1-2.GYAKORLAT

Használhatósági határállapotok

A használhatósági határállapotokhoz tartozó teherkombinációk:

- Karakterisztikus (repedésmentesség igazolása)

$$\sum_{j>1} G_{kj} "+" Q_{k1} "+" \sum_{i>1} \psi_{0i} \cdot Q_{ki}$$

- Gyakori (feszített szerkezetek repedés-korlátozása)

$$\sum_{j\geq 1} G_{kj} "+" \psi_{11} \cdot Q_{k1} "+" \sum_{i>1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

- Kvázi-állandó (alakváltozások, repedéstágasság vizsgálata)

$$\sum_{j\geq 1} G_{kj} "+" \sum_{i\geq 1} \psi_{2i} \cdot Q_{ki}$$

A használhatósági határállapotok vizsgálata:

- Alakváltozások korlátozása
- Rezgések, lengések
- Repedések korlátozása
- Betonacél-és betonfeszültségek korlátozása

Alakváltozások ellenőrzése

Vasbetonszerkezetek esetén **kvázi-állandó teherkombinációban** a szerkezetek nem szenvedhetnek olyan mérvű lehajlásokat, amik károsan befolyásolhatják azok működését vagy esztétikai megjelenését.

$$w < w_{eng} = l/250$$

Ilyen jellegű problémák léphetnek fel pl. válaszfalak, üvegezések, homlokzati falak, lapostetők vízelvezetései, épületgépészeti berendezések vagy lehajlásokra érzékeny gépek esetében.

Amennyiben a szerkezethez csatlakozó elemek károsodását kell elkerülni, akkor szigorúbb követelményeket kell állítani:

$$w_{eng} = l/500$$

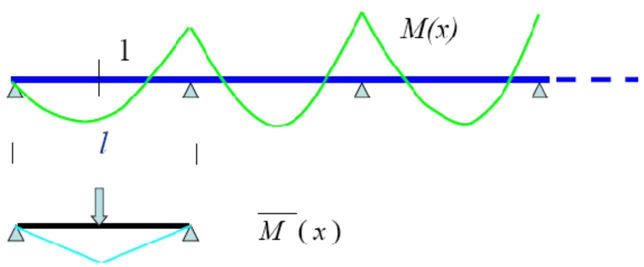
A vasbetonszerkezetek alakváltozásait befolyásoló tényezők:

- Statikai váz
- Keresztmetszeti méretek
- Beton húzószilárdsága
- Beton kúszása
- Beton zsugorodása
- A beton merevítő hatása a húzott övben, a berepedt keresztmetszetek között

A fent felsorolásból is látszik, hogy a számítások rengeteg feltételezés tartalmaznak, így az alakváltozások számításával során csupán várható értékek nyerhetőek, amiket a legjobb esetben is alsó és felső határok közé lehet szorítani.

Alakváltozások vizsgálatának fajtái:

1. Egyszerűsített vizsgálat a karcsúságok ellenőrzésével
   - A karcsúságok ellenőrzésének konkrét mechanikai alapja nincs, gyakran pontatlan becslésekhez vezethet a tartó valódi viselkedéséhez képest.
2. **Alakváltozások ellenőrzése közelítő számítással**
   - **1. gyakorlat anyaga**
3. Alakváltozások ellenőrzése „pontos” számítással
   - „Pontos” számítás (statikai alapismereteknél „munkatételként” ismert):



Az alakváltozások pontos számításakor alkalmazott képlet:
(görbületek integrálása a tartó teljes hosszán)

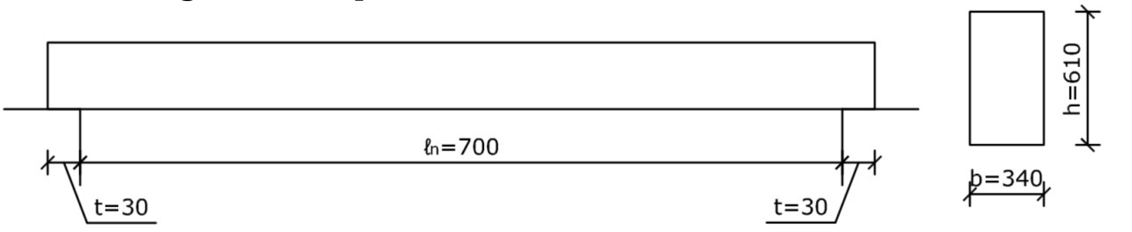
$$f_1 = \int_0^l \frac{M(x)\cdot M(x)}{E\cdot I}\,dx = \int_0^l \kappa(x)\cdot\overline{M}(x)\,dx$$

- a görbületek integrálásával kapható a lehető legpontosabb számítás, de kézzel rendkívül bonyolult és időidényes, végeselemes modellező programok használata szükséges hozzá

Az alakváltozások csökkentésének lehetőségei:

- A hatékony magasság (d) növelése
- Többtámaszúsítás (l és M csökkentése) vagy más statikai váz választása
- Betonminőség növelése (lemezeknél)
- Acélmennyiség növelése (gerendáknál)
- Födémlemez zsaluzatának túlemelése (max l/250 értékkel)
- Feszítés

1. Határozzuk meg az alábbi tartó vasalását, majd ellenőrizzük a tartót használhatósági határállapotokra!



Beton: $C20/25 - 16$

beton minőség:

beton nyomószilárdságnak tervezési értéke: $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1{,}5} = 13{,}33 \mathrm{N/mm^2}$

beton húzószilárdságának várható értéke: $f_{ctm} = 2{,}2 \mathrm{N/mm^2}$

beton hatásos alakváltozási tényezője a kúszás végértékével: $E_{c,eff} = 8500 \mathrm{N/mm^2}$

betontakarás: c_{nom}[1] $= 20$ mm

Betonacél:

betonacél minőség: B500

betoncél folyáshatárának tervezési értéke: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1{,}15} = 434{,}8 \mathrm{N/mm^2}$

betonacél rugalmassági modulusa: $E_s = 200000 \mathrm{N/mm^2}$

Terhek (karakterisztikus érték):

$g_k = 15{,}0 \mathrm{kN/m}$ $\gamma_{G,sup} = 1{,}35$

$q_k = 25{,}0 \mathrm{kN/m}$ $\gamma_Q = 1{,}5$

gerenda önsúlya:

$g_k^g = 0{,}34 * 0{,}61 * 25{,}0 = 5{,}19 \mathrm{kN/m}$ γ_k[2] $= 25{,}0 \mathrm{kN/m^3}$

Elméleti támaszköz:

$$l_{eff}{}^{3} = 7{,}0 + 2 * \min\begin{cases} \frac{t}{2} = \frac{0{,}30}{2} \\ \frac{h}{2} = \frac{0{,}61}{2} \end{cases} = 7{,}30 \mathrm{m}$$

Teher tervezési értéke:

$$p_{Ed} = \gamma_G * \left(g_k + g_k^g\right) + \gamma_Q * q_k = 1{,}35 * (15{,}0 + 5{,}19) + 1{,}5 * 25{,}0 = 64{,}75 \mathrm{kN/m}$$

Nyomaték tervezési értéke:

$$M_{Ed} = p_{Ed} * \frac{l_{eff}{}^2}{8} = 64{,}75 * \frac{7{,}30^2}{8} = 434{,}31 \mathrm{kNm}$$

[1] Vasbeton-szerkezetek tervezése (lsd.: később VSZT.) 64. oldal
[2] Terhek és hatások 33. oldal
[3] VSZT 19. old.

1.1. Vasalás tervezése:

$$a = c_{nom} + d_{kengyel} + \frac{d_{fővas}}{2} = 20 + 10 + \frac{20}{2} = 40\text{mm}$$

$$d = 610 - 40 = 570\text{mm}$$

$f_{cd} = 13{,}33\text{N/mm}^2$ $\qquad$ $f_{yd} = 434{,}8\text{N/mm}^2$

$$\xi_{c0} = \frac{560}{f_{yd} + 700} = \frac{560}{434{,}8 + 700} = 0{,}493$$

$$x_{c0} = \xi_{c0} * d = 0{,}493 * 570 = 281{,}29\text{mm}$$

$$M_{Rd,0} = b * x_{c0} * f_{cd} * \left(d - \frac{x_{c0}}{2}\right) = 340 * 281{,}29 * 13{,}33 * \left(570 - \frac{281{,}29}{2}\right) = 547{,}50\text{kNm}$$

$M_{Rd,0} = 547{,}50\text{kNm} > M_{Ed} = 431{,}31\text{kNm}$ $\Longrightarrow$ Nincs szükség nyomott vasalásra!

$$x_c = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_{Ed}}{b * f_{cd}}} = 570 - \sqrt{570^2 - \frac{2 * 431{,}31 * 10^6}{340 * 13{,}33}} = 203{,}16\text{mm} < x_{c0} = 281{,}29\text{mm} \checkmark$$

$$A_s = \frac{M_{Ed}}{z \cdot f_{yd}} = \frac{431{,}31 \cdot 10^6}{468{,}42 \cdot 434{,}8} = 2117{,}7\text{mm}^2$$

$$z = d - \frac{x_c}{2} = 570 - \frac{203{,}16}{2} = 468{,}42\text{mm}$$

Alkalmazott vasalás: $7\phi20 = 2198\text{mm}^2$

1.1.1. Ellenőrzés:

Vasak közötti szükséges távolság:

$$t = \max\begin{Bmatrix} \phi & = 20\text{mm} \\ 20\text{mm} & = 20\text{mm} \\ d_{g,max} + 5 & = 21\text{mm} \end{Bmatrix} = 21\text{mm}$$

A keresztmetszet szükséges szélességi mérete:

$$b_{min} = 2 \cdot (20 + 10) + 7 \cdot 20 + 6 \cdot 21 = 326\text{mm} < b = 340mm \quad \Longrightarrow a\ vasak\ elférnek\ egy\ sorban.$$

A húzott vasalás előírt legkisebb mennyisége:

$$A_{s,min} = \varrho_{min} \cdot b_t \cdot d = 0{,}0013 \cdot 340 \cdot 570 = 251{,}94\text{mm}^2 < A_{s,alk}$$

Az összes hosszvasalás megengedett legnagyobb mennyisége:

$$A_{s,max} = 0{,}04 \cdot A_c = 0{,}04 \cdot 340 \cdot 610 = 8296\text{mm}^2 > A_{s,alk}$$

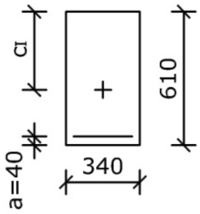
1.2. Lehajlás ellenőrzése:

1.2.1. Lehajlás ellenőrzése közelítő számítással:

kvázi-állandó (tartós) teherkombinációban:

$$p_{qs} = g_k + g_k^g + \psi_2 \cdot q_k = 15{,}0 + 5{,}19 + 0{,}3 \cdot 25{,}0 = 27{,}69 \mathrm{kN/m} \qquad \psi_2 = 0{,}3$$

$$M_{qs} = p_{qs} \cdot \frac{l_{eff}^2}{8} = 27{,}69 \cdot \frac{7{,}30^2}{8} = 184{,}5\ \mathrm{kNm}$$



I. feszültségi állapot:

ideális keresztmetszeti jellemzők:

$$A_I = b \cdot h + (\alpha_E - 1) \cdot A_{s,alk} = 340 \cdot 610 + (23{,}53 - 1) \cdot 2198 = 256944{,}8\ \mathrm{mm}^2$$

$$S_I = b \cdot h \cdot \frac{h}{2} + A_s \cdot (\alpha_e - 1) \cdot d = 340 \cdot 610 \cdot \frac{610}{2} + (23{,}53 - 1) \cdot 2198 \cdot 570 = 91497516\ \ \mathrm{mm}^3$$

$$c_I = \frac{S_I}{A_I} = \frac{91497516\ \ \mathrm{mm}^3}{256944{,}8\ \mathrm{mm}^2} = 356{,}1 \mathrm{mm}$$

$$I_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - c_i\right)^2 + A_s \cdot (\alpha_e - 1) \cdot (d - c_i)^2 =$$

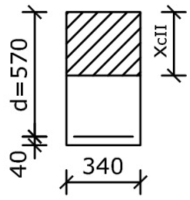
$$= \frac{340 \cdot 610^3}{12} + 340 \cdot 610 \cdot \left(\frac{610}{2} - 356{,}1\right)^2 + (23{,}53 - 1) \cdot 2198 \cdot (570 - 356{,}1)^2$$

$$= 9239525285\ \mathrm{mm}^4 = 9{,}239 \cdot 10^9\ \mathrm{mm}^4$$

repesztő nyomaték:

$$M_{cr} = \frac{f_{ctm} \cdot I_I}{h - c_I} = \frac{2{,}2 \cdot 9{,}239 \cdot 10^9}{610 - 356{,}1} = 80{,}1\ \mathrm{kNm} < M_{qs} \quad \Longrightarrow \text{a tartó megreped}$$

II. feszültségi állapot:



Statikai nyomatékból x_{II} meghatározása:

$$b \cdot x_{II} \cdot \frac{x_{II}}{2} - \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{II}) = 0$$

$$\frac{340 \cdot {x_{II}}^2}{2} - 23{,}53 \cdot 2198 \cdot (570 - x_{II}) = 0$$

$$170 \cdot {x_{II}}^2 + 51696{,}96 \cdot x_{II} - 29467267{,}2 = 0 \qquad /:170$$

$${x_{II}}^2 + 304{,}1 \cdot x_{II} - 173336{,}9 = 0$$

$$x_{II} = \frac{-304{,}1 \pm \sqrt{304{,}1^2 - 4 \cdot 173336{,}9}}{2} = 291{,}2\ \mathrm{mm}$$

$$I_{II} = \frac{b \cdot {x_{II}}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{II})^2 = \frac{340 \cdot 291{,}2^3}{3} + 23{,}53 \cdot 2198 \cdot (570 - 291{,}2)^2 = 6{,}817 \cdot 10^9 \mathrm{mm}^4$$

Alakváltozások ellenőrzése közelítő számítással

A teher tartósságát, vagy ciklikusságát figyelembe vevő tényező:

$\beta = 0{,}5$ (itt tartós terhet veszünk figyelembe esetén, ez az érték egyszeri vagy rövid idejű tehernél 1,0)

A ζ[zéta] tényezővel figyelembe vesszük a húzott betonöv merevítő hatását. A biztonság javára tett közelítésként a tartó teljes hosszán egyetlen ζ tényezőt veszünk figyelembe.

$$\zeta^{4} = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M}\right)^2 = 1 - 0{,}5 \cdot \left(\frac{80{,}1}{184{,}5}\right)^2 = 0{,}906$$

A tartó lehajlásának közelítő számítási képlete:

$$w^{5} = (1 - \zeta) \cdot w_I + \zeta \cdot w_{II}$$

Egy egyenletesen megoszló teherrel terhelt kéttámaszú tartó lehajlása általános esetben (itt minden esetben a kvázi-állandó teherkombinációt vesszük figyelembe):

$$w_I = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{qs} \cdot leff^4}{E_{c,eff} \cdot I_I}$$

Az I. feszültségi állapot feltételezésével számított lehajlás:

$$w_I = \frac{5}{384} \cdot \frac{27{,}69 \cdot 7300^4}{8500 \cdot 9{,}239 \cdot 10^9} = 13{,}04 \text{ mm}$$

Az II. feszültségi állapot feltételezésével számított lehajlás:

$$w_{II} = \frac{5}{384} \cdot \frac{27{,}69 \cdot 7300^4}{8500 \cdot 6{,}817 \cdot 10^9} = 17{,}67 \text{ mm}$$

A tartó lehajlásának közelítő számítási képlete:

$$w = (1 - \zeta) \cdot w_I + \zeta \cdot w_{II}$$

$$w_{max} = (1 - 0{,}906) \cdot 13{,}04 + 0{,}906 \cdot 17{,}67 = 17{,}2 \text{ mm} < \frac{l_{eff}}{250} = \frac{7300}{250} = 29{,}2 \text{ mm}$$

[4] VSZT 57. old.
[5] VSZT 58. old.

1.Megjegyzés:

Az ideális keresztmetszeti jellemzők meghatározása során a szerelővas hatását nem vettük figyelembe. Amennyiben a keresztmetszet tartalmaz nyomott vasalást is, az keresztmetszeti tényezőket az alábbi módon számíthatjuk:

I. feszültségi állapot:

$$A_i = b \cdot h + A_s \cdot (\alpha_e - 1) + A_s{}' \cdot (\alpha_e - 1) = b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot (A_s + A_s{}')$$

$$S_i = b \cdot h \cdot \frac{h}{2} + A_s \cdot (\alpha_e - 1) \cdot d + A_s{}' \cdot (\alpha_e - 1) \cdot d'$$

$$c_i = \frac{S_i}{A_i}$$

$$I_i = \frac{b \cdot h^3}{12} + b \cdot h \cdot \left(\frac{h}{2} - c_i\right)^2 + A_s \cdot (\alpha_e - 1) \cdot (d - c_i)^2 + A_s{}' \cdot (\alpha_e - 1) \cdot (c_i - d')^2$$

II. feszültségi állapot:

$$A_i = b \cdot x_{II} + A_s \cdot \alpha_e + A_s{}' \cdot (\alpha_e - 1)$$

$$b \cdot x_{II} \cdot \frac{x_{II}}{2} + (\alpha_e - 1) \cdot A_s{}' \cdot (x_{II} - d') - \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{II}) = 0$$

x_{II} a fenti másodfokú egyenlet gyöke

$$I_{II} = \frac{b \cdot x_{II}{}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x_{II})^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_s{}' \cdot (x_{II} - d')^2$$

2.Megjegyzés:

A számítás során (egyszerűsítésként) a zsugorodásból származó alakváltozásoktól eltekintettünk.

A zsugorodási hatás figyelembevételével:[6]

$$\kappa_{I,cs} = \varepsilon_{cs} \cdot \frac{E_s}{E_{c,eff}} \cdot \frac{S_{s,I}}{I_I} \qquad \kappa_{II,cs} = \varepsilon_{cs} \cdot \frac{E_s}{E_{c,eff}} \cdot \frac{S_{s,II}}{I_{II}}$$

Beton zsugorodásának végértéke: $\varepsilon_{cs} = 0{,}4‰$

A zsugorodásból keletkező görbület számításához szükség van az $S_{s,I}$ és $S_{s,II}$ értékekre, amik az acélbetétek keresztmetszetének elsőrendű nyomatékai a keresztmetszet I. ill. II. feszültségi állapot szerinti súlypontjára.

$$S_{s,I} = A_s \cdot (d - c_I) = 2198 \cdot (570 - 356{,}1) = 470395{,}1 \text{ mm}^3$$

$$S_{s,II} = A_s \cdot (d - c_{II}) = 2198 \cdot (570 - 291{,}18) = 612846{,}4 \text{ mm}^3$$

$$\kappa_{I,cs} = 0{,}0004 \cdot \frac{200000}{8500} \cdot \frac{470395{,}1}{9{,}239 \cdot 10^9} = 4{,}792 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{mm}}$$

$$\kappa_{II,cs} = 0{,}0004 \cdot \frac{200000}{8500} \cdot \frac{612846{,}4}{6{,}817 \cdot 10^9} = 8{,}461 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{mm}}$$

$$w_I = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{qs} \cdot l^4}{E_{c,eff} \cdot I_I} + \frac{1}{8} \cdot l^2 \cdot \kappa_{I,cs} = \frac{5}{384} \cdot \frac{27{,}69 \cdot 7300^4}{8500 \cdot 9{,}239 \cdot 10^9} + \frac{1}{8} \cdot 7300^2 \cdot 4{,}792 \cdot 10^{-7} = 16{,}2 \text{ mm}$$

$$w_{II} = \frac{5}{384} \cdot \frac{p_{qs} \cdot l^4}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} + \frac{1}{8} \cdot l^2 \cdot \kappa_{II,cs} = \frac{5}{384} \cdot \frac{27{,}69 \cdot 7300^4}{8500 \cdot 6{,}817 \cdot 10^9} + \frac{1}{8} \cdot 7300^2 \cdot 8{,}461 \cdot 10^{-7} = 23{,}31 \text{ mm}$$

$$w_{max} = (1 - 0{,}906) \cdot 16{,}2 + 0{,}906 \cdot 23{,}31 = 22{,}64 \text{ mm} < \frac{l_{eff}}{250} = \frac{7300}{250} = 29{,}2 \text{ mm}$$

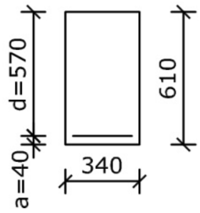
$w_{max} = 22{,}64$ mm , tehát a beton zsugorodásának figyelembe vételével ~30% lehajlás növekedést tapasztalunk.

[6] VSZT 58. old.

1.2.2. Lehajlás ellenőrzése egyszerűsített módszerrel[7]

$$\underbrace{\frac{l/K}{d}} \leq \underbrace{\alpha \cdot (l/d)}$$

karcsúság $\leq$ megengedett karcsúság



$l_{eff} = 7{,}30\text{m}$ $\qquad$ $d = 570\text{mm}$

első közelítésként α=1,0 β=1,0

K[8]=1,0 (kéttámaszú tartó)

$$\frac{l/K}{d} = \frac{7{,}30/1{,}0}{0{,}57} = 12{,}81 \quad \Longrightarrow \text{a tartó karcsúsága}$$

$$\beta \cdot \frac{p_{Ed}}{b} = 1{,}0 \cdot \frac{64{,}75}{0{,}34} = 190{,}44 \quad \Longrightarrow \left(\frac{l}{d}\right)_{eng}$$[9] $$= 14$$

$$\left(\frac{l}{d}\right)_{eng} = 14 > 12{,}81 \quad \Longrightarrow \textit{a tartó megfelel}$$

<u>A terhek arányának, a teherbírási túlméretezésnek, és az acél szilárdsági osztályának figyelembevételével:</u>

$$\beta = \frac{M_{Rd}}{M} \cdot \frac{500}{f_{yk}} \cong \frac{A_{s,prov}}{A_{s,requ}} \cdot \frac{500}{f_{yk}} = \frac{2194}{2117{,}7} \cdot \frac{500}{500} = 1{,}038$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \beta \cdot \frac{p_{Ed}}{p_{qs}}} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot 1{,}038 \cdot \frac{64{,}75}{27{,}69}} = 1{,}10$$

$$\beta \cdot \frac{p_{Ed}}{b} = 1{,}038 \cdot \frac{64{,}75}{0{,}34} = 197{,}68 \quad \Longrightarrow \left(\frac{l}{d}\right)_{eng} = 14$$

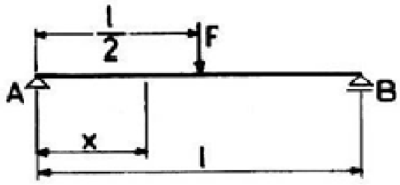
$$\alpha \cdot \left(\frac{l}{d}\right)_{eng} = 1{,}10 \cdot 14 = 15{,}4 > 12{,}81 \quad \Longrightarrow \textit{megfelel}$$

Megjegyzés:

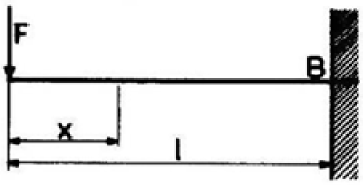
Ebben a helyzetben az eredmény alig változott (nyilván).

[7] VSZT 54. old.
[8] VSZT 55. old. táblázat
[9] VSZT 57. old. táblázat

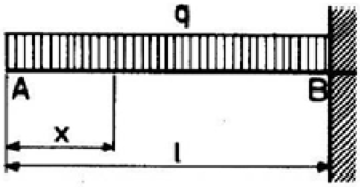
A lehajlás számítása általános esetekben:



$$w = \frac{F \cdot l^3}{48 \cdot EI}$$



$$w = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot EI}$$



$$w = \frac{q \cdot l^4}{8 \cdot EI}$$

1.3. Repedéstágasság ellenőrzése[10]

1.3.1. Repedéstágasság részletes számítása:

A repedéstágasságok karaszterisztikus értékét az alábbi képlett lehet meghatározni az EC szerint:

$$w_k = \max\begin{cases} S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \\ 0{,}6 \cdot S_{r,max} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \end{cases}$$

a képletet a ZH-n megadjuk

A repedések maximális távolsága:

$$S_{r,max} = 3{,}4 \cdot c + 0{,}425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \phi_s \cdot \frac{A_{c,eff}}{A_s}$$

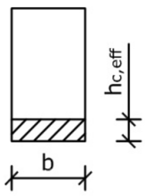
$c_{nom} = 20mm$

$k_1 = 0{,}8$ (bordás acélbetét)

$k_2 = 0{,}5$ (hajlításnál)

A hatékony húzott terület magassága:

$$h_{c,eff} = \min\begin{Bmatrix} 2{,}5 \cdot (h - d) = 2{,}5 \cdot (610 - 570) = 100\ mm \\ (h - x)/3 = \frac{610 - 291{,}2}{3} = 106{,}2\ mm \\ h/2 = 610/2 = 305\ mm \end{Bmatrix} = 100mm$$



$x = x_{cII}$=291,2 mm (II. feszültségi állapotban)

A hatékony húzott keresztmetszet nagysága:

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff} = 340 \cdot 100 = 34000\ mm^2$$

$$S_{r,max} = 3{,}4 \cdot c + 0{,}425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \phi_s \cdot \frac{A_{c,eff}}{A_s} = 3{,}4 \cdot 20 + 0{,}425 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}5 \cdot 20 \cdot \frac{34000}{2198} = 120{,}6\ mm$$

A húzott betonacélok átlagos megnyúlása a repedések között:

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_{sII} - 0{,}4 \cdot f_{ctm} \cdot \frac{A_{c,eff}}{A_s}}{E_s}$$

$$\sigma_{sII} = \alpha_e \cdot \frac{M_{qs}}{I_{II}} \cdot (d - x_{cII}) = 23{,}53 \cdot \frac{184{,}5 \cdot 10^6}{6{,}817 \cdot 10^9} \cdot (570 - 291{,}2) = 177{,}56\ N/mm^2$$

$$\varepsilon_{sm} = \frac{\sigma_{sII} - 0{,}4 \cdot f_{ctm} \cdot \frac{A_{c,eff}}{A_s}}{E_s} = \frac{177{,}56 - 0{,}4 \cdot 2{,}2 \cdot \frac{34000}{2198}}{200000} = 8{,}81 \cdot 10^{-4}$$

A húzott beton átlagos nyúlása a repedések között:

$$\varepsilon_{cm} = \frac{0{,}4 \cdot f_{ctm}}{E_{cm}}$$

$$\varepsilon_{cm} = \frac{0{,}4 \cdot f_{ctm}}{E_{cm}} = \frac{0{,}4 \cdot 2{,}2}{30000} = 2{,}93 \cdot 10^{-5}$$

$$w_k = \max\begin{cases} S_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \\ 0{,}6 \cdot S_{r,max} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \end{cases} =$$

$$= \max\begin{Bmatrix} 120{,}6 \cdot (8{,}81 \cdot 10^{-4} - 2{,}93 \cdot 10^{-5}) = 0{,}10\ mm \\ 0{,}6 \cdot 120{,}6 \cdot \frac{177{,}56}{200000} = 0{,}06\ mm \end{Bmatrix} = 0{,}10mm < w_{k,eng} = 0{,}3\ mm \quad \Rightarrow \text{megfelel!}$$

[10] VSZT 63. old.

1.3.2. Repedések korlátozása részletes számítás nélkül.[11]:

Az acélbetétekben ébredő feszültség az alábbi képlettel becsülhető:

$$\sigma_{sII} \cong f_{yd} \cdot \frac{p_{qs}}{p_{Ed}} \cdot \frac{A_{s,requ}}{A_{s,prov}} = 434{,}8 \cdot \frac{27{,}69}{64{,}75} \cdot \frac{2117{,}7}{2198} = 179{,}15\ \mathrm{N/mm^2}$$

(pontos számításnál $\sigma_{sII} = 177{,}56\ \mathrm{N/mm^2}$)

ha:

$w_{k,eng} = 0{,}3\mathrm{mm}$

$\sigma_s = 180\mathrm{N/mm^2}$

$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{2198}{340 \cdot 570} = 1{,}13\ \% \approx 1{,}0\ \%$

akkor (táblázatból [12]):

$\phi_{max} = 34$ mm (biztonsággal)

alkalmazott vasalás $\phi 20 < \phi 34$ megfelel!

[11] VSZT 61. old.
[12] VSZT 61. old.