768{,}0$

$a \geq 3{,}7\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_5 = 4\ mm}$

S_6 – rúd:

$N_{Rd} = 116{,}33\ kN$

$K_{min} = 240\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{116{,}33 * 10^3}{240} = 484{,}7\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 484{,}7$

$a \geq 2{,}3\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_6 = 3\ mm}$

S_7 – rúd:

$N_{Rd} = 122{,}0\ kN$

$K_{min} = 188\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{122{,}0 * 10^3}{188} = 648{,}9\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 648{,}9$

$a \geq 3{,}1\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_7 = 4\ mm}$

S_8 – rúd:

$N_{Rd} = 74{,}53\ kN$

$K_{min} = 200\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{74{,}53 * 10^3}{200} = 372{,}7\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 372{,}7$

$a \geq 1{,}8\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_8 = 3\ mm}$

S_9 – rúd:

$N_{Rd} = 61{,}81\ kN$

$K_{min} = 189\ mm$

$$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{61{,}81 * 10^3}{189} = 327{,}0\ N/mm$$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 327{,}0$

$a \geq 1{,}6\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_9 = 3\ mm}$

S_{10} – rúd:

$N_{Rd} = 32{,}89\ kN$

$K_{min} = 160\ mm$

$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{32{,}89 * 10^3}{160} = 205{,}6\ N/mm$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 205{,}6$

$a \geq 1{,}0\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_{10} = 3\ mm}$

S_{11} – és S_{12} – rúd:

$N_{Rd} = 6{,}58\ kN \sim \emptyset \rightarrow \boldsymbol{a_{11-12} = 3\ mm}$

S_{13} – rúd:

$N_{Rd} = 48{,}57\ kN$

$K_{min} = 276\ mm$

$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{48{,}57 * 10^3}{276} = 176{,}0\ N/mm$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 176{,}0$

$a \geq 0{,}8\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_{13} = 3\ mm}$

S_{14} – rúd:

$N_{Rd} = 231{,}63\ kN$

$K_{min} = 241\ mm$

$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{231{,}63 * 10^3}{241} = 961{,}1\ N/mm$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 961{,}1$

$a \geq 4{,}6\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_{14} = 5\ mm}$

S_{15} – rúd:

$N_{Rd} = 77{,}27\ kN$

$K_{min} = 160\ mm$

$F_{w,Ed} = \frac{N_{Rd}}{K_{min}} = \frac{77{,}27 * 10^3}{160} = 482{,}9\ N/mm$

$F_{w,Rd} = f_{wd} * a \geq F_{w,Ed}$

$207{,}8 * a \geq 482{,}9$

$a \geq 2{,}3\ mm \rightarrow \boldsymbol{a_{15} = 3\ mm}$

2.3.5.2. Övrudak kapcsolatának méretezése

Alsó övrúd toldása:

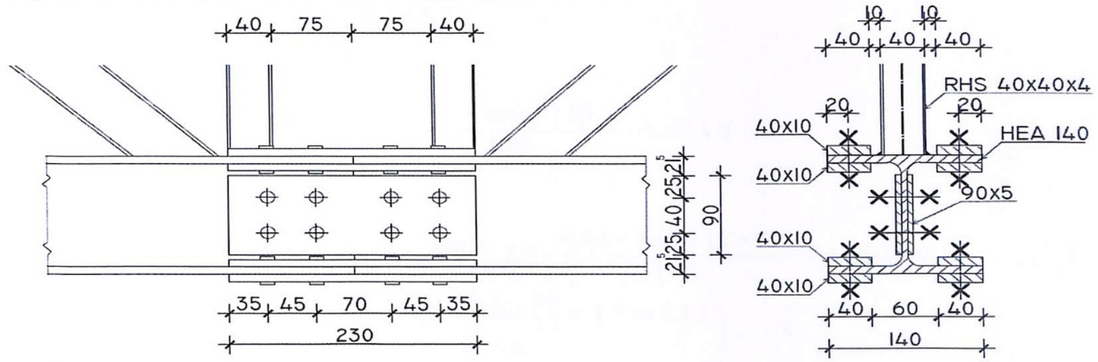
Mértékadó igénybevétel: $N_{Ed} = 608{,}19\ kN$

Alkalmazott csavar: $M12$ 6.8

$A = 113\ mm^2$ $\quad d_0 = 13\ mm$ $\quad f_{ub} = 600\ N/mm^2$

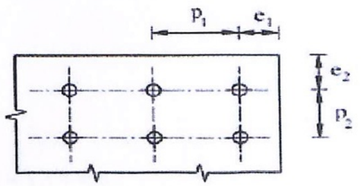
Tervezett kapcsolat:

Megj.: Az alsó övrúd toldásának biztosítása érdekében, a rácsos szaruzat függőleges középtengelye mentén húzódó rácsrúd ketté lett osztva. A két rácsrúd tengelye az eredeti rácsrúd tengelyétől 95 mm-re került. Erőtani szempontból a függőleges rácsrúd kihasználtsága csökkent, míg a ferde rácsrudak övrúddal bezárt szöge elhanyagolhatóan kicsi mértékben változik, így a rácsrudakat és a hegesztett csomópontokat nem szükséges újra méretezni.



- *Övlemezek toldása:*

Csavarkép szerkesztési szabályai:



$e_1 \geq 2 * d_0 = 2 * 13 = 26\ mm < e_1 = 35\ mm$
Megfelel!

$e_2 \geq 1{,}5 * d_0 = 1{,}5 * 13 = 19\ mm < e_2 = 20\ mm$
Megfelel!

$p_1 \geq 3 * d_0 = 3 * 13 = 39\ mm < p_1 = 45\ mm$
Megfelel!

$p_2 \geq 3 * d_0 = 3 * 13 = 39\ mm < p_2 = 100\ mm$
Megfelel!

Egy övre jutó normálerő:

$A_{öv} = b_f * t_f = 140 * 8{,}5 = 1190\ mm^2$

$\frac{A_{öv}}{A} = \frac{N_{Ed,öv}}{N_{Ed}} \rightarrow \frac{1190}{3142} = \frac{N_{Ed,öv}}{608{,}19} \rightarrow N_{Ed,öv} = \mathbf{230{,}35\ kN}$

Övhevederek és öv húzási ellenállása:

- Hevederek ellenállása:

$$N_{pl,Rd}^{hev} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4 * (40 * 10) * 235}{1{,}0} = 376{,}0\ kN$$

$$N_{u,Rd}^{hev} = \frac{0{,}9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * 4 * [(40 - 13) * 10] * 360}{1{,}25} = 279{,}94\ kN$$

$$N_{Rd}^{hev} = min[N_{pl,Rd}^{hev}; N_{u,Rd}^{hev}] = 279{,}94\ kN$$

- Övlemez ellenállása:

$$N_{pl,Rd}^{öv} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1190 * 235}{1{,}0} = 279{,}65\ kN$$

$$N_{u,Rd}^{öv} = \frac{0{,}9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * [(140 - 2 * 13) * 8{,}5] * 360}{1{,}25} = 251{,}16\ kN$$

$$N_{Rd}^{öv} = min[N_{pl,Rd}^{öv}; N_{u,Rd}^{öv}] = 251{,}16\ kN$$

$$N_{Rd} = min\begin{cases} N_{Rd}^{hev} = 279{,}94 \\ N_{Rd}^{öv} = 251{,}16 \end{cases} = \mathbf{251{,}16\ kN} > N_{Ed,öv} = \mathbf{230{,}35\ kN}$$

Megfelel!

Egy csavarra jutó normálerő:

$$F_{Ed} = \frac{N_{Ed,öv}}{n} = \frac{230{,}35}{4} = \mathbf{57{,}59\ kN}$$

Csavarok ellenállása (egy övön):

- Nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0{,}6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{0{,}6 * 600 * 113}{1{,}25} = 65{,}09\ kN$$

- Palástnyomási ellenállás:

Szélső csavar esetén:

$$F_{b,Rd}^{szél} = k_1^{szél} * \frac{\alpha_b^{szél} * f_u * d * t_{min}}{\gamma_{M2}} = 2{,}5 * \frac{0{,}90 * 360 * 12 * 8{,}5}{1{,}25} = 66{,}10\ kN$$

$$k_1^{szél} = min\begin{pmatrix} 2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 * \frac{20}{13} - 1{,}7 = 2{,}61 \\ 2{,}5 \end{pmatrix} = 2{,}5$$

$$\alpha_b^{szél} = min\begin{pmatrix} \frac{e_1}{3d_0} = \frac{35}{3 * 13} = 0{,}90 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{360} = 1{,}67 \\ 1{,}0 \end{pmatrix} = 0{,}90$$

Közbenső csavar esetén:

$$F_{b,Rd}^{közb} = k_1^{közb} * \frac{\alpha_b^{közb} * f_u * d * t_{min}}{\gamma_{M2}} = 2{,}5 * \frac{0{,}90 * 360 * 12 * 8{,}5}{1{,}25} = 66{,}38\ kN$$

$$k_1^{közb} = min\begin{pmatrix} 1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7 = 1{,}4 * \frac{80}{13} - 1{,}7 = 6{,}91 \\ 2{,}5 \end{pmatrix} = 2{,}5$$

$$\alpha_b^{közb} = min\begin{pmatrix} \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{45}{3 * 13} - \frac{1}{4} = 0{,}90 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{360} = 1{,}67 \\ 1{,}0 \end{pmatrix} = 0{,}90$$

$$F_{b,Rd} = min[F_{b,Rd}^{szél}; F_{b,Rd}^{közb}] = 66{,}10\ kN$$

$$F_{Rd} = min[F_{v,Rd}; F_{b,Rd}] = \mathbf{65,09\ kN} > F_{Ed} = \mathbf{57,59\ kN}$$
Megfelel!

- *Gerinclemez toldása:*

Csavarkép szerkesztési szabályai:

$e_1 \geq 2 * d_0 = 2 * 13 = 26\ mm < e_1 = 35\ mm$
Megfelel!

$e_2 \geq 1{,}5 * d_0 = 1{,}5 * 13 = 19\ mm < e_2 = 25\ mm$
Megfelel!

$p_1 \geq 3 * d_0 = 3 * 13 = 39\ mm < p_1 = 45\ mm$
Megfelel!

$p_2 \geq 3 * d_0 = 3 * 13 = 39\ mm < p_2 = 40\ mm$
Megfelel!

Gerincre jutó normálerő:

$A_{gerinc} = A - 2A_{öv} = 3142 - 2 * 1190 = 762\ mm^2$

$\frac{A_{gerinc}}{A} = \frac{N_{Ed,ger}}{N_{Ed}} \rightarrow \frac{762}{3142} = \frac{N_{Ed,ger}}{608{,}19} \rightarrow N_{Ed,ger} = \mathbf{147,50\ kN}$

Hevederek és gerinc húzási ellenállása:

- Heveder ellenállása:

$N_{pl,Rd}^{hev} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2 * (90 * 5) * 235}{1{,}0} = 211{,}50\ kN$

$N_{u,Rd}^{hev} = \frac{0{,}9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * [2 * (90 - 2 * 13) * 5] * 360}{1{,}25} = 165{,}89\ kN$

$N_{Rd}^{hev} = min[N_{pl,Rd}^{hev}; N_{u,Rd}^{hev}] = 165{,}89\ kN$

- Gerinclemez ellenállása:

$N_{pl,Rd}^{ger} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{762 * 235}{1{,}0} = 179{,}07\ kN$

$N_{u,Rd}^{ger} = \frac{0{,}9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * (762 - 2 * 13 * 5{,}5) * 360}{1{,}25} = 160{,}44\ kN$

$N_{Rd}^{ger} = min[N_{pl,Rd}^{ger}; N_{u,Rd}^{ger}] = 160{,}44\ kN$

$N_{Rd} = min[N_{Rd}^{heveder}; N_{Rd}^{gerinc}] = \mathbf{160,44\ kN} > N_{Ed,ger} = \mathbf{147,50\ kN}$
Megfelel!

Egy csavarra jutó normálerő:

$F_{Ed} = \frac{N_{Ed,ger}}{n} = \frac{147{,}50}{4} = \mathbf{36,88\ kN}$

Csavarok ellenállása (egy övön):

- Nyírási ellenállás:

$F_{v,Rd} = 65{,}09\ kN$ (ld. övnél)

- Palástnyomási ellenállás:

Szélső csavar esetén:

$F_{b,Rd}^{szél} = k_1^{szél} * \frac{\alpha_b^{szél} * f_u * d * t_{min}}{\gamma_{M2}} = 2{,}5 * \frac{0{,}90 * 360 * 12 * 5{,}5}{1{,}25} = 42{,}77\ kN$

$$k_1^{szél} = min\begin{pmatrix} 2{,}8\frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 * \frac{25}{13} - 1{,}7 = 3{,}68 \\ 2{,}5 \end{pmatrix} = 2{,}5$$

$$\alpha_b^{szél} = min\begin{pmatrix} \frac{e_1}{3d_0} = \frac{35}{3*13} = 0{,}90 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{360} = 1{,}67 \\ 1{,}0 \end{pmatrix} = 0{,}90$$

Közbenső csavar esetén:

$$F_{b,Rd}^{közb} = k_1^{közb} * \frac{\alpha_b^{közb} * f_u * d * t_{min}}{\gamma_{M2}} = 2{,}5 * \frac{0{,}90 * 360 * 12 * 5{,}5}{1{,}25} = 42{,}77\ kN$$

$$k_1^{közb} = min\begin{pmatrix} 1{,}4\frac{p_2}{d_0} - 1{,}7 = 1{,}4 * \frac{40}{13} - 1{,}7 = 2{,}61 \\ 2{,}5 \end{pmatrix} = 2{,}5$$

$$\alpha_b^{közb} = min\begin{pmatrix} \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{45}{3*13} - \frac{1}{4} = 0{,}90 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{360} = 1{,}67 \\ 1{,}0 \end{pmatrix} = 0{,}90$$

$$F_{b,Rd} = min\left[F_{b,Rd}^{szél}; F_{b,Rd}^{közb}\right] = 42{,}77\ kN$$

$$F_{Rd} = min\left[F_{v,Rd}; F_{b,Rd}\right] = \mathbf{42{,}77\ kN} > F_{Ed} = \mathbf{36{,}88\ kN}$$

Megfelel!

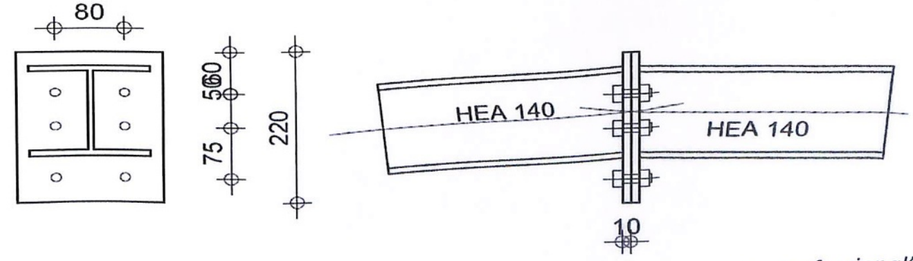
Felső övrúd toldása:

Mértékadó igénybevétel: $N_{Ed} = 576{,}44\ kN$

Alkalmazott csavar: $M12$ 6.8

$A = 113\ mm^2$ $\quad d_0 = 13\ mm$ $\quad f_{ub} = 600\ N/mm^2$

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

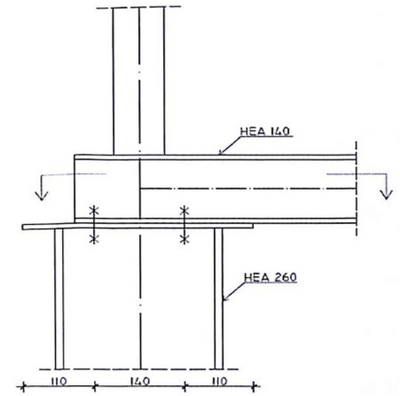
A kapcsolat kihasználtsága: ***93 %***

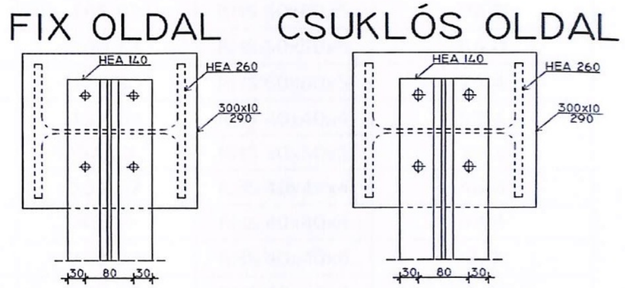
2.3.5.3. Oszlop és szaruzat kapcsolatának méretezése

Megj.: A szaruzat nem ad át nyíróerőt, csak normálerőt a főhajó oszlopára, ezért méretezése elhanyagolható.

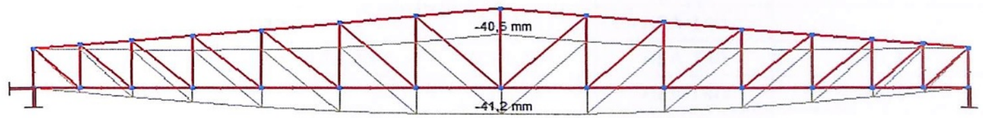
Alkalmazott csavar: *M*12 6.8

Tervezett kapcsolat:





2.3.6. Lehajlás ellenőrzése



$$w_{eng} = \frac{L}{200} = \frac{23500}{200} = 117{,}5\ mm > w_{max} = \mathbf{41{,}2\ mm}$$

Megfelel!

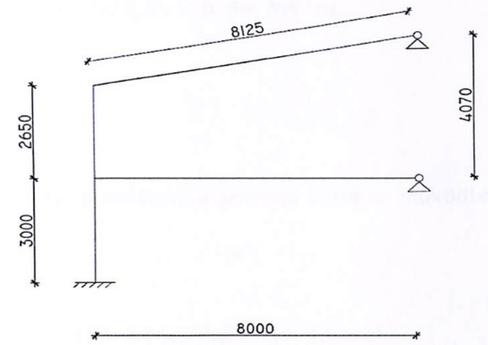
2.3.7. Végleges szelvények jellemzői

Rúd jele	Igénybevétel [kN]		Ellenállás [kN]	Keresztmetszet	Kihasználtság [%]
	Húzott rúd	Nyomott rúd			
S_1	+276,71	-	378,11	RHS 60x60x8	73,2
S_2	-	-196,85	204,20	RHS 60x60x6	96,4
S_3	+224,51	-	297,27	RHS 60x60x6	75,5
S_4	-	-157,21	165,92	RHS 60x60x5	94,8
S_5	+177,40	-	206,33	RHS 50x50x5	86,0
S_6	-	-116,33	154,30	RHS 60x60x5	75,4
S_7	+122,00	-	132,07	RHS 40x40x4	92,4
S_8	+0,47	-74,53	94,20	RHS 50x50x5	79,1
S_9	+61,81	-	132,07	RHS 40x40x4	46,8
S_{10}	+3,13	-32,89	48,09	RHS 40x40x4	68,4
S_{11}	+2,68	-	132,07	RHS 40x40x4	2,0
S_{12}	+6,58	-	132,07	RHS 40x40x4	5,0
S_{13}	-	-48,57	72,86	RHS 60x60x5	66,7
S_{14}	-	-231,63	290,85	RHS 80x80x5	73,5
S_{15} (2 db)	+77,27	-	132,07	RHS 40x40x4	58,5
S_{16}	vakrúd		-	HEA 140	-
S_{17}	-	-188,20	738,37	HEA 140	25,5
S_{18}	+187,26	-	738,37	HEA 140	25,4
S_{19}	-	-343,53	733,92	HEA 140	46,8
S_{20}	+341,83	-	738,37	HEA 140	46,3
S_{21}	-	-472,07	712,92	HEA 140	66,3
S_{22}	+469,72	-	738,37	HEA 140	66,2
S_{23}	-	-562,76	686,64	HEA 140	82,0
S_{24}	+559,97	-	738,37	HEA 140	75,8
S_{25}	-	-609,31	663,24	HEA 140	91,9
S_{26}	+606,29	-	738,37	HEA 140	82,1
S_{27}	-	-611,22	663,24	HEA 140	92,2
S_{28}	-	-576,44	645,21	HEA 140	89,3
S_{29}	+608,19	-	738,37	HEA 140	82,4

2.4. Mellékhajó méretezése

2.4.1. Statikai váz, keresztmetszetek, alaprajz

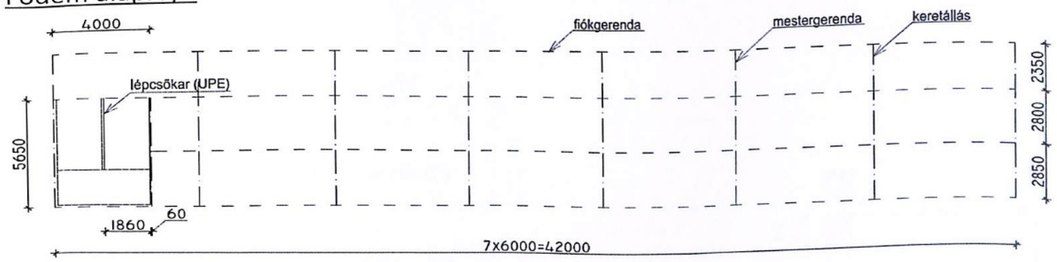
Statikai váz:



Felhasznált keresztmetszetek, szelvények:

- Oszlop: HEA 300
- Födémgerenda:
  - Mestergerenda: HEA 340
  - Fiókgerenda: HEA 220
- Tetőgerenda: IPE 330

Födém alaprajz:



2.4.2. Terhek, teherkombinációk

Állandó terhek:

- Önsúly: AXIS VM-ben meghatározott.
- Tető rétegrend: ld. 3.2.2.

  $g_{r,4} = 0{,}326\ kN/m^2$

  $g^4_{\perp,k} = g_{r,4} * \cos\alpha = 0{,}326 * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}32\ kN/m^2}$
- Tetőszelemen: ld. 3.2.2.

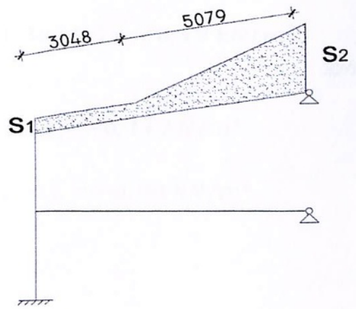
  $g_z = 0{,}10\ kN/m$

  $G^Z_{\perp,k} = (t * g_z) * \cos\alpha = (6{,}0 * 0{,}10) * \cos 10{,}2° = \mathbf{0{,}59\ kN}$

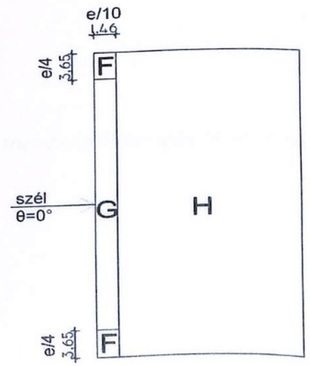
- Fal rétegrend: ld. 3.2.3.
  $g_{r,5} = \mathbf{0,32\ kN/m^2}$
- Falszelemen: ld. 3.2.3.
  $g_z = 0{,}07\ kN/m$
  $g_k^z = (t * g_z)/t_z = (6{,}0 * 0{,}07)/1{,}25 = \mathbf{0,34\ kN/m}$
- Födém rétegrendek: ld. 3.1.7.
  1. funkció: folyosó
  $g_{r,1} = \mathbf{2,33\ kN/m^2}$
  2. funkció: folyosó
  $g_{r,2} = \mathbf{2,76\ kN/m^2}$
- Állandó jellegű hasznos teher (gépészet): a gerenda közepén működtetve
  $G_{gép} = \mathbf{5\ kN}$

Esetleges terhek:

- Hóteher:
  $s_1 = \mathbf{1,0\ kN/m^2}$ $s_2 = \mathbf{4,64\ kN/m^2}$ (ld. 3.1.2.2)

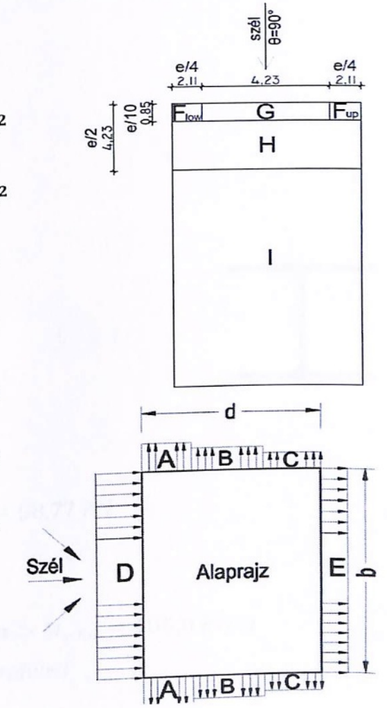


- Szélteher:
  $q_p = 0{,}38\ kN/m^2$
  - Keresztirányú-külső szélteher (θ=0°):



Szívás:
F-zóna:
$p_{w,e,sz,0}^{F,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^F = 0{,}38 * 1{,}3 = \mathbf{-0,49\ kN/m^2}$
G-zóna:
$p_{w,e,sz,0}^{G,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^G = 0{,}38 * 1{,}0 = \mathbf{-0,38\ kN/m^2}$
H-zóna:
$p_{w,e,sz,0}^{H,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^H = 0{,}38 * 0{,}45 = \mathbf{-0,17\ kN/m^2}$
Nyomás:
F-, G- és H-zóna:
$p_{w,e,ny,0}^{k} = q_p * c_{pe,10,ny} = 0{,}38 * 0{,}1 = \mathbf{+0,04\ kN/m^2}$
D-zóna:
$p_{w,e,ny,0}^{D,k} = q_p * c_{pe,10,ny}^D = 0{,}38 * 0{,}8 = \mathbf{+0,30\ kN/m^2}$

- Hosszirányú-külső szélteher (θ=90°):



Szívás:

F_{up}-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{F_{up},k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{F_{up}} = 0{,}38 * 2{,}25 = \mathbf{-0{,}86\ kN/m^2}$$

F_{low}- és G-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{F_{low},G,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{F_{low},G} = 0{,}38 * 1{,}85 = \mathbf{-0{,}70\ kN/m^2}$$

H-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{H,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{H} = 0{,}38 * 0{,}7 = \mathbf{-0{,}27\ kN/m^2}$$

I-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{I,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{I} = 0{,}38 * 0{,}6 = \mathbf{-0{,}23\ kN/m^2}$$

A-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{A,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{A} = 0{,}38 * 1{,}2 = \mathbf{-0{,}46\ kN/m^2}$$

B-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{B,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{B} = 0{,}38 * 0{,}8 = \mathbf{-0{,}30\ kN/m^2}$$

C-zóna:

$$p_{w,e,sz,90}^{C,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{C} = 0{,}38 * 0{,}5 = \mathbf{-0{,}19\ kN/m^2}$$

- Belső szélteher:

Szívás:

$$p_{w,i,sz}^{k} = q_p * c_{pi,sz} = 0{,}38 * 0{,}3 = \mathbf{+0{,}11\ kN/m^2}$$

Nyomás:

$$p_{w,i,ny}^{k} = q_p * c_{pi,ny} = 0{,}38 * 0{,}2 = \mathbf{-0{,}08\ kN/m^2}$$

- Hasznos teher: ld. 3.1.7.
  1. funkció: folyosó

  $q_{k,1} = \mathbf{5{,}0\ kN/m^2}$

  2. funkció: folyosó

  $q_{k,2} = \mathbf{3{,}0\ kN/m^2}$
- Válaszfal teher: ld. 3.1.7.

  $q_{k,fal} = \mathbf{0{,}50\ kN/m^2}$

Lépcsőkar terhe:

$F_{kar}^{U} = \mathbf{15{,}51\ kN}$ $\qquad$ $F_{kar}^{S} = \mathbf{6{,}88\ kN}$

Megj.: A lépcsőkar terhei a lépcső méretezése során meghatározott támaszerőkkel egyeznek meg teherbírási és használhatósági határállapotban.

Teherkombinációk:

AXIS VM-ben meghatározottak.

Megj.: A teherkombinációk a Mellékletekben megtalálhatóak.

2.4.3. Födémgerendák ellenőrzése

2.4.3.1. Közbenső fiókgerenda ellenőrzése

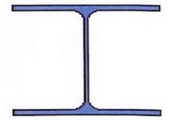
Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = \emptyset$ $\quad N_x^M = \emptyset$

$V_{z,Ed} = 58{,}77\ kN$ $\quad V_z^M = \emptyset$

$M_{y,Ed} = 105{,}0\ kNm$ $\quad M_y^N = \emptyset$ $\quad M_y^V = \emptyset$

Keresztmetszeti adatok (HEA 260):



$b = 260\ mm$ $\quad t_f = 12{,}5\ mm$

$h = 250\ mm$ $\quad t_w = 7{,}5\ mm$

$A = 8682\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 2876\ mm^2$

$W_{pl,y} = 919{,}8 * 10^3\ mm^3$ $\quad I_y = 10{,}45 * 10^7\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2876 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{390{,}21\ kN} > V_{z,Ed} = 58{,}77\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{919{,}8 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{216{,}15\ kNm} > M_{y,Ed} = 105{,}0\ kNm$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{58{,}77}{390{,}21} = 0{,}15 < 0{,}5$$

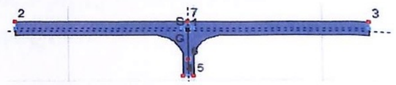
↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kifordulás /egyszerűsített módszer/:

Vizsgálathoz szükséges keresztmetszeti adatok:



$A_{fz} = 3779\ mm^2$

$I_{fz} = 1{,}83 * 10^7\ mm^4$

$$i_{fz} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{1{,}83 * 10^7}{3779}} = 69{,}7\ mm$$

Kifordulás vizsgálat:

$$\overline{\lambda_f} = \frac{k_c * L_c}{i_{fz} * \lambda_E} = \frac{0{,}94 * 6000}{69{,}7 * 93{,}9} = 0{,}86 < \overline{\lambda_{co}} * \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{y,Ed}} = 0{,}5 * \frac{216{,}15}{105{,}0} = 1{,}03$$

↓

A kifordulás-vizsgálatot nem kell elvégezni!

- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 225/7{,}5 = 30 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

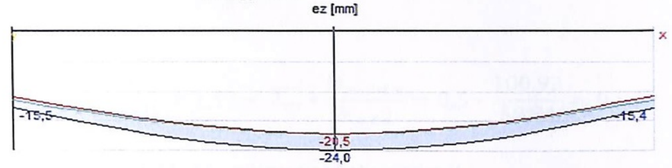
↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

Lehajlás ellenőrzése:

$w_{eng} = L/250 = 6000/250 = 24\,mm \geq w_{max} = \mathbf{24{,}0\ mm}$

Megfelel!



2.4.3.2. Szélső fiókgerenda ellenőrzése

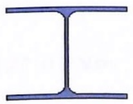
Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = \emptyset$ $\quad N_x^M = \emptyset$

$V_{z,Ed} = 33{,}50\ kN$ $\quad V_z^M = \emptyset$

$M_{y,Ed} = 58{,}84\ kNm$ $\quad M_y^N = \emptyset$ $\quad M_y^V = \emptyset$

Keresztmetszeti adatok (HEA 200):



$b = 200\ mm$ $\quad t_f = 10\ mm$

$h = 190\ mm$ $\quad t_w = 6{,}5\ mm$

$A = 5883\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 1810\ mm^2$

$W_{pl,y} = 429{,}5 * 10^3\ mm^3$ $\quad I_y = 3{,}69 * 10^7\ mm^4$ $\quad I_z = 13{,}36 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1810 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{245{,}58\ kN} > V_{z,Ed} = 33{,}50\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{429{,}5 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{100{,}93\ kNm} > M_{y,Ed} = 58{,}84\ kNm$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{33{,}50}{245{,}58} = 0{,}14 < 0{,}5$$

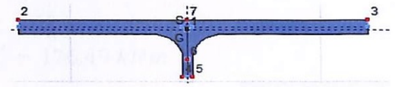
↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kifordulás /egyszerűsített módszer/:

Vizsgálathoz szükséges keresztmetszeti adatok:



$A_{fz} = 2323\ mm^2$

$I_{fz} = 6{,}676 * 10^6\ mm^4$

$$i_{fz} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{6{,}676 * 10^6}{2323}} = 53{,}6\ mm$$

Kifordulás vizsgálat:

$$\overline{\lambda_f} = \frac{k_c * L_c}{i_{fz} * \lambda_E} = \frac{0{,}94 * 6000}{53{,}6 * 93{,}9} = 1{,}12 < \overline{\lambda_{co}} * \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{y,Ed}} = 0{,}5 * \frac{100{,}93}{58{,}84} = 0{,}86$$

↓

A kifordulás-vizsgálatot el kell végezni!

↓

Általános módszer:

$$N_{cr} = \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 13{,}36 * 10^6 * \pi^2}{(1 * 6000)^2} = 769{,}17\ kN$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2} + \left(C_2 * z_g\right)^2} - C_2 * z_g\right]$$

$$M_{cr} = 1{,}132 * 769{,}17 * 10^3 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{108{,}0 * 10^3}{9{,}25 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 20{,}98 * 10^4}{769{,}17 * 10^3}}\right] = 127{,}0\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{100{,}93}{127{,}0}} = 0{,}891 \rightarrow \chi_{LT} = 0{,}667$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * M_{pl,Rd,y} = 0{,}667 * 100{,}93 = \mathbf{67{,}28\ kNm} > M_{y,Ed} = 58{,}84\ kNm$$

Megfelel!

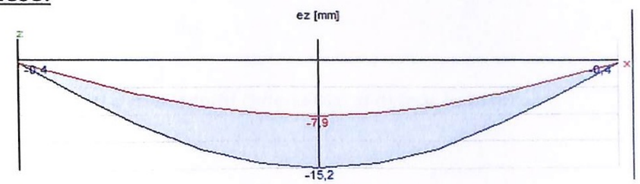
- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 170/6{,}5 = 26{,}1 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

Lehajlás ellenőrzése:



$$w_{eng} = L/250 = 6000/250 = 24\ mm > w_{max} = \mathbf{15{,}2\ mm}$$

Megfelel!

2.4.3.3. Mestergerenda ellenőrzése

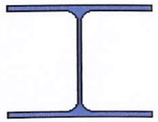
Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 50{,}26\ kN$ $\quad N_x^M = 48{,}45\ kN$

$V_{z,Ed} = 186{,}30\ kN$ $\quad V_z^M = 11{,}51\ kN$

$M_{y,Ed} = 343{,}34\ kNm$ $\quad M_y^N = 343{,}34\ kNm$ $\quad M_y^V = 176{,}49\ kNm$

Keresztmetszeti adatok (HEA 320):



$b = 300\ mm$ $\quad t_f = 15{,}5\ mm$

$h = 310\ mm$ $\quad t_w = 9\ mm$

$A = 12440\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 4113\ mm^2$

$W_{pl,y} = 1{,}63 * 10^6\ mm^3$ $\quad I_y = 22{,}93 * 10^7\ mm^4$ $\quad I_z = 69{,}85 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12440 * 235}{1{,}0} = \mathbf{2923{,}4\ kN} > N_{x,Ed} = 50{,}26\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{4113 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{558{,}04\ kN} > V_{z,Ed} = 186{,}30\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1{,}63 * 10^6 * 235}{1{,}0} = \mathbf{383{,}05\ kNm} > M_{y,Ed} = 343{,}34\ kNm$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$N_{Ed} = 50{,}26\ kN < 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 730{,}85\ kN$

$$N_{Ed} = 50{,}26\ kN < \frac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 * 279 * 9 * 235}{1{,}0} = 295{,}04\ kN$$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{186{,}30}{558{,}04} = 0{,}33 < 0{,}5$$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Kihajlás erős tengelyre (y):

$$N_{cr,y} = \frac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 22{,}93 * 10^7 * \pi^2}{2850^2} = 58{,}51\ MN$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2923,4}{58,51 * 10^3}} = 0,223 \rightarrow \chi_y = 0,992$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y * N_{pl,Rd} = 0,992 * 2923,4 = \mathbf{2898,9\ kN} > N_{x,Ed} = 50,26\ kN$$

Megfelel!

Kihajlás gyenge tengelyre (z):

$$N_{cr,z} = \frac{E * I_z * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2,1 * 10^5 * 69,85 * 10^6 * \pi^2}{2850^2} = 17,82\ MN$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2923,4}{17,82 * 10^3}} = 0,405 \rightarrow \chi_z = 0,895$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z * N_{pl,Rd} = 0,895 * 2923,4 = \mathbf{2615,3\ kN} > N_{x,Ed} = 50,26\ kN$$

Megfelel!

- Kifordulás /általános módszer/:

$$N_{cr} = \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} = \frac{2,1 * 10^5 * 69,85 * 10^6 * \pi^2}{(1 * 2800)^2} = 18,47\ MN$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2}}\right]$$

$$M_{cr} = 1,132 * 18,47 * 10^6 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{1,51 * 10^{12}}{69,85 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 1,08 * 10^6}{18,47 * 10^6}}\right] = 3382,9\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{383,05}{3382,9}} = 0,336$$

$$\phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta * {\lambda_{LT}}^2}{2} = \frac{1 + 0,34 * (0,336 - 0,4) + 0,75 * 0,336^2}{2} = 0,53$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{{\phi_{LT}}^2 - \beta * {\lambda_{LT}}^2}} = \frac{1}{0,53 + \sqrt{0,53^2 - 0,75 * 0,336^2}} = 1,03 > 1,0 \rightarrow \chi_{LT} = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = M_{pl,Rd,y} = \mathbf{383,05\ kNm} > M_{y,Ed} = 343,34\ kNm$$

Megfelel!

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

Kölcsönhatási tényezők:

$$k_{yy} = min\begin{cases} C_{my} * \left[1 + (\overline{\lambda_z} - 0,2) * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right] \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right) \end{cases}$$

$$k_{yy} = min\begin{cases} 0,9 * \left[1 + (0,405 - 0,2) * \frac{50,26 * 1,0}{2898,9}\right] \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{50,26 * 1,0}{2898,9}\right) \end{cases} = 0,903$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,542$$

Kölcsönhatás:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{50,26}{2898,9} + 0,903 * \frac{343,34}{383,05} = \mathbf{0,83} < 1,0$$

Megfelel!

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{50,26}{2615,3} + 0,542 * \frac{343,34}{383,05} = \mathbf{0,50} < 1,0$$

Megfelel!

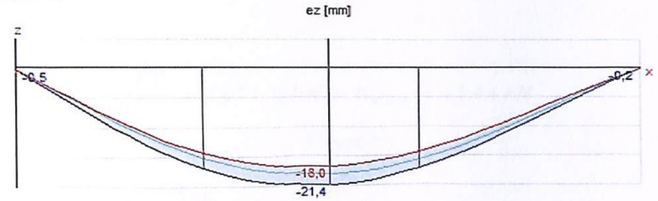
- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 279/9 = 31 < 72\varepsilon/\eta = 72/1,20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

Lehajlás ellenőrzése:



$w_{eng} = L/250 = 8000/250 = 32\ mm > w_{max} = \mathbf{21,4\ mm}$

Megfelel!

2.4.4. Keret ellenőrzése

2.4.4.1. Elmozdulások, geometriai imperfekció figyelembe vétele

Geometriai nemlinearitás:

$$\alpha_{cr} = \frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} * \frac{h}{\delta_{H,Ed}} = \frac{20,63}{146,72} * \frac{5650}{20,3} = 39,1 > 15$$

↓

Lineáris számítás alkalmazható!

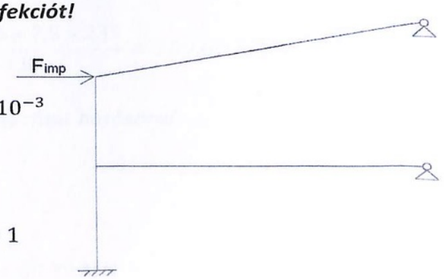
Geometriai imperfekció:

$H_{Ed} = 40,35\ kN < 0,15 * V_{Ed} = 0,15 * 317,14 = 47,57\ kN$

↓

Figyelembe kell venni a teljes keretre vonatkozó imperfekciót!

Kezdeti ferdeséget helyettesítő erő:



$F_{imp} = \phi * V_{Ed} = 4,21 * 10^{-3} * 317,14 = \mathbf{1,33\ kN}$

$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m = 0,005 * 0,841 * 1 = 4,21 * 10^{-3}$

$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{5,65}} = 0,841$

$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{1}\right)} = 1$

2.4.4.2. Keretgerenda ellenőrzése

Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 44{,}44\ kN$ $\quad N_x^M = 40{,}14\ kN$

$V_{z,Ed} = 117{,}53\ kN$ $\quad V_z^M = 81{,}0\ kN$

$M_{y,Ed} = 176{,}85\ kNm$ $\quad M_y^N = 176{,}85\ kNm$ $\quad M_y^V = 62{,}05\ kNm$

Keresztmetszeti adatok (IPE 330):

$b = 160\ mm$ $\quad t_f = 12\ mm$

$h = 330\ mm$ $\quad t_w = 7{,}5\ mm$

$A = 6262\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 3082\ mm^2$

$W_{pl,y} = 804{,}5 * 10^3\ mm^3$ $\quad I_y = 11{,}77 * 10^7\ mm^4$ $\quad I_z = 7{,}88 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6262 * 235}{1{,}0} = \mathbf{1471{,}6\ kN} > N_{x,Ed} = 44{,}44\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{3082 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{418{,}16\ kN} > V_{z,Ed} = 117{,}53\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{804{,}5 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{189{,}06\ kNm} > M_{y,Ed} = 176{,}85\ kNm$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{117{,}53}{418{,}16} = 0{,}28 < 0{,}5$$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$$N_{Ed} = 44{,}44\ kN < 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 367{,}89\ kN$$

$$N_{Ed} = 44{,}44\ kN < \frac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 * 306 * 7{,}5 * 235}{1{,}0} = 269{,}66\ kN$$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Kihajlás erős tengelyre (y):

$$N_{cr,y} = \frac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 11{,}77 * 10^7 * \pi^2}{2000^2} = 60{,}99\ MN$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1471,6}{60,99 * 10^3}} = 0,155 \rightarrow \chi_y = 1,0$$

$$N_{b,Rd,y} = N_{cr,k} = \mathbf{1471,6\ kN} > N_{x,Ed} = 44,44\ kN$$

Megfelel!

Kihajlás gyenge tengelyre (z):

$$N_{cr,z} = \frac{E * I_z * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2,1 * 10^5 * 7,88 * 10^6 * \pi^2}{2000^2} = 4083,1\ kN$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1471,6}{4083,1}} = 0,600 \rightarrow \chi_z = 0,837$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z * N_{pl,Rd} = 0,837 * 1471,6 = \mathbf{1231,7\ kN} > N_{x,Ed} = 44,44\ kN$$

Megfelel!

- Kifordulás /általános módszer/:

$$N_{cr} = N_{cr,z} = 4083,1\ kN$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2} + \left(C_2 * z_g\right)^2} - C_2 * z_g\right]$$

$$M_{cr} = 1,132 * 4083,1 * 10^3 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{1,99 * 10^{11}}{7,88 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 28,15 * 10^4}{4083,1 * 10^3}}\right] = 809,07\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{189,06}{809,07}} = 0,483$$

$$\phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} * \left(\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}\right) + \beta * {\lambda_{LT}}^2}{2} = \frac{1 + 0,49 * (0,483 - 0,4) + 0,75 * 0,483^2}{2} = 0,61$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{{\phi_{LT}}^2 - \beta * {\lambda_{LT}}^2}} = \frac{1}{0,61 + \sqrt{0,61^2 - 0,75 * 0,483^2}} = 0,953$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * M_{pl,Rd,y} = 0,953 * 189,06 = \mathbf{180,22\ kNm} > M_{y,Ed} = 176,85\ kNm$$

Megfelel!

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

Kölcsönhatási tényezők:

$$k_{yy} = min\begin{cases} C_{my} * \left[1 + \left(\overline{\lambda_z} - 0,2\right) * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right] \\ C_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right) \end{cases}$$

$$k_{yy} = min\begin{cases} 0,9 * \left[1 + (0,6 - 0,2) * \frac{44,44 * 1,0}{1471,6}\right] \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{44,44 * 1,0}{1471,6}\right) \end{cases} = 0,911$$

$$k_{zy} = 0,6 * k_{yy} = 0,547$$

Kölcsönhatás:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{44{,}44}{1471{,}6} + 0{,}911 * \frac{176{,}85}{180{,}22} = \mathbf{0{,}92} < 1{,}0$$

Megfelel!

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{44{,}44}{1231{,}7} + 0{,}547 * \frac{176{,}85}{180{,}22} = \mathbf{0{,}57} < 1{,}0$$

Megfelel!

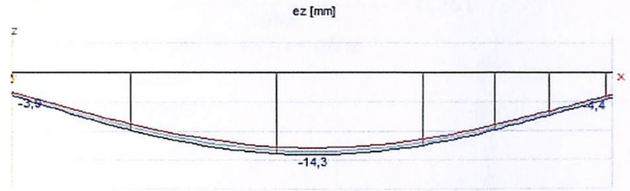
- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 279/9 = 31 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

Lehajlás ellenőrzése:



$w_{eng} = L/250 = 8125/200 = 40{,}6\ mm > w_{max} = \mathbf{14{,}3\ mm}$

Megfelel!

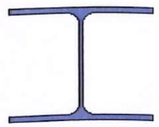
2.4.4.3. Keretoszlop ellenőrzése

Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 316{,}72\ kN$ $N_x^M = 304{,}74\ kN$

$V_{z,Ed} = 43{,}11\ kN$ $V_z^M = 43{,}11\ kN$

$M_{y,Ed} = 160{,}42\ kNm$ $M_y^N = 159{,}74\ kNm$ $M_y^V = 160{,}42\ kNm$



Keresztmetszeti adatok (HEA 260):

$b = 260\ mm$ $t_f = 12{,}5\ mm$

$h = 250\ mm$ $t_w = 7{,}5\ mm$

$A = 8682\ mm^2$ $A_{v,z} = 2876\ mm^2$

$W_{pl,y} = 9{,}20 * 10^5\ mm^3$ $I_y = 10{,}45 * 10^7\ mm^4$ $I_z = 36{,}68 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8682 * 235}{1{,}0} = \mathbf{2040{,}3\ kN} > N_{x,Ed} = 316{,}72\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$V_{pl,Rd,z} = \mathbf{390{,}21\ kN} > V_{z,Ed} = 43{,}11\ kN$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$M_{pl,Rd,y} = \mathbf{216{,}15\ kNm} > M_{y,Ed} = 160{,}42\ kNm$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$N_x^M = 304{,}74\ kN < 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 510{,}07\ kN$

$N_x^M = 304{,}74\ kN > \frac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 * 225 * 7{,}5 * 235}{1{,}0} = 198{,}28\ kN$

↓

Csökkenteni kell a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

$M_{N,y,Rd} = M_{pl,Rd,y} * \frac{1-n}{1-0{,}5*a} = 216{,}15 * \frac{1-0{,}149}{1-0{,}5*0{,}251} = \mathbf{210{,}38\ kNm}$

$n = \frac{N_x^M}{N_{pl,Rd}} = \frac{304{,}74}{2040{,}3} = 0{,}149$

$a = \frac{A - 2*b*t_f}{A} = \frac{8682 - 2*260*12{,}5}{8682} = 0{,}251$

$M_{N,y,Rd} = \mathbf{210{,}38\ kNm} > M_y^N = 159{,}74\ kNm$

Megfelel!

  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{43{,}11}{390{,}21} = 0{,}11 < 0{,}5$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Kihajlás erős tengelyre (y):

$c = \frac{I_{y,oszlop} * L}{I_{y,gerenda} * H} = \frac{10{,}45 * 10^7 * 8000}{11{,}77 * 10^7 * 5650} = 1{,}257 \leq 10{,}0$

$\alpha = \frac{I_{y,oszlop} * 4}{L^2 * A_{oszlop}} = \frac{10{,}45 * 10^7 * 4}{8000^2 * 8682} = 752 * 10^{-4} \leq 0{,}2 \rightarrow elhanyagolható$

$v_y = \sqrt{1 + 0{,}35 * c - 0{,}017 * c^2} = 1{,}189$

$\lambda_y = \frac{v_y * l}{i_y} = \frac{1{,}189 * 5650}{109{,}7} = 61{,}22$

$\overline{\lambda_y} = \frac{\lambda_y}{\lambda_E} = \frac{61{,}22}{93{,}9} = 0{,}652 \rightarrow \chi_y = 0{,}810$

$N_{b,Rd,y} = \frac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0{,}810 * 8682 * 235}{1{,}0} = \mathbf{1652{,}6\ kN} > N_{Ed} = 316{,}72\ kN$

Megfelel!

Kihajlás gyenge tengelyre (z):

$N_{cr,z} = \frac{E * I_z * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 36{,}68 * 10^6 * \pi^2}{3000^2} = 8447{,}1\ kN$

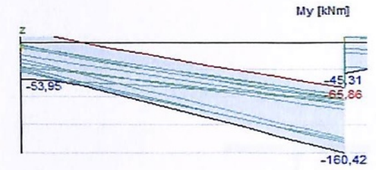
$\lambda_z = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{2040{,}3}{8447{,}1}} = 0{,}491 \rightarrow \chi_z = 0{,}848$

$N_{b,Rd,z} = \chi_z * N_{pl,Rd} = 0{,}848 * 2040{,}3 = \mathbf{1729{,}5\ kN} > N_{x,Ed} = 316{,}72\ kN$

Megfelel!

- Kifordulás /általános módszer/:

$N_{cr} = N_{cr,z} = 8447{,}1\ kN$



$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{53{,}95}{160{,}42} = 0{,}336 \rightarrow C_1 = 1{,}480$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2}}\right]$$

$$M_{cr} = 1{,}480 * 8447{,}1 * 10^3 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{5{,}16 * 10^{11}}{36{,}68 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 5{,}24 * 10^5}{8447{,}1 * 10^3}}\right] = 1719{,}4\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{216{,}15}{1719{,}4}} = 0{,}355$$

$$\phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta * {\lambda_{LT}}^2}{2} = \frac{1 + 0{,}34 * (0{,}355 - 0{,}4) + 0{,}75 * 0{,}355^2}{2} = 0{,}54$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{{\phi_{LT}}^2 - \beta * {\lambda_{LT}}^2}} = \frac{1}{0{,}54 + \sqrt{0{,}54^2 - 0{,}75 * 0{,}355^2}} = 1{,}02 > 1{,}0 \rightarrow \chi_{LT} = 1{,}0$$

$M_{b,Rd} = M_{pl,Rd,y} = \mathbf{216{,}15\ kNm} > M_{y,Ed} = 160{,}42\ kNm$

Megfelel!

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

Kölcsönhatási tényezők:

$$k_{yy} = min \begin{cases} C_{my} * \left[1 + (\overline{\lambda_z} - 0{,}2) * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right] \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right) \end{cases}$$

$$k_{yy} = min \begin{cases} 0{,}9 * \left[1 + (0{,}491 - 0{,}2) * \frac{316{,}72 * 1{,}0}{1652{,}6}\right] \\ 0{,}9 * \left(1 + 0{,}8 * \frac{316{,}72 * 1{,}0}{1652{,}6}\right) \end{cases} = 0{,}950$$

$k_{zy} = 0{,}6 * k_{yy} = 0{,}570$

Kölcsönhatás:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{316{,}72}{1652{,}6} + 0{,}950 * \frac{160{,}42}{216{,}15} = \mathbf{0{,}90} < 1{,}0$$

Megfelel!

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{316{,}72}{1729{,}5} + 0{,}570 * \frac{160{,}42}{216{,}15} = \mathbf{0{,}61} < 1{,}0$$

Megfelel!

- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 225/7{,}5 = 30 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

2.4.5. Lépcső melletti keret és gerendák ellenőrzése

2.4.5.1. Fiókgerendák ellenőrzése

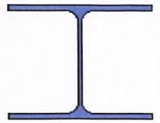
Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = \emptyset$ $\quad N_x^M = \emptyset$

$V_{z,Ed} = 49{,}76\ kN$ $\quad V_z^M = \emptyset$

$M_{y,Ed} = 41{,}67\ kNm$ $\quad M_y^N = \emptyset$ $\quad M_y^V = \emptyset$

Keresztmetszeti adatok (HEA 160):



$b = 160\ mm$ $\quad t_f = 9\ mm$

$h = 152\ mm$ $\quad t_w = 6\ mm$

$A = 3877\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 1320\ mm^2$

$W_{pl,y} = 2{,}45 * 10^5\ mm^3$ $\quad I_y = 16{,}73 * 10^6\ mm^4$ $\quad I_z = 6{,}16 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1320 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{179{,}09\ kN} > V_{z,Ed} = 49{,}76\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2{,}45 * 10^5 * 235}{1{,}0} = \mathbf{57{,}60\ kNm} > M_{y,Ed} = 41{,}67\ kNm$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{49{,}76}{179{,}09} = 0{,}28 < 0{,}5$$

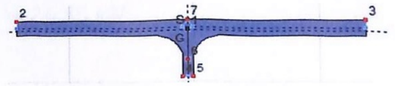
↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kifordulás /egyszerűsített módszer/:

Vizsgálathoz szükséges keresztmetszeti adatok:



$A_{fz} = 1671\ mm^2$

$I_{fz} = 3{,}077 * 10^6\ mm^4$

$$i_{fz} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{3{,}077 * 10^6}{1671}} = 42{,}9\ mm$$

Kifordulás vizsgálat:

$$\overline{\lambda_f} = \frac{k_c * L_c}{i_{fz} * \lambda_E} = \frac{0{,}94 * 4000}{42{,}9 * 93{,}9} = 0{,}93 > \overline{\lambda_{co}} * \frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{y,Ed}} = 0{,}5 * \frac{57{,}60}{41{,}67} = 0{,}69$$

↓

A kifordulás-vizsgálatot nem kell elvégezni!

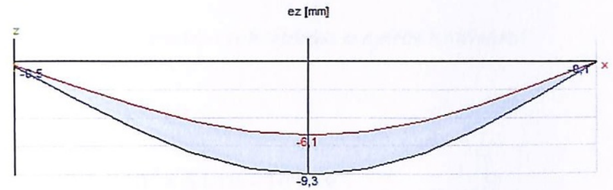
- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 134/6 = 22{,}3 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

Lehajlás ellenőrzése:



$w_{eng} = L/250 = 4000/250 = 16\,mm > w_{max} = \mathbf{9{,}3\ mm}$

Megfelel!

2.4.5.2. Keretgerenda ellenőrzése

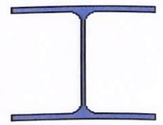
Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 12{,}55\ kN$ $\quad N_x^M = 12{,}55\ kN$

$V_{z,Ed} = 26{,}35\ kN$ $\quad V_z^M = 26{,}35\ kN$

$M_{y,Ed} = 33{,}79\ kNm$ $\quad M_y^N = 33{,}79\ kNm$ $\quad M_y^V = 33{,}79\ kNm$

Keresztmetszeti adatok (HEA 220):



$b = 220\ mm$ $\quad t_f = 11\ mm$

$h = 210\ mm$ $\quad t_w = 7\ mm$

$A = 6434\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 2070\ mm^2$

$W_{pl,y} = 5{,}69 * 10^5\ mm^3$ $\quad I_y = 54{,}10 * 10^6\ mm^4$ $\quad I_z = 19{,}55 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{6434 * 235}{1{,}0} = \mathbf{1512{,}0\ kN} > N_{x,Ed} = 12{,}55\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2070 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{280{,}85\ kN} > V_{z,Ed} = 26{,}35\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5{,}69 * 10^5 * 235}{1{,}0} = \mathbf{133{,}60\ kNm} > M_{y,Ed} = 33{,}79\ kNm$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$N_x^M = 12{,}55\ kN < 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 378{,}0\ kN$

$$N_x^M = 12{,}55\ kN > \frac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = 154{,}63\ kN$$

↓

Nem kell csökkenteni nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

- Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{26,35}{280,85} = 0,09 < 0,5$$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Kihajlás erős tengelyre (y):

$$N_{cr,y} = \frac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2,1 * 10^5 * 54,10 * 10^6 * \pi^2}{2850^2} = 13,80\ MN$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1512,0}{13,80 * 10^3}} = 0,331 \rightarrow \chi_y = 0,952$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y * N_{pl,Rd} = 0,952 * 1512,0 = \mathbf{1439,4\ kN} > N_{x,Ed} = 12,55\ kN$$

Megfelel!

Kihajlás gyenge tengelyre (z):

$$N_{cr,z} = \frac{E * I_z * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2,1 * 10^5 * 19,55 * 10^6 * \pi^2}{2850^2} = 4988,6\ kN$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1512,0}{4988,6}} = 0,551 \rightarrow \chi_z = 0,814$$

$$N_{b,Rd,z} = \chi_z * N_{pl,Rd} = 0,814 * 1512,0 = \mathbf{1230,8\ kN} > N_{x,Ed} = 12,55\ kN$$

Megfelel!

- Kifordulás /általános módszer/:

$$N_{cr} = N_{cr,z} = 4988,6\ kN$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2} + \left(C_2 * z_g\right)^2} - C_2 * z_g\right]$$

$$M_{cr} = 0,712 * 4988,6 * 10^3 \left[\sqrt{\left(\frac{0,5}{0,5}\right)^2 * \frac{1,93 * 10^{11}}{19,55 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 28,46 * 10^4}{4988,6 * 10^3}}\right] = 425,1\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{133,60}{425,07}} = 0,561$$

$$\phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta * {\lambda_{LT}}^2}{2} = \frac{1 + 0,34 * (0,561 - 0,4) + 0,75 * 0,561^2}{2} = 0,65$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{{\phi_{LT}}^2 - \beta * {\lambda_{LT}}^2}} = \frac{1}{0,65 + \sqrt{0,65^2 - 0,75 * 0,561^2}} = 0,939$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * M_{pl,Rd,y} = 0,939 * 133,60 = \mathbf{125,45\ kNm} > M_{y,Ed} = 33,79\ kNm$$

Megfelel!

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

Kölcsönhatási tényezők:

$$k_{yy} = min\begin{cases} C_{my} * \left[1 + (\overline{\lambda_z} - 0{,}2) * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right] \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right) \end{cases}$$

$$k_{yy} = min\begin{cases} 0{,}9 * \left[1 + (0{,}551 - 0{,}2) * \frac{12{,}55 * 1{,}0}{1439{,}4}\right] \\ 0{,}9 * \left(1 + 0{,}8 * \frac{12{,}55 * 1{,}0}{1439{,}4}\right) \end{cases} = 0{,}903$$

$$k_{zy} = 0{,}6 * k_{yy} = 0{,}542$$

Kölcsönhatás:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{12{,}55}{1439{,}4} + 0{,}903 * \frac{33{,}79}{125{,}45} = \mathbf{0{,}26} < 1{,}0$$

Megfelel!

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{12{,}55}{1230{,}8} + 0{,}542 * \frac{33{,}79}{125{,}45} = \mathbf{0{,}16} < 1{,}0$$

Megfelel!

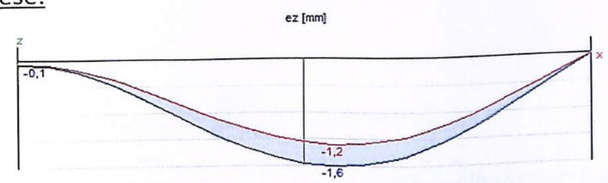
- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 198/7 = 28{,}3 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

Lehajlás ellenőrzése:



$w_{eng} = L/250 = 5650/200 = 28{,}2\ mm > w_{max} = \mathbf{1{,}6\ mm}$

Megfelel!

2.4.5.3. Keretoszlop ellenőrzése

Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 94{,}11\ kN$ $\quad N_x^M = 91{,}40\ kN$

$V_{z,Ed} = 24{,}63\ kN$ $\quad V_z^M = 24{,}63\ kN$

$M_{y,Ed} = 40{,}05\ kNm$ $\quad M_y^N = 33{,}83\ kNm$ $\quad M_y^V = 33{,}83\ kNm$

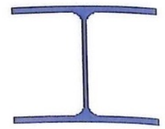
Keresztmetszeti adatok (HEA 260):

$b = 260\ mm$ $\quad t_f = 12{,}5\ mm$

$h = 250\ mm$ $\quad t_w = 7{,}5\ mm$

$A = 8682\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 2876\ mm^2$

$W_{pl,y} = 9{,}20 * 10^5\ mm^3$ $\quad I_y = 10{,}45 * 10^7\ mm^4$ $\quad I_z = 36{,}68 * 10^6\ mm^4$



Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$N_{pl,Rd} = \mathbf{2040,3\ kN} > N_{x,Ed} = 94{,}11\ kN$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$V_{pl,Rd,z} = \mathbf{390,21\ kN} > V_{z,Ed} = 24{,}63\ kN$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$M_{pl,Rd,y} = \mathbf{216,15\ kNm} > M_{y,Ed} = 40{,}05\ kNm$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$N_x^M = 94{,}11\ kN < 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 510{,}07\ kN$

$N_x^M = 94{,}11\ kN < \dfrac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = 198{,}28\ kN$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$\dfrac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \dfrac{24{,}63}{390{,}21} = 0{,}06 < 0{,}5$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Kihajlás erős tengelyre (y):

$c = \dfrac{I_{y,oszlop} * L}{I_{y,gerenda} * H} = \dfrac{10{,}45 * 10^7 * 5650}{11{,}77 * 10^7 * 3000} = 1{,}672 \leq 10{,}0$

$\alpha = \dfrac{I_{y,oszlop} * 4}{L^2 * A_{oszlop}} = \dfrac{10{,}45 * 10^7 * 4}{5650^2 * 8682} = 1{,}51 * 10^{-3} \leq 0{,}2 \rightarrow elhanyagolható$

$\upsilon_y = \sqrt{1 + 0{,}35 * c - 0{,}017 * c^2} = 1{,}24$

$\lambda_y = \dfrac{\upsilon_y * l}{i_y} = \dfrac{1{,}24 * 3000}{109{,}7} = 33{,}91$

$\overline{\lambda_y} = \dfrac{\lambda_y}{\lambda_E} = \dfrac{33{,}91}{93{,}9} = 0{,}361 \rightarrow \chi_y = 0{,}941$

$N_{b,Rd,y} = \dfrac{\chi_y * A * f_y}{\gamma_{M1}} = \dfrac{0{,}941 * 8682 * 235}{1{,}0} = \mathbf{1919,9\ kN} > N_{Ed} = 94{,}11\ kN$

Megfelel!

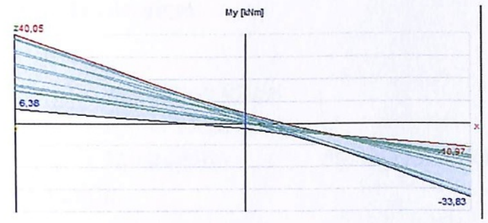
Kihajlás gyenge tengelyre (z):

$L_{cr} = 3000\ mm \rightarrow N_{b,Rd,z} = \mathbf{1729,5\ kN} > N_{x,Ed} = 94{,}11\ kN$

Megfelel!

- Kifordulás /általános módszer/:

$N_{cr} = N_{cr,z} = 8447{,}1\ kN$



$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{-33{,}83}{44{,}05} = -0{,}768 \rightarrow C_1 = 2{,}92$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2}}\right]$$

$$M_{cr} = 2{,}92 * 8447{,}1 * 10^3 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{5{,}16 * 10^{11}}{36{,}68 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 5{,}24 * 10^5}{8447{,}1 * 10^3}}\right] = 3392{,}3\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{216{,}15}{3392{,}3}} = 0{,}252$$

$$\phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta * {\lambda_{LT}}^2}{2} = \frac{1 + 0{,}34 * (0{,}252 - 0{,}4) + 0{,}75 * 0{,}252^2}{2} = 0{,}50$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{{\phi_{LT}}^2 - \beta * {\lambda_{LT}}^2}} = \frac{1}{0{,}50 + \sqrt{0{,}50^2 - 0{,}75 * 0{,}252^2}} = 1{,}06 > 1{,}0 \rightarrow \chi_{LT} = 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = M_{pl,Rd,y} = \mathbf{216{,}15\ kNm} > M_{y,Ed} = 40{,}05\ kNm$$

Megfelel!

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

Mivel a keresztmetszet azonos, de az igénybevételek kisebbek és az ellenállások nagyobbak, mint a mellékhajó keretoszlopnál, ezért megfelel!

- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 225/7{,}5 = 30 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

2.5. Főhajó oszlop méretezése

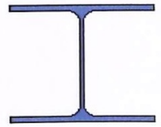
2.5.1. Mellékhajó melletti oldalon

Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 562{,}57\ kN$ $\quad N_x^M = 562{,}57\ kN$

$V_{z,Ed} = 37{,}90\ kN$ $\quad V_z^M = 37{,}90\ kN$

$M_{y,Ed} = 119{,}22\ kNm$ $\quad M_y^N = 119{,}22\ kNm$ $\quad M_y^V = 119{,}22\ kNm$



Keresztmetszeti adatok (HEA 260):

$b = 260\ mm$ $\quad t_f = 12{,}5\ mm$

$h = 250\ mm$ $\quad t_w = 7{,}5\ mm$

$A = 8682\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 2876\ mm^2$

$W_{pl,y} = 9{,}20 * 10^5\ mm^3$ $\quad I_y = 10{,}45 * 10^7\ mm^4$ $\quad I_z = 36{,}68 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

  $N_{pl,Rd} = \mathbf{2040{,}3\ kN} > N_{x,Ed} = 562{,}57\ kN$

  Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

  $V_{pl,Rd,z} = \mathbf{390{,}21\ kN} > V_{z,Ed} = 37{,}90\ kN$

  Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

  $M_{pl,Rd,y} = \mathbf{216{,}15\ kNm} > M_{y,Ed} = 119{,}22\ kNm$

  Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

    $N_x^M = 562{,}57\ kN > 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 510{,}07\ kN$

    $N_x^M = 562{,}57\ kN > \dfrac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = 198{,}28\ kN$

    ↓

    Csökkenteni kell a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

    $M_{N,y,Rd} = M_{pl,Rd,y} * \dfrac{1-n}{1-0{,}5*a} = 216{,}15 * \dfrac{1-0{,}276}{1-0{,}5*0{,}251} = \mathbf{179{,}02\ kNm}$

    $n = \dfrac{N_x^M}{N_{pl,Rd}} = \dfrac{562{,}57}{2040{,}3} = 0{,}276$

    $a = 0{,}251$

    $M_{N,y,Rd} = \mathbf{179{,}02\ kNm} > M_y^N = 119{,}22\ kNm$

    Megfelel!

  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

    $\dfrac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \dfrac{37{,}90}{390{,}21} = 0{,}10 < 0{,}5$

    ↓

    Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Kihajlás erős tengelyre (y):

$$N_{cr,y} = \frac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 10{,}45 * 10^7 * \pi^2}{3000^2} = 24{,}07\ MN$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2040{,}3}{24{,}07 * 10^3}} = 0{,}291 \rightarrow \chi_y = 0{,}967$$

$$N_{b,Rd,y} = \chi_y * N_{pl,Rd} = 0{,}967 * 2040{,}3 = \mathbf{1973{,}6\ kN} > N_{x,Ed} = 562{,}57\ kN$$

Megfelel!

Kihajlás gyenge tengelyre (z):

$N_{cr,z} = 8447{,}1\ kN$

$\lambda_z = 0{,}491 \rightarrow \chi_z = 0{,}848$

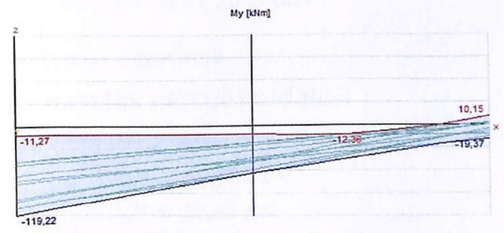
$N_{b,Rd,z} = \mathbf{1729{,}5\ kN} > N_{x,Ed} = 562{,}57\ kN$

Megfelel!

- Kifordulás /általános módszer/:

$N_{cr} = N_{cr,z} = 8447{,}1\ kN$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{19{,}37}{119{,}22} = 0{,}162 \rightarrow C_1 = 1{,}674$$



$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2}}\right]$$

$$M_{cr} = 1{,}674 * 8447{,}1 * 10^3 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{5{,}16 * 10^{11}}{36{,}68 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 5{,}24 * 10^5}{8447{,}1 * 10^3}}\right] = 1944{,}4\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{216{,}15}{1944{,}4}} = 0{,}333$$

$$\phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta * {\lambda_{LT}}^2}{2} = \frac{1 + 0{,}34 * (0{,}333 - 0{,}4) + 0{,}75 * 0{,}333^2}{2} = 0{,}53$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{{\phi_{LT}}^2 - \beta * {\lambda_{LT}}^2}} = \frac{1}{0{,}53 + \sqrt{0{,}53^2 - 0{,}75 * 0{,}333^2}} = 1{,}03 > 1{,}0 \rightarrow \chi_{LT} = 1{,}0$$

$$M_{b,Rd} = M_{pl,Rd,y} = \mathbf{216{,}15\ kNm} > M_{y,Ed} = 119{,}22\ kNm$$

Megfelel!

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

Kölcsönhatási tényezők:

$$k_{yy} = min \begin{cases} C_{my} * \left[1 + (\overline{\lambda_z} - 0{,}2) * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right] \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right) \end{cases}$$

$$k_{yy} = min \begin{cases} 0{,}9 * \left[1 + (0{,}491 - 0{,}2) * \frac{562{,}57 * 1{,}0}{1973{,}6}\right] \\ 0{,}9 * \left(1 + 0{,}8 * \frac{562{,}57 * 1{,}0}{1973{,}6}\right) \end{cases} = 0{,}975$$

$$k_{zy} = 0{,}6 * k_{yy} = 0{,}585$$

Kölcsönhatás:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{562{,}57}{1973{,}6} + 0{,}975 * \frac{119{,}22}{216{,}15} = \mathbf{0{,}82} < 1{,}0$$

Megfelel!

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{562{,}57}{1729{,}5} + 0{,}585 * \frac{119{,}22}{216{,}15} = \mathbf{0{,}65} < 1{,}0$$

Megfelel!

- Nyírási horpadás:

$h_w/t_w = 225/7{,}5 = 30 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

↓

A nyírási horpadás nem mértékadó.

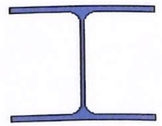
2.5.2. Szabad (megtámasztás nélküli) oldalon

Igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 240{,}98\ kN$ $\quad N_x^M = 240{,}98\ kN$

$V_{z,Ed} = 22{,}63\ kN$ $\quad V_z^M = 22{,}63\ kN$

$M_{y,Ed} = 67{,}51\ kNm$ $\quad M_y^N = 67{,}51\ kNm$ $\quad M_y^V = 67{,}51\ kNm$



Keresztmetszeti adatok (HEA 260):

$b = 260\ mm$ $\quad t_f = 12{,}5\ mm$

$h = 250\ mm$ $\quad t_w = 7{,}5\ mm$

$A = 8682\ mm^2$ $\quad A_{v,z} = 2876\ mm^2$

$W_{pl,y} = 9{,}20 * 10^5\ mm^3$ $\quad I_y = 10{,}45 * 10^7\ mm^4$ $\quad I_z = 36{,}68 * 10^6\ mm^4$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$N_{pl,Rd} = \mathbf{2040{,}3\ kN} > N_{x,Ed} = 240{,}98\ kN$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$V_{pl,Rd,z} = \mathbf{390{,}21\ kN} > V_{z,Ed} = 22{,}63\ kN$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$M_{pl,Rd,y} = \mathbf{216,15\ kNm} > M_{y,Ed} = 67{,}51\ kNm$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$N_x^M = 240{,}98\ kN < 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 510{,}07\ kN$

$N_x^M = 240{,}98\ kN > \dfrac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = 198{,}28\ kN$

↓

Csökkenteni kell a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

$M_{N,y,Rd} = M_{pl,Rd,y} * \dfrac{1-n}{1-0{,}5*a} = 216{,}15 * \dfrac{1-0{,}118}{1-0{,}5*0{,}251} = \mathbf{216,15\ kNm}$

$n = \dfrac{N_x^M}{N_{pl,Rd}} = \dfrac{240{,}98}{2040{,}3} = 0{,}118$

$a = 0{,}251$

$M_{N,y,Rd} = \mathbf{216,15\ kNm} > M_y^N = 67{,}51\ kNm$

Megfelel!

  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$\dfrac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \dfrac{22{,}63}{390{,}21} = 0{,}06 < 0{,}5$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

Kihajlás erős tengelyre (y):

$N_{cr,y} = \dfrac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \dfrac{2{,}1 * 10^5 * 10{,}45 * 10^7 * \pi^2}{10000^2} = 2165{,}9\ kN$

$\lambda_y = \sqrt{\dfrac{N_{cr,k}}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\dfrac{2040{,}3}{2165{,}9}} = 0{,}971 \rightarrow \chi_z = 0{,}616$

$N_{b,Rd,y} = \chi_y * N_{pl,Rd} = 0{,}616 * 2040{,}3 = \mathbf{1256,5\ kN} > N_{x,Ed} = 240{,}98\ kN$

Megfelel!

Kihajlás gyenge tengelyre (z):

$N_{cr,z} = \dfrac{E * I_z * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \dfrac{2{,}1 * 10^5 * 36{,}68 * 10^6 * \pi^2}{10000^2} = 760{,}24\ kN$

$\lambda_z = \sqrt{\dfrac{N_{cr,k}}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\dfrac{2040{,}3}{760{,}24}} = 1{,}638 \rightarrow \chi_z = 0{,}274$

$N_{b,Rd,z} = \chi_z * N_{pl,Rd} = 0{,}274 * 2040{,}3 = \mathbf{558,49\ kN} > N_{x,Ed} = 240{,}98\ kN$

Megfelel!

- Kifordulás /általános módszer/:

$N_{cr} = N_{cr,z} = 760{,}24\ kN$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{E * I_z * \pi^2}{(k * L)^2} * \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 * \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k * L)^2 * GI_t}{E * I_z * \pi^2}}\right]$$

$$M_{cr} = 1{,}132 * 760{,}24 * 10^3 \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 * \frac{5{,}16 * 10^{11}}{36{,}68 * 10^6} + \frac{78 * 10^3 * 5{,}24 * 10^5}{760{,}24 * 10^3}}\right] = 224{,}13\ kNm$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{M_{pl,Rd,y}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{216{,}15}{224{,}13}} = 0{,}982$$

$$\phi_{LT} = \frac{1 + \alpha_{LT} * (\lambda_{LT} - \lambda_{LT,0}) + \beta * {\lambda_{LT}}^2}{2} = \frac{1 + 0{,}34 * (0{,}982 - 0{,}4) + 0{,}75 * 0{,}982^2}{2} = 0{,}96$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{{\phi_{LT}}^2 - \beta * {\lambda_{LT}}^2}} = \frac{1}{0{,}96 + \sqrt{0{,}96^2 - 0{,}75 * 0{,}982^2}} = 0{,}711$$

$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * M_{pl,Rd,y} = 0{,}711 * 216{,}15 = \mathbf{153{,}61\ kNm} > M_{y,Ed} = 67{,}51\ kNm$

Megfelel!

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

Kölcsönhatási tényezők:

$$k_{yy} = min \begin{cases} C_{my} * \left[1 + (\overline{\lambda_z} - 0{,}2) * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right] \\ C_{my} * \left(1 + 0{,}8 * \frac{N_{Ed} * \gamma_{M1}}{N_{b,Rd,y}}\right) \end{cases}$$

$$k_{yy} = min \begin{cases} 0{,}9 * \left[1 + (1{,}638 - 0{,}2) * \frac{240{,}98 * 1{,}0}{1256{,}5}\right] \\ 0{,}9 * \left(1 + 0{,}8 * \frac{240{,}98 * 1{,}0}{1256{,}5}\right) \end{cases} = 1{,}038$$

$k_{zy} = 0{,}6 * k_{yy} = 0{,}623$

Kölcsönhatás:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,y}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{240{,}98}{1256{,}5} + 1{,}038 * \frac{67{,}51}{153{,}61} = \mathbf{0{,}65} < 1{,}0$$

Megfelel!

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,z}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{240{,}98}{558{,}49} + 0{,}623 * \frac{67{,}51}{153{,}61} = \mathbf{0{,}71} < 1{,}0$$

Megfelel!

2.6. Csomópontok méretezése

2.6.1. Közbenső fiókgerenda – mestergerenda kapcsolata

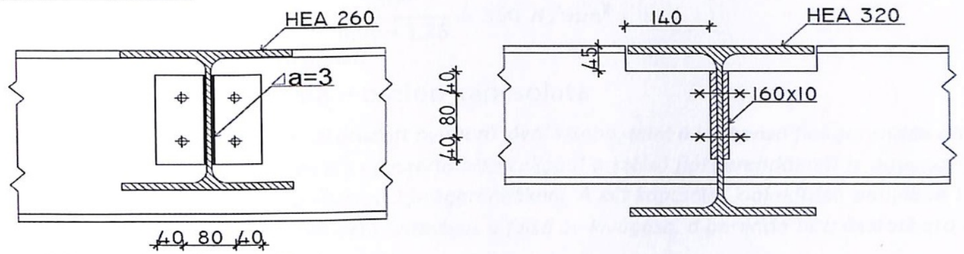
Mértékadó igénybevétel:

$V_{z,Ed} = 58{,}77\ kN$

Alkalmazott csavar:

$M12\ 4.6$ $A = 113\ mm^2$ $d_0 = 13\ mm$ $f_{ub} = 400\ N/mm^2$

Tervezett kapcsolat:

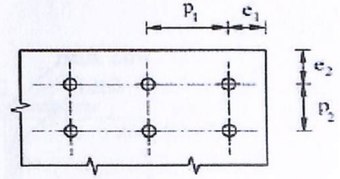


Csavarkép szerkesztési szabályai:

$e_1 \geq 2 * d_0 = 2 * 13 = 26\ mm < e_1 = 40\ mm$
Megfelel!

$e_2 \geq 1{,}5 * d_0 = 1{,}5 * 13 = 19\ mm < e_2 = 40\ mm$
Megfelel!

$p_1; p_2 \geq 3 * d_0 = 3 * 13 = 39\ mm < p_1; p_2 = 80\ mm$
Megfelel!



Csavarok ellenállása:

- Nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = 2 * n * \frac{0{,}6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 2 * 2 * \frac{0{,}6 * 400 * 113}{1{,}25} = 86{,}78\ kN$$

- Palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = 2 * k_1 * \frac{\alpha_b * f_u * d * t_{min}}{\gamma_{M2}} = 2 * 2{,}5 * \frac{1{,}0 * 360 * 12 * 9}{1{,}25} = 155{,}52\ kN$$

$$\alpha_b = min\begin{pmatrix} \frac{p}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{80}{3 * 13} - \frac{1}{4} = 1{,}80 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{400}{360} = 1{,}11 \\ 1{,}0 \end{pmatrix} = 1{,}0$$

$$F_{Rd} = min[F_{v,Rd}; F_{b,Rd}] = \mathbf{86{,}78\ kN} > V_{z,Ed} = \mathbf{58{,}77\ kN}$$
Megfelel!

Gerenda nyírási ellenállása:

$A_{v,z} = A_{v,z}{}^{HEA\ 260} - [(t_w + r) * t_f] - h_{w,i} * t_w = 2876 - [(7{,}5 + 24) * 12{,}5] - 8{,}5 * 7{,}5$

$A_{v,z} = 2418\ mm^2$

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{2418 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{328{,}14\ kN} > V_{z,Ed} = 58{,}77\ kN$$

Megfelel!

Varrat ellenőrzése:

$A_w = l_{eff} * a = (l_0 - 2a) * a = (160 - 2 * 3) * 3 = 462\ mm^2$

$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}/2}{A_w} = \frac{58{,}77 * 10^3/2}{462} = 63{,}6\ N/mm^2$

$\sqrt{\sigma_{\perp}{}^2 + 3(\tau_{\parallel}{}^2 + \tau_{\perp}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$

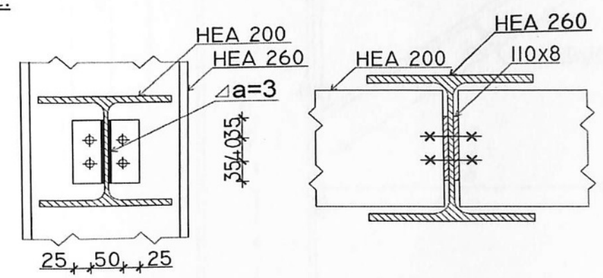
$\sqrt{3 * 63{,}6^2} = \mathbf{110{,}2\ N/mm^2} \leq \frac{360}{0{,}80 * 1{,}25} = 360\ N/mm^2$

Megfelel!

2.6.2. Szélső fiókgerenda – oszlop kapcsolata

Megj.: A szélső fiókgerendák által átadott nyíróerő jóval kisebb, mint a közbenső fiókgerendák által átadott nyíróerő, ezért a kivitelezés egyszerűsítése céljából a szélső fiókgerendáknál is ugyanazon kapcsolat alakítandó ki, mint a közbenső fiókgerendáknál. A két kapcsolat kialakítása annyiban tér el, hogy a szélső fiókgerendáknál nem szükséges a felső öv kivágása, a gerenda becsúsztatható az oszlop övei közé.

Tervezett kapcsolat:



2.6.3. Mestergerenda – keretoszlop kapcsolata

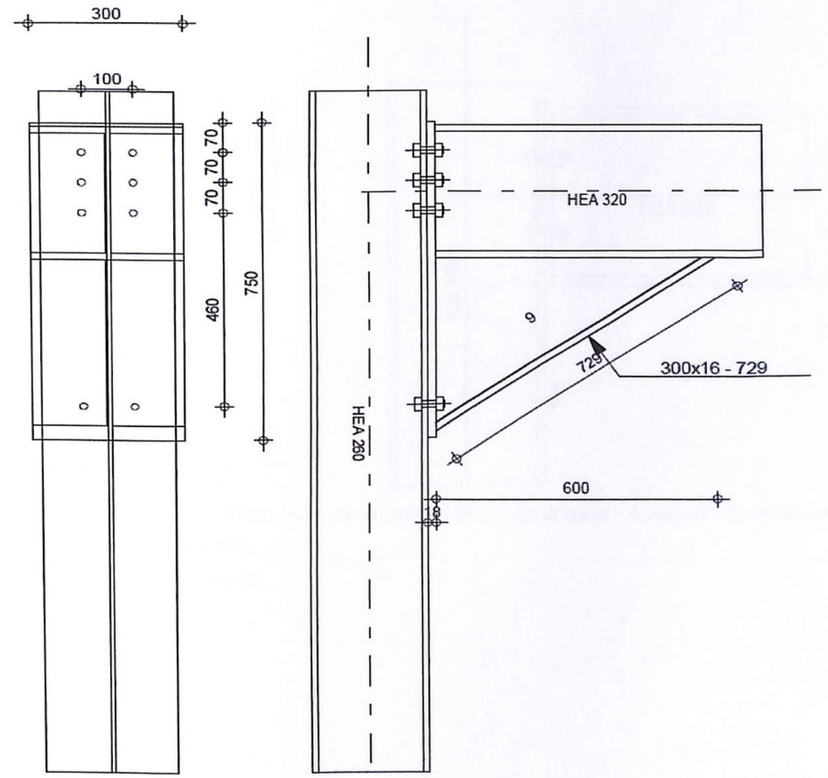
Mértékadó igénybevételek:

- Oszlop: $N_{x,Ed} = 304{,}86\ kN$ $V_{z,Ed} = 40{,}84\ kN$ $M_{y,Ed} = 160{,}42\ kNm$
- Mestergerenda: $N_{x,Ed} = 50{,}26\ kN$ $V_{z,Ed} = 186{,}30\ kN$ $M_{y,Ed} = 176{,}49\ kNm$

Alkalmazott csavar:

$M16$ 8.8

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***96 %***

2.6.4. Mestergerenda – főhajó oszlop kapcsolata

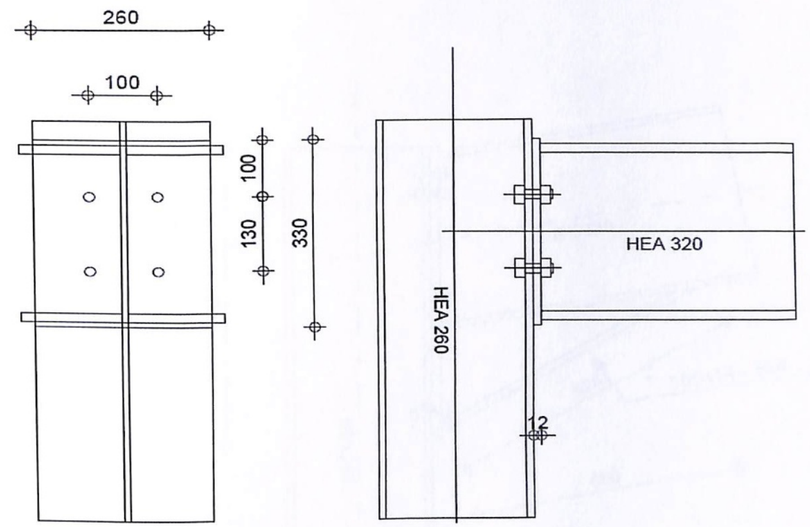
Mértékadó igénybevételek:

$V_{z,Ed} = 160{,}62\ kN$

Alkalmazott csavar:

$M16$ 5.6

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***83 %***

2.6.5. Keretgerenda – keretoszlop kapcsolata

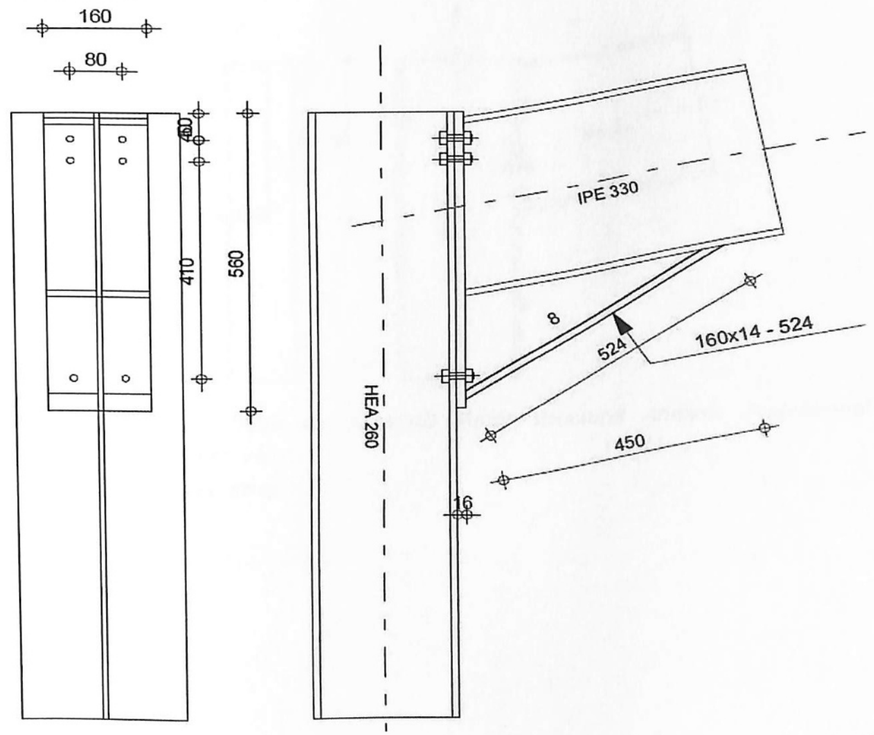
Mértékadó igénybevételek:

- Oszlop: $N_{x,Ed} = 84{,}63\ kN$ $V_{z,Ed} = 38{,}58\ kN$ $M_{y,Ed} = 69{,}31\ kNm$
- Gerenda: $N_{x,Ed} = 44{,}44\ kN$ $V_{z,Ed} = 81{,}0\ kN$ $M_{y,Ed} = 69{,}31\ kNm$

Alkalmazott csavar:

$M12$ 8.8

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***91 %***

2.6.6. Keretgerenda – főhajó oszlop kapcsolata

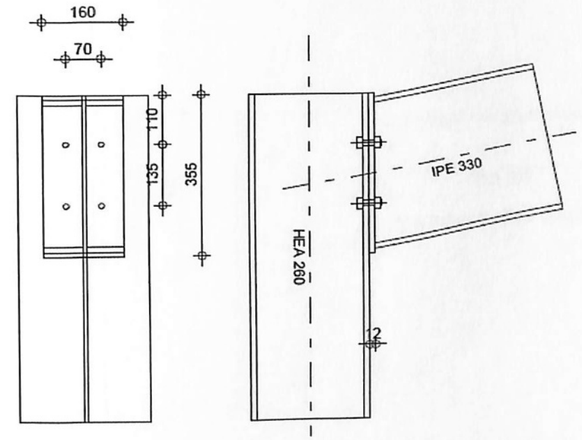
Mértékadó igénybevételek:

$V_{z,Ed} = 117{,}53\ kN$

Alkalmazott csavar:

$M12$ 6.8

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***90 %***

2.6.7. Lépcső melletti keretoszlop – keretgerenda kapcsolata

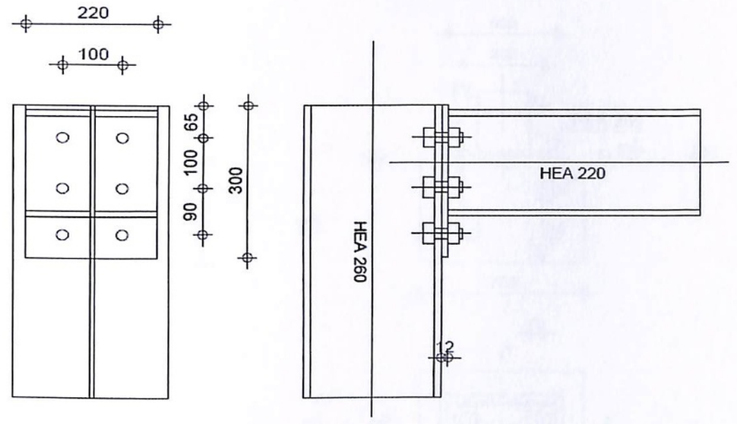
Mértékadó igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 33{,}79\ kN$ $V_{z,Ed} = 26{,}53\ kN$ $M_{y,Ed} = 33{,}79\ kNm$

Alkalmazott csavar:

$M20$ 10.9

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***96 %***

2.6.8. Mellékhajó keretoszlop – alapozás kapcsolata

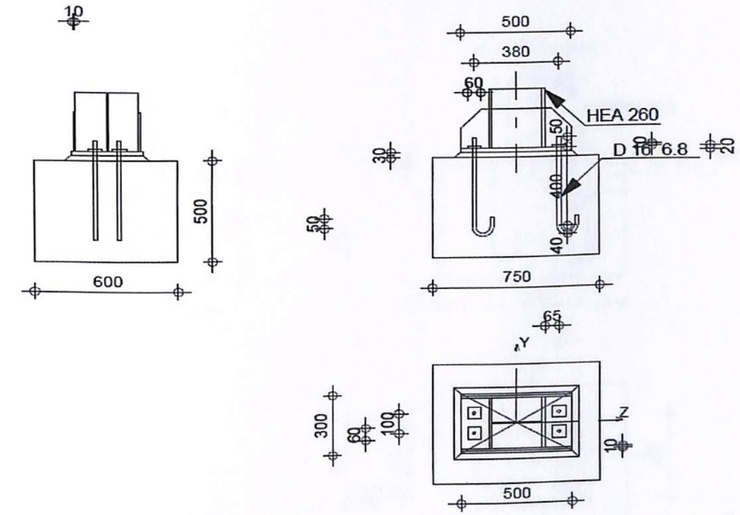
Mértékadó igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 317{,}06\ kN$ $V_{z,Ed} = 41{,}45\ kN$ $M_{y,Ed} = 59{,}26\ kNm$

Alkalmazott csavar:

$M16$ 6.8

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***82 %***

2.6.9. Főhajó oszlop – alapozás kapcsolata

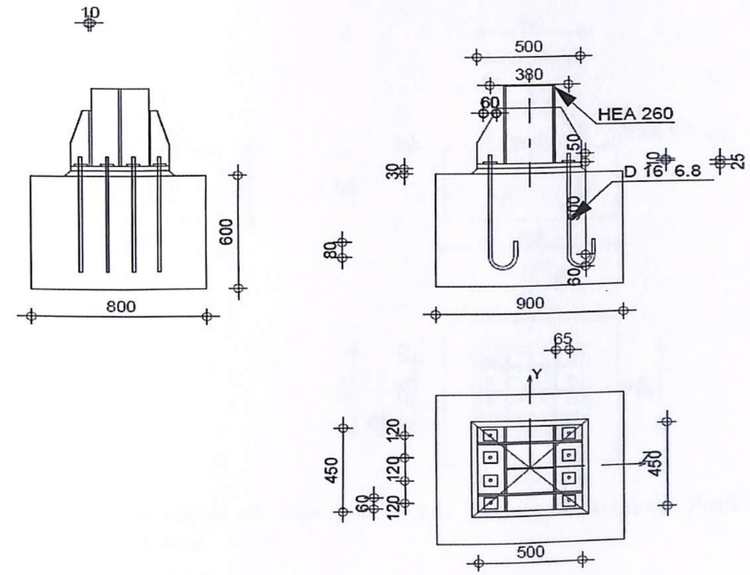
Mértékadó igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 562{,}56\ kN$ $V_{z,Ed} = 0{,}53\ kN$ $M_{y,Ed} = 119{,}18\ kNm$

Alkalmazott csavar:

$M16$ 6.8

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***97 %***

2.6.10. Lépcső melletti keretoszlop – alapozás kapcsolata

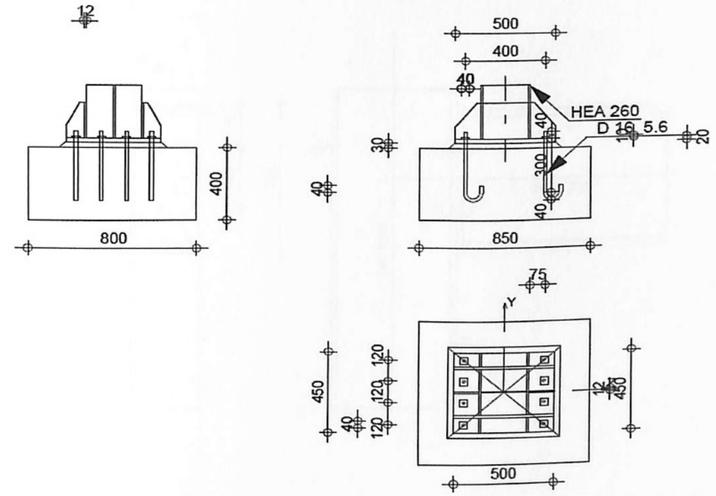
Mértékadó igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 34{,}31\ kN$ $V_{z,Ed} = 5{,}79\ kN$ $M_{y,Ed} = 40{,}05\ kNm$

Alkalmazott csavar:

$M16$ 5.6

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***89 %***

*Megj.: A vasbeton talpgerenda kivitelezhetősége érdekében a mellékhajó oszlopalap geometriájának azonosnak kell lennie lépcsőkeret melletti oszlopalap geometriájával. Az alaptest méretének növelése csökkenti a kihasználtságot, így a merevítőbordákra nincs szükség, a kapcsolat kihasználtsága 82 %-ról **89 %**-ra változik.*

2.6.11. Mestergerenda – főhajó oszlop kapcsolata (kézi ellenőrzés)

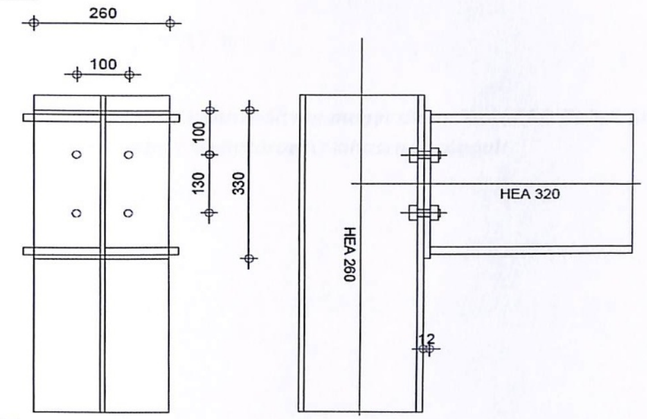
Mértékadó igénybevételek:

$V_{z,Ed} = 160{,}62\ kN$

Alkalmazott csavar:

$M16$ 5.6: $A = 201\ mm^2$ $d_0 = 18\ mm$ $f_{ub} = 500\ mm$

Tervezett kapcsolat:



Kapcsolat ellenállása:

- Csavarok ellenállása:

  Nyírási ellenállás:

  $$F_{v,Rd} = 2 * n * \frac{0{,}6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 2 * 2 * \frac{0{,}6 * 500 * 201}{1{,}25} = 192{,}96\ kN$$

  Palástnyomási ellenállás:

  $$F_{b,Rd} = 2 * k_1 * \frac{\alpha_b * f_u * d * t_{min}}{\gamma_{M2}} = 2 * 2{,}5 * \frac{1{,}0 * 360 * 16 * 12}{1{,}25} = 276{,}48\ kN$$

  $$\alpha_b = min\begin{pmatrix} \frac{p}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{100}{3 * 18} - \frac{1}{4} = 1{,}60 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{360} = 1{,}39 \\ 1{,}0 \end{pmatrix} = 1{,}0$$

  $F_{Rd} = min[F_{v,Rd}; F_{b,Rd}] = \mathbf{192{,}96\ kN} > V_{z,Ed} = \mathbf{160{,}62\ kN}$

  Megfelel!

- Varrat ellenőrzése:

  $l_0 \leq h_w - 2r = 225 - 2 * 24 = 177\ mm \rightarrow l_0 = 175\ mm$

  $A_{w,gerinc} = l_{eff,gerinc} * a = (175 - 2 * 5) * 5 = 825\ mm^2$

  $$\tau_{\parallel} = \frac{V_{z,Ed}/2}{A_w} = \frac{160{,}62 * 10^3/2}{825} = 97{,}3\ N/mm^2$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}{}^2 + 3(\tau_{\parallel}{}^2 + \tau_{\perp}{}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 * 97{,}3^2} = \mathbf{168{,}6\ N/mm^2} \leq \frac{360}{0{,}80 * 1{,}25} = 360\ N/mm^2$$

Megfelel!

Kapcsolat kihasználtsága:

$$\frac{V_{z,Ed}}{F_{Rd}} = \frac{160{,}62}{192{,}96} = \mathbf{83}\ \%$$

$$\frac{\sqrt{\sigma_{\perp}{}^2 + 3(\tau_{\parallel}{}^2 + \tau_{\perp}{}^2)}}{\frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}} = \frac{168{,}6}{360} = \mathbf{47}\ \%$$

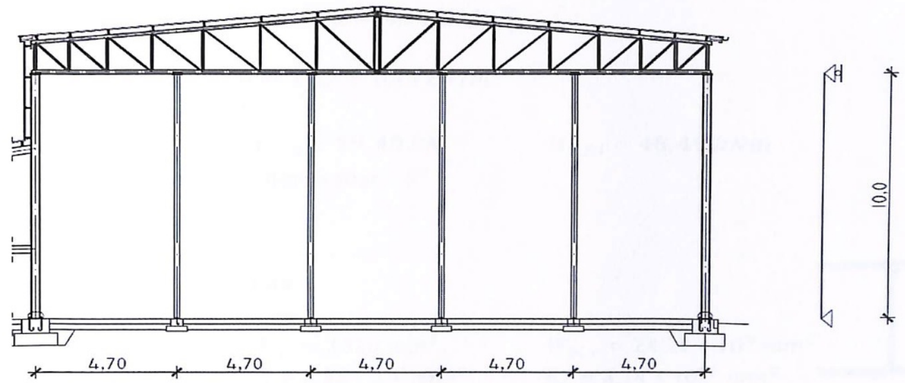
A kézi számítással meghatározott kihasználtság megyezik az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű program által meghatározott kihasználtsággal!

3. Merevítés méretezése

3.1. Falvázoszlopok méretezése

3.1.1. Főhajó falvázoszlopai

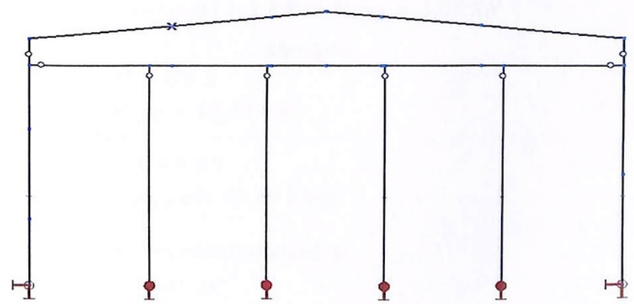
3.1.1.1. Statikai váz, keresztmetszet



Feltételezett szelvény: HEA 160

Megj.: A falvázoszlopok között kitöltő téglafalazat van.

AXIS-modell:



3.1.1.2. Terhek, igénybevételek

<u>Állandó terhek:</u>

Önsúly: AXIS VM-ben meghatározott

<u>Esetleges terhek:</u>

Külső szélteher (θ=0°):

- Szélszívás:

$$p_{w,e,sz,0}^{A,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{A} = 0{,}48 * 1{,}2 = 0{,}58\ kN/m^2$$
$$p_{w,e,sz,0}^{B,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{B} = 0{,}48 * 0{,}8 = 0{,}38\ kN/m^2$$
$$p_{w,e,sz,0}^{C,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{C} = 0{,}48 * 0{,}5 = 0{,}24\ kN/m^2$$

Külső szélteher (θ=90°):
- Szélnyomás:
  $p_{w,e,ny,90}^{D,k} = q_p * c_{pe,10,ny}^{D} = 0{,}48 * 0{,}8 = 0{,}38\ kN/m^2$
- Szélszívás:
  $p_{w,e,sz,90}^{E,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{E} = 0{,}48 * 0{,}5 = 0{,}24\ kN/m^2$

Belső szélteher:
- Szélnyomás:
  $p_{w,i,ny}^{k} = q_p * c_{pi,10,ny} = 0{,}48 * 0{,}2 = 0{,}10\ kN/m^2$
- Szélszívás:
  $p_{w,i,sz}^{k} = q_p * c_{pi,10,sz} = 0{,}48 * 0{,}3 = 0{,}14\ kN/m^2$

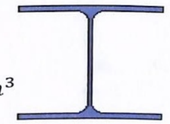
Mértékadó igénybevételek:

$N_{x,Ed} = \mathbf{4{,}05\ kN}$ $V_{z,Ed} = \mathbf{19{,}40\ kN}$ $M_{y,Ed} = \mathbf{48{,}49\ kNm}$

3.1.1.3. Keresztmetszet ellenőrzése

Teherbírási határállapot:

Keresztmetszeti adatok:



$b = 160\ mm$ $t_f = 9\ mm$
$h = 152\ mm$ $t_w = 6\ mm$
$A = 3877\ mm^2$ $A_{v,z} = 1320\ mm^2$ $W_{pl,y} = 245{,}1 * 10^3\ mm^3$
$I_z = 6{,}16 * 10^6\ mm^4$ $I_t = 1{,}22 * 10^5\ mm^6$ $I_w = 3{,}14 * 10^{10}\ mm^6$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3877 * 235}{1{,}0} = \mathbf{911{,}1\ kN} > N_{x,Ed} = 4{,}05\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra: ld. 4.4.5.1

$V_{pl,Rd,z} = \mathbf{179{,}09\ kN} > V_{z,Ed} = 19{,}40\ kN$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra: ld. 4.4.5.1

$M_{pl,Rd,y} = \mathbf{57{,}60\ kNm} > M_{y,Ed} = 48{,}49\ kNm$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$N_x^M = 4{,}05\ kN \rightarrow elhanyagolhatóan\ kicsi$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{19{,}40}{179{,}09} = 0{,}13 < 0{,}5$$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

  $N_{x,Ed} = 4{,}05\ kN \rightarrow elhanyagolhatóan\ kicsi$

  ↓

  Megfelel!

- Kifordulás:

  Az oszlopok között húzódó kitöltő falazat folyamatos megtámasztást ad a falvázoszlopnak, így nem kell vizsgálni a kifordulást.

- Kihajlás és kifordulás kölcsönhatása:

  $N_{x,Ed} = 4{,}05\ kN \rightarrow elhanyagolhatóan\ kicsi$

  ↓

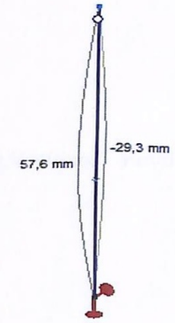
  Nem kell vizsgálni az interakciót.

- Nyírási horpadás:

  $h_w/t_w = 134/6 = 22{,}3 < 72\varepsilon/\eta = 72/1{,}20 = 60$

  ↓

  A nyírási horpadás nem mértékadó.



Használhatósági határállapot:

$w_{eng} = L/150 = 10000/150 = 66{,}7\ mm \geq w_{max} = \mathbf{57{,}6\ mm}$

Megfelel!

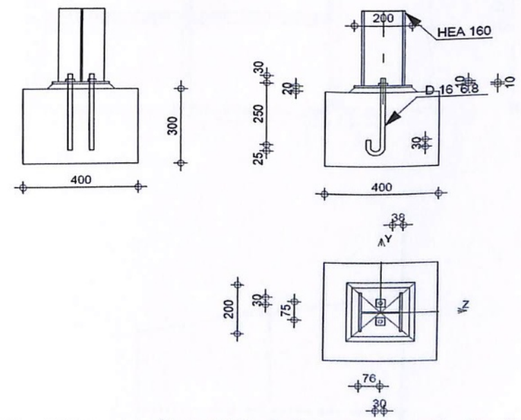
3.1.1.4. Kapcsolatok méretezése

Oszlop-alap kapcsolata:

Mértékadó igénybevételek: $N_{x,Ed} = 4{,}05\ kN$ $V_{z,Ed} = 19{,}40\ kN$

Alkalmazott csavar: $M16$ 6.8

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

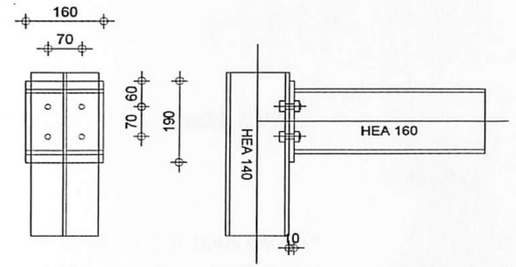
A kapcsolat kihasználtsága: ***64 %***

Oszlop-rácsos tartó övrúd kapcsolata:

Mértékadó igénybevételek: $V_{z,Ed} = 19{,}40\ kN$

Alkalmazott csavar: $M12$ 4.6

Tervezett kapcsolat:

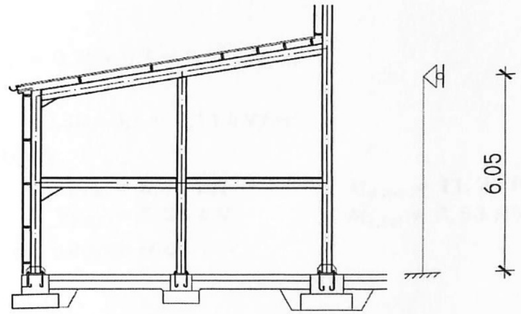


Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***22 %***

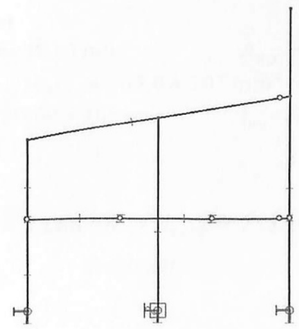
3.1.2. Mellékhajó falvázoszlopa

3.1.2.1. Statikai váz, keresztmetszet



Felhasznált szelvény: HEA 200

AXIS-modell:



3.1.2.2. Terhek, igénybevételek

Állandó terhek:

Önsúly: AXIS VM-ben meghatározott

Fal rétegrend: ld. 3.2.3.

$g_{r,5} = 0{,}32\ kN/m^2$

Falszelemen: ld. 3.2.3.

$g_z = 0{,}07\ kN/m$

$g_k^Z = (t * g_z)/t_Z = (4{,}0 * 0{,}07)/1{,}25 = 0{,}22\ kN/m$

Esetleges terhek:

Külső szélteher (θ=0°):

- Szélszívás:
  $p_{w,e,sz,0}^{A,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{A} = 0{,}38 * 1{,}2 = 0{,}46\ kN/m^2$
  $p_{w,e,sz,0}^{B,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{B} = 0{,}38 * 0{,}8 = 0{,}30\ kN/m^2$

Külső szélteher (θ=90°):

- Szélnyomás:
  $p_{w,e,ny,90}^{D,k} = q_p * c_{pe,10,ny}^{D} = 0{,}38 * 0{,}8 = 0{,}30\ kN/m^2$
- Szélszívás:
  $p_{w,e,sz,90}^{E,k} = q_p * c_{pe,10,sz}^{E} = 0{,}38 * 0{,}5 = 0{,}19\ kN/m^2$

Belső szélteher:

- Szélnyomás:
  $p_{w,i,ny}^{k} = q_p * c_{pi,10,ny} = 0{,}38 * 0{,}2 = 0{,}08\ kN/m^2$
- Szélszívás:
  $p_{w,i,sz}^{k} = q_p * c_{pi,10,sz} = 0{,}38 * 0{,}3 = 0{,}11\ kN/m^2$

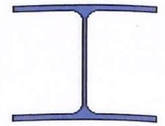
Mértékadó igénybevételek:

$N_{x,Ed} = \mathbf{233{,}15\ kN}$ $V_{z,Ed} = \mathbf{6{,}79\ kN}$ $M_{y,Ed} = \mathbf{11{,}74\ kNm}$
$V_{y,Ed} = \mathbf{5{,}25\ kN}$ $M_{z,Ed} = \mathbf{3{,}53\ kNm}$

3.1.2.3. Keresztmetszet ellenőrzése

Teherbírási határállapot:

Keresztmetszeti adatok:



$b = 200\ mm$ $t_f = 10\ mm$
$h = 190\ mm$ $t_w = 6{,}5\ mm$
$A = 5383\ mm^2$ $A_{v,z} = 1810\ mm^2$ $A_{v,y} = 3570\ mm^2$
$W_{pl,y} = 429{,}5 * 10^3\ mm^3$ $W_{pl,z} = 203{,}8 * 10^3\ mm^3$
$I_z = 13{,}36 * 10^6\ mm^4$ $I_t = 20{,}98 * 10^6\ mm^6$ $I_w = 1{,}08 * 10^{11}\ mm^6$

Szilárdsági ellenőrzés:

- Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5383 * 235}{1{,}0} = \mathbf{1265\ kN} > N_{x,Ed} = 233{,}15\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta nyírásra:

$$V_{pl,Rd,z} = \frac{A_{v,z} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1810 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{245{,}57\ kN} > V_{z,Ed} = 6{,}91\ kN$$

Megfelel!

$$V_{pl,Rd,y} = \frac{A_{v,y} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{3570 * 235}{\sqrt{3} * 1{,}0} = \mathbf{484{,}37\ kN} > V_{y,Ed} = 5{,}25\ kN$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{pl,Rd,y} = \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{429{,}5 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{100{,}93\ kNm} > M_{y,Ed} = 10{,}55\ kNm$$

Megfelel!

$$M_{pl,Rd,z} = \frac{W_{pl,z} * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{203{,}8 * 10^3 * 235}{1{,}0} = \mathbf{47{,}89\ kNm} > M_{y,Ed} = 3{,}53\ kNm$$

Megfelel!

- Ellenőrzés tiszta igénybevételek kölcsönhatására:
  - Hajlítás és nyomás kölcsönhatása:

$$N_x^M = 233{,}15\ kN < 0{,}25 * N_{pl,Rd} = 510{,}07\ kN$$

$$N_x^M = 233{,}15\ kN > \frac{0{,}5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} = 129{,}84\ kN$$

↓

Csökkenteni kell a nyomatéki teherbírást a nyomás hatására!

↓

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,Rd,y} * \frac{1-n}{1-0{,}5*a} = 100{,}93 * \frac{1-0{,}185}{1-0{,}5*0{,}257} = \mathbf{94{,}38\ kNm}$$

$$n = \frac{N_x^M}{N_{pl,Rd}} = \frac{233{,}15}{1265} = 0{,}185$$

$$a = \frac{A - 2b * t_f}{A} = \frac{5383 - 2 * 200 * 10}{5383} = 0{,}257$$

$$M_{N,y,Rd} = \mathbf{94{,}38\ kNm} > M_y^N = 10{,}19\ kNm$$

Megfelel!

  - Hajlítás és nyírás kölcsönhatása:

$$\frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd,z}} = \frac{6{,}91}{390{,}21} = 0{,}02 < 0{,}5 \text{ és } \frac{V_{y,Ed}}{V_{pl,Rd,y}} = \frac{5{,}25}{484{,}37} = 0{,}01 < 0{,}5$$

↓

Nem kell csökkenteni a nyomatéki teherbírást a nyírás hatására!

  - Kétirányú hajlítás kölcsönhatása:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{10{,}55}{100{,}93} + \frac{3{,}53}{47{,}89} = 0{,}12 < 1{,}0$$

Megfelel!

Stabilitási ellenőrzés:

- Kihajlás:

$L_{cr} \sim 3{,}0\ m \rightarrow$ részletes számítás ld. 4.5.1.

$N_{b,Rd,y} = \mathbf{1973{,}6\ kN} > N_{x,Ed} = 233{,}15\ kN$

Megfelel!

$N_{b,Rd,z} = \mathbf{1729,5\ kN} > N_{x,Ed} = 233{,}15\ kN$
Megfelel!

- Kifordulás:

Az elhanyagolhatóan kicsi nyomatékok miatt és a megtámasztási viszonyok miatt a keresztmetszet megfelel kifordulásra!

Használhatósági határállapot:

Minimális elmozdulások lépnek fel az oszlopon, ezért megfelel!

3.1.2.4. Kapcsolatok méretezése

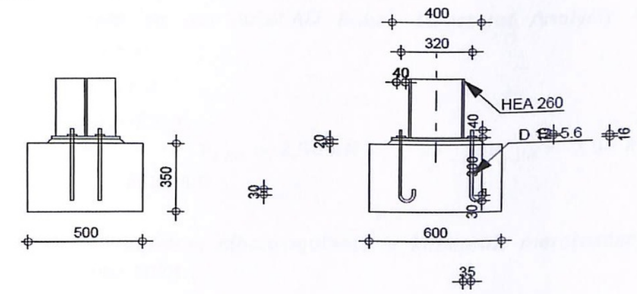
Oszlop-alap kapcsolata:

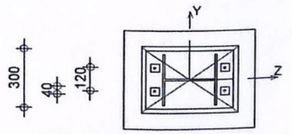
Mértékadó igénybevételek:

$N_{x,Ed} = 233{,}15\ kN$ $V_{z,Ed} = 6{,}91\ kN$ $M_{y,Ed} = 10{,}19\ kNm$
$V_{y,Ed} = 3{,}75\ kN$ $M_{z,Ed} = 1{,}88\ kNm$

Alkalmazott csavar: $M12$ 5.6

Tervezett kapcsolat:





Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***75 %***

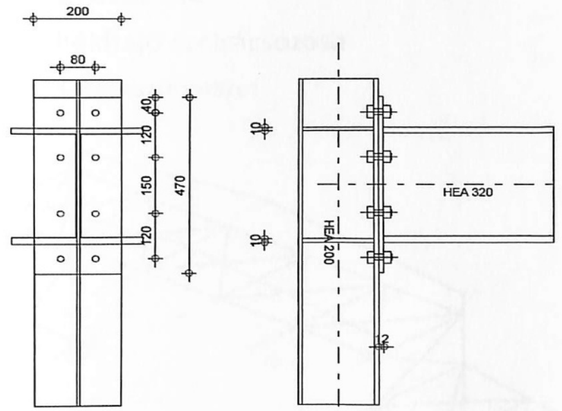
Oszlop-mestergerenda kapcsolata:

Mértékadó igénybevételek:

- Oszlop: $N_{x,Ed} = 225{,}39\ kN$ $V_{z,Ed} = 6{,}91\ kN$ $M_{y,Ed} = 10{,}55\ kNm$
- Mestergerenda: $N_{x,Ed} = 15{,}92\ kN$ $V_{z,Ed} = 66{,}03\ kN$ $M_{y,Ed} = 50{,}55\ kNm$

Alkalmazott csavar: $M16$ 5.6

Tervezett kapcsolat:



Megj.: A kapcsolat ellenállása az 'AutoCAD Robot Structural Analysis Professional' nevű programmal lett meghatározva.

A kapcsolat kihasználtsága: ***87 %***

<u>Oszlop-keretgerenda kapcsolata:</u>

Mértékadó igénybevételek: $V_{z,Ed} = 2{,}50\ kN$ $V_{y,Ed} = 2{,}96\ kN$

Alkalmazott csavar: $M12$ 4.6

Tervezett kapcsolat:

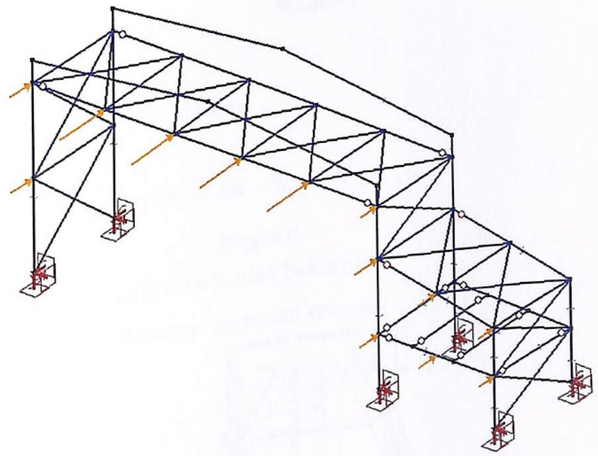
A minimális nyíróerők tekintetében elhanyagolható a kapcsolat méretezése, a kiviteli terven megtalálható a tervezett kapcsolat.

3.2. Szélrácsok méretezése

3.2.1. Főhajó és mellékhajó szélrácsozása

3.2.1.1. Statikai modell, keresztmetszet

AXIS-modell:



Keresztmetszetek:

- Nyomott rudak: L-egyenlő szárú szögacél
- Húzott rudak: O-köracél

3.2.1.2. Terhek, igénybevételek

A merevítés síkjában ható erők hosszirányú szélnyomásból és szélszívásból adódnak. A falvázoszlopokon és a tartóoszlopokon átadódó reakcióerők okozzák a merevítőszerkezet elemeiben az igénybevételeket. Ezen erőket működtetve a modellen az alábbi mértékadó igénybevételek jelentkeztek:

Mértékadó nyomóerő a nyomott rudaknál: $N_{Ed}^{-} = \mathbf{49,95\ kN}$

Mértékadó húzóerő a húzott rudaknál: $N_{Ed}^{+} = \mathbf{55,04\ kN}$

3.2.1.3. Keresztmetszetek ellenőrzése

Nyomott rúd:

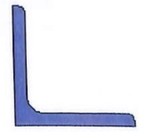
Keresztmetszeti adatok: L 100x100x8

$b = 100\ mm$ $\quad t = 8\ mm$

$A = 1550\ mm^2$ $\quad I_y = I_z = 14{,}5 * 10^5\ mm^4$

Kihajlási ellenállás:

$$N_{cr} = \frac{E * I_y * \pi^2}{{L_{cr}}^2} = \frac{2{,}1 * 10^5 * 14{,}5 * 10^5 * \pi^2}{6000^2} = 83{,}48\ kN$$



$$N_{cr,k} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1550 * 235}{1{,}0} = 364{,}25\ kN$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{N_{cr,k}}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{364{,}25}{83{,}48}} = 2{,}089 \rightarrow \chi = 0{,}194$$

$$N_{b,Rd} = \chi * N_{cr,k} = 0{,}194 * 364{,}25 = \mathbf{70{,}62\ kN} > N_{Ed}^{-} = 49{,}95\ kN$$

Megfelel!

Húzott rúd:

Keresztmetszeti adatok: O20

$d = 20\ mm$ $A = 314\ mm^2$

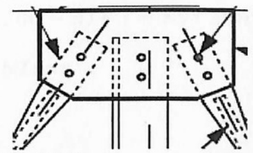
Húzási ellenállás:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{314 * 235}{1{,}0} = \mathbf{73{,}79\ kN} > N_{Ed}^{+} = 55{,}04\ kN$$

Megfelel!

3.2.1.4. Kapcsolatok ellenőrzése (rudak bekötése)

Tervezett kapcsolat: csomólemezes csavarozott kapcsolat



Alkalmazott csavar: $M12\ 6.8$

Mértékadó igénybevétel: $N_{Ed} = 55{,}04\ kN$

Csavarok ellenállása:

- Nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = 2 * n * \frac{0{,}6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 2 * 1 * \frac{0{,}6 * 600 * 113}{1{,}25} = 65{,}09\ kN$$

- Palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = 2 * k_1 * \frac{\alpha_b * f_u * d * t_{min}}{\gamma_{M2}} = 2 * 2{,}5 * \frac{1{,}0 * 360 * 12 * 8}{1{,}25} = 138{,}24\ kN$$

$$F_{Rd} = min[F_{v,Rd}; F_{b,Rd}] = \mathbf{65{,}09\ kN} > F_{Ed} = 55{,}04\ kN$$

Megfelel!

Laposacél húzási ellenállása csökkentett keresztmetszet esetén:

Alkalmazott laposacél keresztmetszet: 60x10

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0{,}9 * [(60 - 13) * 10] * 235}{1{,}25} = \mathbf{79{,}52\ kN} > N_{Ed} = 55{,}04\ kN$$

Megfelel!

Varratok méretezése:

- Csomólemez varratának méretezése:
  Varrathossz: $l_0 = 300\ mm$
  Alkalmazott gyökméret: $a = 5\ mm$

$A_w = l_{eff} * a = (l_0 - 2a) * a = (300 - 2 * 5) * 5 = 1450\ mm^2$

$\rho = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{55{,}04 * 10^3}{1450} = 38{,}0\ N/mm^2$

$\sigma_\perp = \tau_\perp = \frac{\rho}{\sqrt{2}} = \frac{38{,}0}{\sqrt{2}} = 26{,}8\ N/mm^2$

$\sqrt{{\sigma_\perp}^2 + 3({\tau_\parallel}^2 + {\tau_\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$

$\sqrt{26{,}8^2 + 3 * 26{,}8^2} = \mathbf{53{,}68\ N/mm^2} \leq \frac{360}{0{,}80 * 1{,}25} = 360\ N/mm^2$

$\sigma_\perp \leq 0{,}9 * \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$

$\mathbf{26{,}8\ N/mm^2} \leq 0{,}9 * \frac{360}{1{,}25} = 259{,}2\ N/mm^2$

Megfelel!

- Húzott köracél varratának méretezése:

Varrathossz: $l_0 = 2x100\ mm$

Alkalmazott gyökméret: $a = 3\ mm$

$A_w = l_{eff} * a = (l_0 - a) * a = (200 - 3) * 3 = 591\ mm^2$

$\tau_\parallel = \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{55{,}04 * 10^3}{591} = 93{,}1\ N/mm^2$

$\sqrt{{\sigma_\perp}^2 + 3({\tau_\parallel}^2 + {\tau_\perp}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}}$

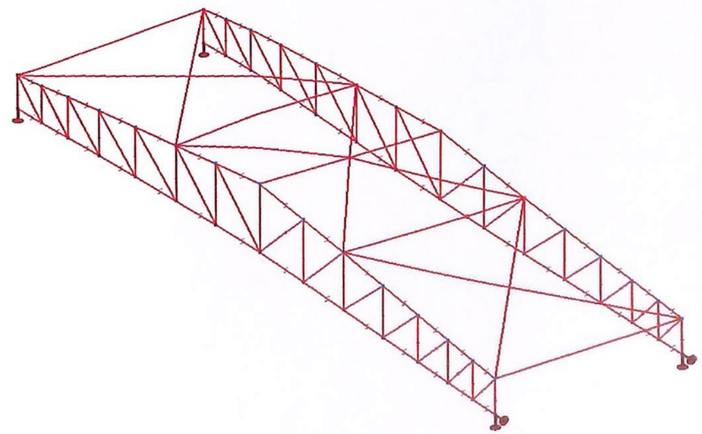
$\sqrt{3 * 93{,}1^2} = \mathbf{161{,}3\ N/mm^2} \leq \frac{360}{0{,}80 * 1{,}25} = 360\ N/mm^2$

Megfelel!

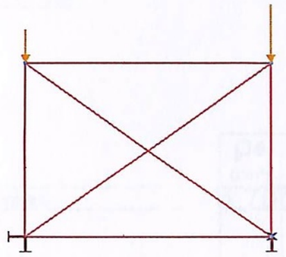
3.2.2. Rácsos szaruzat merevítése

3.2.2.1. Statikai modell, keresztmetszet

Kialakítás:



Síkbeli AXIS-modell:



Keresztmetszetek:

- Nyomott rudak: L-egyenlő szárú szögacél
- Húzott rudak: O-köracél

3.2.2.2. Terhek, igénybevételek

A merevítés síkjában ható erők hosszirányú szélnyomásból és szélszívásból adódnak. A rácsos tartó felső övrúdjáról átadódó reakcióerők okozzák a merevítőszerkezet elemeiben az igénybevételeket. Ezen erőket működtetve a modellen az alábbi mértékadó igénybevételek jelentkeztek:

Mértékadó nyomóerő a nyomott rudaknál: $N_{Ed}^{-} = \mathbf{1,77\ kN}$

Mértékadó húzóerő a húzott rudaknál: $N_{Ed}^{+} = \mathbf{0,24\ kN}$

3.2.2.3. Keresztmetszetek és kapcsolatok ellenőrzése

A minimális igénybevételek miatt elhanyagolható a keresztmetszetek és a kapcsolatok ellenőrzése.

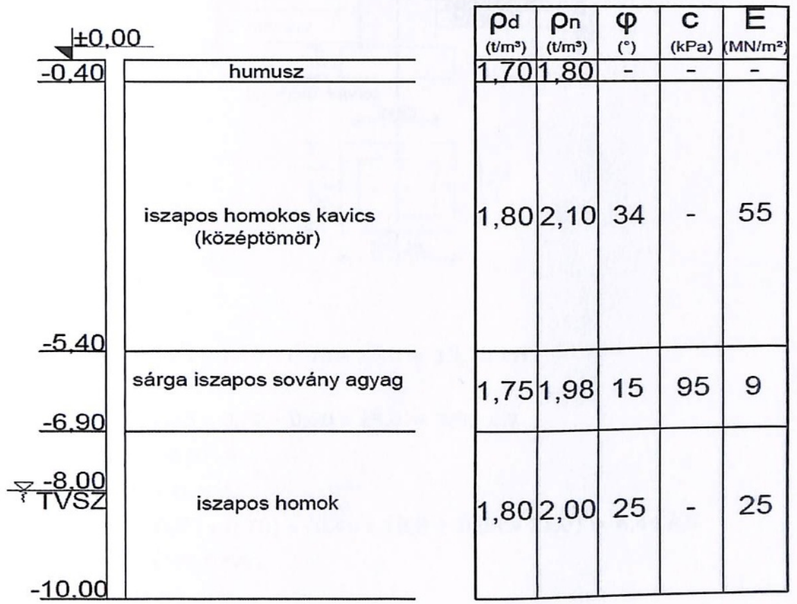
Az alkalmazott szelvények:

- Nyomott rudak: L 60x60x6
- Húzott rudak: O10

4. Alapozás ellenőrzése

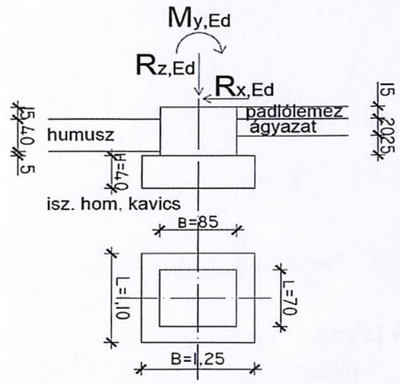
4.1. Geotechnika

Fúrásszelvény:



	ρd (t/m³)	ρn (t/m³)	φ (°)	c (kPa)	E (MN/m²)
humusz	1,70	1,80	-	-	-
iszapos homokos kavics (középtömör)	1,80	2,10	34	-	55
sárga iszapos sovány agyag	1,75	1,98	15	95	9
iszapos homok	1,80	2,00	25	-	25

4.2. Mellékhajó oszlop síkalap ellenőrzése (A2)



<u>Alaptestre ható súlyok:</u>

Az alaptest súlya:

$G_a = B * L * H * \gamma_{vb} = 1{,}25 * 1{,}10 * 0{,}40 * 25{,}0 = 13{,}75\ kN$

Az oszlopalap súlya:

$G_{o,a} = b * l * h * \gamma_{vb} = 0{,}85 * 0{,}70 * 0{,}60 * 25{,}0 = 8{,}93\ kN$

Az alaptest feletti földréteg súlya:

$G_r^{talaj} = (B * L - b * l) * t_0 * \gamma_{á}$

$G_r^{talaj} = (1{,}25 * 1{,}10 - 0{,}85 * 0{,}70) * (0{,}40 * 18{,}0 + 0{,}05 * 21{,}0) = 6{,}44\ kN$

Az alaptest feletti padlóréteg súlya:

$G_r^{padló} = (B * L - b * l) * t_0 * \gamma_{á}$

$G_r^{padló} = (1{,}25 * 1{,}10 - 0{,}85 * 0{,}70) * (0{,}15 * 25{,}0 + 0{,}20 * 22{,}0 + 0{,}25 * 21{,}0) = 10{,}45\ kN$

A rétegek különbségéből adódó nyomaték (külpontosság):

$\Delta G_r = G_r^{padló} - G_r^{talaj} = 10{,}45 - 6{,}44 = 4{,}01\ kN$

$\Delta y = 373\ mm$

$M_r = \Delta G_r * \Delta y = 4{,}01 * 10^3 * 373 = 1{,}50\ kNm$

<u>Az alaptestre ható igénybevételek:</u>

$R_{z,k} = 221{,}90\ kN$ $\quad R_{x,k} = 28{,}83\ kN$

$R_{z,Ed} = 317{,}06\ kN$ $\quad R_{x,Ed} = 41{,}45\ kN$ $\quad M_{y,Ed} = 59{,}26\ kNm$

Függőleges erő tervezési értéke:

$V_d = \gamma_G * (G_a + G_{o,a} + G_r^{max}) + R_{z,Ed}$

$V_d = 1{,}35 * (13{,}75 + 8{,}93 + 10{,}45) + 317{,}06 = 361{,}79\ kN$

Vízszintes erő tervezési értéke:

$H_d = R_{x,Ed} = 41{,}45\ kN$

Nyomaték tervezési értéke:

$M_d = \gamma_G * M_r + M_{y,Ed} = 1{,}35 * 1{,}50 + 59{,}26 = 61{,}29\ kNm$

Az eredő helye az alapsíkon:

$$e_{B,k} = \frac{M_d}{V_d} = \frac{61{,}29 * 10^6}{361{,}79 * 10^3} = 170\ mm = 0{,}17\ m$$

Az alap talajtörési ellenállása:

Az alap dolgozó szélessége:

$$B' = B - 2 * e_{B,k} = 1{,}25 - 2 * 0{,}17 = 0{,}91\ m$$

Az alap dolgozó területe:

$$A' = B' * L = 0{,}91 * 1{,}10 = 1{,}0\ m^2$$

Hatékony takarási feszültség:

$$q'_{min} = \Sigma t_i * \gamma_i = 0{,}40 * 18{,}0 + 0{,}45 * 21{,}0 = 16{,}65\ \ kN/m^2$$

Teherbírási tényezők:

$$N_q = e^{\pi * tg\varphi'_k} * tg^2(45° + \varphi'_k/2) = e^{\pi * tg34°} * tg^2(45° + 34°/2) = 29{,}45$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * tg\varphi'_k = 2 * (29{,}45 - 1) * tg34° = 38{,}38$$

Alaki tényezők:

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L} * sin\varphi'_k = 1 + \frac{0{,}91}{1{,}10} * sin34° = 1{,}46$$

$$s_\gamma = 1 - 0{,}3 * \frac{B'}{L} = 1 - 0{,}3 * \frac{0{,}91}{1{,}10} = 0{,}75$$

Alapferdeségi tényezők:

Nincs alapferdeség $\rightarrow b_q = b_\gamma = 1{,}0$

Ferdeségi tényezők paraméterei:

$$f = \frac{H_k}{V_k + B' * L * c'_k * ctg\varphi'_k} = \frac{28{,}83}{221{,}90 + 0{,}91 * 1{,}10 * 0 * ctg34°} = 0{,}13$$

$$m_B = \frac{2 + (B'/L)}{1 + (B'/L)} = \frac{2 + (0{,}91/1{,}10)}{1 + (0{,}91/1{,}10)} = 1{,}55$$

Ferdeségi tényezők:

$$i_q = (1 - f)^m = (1 - 0{,}13)^{1{,}55} = 0{,}81$$

$$i_\gamma = (1 - f)^{m+1} = (1 - 0{,}13)^{1{,}55+1} = 0{,}70$$

A talajtörési ellenállás karakterisztikus értéke:

$$R_k = A' * [q' * N_q * b_q * s_q * i_q + c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c + 0{,}5 * \gamma' * B' * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma]$$

$$c'_k = 0 \rightarrow c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c = 0$$

$$R_k = 1{,}0 * [16{,}65 * 29{,}45 * 1{,}0 * 1{,}46 * 0{,}81 + 0{,}5 * 21{,}0 * 0{,}91 * 38{,}38 * 1{,}0 * 0{,}75 * 0{,}70]$$

$$R_k = 772{,}41\ kN$$

A talajtörési ellenállás tervezési értéke:

$$R_d = R_k/\gamma_R = 772{,}41/1{,}40 = \mathbf{551{,}72\ kN}$$

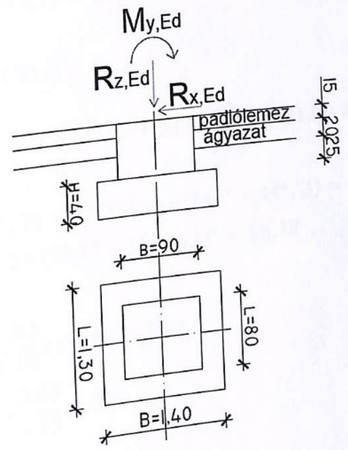
Ellenőrzés:

$$R_d = 551{,}72\ kN > V_d = 361{,}79\ kN$$

Megfelel!

4.3. Főhajó oszlop síkalap ellenőrzése

4.3.1. Mellékhajó melletti főhajó oszlop alapozásának ellenőrzése (A1)



<u>Alaptestre ható súlyok:</u>

Az alaptest súlya:

$G_a = B * L * H * \gamma_{vb} = 1{,}40 * 1{,}30 * 0{,}40 * 25{,}0 = 18{,}20\ kN$

Az oszlopalap súlya:

$G_{o,a} = b * l * h * \gamma_{vb} = 0{,}90 * 0{,}80 * 0{,}60 * 25{,}0 = 10{,}80\ kN$

Az alaptest feletti padlóréteg súlya:

$G_r^{padló} = (B * L - b * l) * t_0 * \gamma_á$

$G_r^{padló} = (1{,}40 * 1{,}30 - 0{,}90 * 0{,}80) * (0{,}15 * 25{,}0 + 0{,}20 * 22{,}0 + 0{,}25 * 21{,}0) = 14{,}74\ kN$

<u>Az alaptestre ható igénybevételek:</u>

$R_{z,k} = 392{,}59\ kN$ $R_{x,k} = 21{,}92\ kN$ $M_{y,Ed} = 119{,}18\ kNm$

$R_{z,Ed} = 562{,}56\ kN$ $R_{x,Ed} = 37{,}89\ kN$

Függőleges erő tervezési értéke:

$V_d = \gamma_G * \left(G_a + G_{o,a} + G_r^{padló}\right) + R_{z,Ed}$

$V_d = 1{,}35 * (18{,}20 + 10{,}80 + 14{,}74) + 562{,}56 = 621{,}61\ kN$

Vízszintes erő tervezési értéke:

$H_d = R_{x,Ed} = 37{,}89\ kN$

Nyomaték tervezési értéke:

$M_d = M_{y,Ed} = 119{,}18\ kNm$

Az eredő helye az alapsíkon:

$e_{B,k} = \frac{M_d}{V_d} = \frac{119{,}18 * 10^6}{621{,}61 * 10^3} = 190\ mm = 0{,}19\ m$

Az alap talajtörési ellenállása:

Az alap dolgozó szélessége:

$B' = B - 2 * e_{B,k} = 1{,}40 - 2 * 0{,}19 = 1{,}02\ m$

Az alap dolgozó területe:

$A' = B' * L = 1{,}02 * 1{,}30 = 1{,}33\ m^2$

Hatékony takarási feszültség:

$q'_{min} = \Sigma t_i * \gamma_i = 0{,}15 * 25{,}0 + 0{,}20 * 22{,}0 + 0{,}65 * 21{,}0 = 21{,}80\ \ kN/m^2$

Teherbírási tényezők:

$N_q = e^{\pi * tg\varphi'_k} * tg^2(45° + \varphi'_k/2) = e^{\pi * tg34°} * tg^2(45° + 34°/2) = 29{,}45$

$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * tg\varphi'_k = 2 * (29{,}45 - 1) * tg34° = 38{,}38$

Alaki tényezők:

$s_q = 1 + \frac{B'}{L} * sin\varphi'_k = 1 + \frac{1{,}02}{1{,}30} * sin34° = 1{,}44$

$s_\gamma = 1 - 0{,}3 * \frac{B'}{L} = 1 - 0{,}3 * \frac{1{,}02}{1{,}30} = 0{,}76$

Alapferdeségi tényezők:

Nincs alapferdeség $\rightarrow b_q = b_\gamma = 1{,}0$

Ferdeségi tényezők paraméterei:

$f = \frac{H_k}{V_k + B' * L * c'_k * ctg\varphi'_k} = \frac{21{,}92}{392{,}59 + 1{,}02 * 1{,}30 * 0 * ctg34°} = 0{,}06$

$m_B = \frac{2 + (B'/L)}{1 + (B'/L)} = \frac{2 + (1{,}02/1{,}30)}{1 + (1{,}02/1{,}30)} = 1{,}56$

Ferdeségi tényezők:

$i_q = (1 - f)^m = (1 - 0{,}06)^{1{,}56} = 0{,}91$

$i_\gamma = (1 - f)^{m+1} = (1 - 0{,}06)^{1{,}56+1} = 0{,}86$

A talajtörési ellenállás karakterisztikus értéke:

$R_k = A' * [q' * N_q * b_q * s_q * i_q + c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c + 0{,}5 * \gamma' * B' * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma]$

$c'_k = 0 \rightarrow c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c = 0$

$R_k = 1{,}33 * [21{,}80 * 29{,}45 * 1{,}0 * 1{,}44 * 0{,}91 + 0{,}5 * 21{,}0 * 1{,}02 * 38{,}38 * 1{,}0 * 0{,}76 * 0{,}86]$

$R_k = 1459{,}8\ kN$

A talajtörési ellenállás tervezési értéke:

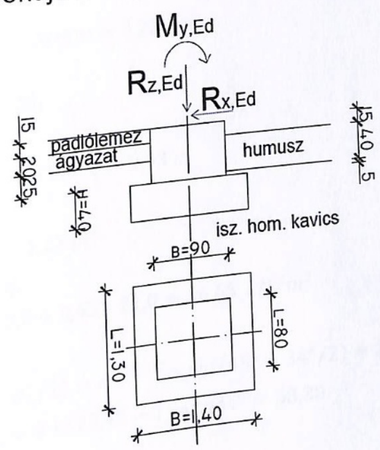
$R_d = R_k/\gamma_R = 1459{,}8/1{,}40 = \mathbf{1042{,}7\ kN}$

Ellenőrzés:

$R_d = 1042{,}7\ kN > V_d = 621{,}61\ kN$

Megfelel!

4.3.2. Szabad oldali főhajó oszlop alapozásának ellenőrzése (A1)



Alaptestre ható súlyok:

Az alaptest súlya:

$G_a = 18{,}20\ kN$

Az oszlopalap súlya:

$G_{o,a} = 10{,}80\ kN$

Az alaptest feletti talajréteg súlya:

$G_r^{talaj} = (B * L - b * l) * t_0 * \gamma_á$

$G_r^{talaj} = (1{,}40 * 1{,}30 - 0{,}90 * 0{,}80) * (0{,}40 * 18{,}0 + 0{,}05 * 21{,}0) = 9{,}08\ kN$

Az alaptest feletti padlóréteg súlya:

$G_r^{padló} = 14{,}74\ kN$

A rétegek különbségéből adódó nyomaték (külpontosság):

$\Delta G_r = G_r^{padló} - G_r^{talaj} = 14{,}74 - 9{,}08 = 5{,}66\ kN$

$\Delta y = 432\ mm$

$M_r = \Delta G_r * \Delta y = 5{,}66 * 10^3 * 432 = 2{,}45\ kNm$

Az alaptestre ható igénybevételek:

$R_{z,k} = 169{,}05\ kN$ $R_{x,k} = 6{,}77\ kN$ $M_{y,Ed} = 67{,}50\ kNm$

$R_{z,Ed} = 240{,}98\ kN$ $R_{x,Ed} = 21{,}96\ kN$

Függőleges erő tervezési értéke:

$V_d = \gamma_G * (G_a + G_{o,a} + G_r^{max}) + R_{z,Ed}$

$V_d = 1{,}35 * (18{,}20 + 10{,}80 + 14{,}74) + 240{,}98 = 300{,}0\ kN$

Vízszintes erő tervezési értéke:

$H_d = R_{x,Ed} = 21{,}96\ kN$

Nyomaték tervezési értéke:

$M_d = \gamma_G * M_r + M_{y,Ed} = 1{,}35 * 2{,}45 + 67{,}50 = 70{,}80\ kNm$

Az eredő helye az alapsíkon:

$$e_{B,k} = \frac{M_d}{V_d} = \frac{70{,}80 * 10^6}{300{,}0 * 10^3} = 236\ mm = 0{,}236\ m$$

Az alap talajtörési ellenállása:

Az alap dolgozó szélessége:

$$B' = B - 2 * e_{B,k} = 1{,}40 - 2 * 0{,}236 = 0{,}93\ m$$

Az alap dolgozó területe:

$$A' = B' * L = 0{,}93 * 1{,}30 = 1{,}21\ m^2$$

Hatékony takarási feszültség:

$$q'_{min} = \Sigma t_i * \gamma_i = 0{,}40 * 18{,}0 + 0{,}45 * 21{,}0 = 16{,}65\ kN/m^2$$

Teherbírási tényezők:

$$N_q = e^{\pi * tg\varphi'_k} * tg^2(45° + \varphi'_k/2) = e^{\pi * tg34°} * tg^2(45° + 34°/2) = 29{,}45$$

$$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * tg\varphi'_k = 2 * (29{,}45 - 1) * tg34° = 38{,}38$$

Alaki tényezők:

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L} * sin\varphi'_k = 1 + \frac{0{,}93}{1{,}30} * sin34° = 1{,}40$$

$$s_\gamma = 1 - 0{,}3 * \frac{B'}{L} = 1 - 0{,}3 * \frac{0{,}93}{1{,}30} = 0{,}79$$

Alapferdeségi tényezők:

Nincs alapferdeség → $b_q = b_\gamma = 1{,}0$

Ferdeségi tényezők paraméterei:

$$f = \frac{H_k}{V_k + B' * L * c'_k * ctg\varphi'_k} = \frac{6{,}77}{169{,}05 + 0{,}93 * 1{,}30 * 0 * ctg34°} = 0{,}04$$

$$m_B = \frac{2 + (B'/L)}{1 + (B'/L)} = \frac{2 + (0{,}93/1{,}30)}{1 + (0{,}93/1{,}30)} = 1{,}58$$

Ferdeségi tényezők:

$$i_q = (1 - f)^m = (1 - 0{,}04)^{1{,}58} = 0{,}94$$

$$i_\gamma = (1 - f)^{m+1} = (1 - 0{,}04)^{1{,}58+1} = 0{,}90$$

A talajtörési ellenállás karakterisztikus értéke:

$$R_k = A' * [q' * N_q * b_q * s_q * i_q + c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c + 0{,}5 * \gamma' * B' * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma]$$

$$c'_k = 0 \rightarrow c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c = 0$$

$$R_k = 1{,}21 * [16{,}65 * 29{,}45 * 1{,}0 * 1{,}40 * 0{,}94 + 0{,}5 * 21{,}0 * 0{,}93 * 38{,}38 * 1{,}0 * 0{,}79 * 0{,}90]$$

$$R_k = 1103{,}2\ kN$$

A talajtörési ellenállás tervezési értéke:

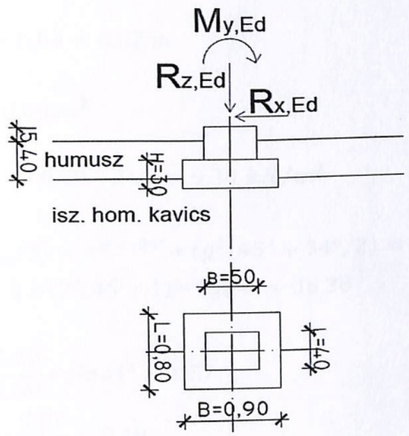
$$R_d = R_k/\gamma_R = 1103{,}2/1{,}40 = \mathbf{788{,}02\ kN}$$

Ellenőrzés:

$$R_d = 788{,}02\ kN > V_d = 300{,}0\ kN$$

Megfelel!

4.4. Mellékhajó falvázoszlop síkalap ellenőrzése (A3)



Alaptestre ható súlyok:

Az alaptest súlya:

$G_a = B * L * H * \gamma_{vb} = 0{,}9 * 0{,}8 * 0{,}30 * 25{,}0 = 5{,}40\ kN$

Az oszlopalap súlya:

$G_{o,a} = b * l * h * \gamma_{vb} = 0{,}50 * 0{,}40 * 0{,}35 * 25{,}0 = 1{,}75\ kN$

Az alaptest feletti földréteg súlya:

$G_r^{talaj} = (B * L - b * l) * t_0 * \gamma_{á}$

$G_r^{talaj} = (0{,}90 * 0{,}80 - 0{,}50 * 0{,}40) * 0{,}20 * 18{,}0 = 1{,}87\ kN$

Az alaptestre ható igénybevételek:

$R_{z,k} = 163{,}20\ kN$ $\quad R_{x,k} = 5{,}18\ kN$

$R_{z,Ed} = 233{,}15\ kN$ $\quad R_{x,Ed} = 6{,}91\ kN$ $\quad M_{y,Ed} = 10{,}19\ kNm$

Függőleges erő tervezési értéke:

$V_d = \gamma_G * \left(G_a + G_{o,a} + G_r^{talaj}\right) + R_{z,Ed}$

$V_d = 1{,}35 * (5{,}40 + 1{,}75 + 1{,}87) + 233{,}15 = 245{,}33\ kN$

Vízszintes erő tervezési értéke:

$H_d = R_{x,Ed} = 6{,}91\ kN$

Nyomaték tervezési értéke:

$M_d = M_{y,Ed} = 10{,}19\ kNm$

Az eredő helye az alapsíkon:

$$e_{B,k} = \frac{M_d}{V_d} = \frac{10{,}19 * 10^6}{245{,}33 * 10^3} = 40\ mm = 0{,}04\ m$$

Az alap talajtörési ellenállása:

Az alap dolgozó szélessége:

$B' = B - 2 * e_{B,k} = 0{,}9 - 2 * 0{,}04 = 0{,}82\ m$

Az alap dolgozó területe:

$A' = B' * L = 0{,}82 * 0{,}80 = 0{,}65\ m^2$

Hatékony takarási feszültség:

$q'_{min} = \Sigma t_i * \gamma_i = 0{,}40 * 18{,}0 + 0{,}10 * 21{,}0 = 9{,}30\ kN/m^2$

Teherbírási tényezők:

$N_q = e^{\pi * tg\varphi'_k} * tg^2(45° + \varphi'_k/2) = e^{\pi * tg34°} * tg^2(45° + 34°/2) = 29{,}45$

$N_\gamma = 2 * (N_q - 1) * tg\varphi'_k = 2 * (29{,}45 - 1) * tg34° = 38{,}38$

Alaki tényezők:

$s_q = 1 + \frac{B'}{L} * sin\varphi'_k = 1 + \frac{0{,}82}{0{,}80} * sin34° = 1{,}57$

$s_\gamma = 1 - 0{,}3 * \frac{B'}{L} = 1 - 0{,}3 * \frac{0{,}82}{0{,}80} = 0{,}69$

Alapferdeségi tényezők:

Nincs alapferdeség → $b_q = b_\gamma = 1{,}0$

Ferdeségi tényezők paraméterei:

$f = \frac{H_k}{V_k + B' * L * c'_k * ctg\varphi'_k} = \frac{5{,}18}{163{,}20 + 0{,}82 * 0{,}80 * 0 * ctg34°} = 0{,}03$

$m_B = \frac{2 + (B'/L)}{1 + (B'/L)} = \frac{2 + (0{,}82/0{,}80)}{1 + (0{,}82/0{,}80)} = 1{,}49$

Ferdeségi tényezők:

$i_q = (1 - f)^m = (1 - 0{,}03)^{1{,}49} = 0{,}95$

$i_\gamma = (1 - f)^{m+1} = (1 - 0{,}03)^{1{,}49+1} = 0{,}93$

A talajtörési ellenállás karakterisztikus értéke:

$R_k = A' * [q' * N_q * b_q * s_q * i_q + c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c + 0{,}5 * \gamma' * B' * N_\gamma * b_\gamma * s_\gamma * i_\gamma]$

$c'_k = 0 \rightarrow c'_k * N_c * b_c * s_c * i_c = 0$

$R_k = 0{,}65 * [9{,}30 * 29{,}45 * 1{,}0 * 1{,}57 * 0{,}95 + 0{,}5 * 21{,}0 * 0{,}82 * 38{,}38 * 1{,}0 * 0{,}69 * 0{,}93]$

$R_k = 403{,}36\ kN$

A talajtörési ellenállás tervezési értéke:

$R_d = R_k/\gamma_R = 403{,}36/1{,}40 = \mathbf{288{,}11\ kN}$

Ellenőrzés:

$R_d = 288{,}11\ kN > V_d = 245{,}33\ kN$

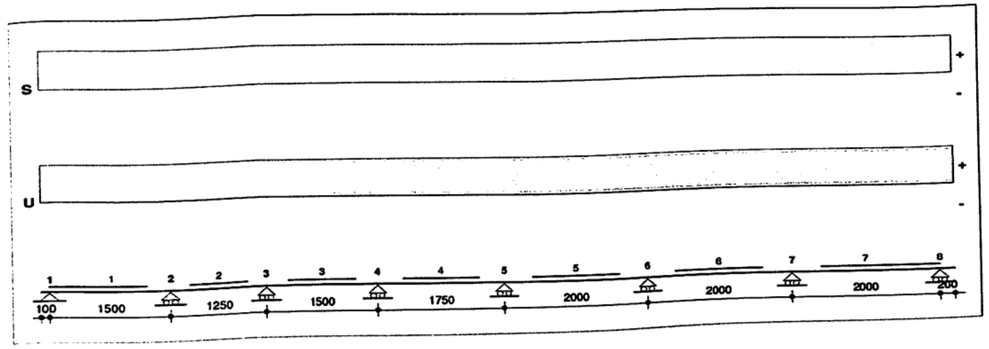
Megfelel!

MELLÉKLETEK

Főhajó tető trapézlemez DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\traplemezek\dimroof fájlok\traplemez_főtar

Date: 2014.10.12.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások
Funkció: Tető
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország

Szerkezeti beállítások
Szelvény: LTP 45
Statikai rendszer: Folytatólagos
Elhelyezés: Szokásos (keskeny)
Átfedés: 1 hullám

Csavar
Táv:

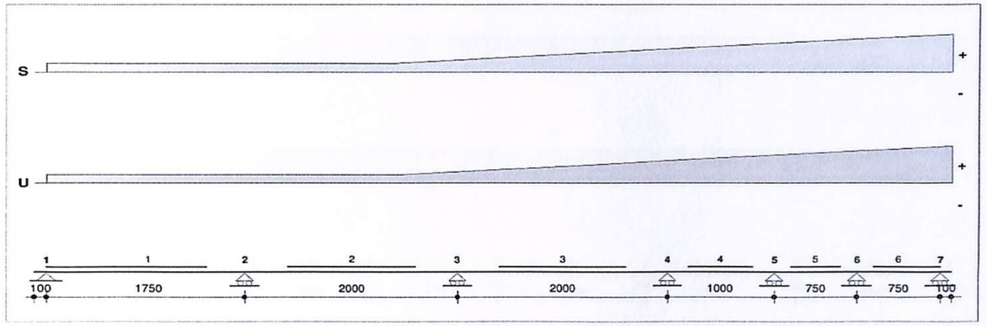
Lehajlás-számítás paraméterei
Lehajlási határ (nyílás): L / 200
Lehajlási határ (konzol): L / 200
Lehajlás típus: Maximális

Eredmények
ULS: 78%
SLS: 71%

Mellékhajó tető trapézlemez DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\traplemezek\dimroof fájlok\traplemez_melle

Date: 2014.10.12.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások
Funkció: Tető
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország

Szerkezeti beállítások
Szelvény: LTP 45
Statikai rendszer: Folytatólagos
Elhelyezés: Szokásos (keskeny)
Átfedés: 1 hullám
Csavar
Táv:

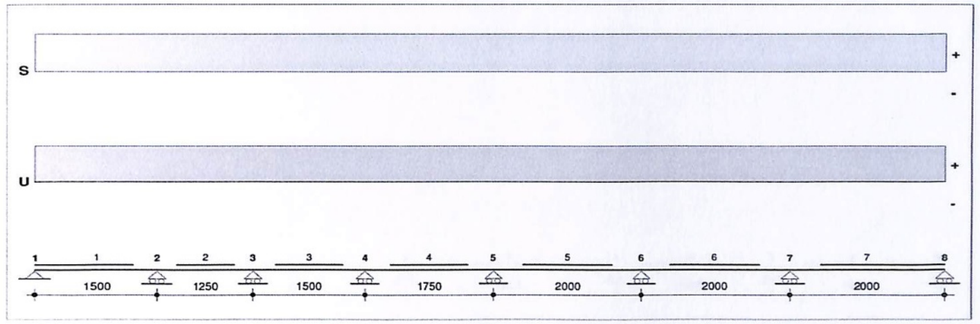
Lehajlás-számítás paraméterel
Lehajlási határ (nyílás): L / 200
Lehajlási határ (konzol): L / 200
Lehajlás típus: Maximális

Eredmények
ULS: 97%
SLS: 49%

Főhajó belső trapézlemez DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\traplemezek\dimroof fájlok\belső_trapleme:

Date: 2014.10.12.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások

Funkció: Tető
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország

Szerkezeti beállítások

Szelvény: LTP 20
Statikai rendszer: Folytatólagos
Elhelyezés: Szokásos (keskeny)
Átfedés: 1 hullám
Csavar
Táv:

Lehajlás-számítás paraméterei

Lehajlási határ (nyílás): L / 200
Lehajlási határ (konzol): L / 200
Lehajlás típus: Maximális

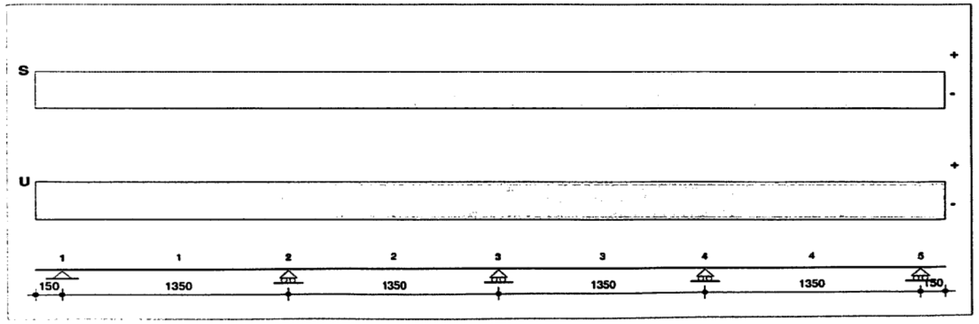
Eredmények

ULS: 38%
SLS: 45%

Mellékhajó fal trapézlemez DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\traplemezek\dimroof fájlok\fal_traplemez_n

Date: 2015.03.10.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások

Funkció: Fal
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország

Szerkezeti beállítások

Szelvény: LVP 20
Statikai rendszer: Folytatólagos
Elhelyezés: Szokásos (széles)
Csavar
Táv:

Lehajlás-számítás paraméterei

Lehajlási határ (nyílás): L / 200
Lehajlási határ (konzol): L / 150
Lehajlás típus: Maximális

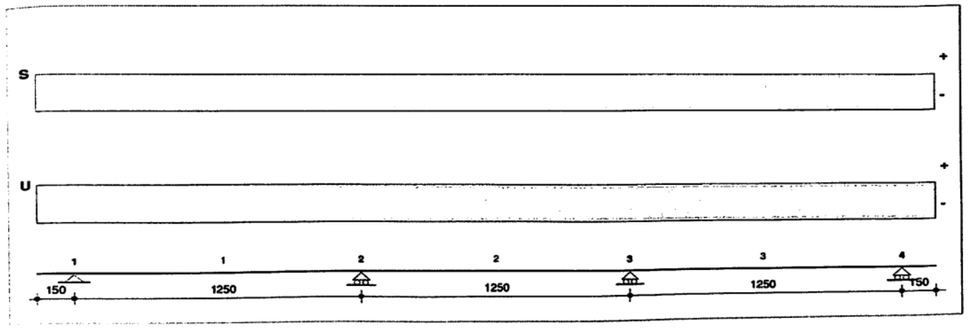
Eredmények

ULS: 32%
SLS: 85%

Főhajó és mellékhajó közti fal trapézlemez DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\traplemezek\dimroof fájlok\fal_traplemez_f

Date: 2015.03.10.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások

Funkció: Fal
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország

Szerkezeti beállítások

Szelvény: LVP 20
Statikai rendszer: Folytatólagos
Elhelyezés: Szokásos (széles)
Csavar
Táv:

Lehajlás-számítás paraméterei

Lehajlási határ (nyílás): L / 200
Lehajlási határ (konzol): L / 150
Lehajlás típus: Maximális

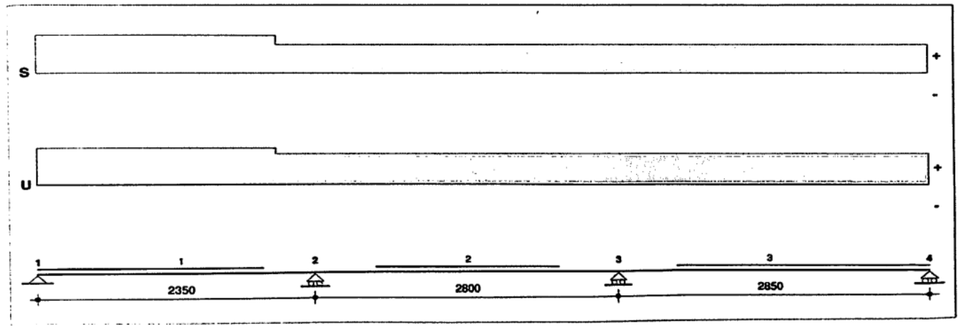
Eredmények

ULS: 33%
SLS: 88%

Mellékhajó födém trapézlemez DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\födém\födém.dim

Date: 2015.04.16.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások

Funkció: Födém
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország

Szerkezeti beállítások

Szelvény: LTP 85
Statikai rendszer: Folytatólagos
Elhelyezés: Szokásos (széles)
Átfedés: 1 hullám
Csavar
Táv:

Lehajlás-számítás paraméterei

Lehajlási határ (nyílás): L / 150
Lehajlási határ (konzol): L / 150
Lehajlás típus: Maximális

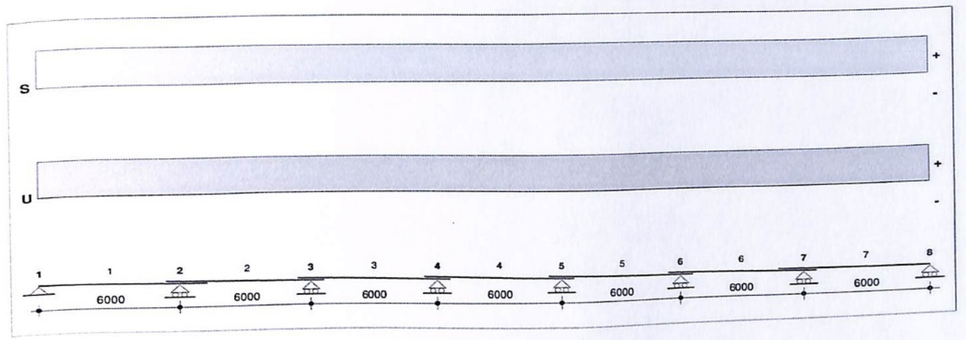
Eredmények

ULS: 91%
SLS: 17%

Főhajó tetőszelemen DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\szelemenek\dimroof fájlok\szelemen_főtart

Date: 2014.10.12.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások

Funkció: Z-gerenda
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország
Megtámasztó rudak: Nincsenek

Szerkezeti beállítások

Szelvény: Z 200
Statikai rendszer: Átfedéses Standard
Gyártó: Magyarország
Oldalsó támasz: Felső öv
Lemez Szelvény: LTP 45 Vastagság: 0,5
Csavar
Táv: Minden második völgyben
Típus Lemez: 4,8 Átfedés: 4,8 Támasz: 5,5

Lehajlás-számítás paraméterei

Lehajlási határ (nyílás): L / 200
Lehajlási határ (konzol): L / 200
Lehajlás típus: Maximális

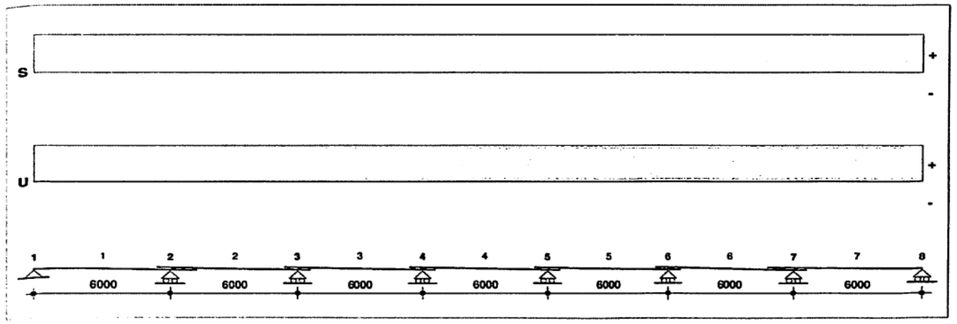
Eredmények

ULS: 99%
SLS: 62%

Mellékhajó tetőszelemen DIMroof dokumentációja:

DIMroof 3.5 - E:\Dokumentumok\Áron\YBL\Diplomamunka\számítás\dimroof\szelemenek\dimroof fájlok\szelemen_mellé

Date: 2014.10.12.
User name: Áron
Computer name: G700



Alapbeállítások

Funkció: Z-gerenda
Szabvány: Eurocode
Ország: Magyarország
Megtámasztó rudak: Nincsenek

Szerkezeti beállítások

Szelvény: Z 250
Statikai rendszer: Átfedéses Standard
Gyártó: Magyarország
Oldalsó támasz: Felső öv
Lemez Szelvény: LTP 45 Vastagság: 0,6

Csavar

Táv: Minden második völgyben
Típus Lemez: 4,8 Átfedés: 4,8 Támasz: 5,5

Lehajlás-számítás paraméterei

Lehajlási határ (nyílás): L / 200
Lehajlási határ (konzol): L / 200
Lehajlás típus: Maximális

Eredmények

ULS: 98%
SLS: 45%

Egyedi kombinációk teheresetenként

	Név	Típus	önsúly	állandó-tető	állandó-fal	gépészet-tető	hóteher	tető-szél- 0°	tető-szél+ 0°	tető-szél- 90°	kereszt-szél 0°
1	totál-tető	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	1,50	0	0,90	0	0
2	totál-födém	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0,75	0	0,90	0	0
3	totál-folyosó	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0
4	totál-öltöző	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0
5	minimum-szél 0°	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	1,50	0	0	0
6	minimum-szél 90°	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	0	0	1,50	0
7	födém+tető	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0,75	0	0,90	0	0
8	folyosó+tető	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0,75	0	0,90	0	0
9	öltöző+tető	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0,75	0	0,90	0	0
10	hó+szélnyomás	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	1,50	0	0,90	0	0
11	1. SLS	SLS Kváziállandó	1,00	1,00	1,00	1,00	0	0	0	0	0
12	2. SLS	SLS Kváziállandó	1,00	1,00	1,00	1,00	0	0	0	0	0

Oktatási változat

	hossz-szél 90°	kereszt-szél 180°	hossz-szél 270°	belső szél+	belső szél-	állandó-födém	gépészet-födém	hasznos-1	hasznos-2	válaszfal	lépcső-ULS
1	0	0	0	0,90	0	1,35	1,35	1,05	1,05	1,50	0,60
2	0	0	0	0,90	0	1,35	1,35	1,50	1,50	1,50	1,00
3	0	0	0	0	0	1,35	1,35	1,50	0	1,50	1,00
4	0	0	0	0	0	1,35	1,35	0	1,50	1,50	0,20
5	0	0	0	0	1,50	1,35	1,35	0	0	1,50	0,20
6	0	0	0	0	1,50	1,35	1,35	0	0	1,50	0,20
7	0	0	0	0,90	0	1,35	1,35	1,50	1,50	1,50	1,00
8	0	0	0	0,90	0	1,35	1,35	1,50	0	1,50	1,00
9	0	0	0	0,90	0	1,35	1,35	0	1,50	1,50	0,20
10	0	0	0	0,90	0	1,35	1,35	0	0	1,50	0,20
11	0	0	0	0	0	1,00	1,00	0,60	0,30	1,00	0
12	0	0	0	0	0	1,00	1,00	0,60	0	1,00	0

	lépcső-SLS	rácsos-ULS+	rácsos-ULS-	rácsos-SLS	imperfekció	Megjegyzés
1	0	1,00	0	0	1,00	
2	0	1,00	0	0	1,00	
3	0	1,00	0	0	1,00	
4	0	1,00	0	0	1,00	
5	0	0	1,00	0	1,00	
6	0	0	1,00	0	1,00	
7	0	1,00	0	0	1,00	
8	0	1,00	0	0	1,00	
9	0	1,00	0	0	1,00	
10	0	1,00	0	0	1,00	
11	1,00	0	0	1,00	0	
12	1,00	0	0	1,00	0	

Egyedi kombinációk teheresetenként

	Név	Típus	önsúly	állandó-tető	állandó-fal	gépészet-tető	hóteher	tető-szél- 0°	tető-szél+ 0°	tető-szél- 90°	kereszt-szél 0°
13	3. SLS	SLS Kváziállandó	1,00	1,00	1,00	1,00	0	0	0	0	0
14	függő. szél 0°	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	1,50
15	függő. szél 90°	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0
16	függő. szél 180°	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0
17	függő. szél 270°	ULS	1,35	1,35	1,35	1,35	0	0	0	0	0
18	totál-födém-kar.	-	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0	0,60	0	0
19	totál-tető-kar.	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0	0,60	0	0

Oktatási változat

	hossz-szél 90°	kereszt-szél 180°	hossz-szél 270°	belső szél+	belső szél-	állandó-födém	gépészet-födém	hasznos-1	hasznos-2	válaszfal	lépcső-ULS
13	0	0	0	0	0	1,00	1,00	0	0,30	1,00	0
14	0	0	0	0	0	1,35	1,35	0	0	1,50	0,20
15	1,50	0	0	0	0	1,35	1,35	0	0	1,50	0,20
16	0	1,50	0	0	0	1,35	1,35	0	0	1,50	0,20
17	0	0	1,50	0	0	1,35	1,35	0	0	1,50	0,20
18	0	0	0	0,60	0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
19	0	0	0	0,60	0	1,00	1,00	0,70	0,70	1,00	1,00

	lépcső-SLS	rácsos-ULS+	rácsos-ULS-	rácsos-SLS	imperfekció	Megjegyzés
13	1,00	0	0	1,00	0	
14	0	0	1,00	0	1,00	
15	0	0	1,00	0	1,00	
16	0	0	1,00	0	1,00	
17	0	0	1,00	0	1,00	
18	0	0,70	0	0	1,00	
19	0	0,70	0	0	1,00	