

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

**Öszvéroszlopok tervezése tűzterherre című cikk**

**6.1. példájához**

**Kibetonozott acélső öszvéroszlop**

H-Székesfehérvár, 2022.01.26.

### 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 számítás végeredményével.

### 2. Statikai modell, hatások

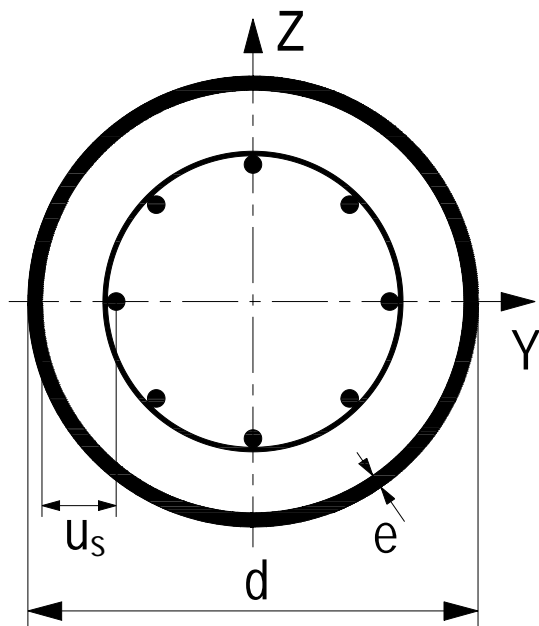
Az oszlop mindkét végén befogott.

Szerkezeti magasság:  $L = 3,85$  m

Kihajlási hossz:  $L_o = 0,5 L = 1,925$  m

Az előírt tűzállósági követelmény: R60

### 3. Az öszvér oszlop keresztmetszeti méretei



Az acélső:  
CHS 323,9 x 5,6

külső átmérő:  
 $D_a = 323,9$  mm

falvastagság:  
 $e = t_a = 5,6 \cdot mm$

**hosszirányú betonacél:**

8 db

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

$u_s = 40 \cdot mm$

## 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**

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

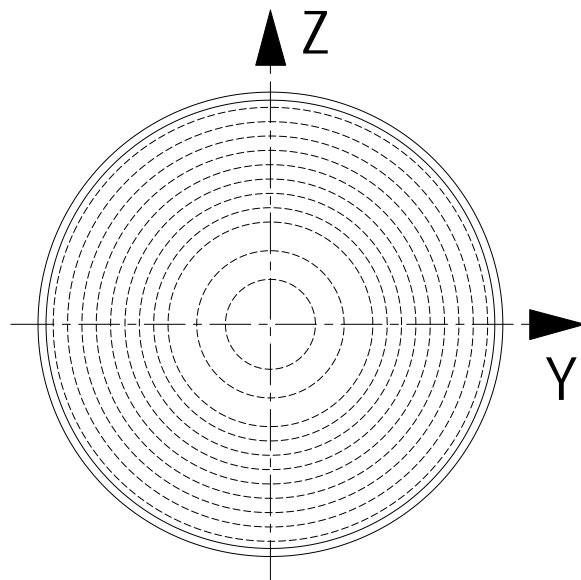
**Az anyagok mechanikai jellemzői tűz esetén a hőmérséklet függvényében változnak.** E függvényeket az MSZ EN 1994-1-2 szabvány tartalmazza. Itt nem térünk ki erre. Egyszerűsített számítás esetén a szabvány megengedi, hogy bizonyos hőmérséklet-függő mechanikai jellemzőket konstans átlagértékkel vegyünk figyelembe (pl. a hővezetési tényezőt, vagy a fajhőt). E lehetőséggel nem élünk. A MathCad-ben a mechanikai jellemzőket függvényként definiáltuk.

A 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 felosztás módja:

Az oszlop keresztmetszetét gyűrűkre osztjuk, a külső gyűrű az acélső, a betonmag legbelső eleme egy kör. A felosztást a következőképp automatizáljuk:

- A külső, acélsővel érintkező betongyűrű vastagsága 5 mm,
- utána a betonmag sugarának feléig 10 mm vastag gyűrűk következnek,
- ezután pedig 20 mm vastagok.
- A közepén levő kör sugara 20 mm és 40 mm közé esik.

A 10 mm vastag gyűrűk száma:

$$n_{c,10} := \text{ceil}\left(\frac{0.5 \cdot R_b - 5\text{mm}}{10\text{mm}}\right) = 8\text{-db}$$

A 20 mm vastag gyűrűk száma:

$$n_{c,20} := \text{ceil}\left(\frac{R_b - 5\text{mm} - n_{c,10} \cdot 10\text{mm}}{20\text{mm}}\right) - 2 = 2\text{-db}$$

A betongyűrűk száma, beleértve a központi kört is:

$$n_c := n_{c,10} + n_{c,20} + 2 = 12\text{-db}$$

A vastagságokat befelé menet vektorba rendezzük. A vastagságok, a gyűrűk külső sugara és külső kerülete:

$$d := \begin{cases} d_0 \leftarrow t_a \\ d_1 \leftarrow 5\text{mm} \\ \text{for } i \in 2..n_c \cdot 10 + 1 \\ \quad d_i \leftarrow 10\text{mm} \\ \text{for } i \in n_c \cdot 10 + 2..n_c - 1 \\ \quad d_i \leftarrow 20\text{mm} \\ d_{n_c} \leftarrow \frac{D_a}{2} - \sum d \end{cases} \quad R_i := \begin{cases} R_{n_c} \leftarrow d_{n_c} \\ \text{for } i \in n_c - 1..0 \\ \quad R_i \leftarrow R_{i+1} + d_i \end{cases}$$

$$Kr := \text{for } i \in 0..n_c \\ \quad Kr_i \leftarrow 2R_i \cdot \pi$$

A cső belső sugara:  $R_b := \frac{D_a}{2} - t_a = 156.35 \text{ mm}$

## 5.2. A keresztmetszeti részek területe és inerciája

A gyűrűk területe:

$$Ar := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n_c - 1 \\ \quad Ar_i \leftarrow \left[ (R_i)^2 - (R_{i+1})^2 \right] \cdot \pi \\ Ar_{n_c} \leftarrow (R_{n_c})^2 \cdot \pi \end{cases}$$

A gyűrűk inerciája:

$$I := \begin{cases} \text{for } i \in 0..n_c - 1 \\ \quad I_i \leftarrow \left[ (R_i)^4 - (R_{i+1})^4 \right] \cdot \frac{\pi}{4} \\ I_{n_c} \leftarrow (R_{n_c})^4 \cdot \frac{\pi}{4} \end{cases}$$

A szám adatok a hőeloszlás számítása után vannak összefoglalva.

Az acélcső területe:  $A_a := Ar_0 = 5600 \text{ mm}^2$

Inerciája:  $I_a := I_0 = 7094 \text{ cm}^4$

Az acélcsőn belüli teljes keresztmetszeti terület:  $A_{bo} := (R_b)^2 \cdot \pi = 76797 \text{ mm}^2$

A betonacélok keresztmetszeti területe:  $A_s := \left( db_{s,1} \cdot D_{s,1}^2 + db_{s,2} \cdot D_{s,2}^2 \right) \cdot \frac{\pi}{4} = 1608 \text{ mm}^2$

A betonacél-hányad:  $\mu_s := \frac{A_s}{A_{bo}} = 2.094\%$

A betonacélok inerciáját közelítőleg úgy határozzuk meg, hogy a betonacélokat szétkenjük egy vékony gyűrűvé. A betonacél gyűrű

sugara:  $R_s := R_b - u_s = 116.35 \text{ mm}$

kerülete:  $K_s := 2 \cdot R_s \cdot \pi = 731 \text{ mm}$

vastagsága:  $d_s := \frac{A_s}{K_s} = 2.20 \text{ mm}$

inerciája:  $I_s := R_s^3 \cdot d_s \cdot \pi = 1089 \text{ cm}^4$

A betonacélok helye (a gyűrű sorszáma):

$$n_{c,s} := \text{for } i \in 1..n_c \quad = 5$$

$$n_{c,s} \leftarrow n_{c,s} + 1 \text{ if } R_i > R_b - u_s$$

## 6. A keresztmetszet hőeloszlása

A gyűrűk kezdeti hő mérséklete:  $\theta := \text{for } i \in 0..n_c$

$$\theta_i \leftarrow 20^\circ\text{C}$$

A rétegek hőmérsékletei a középvonalon vannak értelmezve.

Egy idő lépcsőben az acélcső fölvesz egy hőmennyiséget, ezáltal a hőmérséklete megemelkedik. Az acél jól vezeti a hőt, ezért úgy tekintjük, hogy a felületi hőmérséklet egyenlő az acélcső hőmérsékletével. A konvekció és a sugárzás által fölvevett hőt (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 lépések a hővezetés és az energia-megmaradás törvényét követik, vagyis a tárolt hőmennyiség egyenlő a belépő és a kilépő hőmennyiség különbségével. Az utolsó kör keresztmetszetű mag nem ad le hőt.

A hőfejlődés számítási időlépcsője  $\Delta t := 5s$ , a belső időciklus  $n_c = 12$

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

$$\theta_0 \leftarrow \theta_0 + \frac{Kr_0}{\rho_a \cdot c_a(\theta_0) \cdot Ar_0} \cdot \left[ \alpha_c \cdot (\theta_g(n \cdot \Delta t) - \theta_0) + \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot \left[ (\theta_g(n \cdot \Delta t) + 273)^4 - (\theta_0 + 273)^4 \right] \cdot K^3 \right] \cdot \Delta t$$

hőfelvétel -  
konvekció és sugárzás

for nb  $\in 1.. n_c$

$$\theta_0 \leftarrow \theta_0 - \frac{Kr_1}{\rho_a \cdot c_a(\theta_0) \cdot Ar_0} \cdot \frac{(\theta_0 - \theta_1)}{\frac{d_0}{2 \cdot \lambda_a(\theta_0)} + \frac{d_1}{2 \cdot \lambda_c(\theta_1)}} \cdot \frac{\Delta t}{n_c}$$

hővezetés –  
az acélcső hőleadása befelé

$$\theta_1 \leftarrow \theta_1 + \frac{1}{\rho_c(\theta_1) \cdot Ar_1 \cdot c_c(\theta_1)} \cdot \left( Kr_1 \cdot \frac{\theta_0 - \theta_1}{\frac{d_0}{2 \cdot \lambda_a(\theta_0)} + \frac{d_1}{2 \cdot \lambda_c(\theta_1)}} - Kr_2 \cdot \frac{\theta_1 - \theta_2}{\frac{d_1}{2 \cdot \lambda_c(\theta_1)} + \frac{d_2}{2 \cdot \lambda_c(\theta_2)}} \right) \cdot \frac{\Delta t}{n_c}$$

hővezetés –  
az első betongyűrű

for j  $\in 2.. n_c - 1$

$$\theta_j \leftarrow \theta_j + \frac{1}{\rho_c(\theta_j) \cdot Ar_j \cdot c_c(\theta_j)} \cdot \left( Kr_j \cdot \frac{\theta_{j-1} - \theta_j}{\frac{d_{j-1}}{2 \cdot \lambda_c(\theta_{j-1})} + \frac{d_j}{2 \cdot \lambda_c(\theta_j)}} - Kr_{j+1} \cdot \frac{\theta_j - \theta_{j+1}}{\frac{d_j}{2 \cdot \lambda_c(\theta_j)} + \frac{d_{j+1}}{2 \cdot \lambda_c(\theta_{j+1})}} \right) \cdot \frac{\Delta t}{n_c}$$

hővezetés –  
a közbenső betongyűrűk

$$\theta_{n_c} \leftarrow \theta_{n_c} + \frac{1}{\rho_c(\theta_{n_c}) \cdot Ar_{n_c} \cdot c_c(\theta_{n_c})} \cdot Kr_{n_c} \cdot \frac{\theta_{n_c-1} - \theta_{n_c}}{\frac{d_{n_c-1}}{2 \cdot \lambda_c(\theta_{n_c-1})} + \frac{d_{n_c}}{2 \cdot \lambda_c(\theta_{n_c})}} \cdot \frac{\Delta t}{n_c}$$

hővezetés –  
a belső betonmag hőfelvétele



Az acél és a betonacél rugalmassági modulusa, valamint a betongyűrűk szelő-modulusa:

$$E_{a,\theta}(\theta_a) = 14287 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{s,\theta}(\theta_s) = 143298 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$E_{\theta} := \begin{cases} E_{\theta_0} \leftarrow E_{a,\theta}(\theta_a) \\ \text{for } i \in 1..n_c \\ E_{\theta_i} \leftarrow \frac{f_{\theta_i}}{\varepsilon_{u_i}} \end{cases}$$

$\theta$	$f_{\theta}$	$E_{\theta}$	$\varepsilon_u$	$\varepsilon_e$	$\varepsilon_{\text{tág}}$
898	21.72	14287	15.000	20.000	1.175
845	3.56	142	2.500	4.112	1.400
702	8.92	357	2.500	3.754	1.400
544	16.04	829	1.935	3.359	0.840
420	21.60	1965	1.100	3.050	0.530
324	24.79	3218	0.771	2.809	0.351
247	27.08	4359	0.621	2.619	0.240
187	28.70	5413	0.530	2.467	0.165
141	29.39	6376	0.461	2.352	0.115
111	29.84	7176	0.416	2.276	0.085
85	30.00	8075	0.372	2.203	0.060
63	30.00	9072	0.331	2.134	0.039
48	30.00	9912	0.303	2.088	0.026

## 8. A kritikus (Euler) erő számítása az MSZ EN 1994-1-2 H melléklet szerint

Az ellenállás a kritikus kihajlási nyomóerő és a képlékeny határerő egyenlőségével adódik.

A képlékeny határerőt viszont nem a részek képlékeny határfeszültségével kell számolni, hanem az összenyomódás függvényében a tényleges feszültségekkel úgy, hogy minden rész összenyomódása azonos.  $\varepsilon$  növekedésével a határerő nő, a kihajlási kritikus erő csökken, és annál az  $\varepsilon$ -nál érjük el a tervezési ellenállást, ahol ez a kettő egyenlővé válik. A kihajlási kritikus erőt a feszültségtől függő  $E_{\theta,\sigma}$  rugalmassági modulussal kell számolni,  $\sigma$  viszont  $\varepsilon$  függvénye, így a rugalmassági modulus kétféle változós függvény lesz,  $\theta$ -tól  $\varepsilon$ -tól fog függeni.

Ezen kívül a szabványban egyéb útmutatás nem szerepel. **Az Euler erő definíciója:** a központosan nyomott rudat kissé kitérítjük az egyenes helyzetéből. Ezáltal a külpontosság miatt a nyomóerőből hajlítónyomaték keletkezik. A görbületből adódóan a feszültségek kissé megváltoznak, ebből belső nyomaték keletkezik. E két nyomaték egyensúlya adja az Euler erőt. Kitérítéskor az anyagrészek feszültségei a  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagramot követik, és mivel a kitérítés kicsi, itt **érintő modulusokat kell alkalmazni, ahogy az a (H3.) egyenletben is írva van.** Ez acél esetén a folyási tartományban nulla, **a folyásban levő anyagrész feszültsége kitérítéskor nem változik, így ezek a részek nem képeznek visszatérítő nyomatékokot. A hanyatló fázisban levő** részek rontják a helyzetet, mert kitérítéskor ellentétesen változnak a feszültségek, így ezeknél **a részeknél a modulus negatív.**

**A hőtágulást gátolt alakváltozásként kell figyelembe venni.** A hőtágulás nem feltétlenül rontja a teherbírást. Ennek magyarázata az, hogy a külső részek hőmérséklete magasabb, ezért a gátolt alakváltozásuk nagyobb. Sok futtatással elemeztem a hőtágulás hatását. 60 perces tűzállóság esetén a hőtágulás figyelembevétele kis karcsúságoknál növeli a teherbírást, nagy karcsúságoknál csökkenti.

**Az oszlop alakváltozása próbálgatással:**  $\varepsilon_{\text{sw}} := 0.20943\%$

**A nyomási ellenállás  $\varepsilon$  függvényében:**

A gyűrűk és a betonacél feszültségei:

$$\sigma_{\theta,\varepsilon} := \begin{cases} \sigma_{\theta,\varepsilon_0} \leftarrow \sigma_{a,\theta}(\theta_a, \varepsilon_{a,tág,\theta} + \varepsilon) \\ \text{for } i \in 1..n_c \\ \sigma_{\theta,\varepsilon_i} \leftarrow \sigma_{c,\theta}(\theta_i, \varepsilon + \varepsilon_{tág_i}) \end{cases}$$

$$\sigma_{\theta,\varepsilon_s} := \sigma_{s,\theta}(\theta_s, \varepsilon_{s,tág,\theta} + \varepsilon) = 447.31 \text{MPa}$$

A gyűrűk és a betonacél nyomóerői:

$$N_{\theta,\varepsilon,R} := \begin{cases} N_{\theta,\varepsilon,R_0} \leftarrow \sigma_{\theta,\varepsilon_0} \cdot A_{r_0} \\ \text{for } i \in 1..n_c \\ N_{\theta,\varepsilon,R_i} \leftarrow A_{r_i} \cdot \sigma_{\theta,\varepsilon_i} \end{cases}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,R,a} := N_{\theta,\varepsilon,R_0} = 119 \text{kN}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,R,c} := \sum_{i=1}^{n_c} N_{\theta,\varepsilon,R_i} = 1505 \text{kN}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,R,s} := \sigma_{\theta,\varepsilon_s} \cdot A_s = 719 \text{kN}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,R} := N_{\text{fi},\varepsilon,R,a} + N_{\text{fi},\varepsilon,R,s} + N_{\text{fi},\varepsilon,R,c} = 2343.8 \text{kN}$$

**A kritikus (Euler) erő  $\varepsilon$  függvényében:**

A gyűrűk és a betonacél érintő modulusai:

$$E_{\theta,\varepsilon} := \begin{cases} E_{\theta,\varepsilon_0} \leftarrow E_{a,\theta,\varepsilon}(\theta_a, \varepsilon_{a,tág,\theta} + \varepsilon) \\ \text{for } i \in 1..n_c \\ E_{\theta,\varepsilon_i} \leftarrow E_{c,\theta,\varepsilon}(\theta_i, \varepsilon + \varepsilon_{tág_i}) \end{cases}$$

$$E_{\theta,\varepsilon_s} := E_{s,\theta,\varepsilon}(\theta_s, \varepsilon_{s,tág,\theta} + \varepsilon) = 8770 \text{MPa}$$

A gyűrűk és a betonacél hajlítási merevsége:

$$EI_{\theta,\varepsilon} := \begin{cases} EI_{\theta,\varepsilon,c_0} \leftarrow E_{\theta,\varepsilon_0} \cdot I_a \\ \text{for } i \in 1..n_c \\ EI_{\theta,\varepsilon,c_i} \leftarrow E_{\theta,\varepsilon_i} \cdot I_i \end{cases}$$

$$EI_{\text{fi},\varepsilon,a} := EI_{\theta,\varepsilon_0} = 11 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^2$$

$$EI_{\text{fi},\varepsilon,c} := \sum_{i=1}^{n_c} EI_{\theta,\varepsilon_i} = 774 \text{kN} \cdot \text{m}^2$$

$$EI_{\text{fi},\varepsilon,s} := E_{\theta,\varepsilon_s} \cdot I_s = 95 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^2$$

$$EI_{\text{fi},\varepsilon} := EI_{\text{fi},\varepsilon,a} + EI_{\text{fi},\varepsilon,s} + EI_{\text{fi},\varepsilon,c} = 880 \text{kN} \cdot \text{m}^2$$

**$\varepsilon$ -t addig változtatjuk, amíg az alábbi két nyomóerő-érték meg nem egyezik:**

$$N_{\text{fi},\varepsilon,Rd} := \frac{N_{\text{fi},\varepsilon,R,a}}{\gamma_{M,\text{fi},a}} + \frac{N_{\text{fi},\varepsilon,R,s}}{\gamma_{M,\text{fi},s}} + \frac{N_{\text{fi},\varepsilon,R,c}}{\gamma_{M,\text{fi},c}} = 2344 \text{kN}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,cr} := \frac{\pi^2 \cdot EI_{\text{fi},\varepsilon}}{L_0^2} = 2344 \text{kN}$$

A gyűrűk és a betonacél Euler erői részletezve:

$$N_{\theta,\varepsilon,cr} := \text{for } i \in 0..n_c$$

$$N_{\theta,\varepsilon,cr_i} \leftarrow \frac{\pi^2 \cdot EI_{\theta,\varepsilon_i}}{L_0^2}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,cr,a} := N_{\theta,\varepsilon,cr_0} = 29 \text{kN}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,cr,c} := \sum_{i=1}^{n_c} N_{\theta,\varepsilon,cr_i} = 2060 \text{kN}$$

$$N_{\text{fi},\varepsilon,cr,s} := \frac{\pi^2 \cdot EI_{\text{fi},\varepsilon,s}}{L_0^2} = 254 \text{kN}$$

Részletes eredmények:

$$\begin{array}{l}
 \sigma_{\theta,\varepsilon} = \begin{pmatrix} 21.26 \\ 3.03 \\ 7.60 \\ 12.09 \\ 18.92 \\ 22.69 \\ 24.69 \\ 25.85 \\ 26.42 \\ 26.90 \\ 27.39 \\ 27.91 \\ 28.31 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\
 N_{\theta,\varepsilon,R} = \begin{pmatrix} 119 \\ 15 \\ 70 \\ 104 \\ 150 \\ 129 \\ 165 \\ 157 \\ 143 \\ 129 \\ 211 \\ 145 \\ 87 \end{pmatrix} \cdot \text{kN} \\
 EI_{\theta,\varepsilon} = \begin{pmatrix} 11 \\ 7 \\ 30 \\ 71 \\ 98 \\ 81 \\ 109 \\ 107 \\ 92 \\ 71 \\ 79 \\ 25 \\ 4 \end{pmatrix} \cdot \text{kN}\cdot\text{m}^2 \\
 N_{\theta,\varepsilon,cr} = \begin{pmatrix} 29 \\ 19 \\ 80 \\ 190 \\ 261 \\ 215 \\ 290 \\ 285 \\ 244 \\ 188 \\ 210 \\ 67 \\ 10 \end{pmatrix} \cdot \text{kN} \\
 \sigma_{\theta,\varepsilon,s} = 447.31 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\
 N_{fi,\varepsilon,R,s} = 719 \text{ kN} \\
 EI_{fi,\varepsilon,s} = 95 \text{ kN}\cdot\text{m}^2 \\
 N_{fi,\varepsilon,cr,s} = 254 \text{ kN}
 \end{array}$$

## 9. A központos kihajlási nyomóerő

A H melléklet szerinti eredmény még csak az Euler erő. Ebből tovább kell számolni a szokott eljárással a központos nyomási kihajlási ellenállást.

A viszonyított karcsúságot a keresztmetszet maximális nyomási ellenállásának és az Euler erőnek az arányából kell számítani. A keresztmetszet maximális nyomási ellenállását  $\varepsilon$  fokozatos változtatásával határozzuk meg. A keresztmetszeten belül a hőmérséklet változik, ezért nem tud minden pontban kialakulni a maximális feszültség. Az  $\varepsilon$ -tól függő nyomóerőnek van maximuma, ezt kell megkeresni.

Az MSZ EN 1994-1-2 4.3.5.1. pontban a közelítés abból áll, hogy mind a rúd Euler erőjét, mind a keresztmetszet nyomási ellenállását úgy határozzuk meg, mintha minden pontban létre tudna jönni a hőmérséklet adta maximális feszültség. E közelítést ellensúlyozzák a keresztmetszet anyagai hajlítási merevségének tapasztalati úton nyert szorzótényezői. Kibetonozott csőre vagy zártszelvényre e szorzótényezők nincsenek megadva, ezért a 4.3.5.1. pont szerinti számítás nem alkalmazható ezen oszlopfajtákra.

### A keresztmetszet maximális nyomási ellenállása

**Az oszlop alakváltozása próbálgatással:**  $\varepsilon_{\max} := 0.345\%$

A gyűrűk és a betonacél feszültségei:

$$\sigma_{\theta,\varepsilon,\max} := \begin{cases} \sigma_{\theta,\varepsilon,\max_0} \leftarrow \sigma_{a,\theta}(\theta_a, \varepsilon_{a,\text{tág},\theta} + \varepsilon_{\max}) \\ \text{for } i \in 1..n_c \\ \sigma_{\theta,\varepsilon,\max_i} \leftarrow \sigma_{c,\theta}(\theta_i, \varepsilon_{\max} + \varepsilon_{\text{tág}_i}) \end{cases}$$

$$\sigma_{\theta,\varepsilon,\max,s} := \sigma_{s,\theta}(\theta_s, \varepsilon_{s,\text{tág},\theta} + \varepsilon_{\max}) = 457.82 \text{ MPa}$$

A gyűrűk és a betonacél nyomóerői:

$$N_{\theta,\varepsilon,\max,R} := \begin{cases} N_{\theta,\varepsilon,\max,R_0} \leftarrow \sigma_{\theta,\varepsilon_0} \cdot A_{r_0} \\ \text{for } i \in 1..n_c \\ N_{\theta,\varepsilon,\max,R_i} \leftarrow A_{r_i} \cdot \sigma_{\theta,\varepsilon,\max_i} \end{cases}$$

$$N_{fi,\varepsilon,\max,R,a} := N_{\theta,\varepsilon,\max,R_0} = 119 \text{ kN}$$

$$N_{fi,\varepsilon,\max,R,c} := \sum_{i=1}^{n_c} N_{\theta,\varepsilon,\max,R_i} = 1628 \text{ kN}$$

$$N_{fi,\varepsilon,\max,R,s} := \sigma_{\theta,\varepsilon,\max,s} \cdot A_s = 736 \text{ kN}$$

**$\varepsilon$ -t addig változtatjuk, amíg az alábbi nyomóerő maximumát megkapjuk:**

$$N_{fi,\varepsilon,\max,R} := N_{fi,\varepsilon,\max,R,a} + N_{fi,\varepsilon,\max,R,s} + N_{fi,\varepsilon,\max,R,c} = 2484 \text{ kN}$$



A viszonyított karcsúság: 
$$\lambda_{0H} := \sqrt{\frac{N_{fi.\varepsilon.max.R}}{N_{fi.\varepsilon.cr}}} = 1.029$$

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

$$\varphi_H := \frac{1 + \alpha \cdot (\lambda_{0H} - 0.2) + \lambda_{0H}^2}{2} = 1.233$$

A kihajlási csökkentő tényező: 
$$\chi_H := \min\left(\frac{1}{\varphi_H + \sqrt{\varphi_H^2 - \lambda_{0H}^2}}, 1\right) = 0.523$$

A kihajlási ellenállás központos nyomásra: 
$$N_{fi.H.Rd} := \chi_H \cdot N_{fi.\varepsilon.max.R} = 1299 \text{ kN}$$

Az öszvéroszlop összenyomódása:  $\Delta x := \varepsilon \cdot L = 8.1 \text{ mm}$

Az anyagok aránya a teherviselésből:

acélcső : 
$$\frac{N_{fi.\varepsilon.R.a}}{N_{fi.\varepsilon.R}} = 5.1\%$$

betonacél: 
$$\frac{N_{fi.\varepsilon.R.s}}{N_{fi.\varepsilon.R}} = 30.7\%$$

beton: 
$$\frac{N_{fi.\varepsilon.R.c}}{N_{fi.\varepsilon.R}} = 64.2\%$$

Külpontos nyomás esetére a szabvány csökkentő tényezőket ad meg a betonacél-hányad és a külpontosság függvényében grafikonos ábrázolással (MSZ EN 1994-1-2 H1. és H2. ábra). Ezek az Euler erőhöz vannak kidolgozva, ezért a fent kiszámolt kihajlási erőt nem célszerű csökkenteni velük.

Tűz esetén az acélcső veszít a legtöbbet a teherbírásából, ezért nem érdemes vastag falú csövet alkalmazni. Normál hőmérsékleten az acélcső teherbírása nagy, ezért a mértékadó határállapot a tüzeseti rendkívüli állapot.