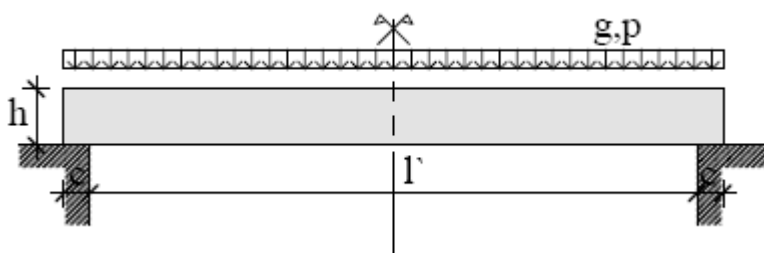


Kéttámaszú gerenda vasalása

Gyakorlati segédlet a tervezési feladathoz

Völgyi István és Dr. Kiss Rita korábbi gyakorlati segédlete felhasználásával
készítette: Friedman Noémi és Dr. Kiss Rita

Feladat:



A fenti ábrán vázolt négyszög keresztmetszetű, egyenletes megoszló erővel terhelt kéttámaszú vasbeton gerenda vasalási tervének elkészítése a használhatósági határállapotok ellenőrzésével. A gerenda főbb méreteit, anyagát és a rá ható terheket az alábbiakban adjuk meg.

Anyagok:

Beton: C25/30-8/KK
Betonacél: S500B

Geometria:

A gerenda szabad nyílása (l): 7.50 m
Feltámaszkodási hossz (a): 30 cm

Terhek:

Állandó teher* (g): 36.5 kN/m Az állandó teher biztonsági tényezői: $\gamma_{g,sup} = 1.35$, $\gamma_{g,inf} = 0.9$.

Hasznos teher (p): 40 kN/m A hasznos teher biztonsági tényezője: $\gamma_p = 1.5$.

Lehajlási korlát: $L/250$, a repedéstágassági korlát: 0.3mm, a gerendát száraz, alacsony relatív páratartalmú épületbe tervezzük (XC1 környezeti osztály).

* Az állandó teher tartalmazza a gerenda önsúlyát is

0. Alkalmazott szabványok

MSZ EN 1991-1-1 A tartószerkezeteket érő hatások. Általános hatások. Sűrűség, önsúly és az épületek hasznos terhei

MSZ EN 1992-1-1 Betonszerkezetek tervezése. Általános és az épületekre vonatkozó szabályok

1. Kiindulási adatok

a) Anyagjellemzők (lásd a Mellékletben)

Beton (C25/30-8/KK) $\gamma_c := 1.5$ $\alpha_c := 1$

*Bordás betonacél esetén: "jó" tapadási körülmények mellett $\eta_1=1$, különben $\eta_1=0.7$. $\phi \leq 32\text{mm}$ esetén $\eta_2=1$, $\phi > 32\text{mm}$ esetén $\eta_2=(132-\phi)/100$.

$$f_{ck} := 25 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 16.67 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{ctk.0.05} := 1.8 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{ctd} := \frac{f_{ctk.0.05}}{\gamma_c} = 1.2 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ctm} := 2.6 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \eta_1 := 1 \quad \eta_2 := 1 \quad f_{bd} := \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} \cdot 2.25 = 2.7 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ct,eff} := f_{ctm} \quad E_{cm} := 31 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} \quad \phi_t := 2.3 \quad E_{c,eff} := \frac{1.05 E_{cm}}{1 + \phi_t} = 9.9 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

$$\epsilon_{cu} := -0.35\% \quad d_g := 8\text{mm} \quad \rho_{beton} := 25 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Betonacél (S500B) $\gamma_s := 1.15$

$$f_{yk} := 500 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.78 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \epsilon_{su} := 2.5\% \quad E_s := 200 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$$

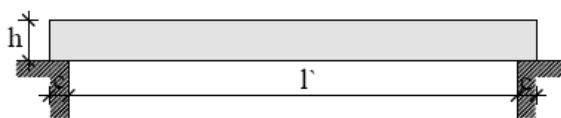
$$\xi_{c0} := \frac{560 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{f_{yd} + 700 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 0.493$$

$$\xi'_{c0} := \frac{560 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{700 \cdot \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - f_{yd}} = 2.111$$

b.) Geometria (1. ábra)

Szabad fesztávolság: $l' := 7.5\text{m}$

Feltámaszkodási hossz: $c := 30\text{cm}$



1. ábra: Geometriai kiindulási adatok

A gerenda keresztmetszeti jellemzői:

Tekintettel arra, hogy szabad tervezés a feladatunk, azaz a keresztmetszeti méretek nem adottak, ezek a geometriai méretek még nem ismertek.

Mivel az ismeretlenek száma több a rendelkezésünkre álló egyenletek számánál, így a keresztmetszet hasznos magasságának (d), valamint a tartó szélességének (b) arányát önkényesen felvesszük egy esztétikailag ideális értékre. Ezt az értéket a továbbiakban kiindulási adatként kezeljük.

A keresztmetszet hasznos magasságának (d) és szélességének (b) aránya: $\eta := \frac{d}{b} \quad \eta := 1.5$

Kedvezőtlen vaselmozdulás: $\delta := 10\text{mm}$

A számításhoz felvett kiindulási vasátmérők:

Kengyel: $\phi_k := 10\text{mm}$ Betonfedés: $c_{\min,dur} := 15\text{mm}$ **

Hosszvas: $\phi_l := 20\text{mm}$ $c_{\min,b} := \phi_l$

$c_{\min} := \max(c_{\min,dur}, c_{\min,b}, 10\text{mm}) = 20 \cdot \text{mm}$ Legyen $c_u := 20\text{mm}$!

**XCI környezeti osztályú, azaz alacsony relatív páratartalmú épületben lévő beton, valamint S4 szerkezeti osztály esetén.

c.) Terhek, teherkombinációk

$$\text{Állandó teher: } g := 36.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

* Feltételezzük, hogy a gerenda hasznos terhei A' kategóriájú földem hasznos terheiből származnak

$$\gamma_{g,\text{sup}} := 1.35 \quad \gamma_{g,\text{inf}} := 0.9$$

$$\text{Hasznos teher: } p := 40 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \gamma_p := 1.5 \quad \psi_2 := 0.3^* \quad \psi_0 := 0.7^*$$

Teherbírási határállapot vizsgálatához a legnagyobb teher:
(alapkombináció esetén, ha nem vizsgálunk használhatósági határállapotokat)

$$q := g \cdot \gamma_{g,\text{sup}} + p \cdot \gamma_p \quad q = 109.28 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

A későbbiekben vizsgáljuk a lehajlást és a repedéstágasságot így teherbírási határállapotban most elegendő a

$$q := \max\left(g \cdot 1.15 + p \cdot \gamma_p, g \cdot \gamma_{g,\text{sup}} + p \cdot \gamma_p \cdot 0.7\right) \quad q = 102.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{teherkombinációval számolunk.}$$

Ahol

$$g \cdot 1.15 + p \cdot \gamma_p = 102.0 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad g \cdot \gamma_{g,\text{sup}} + p \cdot \gamma_p \cdot 0.7 = 91.3 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

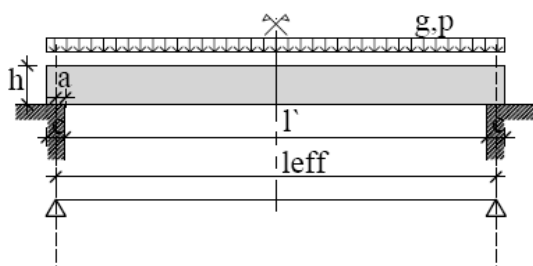
$$\text{A kvázi állandó teherkombináció esetén: } p_{qp} := g + \psi_2 \cdot p \quad p_{qp} = 48.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\text{Karakterisztikus teherkombináció esetén: } p_{car} := g + p \quad p_{car} = 76.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

2. Statikai váz meghatározása

Tekintettel arra, hogy a gerendavég a feltámaszkodásnál szabadon el tud fordulni, a statikai vázunk egy kéttámaszú, statikailag határozott tartó.

Az elméleti támaszvonaltávolsága a feltámaszkodási ponttól (2. ábra):



$$a := \frac{l'}{2}$$

$$a = 15 \cdot \text{cm}$$

Az elméleti támaszköz:

$$l_{\text{eff}} := l' + 2a \quad l_{\text{eff}} = 7.80 \text{ m}$$

**Az MSZ EN által előírt érték:
 $a = \min(1/2c; 1/2h)$. Mivel h még nem ismert, így kiindulásként $1/2 c$ értékkel számolunk. Erre a pontra a későbbiekben (a.4.a fejezetben) még visszatérünk.

2. ábra: Statikai váz

3. Tervezési igénybevételek meghatározása**a.) Tervezési nyomaték meghatározása**

A maximális nyomaték mezőközépen

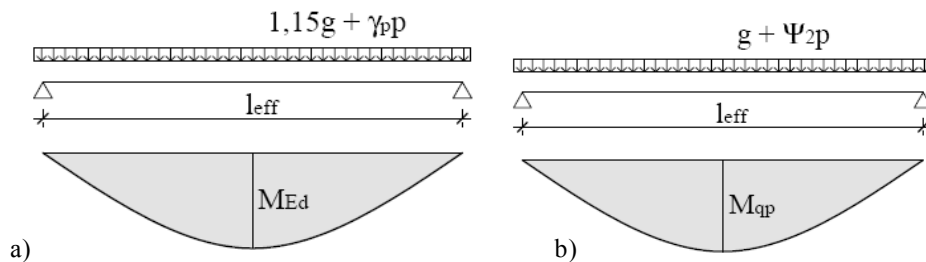
$$\text{Teherbírási határállapotban:} \quad M_{\text{Ed}} := \frac{q \cdot l_{\text{eff}}^2}{8} \quad M_{\text{Ed}} = 775.5 \cdot \text{kNm}$$

(alapkombinációból, 3.a ábra)

$$\text{Kvázi állandó teher hatására:} \quad M_{\text{qp}} := \frac{p_{qp} \cdot l_{\text{eff}}^2}{8} \quad M_{\text{qp}} = 368.8 \cdot \text{kNm}$$

(3.b ábra)

$$\text{Karakterisztikus teher hatására:} \quad M_{\text{car}} := \frac{p_{car} \cdot l_{\text{eff}}^2}{8} \quad M_{\text{car}} = 581.8 \cdot \text{kNm}$$



3. ábra: Mértékadó nyomatékok

a) teherbírési határállapot vizsgálatához; b) használati határállapot vizsgálatához

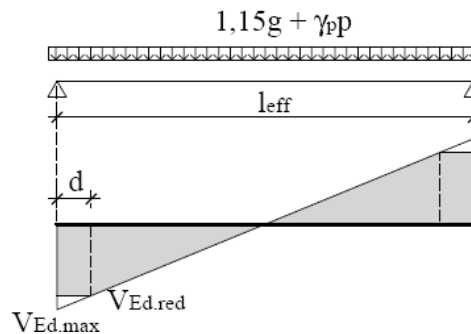
b.) Tervezési nyíróerők meghatározása (4. ábra)

A mértékadó nyíróerő a támasznál:
(q, teljes hosszán megoszló teherből)

$$V_{Ed,max} := \frac{q \cdot l_{eff}}{2} \quad \boxed{V_{Ed,max} = 397.7 \cdot \text{kN}}$$

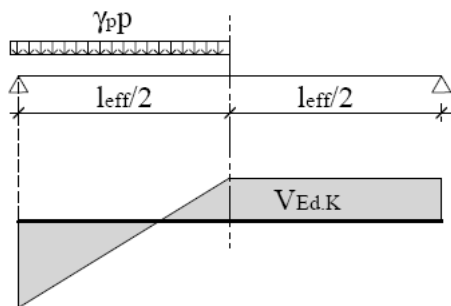
A redukált nyíróerő: $V_{Ed,red} := V_{Ed,max} - q \cdot d$

A redukált nyíróerő ($V_{Ed,red}$) számítására csak a 6. pontban kerül sor, mivel itt még nem ismerjük d pontos értékét.



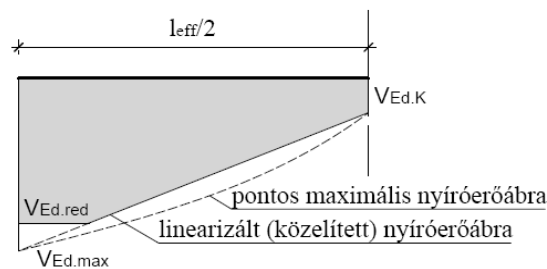
4. ábra: Mértékadó nyíróerő a támasznál és a redukált nyíróerő

A középső keresztmetszetben akkor kapunk maximális nyíróerőt, ha csak a tartó felét terheljük le. Feltételezve, hogy az önsúly egyenletesen oszlik meg, nyíróerő a tartó közepén csak a hasznos teherből keletkezik (5. ábra):



5. ábra: Mértékadó nyíróerő mezőközepén egyenletes önsúlyt feltételezve

$$V_{Ed,K} := \frac{p \cdot \gamma_p \cdot l_{eff}}{8} \quad \boxed{V_{Ed,K} = 58.5 \cdot \text{kN}}$$



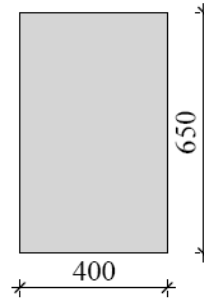
6. ábra: Mértékadó nyíróerőábra közelítése

A két számított pont között a nyíróerőábra másodfokú parabola. Most azonban közelítésként a mértékadó nyíróerő-ábrát lineárisnak vesszük fel (6. ábra).

4. Nyomatéki tervezés

a.) Szabad tervezés; a beton keresztmetszeti méreteinek felvétele (7. ábra)

A relatív nyomott betonzóna magasságának egy választott, ideális értéke: $\xi_c := 0.4$



7. ábra:
Keresztmetszeti méretek

A nyomatéki egyenletet "d"-re kifejtve:
$$d := \frac{\sqrt[3]{\eta \cdot M_{Ed}}}{\alpha_c \cdot f_{cd} \cdot \xi_c \cdot \left(1 - \frac{\xi_c}{2}\right)}$$

$d = 602 \text{ mm}$

**A tartómagasságot és a tartószélességet 5 cm-re (esetleg 2 cm-re) kerekíteni kell felvenni!*

$h := d + \frac{\phi_1}{2} + \phi_k + c_u + \delta \quad h = 652 \text{ mm} \Rightarrow \boxed{h := 650 \text{ mm}}$

$\frac{d}{\eta} = 401 \text{ mm} \Rightarrow \boxed{b := 400 \text{ mm}}$

Mivel $1/2h = 325 \text{ mm} > 1/2c$ így a 2. pontban számított "a" érték és így az elméleti feszítávolság is helyes.

A szükséges vasmenyiséget az itt már felvett keresztmetszeti méretekből, kötött tervezésként számoljuk.

b.) Kötött tervezés; a gerenda hosszvasalásának (A_{sI}) meghatározása

A hatékony magasság: $d := h - \left(\frac{\phi_1}{2} + \phi_k + c_u + \delta\right) \quad d = 600 \cdot \text{mm}$

A nyomatéki egyenletből x_c meghatározása: $M_{Ed} = b \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot x_c \cdot \left(d - \frac{x_c}{2}\right)$

$\Rightarrow \boxed{x_c = 243.1 \cdot \text{mm}}$

$\frac{x_c}{d} = 0.405 < \xi_{c0} = 0.493 \Rightarrow$ Az acélbetétek folyási állapotban vannak.

A vetületi egyenletet A_s -re kifejtve:

$A_{s,min} := \frac{b \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot x_c}{f_{yd}}$

***A túl nagy repedéstágasság elkerülése érdekében inkább több, kisebb átmérőjű acélbetétet alkalmazunk!
A betonacélok elhelyezésével kapcsolatos szerkezeti szabályok és hasznos adatok a Mellékletben található.*

$\phi_1 = 20 \cdot \text{mm}$

$A_{s,min} = 3728 \cdot \text{mm}^2$

$n_{min} := \frac{A_{s,min}}{\left(\frac{\phi_1^2 \cdot \pi}{4}\right)} \quad n_{min} = 12 \Rightarrow$ Legyen $\boxed{n := 13 \text{ db}}$!****

****A 13 acélbetét csak két sorban elhelyezhető (lásd alább), ezért az acélbetétek súlypontja feljebb kerül, és a határos magasság kisebb lesz a számításban szereplő értéknél. E miatt (lásd a pontos számítási értékeket az 5.1. táblázat második sorában) a 12 acélbetét nem lesz jelen esetben elegendő.*

$A_{sI} := \left(\frac{\phi_1^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot n \quad A_{sI} = 4084 \cdot \text{mm}^2$

****** d_g a legnagyobb szemcseátmérő.**

Az acélbetétek között legalább $s_\phi := \max(d_g + 5 \text{ mm}, 20 \text{ mm}) = 20 \cdot \text{mm}$

$n \cdot \phi_1 + (n - 1) \cdot s_\phi + 2 \cdot \phi_k + 2 \cdot c_u = 560 \cdot \text{mm} > b = 400 \cdot \text{mm} \Rightarrow$ Az acélbetétek nem férnek el egy sorban.

Az egy sorban elhelyezhető acélbetétek száma:

******Külön sorban egyetlen acélbetétet nem lehet elhelyezni a kivitelezhetőség miatt**

$\left\lceil \frac{b - (2c_u + 2\phi_k) + s_\phi}{\phi_1 + s_\phi} \right\rceil = 9.00 \Rightarrow 13 - 9 = 4 \text{ db acélbetétet egy második, felső sorban helyezünk el (8. ábra)*****}$

c.) Ellenőrzés

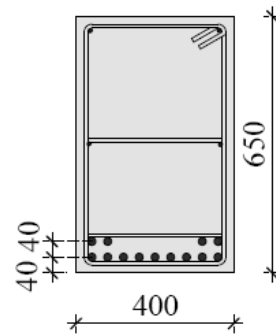
Nyomatéki ellenőrzés

Az alkalmazott hatásos magasság: $d := h - \left(c_u + \phi_k + \frac{\phi_l}{2} + \frac{4}{13} \cdot 40\text{mm} + \xi \right)$
 $d = 587.7 \cdot \text{mm}$

$x_c := \frac{A_{sl} \cdot f_{yd}}{b \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}$ $x_c = 266.4 \cdot \text{mm}$

$\frac{x_c}{d} = 0.453$ < $\xi_{c0} = 0.493 \Rightarrow$

Az acélbetétek határállapotban képlékeny állapotban vannak.



8 ábra: Keresztmetszeti kialakítás mezőközépen

Az acélbetétek fajlagos megnyúlása határállapotban: $\epsilon_s := -\epsilon_{cu} \cdot \frac{d - 1.25 \cdot x_c}{1.25 \cdot x_c}$

$\epsilon_s = 0.268 \cdot \%$ < $\epsilon_{su} = 2.5 \cdot \%$ \Rightarrow Az acélbetétek nem szakadnak el a beton tönkremenetele előtt.

$M_{Rd} := b \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot x_c \cdot \left(d - \frac{x_c}{2} \right)$ $M_{Rd} = 807.1 \cdot \text{kNm}$ > $M_{Ed} = 775.5 \cdot \text{kNm} \Rightarrow$ A keresztmetszet nyomatéki teherbírása megfelel.

A szerkesztési szabályok ellenőrzése

$A_{sl,min_0} := \frac{0.6 \cdot f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d$ $A_{sl,min_0} = 733.4 \cdot \text{mm}^2$ $A_{sl,min_1} := 0.0013 \cdot b \cdot d$ $A_{sl,min_0} = 733.4 \cdot \text{mm}^2$

A minimális vasmenyiség: $A_{sl,min} := \min(A_{sl,min})$ $A_{sl,min} = 306 \cdot \text{mm}^2$

A maximális vasmenyiség: $A_{s,max} := 0.04 \cdot b \cdot d$ $A_{s,max} = 9403 \cdot \text{mm}^2$

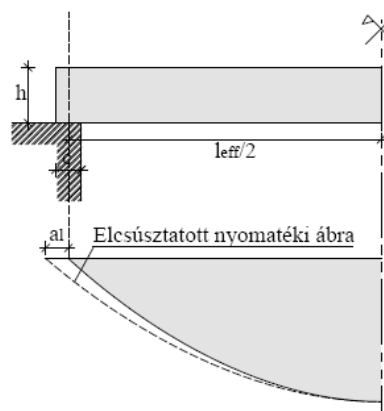
$A_{sl,min} = 306 \cdot \text{mm}^2 < A_{sl} = 4084 \cdot \text{mm}^2 < A_{s,max} = 9403 \cdot \text{mm}^2$

\Rightarrow Az alkalmazott vasmenyiség a szerkesztési szabályoknak megfelel.

*A nyirási igénybevételeket az 'A' változat esetében csak kengyelekkel, a B változat esetében kengyelekkel és felhajlított vasakkal vesszük fel. A biztonság javára, közelítésként, mindkét esetben $\alpha=90^\circ$ -kal számolunk.

5 A határnyomatéki ábra előállítása, vaselhagyás tervezése

A 13 hosszvasnak legalább a negyedét, azaz legalább 4 vasat végig kell vezetni. A továbbiakban két különböző vasalási lehetőségre mutatunk példát:
 -A változat: Nem alkalmazunk felhajlított acélbetétet;
 -B változat: Több, két helyen felhajlított acélbetétet alkalmazunk.
 A két változat számításának első három pontja megegyezik.



9 ábra: Elcsúsztatott nyomatéki ábra

a.) A mértékadó nyomatéki ábra (9. ábra)

A nyomatéki ábra elcsúsztatásának mértéke:

$a_1 = \frac{1}{2} \cdot z \cdot \cot\theta$ (90°-os kengyelvasalással.)*

ahol: $z := 0.9 \cdot d$ $\cot\theta := 1.3$
 $\theta = 37.6 \cdot \text{fok}$

$a_1 := \frac{1}{2} \cdot z \cdot \cot(\theta)$ $a_1 = 343.8 \cdot \text{mm}$

** θ a rácsostartó modell ferde nyomott rácsrúdjainak dőlésszöge, melynek értékét 1 és 2,5 között vehetjük fel. Az egyszerűség kedvéért válasszuk $\cot(\theta)$ értékét 1,3-ra. Ezzel valamelyest ellensúlyozzuk, hogy az Eurocode előírásai alapján a méretezett nyirási vasalást tartalmazó szakaszok nyirási teherbírás-számításánál a nyirási vasalás teherbírásához nem adhatjuk hozzá a betonnal felvehető nyíróerőt.

b.) A lehorgonyzási hosszak meghatározása

A húzott vas (φ20) lehorgonyzási hosszának meghatározása*

A tapadási feszültség tervezési értéke: $f_{bd} = 2.7 \cdot \frac{N}{mm^2}$

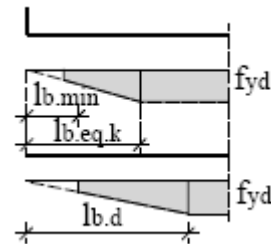
A teljes lehorgonyzási hossz: $l_{b.rqd} := \frac{\phi_1 \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}}$ $l_{b.rqd} = 805 \cdot mm$

A nettó lehorgonyzási hossz (10. ábra):

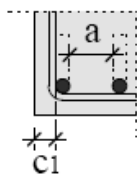
-egyenes végű acélbetét esetén: $\alpha_1 := 1$ $l_{b.d} := \alpha_1 \cdot l_{b.rqd}$ $l_{b.d} = 805 \cdot mm$

-kampózott végű acélbetét esetén: $\alpha_{1,k} := 0.7$ $l_{b.eq.k} := \alpha_{1,k} \cdot l_{b.rqd}$ $l_{b.eq.k} = 564 \cdot mm$

A minimális lehorgonyzási hossz (húzott zónában) $l_{b.min} := \max(0.3 \cdot l_{b.rqd}, 10 \cdot \phi_1, 100mm)$ $l_{b.min} = 242 \cdot mm$



10 ábra: Lehorgonyzási hosszak értelmezése



*A nettó-, a minimális és az egyenértékű lehorgonyzási hosszak jelentését a 10. ábra magyarázza.

**A 0.7 érték csak akkor vehető figyelembe ha az 11. ábra szerinti ℓ_1 valamint $\ell/2$ értékek kisebbek mint 3ϕ .

11 ábra: $\alpha_1=0,7$ tényező

figyelembevételének feltétele a lehorgonyzási hossz számításánál

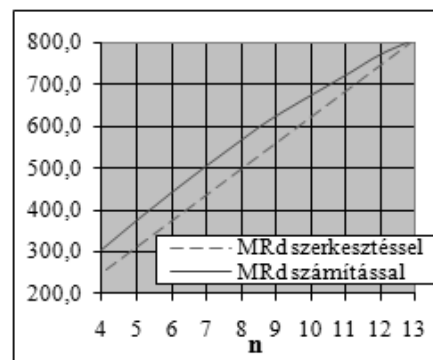
c.) A határnyomatéki ábra értékeinek meghatározása

A következő nyomatéki értékek számítását gépi számítással a 4.c.pontnak megfelelően gyorsan elvégeztük. A számítás eredményeit az 1.táblázatban foglaltuk össze.

Amennyiben kézzel dolgozunk a számítás igen hosszadalmas lehet, így érdemesebb közelítésként lineáris interpolációval kiszerezteni a nyomatéki értékeket (a határnyomatéki ábra szerkesztésekor a mezőközépi M_{Rd} értéket egyszerűen felosztjuk annyi részre, ahány

*hosszvasat alkalmaztunk -jelen esetben 13-at).****

Valójában a vaselhagyásokkal a hatásos magasság (d) folyamatosan változik, így a nyomatékok nem lineárisan fognak csökkenni. Ha célszerűen a felső sor hosszacélait kezdjük elhagyni (ezzel a hosszacélok súlypontját egyre lejjebb helyezve, azaz a hatásos magasságot egyre növelve),ezzel a módszerrel a biztonság javára közelítünk (12. ábra).



12 ábra: Közelítő módszer pontatlansága

***Kézi szerkesztés esetén célszerű A2-es miliméterpapírra dolgozni úgy, hogy a határnyomatéki-ábra alá elférjen a határnyíróerő-ábra is.

n [db]	A_{s1}	d [mm]	x_c [mm]	x_c/d	folyik?	ϵ_s	M_{Rd} [kNm]
13	4085	587,7	266,3	0,453	folyik	0,27%	807,2
12	3770	593,3	245,8	0,414	folyik	0,33%	771,1
11	3456	592,7	225,4	0,380	folyik	0,39%	721,4
9	2828	600,0	184,4	0,307	folyik	0,56%	624,3
8	2514	600,0	163,9	0,273	folyik	0,68%	566,2
7	2199	600,0	143,4	0,239	folyik	0,82%	505,2
6	1885	600,0	122,9	0,205	folyik	1,02%	441,4
5	1571	600,0	102,4	0,171	folyik	1,29%	374,8
4	1257	600,0	81,9	0,137	folyik	1,70%	305,5

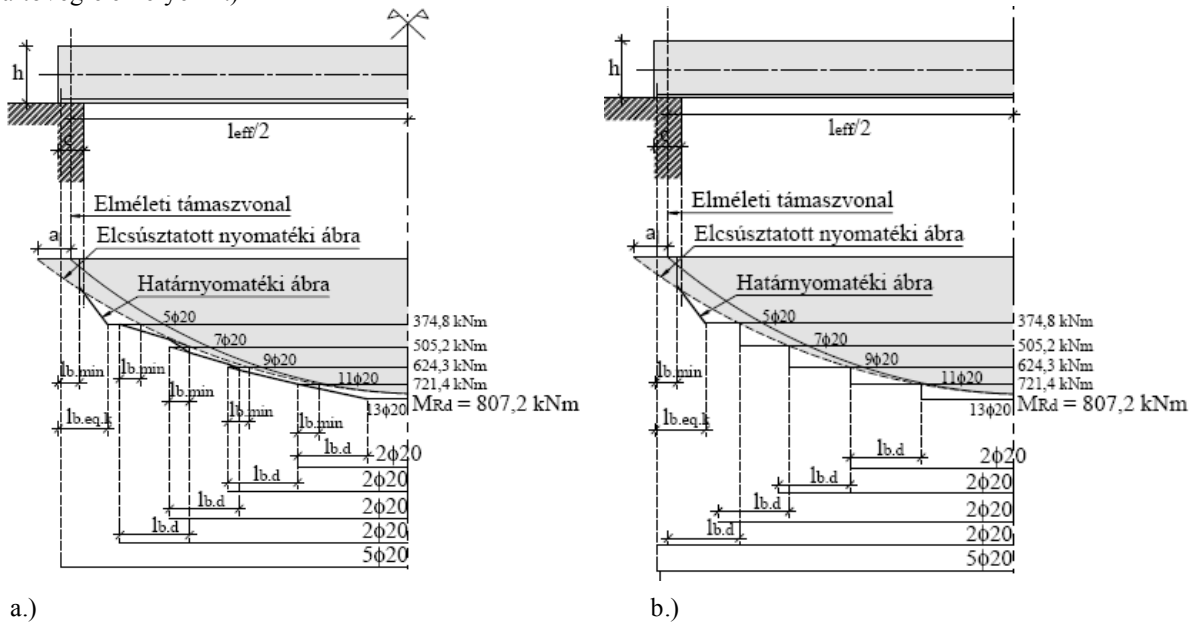
1. táblázat: Határnyomatéki ábra értékeinek meghatározása

(A.5.) 'A' VÁLTOZAT
(Vasalástervezés felhajlított acélbetét nélkül)*

*A tervezési feladatban mindenképpen alkalmazzunk felhajlított vasat is.

d.) A vaselhagyás tervezése, határnyomatéki ábra

Az acélbetétek szükséges hosszát úgy állapítjuk meg, hogy az az eltolt nyomatéki ábra és az egyes határnyomatéki értékek metszéspontjától legalább $l_{b,min}$ értékkel túlnyúljon* (13. ábra). A vaselhagyás tervezését lényegesen leegyszerűsíti, ha a lehorgonyzási szakaszon figyelembe vehető feszültségeket elhanyagoljuk, így a metszéspontoktól az acélbetéteket l_{bd} hosszal nyújtjuk túl (13.b. ábra). Mivel az 13.a. ábrán vázolt megoldás gazdaságosabb, így mi most ezt a megoldást választjuk. Az acélbetéteket mezőközéptől haladva kettősevel hagyjuk el. A megmaradt 5 acélbetétet felkampózzuk. (Az Eurocode előírásai alapján elegendő lenne csak négy acélbetétet végigvinni, de ez esetben hajtűvasakat is kellene a tartóvégre elhelyezni.)



13. ábra: Vaselhagyás tervezése a.) a lehorgonyzási szakaszon figyelembe vehető csökkenő feszültség figyelembevételével b.) a lehorgonyzási szakaszon figyelembe vehető feszültség elhanyagolásával

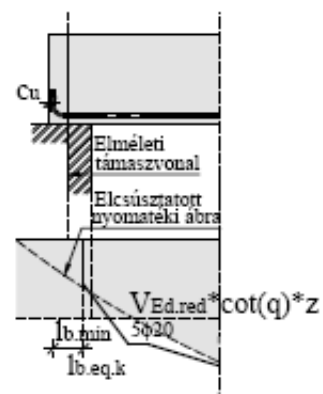
e.) A tartóvégi kialakítás megtervezése

A határnyomatéki ábra tartóvégi részletét mutatjuk be az 14. ábrán.

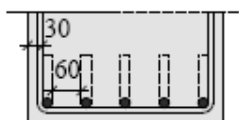
$$c_u + \frac{\phi_1}{2} + l_{b,min} = 271.5 \cdot \text{mm} < c = 300 \cdot \text{mm} \Rightarrow \boxed{\text{A feltámaszkodási hossz megfelel.}}$$

A lehorgonyzási szakaszon a határnyomatéki ábra nem metsz bele az elcsúsztatott nyomatéki ábrába a feltámaszkodási hosszon kívül**.

**Az 5.b. pontban leírtak alapján az egyenértékű lehorgonyzási hossz csak abban az esetben számítható $\alpha_1=0,7$ értékkel, ha az 11. ábra szerinti β_1 valamint $\beta/2$ értékek kisebbek mint 3ϕ . Jelen esetben a tartóvégi szakaszon a szélső acélbetéteknél $c_1=c_u+\phi_k=30\text{mm}$, és $a=60\text{mm}$ (15. ábra), így ez a feltétel nem teljesül, azaz $l_{b,eq,k}=l_{b,d}=805\text{mm}$ lenne. Példánkban helytelenül $\alpha_1=0,7$ értékkel számoltunk. Ezt a hibánkat a vasalási tervben kijavíthatjuk úgy, hogy a kampózott rész hosszát legalább $0,3 \cdot l_{b,d}=242\text{mm}$ -re vesszük fel.



14. ábra: Tartóvégi kialakítás



15. ábra: Tartóvégi keresztmetszet

Húzóerő értéke a rácsostartó modellből a tartóvégen:

$$V_{Ed,red} \cdot \cot(\theta) = 516.9 \cdot \text{kN}$$

**Ezt a számítást mellőzzük. A θ változatnál azonban a tartóvégi hajtúvasakat is méretezzük.*

És az ebből számítható nyomaték: $V_{Ed,red} \cdot \cot(\theta) \cdot 0.9 \cdot d_0 = 279.1 \cdot \text{kNm}$

A II.1.14. ábrán látható, hogy ha a tartóvégen a rácsostartó modellből is kiszámoljuk a húzott öv erejét, akkor az eltoló nyomatéki ábrából számítható értéknél nagyobb húzóerők adódnak. Az így számítható húzóerő felvételét a lehorgonyzási szakaszon lévő acélbetéteken kívül hajtúvasakra is van szükség*.

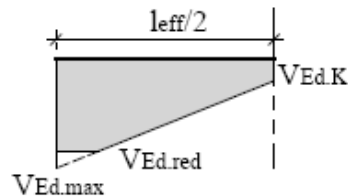
6. Nyírési vasalás tervezése ('A' változat)

a.) A mértékadó nyíróerő ábra (16. ábra)

(Számítást lásd a 3.b. pontban)

Mértékadó nyíróerő mezőközepén:

$$V_{Ed,K} = 58.5 \cdot \text{kN}$$



Maximális nyíróerő a támasznál:

$$V_{Ed,max} = 397.7 \cdot \text{kN}$$

16. ábra: Mértékadó nyíróerőábra

A redukált nyíróerő: $V_{Ed,red} := V_{Ed,max} - q \cdot d$ $V_{Ed,red} = 337.8 \cdot \text{kN}$

b.) A nyomott beton ellenőrzése

$\alpha_{cw} := 1$ feszítés illetve nyomóerő nélküli keresztmetszet esetén;

$$z := 0.9 \cdot d \quad ** \quad z = 0.529 \text{ m}$$

$$\theta = 37.6 \cdot \text{fok} \quad \cot(\theta) = 1.3$$

$\alpha := 90 \cdot \text{fok}$ a nyírési vasalásnak a tartó tengelyével bezárt szöge***

$$\nu := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \cdot \frac{1}{\frac{N}{\text{mm}^2}} \right) \quad \nu = 0.540$$

$$V_{Rd,max} := \alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot(\theta) + \cot(\alpha)}{1 + (\cot(\theta))^2}$$

$$V_{Rd,max} = 920.2 \cdot \text{kN} > V_{Ed,max} = 397.7 \cdot \text{kN} \quad \Rightarrow \quad \text{A betonkeresztmetszet geometriai méretei megfelelőek.}$$

*** A nyomott betonzóna ellenőrzését a támasznál kell elvégeznünk, mivel itt lesz a legnagyobb a nyírás miatti nyomófeszültség a betonban. Ezért elméletileg az ehhez a keresztmetszethez tartozó (4 ϕ 20 vasaláshoz) d értékkel kell számolnunk (600mm-rel). Itt és a továbbiakban több helyen a biztonság javára történő közelítéssel az egyszerűség kedvéért a mezőközepén számítható határos magassággal (588mm) fogunk számolni. Ez a közelítés nem befolyásolja jelentősen a számításokat.*

**** A biztonság javára történő közelítéssel (lásd a nyírési vasalásról szóló részeket)*

c.) A beton által felvehető nyíróerő meghatározása

Mivel az MSZ EN 1992-1-1 alapján nem lehet figyelembe venni a beton által felvehető nyíróerő ($V_{Rd,c}$) értékét a méretezett nyírési vasalással ellátott tartórészek nyírési teherbírásába, így méretezésnél ezt az értéket felesleges minden különböző hosszvasalással bíró tartórészhez kiszámolni. Azonban feltétlenül meg kell minden olyan szakaszhoz tartozó $V_{Rd,c}$ értéket határozni, ahol ez lesz a mértékadó (azaz ahol

$$V_{Rd,c} > V_{Ed}).$$

A 17. ábrán látható, hogy $V_{Rd,c}$ diagramja a II.-vel jelölt (9 ϕ 20 hosszvasalású) szakaszon belül metszi a mértékadó nyíróerő ábrát, így ezen kívül csak a I.-gyel jelölt szakaszon szükséges a számítást elvégezni. Csak a könnyebb megértés kedvéért a 17. ábrán és a 2. táblázatban ábrázoltuk illetve összefoglaltuk az összes hosszvasalási szakaszhoz (I-V) tartozó $V_{Rd,c}$ értékeket..

$V_{Rd,c}$ érték számítása a II. szakaszon:

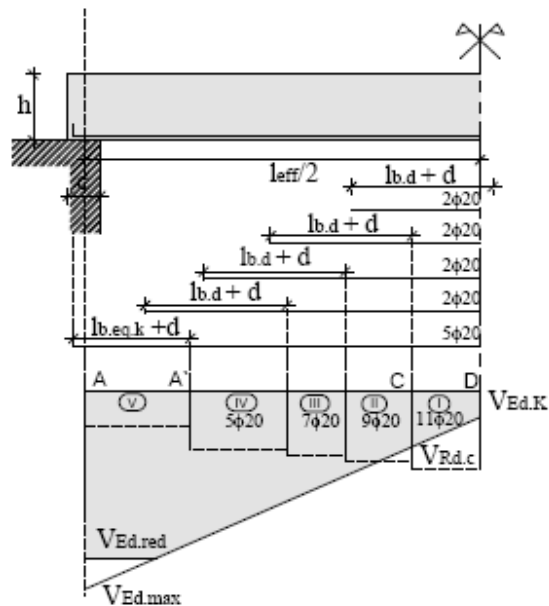
$$k := \min \left(1 + \sqrt{\frac{200}{d_{11}}}, 2.0 \right) \quad k = 1.581$$

$$v_{min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot \left(\frac{f_{ck}}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \quad v_{min} = 0.348$$

A vashányad értéke:

$$\rho_1 := \min \left(\frac{A_{s1} \cdot 11}{b \cdot d_{11} \cdot 13}, 0.02 \right) \quad \rho_1 = 1.458 \cdot \%$$

**A húzott vashányadba azt az acél keresztmetszeti területet lehet figyelembe venni, amely a vizsgált keresztmetszeten több, mint $(l_{bd} + d)$ távolsággal túlnyúlik. Ezen a szakaszon 11 acélbetétét (17. ábra).*



17. ábra: A beton nyírési teherbírása

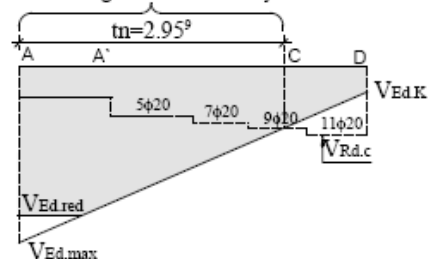
**** d_{11} a keresztmetszet hatásos magassága $l \neq 20$ acélbetéttel (meghatározása az 1. táblázatban).*

A beton által felvehető nyíróerő:

$$V_{Rd,c.11} := \max \left[\frac{0.18}{\gamma_c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_1 \cdot \frac{f_{ck}}{N} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{b}{mm} \cdot \frac{d_{11}}{mm} \cdot N, v_{min} \right]$$

$$V_{Rd,c.11} = 149.1 \cdot \text{kN}$$

Szükséges méretezett nyírési vasalás



18. ábra: A mértékadó nyíróerőábra és a beton nyírési teherbírása - nyírési szakaszok értelmezése

szakasz jele	n [db]	A_{s1}	d [mm]	k	ρ_1	v_{min}	$V_{Rd,c}$ [kN]
I.	11	3456	592,7	1,581	1,458%	0,348	149,1
II.	9	2828	600,0	1,577	1,178%	0,347	140,3
III.	7	2199	600,0	1,577	0,916%	0,347	129,0
IV.	5	1571	600,0	1,577	0,655%	0,347	115,3
V.	0	0	600,0	1,577	0,000%	0,347	83,2

2. táblázat: Beton nyírési teherbírásának alakulása a különböző hosszvasalású szakaszokon

d.) A szükséges kengyeltávolságok meghatározása és a határnyíróerő-ábra

A nyírásra vasalandó szakasz hosszának meghatározása

Ott szükséges nyírési vasalás, ahol: $V_{Rd,c} < V_{Ed,red}$

A 18. ábra alapján:

$$t_n := \frac{l_{eff}}{2} - \frac{V_{Rd,c.9} - V_{Ed,K}}{V_{Ed,max} - V_{Ed,K}} \cdot \frac{l_{eff}}{2}$$

**** $V_{Rd,c.9}$ a beton nyírési teherbírása $9\phi20$ hosszvasalás esetén (17. ábra II. jelű szakasz), amely értéket a 2. táblázat második sorában határoztuk meg.*

$$t_n = 2959 \cdot \text{mm}$$

A kengyeltávolságok meghatározása**AA' szakasz**

$$A_{sw} := \frac{2 \cdot \phi_k^2 \cdot \pi}{4} \quad A_{sw} = 157 \cdot \text{mm}^2$$

A szükséges kengyeltávolság:

$$s_{AA'} := \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{V_{Ed,red}} \cdot \cot(\theta) \quad s_{AA'} = 139 \cdot \text{mm} \quad \Rightarrow \quad \text{Legyen } s_{AA'} := 120 \text{mm} !$$

* Elméletileg a nyírási teherbírások számításánál és a szerkesztési szabályok ellenőrzésénél mindig az adott szakaszra jellemző d' értékkel kell számolnunk. Mi azonban az egyszerűség kedvéért a továbbiakban közelítésként mindig a mezőközépen számítható hatásos magassággal (588 mm) fogunk számolni. Ez a biztonság javára történő közelítés nem befolyásolja jelentősen a számításokat.

CD szakasz

Ezen a szakaszon nem szükséges méretezett nyírási vasalás, így itt a szerkesztési szabályok határozzák meg a szükséges kengyeltávolságot.

A szerkesztési szabályok által megkövetelt minimális kengyeltávolság számítása

- A nyírási vasalás fajlagos mennyisége: $\rho_w := \frac{A_{sw}}{s_{CD} \cdot b}$

A fajlagos mennyiség minimális értéke:

$$\rho_{w,min} := \frac{0.08 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot \frac{\text{mm}^2}{N}}}{f_{yk} \cdot \frac{\text{mm}^2}{N}} = 0.080 \cdot \% \quad \Rightarrow \quad s_{max\rho} := \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b} \quad s_{max\rho} = 491 \cdot \text{mm}$$

- A nyírási acélbetétek maximális távolsága:

A kengyelnél: $s_{max} := 0.75 \cdot d \quad s_{max} = 441 \cdot \text{mm} \quad \text{Legyen } s_{CD} := 440 \text{mm} ! \quad (< s_{max}; s_{max\rho})$

A'B szakasz

Az AA' szakaszra meghatározott kengyelvezést az A'B szakaszra is kiterjesztjük: $s_{A'B} := 120 \text{mm} \quad s_{AB} := s_{A'B}$ (19. ábra)

BC szakasz

Az s_{BC} kengyeltávolságot az s_{AB} és az s_{CD} értékek között tetszőlegesen felvesszük.

Feladatunkban (a nagy keresztmetszeti méretek miatt) a beton nyírási teherbírása ($V_{Rd,c}$) lényegesen nagyobb, mint a szerkesztési szabályok alapján felvett s_{CD} kengyelkiosztással felvehető nyíróerő, így nem

vezet eredményre a $\frac{s_{AB} + s_{CD}}{2}$ körüli kengyelkiosztás felvétele, ezzel a kengyeltávolsággal ugyanis $V_{Rd,c}$

nél is kisebb nyírást tudnánk csak felvenni. Célszerűbb olyan kengyelkiosztást választani, amellyel

$\frac{V_{Rd,c} + V_{Ed,red}}{2}$ körüli nyíróerőt tudunk felvenni.

$$\frac{V_{Rd,c} + V_{Ed,red}}{2} = 239 \cdot \text{kN} \quad s_{BC} := A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d \cdot \cot(\theta) \cdot \frac{2}{(V_{Rd,c} + V_{Ed,red})}$$

$$s_{BC} = 196 \cdot \text{mm} \quad \Rightarrow \quad \text{Legyen } s_{BC} := 200 \text{mm} !$$

A kengyelek kiosztása és a határnyíróerő-ábra (19. ábra és 3. táblázat)

CD szakasz

A szakaszon alkalmazott kengyelkiosztás: $s_{CD} = 440 \cdot \text{mm}$

Mivel ezen a szakaszon nem alkalmaztunk méretezett nyírási vasalást, így itt a határnyíróerő értéke $V_{Rd,c}$ lesz.

A szakaszon a mértékadó nyíróerő

A I. jelű szakaszon (17. ábra): $V_{Rd,c.11} = 149.1 \cdot \text{kN}$

A II. jelű szakaszon (17. ábra): $V_{Rd,c.9} = 140.3 \cdot \text{kN}$

BC szakasz

A szakaszon alkalmazott kengyeltávolság: $s_{BC} = 200 \cdot \text{mm}$

Az ehhez tartozó határnyíróerő:

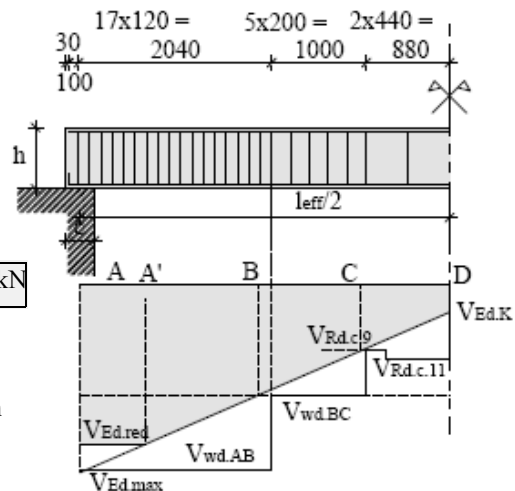
$$V_{wd,BC} := 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{BC}} \cdot \cot(\theta) \quad V_{wd,BC} = 234.8 \cdot \text{kN}$$

AB szakasz

A szakaszon alkalmazott kengyeltávolság: $s_{AB} = 120 \cdot \text{mm}$

Az ehhez tartozó határnyíróerő:

$$V_{wd,AB} := 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{yd}}{s_{AB}} \cdot \cot(\theta) \quad V_{wd,AB} = 391.3 \cdot \text{kN}$$



19. ábra: Kengyelkiosztási vázlat és a határnyíróerő-ábra

Nyírási szakaszok	$V_{Rd,c}$ [kN]	Kengyel	Felhajlított vas			$V_{wd, felh}$ [kN]	V_{Rd} [kN]
		s [mm]	V_{wd} [kN]	s [mm]	n [db]		
A-B	nem mértékadó	120	391,4	-	-	-	391,4
B-C	nem mértékadó	200	234,8	-	-	-	234,8
C-D	140,3	440	nem mértékadó	-	-	-	140,3

3. táblázat: Az egyes nyírási szakaszokra jellemző kengyeltávolságok és határnyíróerők összefoglalása

A szerkesztési szabályok ellenőrzése

A legnagyobb kengyelkiosztást a szerkesztési szabályok megfeleltetése alapján vettük fel, így csak a legsűrűbb kengyelezési szakaszt (A-B szakaszt) kell vizsgálnunk:

A nyírási vasalás fajlagos mennyisége az AB szakaszon: $\rho_w := \frac{A_{sw}}{s_{AB} \cdot b} \quad \rho_w = 0.327 \cdot \%$

A fajlagos mennyiség maximális értéke: $\rho_{w,max} := \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha_c \cdot \nu \cdot f_{cd}}{1 - \cos(\alpha)} \cdot \frac{1}{f_{yd}}$

$\rho_{w,max} = 1.035 \cdot \% > \rho_w = 0.327 \cdot \% \Rightarrow$ A II.1.19. ábra és a II.1.3. táblázat szerinti kengyelkiosztás a szerkesztési szabályoknak **megfelel**.

A.7. Használhatósági határállapotok ellenőrzése ('A' változat)

A felhajlított hosszacél nélküli változat használhatósági határállapotainak ellenőrzését a példatár korlátozott terjedelme miatt nem részletezzük. A 'B' változatra azonban ezt az ellenőrzést is elvégezzük.

A.8. Vázlatos vasalási terv és vaskimutatás táblázat ('A' változat)

A felhajlított hosszacél nélküli változathoz a példatár korlátozott terjedelme miatt nem készítettünk külön vasalási tervet illetve vaskimutatási táblázatot. A 'B' változatra azonban a .B.8. pontban ezt is mellékeljük.

(B.5.) 'B' VÁLTOZAT
(Vasalástervezés felhajlított acélbetéttel)

d.) A vaselhagyás tervezése, határnyomatéki ábra

A vasak felhajlítás helyeinek meghatározása, vaselhagyás tervezése

A felhajlított vas alsó illetve felső párhuzamos tengelyvonalának távolsága:

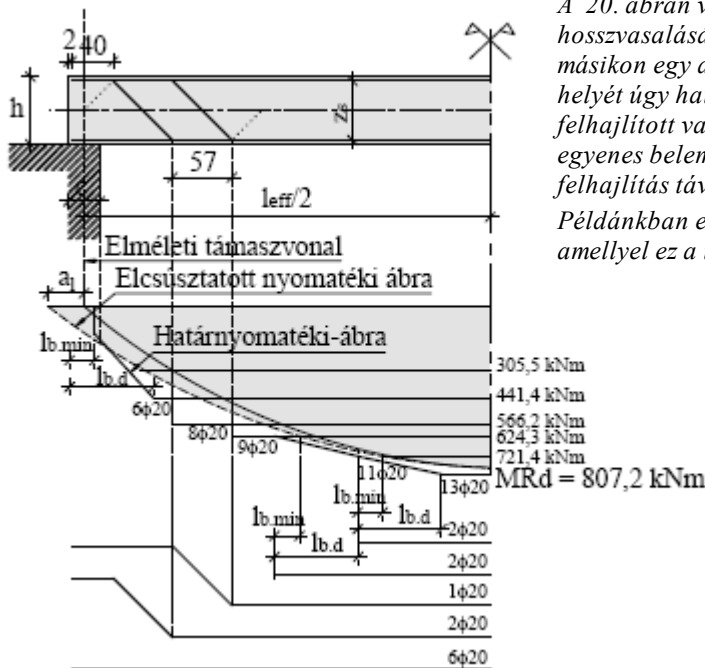
$$z_s := h - 2 \cdot \left(c_u + \phi_k + \frac{\phi_l}{2} \right) \quad z_s = 570 \cdot \text{mm}$$

A felhajlított vasak helyének meghatározásánál már előre érdemes azt a szerkesztési szabályt figyelembe venni, amely a felhajlított acélbetétek közti legnagyobb távolságot $s_{\max} := 0.6 \cdot d \cdot (1 + \cot(\alpha))$ (45 fokos vasfelhajlítás esetén: 1,2d) értékben korlátozza!

Feladatunkban a felhajlított acélbetétekre vonatkozó maximális távolság:

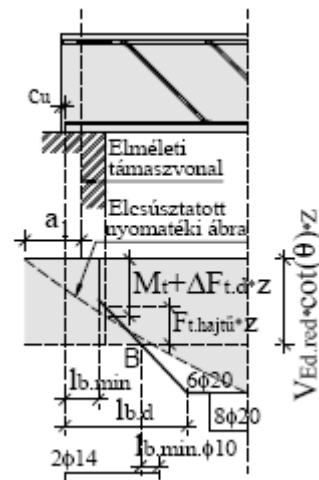
$$d_9 := 600\text{mm} \quad t_{\max} := 0.6 \cdot d_9 \cdot (1 + \cot(45^\circ)) \quad t_{\max} = 720 \cdot \text{mm}$$

* d_9 : a hatásos magasság értéke a felhajlításoknál (1. táblázat)



20. ábra: Felhajlítás helyek és vaselhagyások tervezése

A 20. ábrán vázoltuk megoldásunkat a gerenda hosszvasalására; a támaszhoz közelebbi helyen két, a másikon egy acélbetétet hajlítottunk fel. A felhajlítások helyét úgy határoztuk meg, hogy a támaszhoz közelebbi felhajlított vasak hatástávolságát kijelölő 45°-os egyenes belemessen az elméleti támaszvonalba és a két felhajlítás távolsága ne legyen nagyobb $t_{\max}=720\text{mm}$ -nél. Példánkban egyszeresen eltolt rácozást alkalmaztunk, amellyel ez a távolság 57cm-re adódik.



21. ábra: Tartóvégi kialakítás

Tartóvégi kialakítás megtervezése

A határnyomatéki ábra tartóvégi részletét mutatjuk be a 21. ábrán.

A 'b' változatban nem kampóztuk fel a tartón végigmenő acélbetéteket, ezért a burkolóábra és az eltolt nyomatéki ábra metszéspontja (21. ábrán a B-vel jelölt pont) kitolódik a feltámaszkodási hosszön kívülre. Ebben az esetben a tartóvégtől a metszéspontig hajtúvasakkal gondoskodunk a húzóerők felvételéről.

Tartóvégi többlet-húzóerő felvéte hajtúvasakkal

A feltámaszkodás szélén a hosszacélokkal felveendő húzóerő nagyságának számítása

A nyomatéki ábrából a húzott öv ereje: $M_t := \frac{V_{Ed,max} \cdot a}{2} = 29.8 \cdot \text{kNm}$ $F_{td,M} := \frac{M_t}{0.9 \cdot d_9} = 55.2 \cdot \text{kN}$

A többlet húzóerő ebben a keresztmetszetben: $\Delta F_{td} := 0.5 \cdot V_{Ed,max} \cdot \cot(\theta)$ $\Delta F_{td} = 258.5 \cdot \text{kN}$

A rácsos tartó modellből a húzóerő: $V_{Ed,red} \cdot \cot(\theta) = 439.1 \cdot \text{kN}$

A mértékadó húzóerő: $F'_{td} := \max(F_{td,M} + \Delta F_{td}, V_{Ed,red} \cdot \cot(\theta))$ $F'_{td} = 439.1 \cdot \text{kN}$

A hat darab $\phi 20$ (nem maximálisan lehorgonyzott) acélbetéttel felvehető húzóerő nagysága:

$$F_{6\phi 20} := f_{yd} \cdot \frac{c - (c_u)}{l_{b,d}} \cdot \frac{6 \cdot \phi_l^2 \cdot \pi}{4} = 285 \cdot \text{kN} \quad \text{ahol} \quad \frac{c - (c_u)}{l_{b,d}} = 34.8 \cdot \% \quad \text{a } 6\phi 20 \text{ acélbetét}$$

lehorgonyzottsági foka.

A többlet-húzóerő, amit a hajtúvasokkal fel kell venni: $F_{t,hajtú} := F'_{td} - F_{6\phi 20}$

$$\phi_h := 14 \text{ mm} \quad n_{szüks} := \frac{F_{t,hajtú}}{\frac{\phi_h^2 \cdot \pi}{4} \cdot f_{yd}} = 2.3$$

$F_{t,hajtú} = 154.1 \cdot \text{kN}$

\Rightarrow A többlet húzóerőt 2 $\phi 14$ -es hajtúvas két-két szárával vesszük fel.

A hajtúvasokat az 21. ábra B-vel jelölt metszéspontjától $l_{b,min,\phi 14}$ távolsággal nyújtjuk túl a tartóközép felé, amelynek értéke:

$$l_{b,rqd,\phi 14} := \frac{\phi_h \cdot f_{yd}}{4 \cdot f_{bd}} = 564 \cdot \text{mm} \quad l_{b,min,\phi 14} := \max(0.3 \cdot l_{b,rqd,\phi 14}, 10 \cdot \phi_h, 100 \text{ mm}) = 169 \cdot \text{mm}$$

A felhajlított acélbetét lehorgonyzási hosszának számítása

A felhajlított vas minimális lehorgonyzási hossza (a lehorgonyzást felső hajlítási ponttól kell mérni):

Egyenes végű felhajlított acélbetétnél (nyomott övben):

**400mm a kampózás nélkül rendelkezésre álló lehorgonyzási hossz (20. ábra)*

$$0.7l_{b,d} = 564 \cdot \text{mm} > 400 \text{ mm}^* \quad \Rightarrow \quad \text{A támaszhoz közelebbi felhajlított acélbetét lehorgonyzottsága kampózás nélkül nem teljes.}$$

A felhajlított acélbetét lehorgonyzására több megoldásunk is van:

- 1.) A lehorgonyzást hajtúvassal biztosítjuk,
- 2.) Nem biztosítjuk a teljes lehorgonyzást, így a felhajlított acélbetétet csak a lehorgonyzottság fokának megfelelően használhatjuk ki (a továbbiakban ezt a megoldást alkalmazzuk)**,
- 3.) Kampózzuk az acélbetétek végét.

A lehorgonyzottság foka:

$$\delta_{lb} := \frac{400 \text{ mm}}{0.7l_{b,d}} = 71.0 \cdot \% \quad \Rightarrow \quad \text{A felhajlított acélbetét nyírási teherbírasszámításánál az acélbetéteket csak 71%-ban lehet kihasználni.}$$

***Ez a megoldás azért praktikus, mert az Eurocode alapján mindenképpen fel kell vennünk a tervezési nyíróerő felét kengyelekkel. Így ha biztosítjuk is a felhajlított acélbetét lehorgonyzását, a felhajlított acélbetét általában nincs maximálisan kihasználva.*

B.6. Nyírési vasalás tervezése ('B' változat)

a.) A mértékadó nyíróerő ábra (Lásd a A.6.a. fejezetet.)

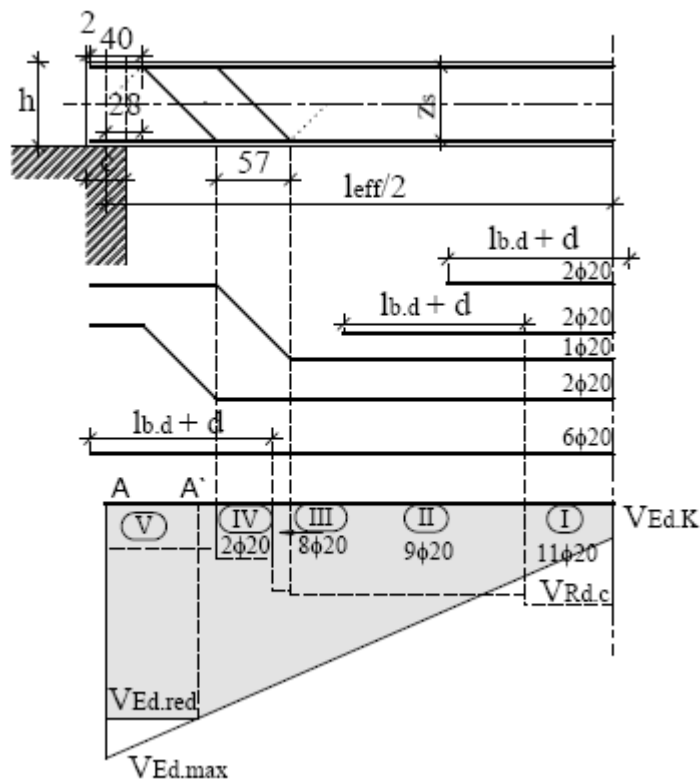
b.) A nyomott beton ellenőrzése (Lásd a A.6.b. fejezetet.)

c.) A beton által felvehető nyíróerő meghatározása

Lásd 4. táblázatot és a 22. ábrát.

A szakasz jele	n [db]	A_{s1}	d [mm]	k	ρ_1	v_{min}	$V_{Rd,c}$ [kN]
I.	11	3456	592,7	1,581	1,458%	0,3478	149,1
II.	9	2828	600,0	1,577	1,178%	0,3467	140,3
III.	8	2514	600,0	1,577	1,047%	0,3467	134,9
IV.	2	628	600,0	1,577	0,262%	0,3467	85,0
V.	0	0	600,0	1,577	0,000%	0,3467	83,2

4. táblázat: Beton nyírési teherbírásának alakulása a különböző hosszvasalású szakaszokon



22. ábra: A mértékadó nyíróerőábra és a beton nyírési teherbírása

d.) A szükséges kengyeltávolságok meghatározása és a határnyíróerő-ábra

A nyírásra vasalendő szakasz hosszának meghatározása

(Lásd a 6.d. fejezetet.)

A kengyeltávolságok meghatározása és a határnyíróerő-ábra

AA' szakasz

$$\text{A felhajlított vas hatástávolsága: } s_f := 28\text{cm} + \frac{z_s}{2} + \frac{57\text{cm}}{2} \quad s_f = 850 \cdot \text{mm}$$

$$\text{A felhajlítás szöge: } \alpha_f := 45\text{fok}$$

A két felhajlított acélbetéttel felvehető nyírórő:

$$V_{wd, felh} := \delta_{lb} \cdot 0.9 \cdot d \cdot \frac{\left(\frac{2\phi_l^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot f_{yd}}{s_f} \cdot (\cot(\theta) + \cot(\alpha_f)) \cdot \sin(\alpha_f) \quad \boxed{V_{wd, felh} = 196.2 \cdot \text{kN}}$$

ahol $\delta_{lb} = 71 \cdot \%$ a lehorgonyozottság foka.

A kengyelekkel felveendő nyírórő:

$$V_{wd, min} := \max\left(\frac{1}{2} \cdot V_{Ed, red}, V_{Ed, red} - V_{wd, felh}\right) \quad V_{wd, min} = 168.9 \cdot \text{kN}$$

ahol: $\frac{1}{2} \cdot V_{Ed, red} = 168.9 \cdot \text{kN}$ $V_{Ed, red} - V_{wd, felh} = 141.6 \cdot \text{kN}$

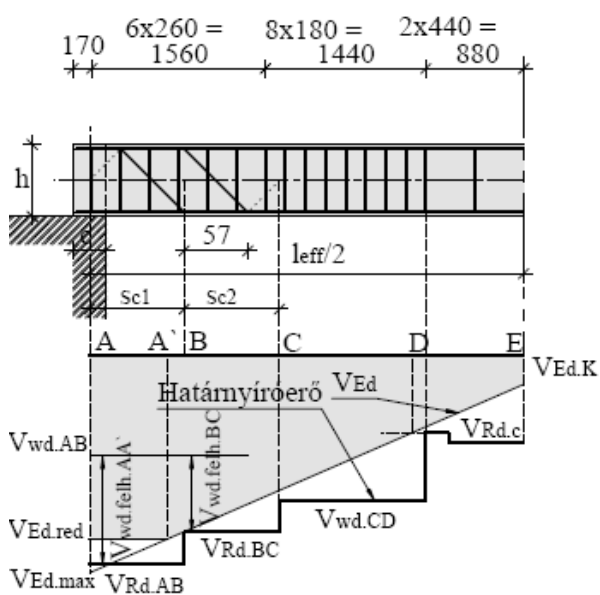
A szükséges kengyeltávolság:

$$s_{AA'} := \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{V_{wd, min}} \cdot \cot(\theta) \quad s_{AA'} = 278 \cdot \text{mm} \quad \Rightarrow \text{Legyen } \boxed{s_{AA'} := 260 \text{mm}} !$$

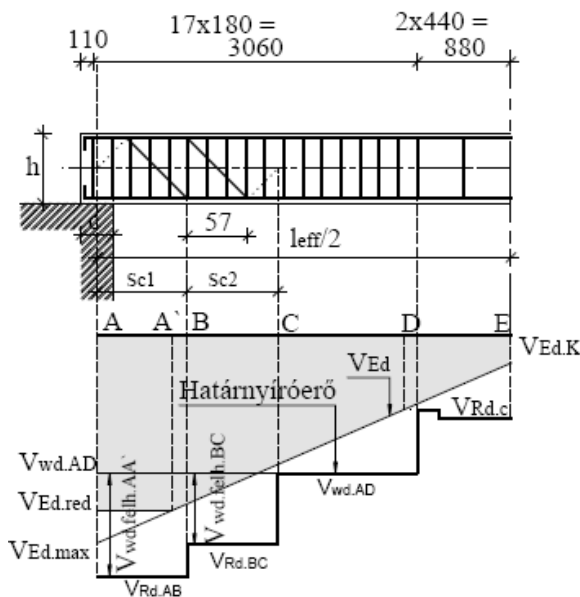
A szakasz nyírési teherbírása:

$$V_{Rd, AA'} := \frac{A_{sw} \cdot f_{yd} \cdot 0.9 \cdot d}{s_{AA'}} \cdot \cot(\theta) + V_{wd, felh} \quad \boxed{V_{Rd, AA'} = 376.8 \cdot \text{kN}}$$

A többi szakasz nyírési számításának és vasalástervezésének eredményeit a részletek mellőzésével a 23. ábrán és az 5. táblázatban foglaltuk össze.



23. ábra: A határnyírórő-ábra



24 ábra: A határnyírórő-ábra támasz felé haladva kengyelritkítás nélkül

Nyírési szakaszok	V _{Rd,c} [kN]	Kengyel s [mm]	Felhajlított vas			V _{wd, felh} [kN]	V _{Rd} [kN]
			V _{wd} [kN]	s [mm]	n [db]		
A-B	nem mértékadó	260	180,6	850	2	196,3	377,0
B-C	nem mértékadó	260	180,6	855	1	137,4	318,1
C-D	nem mértékadó	180	260,9	-	-	-	260,9
D-E	140,3	440	nem mértékadó	-	-	-	140,3

5. táblázat: A határnyírórő-ábra értékei

Ha tekintettel vagyunk arra a gyakorlatban elterjedt íratlan szabályra, hogy a támasz felé a kengyelkiosztást nem szabad ritkítani, az előbbi határnyíróerő-értékek valamint a határnyíróerő-ábra a 6. táblázat illetve a 24. ábra szerint alakulnak.

Nyírási szakaszok	$V_{Rd,c}$ [kN]	Kengyel	Felhajlított vas			$V_{wd, felh}$ [kN]	V_{Rd} [kN]
		s [mm]	V_{wd} [kN]	s [mm]	n [db]		
A-B	nem mértékadó	180	260,9	850	2	196,3	457,2
B-C	nem mértékadó	180	260,9	855	1	137,4	398,4
C-D	nem mértékadó	180	260,9	-	-	-	260,9
D-E	140,3	440	nem mértékadó	-	-	-	140,3

6. táblázat: A határnyíróerő-ábra értékei támasz felé haladva kengyelritkítás nélkül

A szerkesztési szabályok ellenőrzése

Az 'A' változat legkisebb kengyeltávolságánál sűrűbb valamint a legnagyobb kengyelkiosztásánál ritkább osztást nem alkalmaztunk (az 'A' változat nyírási vasalásának ellenőrzése az A.6.d. pont alatt) valamint a felhajlított vasak távolságát már kezdetben úgy vettük fel, hogy az a szerkesztési szabályoknak megfeleljen (lás B.5.d. pont). Ezek alapján további vizsgálat nem szükséges, a felvett nyírási vasalás a szerkesztési szabályoknak megfelel.

B.7. Használhatósági határállapotok ellenőrzése ('B' változat)**a.) A lehajlás ellenőrzése****Ideális keresztmetszeti jellemzők számítása (egyszerűsített számítás)**

A hatásos keresztmetszeti magasság (a kedvezőtlen vaselmozdulás nélkül)*:

$$d := h - \left(c_u + \phi_k + \frac{\phi_I}{2} + \frac{4}{13} \cdot 40\text{mm} \right) \quad \boxed{d = 597.7 \cdot \text{mm}}$$

Rugalmassági modulusok aránya: $\alpha_{s,\text{eff}} := \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} \quad \alpha_{s,\text{eff}} = 20.28$

**Használhatósági határállapotok vizsgálatok a geometriai méretek várható értékével kell számolni, ezért a kedvezőtlen vaselmozdulást nem kell figyelembe venni.*

Keresztmetszeti jellemzők az I. feszültségállapotban

A számítás egyszerűsítése érdekében a teljes tartó mentén a biztonság javára történő közelítésként csak a végigvezetett acélbetétekkel számolunk.

$$A_{sI,5\phi20} := 6 \cdot \frac{\phi_I^2 \cdot \pi}{4} = 1885 \cdot \text{mm}^2 \quad S := \frac{b \cdot h^2}{2} + A_{sI,5\phi20} \cdot (\alpha_{s,\text{eff}} - 1) \cdot d = 106217 \text{ cm}^3$$

$$A_I := b \cdot h + A_{sI,5\phi20} \cdot (\alpha_{s,\text{eff}} - 1) = 2963.4 \text{ cm}^2 \quad x_I := \frac{S}{A_I} \quad \boxed{x_I = 358.4 \cdot \text{mm}}$$

$$I_I := \frac{x_I^3 \cdot b}{3} + \frac{(h - x_I)^3 \cdot b}{3} + (\alpha_{s,\text{eff}} - 1) \cdot A_{sI,5\phi20} \cdot (d - x_I)^2 \quad \boxed{I_I = 1.15248 \times 10^6 \cdot \text{cm}^4}$$

Keresztmetszeti jellemzők a II. feszültségállapotban

$$\frac{1}{2} \cdot x^2 \cdot b - \alpha_{s,\text{eff}} \cdot A_{sI,5\phi20} \cdot (d - x) = 0 \quad x_{II} := \text{Find}(x) \quad \boxed{x_{II} = 255.7 \cdot \text{mm}}$$

$$I_{II} := \left(\frac{x_{II}^3 \cdot b}{3} \right) + \alpha_{s,\text{eff}} \cdot A_{sI,5\phi20} \cdot (d - x_{II})^2 \quad \boxed{I_{II} = 6.6993 \times 10^5 \cdot \text{cm}^4}$$

Lehajlás számítása (egyszerűsített számítás)

A repesztőnyomaték értéke: $M_{cr} := \frac{f_{ct,\text{eff}} \cdot I_I}{h - x_I} \quad \boxed{M_{cr} = 102.8 \cdot \text{kNm}} < M_{qp} = 368.8 \cdot \text{kNm}$

⇒ A keresztmetszet kvázi állandó teherkombináció esetén bereped.

Lehajlás értéke az I. feszültségállapotban:

Lehajlás értéke az II. feszültségállapotban:

$$e_I := \frac{5}{384} \cdot (p_{qp}) \cdot \frac{l_{\text{eff}}^4}{E_{c,\text{eff}} \cdot I_I} \quad \boxed{e_I = 20.6 \cdot \text{mm}} \quad e_{II} := \frac{5}{384} \cdot (p_{qp}) \cdot \frac{l_{\text{eff}}^4}{E_{c,\text{eff}} \cdot I_{II}} \quad \boxed{e_{II} = 35.4 \cdot \text{mm}}$$

Tartós vagy ismétlődő terhelés esetén a β tényező: $\beta := 0.5$

$$\zeta := 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M_{qp}} \right)^2 \quad \zeta = 0.961$$

**Amennyiben a tartó lehajlásra nem felel meg, a tervezési feladat keretében nem kell a számítást előlről kezdeni, csak a probléma kiküszöbölésére kell megoldási javaslatot (illetve javaslatokat) adni.*

A lehajlás értéke a tartó középső keresztmetszetében: $e := \zeta \cdot e_{II} + (1 - \zeta) \cdot e_I$

$$\boxed{e = 34.8 \cdot \text{mm}} > \frac{l_{\text{eff}}}{250} = 31.2 \cdot \text{mm} \quad \Rightarrow \quad \boxed{\text{A tartó az egyszerűsített lehajlásvizsgálatra nem felel meg*}}$$

Ideális keresztmetszeti jellemzők számítása (pontosabb számítás)*

Az előző számításunkban jelentős egyszerűsítéssel éltünk, miszerint az acélmennyiséget a tartóvégi, azaz a legkisebb acélmennyiséggel számítottuk valamint a keresztmetszeti jellemzőket is a tartó mentén állandónak vettük. Bár ez jelentősen bonyolítja a számítás menetét, kiszámoljuk a lehajlást e közelítés nélkül, vagyis a lehajlás értékét a görbületfüggvényből integrálással számítjuk.

**A pontosabb lehajlásszámítást csak a teljesség kedvéért közöljük. Ha a hallgatónak nem is felel meg a tartója lehajlásra, ennek a tervezési feladatnak nem kötelező része ez a számítás.*

A hasznos magasság és a vashányad

$$d_9 := h - \left(c_u + \phi_k + \frac{\phi_1}{2} \right) = 610 \cdot \text{mm}$$

$$d_{11} := h - \left(c_u + \phi_k + \frac{\phi_1}{2} + \frac{2}{11} \cdot 40\text{mm} \right) = 603 \cdot \text{mm} \quad d_{13} := d = 598 \cdot \text{mm}$$

$$d_t(t) := \begin{cases} d_9 & \text{if } t \leq \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 207\text{cm} \\ d_{11} & \text{if } \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 207\text{cm} < t \leq \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 127\text{cm} \\ d_{13} & \text{if } t > \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 127\text{cm} \end{cases}$$

***Az egyes szakaszok hosszát a 25 ábra mutatja. A vasalási keresztmetszet tartótengely menti változását a 26. -on ábrázoltuk.*

$$A_{sl,t}(t) := \begin{cases} 0 \cdot \frac{\phi_1^2 \cdot \pi}{4} & \text{if } t \leq 840\text{mm} \\ 8 \cdot \frac{\phi_1^2 \cdot \pi}{4} & \text{if } 840\text{mm} < t \leq 1405\text{mm} \\ 9 \cdot \frac{\phi_1^2 \cdot \pi}{4} & \text{if } 1405\text{mm} < t \leq \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 207\text{cm} \\ 11 \cdot \frac{\phi_1^2 \cdot \pi}{4} & \text{if } \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 207\text{cm} < t \leq \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 127\text{cm} \\ 13 \cdot \frac{\phi_1^2 \cdot \pi}{4} & \text{if } \frac{l_{\text{eff}}}{2} - 127\text{cm} < t \end{cases}$$

Keresztmetszeti jellemzők az I. feszültségállapotban

$$S_t(t) := \frac{b \cdot h^2}{2} + A_{sl,t}(t) \cdot (\alpha_{s,\text{eff}} - 1) \cdot d_t(t)$$

$$A_{I,t}(t) := b \cdot h + A_{sl,t}(t) \cdot (\alpha_{s,\text{eff}} - 1)$$

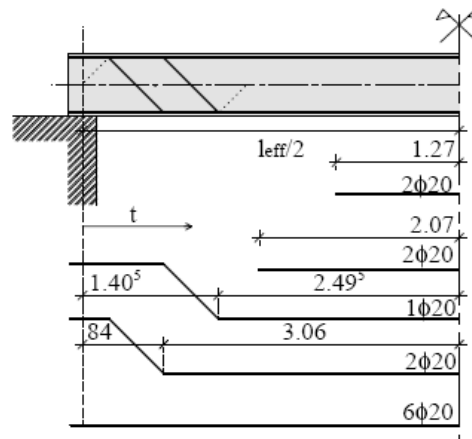
$$x_{I,t}(t) := \frac{S_t(t)}{A_{I,t}(t)}$$

****Az inerciák tartótengely menti változását 27. ábra mutatja.*

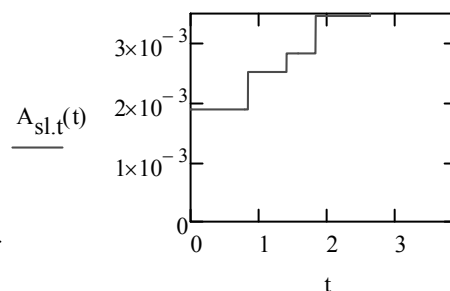
$$I_{I,t}(t) := \frac{x_{I,t}(t)^3 \cdot b}{3} + \frac{(h - x_{I,t}(t))^3 \cdot b}{3} \dots + (\alpha_{s,\text{eff}} - 1) \cdot A_{sl,t}(t) \cdot (d_t(t) - x_{I,t}(t))^2$$

Keresztmetszeti jellemzők a II. feszültségállapotban

$$x_{II,t}(t) := \frac{-\alpha_{s,\text{eff}} \cdot A_{sl,t}(t) + \sqrt{(\alpha_{s,\text{eff}} \cdot A_{sl,t}(t))^2 + 4 \cdot \frac{b}{2} \cdot (\alpha_{s,\text{eff}} \cdot A_{sl,t}(t)) \cdot d_t(t)}}{b}$$



25. ábra: A hosszvasalás tartótengely-menti változása



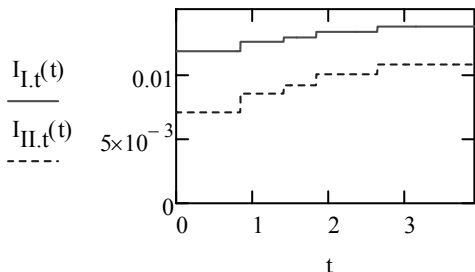
26. ábra: A hosszvasalás tartótengely-menti változása

$$I_{II,t}(t) := \left(\frac{x_{II,t}(t)^3 \cdot b}{3} \right) + \alpha_{s,eff} \cdot A_{sl,t}(t) \cdot (d_t(t) - x_{II,t}(t))^2$$

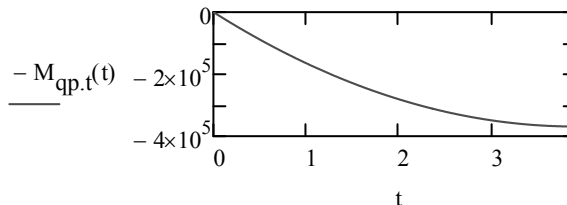
*Az inerciák tartótengely menti változását 27. ábra mutatja.

Lehajlás számítása

A repesztőnyomaték: $M_{cr,t}(t) := \frac{f_{ct,eff} \cdot I_{I,t}(t)}{h - x_{I,t}(t)}$ A nyomaték kvázi állandó teherkombinációban: $M_{qp,t}(t) := p_{qp} \cdot \left(\frac{l_{eff}}{2} \cdot t - \frac{t^2}{2} \right)$ (28. ábra)



27. ábra: Az inerciák tartótengely-menti változása



28. ábra: A féltartó nyomatéki ábrája kvázi állandó teherkombinációban

Feszültség az acélban kvázi állandó teherkombináció esetén $\sigma_{s,t}(t) := \frac{M_{qp,t}(t) \cdot (d_t(t) - x_{II,t}(t)) \cdot \alpha_{s,eff}}{I_{II,t}(t)}$

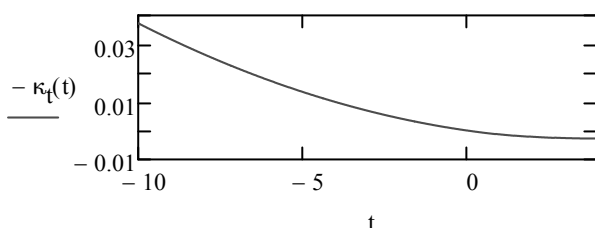
Feszültség az acélban a repesztőnyomaték hatására: $\sigma_{sr,t}(t) := \frac{M_{cr,t}(t) \cdot (d_t(t) - x_{II,t}(t)) \cdot \alpha_{s,eff}}{I_{II,t}(t)}$

A görbület I. és II. feszültségi állapotban, és κ súlyozott értéke:

$$\kappa_{I,t}(t) := \frac{M_{qp,t}(t)}{E_{c,eff} \cdot I_{I,t}(t)} \quad \kappa_{II,t}(t) := \frac{M_{qp,t}(t)}{E_{c,eff} \cdot I_{II,t}(t)} \quad \zeta_t(t) := 1 - \beta \cdot \left(\frac{\sigma_{sr,t}(t)}{\sigma_{s,t}(t)} \right)^2$$

$$\kappa_t(t) := \begin{cases} \zeta_t(t) \cdot \kappa_{II,t}(t) + (1 - \zeta_t(t)) \cdot \kappa_{I,t}(t) & \text{if } \sigma_{sr,t}(t) < \sigma_{s,t}(t) \\ \kappa_{I,t}(t) & \text{otherwise} \end{cases}$$

**A görbület tartótengely menti változását 29 ábra mutatja.



29. ábra: A görbület tartótengely-menti változása

***Itt most nem részletezett számítással önmagában a hasznos teher alapértékéből 14.8 mm lehajlási érték adódik, amely megfelel az $l_{eff}/500 = 15,6$ mm lehajlási korlátnak. A kvázi állandó teherkombináció esetén számítható lehajlásérték azonban nagyobb ennél a határértéknél. A beépítést követő lehajlás-növekmény így kárt tehetne a csatlakozó szerkezetek épségében, ha lenne ilyen. Jelen feladatkiírás csak az $l_{eff}/250$ lehajláskorlátot írta elő.

Az elfordulás a támasznál:

$$\phi_A := \int_0^{\frac{l_{eff}}{2}} \kappa_t(t) dt$$

A lehajlás számítása mezőközepén

$$e_{t,mezőközep} := \phi_A \cdot \frac{l_{eff}}{2} - \int_0^{\frac{l_{eff}}{2}} \kappa_t(t) dt \cdot \frac{3}{16} \cdot l_{eff} = 18 \cdot \text{mm}$$

$$e_{t,mezőközep} = 18.0 \cdot \text{mm} < \frac{l_{eff}}{250} = 31.2 \cdot \text{mm} \Rightarrow \text{A tartó lehajlása megfelel a követelményeknek***}$$

b.) A repedéstágasság ellenőrzése

A repedéstágasságot kvázi állandó teherkombinációra kell ellenőrizni a legnagyobb nyomaték helyén, azaz mezőközépen.

 $\Delta\varepsilon$ számítása

Az előzőekben kiszámított ideális keresztmetszeti adatok ebben a keresztmetszetben*:

$$x_{II.K} := x_{II.t} \left(\frac{l_{eff}}{2} \right) = 331.8 \cdot \text{mm} \quad I_{II.K} := I_{II.t} \left(\frac{l_{eff}}{2} \right) = 1.073 \times 10^6 \cdot \text{cm}^4$$

*Az előző alponban a keresztmetszeti adatok függvényét a tartótengely mentén kiszámítottuk. Ennek a számításnak a hiányában azonban mezőközépen is külön ki kell számolni a keresztmetszeti jellemzőket.

Feszültség a húzott acélbetétben a mértékadó nyomaték hatására berepedt keresztmetszet feltételezésével:

$$\sigma_{s.K} := \sigma_{s.t} \left(\frac{l_{eff}}{2} \right) = 185.4 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} < f_{yd} = 434.8 \cdot \frac{N}{\text{mm}^2} \Rightarrow \text{Az acél rugalmas állapotban van.}$$

A hatékony húzott betonzóna területe:

$$h_{cef} := \min \left[2.5 \cdot (h - d), \frac{h - x_{II.K}}{3}, \frac{h}{2} \right] = 106.1 \cdot \text{mm} \quad A_{ceff} := b \cdot h_{cef}$$

A teher tartósságától függő tényező: $k_t := 0.4$ $A_{ceff} = 42426 \cdot \text{mm}^2$
(tartós teher esetén)

$$\rho_{peff} := \frac{A_{sl}}{A_{ceff}} \quad \rho_{peff} = 9.626 \cdot \%$$

$$\Delta\varepsilon := \max \left[\frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{peff}} \cdot (1 + \alpha_{s,eff} \cdot \rho_{peff})}{E_s}, 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \right] \quad \Delta\varepsilon = 0.175 \cdot \%$$

A repedések egymástól mért távolságának (s_{rmax}) meghatározása

Az acélbetétek távolsága:

**Sima acélbetét esetén $k_1 = 1.6$.

$$t := \frac{b - 2 \cdot (c_u + \phi_k) - 2 \cdot \frac{\phi_l}{2}}{n - 1} \quad t = 27 \cdot \text{mm} < t_h := 5 \cdot \left(c_u + \phi_k + \frac{\phi_l}{2} \right) = 200 \text{ mm} \Rightarrow \text{Az acélbetétek távolsága "közelinek" minősíthető.}$$

A beton és az acélbetét közti tapadás milyenségét figyelembe vevő tényező bordás betonacél esetén** $k_1 := 0.8$

A keresztmetszeten belüli nyúlás alakulását figyelembe vevő tényező***: $k_2 := 0.5$

*** k_2 értékéről részletesebben az I.4.2.b. pontban esik szó.

A repedések legnagyobb távolsága****:

$$s_{rmax} := 3.4 \cdot c_u + 0.425 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\phi_l}{\rho_{peff}} \quad s_{rmax} = 103.3 \cdot \text{mm}$$

**** Ha az acélbetétek távolsága nem minősíthető közelinek a repedések legnagyobb távolsága $s_{rmax} = 1,3(h - x_{II})$

A repedéstágasság számítása

$$w_k := s_{rmax} \cdot (\Delta\varepsilon) \quad w_k = 0.18 \cdot \text{mm} < 0.30 \text{ mm} \Rightarrow$$

A tartó repedéstágassága kvázi állandó teherkombináció esetén **megfelel.**

c.) A feszültségek korlátozása

A feszültségek korlátozását karakterisztikus teherkombinációban kell vizsgálni:

$$\sigma_{c.car.K} := \frac{M_{car} \cdot x_{II,K}}{I_{II,K}} \quad \sigma_{c.car.K} = 18 \cdot \frac{N}{mm^2} > 0.6 \cdot f_{ck} = 15 \cdot \frac{N}{mm^2} \Rightarrow \text{A betonban hosszirányú repedések jelenhetnek meg*}.$$

$$\sigma_{s.car.K} := \frac{M_{car} \cdot (d - x_{II,K}) \cdot \alpha_{s,eff}}{I_{II,K}}$$

$$\sigma_{s.car.K} = 292 \cdot \frac{N}{mm^2} < 0.8 \cdot f_{yk} = 400 \cdot \frac{N}{mm^2} \Rightarrow \text{A vasalásban fellépő húzófeszültségek karakterisztikus teherkombináció esetén nem nagyobbak a megengedettnél**}.$$

* Az ilyen repedezettség a tartósság csökkenését eredményezheti. Ha a gerenda kedvezőtlen környezeti hatásoknak lenne kitéve, ajánlott lenne a betonfedés megnövelése a nyomott betonzónában illetve nyomott betonzóna keresztirányú vasalással történő körülzárása.

** A vasalásban fellépő húzófeszültséget azért fontos korlátozni, hogy elkerüljük a nem rugalmas alakváltozásokat valamint az elfogadhatatlan mértékű repedezettséget illetve lehajlást.

B.8. Vasalási terv és vaskimutatás táblázat ('B' változat)

A vasalási terv ugyan a számítások alapján készül, attól kis mértékben (természetesen csak ha az a biztonság javára történik) eltérhetünk, ha ezzel a kivitelezést egyszerűbbé tesszük. A vasalás elkészítésekor figyelembe veendő szabályok és előírások a Mellékletben olvashatók. Ne alkalmazzunk 12m-nél hosszabb acélbetétet (Magyarországon általában max. 12m betonacélok kaphatók), ezt hosszú gerenda esetén toldással oldhatjuk meg. Annyi keresztmetszetet rajzoljunk ki, amennyiből a vasalás egyértelműen szerelhető.

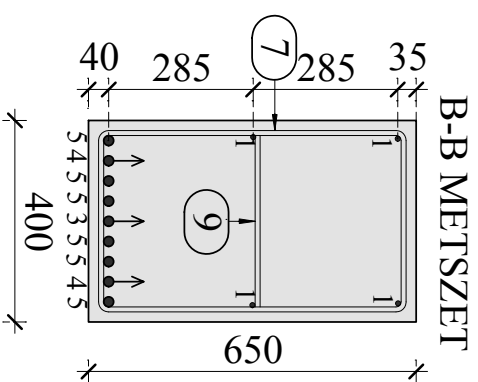
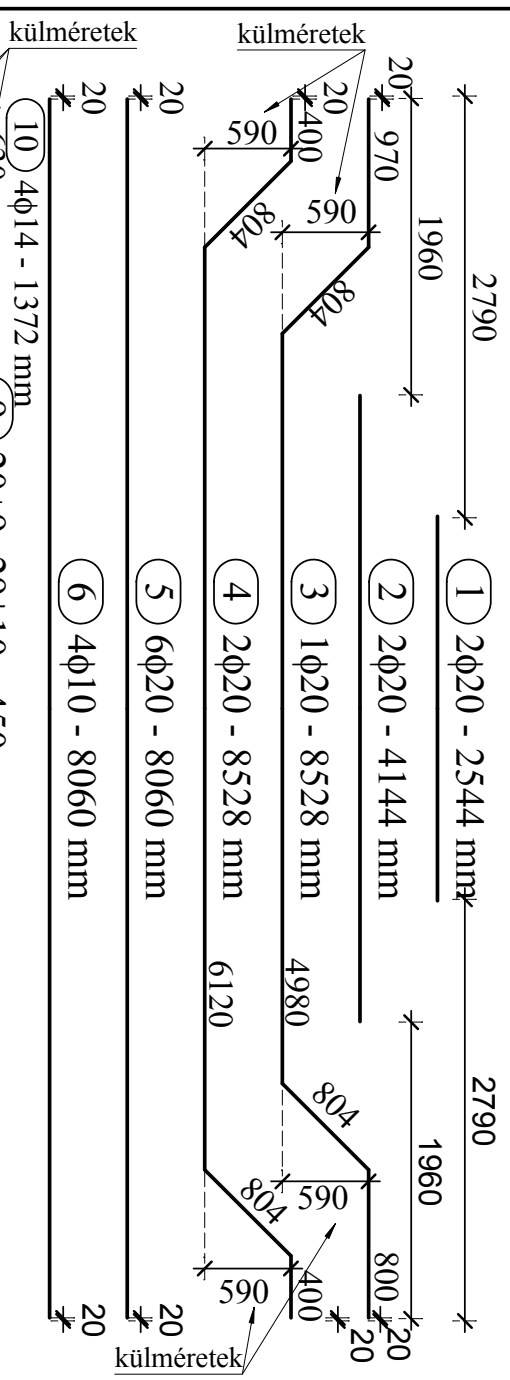
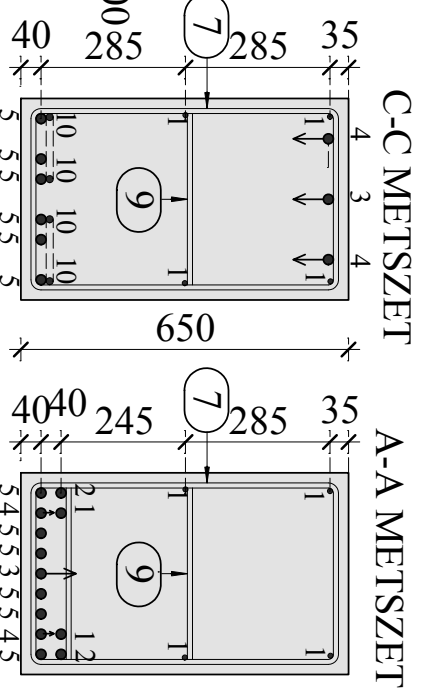
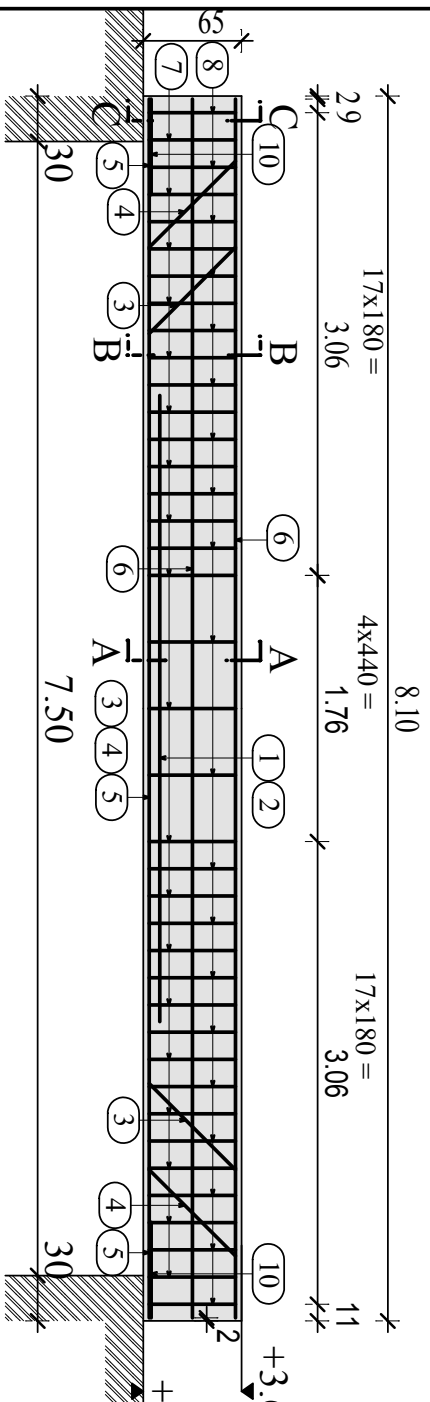
A vasalási terv és a vaskimutatás táblázat a következő oldalon található. A csatolt terv nem méretarányos, ezért ezt a terven nem jelöltük, de a hallgató a tervkeretben a tervek méretarányát is jelölje meg.

A számítás és a vasalási terv elkészültekor kerül sor a műszaki leírás megírására. Ezt a statikai számítás és a tervek elé kell csatolni. A műszaki leírásnak általános esetben tartalmaznia kell:

- A megbízás tárgyát, időpontját, a megbízó személyét, a megbízott adatait;
- Előzményeket;
- A kiindulási adatokat, követelményeket;
- A felhasznált szabványokat,
- A megtervezett szerkezet geometriai adatait, anyagjellemzőit;
- A vasalás rövid leírását,
- A kivitelezésre vonatkozó előírásokat (zsaluzás, megtámasztás, utókezelés, kizsaluzás, első terhelhetőség, megkövetelt pontosság (általában 1cm);
- A tervezői nyilatkozatot, miszerint a dokumentáció tárgyát képező szerkezet kielégíti az aktuális (megnevezett) szabványok előírásait és a szabványtól való eltérés nem vált szükségessé;
- Dátumot és aláírást.

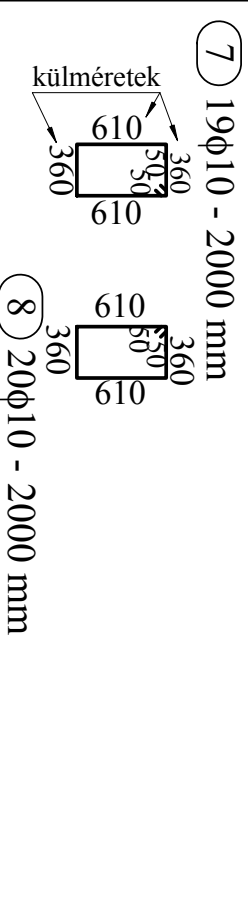
G1 GERENDA ZSALUZÁSI ÉS VASALÁSI TERVE

GERENDA HOSSZMETSZETE



Vaskimutató-táblázat

jel	db	φ [mm]	Hossz [m]	φ10 [m]	φ14 [m]	φ20 [m]
1	2	20	2,544			5,088
2	2	20	4,144			8,288
3	1	20	8,528			8,528
4	2	20	8,528			17,056
5	6	20	8,060			48,360
6	4	10	8,060	32,240		
7	21	10	2,000	42,000		
8	22	10	2,000	44,000		
9	32	10	0,450	14,400		
10	4	14	1,372		5,488	
Összhossz /φ [m]			100,400	5,488	87,320	
Súly/φ [kg/m]				0,616	1,210	2,460
Összsúly /φ [kg]				61,846	6,640	214,807
Összsúly [kg]						283,294



Beton: C25/30-XC1-8KK
 Betonacél: S500B
 Betonfedés: 20mm
 Tethékök:
 Teljes állandó teher: 36,5kN/m
 Esetleges teher: 40kN/m

Cím:			
G1 gerenda zsaluzási és vasalási terve			
Készítette:	Hallgató Bálint	Aláírás:	Dátum
Konzulens:	Oktató Bálint	Aláírás:	Dátum
			Terv jel:
			S1

Az Alplán egyik diákrverzójával készült

Megjegyzések: A (9) jelű acélt minden második kengyelre
 A (7) és (8) jelű acélokat a gyakorlatban nem kell külön jelölni

Melléklet*

m1. táblázat: Betonok jellemzői

Eurocode		Melegen hengerelt betonacélok			Hidegen húzott acélok	
MSZ		B 500	B 400	B 240	B 500	
f_{yk}	N/mm ²	500	400	240	500	500
f_{yd}	(MPa)	435	348	209	435	435
ϵ_{uk}	‰	18	20	25	10	10
ϕ	mm	8-40	8-40	6-40	4,2 - 5,5	4,2 - 12
felület		csavarbordás	nyílbordás	sima	bordázott	sima
hegeszthetőség		a	c	a	b	b
E_s	kN/mm ² (GPa)	200	200		200	
ξ_{co}		0,49	0,53	0,62	0,49	0,49
ξ'_{co}		2,11	1,59	1,14	2,11	2,11

m2. táblázat: Betonacélok jellemzői

$(f_{ck} \leq 50 \text{ N/mm}^2)$		C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/67
f_{ck}		12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{cd}	N/mm ² (MPa)	8,0	10,7	13,3	16,7	20,0	23,3	26,7	30,0	33,3
f_{ctd}		0,73	0,89	1,0	1,2	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9
f_{ctm}		1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
f_{bd}		1,6	2,0	2,3	2,7	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3
$\varphi(\infty, 28)$	-	3,02	2,76	2,55	2,35	2,13	1,92	1,76	1,63	1,53
E_{cm}	kN/mm ² (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37
$E_{c,eff}$		6,7	7,7	8,5	9,3	10,5	11,6	12,7	13,7	14,6
$\epsilon_{cs,\infty}$	‰	0,4								
α_t	1/°C	10^{-5}								

m3. táblázat: Betonacélok keresztmetsezi területe

db \ ϕ	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
1	28	50	79	113	154	201	254	314	380	491	616	804	1018	1257
2	57	101	157	226	308	402	509	628	760	982	1232	1608	2036	2513
3	85	151	236	339	462	603	763	942	1140	1473	1847	2413	3054	3770
4	113	201	314	452	616	804	1018	1257	1521	1963	2463	3217	4072	5027
5	141	251	393	565	770	1005	1272	1571	1901	2454	3079	4021	5089	6283
6	170	302	471	679	924	1206	1527	1885	2281	2945	3695	4825	6107	7540
7	198	352	550	792	1078	1407	1781	2199	2661	3436	4310	5630	7125	8796
8	226	402	628	905	1232	1608	2036	2513	3041	3927	4926	6434	8143	10053
9	254	452	707	1018	1385	1810	2290	2827	3421	4418	5542	7238	9161	11310
10	283	503	785	1131	1539	2011	2545	3142	3801	4909	6158	8042	10179	12566
11	311	553	864	1244	1693	2212	2799	3456	4181	5400	6773	8847	11197	13823
12	339	603	942	1357	1847	2413	3054	3770	4562	5890	7389	9651	12215	15080

m4. táblázat: Betonacélok fajlagos tömege

ϕ	6	8	10	12	14	16	18	20	22	25	28	32	36	40
g	0,222	0,394	0,616	0,887	1,21	1,58	2,00	2,46	2,98	3,85	4,83	6,31	7,98	9,85

* Forrás: Deák György-Draskóczy András-Dulácska Endre-Koollár László-Visnovitz György: Vasbeton-szerkezetek

Betonfedésre vonatkozó szerkesztési szabályok

A betonfedés, c_{nom} a hosszanti acélbetétekre és a kegyelekre is meg kell hogy haladja a minimális betonfedés 10mm-rel növelt értékét:

$$c_{nom} \geq 10\text{mm} + \max \begin{pmatrix} c_{min.b} \\ c_{min.dur} \\ 10\text{mm} \end{pmatrix}$$

Ahol:

$c_{min.b}$ a tapadáshoz szükséges elméleti minimális betonfedés. Ez általában egyenlő az acélbetét átmérőjével.

$c_{min.dur}$ a szerkezet jellemzőitől és a környezeti feltételtől függ. Szaraz környezetben $c_{min.dur} = 10\text{mm}$

A betonacélok távolságára vonatkozó szerkesztési szabályok

A vasak közötti legnagyobb távolság (a kibetonozhatóság és az átrepedés elkerülése érdekében):

$$a_{min} := \max \begin{pmatrix} \phi \\ 20\text{mm} \\ d_g + 5\text{mm} \end{pmatrix}$$

Ahol

ϕ a betonacél névleges átmérője

d_g az adalékanyag legnagyobb szemcse nagysága

A vasak közötti legnagyobb távolság: 400mm

Betonacélok lehorgonyozása, kampók kialakítása

A lehorgonyzási hossz alapértéke:

$$l_b := \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}}$$

A lehorgonyzási hossz tervezési értéke:

$$l_{bd} := \max \begin{pmatrix} \alpha_a \cdot l_b \cdot \frac{A_{s,requ}}{A_{s,prov}} \\ l_{b,min} \end{pmatrix}$$

Ahol

α_a a lehorgonyzás módját figyelembe vevő szorzó (lásd m3. ábra)

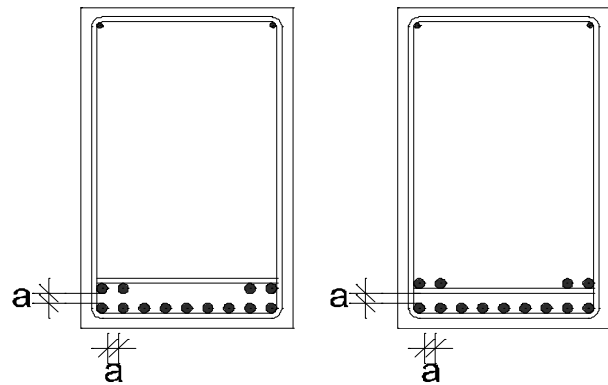
$\frac{A_{s,requ}}{A_{s,prov}}$ a lehorgonyzandó szükséges illetve tényleges vaskeresztmeteti területek hányados. (Húzásra kihasznált betonacél esetén 1, más esetben <1)

$$l_{b,min} = \max \begin{pmatrix} \alpha_{min} \cdot l_b \cdot \frac{\sigma_s}{f_{yd}} \\ 10\phi \\ 100\text{mm} \end{pmatrix}$$

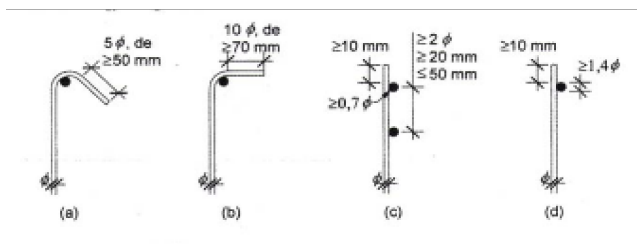
(a minimális lehorgonyzási hossz)

ahol $\alpha_{min} := 0.3$ húzott acélbetét esetén


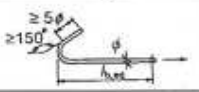
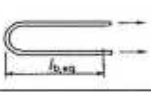
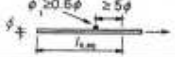
$\alpha_{min} := 0.6$ nyomott acélbetét esetén



m1. ábra: betonacélok minimális távolsága



m2. ábra: példák kengyelvég kialakítására

Lehorgonyzási módok	α_a	
	Húzott acélbetét	Nyomott acélbetét
Egyenes vasvég 	1,0	1,0
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Kampó</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Hurok</p>  </div> </div>	0,7*	**
Egyenes vasvég legalább egy hegesztett keresztbetéttel $l_{0,ms}$ -n belül 	0,7	0,7
Keresztirányú nyomás (p [N/mm ²]) hatása (lásd 6.5.1. fejezet)	$\max \left\{ \begin{matrix} 1 - 0,04p \\ 0,7 \end{matrix} \right\}$	-

m3. ábra: betonacélok jellemző lehorgonyzási módjai és a hozzájuk tartozó α_a értékek

Kampók, hurok egy hegesztett keresztbetéttel is alkalmazhatók. Az α_a értékek összeszorozhatók. A lehorgonyzás egyedileg megtervezett elemekkel is megoldható.

Betonacélok toldása

A szükséges toldási HOSSZ (ha nincs az acélbetétek több mint a negyede egy keresztmetszetben, illetve $0,65l_0$ hosszon belül - toldva - bővebben lásd Deák György-Draskóczy András-Dulácska Endre-Kollár László-Visnovitz György: Vasbeton-szerkezetek című könyvét):

$$l_0 := \max \left(\begin{matrix} l_{bd} \\ l_{0,min} \end{matrix} \right) \quad \text{ahol} \quad l_{0,min} := \max \left(\begin{matrix} 15\phi \\ 200\text{mm} \end{matrix} \right)$$

Betonacélok hajlítása

Vas- átmérő	Minimális hajlítási átmérő
$\phi \leq 16\text{mm}$	4ϕ
$\phi > 16\text{mm}$	7ϕ