

4. vaja: PROJEKTIRANJE STRIŽNO OBREMENJENIH ARMIRANOBETONSKIH ELEMENTOV

4.1 Prečna sila

4.1.1 Napetosti

Armiranobetonski prerez prevzame strižno silo s strižnimi napetostmi, razporejenimi po celotnem prerezu. Pri glavnih nateznih napetostih, ki so manjše od natezne trdnosti betona, beton nosi obtežbo. Na mestih, kjer je natezna trdnost betona presežena, se pojavijo v betonu poševne razpoke glede na os nosilca.

Glavne napetosti so

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_{xx}}{2} \pm \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\sigma_{xx}^2 + 4 \cdot \tau_{zx}^2} \quad (4.1)$$

in so za kot φ nagnjene glede na os x

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \cdot \tau_{zx}}{\sigma_{xx}}. \quad (4.2)$$

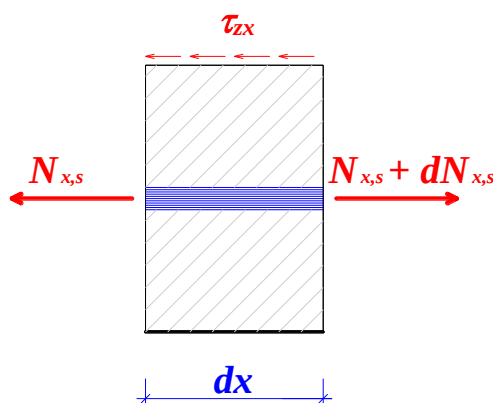
V nevtralni osi so normalne napetosti

$$\sigma_{xx} = 0 \quad (4.3)$$

in glavne napetosti

$$\sigma_{1,2} = \pm \tau_{zx}. \quad (4.4)$$

Normalna napetost σ_{xx} , je napetost, ki deluje v ravnini z normalo v smeri osi x . Smer napetosti je vzporedna smeri osi x . Strižna napetost τ_{xz} , je napetost, ki deluje v ravnini z normalo v smeri osi x . Smer napetosti je vzporedna smeri osi z . Smer napetosti τ_{zx} je napetost, ki deluje v ravnini z normalo v smeri osi z . Smer napetosti je vzporedna smeri osi x . Iz ravnotežja elementa sledi, da sta omenjeni napetosti enaki.



Slika 1 Delček nosilca v vzdolžnem prerezu.

Iz ravnotežja vodoravnih sil delujočih na majhen delček nosilca sledi

$$\tau_{zx} \cdot dx \cdot b = dN_{x,s}. \quad (4.5)$$

Oсна sila v armaturi je enaka

$$N_{x,s} = \frac{M_y}{z}. \quad (4.6)$$

Prečna sila je enaka odvodu upogibnih momentov po vzdolžni osi

$$V_z = \frac{dM_y}{dx}. \quad (4.7)$$

Iz izrazov (4.6) in (4.7) sledi

$$dM_y = V_z \cdot dx = dN_{x,s} \cdot z. \quad (4.8)$$

Sprememba vodoravne sile v armaturi je enaka

$$dN_{x,s} = \frac{dM_y}{z} = \tau_{zx} \cdot dx \cdot b. \quad (4.9)$$

Strižna napetost pa je

$$\tau_{zx} = \frac{dM_y}{z \cdot dx \cdot b} = \frac{V}{z \cdot b}. \quad (4.10)$$

4.1.2 Nerazpokan prečni prerez

V homogenem, nerazpokanem prerezu so strižne napetosti τ_{xz} , τ_{zx} enake

$$\tau_{xz}(z) = \tau_{zx}(z) = \frac{V_z \cdot S_y^*(z)}{I_y \cdot b(z)}, \quad (4.11)$$

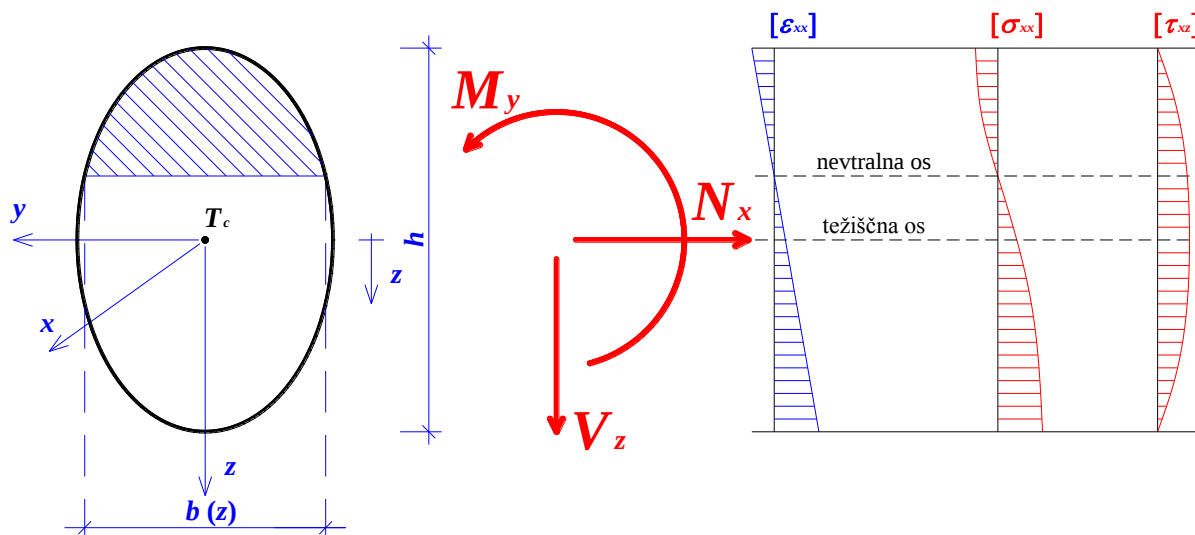
pri čemer je

V_z ... prečna sila v smeri osi z ,

S_y^* ... statični moment dela prečnega prereza nad obravnavano osjo, okrog osi y , na težišče celotnega prereza,

I_y ... vztrajnostni moment obravnavanega prereza okrog osi y ,

$b(z)$... širina prečnega prereza v obravnavani osi.



Slika 2 Homogen prečni prerez.

4.1.3 Razpokan prečni prerez

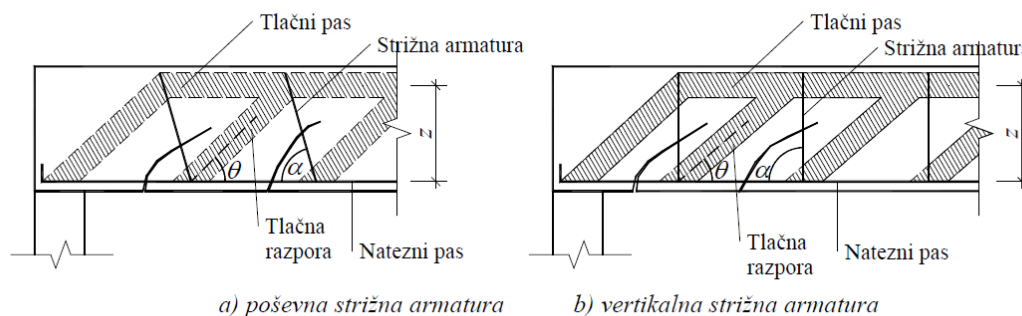
V razpokani konstrukciji prevzemajo prečne sile:

- nerazpokani del betona,
- trenje v razpoki,
- možnični vpliv armature v betonu,
- mehanizem ravninskega paličja,
- ločni vpliv, ki se pojavil v betonu.

Ko se pri nosilcu, ki je armiran le z vzdolžno armaturo pojavijo še strižne razpoke je možnost porušitve takega elementa odvisna predvsem od sposobnosti formiranja ločnega mehanizma.

Ko se v nosilcu **armiranem z vzdolžno in strižno armaturo** pojavijo ob upogibnih še strižne razpoke za določanje odpornosti glede prečne sile uporabimo model nadomestnega ravninskega paličja, ki sestoji iz pasu betona v tlačeni coni, nateznega pasu iz vzdolžne armature, nateznih elementov iz strižne armature in tlačnih poševnih razpor - glej Sl. 54 (prvi je model v obliki paličja predlagal E. Mörsch že leta 1923).

Kot θ je kot med horizontalo in smerjo tlačne razpore in je v splošnem spremenljiv (navzdol je omejen zaradi problematičnega prenosa striga preko razpok pri zelo majhnih naklonih). Kot α pa je kot med horizontalo ter smerjo strižne armature in običajno znaša med 45° in 90° .



Sl. 54: Modela ravninskega paličja za prevzem strižnih obremenitev

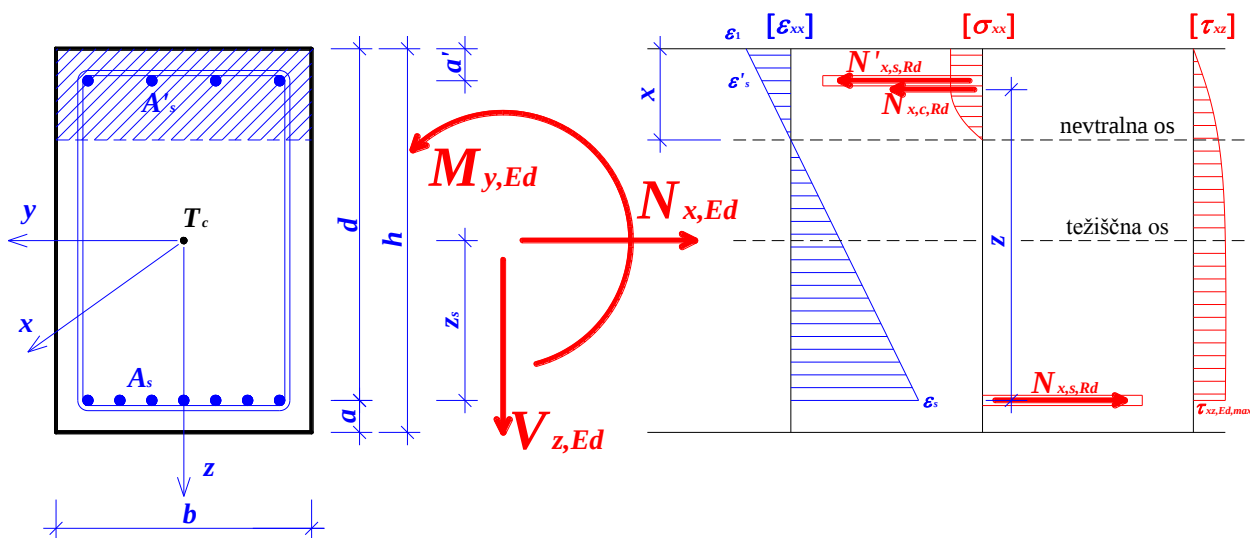
Slika 3 Mehanizem ravninskega paličja.

V razpokanem prerezu so strižne napetosti τ_{xz} enake

$$\tau_{xz} = \frac{V_z}{z \cdot b(z)}, \quad (4.12)$$

pri čemer je

z ... ročica notranjih sil.



Slika 4 Razpokan prečni prerez.

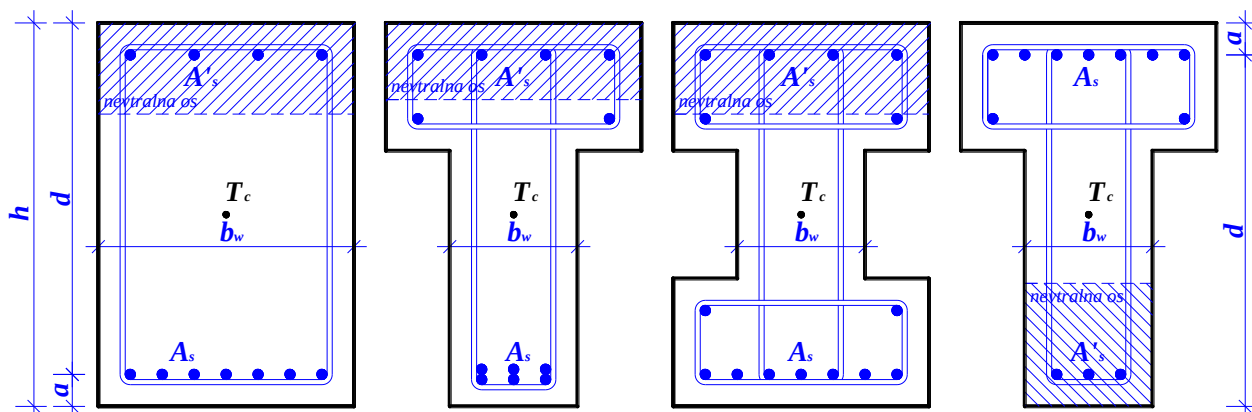
Največja projektna strižna napetost je enaka

$$\tau_{xz,Ed,max} = \tau_{Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{z \cdot b_w}, \quad (4.13)$$

pri čemer je

b_w ... najmanjša širina prečnega prereza med nevtralno osjo in natezno armaturo.

Na mestih, kjer je prečni prerez zožen, so strižne napetosti večje.



Slika 5 Najmanjša širina prečnega prereza med nevtralno osjo in natezno armaturo.

4.1.4 Računski postopek v skladu s predpisom Evrokod 2

Znana projektna strižna obremenitev ne sme presegati mejne strižne nosilnosti prečnega prereza

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}, \quad (4.14)$$

pri čemer je

V_{Ed} ... mejna strižna obremenitev prečnega prereza,

$V_{Rd,max}$... največja projektna strižna odpornost armiranobetonskega elementa, ki je omejena z drobljenjem tlačnih razpor oziroma diagonal,

$V_{Rd,c}$... projektna strižna odpornost betonskega elementa brez strižne armature,

$V_{Rd,s}$... projektna strižna odpornost vgrajene plastificirane strižne armature.

Kadar mejna strižna obremenitev prečnega prereza presega največjo projektno strižno odpornost armiranobetonskega elementa

$$V_{Ed} > V_{Rd,max}, \quad (4.15)$$

je potrebno povečati betonski prerez ali uporabiti višji trdnostni razred betona.

Če mejna strižna obremenitev prečnega prereza ne presega projektne strižne odpornosti betonskega elementa brez strižne armature

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}, \quad (4.16)$$

računska strižna armatura ni potrebna. Taka področja armiranobetonskega elementa v skladu s točko 9.2.2 v predpisu Eurokod 2 armiramo z minimalno strižno armaturo.

Če je mejna strižna obremenitev prečnega prereza večja kot projektna strižna odpornost betonskega elementa brez strižne armature

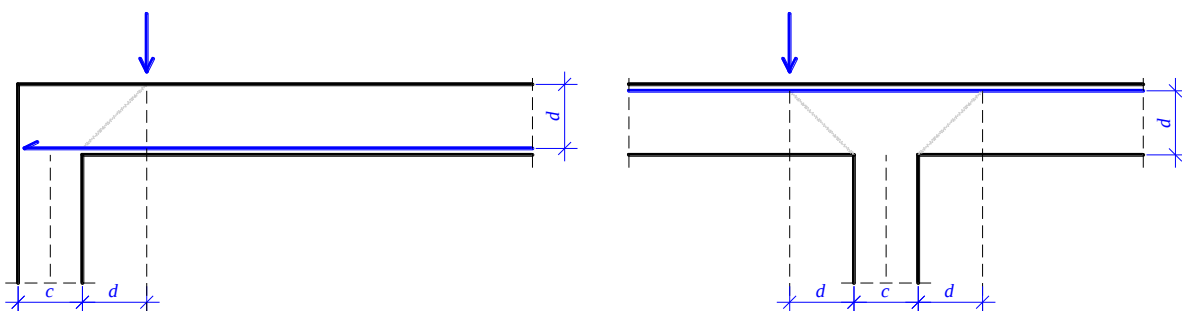
$$V_{Ed} > V_{Rd,c}, \quad (4.17)$$

je strižna armatura potrebna. Iz pogoja

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} \quad (4.18)$$

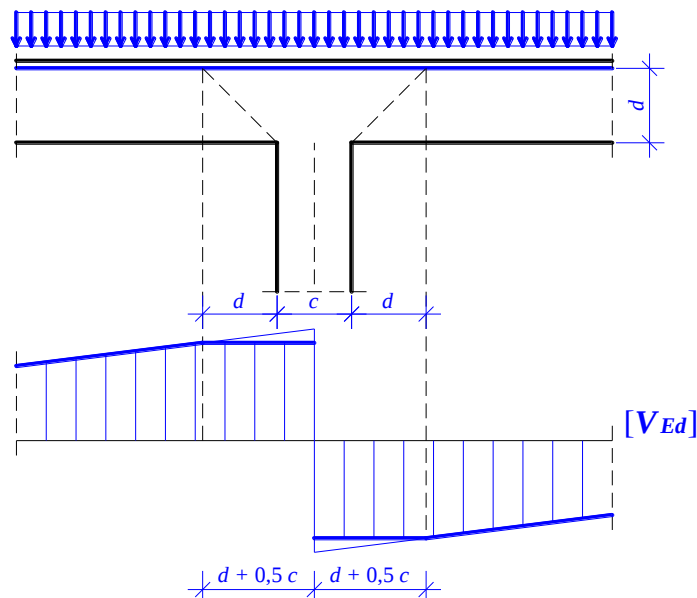
določimo potrebno strižno armaturo in dodatno vzdolžno armaturo zaradi strižnih napetosti k vzdolžni armaturi, ki so jo določili zaradi osno-upogibnega napetostnega stanja.

Del točkovnih sil, ki delujejo blizu podpor, se prenaša neposredno v podpore.



Slika 6 Točkovne sile blizu podpor.

V elementih, ki so izpostavljeni pretežno enakomerno razporejeni obtežbi, je kritični prerez za statično višino d oddaljen od roba podpore.



Slika 7 Redukcija prečnih sil.

Prečna sila, ki jo lahko prenese betonski element brez strižne armature

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} [\text{MPa}])^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d, \right. \\ \left. (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \right. \quad (4.19)$$

pri čemer je

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d [\text{mm}]}} \leq 2,0, \quad (4.20)$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0,02, \quad (4.21)$$

A_{sl} ... prečni prerez vzdolžne natezne armature zaradi upogiba,

b_w ... najmanjša širina nateznega dela prečnega prereza betona v milimetrih.

Prispevek osne sile k strižni nosilnosti betona je enak

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed} [\text{N}]}{A_c [\text{mm}^2]} \leq 0,2 \cdot f_{cd} [\text{MPa}]. \quad (4.22)$$

Tlačne napetosti so napetosti pozitivnega predznaka. A_c je prečni prerez betona.

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c}, \quad (4.23)$$

pri čemer je materialni varnostni faktor za beton $\gamma_c=1,5$.

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot (f_{ck} [\text{MPa}])^{\frac{1}{2}} \quad (4.24)$$

in priporočena vrednost

$$k_1 = 0,15. \quad (4.25)$$

Strižna armatura

Strižno armaturo določimo iz pogoja (4.18). Projektna strižna odpornost vgrajene plastificirane strižne armature je

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (\text{ctg} \theta + \text{ctg} \alpha) \cdot \sin \alpha, \quad (4.26)$$

pri čemer je

$$z = 0,9 \cdot d, \quad (4.27)$$

$$\text{ctg} \theta = 1, \quad (4.28)$$

$s \dots$ razdalja med poševnimi palicami oziroma vzdolžna razdalja med vertikalnimi stremenji,

$f_{ywd} \dots$ projektna meja elastičnosti strižne armature.

Vsaj 50% sile V_{Ed} morajo prevzeti vertikalna stremenja. Ostali del sile lahko prevzamejo poševno krivljene palice vzdolžne armature.

Projektna strižna odpornost vgrajene vertikalne plastificirane strižne armature, $\alpha = 90^\circ$, je

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd}. \quad (4.29)$$

Projektna strižna odpornost vgrajene vertikalne plastificirane strižne armature, $\alpha \neq 90^\circ$, je

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \text{ctg} \alpha) \cdot \sin \alpha. \quad (4.30)$$

Minimalna strižna armatura

Minimalna strižna armatura pri nosilcih je

$$A_{sw,min} = \rho_{w,min} \cdot s \cdot b_w \cdot \sin \alpha, \quad (4.31)$$

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}. \quad (4.32)$$

Vzdolžni razmak strižnih stremen

Vzdolžni razmak strižnih stremen ne sme biti večji kot

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \text{ctg} \alpha). \quad (4.33)$$

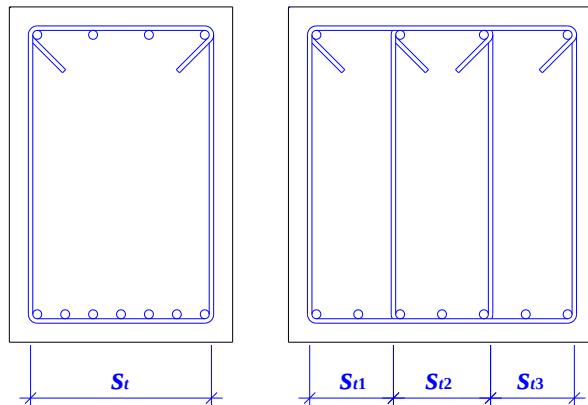
Vzdolžni razmak poševno krivljenih palic ne sme biti večji kot

$$s_{b,max} = 0,6 \cdot d \cdot (1 + \text{ctg} \alpha). \quad (4.34)$$

Prečna medsebojna razdalja krakov skupine strižnih stremen

Prečna medsebojna razdalja krakov skupine strižnih stremen ne sme biti večja kot

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d \leq 600 \text{ mm}. \quad (4.35)$$



Slika 8 Prečna medsebojna razdalja krakov skupine strižnih stremen.

Dodatna vzdolžna armatura

Dodatno vzdolžno armaturo določimo z izrazom

$$\Delta A_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{|V_{Ed}|}{\sigma_s} \cdot (\text{ctg } \theta - \text{ctg } \alpha). \quad (4.36)$$

Pri poševnih palicah pod kotom 45° dodatna vzdolžna armatura ni potrebna

$$\Delta A_s = 0. \quad (4.37)$$

Pri vertikalnih stremenih je dodatna vzdolžna armatura enaka

$$\Delta A_s = \frac{|V_{Ed}|}{2 \cdot \sigma_s}. \quad (4.38)$$

Tlačne diagonale

Mejna strižna obremenitev prečnega prereza ne sme presegati največje projektne strižne odpornosti armiranobetonskega elementa

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max}, \quad (4.39)$$

pri čemer je

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot \frac{\text{ctg } \theta + \text{ctg } \alpha}{1 + \text{ctg}^2 \theta} \quad (4.40)$$

in redukcijski faktor trdnosti za strižno razpokan beton

$$\nu_1 = \nu = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck} [\text{MPa}]}{250} \right). \quad (4.41)$$

Reakcije v podporah

$$\sum H_x = 0 \Rightarrow A_x = 0, \quad (4.45)$$

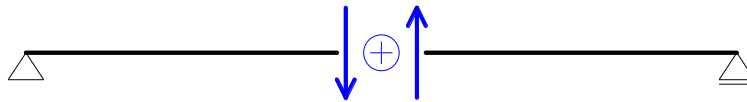
$$\sum M_{y,A} = 0 \Rightarrow B_{z,Ed} \cdot l_{AB} - (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot \frac{l_{AC}^2}{2} - (G_{Ed} + Q_{Ed}) \cdot l_{AC} = 0, \quad (4.46)$$

$$B_{z,Ed} = (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot \frac{l_{AC}^2}{2 \cdot l_{AB}} + (G_{Ed} + Q_{Ed}) \cdot \frac{l_{AC}}{l_{AB}} = \quad (4.47)$$

$$\sum V_z = 0 \Rightarrow A_{z,Ed} - (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot l_{AB} - (G_{Ed} + Q_{Ed}) + B_{z,Ed} = 0, \quad (4.48)$$

$$A_{z,Ed} = (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot l_{AB} + (G_{Ed} + Q_{Ed}) - B_{z,Ed} = \quad (4.49)$$

Notranje prečne sile



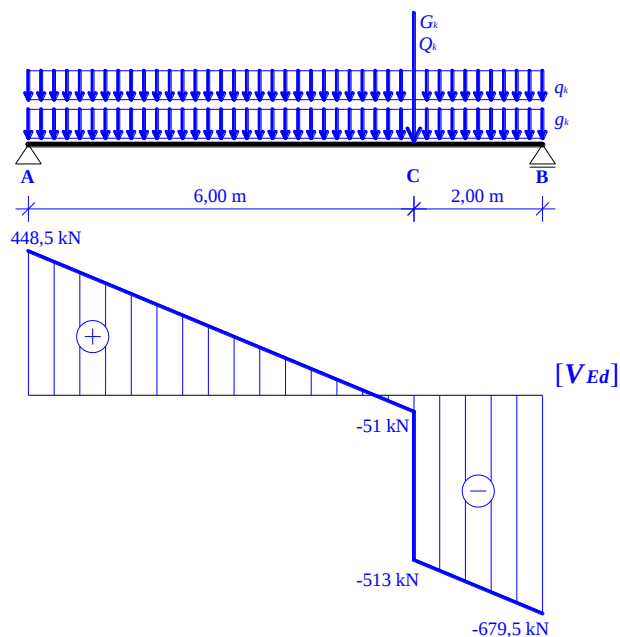
Slika 10 Pozitivna smer prečnih sil.

$$V_{A,Ed} = A_{z,Ed} = 448,5 \text{ kN}, \quad (4.50)$$

$$V_{B,Ed} = -B_{z,Ed} = -679,5 \text{ kN}, \quad (4.51)$$

$$V_{CL,Ed} = A_{z,Ed} - (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot l_{AC} = \quad (4.52)$$

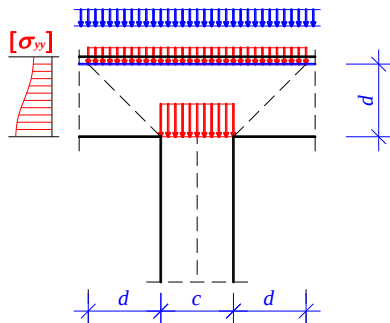
$$V_{CD,Ed} = A_{z,Ed} - (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot l_{AC} - (G_{Ed} + Q_{Ed}) = \quad (4.53)$$



Slika 11 Diagram prečnih sil.

Reducirane prečne sile ob podporah

V primeru neposrednega podpiranja nosilca lahko, zaradi ugodnega vpliva tlakov v prečni smeri, v območju podpor prečne sile zmanjšamo.



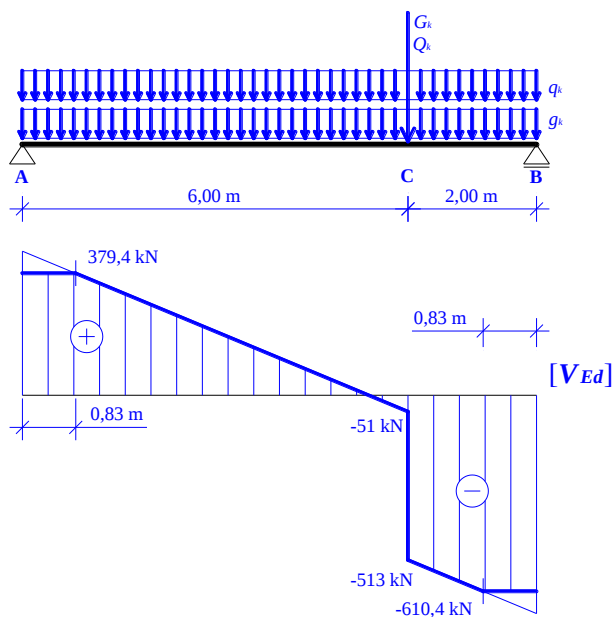
Slika 12 Območje podpore.

$$x_1 = \frac{c}{2} + d = \quad (4.54)$$

$$|\Delta V_{Ed}| = (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot x_1 = \quad (4.55)$$

$$V_{A,Ed}^* = V_{A,Ed} - |\Delta V_{Ed}| = \quad (4.56)$$

$$V_{B,Ed}^* = V_{B,Ed} + |\Delta V_{Ed}| = \quad (4.57)$$



Slika 13 Diagram prečnih sil, reduciranih ob podporah.

Prečna sila strižno nearmiranega elementa

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \quad (4.58)$$

$$k = \quad (4.59)$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \quad (4.60)$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed} [\text{N}]}{A_c [\text{mm}^2]} = \quad (4.61)$$

$$v_{min} = \quad (4.62)$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} [\text{MPa}])^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d =$$

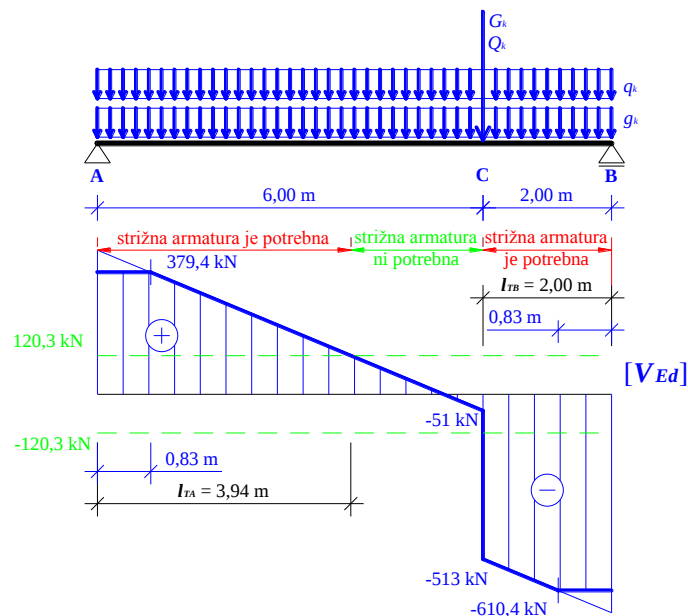
=

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = \quad (4.63)$$

$$V_{Rd,c,max} =$$

Če je V_{Ed} večji kot $V_{Rd,c}$, določimo potrebno strižno armaturo za prečno silo V_{Ed} , ki ne sme presegati vrednosti $V_{Rd,s}$.

Območje potrebnega strižnega armiranja



Slika 14 Območje potrebnega strižnega armiranja.

Razdaljo med podporo A in območjem, kjer strižno armiranje ni potrebno, izračunamo iz ravnotežnega pogoja

$$V_{A,Ed} - (g_{Ed} + q_{Ed}) \cdot l_{TA} = V_{Rd,c,max} \quad (4.64)$$

in je enaka

$$l_{TA} = \frac{V_{A,Ed} - V_{Rd,c,max}}{g_{Ed} + q_{Ed}} = \quad (4.65)$$

Razdalja med podporo B in območjem, kjer strižno armiranje ni potrebno, je

$$l_{TB} = 2\text{ m}. \quad (4.66)$$

Na območju, med levo podporo in mestom, ki je za razdaljo l_{TA} oddaljeno od leve podpore, in na območju, med desno podporo in mestom, ki je za razdaljo l_{TB} oddaljeno od desne podpore, je strižna armatura računsko potrebna.

a) Vertikalna stremena so edina strižna armatura

Minimalna strižna armatura v obravnavanem nosilcu je

$$\rho_{w,min} = \frac{0,08 \cdot \sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = \quad (4.67)$$

$$\frac{A_{sw,min}}{s} = \rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha = \quad = \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}} = \quad \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}. \quad (4.68)$$

Vzdolžni razmak strižnih stremen ne sme biti večji kot

$$s_{1,max} = 0,75 \cdot d \cdot (1 + \operatorname{ctg} \alpha) = \quad \quad \quad \text{cm} . \quad (4.69)$$

Izberemo armaturne palice premera 8 mm

$$A_{sw,1} = \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4} = \frac{n \cdot \pi \cdot (0,8\text{mm})^2}{4} = 1,005\text{cm}^2 . \quad (4.70)$$

Vzdolžni razmak strižnih stremen je

$$s_1 = \frac{A_{sw,1}}{\frac{A_{sw,min}}{s}} = \quad \quad \quad \text{cm} < s_{1,max} = \quad \quad \quad \text{cm} \rightarrow \text{izberemo } s_1 = 30\text{cm} . \quad (4.71)$$

V območju nosilca, kjer je $l_{TA} = 3,94 \text{ m} \leq x \leq l - l_{TB} = 8 \text{ m} - 2 \text{ m} = 6 \text{ m}$, strižna armatura računsko ni potrebna, zato nosilec v območju, kjer je $4 \text{ m} \leq x \leq 6 \text{ m}$, armiramo z minimalno strižno armaturo, **2-strižna stremena $\phi 8 / 30 \text{ cm}$.**

Prečna medsebojna razdalja krakov skupine strižnih stremen ne sme biti večja kot

$$s_{t,max} = 0,75 \cdot d = 0,75 \cdot 73\text{cm} = 54,75\text{cm} < 60\text{cm} . \quad (4.72)$$

Pogoj (4.72) bo pri vseh izbirah stremen izpolnjen, saj širina prečnega prereza b ne presega vrednosti $s_{t,max}$.

Podpora A

Strižna armatura

Reducirana prečna sila je večja od prečne sile, ki jo lahko prenese betonski element brez strižne armature

$$V_{A,Ed}^* = \quad \text{kN} > V_{Rd,C,max} = \quad \text{kN} , \quad (4.73)$$

zato je potrebna strižna armatura. Izberemo vertikalna stremena, kjer je $\alpha = 90^\circ$. Izberemo razdaljo med stremeni $s = 15\text{cm}$. Potrebno strižno armaturo določim iz pogoja

$$V_{A,Ed}^* = V_{Rd,s} , \quad (4.74)$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} , \quad (4.75)$$

in je enaka

$$A_{sw} = \frac{V_{Rd,s} \cdot s}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}} = \quad \quad \quad \text{cm}^2 . \quad (4.76)$$

Izberem štiristrižno streme $n = 4$

$$A_{sw,1} = \frac{A_{sw}}{n} = \quad \quad \quad \text{cm}^2 . \quad (4.77)$$

V območju nosilca, kjer je $0 \text{ m} \leq x \leq 2 \text{ m}$, izberemo **4-strižna stremena $\phi 8 / 15 \text{ cm}$** .

Premjer ene palice stremena je

$$A_{sw,1,A} = 0,50 \text{ cm}^2. \quad (4.78)$$

Delež strižne armature ob podpori A je

$$\rho_{w,A} = \frac{A_{sw,A}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{\frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{\frac{4 \cdot \pi \cdot (0,8 \text{ cm})^2}{4}}{15 \text{ cm} \cdot 30 \text{ cm} \cdot \sin 90^\circ} = 0,00446 > \rho_{w,min} = 0,00088. \quad (4.79)$$

Dodatna vzdolžna armatura

Dodatna vzdolžna armatura je enaka

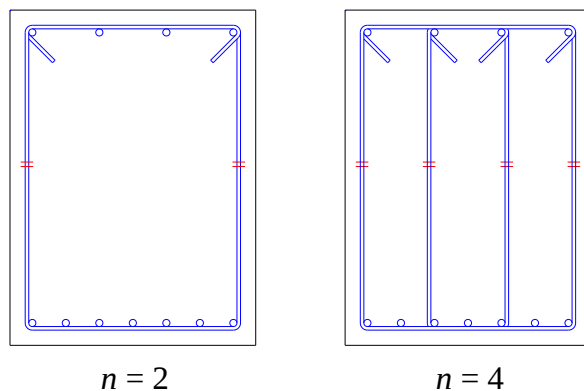
$$\Delta A_s = \frac{|V_{Ed}|}{2 \cdot \sigma_s} = \frac{V_{A,Ed}^*}{2 \cdot \sigma_s} = \frac{\text{kN}}{2 \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = \text{cm}^2. \quad (4.80)$$

Tlačne diagonale

Mejna strižna obremenitev prečnega prereza ne sme presegati največje projektne strižne odpornosti armiranobetonskega elementa, ki je enaka

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck} [\text{MPa}]}{250}\right) \cdot f_{cd} \cdot \frac{\text{ctg } \theta + \text{ctg } \alpha}{1 + \text{ctg}^2 \theta} =$$

$$= \text{ kN} > V_{A,Ed}^* = 379,4 \text{ kN} \quad (4.81)$$



Slika 15 Dvostrizno in štiristrizno streme.

Domača naloga

Izberite dvostrizno streme $\phi 10 \text{ mm}$ in izračunajte potrebno razdaljo med stremeni.

Domača naloga

Določite strižno armaturo v območju nosilca, kjer je $2\text{ m} \leq x \leq 4\text{ m}$. (Merodajen je prečni prerez $x = 2\text{ m}$.)

Podpora B*Strižna armatura*

Reducirana prečna sila je večja od prečne sile, ki jo lahko prenese betonski element brez strižne armature

$$|V_{B,Ed}^*| = 610,4\text{kN} > V_{Rd,c,max} = 120,3\text{kN}, \quad (4.82)$$

zato je potrebna strižna armatura. Izberemo vertikalna stremena, kjer je $\alpha = 90^\circ$. Izberemo razdaljo med stremeni $s = 10\text{cm}$. Potrebno strižno armaturo določim iz pogoja

$$|V_{B,Ed}^*| = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}, \quad (4.83)$$

in je enaka

$$A_{sw} = \frac{V_{Rd,s} \cdot s}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}} = \frac{610,4\text{kN} \cdot 10\text{cm}}{0,9 \cdot 73\text{cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 2,14\text{cm}^2. \quad (4.84)$$

Izberem štiristrižno streme $n = 4$

$$A_{sw,1} = \frac{A_{sw}}{n} = \frac{\text{cm}^2}{4} = 0,54\text{cm}^2 > A_{sw,1}(\phi 8\text{mm}) = 0,5\text{cm}^2. \quad (4.85)$$

Ker ne želimo palice večjega premera kot 8 mm, izračunamo potrebno razdaljo med stremeni

$$s = \frac{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}}{V_{Rd,s}} = \frac{0,9 \cdot 73\text{cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot (0,8\text{cm})^2}{4}}{610,4\text{kN}} = 9,4\text{cm}. \quad (4.86)$$

V območju nosilca, kjer je $6\text{ m} \leq x \leq 8\text{ m}$, izberemo **4-strižna stremena $\phi 8 / 9\text{ cm}$** .

Delež strižne armature ob podpori B je

$$\rho_{w,B} = \frac{A_{sw,B}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{\frac{n \cdot \pi \cdot d^2}{4}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{\frac{4 \cdot \pi \cdot (0,8\text{cm})^2}{4}}{10\text{cm} \cdot 30\text{cm} \cdot \sin 90^\circ} = 0,0067 > \rho_{w,min} = 0,00088. \quad (4.87)$$

Dodatna vzdolžna armatura

Dodatna vzdolžna armatura je enaka

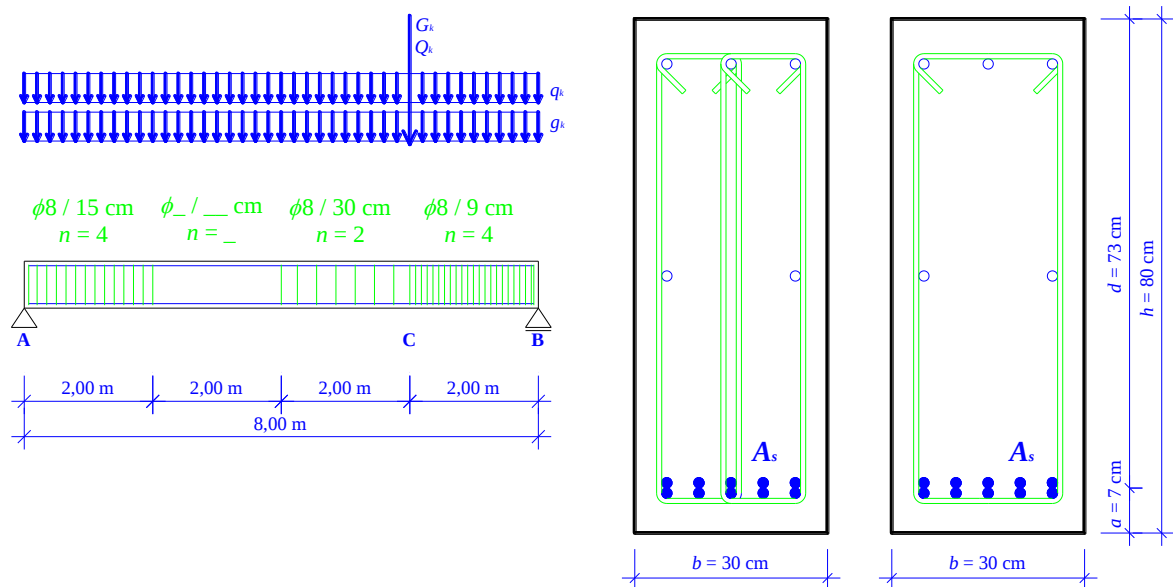
$$\Delta A_s = \frac{|V_{Ed}|}{2 \cdot \sigma_s} = \frac{|V_{B,Ed}^*|}{2 \cdot \sigma_s} = \frac{610,4\text{kN}}{2 \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 7,02\text{cm}^2. \quad (4.88)$$

Tlačne diagonale

Mejna strižna obremenitev prečnega prereza ne sme presegati največje projektne strižne odpornosti armiranobetonskega elementa, ki je enaka

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0,9 \cdot d \cdot 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck} [\text{MPa}]}{250} \right) \cdot f_{cd} \cdot \frac{\text{ctg} \theta + \text{ctg} \alpha}{1 + \text{ctg}^2 \theta} =$$

$$= \text{kN} > |V_{B,Ed}^*| = 610,4 \text{kN} \quad (4.89)$$



Slika 16 Obravnavani prostoležeči armiranobetonski nosilec konstantne višine.