

Melléklet az Acélszerkezetek folyóirat (MAGÉSZ, Magyar Acélszerkezeti Szövetség) 2022/1. számában megjelent

Öszvéroszlopok tervezése tűzterherre című cikk

4.1. példájához

Körbebetonozott acélszelvényű öszvéroszlop

H-Székesfehérvár, 2022.01.23.

1. Bevezetés

A folyóiratban terjedelmi okok miatt nem volt lehetőség ezen melléklet részletes bemutatására, ott az alapelvek, és az eredmények lettek összefoglalva, amelyek összehasonlításra kerültek a normál hőmérsékleti számítási végeredménnyel.

2. Statikai modell, hatások

Az oszlop mindkét irányban egyik végén csuklós megtámasztású, másik végén befogott.

Szerkezeti magasság: $L = 7,0$ m

Kihajlási hosszak: $L_{o,y} = 0,7 L = 4,90$ m

$L_{o,z} = 0,7 L = 4,90$ m

Nyomóerő, parciális és kombinációs tényezők:

az állandó terhekből $N_G = 800$ kN $\gamma_G = 1,35$

esetleges terhekből $N_Q = 440$ kN, $\gamma_Q = 1,5$ $\psi_1 = 0,7$

A külpontosságok: $e_y = 200$ mm, $e_z = 50$ mm

A nyomóerő teherbírási határállapotban, normál hőmérsékleten:

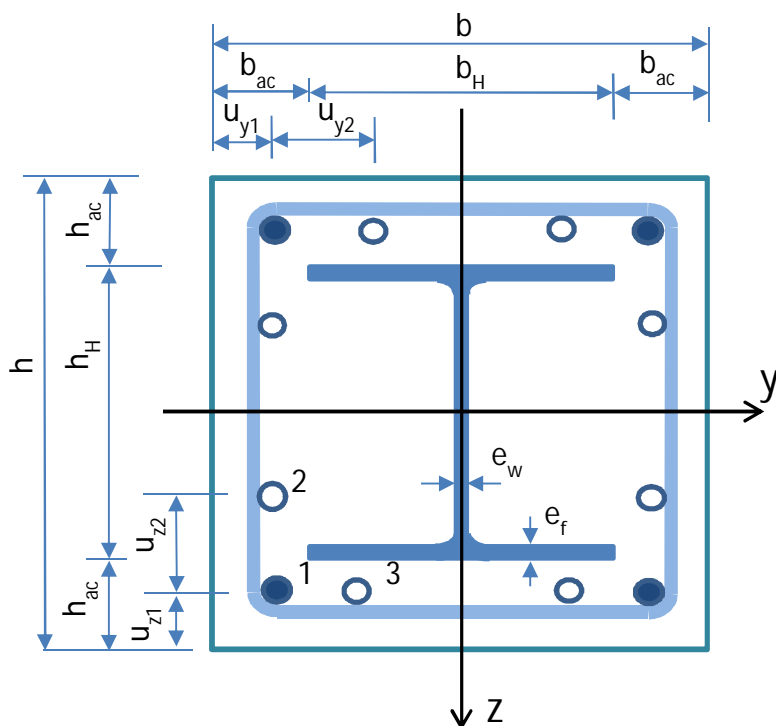
$N_{Ed} = \gamma_G \cdot N_G + \gamma_Q \cdot N_Q = 1,35 \cdot 800 + 1,5 \cdot 440 = 1740$ kN

A nyomóerő magas hőmérsékleten, tűz esetén:

$N_{fi,Ed} = N_G + \psi_1 \cdot N_Q = 800 + 0,7 \cdot 440 = 1108$ kN

Az előírt tűzállósági követelmény: R120

3. Az öszvér oszlop keresztmetszeti méretei



Az acélszelvény: **HEB 260**

$h = b = 400$ mm

$h_H = b_H = 260$ mm

$e_f = 17,5 \cdot$ mm

$e_w = 10,0 \cdot$ mm

a gerincnyak ívének sugara:

$R_{nyak} = 24 \cdot$ mm

hosszirányú betonacél:

$\phi_{s1} = 16 \cdot$ mm

$\phi_{s2} = 0 \cdot$ mm

$\phi_{s3} = 0 \cdot$ mm

$u_{y1} = 40 \cdot$ mm $u_{y2} = 80 \cdot$ mm

$u_{z1} = 40 \cdot$ mm $u_{z2} = 80 \cdot$ mm

4. Anyagjellemzők:

Az anyagok szilárdsági osztálya, határfeszültsége normál hőmérsékleten, parciális tényezője normál hőmérsékleten és tűz esetén, és rugalmassági modulusa normál hőmérsékleten:

Az acélszelvény anyaga S 355

$$f_{ya} = 355 \cdot MPa \quad \gamma_{M,a} = \gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1 \quad \gamma_{M,fi,a} = 1 \quad E_a = 210000 \cdot MPa$$

A betonacél anyaga B 500

$$f_{ys} = 500 \cdot MPa \quad \gamma_{M,s} = 1,15 \quad \gamma_{M,fi,s} = 1 \quad E_s = 210000 \cdot MPa$$

A beton anyaga C30/37

$$f_{ck} = 30 \cdot MPa \quad \gamma_{M,c} = 1,5 \quad \gamma_{M,fi,c} = 1 \quad E_{cm} = 33000 \cdot MPa$$

Az anyagok mechanikai jellemzői tűz esetén a hőmérséklet függvényében változnak. E függvényeket az MSZ EN 1994-1-2 szabvány tartalmazza. Itt nem térünk ki erre. Egyszerűsített számítás esetén a szabvány megengedi, hogy bizonyos hőmérséklet-függő mechanikai jellemzőket konstans átlagértékkel vegyünk figyelembe (pl. a hővezetési tényezőt, vagy a fajhőt). E lehetőséggel nem élünk. A MathCad-ben a mechanikai jellemzőket függvényként definiáltuk. A ciklusok egyszerűbb szervezhetősége érdekében a különböző anyagok függvényeit egy kétváltozós függvénybe integráljuk, így a mechanikai jellemzők a hőmérséklet és az anyagfajta függvényei lesznek.

Pl. a hővezetési tényező: $\lambda_{M(\theta, M)} := \begin{cases} \lambda_a(\theta) & \text{if } M = "a" \\ \lambda_c(\theta) & \text{if } M = "c" \\ \lambda_s(\theta) & \text{if } M = "s" \\ 0,04 \frac{W}{m \cdot K} & \text{if } M = "0" \end{cases}$

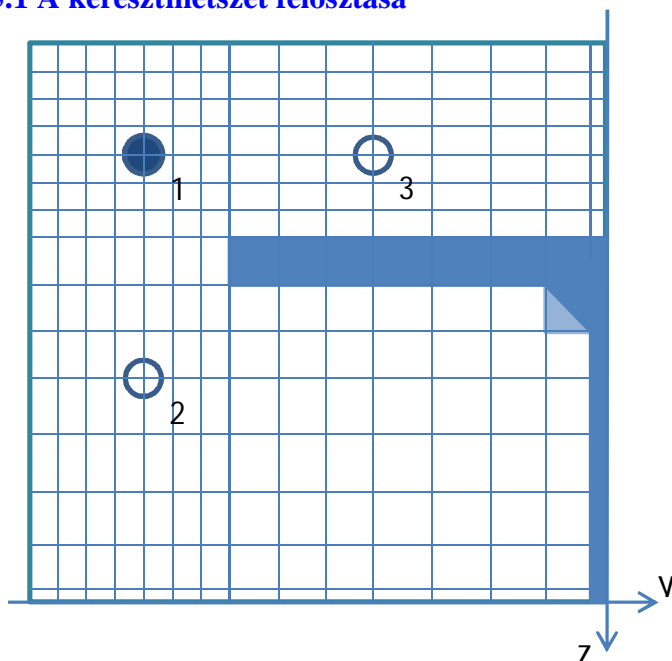
Az anyagjelölések:
 "a" – acél
 "c" – beton
 "s" – betonacél
 "0" – nincs anyag

A beton hővezetési tényezőjének függvényét az MSZ EN 1992-1-2:2013 3.3.3. és MSZ EN 1994-1-2:2013 3.3.2. (8) szerint két határgörbe között kell felvenni. Mindkét szabvány NA5. szerint Magyarországon az alsó határgörbét kell alkalmazni. Az alkalmazandó hővezetési függvény az alsó határgörbétől az előírt tartomány af hányadában van. Tehát $af = 0$ az alsó határgörbét, $af = 1$ a felső határgörbét jelenti.

$$af = 0$$

5. A geometriai jellemzők számítása

5.1 A keresztmetszet felosztása



A kétszeres szimmetria miatt csak keresztmetszet negyedrésszével dolgozunk.

A gerincnyak köríves kiszélesedését területazonos háromszöggel helyettesítjük.

A felosztás módja:

- az oszlop külső felületétől az első betonacél tengelyéig 4 db, egyenlő szélességekkel
- az acélszelvény széléig 3 db, az első sáv szélessége a külsőkével megegyezik, a maradék szélességet felezzük.
- a következő sáv szélesség az acélszelvény övvastagságával egyenlő
- a következő sáv szélesség a gerincnyak helyettesítő háromszögének befogója
- ezután a belső betonacélig megmaradó távolság következik
- a belső betonacél utáni sávok szélessége 20 mm
- az utolsó sáv szélesség a gerincvastagság fele, az utolsó előtti a gerincnyak helyettesítő háromszögének befogója, az ez előtti a 20 mm-es osztás maradéka

Az acélszelvény gerincnyaknál levő köríves kiszélesítés figyelembevétele:

- a hőeloszlás számításánál a helyettesítő háromszög befoglaló négyzetelemének anyaga acél (ez a biztonság javára való közelítés, mivel az acél hővezetése gyorsabb)
- a teherbírás számításánál a befoglaló négyzetelem kiegészítő háromszögét az acélszelvényből kivonjuk, a betonhoz hozzáadjuk

A betontakarás az acélszelvény kontúrján: $h_{ac} := \frac{h - h_H}{2} = 70 \text{ mm}$ $b_{ac} := \frac{b - b_H}{2} = 70 \text{ mm}$

A betonmag szélessége az acélszelvény gerince mellett: $b_c := \frac{b - e_w}{2} = 195 \text{ mm}$

A belső betonacélok távolsága az acélszelvény gerincétől, illetve az y tengelytől:

$$u_{y3} := b_c - u_{y1} - u_{y2} = 75 \text{ mm} \quad u_{z3} := \frac{h}{2} - u_{z1} - u_{z2} = 80 \text{ mm}$$

A gerincnyak kiszélesedésének területe: $A_{nyak} := \left(1 - \frac{\pi}{4}\right) \cdot R_{nyak}^2 = 124 \text{ mm}^2$

A helyettesítő háromszög oldalhossza: $a_R := \sqrt{2 \cdot A_{nyak}} = 15.7 \text{ mm}$

A belső betonacél utáni osztásköz: $\Delta_{yz} := 20 \text{ mm}$

Az elemek száma a két irányban:

$$n_y := \text{ceil}\left(\frac{u_{y3} - a_R}{\Delta_{yz}} - 10^{-5}\right) + 12 = 15 \quad n_z := \text{ceil}\left(\frac{u_{z3} - a_R - \frac{e_w}{2}}{\Delta_{yz}} - 10^{-5}\right) + 12 = 15$$

Az anyagmátrix (az elemek anyagát azok kezdőbetűivel jelöljük):

$$M := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n_z - 1 \\ \quad \text{for } j \in 0..n_y - 1 \\ \quad \quad M_{i,j} \leftarrow "c" \\ \text{for } i \in 8..n_z - 1 \\ \quad M_{i,n_y-1} \leftarrow "a" \\ \text{for } j \in 7..n_y - 1 \\ \quad M_{7,j} \leftarrow "a" \\ M_{8,n_y-2} \leftarrow "a" \end{cases} \quad M = \begin{pmatrix} "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" & "a" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" & "a" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" \\ "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "c" & "a" \end{pmatrix}$$

Az elemek oldalhosszai:

$$\begin{array}{l}
 \Delta y := \left\{ \begin{array}{l}
 \text{for } j \in 0..4 \\
 \Delta y_j \leftarrow \frac{u_{y1}}{4} \\
 \text{for } j \in 5..6 \\
 \Delta y_j \leftarrow \frac{b_{ac} - u_{y1} - \Delta y_4}{2} \\
 \Delta y_7 \leftarrow e_f \\
 \Delta y_8 \leftarrow a_R \\
 \Delta y_9 \leftarrow u_{y1} + u_{y2} - \sum_{j=0}^8 \Delta y_j \\
 \text{for } j \in 10..n_y - 4 \\
 \Delta y_j \leftarrow \Delta y_z \\
 \Delta y_{n_y-3} \leftarrow b_c - a_R - \sum_{j=0}^{n_y-4} \Delta y_j \\
 \Delta y_{n_y-2} \leftarrow a_R \\
 \Delta y_{n_y-1} \leftarrow \frac{e_w}{2}
 \end{array} \right.
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{l}
 \Delta z := \left\{ \begin{array}{l}
 \text{for } i \in 0..4 \\
 \Delta z_i \leftarrow \frac{u_{z1}}{4} \\
 \text{for } i \in 5..6 \\
 \Delta z_i \leftarrow \frac{h_{ac} - u_{z1} - \Delta z_4}{2} \\
 \Delta z_7 \leftarrow e_f \\
 \Delta z_8 \leftarrow a_R \\
 \Delta z_9 \leftarrow u_{z1} + u_{z2} - \sum_{i=0}^8 \Delta z_i \\
 \text{for } i \in 10..n_z - 4 \\
 \Delta z_i \leftarrow \Delta y_z \\
 \Delta z_{n_z-3} \leftarrow \frac{h}{2} - \frac{e_w}{2} - a_R - \sum_{i=0}^{n_z-4} \Delta z_i \\
 \Delta z_{n_z-2} \leftarrow a_R \\
 \Delta z_{n_z-1} \leftarrow \frac{e_w}{2}
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

5.2 Az elemek keresztmetszeti területe

$$Ar := \text{for } i \in 0..n_y - 1$$

$$\text{for } j \in 0..n_z - 1$$

$$Ar_{i,i} \leftarrow \Delta y_i \cdot \Delta z_i$$

$$\Delta z = \begin{pmatrix} 10.0 \\ 10.0 \\ 10.0 \\ 10.0 \\ 10.0 \\ 10.0 \\ 10.0 \\ 10.0 \\ 17.5 \\ 15.7 \\ 16.8 \\ 20.0 \\ 20.0 \\ 19.3 \\ 15.7 \\ 5.0 \end{pmatrix} \cdot \text{mm} \qquad
 Ar = \begin{pmatrix} 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 175 & 157 & 168 & 200 & 200 & 193 & 157 & 50 \\
 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 175 & 157 & 168 & 200 & 200 & 193 & 157 & 50 \\
 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 175 & 157 & 168 & 200 & 200 & 193 & 157 & 50 \\
 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 175 & 157 & 168 & 200 & 200 & 193 & 157 & 50 \\
 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 175 & 157 & 168 & 200 & 200 & 193 & 157 & 50 \\
 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 175 & 157 & 168 & 200 & 200 & 193 & 157 & 50 \\
 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 100 & 175 & 157 & 168 & 200 & 200 & 193 & 157 & 50 \\
 175 & 175 & 175 & 175 & 175 & 175 & 175 & 175 & 306 & 275 & 294 & 350 & 350 & 337 & 275 & 88 \\
 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 275 & 247 & 264 & 314 & 314 & 303 & 247 & 79 \\
 168 & 168 & 168 & 168 & 168 & 168 & 168 & 168 & 294 & 264 & 281 & 336 & 336 & 323 & 264 & 84 \\
 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 350 & 314 & 336 & 400 & 400 & 386 & 314 & 100 \\
 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 200 & 350 & 314 & 336 & 400 & 400 & 386 & 314 & 100 \\
 193 & 193 & 193 & 193 & 193 & 193 & 193 & 193 & 337 & 303 & 323 & 386 & 386 & 372 & 303 & 96 \\
 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 157 & 275 & 247 & 264 & 314 & 314 & 303 & 247 & 79 \\
 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 50 & 88 & 79 & 84 & 100 & 100 & 96 & 79 & 25 \end{pmatrix} \cdot \text{mm}^2$$

Az acélszelvény: $A_a := 2 \cdot b_H \cdot e_f + (h_H - 2 \cdot e_f) \cdot e_w + 4 \cdot A_{nyak} = 11844 \text{mm}^2$

A beton: $A_c := A_{km} - A_a = 148156 \text{mm}^2$

A betonacélok: $A_{s1} := \phi_{s1}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 201 \text{mm}^2$ $A_{s2} := \phi_{s2}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0 \text{mm}^2$ $A_{s3} := \phi_{s3}^2 \cdot \frac{\pi}{4} = 0 \text{mm}^2$

$A_s := 4 \cdot (A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}) = 804 \text{mm}^2$

A betonacél-hányad: $\mu_s := \frac{A_s}{A_c} = 0.543\%$

5.2 Az elemek inerciája

Az elemek középpontjainak távolsága a tengelyektől:

$$y_m := \begin{cases} y_{m0} \leftarrow \frac{b - \Delta y_0}{2} \\ \text{for } i \in 1..n_y - 1 \\ y_{mi} \leftarrow y_{m_{i-1}} - \frac{\Delta y_{i-1} + \Delta y_i}{2} \end{cases} \quad z_m := \begin{cases} z_{m0} \leftarrow \frac{h - \Delta z_0}{2} \\ \text{for } i \in 1..n_z - 1 \\ z_{mi} \leftarrow z_{m_{i-1}} - \frac{\Delta z_{i-1} + \Delta z_i}{2} \end{cases}$$

Az elemek inerciája a két tengelyre:

$I_y := \text{for } i \in 0..n_y - 1$

$\text{for } j \in 0..n_z - 1$

$I_{y,j,i} \leftarrow \frac{1}{12} \cdot \Delta y_i \cdot (\Delta z_j)^3 + A_{r,j,i} \cdot (z_{mj})^2$

$I_z := \text{for } i \in 0..n_z - 1$

$\text{for } j \in 0..n_y - 1$

$I_{z,i,j} \leftarrow \frac{1}{12} \cdot \Delta z_i \cdot (\Delta y_j)^3 + A_{r,i,j} \cdot (y_{mj})^2$

A gerincnyak kiszélesedése (az ábrán a világoskék háromszög):

$z_{mnyak} := \frac{1}{2} \cdot h_H - e_f - \frac{2}{3} \cdot a_R = 102.0 \text{mm}$

$y_{mnyak} := \frac{1}{2} \cdot e_w + \frac{2}{3} \cdot a_R = 15.5 \text{mm}$

$I_{ynyak} := \frac{1}{36} \cdot a_R^4 + A_{nyak} \cdot z_{mnyak}^2 = 128.8 \text{cm}^4$

$I_{znyak} := \frac{1}{36} \cdot a_R^4 + A_{nyak} \cdot y_{mnyak}^2 = 3.1 \text{cm}^4$

A betonacélok:

$I_{s,y,1} := \left(\frac{\phi_{s1}}{2}\right)^4 \cdot \frac{\pi}{4} + A_{s1} \cdot \left(\frac{h}{2} - u_{z1}\right)^2 = 515.0 \text{cm}^4$

$I_{s,z,1} := \left(\frac{\phi_{s1}}{2}\right)^4 \cdot \frac{\pi}{4} + A_{s1} \cdot \left(\frac{b}{2} - u_{y1}\right)^2 = 515.0 \text{cm}^4$

$I_{s,y,2} := \left(\frac{\phi_{s2}}{2}\right)^4 \cdot \frac{\pi}{4} + A_{s2} \cdot \left(\frac{h}{2} - u_{z1} - u_{z2}\right)^2 = 0.0 \text{cm}^4$

$I_{s,z,2} := \left(\frac{\phi_{s2}}{2}\right)^4 \cdot \frac{\pi}{4} + A_{s2} \cdot \left(\frac{b}{2} - u_{y1}\right)^2 = 0.0 \text{cm}^4$

$I_{s,y,3} := \left(\frac{\phi_{s3}}{2}\right)^4 \cdot \frac{\pi}{4} + A_{s3} \cdot \left(\frac{h}{2} - u_{z1}\right)^2 = 0.0 \text{cm}^4$

$I_{s,z,3} := \left(\frac{\phi_{s3}}{2}\right)^4 \cdot \frac{\pi}{4} + A_{s3} \cdot \left(\frac{b}{2} - u_{y1} - u_{y2}\right)^2 = 0.0 \text{cm}^4$

$I_{s,y,1} + I_{s,y,2} + I_{s,y,3} = 515.0 \text{cm}^4$

$I_{s,z,1} + I_{s,z,2} + I_{s,z,3} = 515.0 \text{cm}^4$

$$\begin{matrix}
 \left(\begin{matrix} 195 \\ 185 \\ 175 \\ 165 \\ 155 \\ 145 \\ 135 \\ 121 \\ 105 \\ 88 \\ 70 \\ 50 \\ 30 \\ 13 \\ 2 \end{matrix} \right) \cdot \text{mm} \\
 \text{zm} =
 \end{matrix}
 \begin{matrix}
 \left(\begin{matrix} 3.80 & 3.80 & 3.80 & 3.80 & 3.80 & 3.80 & 3.80 & 3.80 & 6.66 & 5.98 & 6.38 & 7.61 & 7.61 & 7.33 & 5.98 & 1.90 \\
 3.42 & 3.42 & 3.42 & 3.42 & 3.42 & 3.42 & 3.42 & 3.42 & 5.99 & 5.38 & 5.74 & 6.85 & 6.85 & 6.60 & 5.38 & 1.71 \\
 3.06 & 3.06 & 3.06 & 3.06 & 3.06 & 3.06 & 3.06 & 3.06 & 5.36 & 4.82 & 5.14 & 6.13 & 6.13 & 5.91 & 4.82 & 1.53 \\
 2.72 & 2.72 & 2.72 & 2.72 & 2.72 & 2.72 & 2.72 & 2.72 & 4.77 & 4.28 & 4.57 & 5.45 & 5.45 & 5.25 & 4.28 & 1.36 \\
 2.40 & 2.40 & 2.40 & 2.40 & 2.40 & 2.40 & 2.40 & 2.40 & 4.21 & 3.78 & 4.03 & 4.81 & 4.81 & 4.63 & 3.78 & 1.20 \\
 2.10 & 2.10 & 2.10 & 2.10 & 2.10 & 2.10 & 2.10 & 2.10 & 3.68 & 3.31 & 3.53 & 4.21 & 4.21 & 4.05 & 3.31 & 1.05 \\
 1.82 & 1.82 & 1.82 & 1.82 & 1.82 & 1.82 & 1.82 & 1.82 & 3.19 & 2.87 & 3.06 & 3.65 & 3.65 & 3.51 & 2.87 & 0.91 \\
 2.58 & 2.58 & 2.58 & 2.58 & 2.58 & 2.58 & 2.58 & 2.58 & 4.51 & 4.05 & 4.32 & 5.15 & 5.15 & 4.97 & 4.05 & 1.29 \\
 1.72 & 1.72 & 1.72 & 1.72 & 1.72 & 1.72 & 1.72 & 1.72 & 3.02 & 2.71 & 2.89 & 3.45 & 3.45 & 3.32 & 2.71 & 0.86 \\
 1.31 & 1.31 & 1.31 & 1.31 & 1.31 & 1.31 & 1.31 & 1.31 & 2.30 & 2.07 & 2.21 & 2.63 & 2.63 & 2.53 & 2.07 & 0.66 \\
 0.99 & 0.99 & 0.99 & 0.99 & 0.99 & 0.99 & 0.99 & 0.99 & 1.73 & 1.55 & 1.66 & 1.97 & 1.97 & 1.90 & 1.55 & 0.49 \\
 0.51 & 0.51 & 0.51 & 0.51 & 0.51 & 0.51 & 0.51 & 0.51 & 0.89 & 0.80 & 0.85 & 1.01 & 1.01 & 0.98 & 0.80 & 0.25 \\
 0.18 & 0.18 & 0.18 & 0.18 & 0.18 & 0.18 & 0.18 & 0.18 & 0.32 & 0.29 & 0.31 & 0.37 & 0.37 & 0.35 & 0.29 & 0.09 \\
 0.03 & 0.03 & 0.03 & 0.03 & 0.03 & 0.03 & 0.03 & 0.03 & 0.05 & 0.05 & 0.05 & 0.06 & 0.06 & 0.06 & 0.05 & 0.01 \\
 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \end{matrix} \right) \cdot 10^6 \cdot \text{mm}^4 \\
 \text{Iy} =
 \end{matrix}$$

$$\text{ym}^T = (195 \ 185 \ 175 \ 165 \ 155 \ 145 \ 135 \ 121 \ 105 \ 88 \ 70 \ 50 \ 30 \ 13 \ 2) \cdot \text{mm}$$

$$\begin{matrix}
 \left(\begin{matrix} 3.80 & 3.42 & 3.06 & 2.72 & 2.40 & 2.10 & 1.82 & 2.58 & 1.72 & 1.31 & 0.99 & 0.51 & 0.18 & 0.03 & 0.00 \\
 3.80 & 3.42 & 3.06 & 2.72 & 2.40 & 2.10 & 1.82 & 2.58 & 1.72 & 1.31 & 0.99 & 0.51 & 0.18 & 0.03 & 0.00 \\
 3.80 & 3.42 & 3.06 & 2.72 & 2.40 & 2.10 & 1.82 & 2.58 & 1.72 & 1.31 & 0.99 & 0.51 & 0.18 & 0.03 & 0.00 \\
 3.80 & 3.42 & 3.06 & 2.72 & 2.40 & 2.10 & 1.82 & 2.58 & 1.72 & 1.31 & 0.99 & 0.51 & 0.18 & 0.03 & 0.00 \\
 3.80 & 3.42 & 3.06 & 2.72 & 2.40 & 2.10 & 1.82 & 2.58 & 1.72 & 1.31 & 0.99 & 0.51 & 0.18 & 0.03 & 0.00 \\
 3.80 & 3.42 & 3.06 & 2.72 & 2.40 & 2.10 & 1.82 & 2.58 & 1.72 & 1.31 & 0.99 & 0.51 & 0.18 & 0.03 & 0.00 \\
 3.80 & 3.42 & 3.06 & 2.72 & 2.40 & 2.10 & 1.82 & 2.58 & 1.72 & 1.31 & 0.99 & 0.51 & 0.18 & 0.03 & 0.00 \\
 6.66 & 5.99 & 5.36 & 4.77 & 4.21 & 3.68 & 3.19 & 4.51 & 3.02 & 2.30 & 1.73 & 0.89 & 0.32 & 0.05 & 0.00 \\
 5.98 & 5.38 & 4.82 & 4.28 & 3.78 & 3.31 & 2.87 & 4.05 & 2.71 & 2.07 & 1.55 & 0.80 & 0.29 & 0.05 & 0.00 \\
 6.38 & 5.74 & 5.14 & 4.57 & 4.03 & 3.53 & 3.06 & 4.32 & 2.89 & 2.21 & 1.66 & 0.85 & 0.31 & 0.05 & 0.00 \\
 7.61 & 6.85 & 6.13 & 5.45 & 4.81 & 4.21 & 3.65 & 5.15 & 3.45 & 2.63 & 1.97 & 1.01 & 0.37 & 0.06 & 0.00 \\
 7.61 & 6.85 & 6.13 & 5.45 & 4.81 & 4.21 & 3.65 & 5.15 & 3.45 & 2.63 & 1.97 & 1.01 & 0.37 & 0.06 & 0.00 \\
 7.33 & 6.60 & 5.91 & 5.25 & 4.63 & 4.05 & 3.51 & 4.97 & 3.32 & 2.53 & 1.90 & 0.98 & 0.35 & 0.06 & 0.00 \\
 5.98 & 5.38 & 4.82 & 4.28 & 3.78 & 3.31 & 2.87 & 4.05 & 2.71 & 2.07 & 1.55 & 0.80 & 0.29 & 0.05 & 0.00 \\
 1.90 & 1.71 & 1.53 & 1.36 & 1.20 & 1.05 & 0.91 & 1.29 & 0.86 & 0.66 & 0.49 & 0.25 & 0.09 & 0.01 & 0.00 \end{matrix} \right) \cdot 10^6 \cdot \text{mm}^4 \\
 \text{Iz} =
 \end{matrix}$$

6. A keresztmetszet hőeloszlása

Az elemek hőmérsékletei a középpontban vannak értelmezve.

Egy időlépcsőben a felszíni elemek fölvesznek egy hőmennyiséget, ezáltal a hőmérsékletük megemelkedik. A konvekció és a sugárzás által fölvevett hő (MSZ EN 1991-1-2:2005 3.1.) az első felületi réteg tárolja.

Ezt a hőmennyiséget az időlépcsőn belül hagyjuk szétterjedni az összes rétegen úgy, hogy a belső ciklusban egy belső időlépcsőt használunk, melynek hossza az időlépcső osztva a rétegek számával (a két irányú felosztásszám közül a nagyobbik). A lépések a hővezetés és az energia-megmaradás törvényét követik, vagyis a tárolt hőmennyiség egyenlő a belépő és a kilépő hőmennyiség különbségével. A szimmetriatengelyeken keresztül nincs hőáramlás (ha lenne, az sértené a szimmetriát), ezért a tengelyekkel érintkező elemek nem adnak le hőt.

A felületi hőmérsékletet lineáris extrapolációval számoljuk a felületi elem és a mögötte levő elem hő mérsékletéből.

Az elemek kezdeti hő mérséklete: $\theta := \text{for } i \in 0..n_y - 1$
 $\text{for } j \in 0..n_z - 1$
 $\theta_{j,i} \leftarrow 20^\circ\text{C}$

A hőfejlődés számítási időlépcsője $\Delta t := 5\text{s}$, a belső időciklus $nr := \max(n_z, n_y) = 15$

$\theta := \text{for } n \in 1.. \frac{t_{fi}}{\Delta t}$

$\text{for } i \in 0..n_z - 1$
 $\theta_{z, \text{fel}_i} \leftarrow \frac{(2\Delta y_0 + \Delta y_1)\theta_{i,0} - \Delta y_0 \theta_{i,1}}{\Delta y_0 + \Delta y_1}$ felületi hő mérséklet a magasság mentén

$\text{for } j \in 0..n_y - 1$
 $\theta_{y, \text{fel}_j} \leftarrow \frac{(2\Delta z_0 + \Delta z_1)\theta_{0,j} - \Delta z_0 \theta_{1,j}}{\Delta z_0 + \Delta z_1}$ felületi hő mérséklet a szélesség mentén

$\text{for } i \in 0..n_z - 1$
 $\theta_{i,0} \leftarrow \theta_{i,0} + \frac{1}{\rho M(\theta_{i,0}, M_{i,0}) \cdot c_M(\theta_{i,0}, M_{i,0}) \cdot \Delta y_0} \cdot \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left[(\theta_g(n \cdot \Delta t) + 273)^4 - (\theta_{z, \text{fel}_i} + 273)^4 \right] \cdot K^3 \cdot \Delta t$ hőfelvétel y - sugárzás
 $\theta_{i,0} \leftarrow \theta_{i,0} + \frac{1}{\rho M(\theta_{i,0}, M_{i,0}) \cdot c_M(\theta_{i,0}, M_{i,0}) \cdot \Delta y_0} \cdot \alpha_c \cdot (\theta_g(n \cdot \Delta t) - \theta_{z, \text{fel}_i}) \cdot \Delta t$ hőfelvétel y - konvekció

$\text{for } j \in 0..n_y - 1$
 $\theta_{0,j} \leftarrow \theta_{0,j} + \frac{1}{\rho M(\theta_{0,j}, M_{0,j}) \cdot c_M(\theta_{0,j}, M_{0,j}) \cdot \Delta z_0} \cdot \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left[(\theta_g(n \cdot \Delta t) + 273)^4 - (\theta_{y, \text{fel}_j} + 273)^4 \right] \cdot K^3 \cdot \Delta t$ hőfelvétel z - sugárzás
 $\theta_{0,j} \leftarrow \theta_{0,j} + \frac{1}{\rho M(\theta_{0,j}, M_{0,j}) \cdot c_M(\theta_{0,j}, M_{0,j}) \cdot \Delta z_0} \cdot \alpha_c \cdot (\theta_g(n \cdot \Delta t) - \theta_{y, \text{fel}_j}) \cdot \Delta t$ hőfelvétel z - konvekció

$\text{for } nb \in 1..nr$
 $\text{for } i \in 0..n_z - 1$
 $\text{for } j \in 0..n_y - 1$
 $\theta_{i,j} \leftarrow \theta_{i,j} + \frac{1}{\rho M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot c_M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot \Delta y_j} \cdot \frac{\theta_{i,j-1} - \theta_{i,j}}{\frac{\Delta y_{j-1}}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i,j-1}, M_{i,j-1})} + \frac{\Delta y_j}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i,j}, M_{i,j})}} \cdot \frac{\Delta t}{nr}$ if $j > 0$ hővezetés - hőfelvétel y

$\text{for } j \in 0..n_y - 1$
 $\text{for } i \in 0..n_z - 1$
 $\theta_{i,j} \leftarrow \theta_{i,j} + \frac{1}{\rho M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot c_M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot \Delta z_i} \cdot \frac{\theta_{i-1,j} - \theta_{i,j}}{\frac{\Delta z_{i-1}}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i-1,j}, M_{i-1,j})} + \frac{\Delta z_i}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i,j}, M_{i,j})}} \cdot \frac{\Delta t}{nr}$ if $i > 0$ hővezetés - hőfelvétel z

$\text{for } i \in 0..n_z - 1$
 $\text{for } j \in 0..n_y - 1$
 $\theta_{i,j} \leftarrow \theta_{i,j} - \frac{1}{\rho M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot c_M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot \Delta y_j} \cdot \frac{\theta_{i,j} - \theta_{i,j+1}}{\frac{\Delta y_j}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i,j}, M_{i,j})} + \frac{\Delta y_{j+1}}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i,j+1}, M_{i,j+1})}} \cdot \frac{\Delta t}{nr}$ if $j < n_y - 1$ hővezetés - hőleadás y

$\text{for } j \in 0..n_y - 1$
 $\text{for } i \in 0..n_z - 1$
 $\theta_{i,j} \leftarrow \theta_{i,j} - \frac{1}{\rho M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot c_M(\theta_{i,j}, M_{i,j}) \cdot \Delta z_i} \cdot \frac{\theta_{i,j} - \theta_{i+1,j}}{\frac{\Delta z_i}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i,j}, M_{i,j})} + \frac{\Delta z_{i+1}}{2 \cdot \lambda_M(\theta_{i+1,j}, M_{i+1,j})}} \cdot \frac{\Delta t}{nr}$ if $i < n_z - 1$ hővezetés - hőleadás z

A gerincnyak kiszélesedésének hő mérséklete: $\theta_{nyak} := \theta_{8, n_y - 2} = 218^\circ\text{C}$

$$\theta = \begin{pmatrix} 1037 & 1019 & 1004 & 990 & 979 & 969 & 961 & 951 & 944 & 940 & 937 & 935 & 934 & 934 & 933 \\ 1019 & 975 & 936 & 902 & 874 & 849 & 828 & 805 & 788 & 777 & 770 & 765 & 763 & 762 & 762 \\ 1004 & 936 & 877 & 826 & 782 & 745 & 714 & 680 & 654 & 639 & 629 & 623 & 620 & 618 & 618 \\ 991 & 903 & 826 & 761 & 704 & 657 & 617 & 573 & 542 & 525 & 514 & 507 & 502 & 500 & 500 \\ 979 & 874 & 783 & 705 & 638 & 581 & 533 & 480 & 447 & 430 & 418 & 411 & 406 & 403 & 403 \\ 970 & 850 & 747 & 659 & 583 & 516 & 459 & 396 & 365 & 350 & 340 & 332 & 326 & 323 & 322 \\ 962 & 831 & 718 & 621 & 537 & 462 & 394 & 314 & 293 & 282 & 274 & 266 & 260 & 255 & 254 \\ 953 & 809 & 686 & 581 & 489 & 405 & 320 & 265 & 259 & 252 & 245 & 237 & 230 & 224 & 223 \\ 947 & 794 & 665 & 556 & 466 & 390 & 328 & 268 & 240 & 224 & 213 & 207 & 208 & 218 & 215 \\ 943 & 785 & 652 & 543 & 453 & 379 & 320 & 258 & 212 & 183 & 165 & 159 & 167 & 190 & 197 \\ 941 & 779 & 644 & 533 & 443 & 369 & 309 & 243 & 188 & 152 & 131 & 126 & 135 & 160 & 177 \\ 939 & 776 & 639 & 527 & 435 & 361 & 300 & 232 & 173 & 135 & 114 & 110 & 118 & 142 & 161 \\ 938 & 774 & 636 & 523 & 431 & 356 & 294 & 226 & 165 & 127 & 108 & 104 & 111 & 133 & 151 \\ 938 & 773 & 635 & 522 & 429 & 354 & 292 & 223 & 162 & 125 & 106 & 102 & 108 & 129 & 147 \\ 938 & 773 & 635 & 522 & 429 & 354 & 292 & 223 & 162 & 124 & 106 & 102 & 108 & 129 & 146 \end{pmatrix} \cdot ^\circ\text{C}$$

A betonacélok hőmérséklete:

$$\theta_{s,1} := \frac{\theta_{3,3} + \theta_{3,4} + \theta_{4,3} + \theta_{4,4}}{4} = 702^\circ\text{C}$$

$$\theta_{s,2} := \frac{\Delta z_{10} \cdot \Delta y_4 \cdot \theta_{9,3} + \Delta z_{10} \cdot \Delta y_3 \cdot \theta_{9,4} + \Delta z_9 \cdot \Delta y_4 \cdot \theta_{10,3} + \Delta z_9 \cdot \Delta y_3 \cdot \theta_{10,4}}{(\Delta y_3 + \Delta y_4) \cdot (\Delta z_9 + \Delta z_{10})} = 493^\circ\text{C}$$

$$\theta_{s,3} := \frac{\Delta z_4 \cdot \Delta y_{10} \cdot \theta_{3,9} + \Delta z_4 \cdot \Delta y_9 \cdot \theta_{3,10} + \Delta z_3 \cdot \Delta y_{10} \cdot \theta_{4,9} + \Delta z_3 \cdot \Delta y_9 \cdot \theta_{4,10}}{(\Delta y_9 + \Delta y_{10}) \cdot (\Delta z_3 + \Delta z_4)} = 472^\circ\text{C}$$

7. A teherbírás számítása az MSZ-EN 1994-1-2, 4.3.5.1. szerint

7.1. A határfeszültségek

Acélszelvény és beton: $f_{\theta} := \text{for } i \in 0..n_z - 1$

for $j \in 0..n_y - 1$

$$f_{\theta_{i,j}} \leftarrow f_{M,\theta}(\theta_{i,j}, M_{i,j})$$

$$f_{\theta} = \begin{pmatrix} 0.87 & 1.03 & 1.17 & 1.31 & 1.45 & 1.57 & 1.67 & 1.78 & 1.87 & 1.92 & 1.96 & 1.98 & 1.99 & 2.00 & 2.00 \\ 1.03 & 1.50 & 1.97 & 2.37 & 2.95 & 3.47 & 3.91 & 4.39 & 5.06 & 5.54 & 5.86 & 6.05 & 6.16 & 6.21 & 6.22 \\ 1.17 & 1.97 & 2.88 & 3.95 & 5.30 & 6.97 & 8.37 & 9.91 & 11.06 & 11.73 & 12.17 & 12.44 & 12.60 & 12.68 & 12.69 \\ 1.31 & 2.37 & 3.95 & 6.28 & 8.81 & 10.96 & 12.75 & 14.72 & 16.10 & 16.87 & 17.38 & 17.69 & 17.89 & 17.99 & 18.00 \\ 1.45 & 2.94 & 5.26 & 8.77 & 11.78 & 14.35 & 16.53 & 18.90 & 20.38 & 21.16 & 21.67 & 22.01 & 22.23 & 22.36 & 22.38 \\ 1.56 & 3.44 & 6.88 & 10.86 & 14.29 & 17.26 & 19.83 & 22.62 & 23.55 & 24.01 & 24.31 & 24.54 & 24.72 & 24.82 & 24.84 \\ 1.66 & 3.85 & 8.21 & 12.57 & 16.35 & 19.70 & 22.67 & 25.07 & 25.72 & 26.03 & 26.28 & 26.51 & 26.70 & 26.85 & 26.88 \\ 1.76 & 4.30 & 9.64 & 14.37 & 18.50 & 22.29 & 24.91 & 355.00 & 355.00 & 355.00 & 355.00 & 355.00 & 355.00 & 355.00 & 355.00 \\ 1.84 & 4.76 & 10.60 & 15.46 & 19.54 & 22.81 & 24.67 & 26.46 & 27.29 & 27.77 & 28.11 & 28.30 & 28.27 & 355.00 & 355.00 \\ 1.88 & 5.16 & 11.14 & 16.07 & 20.12 & 23.12 & 24.90 & 26.77 & 28.14 & 28.75 & 29.02 & 29.11 & 29.00 & 28.66 & 355.00 \\ 1.91 & 5.43 & 11.52 & 16.51 & 20.58 & 23.43 & 25.23 & 27.20 & 28.68 & 29.22 & 29.53 & 29.61 & 29.47 & 29.10 & 355.00 \\ 1.93 & 5.59 & 11.75 & 16.79 & 20.91 & 23.68 & 25.51 & 27.54 & 28.91 & 29.47 & 29.78 & 29.85 & 29.73 & 29.36 & 355.00 \\ 1.94 & 5.68 & 11.88 & 16.95 & 21.10 & 23.82 & 25.67 & 27.73 & 29.03 & 29.59 & 29.88 & 29.94 & 29.84 & 29.50 & 355.00 \\ 1.94 & 5.72 & 11.94 & 17.02 & 21.17 & 23.88 & 25.74 & 27.81 & 29.07 & 29.63 & 29.91 & 29.97 & 29.88 & 29.56 & 355.00 \\ 1.94 & 5.72 & 11.94 & 17.03 & 21.19 & 23.89 & 25.75 & 27.82 & 29.08 & 29.63 & 29.92 & 29.97 & 29.88 & 29.57 & 355.00 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A beton határfeszültsége a gerincnyak kiszélesedésénél: $f_{\theta.nyak} := f_{c,\theta}(\theta_{nyak}) = 27.96 \text{ MPa}$

A betonacélok határfeszültsége:

$$\begin{aligned} f_{s,\theta.1} &:= f_{ys,\theta}(\theta_{s,1}) = 59.9 \text{ MPa} \\ f_{s,\theta.2} &:= f_{ys,\theta}(\theta_{s,2}) = 344.0 \text{ MPa} \\ f_{s,\theta.3} &:= f_{ys,\theta}(\theta_{s,3}) = 372.4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

A beton határfeszültsége a betonacélok helyén:

$$\begin{aligned} f_{\theta.1} &:= f_{c,\theta}(\theta_{s,1}) = 8.91 \text{ MPa} \\ f_{\theta.2} &:= f_{c,\theta}(\theta_{s,2}) = 18.30 \text{ MPa} \\ f_{\theta.3} &:= f_{c,\theta}(\theta_{s,3}) = 19.25 \text{ MPa} \end{aligned}$$

7.2. Az acél és a betonacél rugalmassági modulusa, a betonelemek szelő modulusa:

$E_{\theta} := \text{for } i \in 0..n_z - 1$

for $j \in 0..n_y - 1$

$$E_{\theta_{i,j}} \leftarrow E_{M,\theta}(\theta_{i,j}, M_{i,j})$$

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----|-----|-----|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 35 | 41 | 47 | 53 | 58 | 63 | 67 | 71 | 75 | 77 | 78 | 79 | 80 | 80 | 80 |
| 41 | 60 | 79 | 95 | 118 | 139 | 156 | 176 | 202 | 222 | 234 | 242 | 247 | 249 | 249 |
| 47 | 79 | 115 | 158 | 212 | 279 | 335 | 397 | 442 | 469 | 487 | 498 | 504 | 507 | 508 |
| 53 | 95 | 158 | 251 | 352 | 438 | 510 | 661 | 837 | 964 | 1060 | 1128 | 1173 | 1197 | 1200 |
| 58 | 118 | 210 | 351 | 471 | 621 | 904 | 1350 | 1648 | 1841 | 1983 | 2086 | 2160 | 2202 | 2208 |
| 63 | 138 | 275 | 434 | 614 | 1037 | 1529 | 2289 | 2631 | 2826 | 2971 | 3085 | 3175 | 3234 | 3243 |
| 66 | 154 | 328 | 503 | 875 | 1503 | 2306 | 3375 | 3731 | 3864 | 3978 | 4082 | 4174 | 4246 | 4258 |
| 71 | 172 | 385 | 623 | 1281 | 2179 | 3280 | 175279 | 176616 | 178020 | 179575 | 181151 | 182602 | 183928 | 184141 |
| 74 | 191 | 424 | 749 | 1470 | 2353 | 3152 | 4058 | 4472 | 4733 | 4934 | 5054 | 5036 | 185220 | 185752 |
| 75 | 206 | 446 | 834 | 1592 | 2466 | 3276 | 4206 | 4952 | 5477 | 5833 | 5955 | 5799 | 5364 | 189728 |
| 76 | 217 | 461 | 901 | 1696 | 2585 | 3472 | 4424 | 5389 | 6109 | 6610 | 6747 | 6507 | 5941 | 193773 |
| 77 | 224 | 470 | 950 | 1776 | 2683 | 3647 | 4606 | 5682 | 6514 | 7065 | 7201 | 6956 | 6332 | 197086 |
| 78 | 227 | 475 | 979 | 1825 | 2744 | 3713 | 4714 | 5837 | 6706 | 7254 | 7384 | 7169 | 6563 | 199200 |
| 78 | 229 | 477 | 991 | 1846 | 2771 | 3742 | 4759 | 5898 | 6776 | 7316 | 7439 | 7247 | 6665 | 200149 |
| 78 | 229 | 478 | 993 | 1849 | 2775 | 3746 | 4765 | 5907 | 6785 | 7324 | 7445 | 7258 | 6679 | 200276 |

$\cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

A kiszélesedő gerincnyak rugalmassági modulusa:

$$E_{\theta.a.nyak} := E_{a,\theta}(\theta_{nyak}) = 185220 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A betonacélok rugalmassági modulusa:

$$E_{fi.s.1} := E_{s,\theta}(\theta_{s,1}) = 16714 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{fi.s.2} := E_{s,\theta}(\theta_{s,2}) = 86247 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{fi.s.3} := E_{s,\theta}(\theta_{s,3}) = 93304 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A beton szelő modulusa a gerincnyak kiszélesedésénél:

$$E_{c.sec.nyak} := \frac{f_{\theta.nyak}}{\varepsilon_{cu}(\theta_{nyak})} = 4846 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A beton szelő modulusa a betonacélok helyén:

$$E_{c.sec.1} := \frac{f_{\theta.1}}{\varepsilon_{cu}(\theta_{s,1})} = 356 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{c.sec.2} := \frac{f_{\theta.2}}{\varepsilon_{cu}(\theta_{s,2})} = 1248 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{c.sec.3} := \frac{f_{\theta.3}}{\varepsilon_{cu}(\theta_{s,2})} = 1312 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

7.3. A képlékeny nyomási ellenállás

A betonacélok nyomási ellenállása:

$$N_{fi,pl.R.s.1} := f_{s,\theta.1} \cdot A_{s1} = 12.0 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl.R.s.2} := f_{s,\theta.2} \cdot A_{s2} = 0.0 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl.R.s.3} := f_{s,\theta.3} \cdot A_{s3} = 0.0 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl.R.s} := 4 \cdot (N_{fi,pl.R.s.1} + N_{fi,pl.R.s.2} + N_{fi,pl.R.s.3}) = 48.2 \text{ kN}$$

A kiszélesedő gerincnyak
nyomási ellenállása:

$$N_{\theta,pl.R.a.nyak} := A_{nyak} \cdot f_{ya,\theta}(\theta_{nyak}) = 43.9 \text{ kN}$$

Az acél és a beton elemek nyomási ellenállása:

$$N_{\theta,pl.R} := \text{for } i \in 0..n_z - 1$$

$$\text{for } j \in 0..n_y - 1$$

$$N_{\theta,pl.R}_{i,j} \leftarrow A_{r_{i,j}} \cdot f_{\theta}_{i,j}$$

$$N_{\theta,pl.R} = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.8 & 0.8 & 0.9 & 1.2 & 1.2 & 1.2 & 1.0 & 0.3 \\ 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.8 & 1.7 & 1.7 & 2.0 & 2.4 & 2.5 & 2.4 & 2.0 & 0.6 \\ 0.1 & 0.2 & 0.4 & 0.6 & 0.9 & 1.1 & 1.3 & 2.6 & 2.5 & 2.8 & 3.5 & 3.5 & 3.4 & 2.8 & 0.9 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.9 & 1.2 & 1.4 & 1.7 & 3.3 & 3.2 & 3.5 & 4.3 & 4.4 & 4.3 & 3.5 & 1.1 \\ 0.2 & 0.3 & 0.7 & 1.1 & 1.4 & 1.7 & 2.0 & 4.0 & 3.7 & 4.0 & 4.9 & 4.9 & 4.8 & 3.9 & 1.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.8 & 1.3 & 1.6 & 2.0 & 2.3 & 4.4 & 4.0 & 4.4 & 5.3 & 5.3 & 5.1 & 4.2 & 1.3 \\ 0.3 & 0.8 & 1.7 & 2.5 & 3.2 & 3.9 & 4.4 & 108.7 & 97.7 & 104.2 & 124.3 & 124.3 & 119.8 & 97.7 & 31.1 \\ 0.3 & 0.7 & 1.7 & 2.4 & 3.1 & 3.6 & 3.9 & 7.3 & 6.7 & 7.3 & 8.8 & 8.9 & 8.6 & 87.8 & 27.9 \\ 0.3 & 0.9 & 1.9 & 2.7 & 3.4 & 3.9 & 4.2 & 7.9 & 7.4 & 8.1 & 9.7 & 9.8 & 9.4 & 7.6 & 29.8 \\ 0.4 & 1.1 & 2.3 & 3.3 & 4.1 & 4.7 & 5.0 & 9.5 & 9.0 & 9.8 & 11.8 & 11.8 & 11.4 & 9.2 & 35.5 \\ 0.4 & 1.1 & 2.4 & 3.4 & 4.2 & 4.7 & 5.1 & 9.6 & 9.1 & 9.9 & 11.9 & 11.9 & 11.5 & 9.2 & 35.5 \\ 0.4 & 1.1 & 2.3 & 3.3 & 4.1 & 4.6 & 4.9 & 9.4 & 8.8 & 9.6 & 11.5 & 11.5 & 11.1 & 8.9 & 34.2 \\ 0.3 & 0.9 & 1.9 & 2.7 & 3.3 & 3.8 & 4.0 & 7.7 & 7.2 & 7.8 & 9.4 & 9.4 & 9.1 & 7.3 & 27.9 \\ 0.1 & 0.3 & 0.6 & 0.9 & 1.1 & 1.2 & 1.3 & 2.4 & 2.3 & 2.5 & 3.0 & 3.0 & 2.9 & 2.3 & 8.9 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}$$

A keresztmetszet nyomási ellenállása a betonacélok és a nyak kiszélesedése nélkül:

$$N_{fi,pl.R.0} := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n_z - 1 \\ \text{for } j \in 0..n_y - 1 \\ N_{fi,pl.R.0} \leftarrow N_{fi,pl.R.0} + A_{r_{i,j}} \cdot f_{\theta}_{i,j} \\ N_{fi,pl.R.0} \leftarrow 4 \cdot N_{fi,pl.R.0} \end{cases}$$

$$N_{fi,pl.R.0} = 7212 \text{ kN}$$

A beton nyomási ellenállása a betonacélok helyén:

$$N_{\theta,pl.R.c.1} := A_{s1} \cdot f_{\theta.1} = 1.8 \text{ kN}$$

$$N_{\theta,pl.R.c.2} := A_{s2} \cdot f_{\theta.2} = 0.0 \text{ kN}$$

$$N_{\theta,pl.R.c.3} := A_{s3} \cdot f_{\theta.3} = 0.0 \text{ kN}$$

A beton nyomási ellenállása
a kiszélesedő gerincnyaknál:

$$N_{\theta,pl.R.c.nyak} := A_{nyak} \cdot f_{\theta.nyak} = 3.5 \text{ kN}$$

Az acélszelvény nyomási ellenállása:

$$N_{fi,pl.R.a} := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n_z - 1 \\ \text{for } j \in 0..n_y - 1 \\ N_{fi,pl.R.a} \leftarrow N_{fi,pl.R.a} + N_{\theta,pl.R.i,j} \quad \text{if } M_{i,j} = "a" \\ N_{fi,pl.R.a} \leftarrow N_{fi,pl.R.a} - N_{\theta,pl.R.a.nyak} \\ N_{fi,pl.R.a} \leftarrow 4 \cdot N_{fi,pl.R.a} \end{cases}$$

$$N_{fi,pl.R.a} = 4205 \text{ kN}$$

A betonmag nyomási ellenállása:

$$N_{fi,pl.R.c} := N_{fi,pl.R.0} - N_{fi,pl.R.a} + 4 \cdot N_{\theta,pl.R.c.nyak} - 4 \cdot (N_{\theta,pl.R.c.1} + N_{\theta,pl.R.c.2} + N_{\theta,pl.R.c.3}) = 3013 \text{ kN}$$

Az oszlop képlékeny nyomási ellenállása

$$N_{fi,pl.R} := N_{fi,pl.R.s} + N_{fi,pl.R.a} + N_{fi,pl.R.c} = 7266 \text{ kN}$$

$$N_{fi,pl.Rd} := \frac{N_{fi,pl.R.s}}{\gamma_{M.fi.s}} + \frac{N_{fi,pl.R.a}}{\gamma_{M.fi.a}} + \frac{N_{fi,pl.R.c}}{\gamma_{M.fi.c}} = 7266 \text{ kN}$$

A nyomóerővel szembeni ellenállás tervezési értéke és karakterisztikus értéke tűz esetén megegyezik, mert mindegyik anyag parciális tényezője 1.

7.4. A hajlító merevségek

A hajlító merevségek az y tengely körül:

Betonacél:

$$EI_{fi.s.y} := 4 \cdot (E_{fi.s.1} \cdot I_{s.y.1} + E_{fi.s.2} \cdot I_{s.y.2} + E_{fi.s.3} \cdot I_{s.y.3})$$

$$EI_{fi.s.y} = 344 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A kiszélesedő gerincnyak
hajlítási merevsége:

$$EI_{\theta.a.y.nyak} := E_{\theta.a.nyak} \cdot I_{y.nyak} = 239 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

Az acél és a beton elemek hajlítási merevsége:

$$EI_{\theta.y} := \text{for } i \in 0..n_z - 1$$

$$\text{for } j \in 0..n_y - 1$$

$$EI_{\theta.y,i,j} \leftarrow E_{\theta,i,j} \cdot I_{y,i,j}$$

$$EI_{\theta.y} \leftarrow 4 \cdot EI_{\theta.y,0}$$

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.2 |
| 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 1.1 | 1.1 | 1.3 | 1.6 | 1.7 | 1.6 | 1.3 | 0.4 |
| 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 1.0 | 2.1 | 2.1 | 2.4 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 2.4 | 0.8 |
| 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 3.1 | 3.6 | 4.4 | 5.8 | 6.1 | 6.2 | 5.1 | 1.6 |
| 0.1 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 1.5 | 2.2 | 5.7 | 6.2 | 7.4 | 9.5 | 10.0 | 10.0 | 8.3 | 2.7 |
| 0.1 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.3 | 2.2 | 3.2 | 8.4 | 8.7 | 10.0 | 12.5 | 13.0 | 12.9 | 10.7 | 3.4 |
| 0.1 | 0.3 | 0.6 | 0.9 | 1.6 | 2.7 | 4.2 | 10.8 | 10.7 | 11.8 | 14.5 | 14.9 | 14.7 | 12.2 | 3.9 |
| 0.2 | 0.4 | 1.0 | 1.6 | 3.3 | 5.6 | 8.5 | 790.5 | 715.7 | 769.7 | 925.6 | 933.7 | 907.2 | 745.3 | 237.3 |
| 0.1 | 0.3 | 0.7 | 1.3 | 2.5 | 4.1 | 5.4 | 12.2 | 12.1 | 13.7 | 17.0 | 17.4 | 16.7 | 502.3 | 160.2 |
| 0.1 | 0.3 | 0.6 | 1.1 | 2.1 | 3.2 | 4.3 | 9.7 | 10.2 | 12.1 | 15.3 | 15.7 | 14.7 | 11.1 | 124.7 |
| 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.9 | 1.7 | 2.6 | 3.4 | 7.6 | 8.4 | 10.1 | 13.0 | 13.3 | 12.4 | 9.2 | 95.6 |
| 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 0.9 | 1.4 | 1.8 | 4.1 | 4.5 | 5.5 | 7.2 | 7.3 | 6.8 | 5.0 | 49.9 |
| 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 1.5 | 1.7 | 2.1 | 2.7 | 2.7 | 2.5 | 1.9 | 18.3 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 2.9 |
| 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

A keresztmetszet hajlítási merevsége a betonacélok és a nyak kiszélesedése nélkül:

$$EI_{fi.y,0} := \text{for } i \in 0..n_z - 1$$

$$\text{for } j \in 0..n_y - 1$$

$$EI_{fi.y,0} \leftarrow EI_{fi,y,0} + E_{\theta,i,j} \cdot I_{y,i,j}$$

$$EI_{fi.y,0} \leftarrow 4 \cdot EI_{fi,y,0}$$

$$EI_{fi.y,0} = 30769 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

Az acélszelvény öveinek hajlító merevsége:

$$EI_{fi.f.y} := \text{for } j \in 7..n_y - 1$$

$$EI_{fi.f,y} \leftarrow EI_{fi,f,y} + EI_{\theta,y,7,j}$$

$$EI_{fi.f,y} \leftarrow 4 \cdot EI_{fi,f,y}$$

$$EI_{fi.f,y} = 24100 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A betonmag hajlító merevsége:

$$EI_{fi.c.y} := EI_{fi,y,0} - EI_{fi.f,y} - EI_{fi.w,y} + 4 \cdot EI_{\theta,c,y,nyak} - 4 \cdot (EI_{\theta,c,y,1} + EI_{\theta,c,y,2} + EI_{\theta,c,y,3}) = 3824 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A beton hajlító merevsége a betonacélok helyén:

$$EI_{\theta,c,y,1} := E_{c,sec.1} \cdot I_{s,y,1} = 1.8 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

$$EI_{\theta,c,y,2} := E_{c,sec.2} \cdot I_{s,y,2} = 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

$$EI_{\theta,c,y,3} := E_{c,sec.3} \cdot I_{s,y,3} = 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A beton hajlítási merevsége
a kiszélesedő gerincnyaknál:

$$EI_{\theta,c,y.nyak} := E_{c,sec.nyak} \cdot I_{y.nyak} = 6 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

Az acélszelvény gerincének hajlító merevsége:

$$EI_{fi.w,y} := \text{for } i \in 8..n_z - 1$$

$$EI_{fi.w,y} \leftarrow EI_{fi,w,y} + EI_{\theta,y,i,n_y-1}$$

$$EI_{fi.w,y} \leftarrow EI_{fi,w,y} + EI_{\theta,y,8,n_y-2}$$

$$EI_{fi.w,y} \leftarrow EI_{fi,w,y} - EI_{\theta,a,y,nyak}$$

$$EI_{fi.w,y} \leftarrow 4 \cdot EI_{fi,w,y}$$

$$EI_{fi.w,y} = 2862 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A hajlító merevségek a z tengely körül:

Betonacél:

$$EI_{fi.s.z} := 4 \cdot (E_{fi.s.1} \cdot I_{s,z,1} + E_{fi.s.2} \cdot I_{s,z,2} + E_{fi.s.3} \cdot I_{s,z,3})$$

$$EI_{fi.s.z} = 344 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A kiszélesedő gerincnyak
hajlítási merevsége:

$$EI_{\theta.a.z.nyak} := E_{\theta,a.nyak} \cdot I_{z.nyak} = 6 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

Az acél és a beton elemek hajlítási merevsége:

$$EI_{\theta.z} := \text{for } i \in 0..n_z - 1$$

$$\text{for } j \in 0..n_y - 1$$

$$EI_{\theta.z,i,j} \leftarrow E_{\theta,i,j} \cdot I_{z,i,j}$$

$$EI_{\theta.z} \leftarrow 4 \cdot EI_{\theta,z,0}$$

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----|-----|-----|
| 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 1.0 | 0.8 | 0.6 | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.7 | 1.4 | 1.3 | 1.0 | 0.6 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 0.2 | 0.4 | 0.6 | 1.0 | 1.1 | 1.3 | 1.6 | 3.5 | 2.8 | 2.4 | 2.0 | 1.1 | 0.4 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| 0.2 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 1.5 | 2.2 | 2.8 | 5.9 | 4.5 | 3.7 | 2.9 | 1.6 | 0.6 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| 0.3 | 0.5 | 1.0 | 1.4 | 2.1 | 3.2 | 4.2 | 8.7 | 6.4 | 5.1 | 3.9 | 2.1 | 0.8 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| 0.5 | 1.0 | 2.1 | 3.0 | 5.4 | 8.0 | 10.5 | 790.5 | 533.1 | 409.5 | 310.1 | 160.6 | 58.7 | 9.4 | 0.1 | 0.1 |
| 0.4 | 1.0 | 2.0 | 3.2 | 5.6 | 7.8 | 9.0 | 16.4 | 12.1 | 9.8 | 7.7 | 4.0 | 1.5 | 8.5 | 0.1 | 0.1 |
| 0.5 | 1.2 | 2.3 | 3.8 | 6.4 | 8.7 | 10.0 | 18.2 | 14.3 | 12.1 | 9.7 | 5.1 | 1.8 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| 0.6 | 1.5 | 2.8 | 4.9 | 8.2 | 10.9 | 12.7 | 22.8 | 18.6 | 16.1 | 13.0 | 6.8 | 2.4 | 0.3 | 0.2 | 0.2 |
| 0.6 | 1.5 | 2.9 | 5.2 | 8.5 | 11.3 | 13.3 | 23.7 | 19.6 | 17.1 | 13.9 | 7.3 | 2.6 | 0.4 | 0.2 | 0.2 |
| 0.6 | 1.5 | 2.8 | 5.1 | 8.5 | 11.1 | 13.1 | 23.4 | 19.4 | 17.0 | 13.8 | 7.2 | 2.5 | 0.4 | 0.2 | 0.2 |
| 0.5 | 1.2 | 2.3 | 4.2 | 7.0 | 9.2 | 10.7 | 19.3 | 16.0 | 14.0 | 11.3 | 5.9 | 2.1 | 0.3 | 0.1 | 0.1 |
| 0.1 | 0.4 | 0.7 | 1.4 | 2.2 | 2.9 | 3.4 | 6.1 | 5.1 | 4.5 | 3.6 | 1.9 | 0.7 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |

A keresztmetszet hajlítási merevsége a betonacélok és a nyak kiszélesedése nélkül:

$$EI_{fi.z,0} := \text{for } i \in 0..n_z - 1$$

$$\text{for } j \in 0..n_y - 1$$

$$EI_{fi.z,0} \leftarrow EI_{fi,z,0} + E_{\theta,i,j} \cdot I_{z,i,j}$$

$$EI_{fi.z,0} \leftarrow 4 \cdot EI_{fi,z,0}$$

$$EI_{fi.z,0} = 12433 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

Az acélszelvény öveinek hajlító merevsége:

$$EI_{fi.f.z} := \text{for } j \in 7..n_y - 1$$

$$EI_{fi.f,z} \leftarrow EI_{fi,f,z} + EI_{\theta,z,7,j}$$

$$EI_{fi.f,z} \leftarrow 4 \cdot EI_{fi,f,z}$$

$$EI_{fi.f,z} = 9088 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A betonmag hajlító merevsége:

$$EI_{fi.c.z} := EI_{fi,z,0} - EI_{fi.f,z} - EI_{fi.w,z} + 4 \cdot EI_{\theta,c,z,nyak} - 4 \cdot (EI_{\theta,c,z,1} + EI_{\theta,c,z,2} + EI_{\theta,c,z,3}) = 3323 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A beton hajlító merevsége a betonacélok helyén:

$$EI_{\theta,c,z,1} := E_{c,sec.1} \cdot I_{s,z,1} = 1.8 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

$$EI_{\theta,c,z,2} := E_{c,sec.2} \cdot I_{s,z,2} = 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

$$EI_{\theta,c,z,3} := E_{c,sec.3} \cdot I_{s,z,3} = 0.0 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

A beton hajlítási merevsége
a kiszélesedő gerincnyaknál:

$$EI_{\theta,c,z.nyak} := E_{c,sec.nyak} \cdot I_{z.nyak} = 0 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

Az acélszelvény gerincének hajlító merevsége:

$$EI_{fi.w,z} := \text{for } i \in 8..n_z - 1$$

$$EI_{fi.w,z} \leftarrow EI_{fi,w,z} + EI_{\theta,z,i,n_y-1}$$

$$EI_{fi.w,z} \leftarrow EI_{fi,w,z} + EI_{\theta,z,8,n_y-2}$$

$$EI_{fi.w,z} \leftarrow EI_{fi,w,z} - EI_{\theta,a,z,nyak}$$

$$EI_{fi.w,z} \leftarrow 4 \cdot EI_{fi,w,z}$$

$$EI_{fi.w,z} = 15 \text{ kN}\cdot\text{m}^2$$

7.5. A kihajlási ellenállás központos nyomásra

Az anyagok hőmérsékleti hatások okozta feszültségektől függő csökkentő tényezőit az MSZ EN 1994-1-2 G melléklet G7 táblázat szerint vesszük föl, azzal a különbséggel, hogy az acélszelvény öveinek tényezője 1,0, mivel a betontakarás miatt az övben keletkező hőmérséklet-különbség kicsi.

A betonacélhoz:

$$\varphi_{s,\theta} := \begin{cases} 1 & \text{if } t_{fi} \leq 30\text{perc} \\ \left(1.1 - 0.2 \cdot \frac{t_{fi}}{60\text{perc}}\right) & \text{if } 30\text{perc} \leq t_{fi} \leq 90\text{perc} \\ \left(0.2 + 0.2 \cdot \frac{t_{fi}}{30\text{perc}}\right) & \text{if } 90\text{perc} \leq t_{fi} \leq 120\text{perc} \\ 1 & \text{if } 120\text{perc} \leq t_{fi} \end{cases} = 1.0$$

Az acélszelvény öveihez: $\varphi_{f,\theta} = 1.0$

Az acélszelvény gerincéhez: $\varphi_{w,\theta} = 1.0$

A betonmaghoz: $\varphi_{c,\theta} = 0.8$

A keresztmetszet hajlítási merevsége a két irányban:

$$EI_{fi,eff,y} := \varphi_{f,\theta} \cdot EI_{fi,f,y} + \varphi_{w,\theta} \cdot EI_{fi,w,y} + \varphi_{s,\theta} \cdot EI_{fi,s,y} + \varphi_{c,\theta} \cdot EI_{fi,c,y} = 30366 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$EI_{fi,eff,z} := \varphi_{f,\theta} \cdot EI_{fi,f,z} + \varphi_{w,\theta} \cdot EI_{fi,w,z} + \varphi_{s,\theta} \cdot EI_{fi,s,z} + \varphi_{c,\theta} \cdot EI_{fi,c,z} = 12106 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

Az Euler-féle kritikus erő:

$$N_{u,fi,cr,y} := \frac{\pi^2 \cdot EI_{fi,eff,y}}{L_{0,y}^2} = 12482 \text{ kN}$$

$$N_{u,fi,cr,z} := \frac{\pi^2 \cdot EI_{fi,eff,z}}{L_{0,z}^2} = 4976 \text{ kN}$$

A viszonyított karcsúság:

$$\lambda_{0,y} := \sqrt{\frac{N_{fi,pl,R}}{N_{u,fi,cr,y}}} = 0.763$$

$$\lambda_{0,z} := \sqrt{\frac{N_{fi,pl,R}}{N_{u,fi,cr,z}}} = 1.208$$

A χ kihajlási csökkentő tényezőt szerint az MSZ EN 1993-1-1 6.3.1. alapján kell számolni "c" kihajlási görbével. Az α alakhiba-tényező "C" kihajlási görbe esetén $\alpha = 0,49$. A φ segédmenyiség:

$$\varphi_y := \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda_{0,y} - 0.2) + \lambda_{0,y}^2}{2} = 0.929$$

$$\varphi_z := \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda_{0,z} - 0.2) + \lambda_{0,z}^2}{2} = 1.477$$

A kihajlási csökkentő tényező:

$$\chi_y := \min\left(\frac{1}{\varphi_y + \sqrt{\varphi_y^2 - \lambda_{0,y}^2}}, 1\right) = 0.685$$

$$\chi_z := \min\left(\frac{1}{\varphi_z + \sqrt{\varphi_z^2 - \lambda_{0,z}^2}}, 1\right) = 0.43$$

A kihajlási ellenállás központos nyomásra:

$$N_{fi,Rd,y} := \chi_y \cdot N_{fi,pl,Rd} = 4980 \text{ kN}$$

$$N_{fi,Rd,z} := \chi_z \cdot N_{fi,pl,Rd} = 3123 \text{ kN}$$

$$N_{fi,Rd} := \min(N_{fi,Rd,y}, N_{fi,Rd,z}) = 3123 \text{ kN}$$

8. Ellenőrzés külpontos nyomásra

Feltételezzük, hogy normál hőmérsékleten és tűz esetén a külpontos és központos nyomási ellenállás aránya megegyezik. A normál hőmérsékleti ellenállásokat itt nem részletezzük, az eredményeket másik számpéldából vesszük át.

Kihajlási ellenállás központos teherre: $N_{1.Rd}$ $N_{07.Rd}$ $N_{1.fi.Rd}$ $N_{07.fi.Rd}$

Külpontos nyomási ellenállás: $N_{1.Rd,\delta}$ $N_{07.Rd,\delta}$ $N_{1.fi.Rd,\delta}$ $N_{07.fi.Rd,\delta}$

Az indexek jelentése: 1 – alul-fölül csuklós
07 – alul csuklós, fölül befogott
fi – tűz esetén
 δ – külpontos

A külpontos nyomási ellenállás tűz esetén a kétfajta modellre:

$$N_{1.fi.Rd,\delta} := N_{1.fi.Rd} \cdot \frac{N_{1.Rd,\delta}}{N_{1.Rd}} = 993 \text{ kN} \qquad N_{07.fi.Rd,\delta} := N_{07.fi.Rd} \cdot \frac{N_{07.Rd,\delta}}{N_{07.Rd}} = 1366 \text{ kN}$$

A kihasználtság normál hőmérséklet esetén a kétfajta modellre:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{1.Rd,\delta}} \qquad \frac{N_{Ed}}{N_{07.Rd,\delta}}$$

A kihasználtság tűz esetén a kétfajta modellre:

$$\frac{N_{fi.Ed}}{N_{07.fi.Rd,\delta}} \qquad \frac{N_{fi.Ed}}{N_{1.fi.500.Rd,\delta}}$$

Az eredményeket az alábbi táblázatban foglaljuk össze:

| határállapot | hatás/ ellenállás | modell | alul-fölül csuklós | alul csuklós, fölül befogott |
|---------------------------------------|------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|
| teherbírasi, normál hőmérséklet | terhelés | | 1 740 kN | |
| | ellenállás, kihasználtság | központos nyomás | 3 268 kN | 4 680 kN |
| | | külpontos nyomás | 1 777 kN | 2 047 kN |
| | | | 97,9% | 85,0% |
| teherbírasi, normál hőmérséklet | terhelés | | 1 108 kN | |
| | ellenállás, kihasználtság | központos nyomás | 1 826 kN* | 3 123 kN |
| | | külpontos nyomás | 993 kN | 1 366 kN |
| | | | 111,6% | 81,1% |

* e számérték a 7.5 pont értelemszerű módosításával állítható elő

A szabvány előírt feltételek teljesülése esetén a modellváltást megengedi, így a normál hőmérsékleten alul-fölül csuklós oszlop tűz esetén az egyik vagy mindkét végén befogottként számolható. **Tűz esetén a kihasználtság 81,1%, az oszlop megfelel. Normál hőmérsékleten a kihasználtság 97,7%, nagyobb, mint tűz esetén.**

E számpéldában nagy tűzállósági követelményt, 120 percet írtunk elő, és magas oszlopot alkalmaztunk. Gyakorlati esetben valószínűsíthető, hogy a mértékadó határállapot a normál hőmérsékleti teherbírasi állapot lesz.