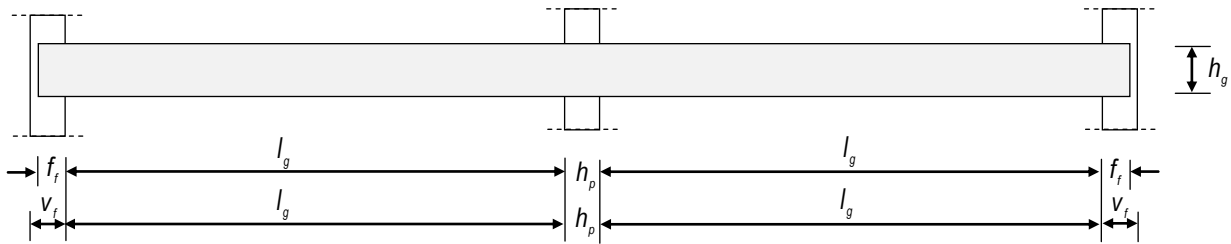


Háromtámaszú monolit vasbeton gerenda tervezése

1.0 Geometria



Ismert geometriai adatok: $l_g = 6,60 \text{ m}$, $v_f = 440 \text{ mm}$, $f_f = 320 \text{ mm}$, $h_p = 320 \text{ mm}$, $b = 300 \text{ mm}$

2.0 Anyagjellemzők

Beton: C20/25 – X0v(H) – 16 – "kissé képlékeny" – CEM 42,5 – MSZ 4798-1: 2004

Betonacél: B500A (MSZ EN 1992-1-1:2010)

Betonfedés névleges értéke: $C_{nom} = 30 \text{ mm}$ (MSZ EN 1992-1-1:2010)

3.0 Terhek

Terhek: $p_{Ed} = 62 \text{ kN/m}$, $g_{inf} = 30 \text{ kN/m}$, $q_{pq} = 36 \text{ kN/m}$

4.0 Közelítő méretfelvétel – szabad tervezés – karcsúság

Nyomott öv kihasználtsága mezőben: $\xi \approx 0,49 \rightarrow \rho = \xi \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,49 \cdot \frac{13,33}{435} = 15\%_0 \rightarrow \left(\frac{L}{d}\right)_{lim} \approx 13$

Dolgozó magasság: $\frac{L/K}{d} \leq \left(\frac{L}{d}\right)_{lim} \rightarrow \frac{6920/1,3}{d} \leq 13 \rightarrow d \approx \frac{6920}{1,3} \cdot \frac{1}{13} = 410 \approx 420 \text{ mm}$

5.0 Igénybevételek tervezési értékei

A B támasz feletti nyomaték és nyíróerő tervezési értéke, a terhelési eset nyomatéki zérushelye:

$$2 \cdot M_{Ed,B} \cdot 2 \cdot 6,92 = -\frac{1}{4} \cdot 6,92^3 \cdot (62 + 62) \rightarrow M_{Ed,B} = 371 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,B, bal} = -V_{Ed,B, jobb} = \frac{62 \cdot 6,92}{2} + \frac{371}{6,92} = 269 \text{ kN}$$

$$V_A = V_c = \frac{62 \cdot 6,92}{2} - \frac{371}{6,92} = 161 \text{ kN} \rightarrow 161 - t_{max} \cdot 62 = 0 \rightarrow t_{max} = 2,60 \text{ m} \rightarrow t_0 = 5,20 \text{ m}$$

Az AB és BC mező nyomatéki szélsőértéke és annak helye, a terhelési eset nyomatéki zérushelyei:

$$2 \cdot M_B \cdot 2 \cdot 6,92 = -\frac{1}{4} \cdot 6,92^3 \cdot (62 + 30) \rightarrow M_B \approx 275 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed,A} = V_{Ed,C} = \frac{62 \cdot 6,92}{2} - \frac{275}{6,92} = 175 \text{ kN} \rightarrow 175 - t_{\max} \cdot 62 = 0 \rightarrow t_{\max} \approx 2,82 \text{ m} \rightarrow t_0 \approx 5,64 \text{ m}$$

$$V_B = \frac{62 \cdot 6,92}{2} + \frac{275}{6,92} = 254 \text{ kN} \quad V_B = \frac{30 \cdot 6,92}{2} + \frac{275}{6,92} = 143 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,AB} = M_{Ed,BC} = \frac{1}{2} \cdot 2,82 \cdot 175 \approx 247 \text{ kNm}$$

A nyomatéki burkoló ábra negatív szakaszának azon zérus helye, mely a B támasztól legtávolabb esik:

$$V_{A,\min} = V_{C,\min} = \frac{30 \cdot 6,92}{2} - \frac{275}{6,92} = 64 \text{ kN} \rightarrow 64 - t_{\max} \cdot 30 = 0 \rightarrow t_{\max} \approx 2,13 \text{ m} \rightarrow t_0 \approx 4,26 \text{ m}$$

(Tehát a B támasztól 2,66 m-re!)

Igénybevételek terhelési esetek szerint:

Terhelési eset	M_B [kNm]	M_{AB} [kNm]	M_{BC} [kNm]	V_A [kN]	V_{Bb} [kN]	V_{Bj} [kN]	V_C [kN]	$t_{\max AB}$ [m]	t_{0AB} [m]	$t_{\max BC}$ [m]	t_{0BC} [m]
1.	-371	209	209	161	-269	269	-161	2,60	5,20	2,60	5,20
2.	-275	247	68	175	-254	143	-64	2,82	5,64	2,13	4,26
3.	-275	68	247	64	-143	254	-175	2,13	4,26	2,82	5,64

6.0 Tervezés hajlításra

Alkalmazott összefüggések:

$$d \approx 0,8 \cdot h \sim 0,9 \cdot h \quad , \quad d' \approx 0,1 \cdot h \sim 0,2 \cdot h \quad , \quad x_0 = \xi_0 \cdot d \quad , \quad x = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b_w \cdot f_{cd}}} \quad , \quad A_{s,requ} = \frac{b_w \cdot x \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad ,$$

$$A'_{s,requ} = \frac{M_{Ed} - M_{Rd,0}}{(d-d') \cdot f_{yd}} \quad , \quad A_{s,prov} \geq A_{s,requ} \quad , \quad x_f = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot f_{cd}} \quad , \quad \xi = \frac{x_f}{d_{eff}} \quad , \quad \xi' = \frac{x_f}{d'_{eff}} \quad , \quad M_{Rd,0} = b_w \cdot x_0 \cdot f_{cd} \cdot \left(d_{eff} - \frac{x_0}{2} \right) \quad ,$$

$$M_{Rd} = b_w \cdot x_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d_{eff} - \frac{x_f}{2} \right) \quad , \quad M_{Rd} = b_w \cdot x_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d_{eff} - \frac{x_f}{2} \right) + A'_{s} \cdot \sigma'_s \cdot (d-d') \quad , \quad A_{s,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d_{eff} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d_{eff} \end{array} \right\} \quad ,$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c \quad , \quad \sigma_s = \frac{560}{\xi} - 700 \quad , \quad \sigma'_s = 700 - \frac{560}{\xi'}$$

Eredménytáblázat:

Hely	M_{Ed} [kNm]	b [mm]	d [mm]	d' [mm]	x [mm]	x_0 [mm]	$A_{s,requ}$ [mm ²]	$A'_{s,requ}$ [mm ²]	$A_{s,min}$ [mm ²]	$A_{s,prov}$ [mm ²]	$A'_{s,prov}$ [mm ²]	d_{eff} [mm]	d'_{eff} [mm]	x_f [mm]	ξ / ξ'	M_{Rd} [kNm]	M_{Ed}/M_{Rd} [%]
AB, BC mező	~247	300	~420	-	~190	~206	~1747	-	~175	4025 1964	-	447	-	213	0,48 / -	291	85%
A, C par.	~37		454	-	~21	~222	~193	-	~178	2012 226	-	454	-	25	0,06 / -	43	86%
B támasz	~371		~420	~40				~2556	~665	~175	6025 2946	2025 (982)	422	52	213	~0,49 / 4,10	432

Betonacélok minimális vízszintes és függőleges távolsága:

$$\Delta\varnothing_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} k_1 \cdot \varnothing = 1 \cdot 25 = 25 \text{ mm} \\ d_g + k_2 = 16 + 5 = 21 \text{ mm} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\} = 25 \text{ mm}$$

Betonacélok vízszintes távolsága:

$$\Delta\varnothing = \frac{b - (2 \cdot C_{nom} + 2 \cdot \varnothing_s + n \cdot \varnothing)}{n - 1} = \frac{300 - (2 \cdot 30 + 2 \cdot 10 + 4 \cdot 25)}{4 - 1} = 40 \text{ mm} > \Delta\varnothing_{\min} = 25 \text{ mm}$$

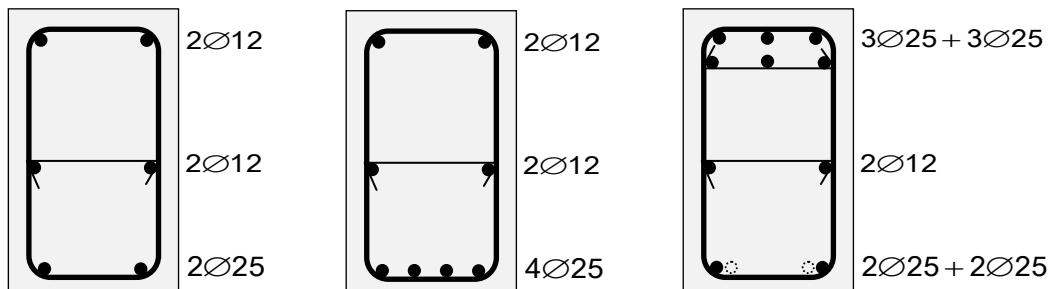
Teljes magasság:

$$h = d + \frac{\varnothing}{2} + \varnothing_s + C_{nom} = 420 + \frac{25}{2} + 10 + 30 = 473 \text{ mm} \rightarrow 500 \text{ mm}$$

Acélbetétek elhagyása a mezőkben:

2Ø25 a támaszokig elvezetve (50%), mezőkből 1-1db Ø25 nyomott acélbetétként kihasználva
2Ø25 a mezőkben egy keresztmetszetben elhagyva (50%)

Acélbetétek elrendezése:



A és C támasznál

AB és BC mezőközépen

B támasznál

Elhagyás keresztmetszetei az A támaszvonalától értelmezve:

$$x_{2\varnothing25} = \frac{A_{s,2\varnothing25} \cdot f_{yd}}{b_w \cdot f_{cd}} = \frac{982 \cdot 435}{300 \cdot 13,33} = 107 \text{ mm}$$

$$M_{Rd,2\varnothing25} = b_w \cdot x_{2\varnothing25} \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{x_{2\varnothing25}}{2} \right) = 300 \cdot 107 \cdot 13,33 \cdot \left(447 - \frac{107}{2} \right) \approx 168 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,2\varnothing25} = V_{Ed,A} \cdot t_{2\varnothing25} - \frac{t_{2\varnothing25}^2 \cdot p_{Ed}}{2} \rightarrow \frac{p_{Ed}}{2} \cdot t_{2\varnothing25}^2 - V_{Ed,A} \cdot t_{2\varnothing25} + M_{Rd,2\varnothing25} = 0$$

$$\frac{62}{2} \cdot t_{2\varnothing25}^2 - 175 \cdot t_{2\varnothing25} + 168 = 0 \rightarrow t_{2\varnothing25} = \begin{bmatrix} \sim 1220 \text{ mm} \\ \sim 4420 \text{ mm} \end{bmatrix}$$

Elhagyott acélbetétek végkeresztmetszetei az A támaszvonalától mérve:

A támaszhoz közelebbi: $t_{2\varnothing25,A} = 1220 - 0,45 \cdot d - l_{b,\min} = 1220 - 0,45 \cdot 447 - 10 \cdot 25 = 768 \text{ mm}$

B támaszhoz közelebbi: $t_{5\varnothing 20,B} = 4420 + 0,45 \cdot d + l_{b,\min} = 4420 + 0,45 \cdot 447 + 10 \cdot 25 = 4872 \text{ mm}$

B támasz feletti acélbetétek elhagyása:

3 $\varnothing 25$ az 1. sorban a nyomatéki zérushelyig elvezetve (50%),

3 $\varnothing 25$ a 2. sorban a nyomaték változását lineárisnak tekintve egy keresztmetszetben elhagyva (50 %)

B támasztól távolabb vezetett betétek elhagyása: $t_{3\varnothing 25} = 2660 + 0,45 \cdot d + l_{b,\min} = 2660 + 0,45 \cdot 447 + 10 \cdot 25 = 3112 \text{ mm}$

B támaszhoz közelebbi betétek elhagyása: $t_{3\varnothing 25} = \frac{2660}{2} + 0,45 \cdot d + l_{b,\min} = \frac{2660}{2} + 0,45 \cdot 447 + 10 \cdot 25 = 1782 \text{ mm}$

Szélső támaszig vezetett acélbetétek lehorgonyzásának vizsgálata:

$$F_E \approx 0,5 \cdot V_{Ed} = 0,5 \cdot 175 \cdot 10^3 = 88 \text{ kN} \quad , \quad \sigma_s \approx \frac{F_E}{A_{s,2\varnothing 25}} = \frac{88 \cdot 10^3}{2 \cdot 491} = 90 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,0 = 2,25 \text{ N/mm}^2 \quad , \quad l_{b,rqd,\varnothing 25} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_s}{f_{bd}} = \frac{25}{4} \cdot \frac{90}{2,25} = 250 \text{ mm}$$

$$l_{b,rqd,\varnothing 25} = 250 \text{ mm} < f_t - C_{nom} = 320 - 30 = 290 \text{ mm}$$

Az egyenesen vezetett acélbetét lehorgonyzása megfelelő!

Felső acélbetétek lehorgonyzásának vizsgálata/kialakítása (vizsgálat a felfekvés peremének keresztmetszetében):

$$\sigma_s \approx f_{yd} \cdot \frac{A_{s,requ}}{A_{s,prov}} = 435 \cdot \frac{193}{226} = 372 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,0 = 1,58 \text{ N/mm}^2 \quad , \quad l_{b,rqd,\varnothing 12} = \frac{\varnothing}{4} \cdot \frac{\sigma_s}{f_{bd}} = \frac{12}{4} \cdot \frac{372}{1,58} = 707 \text{ mm}$$

$$l_{b,eq,\varnothing 12} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd,\varnothing 12} \quad , \quad c_d = 30 + 10 = 40 \text{ mm} > 3 \cdot \varnothing = 36 \text{ mm} \rightarrow \alpha_1 = 0,7$$

$$l_{b,eq,\varnothing 12} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd,\varnothing 12} = 0,7 \cdot 707 = 495 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{m,\min,\varnothing 12} = \frac{F_{bt}}{f_{ctd}} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \varnothing} \right) = \frac{372 \cdot 113}{13,33} \cdot \left(\frac{1}{30+10+12/2} + \frac{1}{2 \cdot 12} \right) = 200 \rightarrow 200 \text{ mm}$$

$$l_H = 320 - (30 + 12 + 100) = 178 \text{ mm} \quad , \quad l_{IV} = \frac{(\varnothing_{m,\min} + \varnothing) \cdot \pi}{4} = \frac{(200 + 12) \cdot \pi}{4} = 166 \text{ mm}$$

$$l_V = 495 - 178 - 166 = 151 \text{ mm}$$

Az egyenes kampó tervi külmérete legalább: $151 + 100 + 12 = 263 \rightarrow 280 \text{ mm}$

7.0 Tervezés nyírásra

$$V_{Ed,red,A} = V_{Ed,red,C} = V_{Ed,A} - d \cdot p_{Ed} = 175 - 0,447 \cdot 62 = 148 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,red,B} = V_{Ed,red,B} = V_{Ed,B} - d \cdot p_{Ed} = 269 - 0,422 \cdot 62 = 243 \text{ kN}$$

7.1 A nyírási vasalást nem tartalmazó vasbeton keresztmetszet nyírási teherbírása

Az A és C támaszok környezetének vizsgálata alapján:

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{2/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \right. \\ \left. (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right\}, \quad C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \right. \\ \left. \frac{2,0}{2,0} \right\} = \min \left\{ 1 + \sqrt{\frac{200}{447}} = 1,67 \right. \\ \left. \frac{2,0}{2,0} \right\} = 1,67, \quad \rho_l = \min \left\{ \frac{A_{s1,A}}{b_w \cdot d} = \frac{982}{300 \cdot 447} = 7,32\% \right. \\ \left. \frac{20\%}{20\%} \right\} = 7,32\%$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,67^{3/2} \cdot 20^{1/2} = 0,338$$

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ 0,12 \cdot 1,67 \cdot (100 \cdot 7,32 \cdot 10^{-3} \cdot 20)^{2/3} \cdot 300 \cdot 447 = 65 \text{ kN} \right. \\ \left. 0,338 \cdot 300 \cdot 447 = 45 \text{ kN} \right\} = 65 \text{ kN} < V_{Ed,red,A} = 148 \text{ kN}$$

Méretezett nyírási vasalás szükséges!

7.2 A nyomott beton rácsrúd tönkremeneteléhez tartozó nyíróerő:

Az A és C támaszok környezetének vizsgálata alapján:

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta}, \quad \alpha_{cw} = 1, \quad v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{20}{250} \right] = 0,552$$

$$z = 0,9 \cdot d, \quad \alpha = 90^\circ, \quad \theta = 45^\circ, \quad \frac{\cot\theta + \cot\alpha}{1 + \cot^2\theta} = 0,5$$

$$V_{Rd,max} = 0,45 \cdot \alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d = 0,45 \cdot 1 \cdot 0,552 \cdot 13,33 \cdot 300 \cdot 447 = 444 \text{ kN} > V_{Ed} = 269 \text{ kN}$$

A keresztmetszet nyírásra bevasalható!

7.3 Nyírási vasalás kialakítása

7.3.1 Kengyelek alkalmazásával

A és C támasz környezete:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha \rightarrow V_{Rd,s} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s}$$

Ø10-es kengyelek szükséges távolsága:

$$s_{req} \leq 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed,red}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 78 \cdot 435}{148 \cdot 10^3} = 184 \text{ mm} \rightarrow s_{prov} = 150 \text{ mm}$$

Kengyelek teherbírása:

$$V_{Rd,s,\varnothing 10/150} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 78 \cdot 435}{150} = 182 \text{ kN} > V_{Ed,red,A} = V_{Ed,red,C} = 148 \text{ kN}$$

Csökkentett kengyelezés teherbírása:

$$V_{Rd,s,\varnothing 10/300} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 78 \cdot 435}{300} = 91 \text{ kN}$$

A csökkentett kengyelezés indítási keresztmetszete:

$$t_{\varnothing 10/300} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,\varnothing 10/300}}{\rho_{Ed}} = \frac{175 - 91}{62} \cdot 10^3 = 1355 \text{ mm}$$

(Ebben a tartományban a kengyelezés kialakítása: $10 \times 150 \text{ mm} = 1500 \text{ mm} > 1355 - 160 = 1195 \text{ mm}$)

Minimális nyírási vasalás, és maximális kengyeltávolság:

$$\rho_{w,min} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \cdot \frac{\sqrt{20}}{500} = 0,72\%$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = 0,72\% \rightarrow s_{l,max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 78}{0,00072 \cdot 300 \cdot 1} = 722 \text{ mm}$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) \rightarrow 0,75 \cdot 447 = 335 \text{ mm} \quad , \quad s_{l,max} = 300 \text{ mm}$$

(A tartó AB és BC nyílásának középső szakaszán a B támasztól indított kengyelek figyelembe vételével a kengyelek kiosztása: $7 \times 300 \text{ mm} = 2100 \text{ mm}$)

B támasz környezete:

$$s_{req} \leq 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed,red}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 78 \cdot 435}{241 \cdot 10^3} = 113 \text{ mm} \rightarrow s_{prov} = 100 \text{ mm}$$

Ø10-es kengyelek szükséges távolsága:

$$V_{Rd,s,\varnothing 10/100} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 78 \cdot 435}{100} = 273 \text{ kN} > V_{Ed,red,B} = 241 \text{ kN}$$

Csökkentett kengyelezések teherbírásai:

$$V_{Rd,s,\varnothing 10/150} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 78 \cdot 435}{150} = 182 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,\varnothing 10/300} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 78 \cdot 435}{300} = 91 \text{ kN}$$

A csökkentett kengyelezések indítási keresztmetszetei:

$$t_{\varnothing 10/150} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,\varnothing 10/150}}{\rho_{Ed}} = \frac{269 - 182}{62} \cdot 10^3 = 1403 \text{ mm}$$

(Ebben a tartományban a kengyelezés kialakítása: $17 \times 100 \text{ mm} = 1700 \text{ mm}$)

$$t_{\varnothing 10/300} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,\varnothing 10/300}}{p_{Ed}} = \frac{269 - 91}{62} \cdot 10^3 = 2870 \text{ mm}$$

(Ebben a tartományban a kengyelezés kialakítása: $2870 - 1700 - 160 = 1010 \text{ mm} < 8 \times 150 \text{ mm} = 1200 \text{ mm}$)

A kengyelezés kiosztása az AB (és a BC) nyílásban a felfekvések peremei között az A (és a C) támasztól indítva:

$$50 \text{ mm} + 10 \times 150 \text{ mm} + 7 \times 300 \text{ mm} + 8 \times 150 \text{ mm} + 17 \times 100 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 6600 \text{ mm}$$

7.3.2 Kengyelek és hozzáadott felhajlított acélbetétek együttes alkalmazásával

A és C támasz környezete:

$$\alpha = 45^\circ, \quad \theta = 45^\circ$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \sin\alpha \rightarrow V_{Rd,s} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot \sqrt{2}$$

1 db $\varnothing 12$ -es hozzáadott felhajlított acélbetét nyírási teherbírása az első felhajlítási helyen (tartószakaszon):

$$V_{Rd,s,1,\varnothing 12} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{s,\varnothing 12} \cdot f_{ywd}}{a_1} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{113 \cdot 435}{160 + 447} \cdot \sqrt{2} = 46 \text{ kN}$$

Az 1 db $\varnothing 12$ -es hozzáadott felhajlított acélbetét nyírási teherbírását kiegészítő további szükséges $\varnothing 8$ -as kengyelezés kiosztása és teherbírása:

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,red} - V_{Rd,s,1,\varnothing 12} = 148 - 46 = 102 \text{ kN} \rightarrow s_{req} \leq 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed,red} - V_{Rd,s,1,\varnothing 12}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{102 \cdot 10^3} = 171 \text{ mm} \rightarrow s_{prov} = 150 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/150} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{150} = 116 \text{ kN}$$

Nyírási teherbírás az első felhajlítás helyén (tartószakaszon):

$$V_{Rd,s,1} = V_{Rd,s,\varnothing 8/150} + V_{Rd,s,1,\varnothing 12} = 116 + 46 = 162 \text{ kN} > V_{Ed,red} = 148 \text{ kN}$$

1 db $\varnothing 12$ -es felhajlított acélbetét nyírási teherbírása a második felhajlítási helyen (tartószakaszon):

$$V_{Rd,s,2,\varnothing 12} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,\varnothing 12} \cdot f_{ywd}}{a_2} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{113 \cdot 435}{447} \cdot \sqrt{2} = 62 \text{ kN}$$

Nyírási teherbírás a második felhajlítás helyén (tartószakaszon), a kiindulásnál meghatározott kengyelezéssel:

$$V_{Rd,s,2} = V_{Rd,s,\varnothing 8/150} + V_{Rd,s,2,\varnothing 12} = 116 + 62 = 178 \text{ kN}$$

Annak a keresztmetszetnek a helye, melytől az alapkengyelezés (felhajlítások nélkül) önmagában biztosítja a teherbírást:

A második felhajlítási hely (tartószakasz) végpontjában (1054 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2} = V_{Ed} - (a_1 + a_2) \cdot p_{Ed} = 175 - (160 + 447 + 447) \cdot 62 = 110 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1+a_2} = 110 \text{ kN} < V_{Rd,s,\varnothing 8/150} = 116 \text{ kN}$$

További hozzáadott felhajlított acélbetét nem szükséges, két felhajlítási hely elegendő!

Csökkentett kengyelezések teherbírásai:

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/200} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{200} = 87 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/300} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{300} = 58 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 65 \text{ kN}$$

A csökkentett kengyelezések indítási keresztmetszetei:

$$t_{\varnothing 8/150} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,\varnothing 8/150}}{\rho_{Ed}} = \frac{175 - 116}{62} \cdot 10^3 = 952 \text{ mm}$$

$$t_{\varnothing 8/200} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,\varnothing 8/200}}{\rho_{Ed}} = \frac{175 - 87}{62} \cdot 10^3 = 1420 \text{ mm}$$

(Ebben a tartományban a kengyelezés kialakítása: $10 \times 150 \text{ mm} = 1500 \text{ mm} > 1420 \text{ mm}$)

$$t_{\varnothing 8/300} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{\rho_{Ed}} = \frac{175 - 65}{62} \cdot 10^3 = 1775 \text{ mm}$$

(A tartó AB és BC nyílásának középső szakaszán a B támasztól indított kengyelek figyelembe vételével a kengyelek kiosztása: $11 \times 200 \text{ mm} = 2200 \text{ mm}$)

Minimális nyírási vasalás, és maximális kengyeltávolság:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = 0,72\% \rightarrow s_{l,max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 50}{0,00072 \cdot 300 \cdot 1} = 462 \text{ mm}$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) \rightarrow 0,75 \cdot 447 = 335 \text{ mm} \quad , \quad s_{l,max} = 300 \text{ mm}$$

B támasz környezete:

Alapkengyelezésnek felvett $\varnothing 8/100$ -as kengyelezés teherbírása:

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{100} = 175 \text{ kN}$$

$$\alpha = 45^\circ \quad , \quad \theta = 45^\circ$$

Felhajlított acélbetétekkel felvenni szükséges nyíróerő:

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,red} - V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 241 - 175 = 66 \text{ kN}$$

Felhajlított acélbetétek kialakítása és teherbírása az első felhajlítás (tartószakasz) helyén:

$$V_{Rd,s,1} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,1} \cdot f_{ywd}}{a_1} \cdot \sqrt{2} \rightarrow A_{sw,1} = \frac{V_{Rd,s,1} \cdot a_1}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \sqrt{2}}$$

$$\frac{a_1 \cdot (V_{Ed,red} - V_{Rd,s,\varnothing 8/100})}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \sqrt{2}} \leq A_{sw,1} = \frac{(160 + 447) \cdot 66 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 447 \cdot 435 \cdot \sqrt{2}} = 162 \text{ mm}^2 \rightarrow A_{sw,1,prov} = 2\varnothing 12 (226 \text{ mm}^2)$$

$$V_{Rd,s,1,2\varnothing 12} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,1,2\varnothing 12} \cdot f_{ywd}}{a_1} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 113 \cdot 435}{160 + 447} \cdot \sqrt{2} = 92 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,1} = V_{Rd,s,\varnothing 8/100} + V_{Rd,s,1,2\varnothing 12} = 175 + 92 = 267 \text{ kN} > V_{Ed,red} = 241 \text{ kN}$$

Az első felhajtási hely (tartószakasz) végpontjában számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1} = V_{Ed} - a_1 \cdot p_{Ed} = 269 - (160 + 447) \cdot 62 = 231 \text{ kN} > V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 175 \text{ kN}$$

Az első felhajtási helyen alkalmazott 2Ø12-es felhajtított acélbetét az alapkengyelezéssel megfelel, de további felhajtási helyre van szükség!

2 db Ø12-es felhajtított acélbetét nyírési teherbírása a második felhajtási helyen (tartószakaszon):

$$V_{Rd,s,2,2\varnothing 12} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,2,2\varnothing 12} \cdot f_{ywd}}{a_2} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 113 \cdot 435}{447} \cdot \sqrt{2} = 125 \text{ kN}$$

1 db Ø12-es felhajtított acélbetét nyírési teherbírása a második felhajtási helyen (tartószakaszon):

$$V_{Rd,s,2,\varnothing 12} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,2,\varnothing 12} \cdot f_{ywd}}{a_2} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{113 \cdot 435}{447} \cdot \sqrt{2} = 62 \text{ kN}$$

A második felhajtási hely (tartószakasz) végpontjában (1054 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2} = V_{Ed} - (a_1 + a_2) \cdot p_{Ed} = 269 - (160 + 447 + 447) \cdot 62 = 203 \text{ kN}$$

A nyírési teherbírás a második felhajtítás (tartószakasz) végpontjában az alapkengyelezéssel és 1 db Ø12-es felhajtított acélbetéttel:

$$V_{Rd,s,2} = V_{Rd,s,\varnothing 8/100} + V_{Rd,s,2,\varnothing 12} = 175 + 62 = 237 \text{ kN} > V_{Ed,a_1+a_2} = 203 \text{ kN} > V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 175 \text{ kN}$$

A második helyen 1 db Ø12-es felhajtított betét és az alapkengyelezés elegendő, de harmadik felhajtási helyre is szükség van!

A harmadik felhajtási hely (tartószakasz) végpontjában (1501 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2+a_3} = V_{Ed} - (a_1 + a_2 + a_3) \cdot p_{Ed} = 269 - (160 + 447 + 447 + 447) \cdot 62 = 175 \text{ kN} \approx V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 175 \text{ kN}$$

Negyedik felhajtási hely nem szükséges!

Csökkentett kengyelezések teherbírásai:

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{100} = 175 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/200} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{200} = 87 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/300} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 447 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{300} = 58 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 65 \text{ kN}$$

A csökkentett kengyelezések indítási keresztmetszetei:

$$t_{\varnothing 8/200} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,\varnothing 8/200}}{p_{Ed}} = \frac{269 - 87}{62} \cdot 10^3 = 2936 \text{ mm}$$

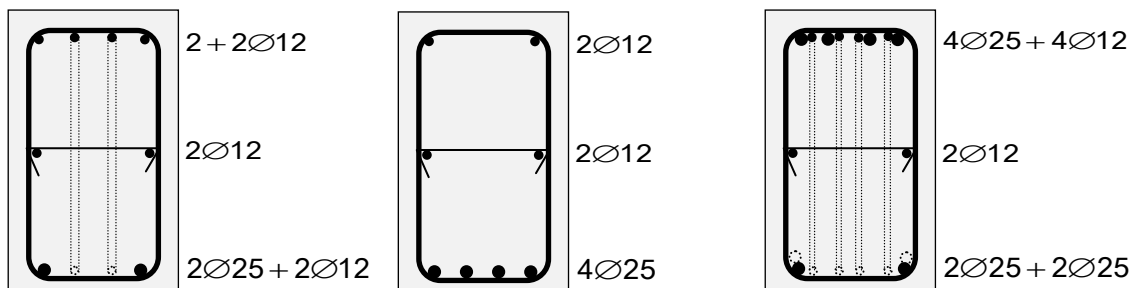
(Ebben a tartományban a kengyelezés kialakítása: $29 \times 100 \text{ mm} = 2900 \text{ mm} > 2936 - 160 = 2776 \text{ mm}$)

$$t_{\varnothing 8/300} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{p_{Ed}} = \frac{269 - 65}{62} \cdot 10^3 = 3290 \text{ mm}$$

A kengyelezés kiosztása az AB (és a BC) nyílásban a felfekvések peremei között az A (és a C) támasztól indítva:

$$10 \times 150 \text{ mm} + 11 \times 200 \text{ mm} + 29 \times 100 = 6600 \text{ mm}$$

Acélbetétek elrendezése:



A és C támasznál

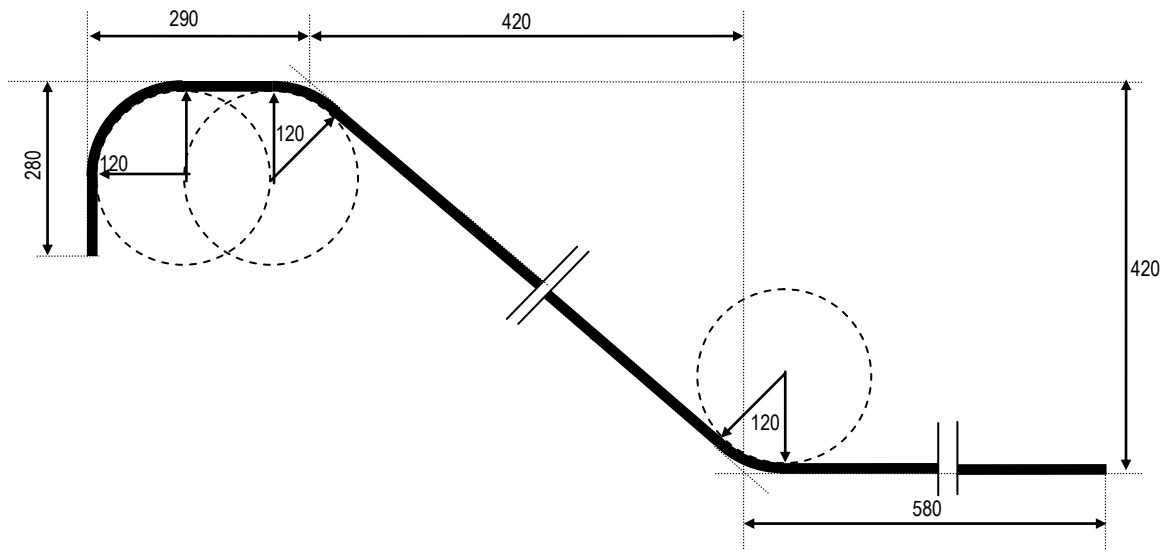
AB és BC mezőközépen

B támasznál

Hozzáadott felhajtított acélbetétek belső hajlítási átmérője (100%-os kihasználtságot feltételezve):

$$\varnothing_{m,\min,\varnothing 12} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \varnothing} \right) = \frac{113 \cdot 435}{13,33} \cdot \left(\frac{1}{30 + 8 + 12/2} + \frac{1}{2 \cdot 12} \right) = 238 \rightarrow 240 \text{ mm}$$

Támaszhoz közelebbi felhajlítás kialakítása (szemléltető minta):



7.3.3 Kengyelek és mezőből felhajlított acélbetétek együttes alkalmazásával

Mivel a Ø25-ös acélbetétek hajlítása kedvezőtlen geometriai következményekkel jár, a mezőben és a támasz felett alkalmazott 4-4db Ø25-ös acélbetét helyett (1964 mm²) a teherbírást kielégítő, egyelőre nem ismert darbszámú még felhajlítható Ø16-os (201 mm²), valamint továbbra is egyenesen vezetett Ø25-ös acélbetéteket alkalmazunk. A hajlítási teherbírást a keresztmetszetekben alkalmazott acélbetétek mennyiségével fogjuk csak ellenőrizni, további részletes vizsgálatot nem végzünk. A dolgozó magasságot a biztonság javára két sorba elhelyezett 5-5 db Ø16-os acélbetét (2010 mm²) figyelembe vételével számítjuk, Ø8-as kengyelek alkalmazása mellett: $d = 500 - (30 + 8 + 16 + \frac{20}{2}) = 436$ mm. A Ø16-os és Ø25-ös acélbetétek darabszámait a nyírásvizsgálatot követően véglegesítjük.

A és C támasz környezete:

1 db Ø16-os mezőből felhajlított acélbetét nyírási teherbírása az első felhajlítási helyen (tartószakaszon):

$$\alpha = 45^\circ, \quad \theta = 45^\circ$$

$$V_{Rd,s,1,\varnothing 16} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,1,\varnothing 16} \cdot f_{ywd}}{a_1} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{201 \cdot 435}{160 + 436} \cdot \sqrt{2} = 81 \text{ kN}$$

Az 1 db Ø16-os hozzáadott felhajlított acélbetét nyírási teherbírását kiegészítő további szükséges Ø8-as kengyelezés kiosztása és teherbírása:

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed,red} - V_{Rd,s,1,\varnothing 16} = 148 - 81 = 67 \text{ kN} \rightarrow s_{req} \leq 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed,red} - V_{Rd,s,1,\varnothing 16}} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{67 \cdot 10^3} = 254 \text{ mm} \rightarrow s_{prov} = 200 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/200} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{200} = 85 \text{ kN} > \frac{1}{2} V_{Ed,red}$$

Ez utóbbi feltételt a szerkesztési szabályok tartalmazzák, azaz a nyíróerő legalább 50%-át kengyelekkel kell felvenni! Nyírási teherbírás az első felhajlítás helyén (tartószakaszon):

$$V_{Rd,s,1} = V_{Rd,s,\varnothing 8/200} + V_{Rd,s1,\varnothing 16} = 85 + 81 = 166 \text{ kN} > V_{Ed,red} = 148 \text{ kN}$$

Az első felhajlítási hely (tartószakasz) végpontjában (596 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1} = V_{Ed} - a_1 \cdot p_{Ed} = 175 - (160 + 436) \cdot 62 = 138 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1} = 138 \text{ kN} > V_{Rd,s,\varnothing 8/200} = 85 \text{ kN}$$

A nyírési teherbírás az első felhajlítási helyén (tartószakaszon) megfelel, de további felhajlítási helyekre van szükség!

1 db $\varnothing 16$ -os felhajlított acélbetét nyírési teherbírása a második felhajlítási helyen (tartószakaszon):

$$V_{Rd,s,2,\varnothing 16} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,2,\varnothing 16} \cdot f_{ywd}}{a_2} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{201 \cdot 435}{436} \cdot \sqrt{2} = 111 \text{ kN}$$

Nyírési teherbírás a második felhajlítási helyén (tartószakaszon), a kiindulásnál meghatározott kengyelezéssel:

$$V_{Rd,s,2} = V_{Rd,s,\varnothing 8/200} + V_{Rd,s,2,\varnothing 16} = 85 + 111 = 196 \text{ kN}$$

A második felhajlítási hely (tartószakasz) végpontjában (1032 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2} = V_{Ed} - (a_1 + a_2) \cdot p_{Ed} = 175 - (160 + 436 + 436) \cdot 62 = 111 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1+a_2} = 111 \text{ kN} > V_{Rd,s,\varnothing 8/200} = 85 \text{ kN}$$

A nyírési teherbírás a második felhajlítási helyén (tartószakaszon) megfelel, de további felhajlítási helyekre van szükség!

A harmadik felhajlítási hely (tartószakasz) végpontjában (1468 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2+a_3} = V_{Ed} - (a_1 + a_2 + a_3) \cdot p_{Ed} = 175 - (160 + 436 + 436 + 436) \cdot 62 = 83 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1+a_2+a_3} = 83 \text{ kN} < V_{Rd,s,\varnothing 8/200} = 85 \text{ kN}$$

A nyírési teherbírás a harmadik felhajlítási helyén (tartószakaszon) megfelel, további felhajlítási helyekre nincs szükség!

Minimális nyírési vasalás, és maximális kengyeeltávolság:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \geq \rho_{w,min} = 0,72\% \rightarrow s_{l,max} = \frac{A_{sw}}{\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 50}{0,00072 \cdot 300 \cdot 1} = 462 \text{ mm}$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) \rightarrow 0,75 \cdot 436 = 327 \text{ mm} \quad , \quad s_{l,max} = 300 \text{ mm}$$

A minimális kengyelezés nyírési teherbírása:

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/300} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{300} = 56 \text{ kN} < V_{Rd,c} = 65 \text{ kN}$$

A minimális kengyelezés indítási keresztmetszete:

$$t_{\varnothing 8/300} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{\rho_{Ed}} = \frac{175 - 65}{62} \cdot 10^3 = 1774 \text{ mm (2000 mm = } 10 \times 200 \text{ mm)}$$

B támasz környezete:

Kengyelezést és felhajlított betéteket alkalmazunk a nyíróerő felvételére, melynek a szerkesztési szabályok szerint legalább az 50%-át kengyelekkel kell felvenni:

$$s_{req} \leq 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{\frac{1}{2} \cdot V_{Ed,red}} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{\frac{1}{2} \cdot 241 \cdot 10^3} = 139 \text{ mm} \rightarrow s_{prov} = 100 \text{ mm}$$

$$V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s_{prov}} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{2 \cdot 50 \cdot 435}{100} = 170 \text{ kN}$$

A nyírási teherbírás az első felhajlítás helyén (tartószakaszon), a kiindulásnál meghatározott kengyelezéssel és 1 db Ø16-os mezőből felhajlított betéttel:

$$V_{Rd,s,1} = V_{Rd,s,\varnothing 8/100} + V_{Rd,s,1,\varnothing 16} = 170 + 81 = 251 \text{ kN} > V_{Ed,red,B} = 241 \text{ kN}$$

Az első felhajlítási hely (tartószakasz) végpontjában (596 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1} = V_{Ed} - a_1 \cdot p_{Ed} = 269 - (160 + 436) \cdot 62 = 232 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1} = 232 \text{ kN} > V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 170 \text{ kN}$$

A nyírási teherbírás az első felhajlítás helyén (tartószakaszon) megfelel, de további felhajlítási helyre van szükség!

Nyírási teherbírás a második felhajlítás helyén (tartószakaszon), a kiindulásnál meghatározott kengyelezéssel és 1 db Ø16-os mezőből felhajlított betéttel:

$$V_{Rd,s,2} = V_{Rd,s,\varnothing 8/100} + V_{Rd,s,2,\varnothing 16} = 170 + 111 = 282 \text{ kN}$$

A második felhajlítási hely (tartószakasz) végpontjában (1032 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2} = V_{Ed} - (a_1 + a_2) \cdot p_{Ed} = 269 - (160 + 436 + 436) \cdot 62 = 205 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1+a_2} = 205 \text{ kN} > V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 170 \text{ kN}$$

A nyírási teherbírás a második felhajlítás helyén (tartószakaszon) megfelel, de további felhajlítási helyre van szükség!

A harmadik felhajlítási hely (tartószakasz) végpontjában (1468 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2+a_3} = V_{Ed} - (a_1 + a_2 + a_3) \cdot p_{Ed} = 269 - (160 + 436 + 436 + 436) \cdot 62 = 176 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1+a_2+a_3} = 176 \text{ kN} \approx V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 170 \text{ kN}$$

További felhajlítási helyre lenne szükség!

De a szabvány szerint felhajlított acélbetétek egymástól való legnagyobb távolságát $s_{b,max} = 0,6 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha)$ értékig növelhetjük, ami esetünkben 523 mm, így a harmadik helyen felhajlított acélbetét módosított teherbírása – a nagyobb hatástávolság miatt – a következőképpen alakul:

$$V_{Rd,s,3,\varnothing 16} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw,3,\varnothing 16} \cdot f_{ywd}}{a_3} \cdot \sqrt{2} = 0,9 \cdot 436 \cdot \frac{201 \cdot 435}{523} \cdot \sqrt{2} = 92 \text{ kN}$$

Módosítva a második és a harmadik felhajtási helyek (tartószakaszok) hosszait a felhajtások végpontjában (1642 mm) számítható nyíróerő:

$$V_{Ed,a_1+a_2+a_3} = V_{Ed} - (a_1 + a_2 + a_3) \cdot p_{Ed} = 269 - (160 + 436 + 523 + 523) \cdot 62 = 167 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,s,2} = V_{Rd,s,3} = V_{Rd,s,\varnothing 8/100} + V_{Rd,s,\varnothing 16} = 170 + 92 = 262 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,a_1+a_2+a_3} = 167 \text{ kN} < V_{Rd,s,\varnothing 8/100} = 170 \text{ kN}$$

További felhajtási hely nem szükséges!

A csökkentett kengyelezések indítási keresztmetszetei:

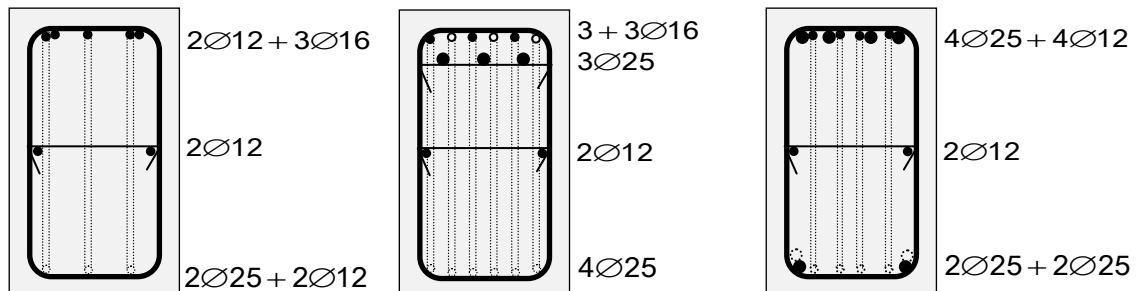
$$t_{\varnothing 8/200} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,s,\varnothing 8/200}}{p_{Ed}} = \frac{269 - 85}{62} \cdot 10^3 = 2967 \text{ mm} \quad (3000 \text{ mm} = 30 \times 100 \text{ mm})$$

$$t_{\varnothing 8/300} = \frac{V_{Ed} - V_{Rd,c}}{p_{Ed}} = \frac{269 - 65}{62} \cdot 10^3 = 3290 \text{ mm} \quad (1500 \text{ mm} = 5 \times 300 \text{ mm})$$

A kengyelezés kiosztása az AB (és a BC) nyílásban a felfekvések peremei között:

$$50 \text{ mm} + 20 \times 200 \text{ mm} + 5 \times 300 \text{ mm} + 7 \times 200 \text{ mm} + 16 \times 100 \text{ mm} + 50 \text{ mm} = 6600 \text{ mm}$$

Acélbetétek elrendezése:



A és C támasznál

AB és BC mezőközépen

B támasznál

Hozzáadott felhajtított acélbetétek belső hajlítási átmérője (100%-os kihasználtságot feltételezve):

$$\varnothing_{m,min,\varnothing 16} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \varnothing} \right) = \frac{201 \cdot 435}{13,33} \cdot \left(\frac{1}{30 + 8 + 16/2} + \frac{1}{2 \cdot 16} \right) = 324 \rightarrow 340 \text{ mm}$$

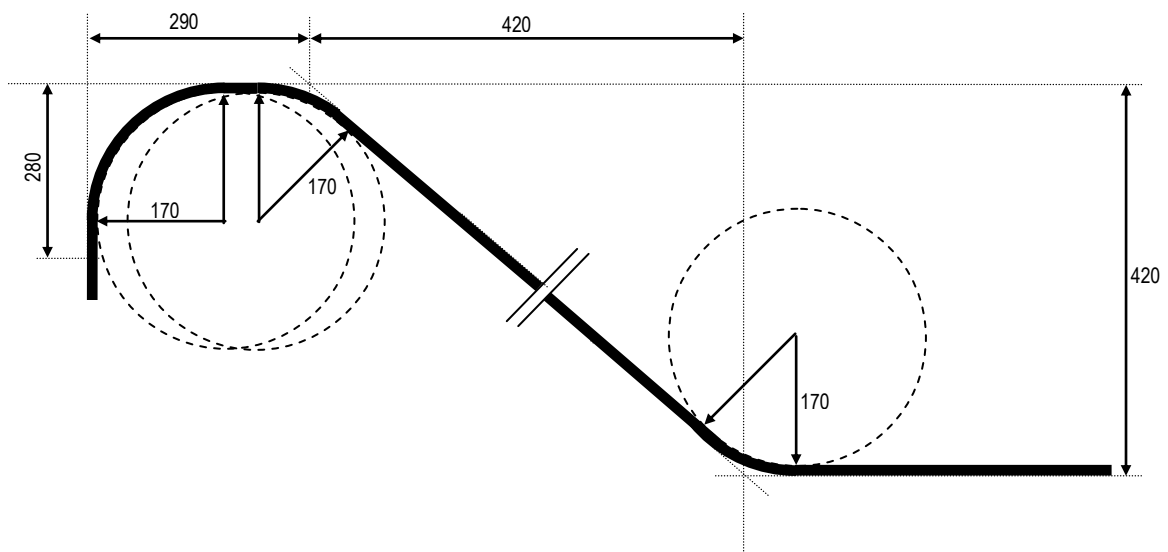
Acélbetét kimutatás és fajlagos acélfelhasználás:

[1] – 4 × 4,22 = 16,88 m	16,88 × 3,85 = 64,99 kg
[2] – 4 × 7,02 = 28,08 m	28,08 × 3,85 = 108,11 kg
[3] – 2 × 12,00 = 24,00 m	24,00 × 0,89 = 21,36 kg
[4] – 2 × 2,22 = 4,44 m	4,44 × 0,89 = 3,95 kg
[5] – 4 × 4,25 = 17,00 m	17,00 × 0,89 = 15,13 kg
[6] – 2 × 6,40 = 12,80 m	12,80 × 3,85 = 49,28 kg
[7] – 2 × 3,60 = 7,20 m	7,20 × 3,85 = 27,72 kg
[8] – 90 × 0,34 = 30,60 m	30,60 × 0,22 = 6,73 kg
[9] – 90 × 1,62 = 145,80 m	145,80 × 0,62 = 90,40 kg
Összesen:	m_s = 387,67 kg

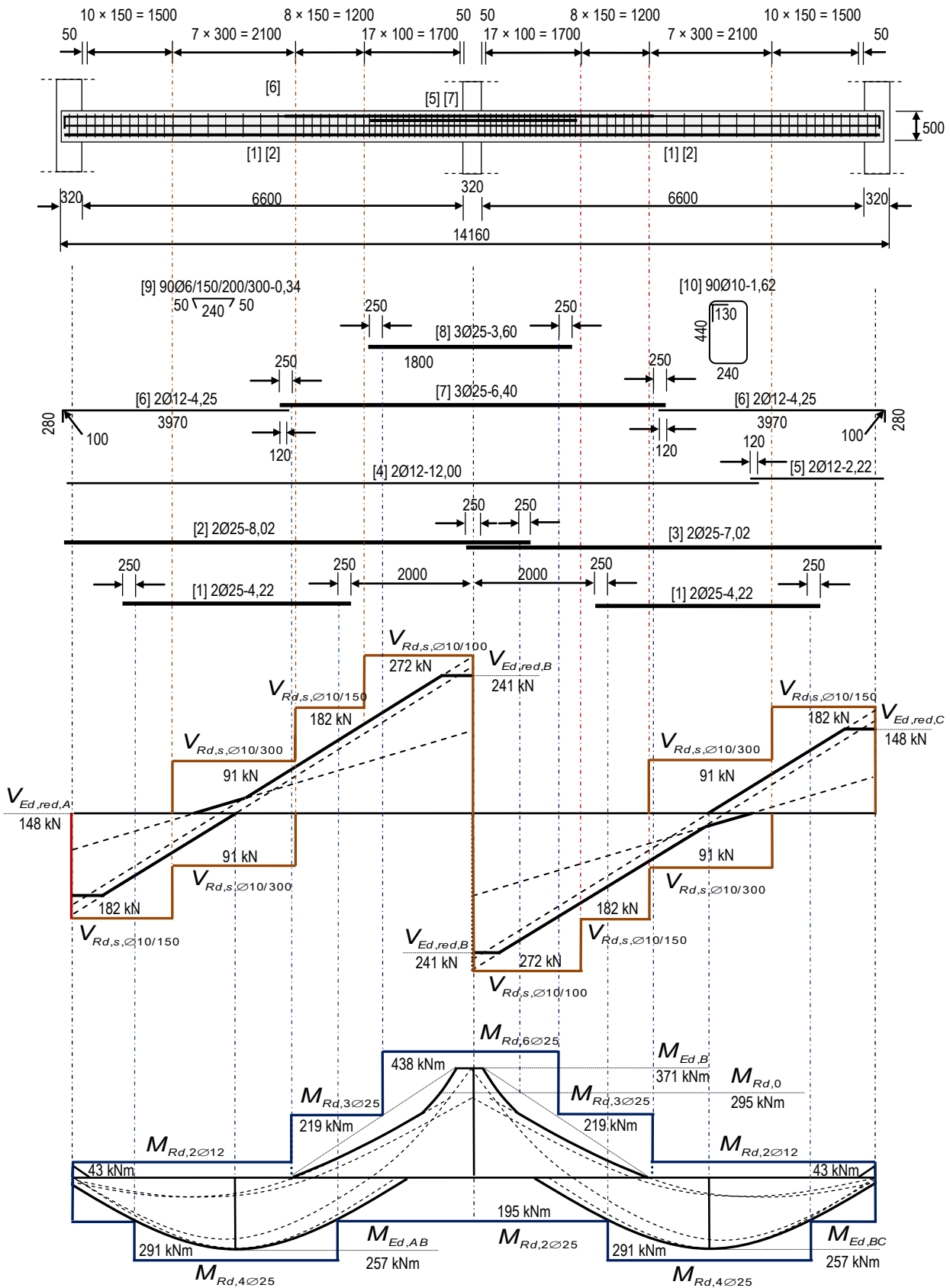
$$V_c = 0,50 \times 0,30 \times 14,16 = 2,17 \text{ m}^3$$

$$m_s / V_c = 387,67 / 2,17 = 178,65 \text{ kg/m}^3$$

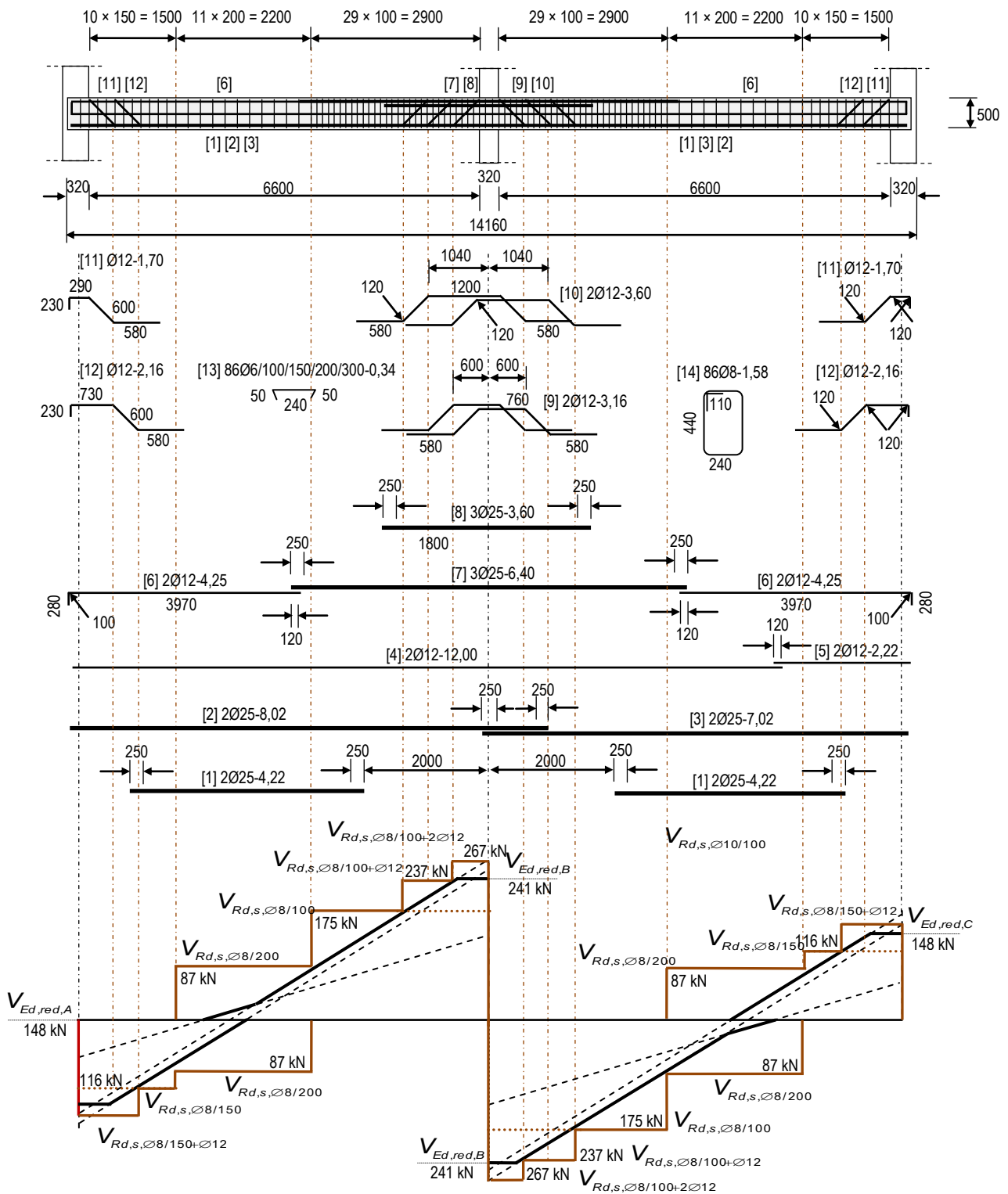
Támaszhoz közelebbi felhajlítás kialakítása (szemléltető minta):



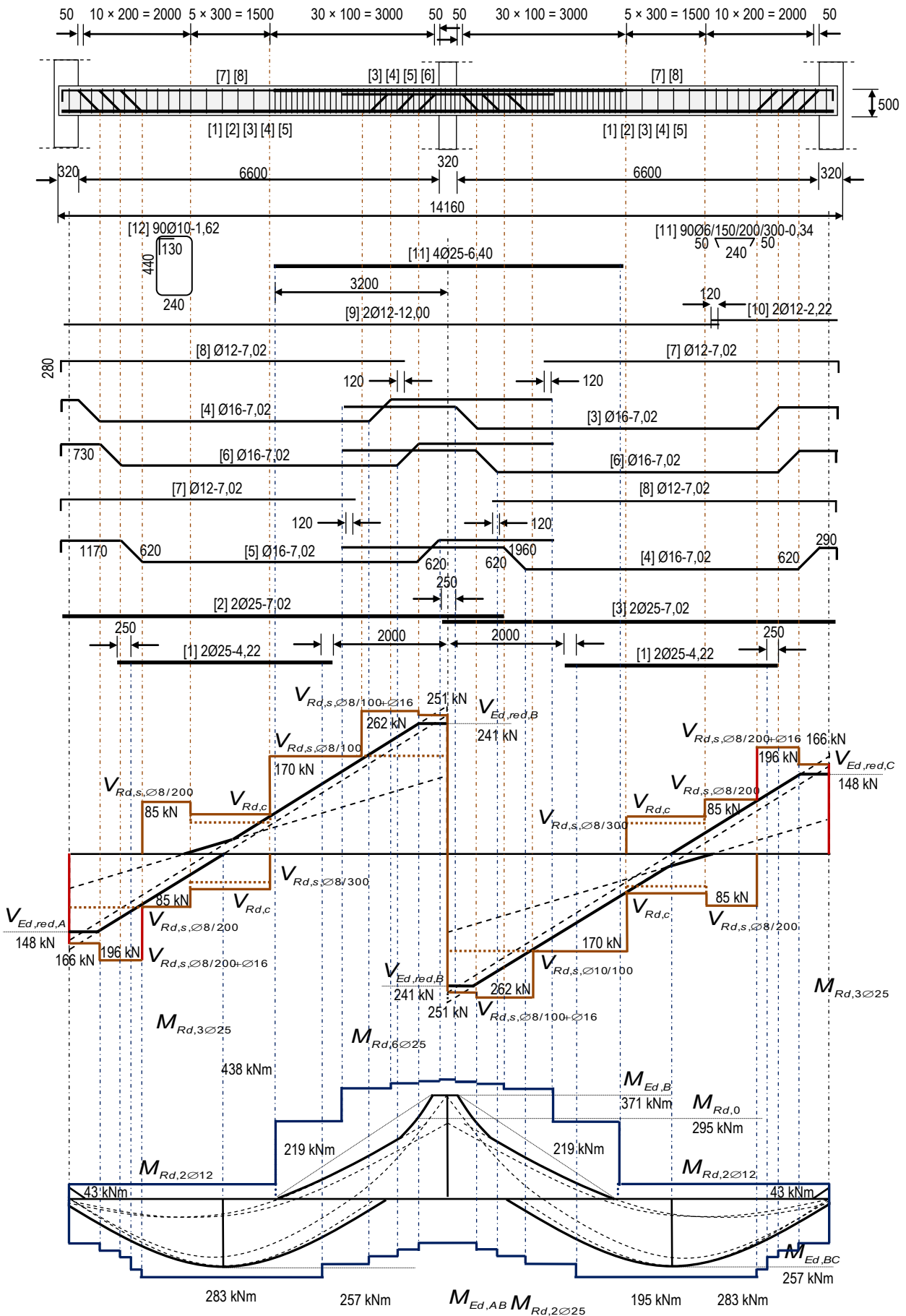
8.0 Vasalási vázlat és konszignáció kengyelek alkalmazása esetén



9.0 Vasalási vázlat és konszignáció kengyelek és hozzáadott felhajlított acélbetétek együttes alkalmazása esetén



10.0 Vasalási vázlat és konszignáció kengyelek és mezőből felhajlított acélbetétek alkalmazása esetén



10. Alakváltozás vizsgálat

$$\rho = \frac{A_{s,prov}}{b \cdot d} = \frac{1964}{300 \cdot 447} = 14,6\text{‰}$$

$$\frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} \cdot \left(\frac{L}{d}\right)_{lim} \approx \frac{1964}{1774} \cdot 13 = 14,39 > \left(\frac{L/K}{d}\right) = \frac{6920/1,3}{447} = 11,91$$

Megfelel!

11. Repedéstágasság vizsgálat

$$\sigma_s \approx f_{yd} \cdot \frac{\rho_{qp}}{\rho_{Ed}} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \approx 435 \cdot \frac{32}{62} \cdot \frac{1747}{1964} = 200\text{N/mm}^2$$

$$\varnothing_{max} \approx 32\text{ mm} > \varnothing = 25\text{ mm}$$

Megfelel!