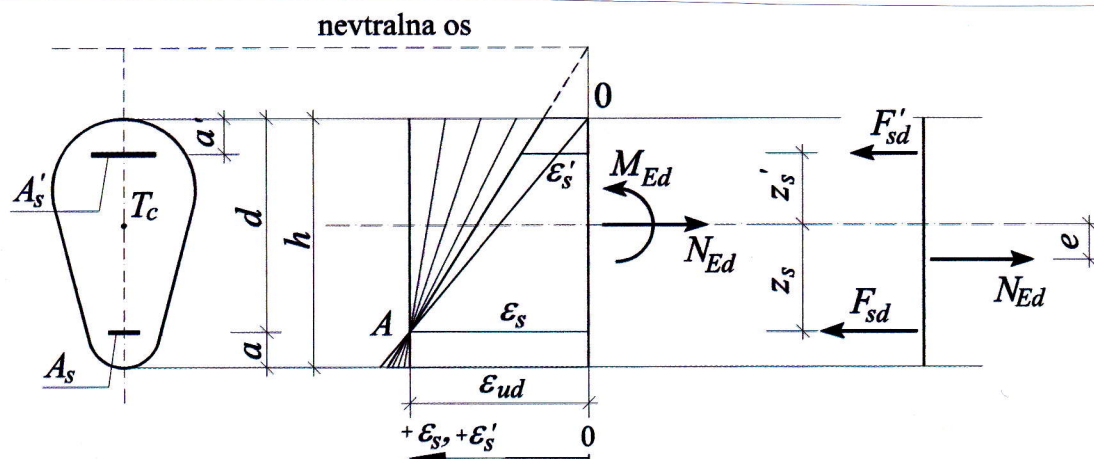


- 16.) Dimenzioniranje prerezo na enojni upogib z natežno osno silo pri mali ekscentričnosti osne sile in centričnem nategu.



Sl. 39: Mala ekscentričnost - natezna osna sila (oznake in obremenitev)

⇒ Obravnavamo splošen primer obremenitve prereza:

* $N_{Ed} > 0$ (natezna osna sila)

* $e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$

$$\Rightarrow \boxed{-z_s' \leq e \leq z_s}$$

⇓
prijemališče osne sile je med obema armaturama

⇒ PREDPOSTAVKI:

- obe armaturi (A_s in A_s') sta ~~pre~~ natezni armaturi
- pripadajoči natezni deformaciji (ϵ_s in ϵ_s') sta pozitivni

⇒ Potek deformacij prikazan na sliki: je sicer bolj primeren za pozitivno vrednost upogibnega momenta, točka A je pri tem vrtilišče mejnih deformacijskih ravnin.

⇒ Pri mali ekscentričnosti natezne osne sile, če imamo po celotnem prerezu natezne deformacije, zaradi predpostavke, da beton v MSN v nategu ne nosi, odpornost prereza zagotavljamo le s silama v nateznih armaturah F_{sd} in F_{sd}' . Dobčimo ju iz ravnotežnih pogojev:

① na podlagi ravnotežja momentov na težišču armature A_s :

$$F_{sd}'(z_s + z_s') - N_{Ed}(z_s - e) = 0 \Rightarrow \boxed{F_{sd}' = \frac{N_{Ed}(z_s - e)}{(z_s + z_s')}}}$$

② na podlagi ravnotežja momentov na težišču armature A_s' :

$$F_{sd}(z_s + z_s') - N_{Ed}(z_s' + e) = 0 \Rightarrow \boxed{F_{sd} = \frac{N_{Ed}(z_s' + e)}{(z_s + z_s')}}}$$

⇒ za praktično dimensioniranje pa je edino smiselna predpostavka, da sta obe natezni armaturi A_s in A_s' plastificirani.

V tem primeru pri upoštevanju delomega diagrama brez utrditve velja:

$$\varepsilon_s' \geq \varepsilon_{yd} \longrightarrow \sigma_s' = f_{yd}$$

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_{yd} \xrightarrow{\text{in}} \sigma_s = f_{yd}$$

in lahko potrebna prereza armatur dobimo z naslednjima izrazoma:

$$A_s' = \frac{F_{sd}'}{\sigma_s'} = \frac{F_{sd}'}{f_{yd}} = \frac{N_{ed}(z_s - e)}{(z_s + z_s') \cdot f_{yd}}$$

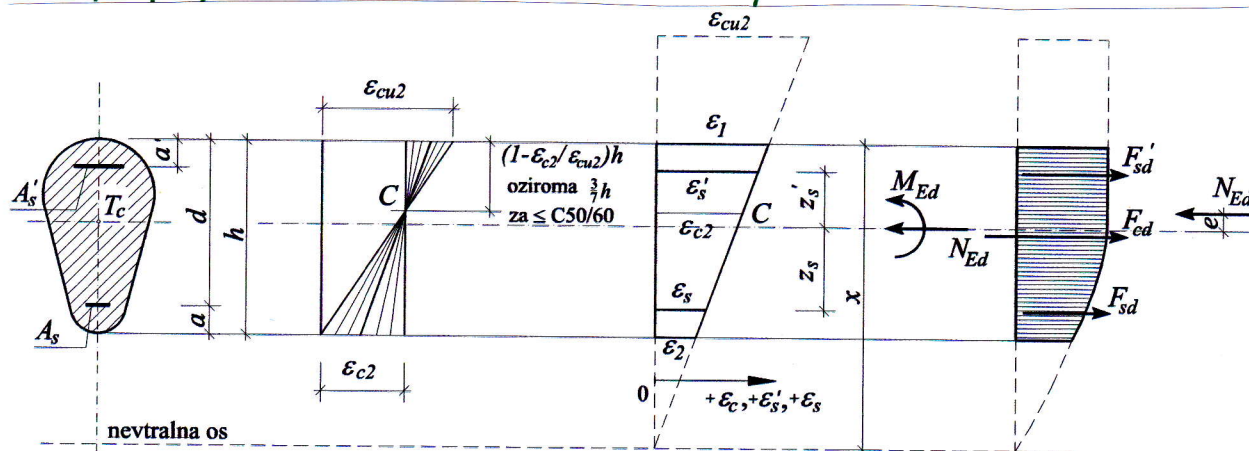
$$A_s = \frac{F_{sd}}{\sigma_s} = \frac{F_{sd}}{f_{yd}} = \frac{N_{ed}(z_s' + e)}{(z_s + z_s') \cdot f_{yd}}$$

⇒ v primeru CENTRIČNEGA NATEGA ($e=0$) in simetrično razporejene armature ($z_s' = z_s$) pa velja:

$$A_s = A_s' = \frac{N_{ed}}{2 \cdot f_{yd}}$$

17.) Enojni upogib s tlačno osno silo - mala ekscentričnost

a) izpeljava izrazov za dolžitev potrebne armature



Sl. 40: Mala ekscentričnost - tlačna osna sila (oznake in obremenitev)

- * tlačno osno silo upoštevamo kot pozitivno
- * točka C predstavlja vrhise mejnih deformacijskih ravlin

$$\boxed{N_{Ed} > 0} \quad (\text{tlačna osna sila})$$

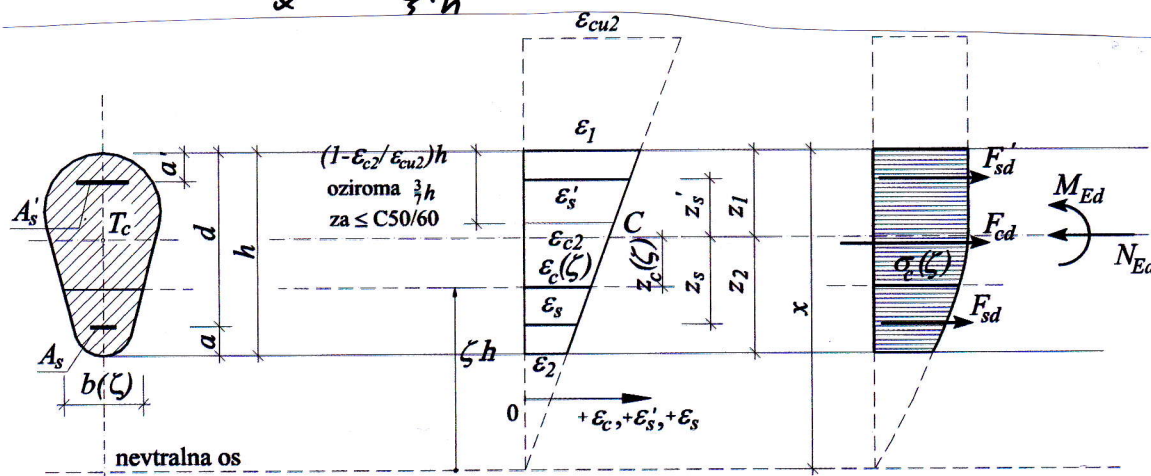
$$\boxed{e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}}$$

- * ker imamo malo ekscentričnost $\Rightarrow$ osna sila mora ležati med rezultanto sile v betonu F_{cd} in sile v zgornji armaturi F'_{sd} ter rezultanto sile v betonu F_{cd} in sile v spodnji armaturi F_{sd} .
- * pri poznanih deformacijah betona na zgornjem in spodnjem robu ε_1 in ε_2 , ki ju določa vrhise deformacijske ravnine C, lahko določimo oddaljenost nevtralne osi od zgornjega roba betona x :

$$\frac{\varepsilon_1}{x} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{h} \rightarrow x = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} h = \xi_x \cdot h \Rightarrow \boxed{\xi_x = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}}$$

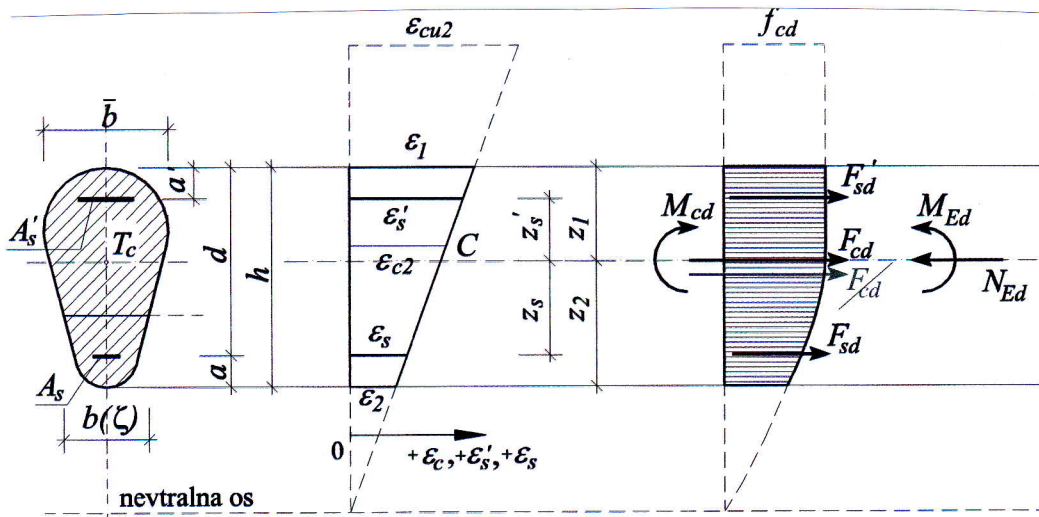
- * vpeljemo brezdimenzijsko koordinato ξ z izhodiščem v visini nevtralne osi s pomočjo katere lahko zapišemo deformacijo betona na poljubnem mestu $\varepsilon_c(\xi)$

$$\frac{\varepsilon_1}{x} = \frac{\varepsilon_c(\xi)}{\xi \cdot h} \rightarrow \varepsilon_c(\xi) = \frac{\varepsilon_1 \cdot \xi \cdot h}{x} = \frac{\varepsilon_1 \cdot \xi}{\xi_x}$$



Sl. 41: Mala ekscentričnost - tlačna osna sila (oznake za izpeljavo izrazov)

$\Rightarrow$ naprej se izpeljave, a mislim, da pri tem odgovoru niso potrebne (7. del; str. 54-56)



Sl. 43: Mala ekscentričnost - tlačna osna sila (oznake za določitev armature)

→ Prispevek betona k odpornosti prereza upoštevamo v težišču betonskega prereza z rezultanto napetosti F_{cd} in statičnim momentom M_{cd} te rezultante glede na težišče betona.

$$F_{cd} = f_{cd} \cdot b \cdot h \cdot n_{c,Rd}$$

$$n_{c,Rd} = \int_{z_{x-1}}^{z_x} \xi_c(\xi) \cdot b(\xi) d\xi$$

$$M_{cd} = f_{cd} b \cdot h^2 \cdot m_{c,Rd}$$

$$m_{c,Rd} = \int_{z_{x-1}}^{z_x} \xi_c(\xi) b(\xi) \left(-z_x + \xi + \frac{z_1}{h} \right) \cdot d\xi$$

→ ravnotežje vseh sil:

$$F_{sd} + F_{sd}' + F_{cd} - N_{Ed} = 0$$

ravnotežje momentov glede na težišče betonskega prereza

$$-F_{sd} \cdot z_s + F_{sd}' \cdot z_s' + M_{cd} - M_{Ed} = 0$$

$$\Rightarrow F_{sd}' = \frac{(N_{Ed} - F_{cd}) \cdot z_s + (M_{Ed} - M_{cd})}{z_s + z_s'}$$

$$F_{sd} = \frac{(N_{Ed} - F_{cd}) \cdot z_s' - (M_{Ed} - M_{cd})}{z_s + z_s'}$$

⇒ z upoštevanjem ustreznih napetosti v armaturah σ_s in σ_s' in jih na podlagi poznanih deformacij ε_s in ε_s' določimo s pomočjo delovnega diagrama jekla, pa lahko zapišemo še končna izraza za potrebna prereza armatur:

$$A_{s'} = \frac{F_{sd}'}{\sigma_{s'}} = \frac{(N_{Ed} - F_{cd}) \cdot z_s + (M_{Ed} - M_{cd})}{(z_s + z_s') \cdot \sigma_{s'}}$$

$$A_s = \frac{F_{sd}}{\sigma_s} = \frac{(N_{Ed} - F_{cd}) \cdot z_s' - (M_{Ed} - M_{cd})}{(z_s + z_s') \cdot \sigma_s}$$

⇒ Zljub temu, da smo predpostavili, da je sistem enačb (ravnotežje) enolično rešljiv, pa se lahko zgodi, da je sicer matematično korektna rešitev sistema, fizično nesprejemljiva ⇒ kadar dobimo vsaj eno silo F_{sd} ali F_{sd}' negativno, kar pomeni, da je ne moremo doseči s tlačno armaturo.

To je glede na dejstvo, da obravnavamo le mejne deformacijske ravnine (vrstisa C) in imamo podane porsem splošne vrednosti obremenitev (N_{ed} in M_{ed}) pogosta situacija, tako, da so izpeljani izrazi za praktično dimensioniranje le drugega pomena (pri dimensioniranju za področje male ekscentričnosti tlačne osne sile so primerni predvsem pripomočki v obliki interakcijskih diagramov).

b) praktičen postopek določanja potrebnega prereza armature

⇒ postopek velja za betone običajne trdnosti ($\leq C50/60$), pri katerih je vrstisa deformacijskih ravnin C na $\frac{3}{4}$ visine prereza in jeklo S500 brez utrditve

$$\Rightarrow \begin{cases} F_{ed} = f_{cd} \cdot b \cdot h \cdot \eta_{c,rd} \\ M_{ed} = f_{cd} \cdot b \cdot h^2 \cdot \eta_{c,rd} \end{cases}$$

$\eta_{c,rd}$ in $\eta_{c,rd}$ lahko odčitamo iz ustreznih preglednic

⇒ pri izbrani mejni legi deformacijske ravnine, ki poteka skozi vrstisa C lahko na podlagi podobnih trikotnikov zapišemo naslednje zveze med deformacijami:

$$\varepsilon_c = \frac{7 \cdot \varepsilon_{cz} - 4 \cdot \varepsilon_1}{3}$$

$$\varepsilon_s = \varepsilon_1 - \frac{7}{3}(1 - \delta)(\varepsilon_1 - \varepsilon_{cz})$$

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_1 - \frac{7}{3}\delta'(\varepsilon_1 - \varepsilon_{cz})$$

pri tem velja:

$$\delta = \frac{a}{h} \quad \delta' = \frac{a'}{h}$$

⇒ Ker je pri betonih normalne trdnosti deformacija v vrhovišču $\varepsilon_{cz} = 2\%$, je deformacija jekla ε_s v vsakem primeru manjša od meje elastičnosti $\varepsilon_{yd} = 2,17\%$, lahko pa se zgodi, da tudi armatura A_s' ni plastificirana $\varepsilon_s' \leq \varepsilon_{yd}$. Žato je smiselno da v izrazih za določitev armature upoštevamo zapisa:

$$\sigma_s' = \left(\frac{\sigma_s'}{f_{yd}}\right) \cdot f_{yd} \quad \text{in} \quad \sigma_s = \left(\frac{\sigma_s}{f_{yd}}\right) \cdot f_{yd}$$

saj lahko vrednosti izkoriščenosti armatur oz. razmerij $\frac{\sigma_s'}{f_{yd}}$ in $\frac{\sigma_s}{f_{yd}}$ za izbrane lege deformacijskih ravnin

(ε_1 in ε_2) ter parametra $\delta = \frac{a}{h}$ in $\delta' = \frac{a'}{h}$ vnaprej tabeliramo ⇒ glej preglednici:

$$\sigma_s' = \min[\varepsilon_s' \cdot E_s; f_{yd}] \rightarrow \frac{\sigma_s'}{f_{yd}} = \min\left[\left(\varepsilon_1 - \frac{2}{3}\delta'(\varepsilon_1 - \varepsilon_{cz})\right) \frac{1}{\varepsilon_{yd}}; 1\right]$$

$$\sigma_s = \min[\varepsilon_s \cdot E_s; f_{yd}] \rightarrow \frac{\sigma_s}{f_{yd}} = \min\left[\left(\varepsilon_1 - \frac{2}{3}(1-\delta)(\varepsilon_1 - \varepsilon_{cz})\right) \frac{1}{\varepsilon_{yd}}; 1\right]$$

⇒ končna izraza za račun potrebnih prereзов armatur:

$$A_s' = \frac{F_{sd}'}{\sigma_s'} = \frac{(N_{ed} - F_{cd}) \cdot z_s + (M_{ed} - M_{cd})}{(z_s + z_s') \cdot \left(\frac{\sigma_s'}{f_{yd}}\right) \cdot f_{yd}}$$

$$A_s = \frac{F_{sd}}{\sigma_s} = \frac{(N_{ed} - F_{cd}) \cdot z_s' - (M_{ed} - M_{cd})}{(z_s + z_s') \cdot \left(\frac{\sigma_s}{f_{yd}}\right) \cdot f_{yd}}$$

c) dimensioniranje pri centričnem tlaču

⇒ $e = 0$

⇒ simetrično razporejena armatura ($z_s' = z_s$ in $A_s' = A_s$)

⇒ odpornost prereza pri mejnih deformacijah ($\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_s = \varepsilon_s' = \varepsilon_{cz}$)

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + (A_s + A_s') \cdot f_{yd} \cdot \min\left(\frac{\varepsilon_{cz}}{\varepsilon_{yd}}; 1\right)$$

⇒ iz pogoja ravnotežja prereza $N_{ed} = N_{Rd}$ pa določimo potrebna prereza armature pri znani obremenitvi

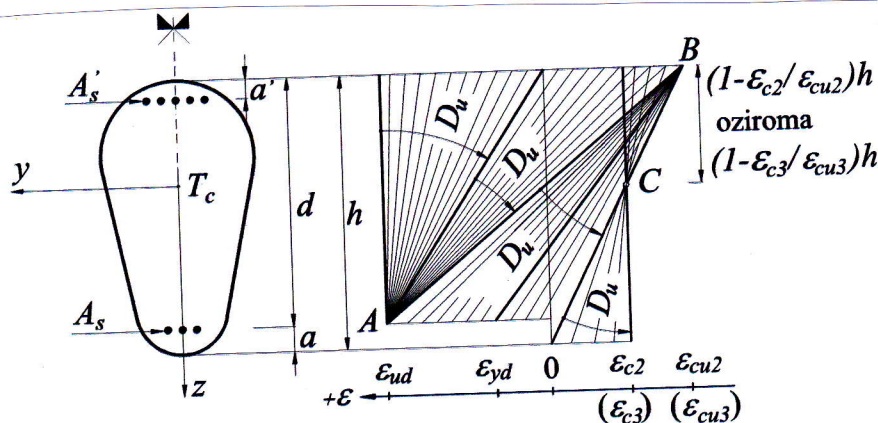
$$A_s = A_s' = \frac{N_{ed} - A_c \cdot f_{cd}}{2 \cdot f_{yd} \cdot \min\left(\frac{\varepsilon_{cz}}{\varepsilon_{yd}}; 1\right)}$$

⇒ pri centričnem tlaču mora biti težišča armature A_s (vsa arm. v prerezu) v težišču betonskega prereza:

$$A_s = \frac{N_{ed} - A_c \cdot f_{cd}}{f_{yd} \cdot \min\left(\frac{\varepsilon_{cz}}{\varepsilon_{yd}}; 1\right)}$$

18.) Opiši te izdelavo in uporabo interakcijskih diagramov pri enojnem upogibu z osno silo

⇒ Mejna osno-upogibna odpornost armiranega betonskega prereza je določena z mejnimi deformacijskimi ravninami (D_u). Te ravnine, ki jih je neskončno mnogo, smo opisali kot ravnine pri katerih je vsaj v eni ali več točkah betona oz. armature dosežena konvencionalna mejna deformacija ϵ_{cu2} (ali ϵ_{cu3}) oz. ϵ_{ud}



⇒ Točke A, B in C so VRTIŠČA DEFORMACIJSKIH RAVNIN. Določeni so z:

A - mejno deformacija natezne armature ϵ_{ud}

B - mejno tlačno deformacijo betona pri upogibu ϵ_{cu2}

C - -||- pri čistem tlaču ϵ_{cu}

⇒ Vektor osno-upogibne mejne odpornosti poznane prereza $\{R_d\}$ dobimo z ustrezno integracijo napetosti betona in armature po prečnem prerezu

$$\{R_d\} = \begin{Bmatrix} N_{Rd,x} \\ M_{Rd,y} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} N_{Rd} \\ M_{Rd} \end{Bmatrix} = \left\{ \begin{aligned} \iint_A \sigma_{xx} dA &= \iint_{A_c} \sigma_c dA_c + \sum_{i=1}^n A_{s_i} \sigma_{s_i} \\ \iint_A z \sigma_{xx} dA &= \iint_{A_c} z_c \sigma_c dA_c + \sum_{i=1}^n z_{s_i} A_{s_i} \sigma_{s_i} \end{aligned} \right\}$$

⇒ ~~Vektor~~ Napetosti betona in armature s pomočjo delovnih diagramov obeh materialov izrazimo z deformacijami ⇒ vektor osno-upogibne odpornosti prereza zapišemo z deformacijami in projektnima trdnostma obeh materialov f_{cd} in f_{yd}

$$\{R_d\} = \begin{Bmatrix} N_{Rd} (D_u, f_{cd}, f_{yd}, \text{geometrija}) \\ M_{Rd} (\quad -||- \quad) \end{Bmatrix}$$

⇒ Vsači mejni deformacijski ravnini D_u , enolično pripada en sam vektor mejne nosilnosti $\{R_d\}$ prereza definirane geometrije. Pri tem pod geometrijo razumemo konkretno obliko betonskega prereza s poznanimi dimenzijami ter razporeditev in količino armature v posameznih točkah. Če pri tem s spreminjanjem mejnih deformacijskih ravnin po žračih potrijemo celotno deformacijsko območje deformacijskih ravnin in za vsač izbrano lego mejne deformacijske ravnine določimo pripadajoči vektor osno-upogibne mejne odpornosti prereza, dobimo vse možne vektorje mejne odpornosti znanega AB prereza.

* glej primer interakcijskega diagrama (sl. 45, str. 62 (8. del))

⇒ INTERAKCIJSKI DIAGRAMI V NORMIRANI OBLIKI so zelo ~~praktični~~ primerni za praktično dimensioniranje AB prereza na osno-upogibno obremenitev

⇒ projektno osno silo in projektni upogibni moment običajno normiramo na sledeč način:

$$n_{ed} = \frac{N_{ed}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

$$m_{ed} = \frac{M_{ed}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}}$$

⇒ velja tudi:

$$n_{ed} = \frac{N_{ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{N_{rd}}{A_c \cdot f_{cd}} = n_{rd}$$

$$m_{ed} = \frac{M_{ed}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{M_{rd}}{A_c \cdot h \cdot f_{cd}} = m_{rd}$$

⇒ razporeditev armature (razmerja prereza posameznih armatur in parametri položaja):

$$\lambda = \frac{A_s'}{A_s}$$

$$\xi = \frac{a}{h}$$

⇒ Količina armature (mehanska stopnja armiranja μ_o)

$$\mu_o = (1 + \lambda) \cdot \mu \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{(A_s + A_s') f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

⇒ pravilo

⇒ praviloma so v literaturi skupaj zbrane krivulje, ki pripadajo vnaprej izbranim vrednostim mehanske stopnje armiranja μ_0 . Najpogostejše glede na kombinacije obremenitev $\frac{N_{Ed}}{M_{Ed}}$ določimo potrebno največjo vrednost mehanske stopnje armiranja μ_0 , nato pa še potrebna prereza po izrazih:

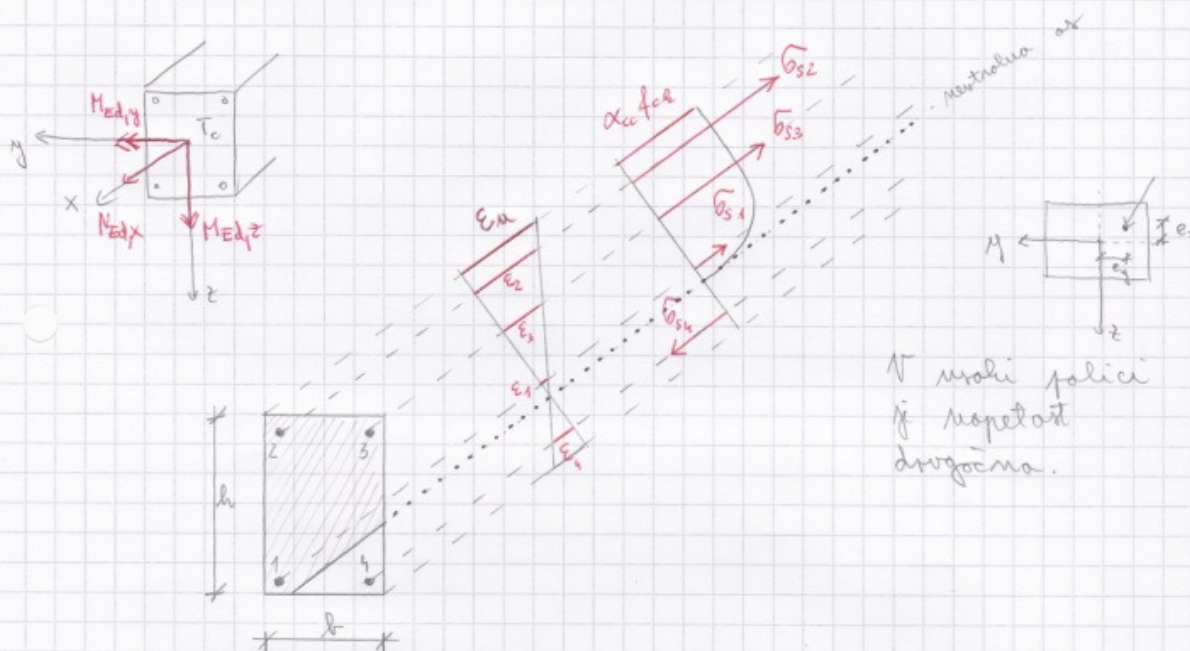
$$\boxed{\mu = \frac{\mu_0}{1 + \xi} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}} \rightarrow \begin{cases} A_s = \mu \cdot A_c \\ A_{s'} = \xi \cdot A_s \end{cases}$$

⇒ s pomočjo interakcijskih diagramov v normirani obliži pa lahko rešujemo tudi druge probleme:

- * Pri poznani razporeditvi in količini armature na podlagi ustrezno izbrane krivulje določimo ekstremne obremenitve:
 - max M_{Ed} pri predpisani (poznani) vrednosti N_{Ed}
 - max N_{Ed} in min N_{Ed} pri predpisani (poznani) vrednosti M_{Ed}
- * s podatki na diagramih lahko običajno tudi ocenimo vrednosti deformacij značilnih točk prereza.

19. Dimenzioniranje pravokotnih preizov na dvojno ekscentrični tlak

- splošen opis problema
- možnosti za praktično dimenzioniranje
- poenostavljeni postopek ločena preizov



a) V primeru dvojnega upogiba v kombinaciji z omo silo dolžimo vektor omo-upogibne meje odpornosti posameznega preiza z integrirajo napetosti betona in armature po prečnem preseku

$$\{R_d\} = \begin{Bmatrix} N_{ed,x} \\ M_{ed,y} \\ M_{ed,z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \int_A \sigma_{xx} dA \\ \int_A z \sigma_{xx} dA \\ \int_A y \sigma_{xx} dA \end{Bmatrix}$$

Če napetosti betona in armature s pomočjo obeh delovnih diagramov materialov izračunamo z def. ($\sigma_c = \sigma_c(\epsilon_c)$, $\sigma_s = \sigma_s(\epsilon_s)$; y_c, z_c, y_{si}, z_{si} so koordinate točk betona oz. armature), lahko vektor omo-upogibne odpornosti preiza zapisemo z def. in projektiramo

trudnastima obeh materijalov f_{cd} i f_{yd} .

Vrlo je megi def. normini D_u tipoda en sam
vektor megie mozhnosti $\{R_d\}$. Če pri tem
s spremembo megi def. normini po konahih
pokriveno celotno def. območje, za vsako
izbrano lego megie def. norme določimo pripadajoči
vektor omo - mog. odpornosti preza določimo
na mozne vektorje megie odpornosti $\rightarrow$ opišejo
ploskev v prostoru.

b) Za multično dimenzionalno uporabljamo
računalniške programe ali pripomočke v
obliki raznih interakcijskih diagramov, ki so
običajno podani v obliki interakcije M_{Rdy}/M_{Edz}
pri predpisanih oziroma $M_{Rd} = M_{Ed}$

$$c) \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} \right)^a \leq 1,0$$

* $M_{Edy}, M_{Edz} \dots$ projektne mog. momenta olog ozi
y ozi z.

* $M_{Rdy}, M_{Rdz} \dots$ možni odpornosti preza +1 -
določeni pri maj. ozi sili N_{Ed}

* $a \dots$ eksponent

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

N_{Ed}/N_{Rd}	0,1	0,7	1,0
a	1,0	1,5	2,0

Annotirano izbrano
nato postopek
iteracijsko
povečujemo dokler
ne dosežemo
notrajne notranosti

20. Računa meje odpornosti AB elementar glede na prečno silo

a) zagotavljanje odpornosti pri upogibno vzporednih elementih brez stržne armat.

b) stržna močnost mehanična razm. poličja - izpulsivno iznosar

a) Pri veli močilih in ploščah se pred upogibno posržitnijsi pojavijsi upogibne vzpore, pri veli močilih se vzporejsi tudi stržne vzpore. V področju kjer ni upogibnih vzpor omanio odpornost glede prečne sile zagotavljajsi napetosti v betonu. Vzpori se pojavijsi ko glavne notrsne nap. σ_{ed} v betonu dosežejsi mejo not. trdnost.

$$T_d(z) = \frac{V_d S_y(z)}{I_y b(z)} ; \quad \sigma_d = \frac{N_{ed}}{A} + \frac{M_{ed} \cdot z}{I_y}$$

$$\sigma_{ed} = \frac{\sigma_d(z)}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_d^2(z)}{4} + T_d(z)} = f_{ctd} \dots \text{pojav vzpor}$$

Mejo stržne odpornosti glede prečne sile zagotavljajsi

* nerazpokani deli bet. preseka s majimi napetostmi

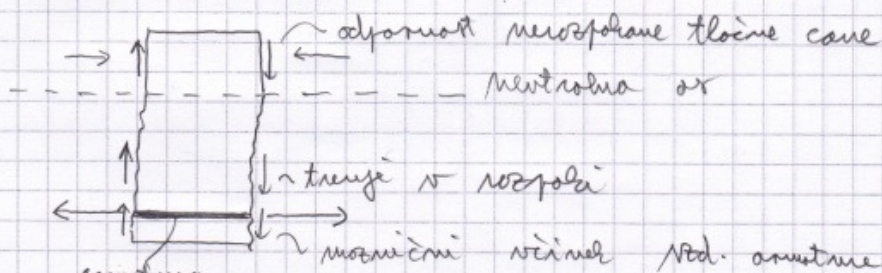
$$\sigma_{ed} < f_{ctd}$$

* trnje med zruzi opegeto v vzporkah

* Moznicni vrniki vzdolžne armature

* ločni mehnični elementa (tega trnito

zadržano vzdolžna armatura ni tlačna črna betan



tridimenzionalna obdel materialov f_{cd} in f_{yd} .

Vsaki mejni def. normini D_u pripada en sam vektor meje možnosti $\{R_d\}$. Če pri tem s spremembo meje def. normine po končnih porazdelitvah celotno def. območje, za vsako izbrano lego meje def. normine določimo pripadajoči vektor osno - prog. odpornosti preesa določimo na vsaki meji vektorje meje odpornosti $\rightarrow$ opisajo plošče in prostornine.

b) Za multivariatno dimenzionalno uporabljam računalniške programe ali pripomočke v obliki raznih interakcijskih diagramov, ki so običajno podani v obliki interakcije M_{Edy}/M_{Edz} pri predpisanih osni sili $N_{Ed} = N_{Ed}$

$$c) \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Edz}} \right)^a + \left(\frac{M_{Edy}}{M_{Edy}} \right)^a \leq 1,0$$

* $M_{Edy}, M_{Edz} \dots$ projektne prog. momenta olog osi y oz. z .

* $M_{Edy}, M_{Edz} \dots$ projektni odpornosti preesa ± 1 - določeni pri proj. osi sili N_{Ed}

* $a \dots$ eksponent

$$N_{Ed} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

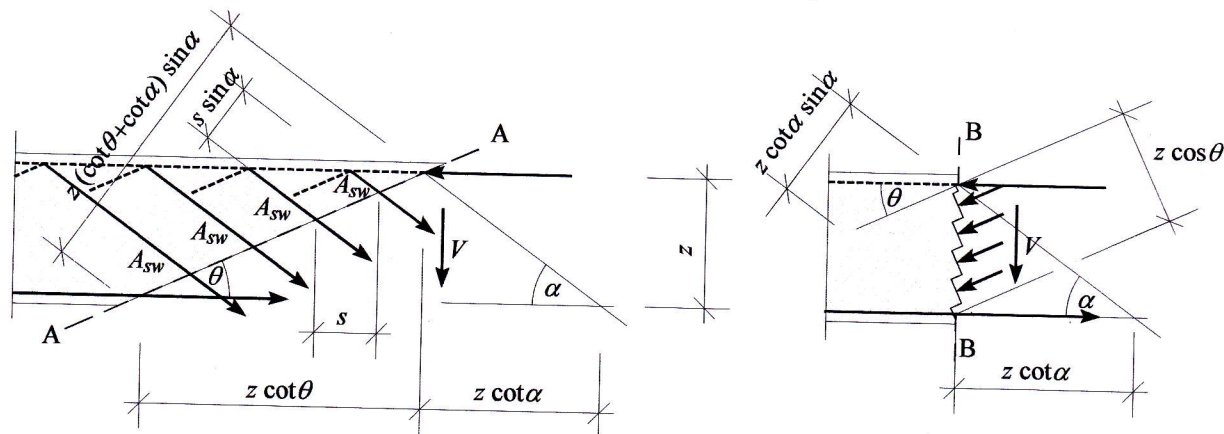
N_{Ed}/N_{Ed}	0,1	0,7	1,0
a	1,0	1,5	2,0

Annotirano izbrano nato postopek iteracijsko poravnava dolles ne določeno notranje notranost

8)

Strižna nosilnost mehanizma ravninskega paličja

Obravnavamo element s slike Sl. 55. Pri tem so palice strižne armature na medsebojni horizontalni razdalji s . Prerez vseh palic v eni krivitvi znaša A_{sw} . Z je označena ročica notranjih sil. σ_{sw} je napetost v strižni armaturi, σ_{cw} pa napetost v poševnih tlačnih razporah.



Sl. 55: Pogoji zavnotežja v prerezih paličnega modela pri poševni strižni armaturi

Za prerez A-A vzporeden s smerjo tlačnih razpor lahko napišemo naslednji ravnotežni pogoj:

$$V = \frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sw} \cdot (z \cdot \cot \theta + z \cdot \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}{s \cdot \sin \alpha} \cdot \sin \alpha \quad (168)$$

$$\rightarrow \boxed{V = \frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sw} \cdot z \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)}{s} \cdot \sin \alpha} \quad (169)$$

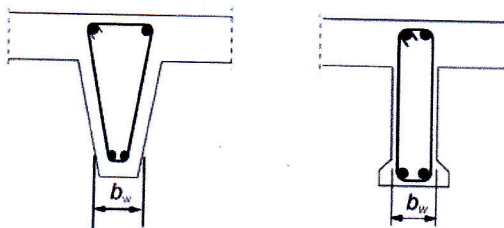
V izrazu (169) je torej V prečna sila, ki jo uravnotežijo sile v strižni armaturi vzdolž poševnega prereza A-A.

Če napišemo še ravnotežni pogoj za vertikalni prerez B-B, ki ga hkrati »sekajo« tlačne razpore in strižna armatura dobimo:

$$V = \frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sw} \cdot z \cdot \cot \alpha \cdot \sin \alpha}{s \cdot \sin \alpha} \cdot \sin \alpha + \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (170)$$

$$\rightarrow V = \frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sw} \cdot z \cdot \cot \alpha}{s} \cdot \sin \alpha + \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \quad (171)$$

Pri tem je b_w najmanjša širina prereza med natezno armaturo in nevtralno osjo.



Sl. 56: Merodajna širina b_w

Z upoštevanjem izraza (169) $\frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sw} \cdot z \cdot \sin \alpha}{s} = \frac{V}{(\cot \theta + \cot \alpha)}$ v izrazu (171) izločimo

neposreden vpliv strižne armature in dobimo: $\rightarrow V = \frac{V \cdot \cot \alpha}{(\cot \theta + \cot \alpha)} + \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta$

in še: $V(\cot \theta + \cot \alpha) = V \cdot \cot \alpha + \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)$ ter končno obliko

$$\boxed{V = \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \sin^2 \theta \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)} \quad \text{oz.} \quad \boxed{V = \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{1 + \cot^2 \theta}} \quad (172)$$

Pri tem je v izrazu (172) V prečna sila, ki jo lahko uravnotežimo z napetostmi betona v tlačni diagonali.

V vertikalnem prerezu B-B dobimo zaradi delovanja tlačne razpore in natezne strižne armature rezultirajočo horizontalno silo H :

$$H = \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \cos \theta - \frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sw} \cdot z \cdot \cot \alpha}{s} \cdot \cos \alpha \quad (173)$$

Če upoštevamo izraza (169) in (172):

$$\sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z = \frac{V}{\sin^2 \theta \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)} \quad \text{in} \quad \frac{A_{sw} \cdot \sigma_{sw} \cdot z}{s} = \frac{V}{(\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}$$

v izrazu (173) dobimo:

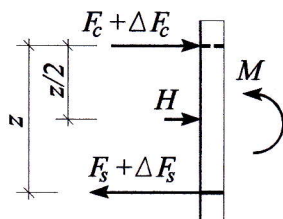
$$H = \frac{V \cos^2 \theta}{\sin^2 \theta \cdot (\cot \theta + \cot \alpha)} - \frac{V \cdot \cot \alpha \cdot \cos \alpha}{(\cot \theta + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha} = \frac{V(\cot^2 \theta - \cot^2 \alpha)}{(\cot \theta + \cot \alpha)}$$

$$\rightarrow \boxed{H = V(\cot \theta - \cot \alpha)} \quad (174)$$

Za silo H predpostavimo, da deluje na polovici razdalje med pasovi torej na oddaljenosti $z/2$ od tlačnega pasu. Ta sila povzroča v glavni natezni armaturi dodatno natezno silo ΔF_s , ki jo določimo

na podlagi momentnega ravnotežnega pogoja glede na prijemališče rezultante tlačnih napetost zgornjega pasu (glej Sl. 57):

$$(F_s + \Delta F_s) \cdot z - H \cdot z / 2 - M = 0 \rightarrow F_s + \Delta F_s = \frac{M}{z} + \frac{H}{2} \quad (175)$$



Sl. 57: Ravnotežje v prerezu z dodatno horizontalno silo iz mehanizma paličja

Upoštevamo standardno oznako iz upogibnega dimenzioniranja $F_s = \frac{M}{z}$, to je oznako za silo v vzdolžni armaturi, ki smo jo določili na podlagi upogibnega mehanizma, in dobimo prirastek sile v natezni armaturi ΔF_s zaradi prevzema prečne sile z mehanizmom paličja:

$$\boxed{\Delta F_s = \frac{H}{2} = \frac{V}{2}(\cot \theta - \cot \alpha)} \quad (176)$$

Sila ΔF_s se pojavi, ker da imamo v nadomestnem paličju po celotni dolžini posameznega paličnega nateznega elementa konstantno silo, za razliko od upogibnega dimenzioniranja, kjer se dobljena sila v natezni armaturi prilagaja poteku upogibnih momentov.

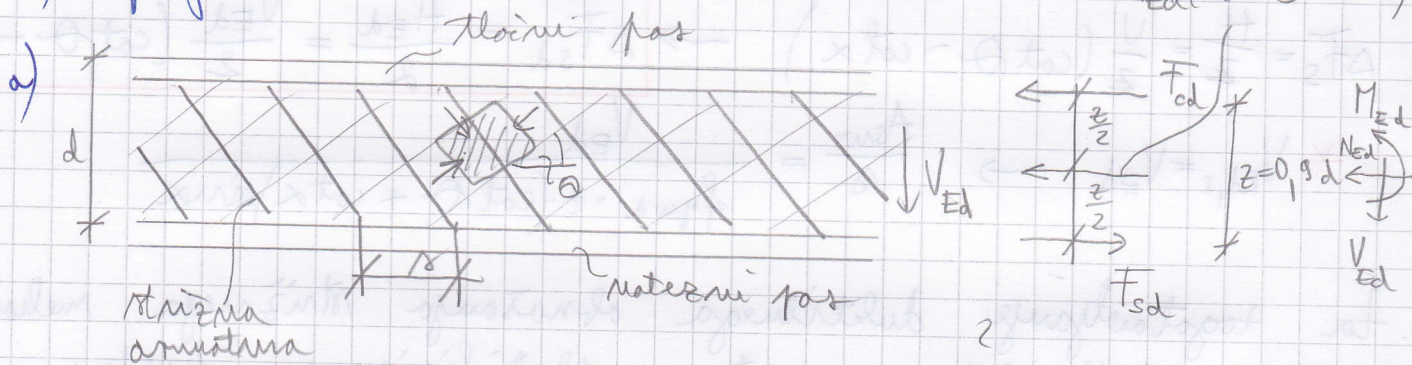
Iz ravnotežja vseh sil v prerezu dobimo še spremembo sile v tlačnem pasu $\Delta F_c = -\Delta F_s = -\frac{V}{2}(\cot \theta - \cot \alpha)$. Tlačni pas se zaradi mehanizma paličja razbremeni.

21. Ilegia strižna odpornost ni dimensioniranje glede prečne sile po št. SIST EN 1992-1-1

a) predstavite model za ločeno strižne odpornosti glede prečne sile iz standarda

b) izhodišča za nepeljavo izrazov za določanje odpornosti glede prečne sile

c) nepeljavi izrazov



b) * za napetost v strižni armat. upoštevamo mejo el.
 $\sigma_{sw} = f_{ywd}$

* za napetost betona v tlačnih razpokah, ki so v območju strižnih razpok upoštevamo mejo

$$\sigma_{cw} = \alpha_{cw} \cdot V_1 \cdot f_{cd}$$

α_{cw} ... vpliv amornih vzdolžnih tlačnih napetosti zaradi N (ovir sile)

V_1 ... koef. redukcije tlačne trdnosti na ločeno strižnih razpokah $V_1 = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck} [MPa]}{250} \right)$.

* za mejno odpornost glede prečne sile (V), ki določa nosilnost strižne armat. upoštevamo oznako

$$V_{Rd,s}$$

*

nosilnost tlačnih razpok upoštevamo oznako

$$V_{Rd,max}$$

* v izrazu za določitev dodatne natezne armature upoštevamo največjo prečno silo V_{Ed}

c) * mejna križna odpornost glede na križno ornato.

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

* mejna $+1$ — glede na zmogljivost tlačnih betonov

$$V = \sigma_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{1 - \cot^2 \theta} \rightarrow V_{Rd,max} = \kappa_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot V_1 \cdot f_{cd} \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{1 + \cot^2 \theta}$$

* dodatna notrsna nla v REd. ornati

$$\Delta F_s = \frac{H}{2} = \frac{V}{2} (\cot \theta - \cot \alpha) \rightarrow \Delta F_{sd} = \frac{H_{Ed}}{2} = \frac{V_{Ed}}{2} (\cot \theta - \cot \alpha)$$

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

ta zagotavlja duktilnega obnašanja križnega mehazma
obtevanja, da je križna ornata plastificirana preden je
izgubila nosilnost tlačnih betonov, kar opreimo s
pogojem:

$$V_{Rd,s} \leq V_{Rd,max} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} f_{ywd} \cdot z (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha \leq \kappa_{cw} b_w \cdot z \cdot V_1 \cdot f_{cd} \frac{(\cot \theta + \cot \alpha)}{1 + \cot^2 \theta}$$

Ki da pogoj za max. križno ornato $A_{sw,max}$

$$\frac{A_{sw,max} \cdot f_{ywd}}{s \cdot b_w} \leq \frac{\kappa_{cw} \cdot V_1 \cdot f_{cd} \cdot \sin^2 \theta}{\sin \alpha}$$

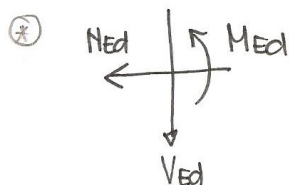
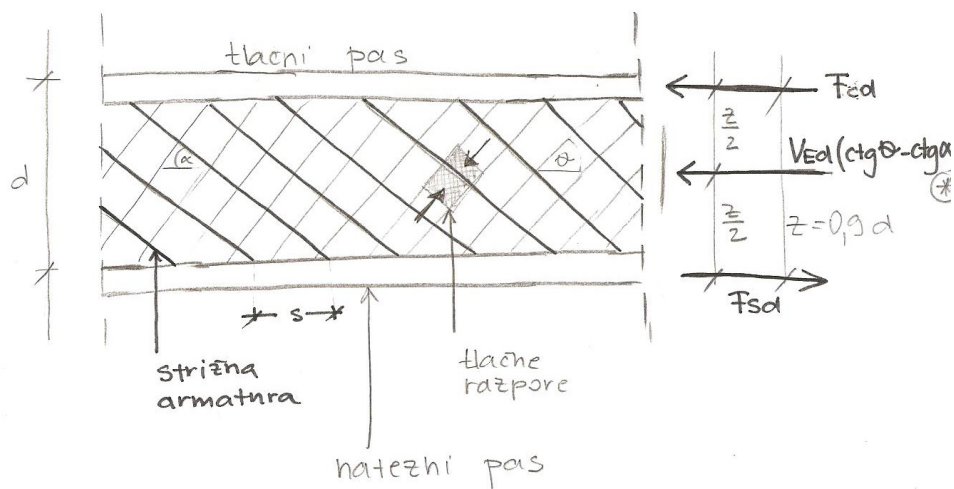
Dodatna notrsna ornata:

$$\Delta A_s = \frac{\Delta F_{sd}}{f_{yd}} = \frac{V_{Ed}}{2 f_{yd}} (\cot \theta - \cot \alpha)$$

22) Najina strižna odpornost in dimenzioniranje glede prečne sile po standardu SIST EN 1992-1-1

- predstavite model za račun strižne odpornosti glede prečne sile iz standarda
- kdaj je potrebno pri betonskih elementih računsko določiti strižno armaturo
- opisite vpliv kotov θ in α na odpornost glede prečne sile

a) MEHANIZEM RAVNINSKEGA PALIČJA ZA PREVZEM PREČNE SILE V_{Ed} ($1 \leq \cot \theta \leq 2,5$)

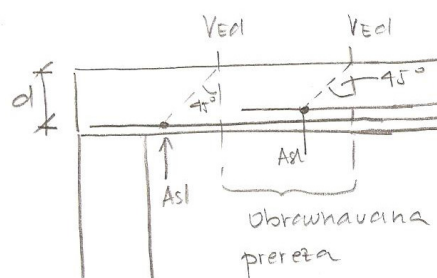
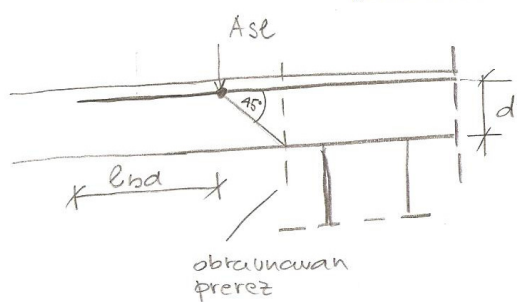


b) Najmanjša prečna sila $V_{rd,c}$, do katere prečne armature elementa ni potrebno računati;

$$V_{rd,c} = \left[C_{rd,c} \cdot k (100 \rho_1 f_{ct})^{1/3} + k_1 \zeta_{cp} \right] b_w \cdot d \geq (V_{min} + k_1 \zeta_{cp}) b_w \cdot d$$

$$C_{rd,c} = \frac{0,18}{f_{ct}} ; \text{ redukcijska koeficientna trdnost betona}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{se}}{b_w \cdot d} \leq 0,02 ; \text{ delež ustrezno zasidrane vzdolžne armature}$$



$$\zeta_{cp} = \frac{N_{ed}}{A_c} < 0,2 f_{cd} [MPa] ; \text{ napetost zaradi tlačne orne sile}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0 [d [mm]] ; \text{ koeficient višine prereza}$$

$$k_1 = 0,15 ; \text{ koeficient tlačnih napetosti}$$

$$V_{min} = 0,035 \cdot \zeta^{3/2} \cdot f_{ct}^{1/2} ; \text{ vplivni koeficient trdnostnega razreda betona}$$

→ če je projektirana prečna sila $V_{ed} < V_{rd,c} \Rightarrow$

$\Rightarrow$ prečna armatura A_{sw} računsko ni potrebna

$\Rightarrow$ v skladu z SIST EN 1992-1-1 namestimo le minimalno nižjo armaturo

$$f_{w, \min} = 0,08 \sqrt{\frac{f_{cz}}{f_{yk}}} \quad \leftarrow \text{minimalna stopnja armiranja s strižno armaturo}$$

stopnja strižnega armiranja (v splošnem)

$$f_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}$$

→ če je $V_{rd,c} \leq V_{rd} \leq V_{rd, \max} \Rightarrow$ namestimo ustrezno strižno armaturo

c) vpliv kota α in α na odpornost glede prečne sile

vertikalna strižna armatura $\alpha = 90^\circ$

$$V_{ed} = \frac{V_{ed}}{b_w \cdot z} \approx \frac{V_{ed}}{b_w \cdot 0,9 \cdot d} \quad \bullet \text{ če je } V_{ed} > V_{rd, \max, \alpha=90^\circ} \Rightarrow \rightarrow \text{prerez je potrebno povečati}$$

• če $V_{ed} < V_{rd, \max, \alpha=90^\circ} \Rightarrow \rightarrow \text{izračunamo na plohi najmanjši možen preizkus strižne armature}$

sicer (če je vrednost V_{Ed} med obema mejnima vrednostima, dobimo kot θ , ki se zadošča glede odpornosti tlačnih razpov

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{V_{Ed}}{0,2 f_{ct} z \left(1 - \frac{f_{ct}}{25} \right)} \right) \quad [kN/cm^2]$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}^*}{z f_{ywd} \operatorname{ctg} \theta}$$

keri kot je $\theta \rightarrow$ manjši je $\operatorname{ctg} \theta \rightarrow$

večja je pretez strižne armature, ki je potrebna za odpornost prereza glede prčne sile

ŠOL. L.:	LETNIK:	IME IN PRIIMEK:	PREDMET:	VAJA ŠT.:	LIST ŠT.:
		MATEJ INDOF	BETONSKE K. I		1/3

23.

(a) Isto kot 21.a in 22.a.

(b)

$$\alpha = 90^\circ$$

- Predpostavimo, da je $V_{Ed} > V_{Ed,c} \rightarrow$ potrebna je stržina armatura.
- Projektna stržina napetost je

$$v_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{b_w \cdot z},$$

kjer je $z \approx 0,9d$, V_{Ed} pa polna vrednost brez redukcij ob podporah.

- v_{Ed} primerjamo z vrednostmi $v_{Rd,max}$ v Pr. 15 (str. 78):

- $v_{Ed} > v_{Rd,max, \cot \theta = 1,0} \Rightarrow$ presek moramo povečati;
- $v_{Ed} < v_{Rd,max, \cot \theta = 2,5} \Rightarrow$ privzamemo $\cot \theta = 2,5$ in izračunamo potreben (na sploh najmanjši možen) presek stržine arm.;
- v_{Ed} med mejnima vrednostima $\Rightarrow$ kot θ določimo z izrazom

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{v_{Ed}}{0,2 f_{ctk} (1 - f_{ctk}/25)} \right)$$

v_{Ed} in f_{ctk} v $[kN/cm^2]$, velja pri $\alpha_{cw} = 1,0$ in $\mu_c = 1,5$

- Potrebno stržino armaturo določimo z reducirano prečno silo:

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{v_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

(c)

Dodatna vzdolžna (noterna) armatura: $\Delta A_s = \frac{V_{Ed}}{2 f_{yd}} (\cot \theta - \cot \alpha)$

Pri velikih vrednostih $\cot \theta$ lahko imamo težave s odstranjen vzdolžne armature - npr. pri izračunanem najmanjšem kotu θ po izrazu za potrebno stržino armaturo ali ko upoštevamo $\cot \theta = 2,5$. Tedaj lahko izberemo manjše vrednosti $\cot \theta$ ($\cot \theta \geq 1,0$!), vendar se nam s tem poveča potreben presek stržine armature.

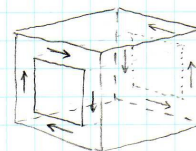
ŠOL. L.:	LETNIK:	IME IN PRIIMEK:	PREDMET:	VAJA ŠT.:	LIST ŠT.:
		MATEJ IUDOF	BETONSKE K. I		2/3

24.

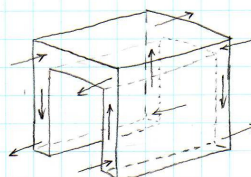
(a)

Enakomerna / Saint Venantova / neovirana torzija

Torzijska odpornost temelji na zaključnem stičnem toku po obodu elementa, kar velja za polne, zaprte pa tudi odprte tankostenske preseke.

Ovirana torzija

Torzijsko odpornost zagotavljamo preko upogibne odpornosti posameznih sestavnih delov elementa. Zaradi preprečene deformacije precezo v podporah ali zaradi vedoli osi elementa spreminjajočega torzijskega momenta (zvezna, koncentrirana torz. obtežba) prihaja do motenj napetostnega stanja, ki pripada enakomerni torziji.

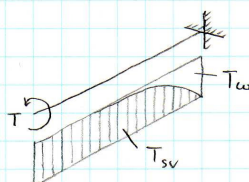


V realnih konstrukcijah skupne torzijske odpornosti pogosto ne zagotavljamo izključno z enim od teh dveh mehanizmov, pač pa ju kombiniramo:

$$T = T_{sv} + T_w$$

ENAKOMERNA T.

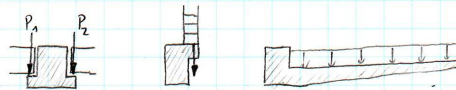
OVIRANA T.



- Pri dolžnih MSN v primeru polnih in zaprtih (v splošnem tudi odprtih) tankostenskih škatljastih precezo razenarimo ovirano torzijo in jo precezanemo z mehanizmom enakomerne torzije.
- Mehanizem ovirane torzije je lahko učinkovit pri kratkih merodajnih razpetinah za prečni upogib posameznih delov.
- Pri zelo vitkih precezo določimo razdelitev torzijskega momenta na oba mehanizma na podlagi prostorskega modela linijskih nosilcev.

(b)

Ravnotežna torzija

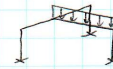


Statično ravnotežje je odvisno od torzijske odpornosti elementov konstrukcije. Potrebno je izvesti celotno torzijsko dimensioniranje (MSN in MSU).

Primeri: elementi ukrivljeni v tlorisu, ekscentrično obremenjeni statično določeni elementi, nosilci razprtih stopnic, ...

Kompatibilitetna torzija

Stabilnost konstrukcije ni odvisna od torzijske odpornosti - npr. v monolitnih, statično nedoločenih konstrukcijah, kjer torzija izhaja iz pogojev zagotavljanja kompatibilnosti.



Torzije v splošnem za MSN ni treba posebej preverjati, v analizi konstrukcij pa torzijsko togost elementov ranemarimo.

Prekorne torzijske razpoke preprečimo z minimalno armaturo (razprta stremena in vzdolžne palice), ki zagotavlja duktilno obnašanje. Po pojavu razpok se torzijske obremenitve zmanjšajo.

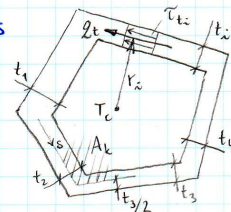
(c)

Rezultirajoči torzijski moment: $T = \oint \tau_{t,i} \cdot t_i \cdot r_i \cdot ds$

Stržni tok (konstanten po obodu): $q_t = \tau_{t,i} \cdot t_i$

$$T = q_t \oint r_i ds = \dots = q_t \cdot 2 \cdot A_k$$

A_k je ploščina poligona, ki ga omejujejo srednjice posameznih sten.



$$q_t = \frac{T}{2 \cdot A_k}$$

Največje stržne napetosti se pojavijo v najtanjši steni: $\tau_{t,max} = \frac{T}{2 \cdot A_k \cdot t_{min}}$

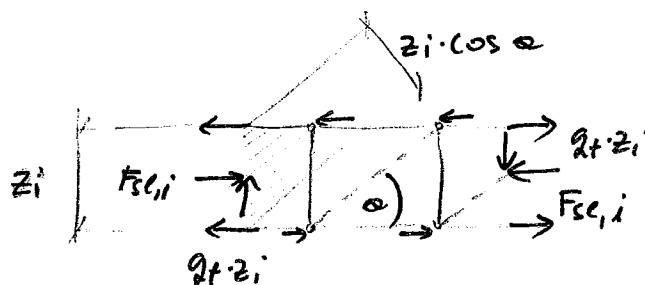
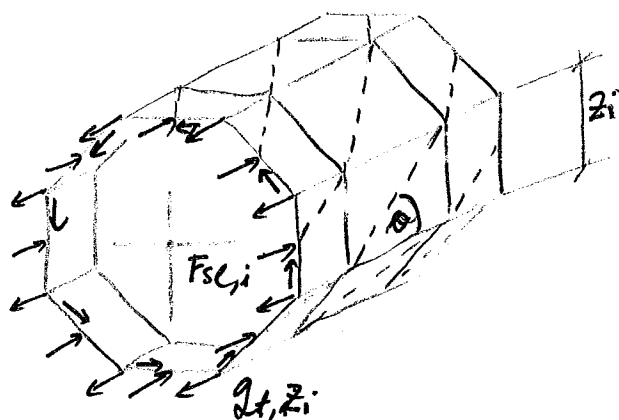
(25) RAČUN MEJNE ODPORNOSTI AB ELEMENTOV GLEDE
NA TORZIJO

A) PREDSTAVITE MODEL PROSTORSKEGA PALIČJA ZA
RAČUN TORZIJSKE ODPORNOSTI (T.O.) PO POJAVU
TORZIJSKIH RAZPOK

Prostorsko paličje sestavljajo:

- tlačne nekonske razpoke med razpokami pod kotom α
- materialna stena A_{sw} , ki tvori vertikalne
- vzdolžna armatura A_{sl} , ki tvori pasove paličij

PRIKAZ SIL V I-TI RZNI



Torzijska porazila stržno obremenitev posameznih sten
 $q_t \cdot z_i$, uravnotežijo jo sile v tlačnih razpokah $F_{sw,i}$

B) IZPELJAVA IZRAZOV, KI DOLOČAJO TORZIJSKO ODPORNOST
TEGA MODELA

$$T = \oint T_{t,i} \cdot t_i \cdot r \cdot ds \quad \dots \dots \text{TORZIJSKI MOMENT}$$

$$q_{t,i} = T_{t,i} \cdot t_i \quad \dots \text{konst.} \quad \dots \text{STRIŽNI TOK}$$

$$T = q_t \cdot 2 A_k \quad \leadsto \quad \boxed{q_t = \frac{T}{2 A_k}}$$

→ Torzija povzroča strižno obremenitev posameznih sten $q_t \cdot z_i$

→ Uravnotežijo jo sile v tlačnih razporah $F_{cw,i}$

$$F_{cw,i} = \frac{q_t \cdot z_i}{\sin \alpha}$$

$$\boxed{F_{cw,i} = \frac{T \cdot z_i}{2 \cdot A_k \cdot \sin \alpha}}$$

... v odvisnosti
od torzijskega
momenta T

↓
dobimo iz ravnotežja
„vertikalnih“ sil
v prerezu AA

→ Upoštevamo $A_{cw,i} = t_i \cdot z_i \cdot \cos \alpha = \text{PREREZ TLAČNE RAZPORE}$

$$\sigma_{cw,i} = \frac{F_{cw,i}}{A_{cw,i}} = \frac{T \cdot z_i}{2 \cdot A_k \cdot \sin \alpha \cdot t_i \cdot z_i \cdot \cos \alpha}$$

$$\boxed{\sigma_{cw,i} = \frac{T}{2 A_k \cdot t_i \cdot \sin \alpha \cos \alpha}}$$

... NAPETOST V RAZPORAH
i-TE STENE

→ Vrednost $\sigma_{cw,i}$ se po steni spreminja

Produkt $\sigma_{cw,i} \cdot t_i = \text{konst.}$ po obodu

→ Iz ravnotežja „vertikalnih“ sil v vozlišču 1
dobimo $F_{sw,i}$ v prečni smerenosti armature
i-te stene

$$F_{sw,i} = F_{cw,i} \cdot \sin \alpha = q_t \cdot z_i$$

→ $F_{sw,i}$ v odvisnosti od torzijskega momenta

$$F_{sw,i} = \frac{T \cdot z_i}{2 \cdot A_k}$$

→ $F_{sl,i}$ = HORIZONTALNA KOMPONENTA SILE V TLAČNI RAZPORI ($F_{sw,i}$)
 i -TE STENE

$$F_{sl,i} = F_{sw,i} \cdot \cos \alpha = \frac{q_t \cdot z_i \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha} = q_t \cdot z_i \cdot \cot \alpha$$

$$F_{sl,i} = \frac{T \cdot z_i}{2 \cdot A_k} \cdot \cot \alpha \quad \dots \text{v odvisnosti od torzijskega momenta}$$

→ Celotna sila v vzdolžni materialni armaturi po vsem oboem

$$F_{sl} = \sum F_{sl,i} = \sum \frac{T \cdot z_i}{2 \cdot A_k} \cdot \cot \alpha = \frac{T \cdot \cot \alpha}{2 \cdot A_k} \cdot \sum z_i$$

→ Obseg plošče A_k označimo z u_k

(A_k je omejeno s srednjicami sten = vsota dolzin stranic ($\sum z_i$))

$$F_{sl} = \frac{T \cdot \cot \alpha}{2 \cdot A_k} \cdot u_k$$

5

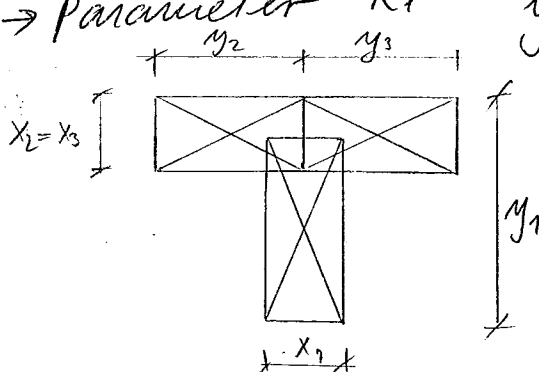
(26) RAČUN MEJNE ODPORNOSTI IN DIMENZIONIRANJE AB
ELEMENTOV GLEDE NA TORZIJO PO STANDARDU
SIST EN 19 2-1-1

A) PREDPOSTAVKE IN POENOSTAVITVE

- 1.) Torzijska odpornost elementa se izračuna na podlagi
ODPORNOSTI ZAPRTEGA TENKOSTENSKEGA ŠKATLASTEGA
PREREZA, pri katerem ravno teže zagotavljamo z
zaprtim stržnim tokom (malomenen torzijs)
- 2.) VOTLI PREREZI $\Rightarrow$ upoštevamo debeline $\leq$ dejanske
debeline stene
- 3.) POLNI PREREZI $\Rightarrow$ se modelirajo z nadomestnimi
tankostenskimi škatlastimi prerezi
- 4.) PREREZI RAZČLENJENIH OBLIK (T-prerezi) $\Rightarrow$ razdelimo na
pravokotne podprereze, ki se modelirajo z ustreznimi
tankostenskimi prerezi.
(Podpre se formula tako, da je dosežena največja
možna vsota torzijske togosti podprezov)

$\rightarrow$ Razdelitev delujočega torzijskega momenta T_{ed} na
podprereze $T_{ed,i}$ mora biti sorazmerna torzijskim
togostim posameznih podprezov v nerazpokanem
stanju

$\rightarrow$ Parameter $k_i = \frac{x_i}{y_i}$ (odvisen od tega razmerja)



$$T_{ed,i} = T_{ed} \frac{k_i \cdot x_i^3 \cdot y_i}{\sum k_j \cdot x_j^3 \cdot y_j}$$

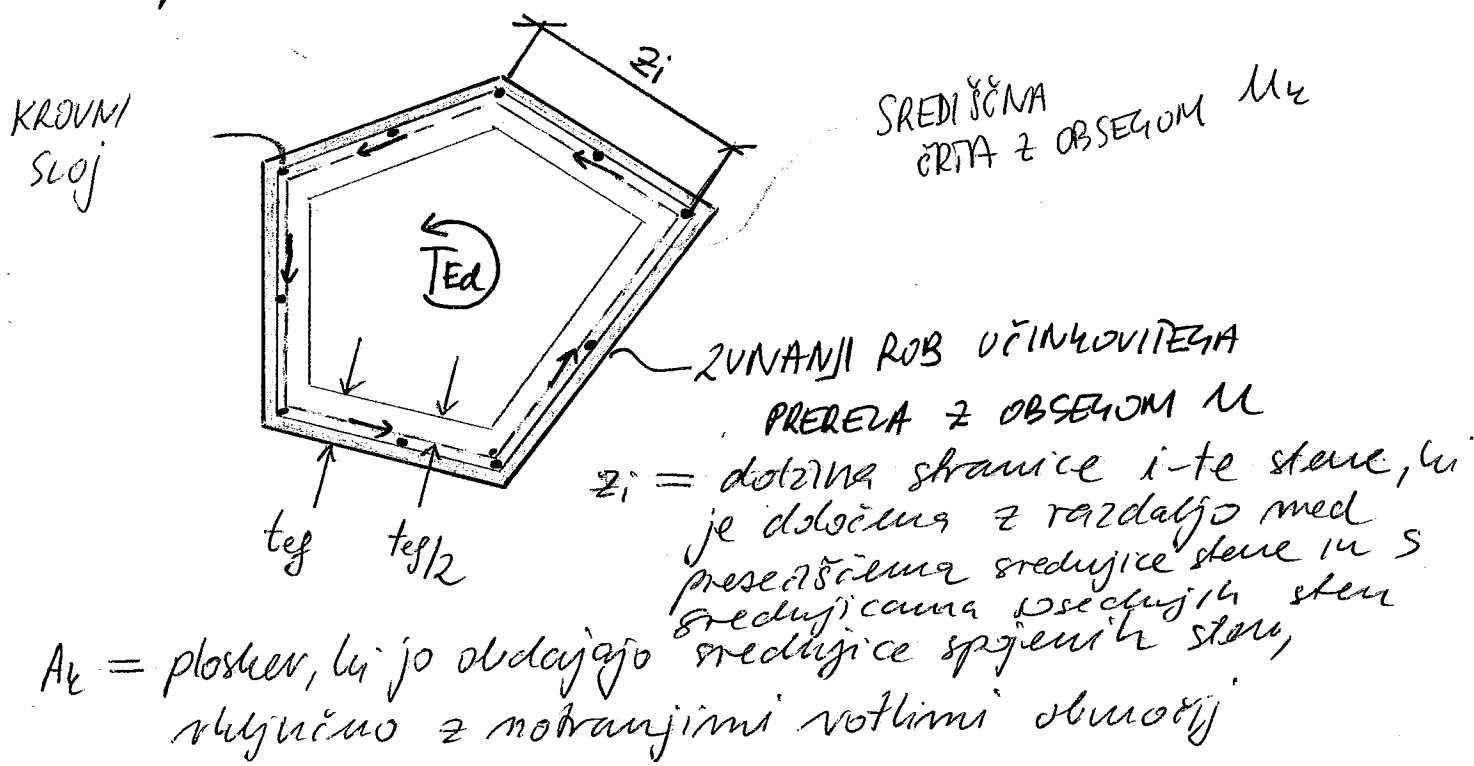
$$x_i \leq y_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$$

$$k_i = \frac{1}{3} \left[1 - 0.63 \frac{x_i}{y_i} \left(1 - \frac{x_i^4}{12 \cdot y_i^4} \right) \right]$$

→ Celotno torzijsko odpornost prereza T_{rd} : se določi z vsoto torzijskih odpornosti T_{rdi} posameznih podprerezov ($i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$)

$$T_{rd} = \sum T_{rdi}$$

5) RAČUN TORZIJSKE ODPORNOSTI IN DIMENZIONIRANJE PLOVNIH IN VOTRIH PREREZOV → uporabi se naslednji zaprti tenkostenski presek)



$\tau_{t,i}$ = torzijska strižna napetost v i -ti steni

tef,i = učinkovita debelina stene (i -te) za katero se lahko vrne: $tef = A/u$ (neodvisno od oddaljenosti težišča od stene oziroma od roba prereza,

Pri votlih prerekih pa je zgornja meja učinkovite debeline dejanska debelina stene

A = celotna ploskev prečnega prereza vključno z notranjimi območji

u = zunanji obseg prečnega prereza.

B) POSTOPEK DIMENZIONIRANJA V PRIMERU KOMBINACIJE TORZIJE IN PREČNE SILE

- Medeni torzije in prečne sile pri votlih in polnih elementih lahko sypadejo
- Pri dim. se v obeh primerih privzame enaki materialni tlačni razp. σ
- Omejitve kota so podane v STAND. SISTEN 1992-1-1
 $1 \leq \cot \alpha \leq 2,5$
- Max odpornost elementa, ki je reprezentirjen torziji v kombinaciji s prečno silo, je omejena z odpornostjo nekonsolidiranih razp. izpolnjen mora biti pogoj:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1,0$$

T_{Ed} = projektni torzijski moment

$T_{Rd,max}$ = projektna torzijska odpornost $T_{Rd,max} = \frac{1}{11} \frac{A_{tw} \cdot f_{ctd} \cdot A_{ef} \cdot f_{yk,min} \cdot \cot \alpha}{1 + \cot^2 \alpha}$

V_{Ed} = projektna prečna sila

$V_{Rd,max}$ = projektna odpornost glede prečne sile $V_{Rd,max} = A_{cw} \cdot k_w \cdot 2 \cdot f_{ctd} \cdot \cot \alpha + \cot \alpha$

$V_{Rd,max} = A_{cw} \cdot k_w \cdot 2 \cdot f_{ctd} \cdot \cot \alpha + \cot \alpha$

- Potrebno streženstvo in vzdolžno armaturo dodatno ločeno za prečno silo $A_{sw}(V_{Ed})$ in ločeno za torzijo $A_{sw}(T_{Ed})$ ter obe skupaj nameštimo v element

Pri približno pravokotnih prerezih se zahteva le min armatura pod pogojem, da je izpolnjen pogoj:

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,c}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,c}} \leq 1,0$$

$$T_{Rd,c} = 2 \cdot A_{ef} \cdot f_{ctd} \cdot f_{yk,min}$$

$T_{Rd,c}$ = moment, pri katerem se pojavijo prve razpoke

$V_{Rd,c}$ = odpornost glede stržnih razpok glede prečne sile.

→ vzdolžna torzijska armatura mora biti na splošno
ENAKOMERNO RAZPOREJENA vzdolž dolgi strani čez,
pri majhnih preceh pa se lahko skoncentrira
na koncih teh dolžin

→ V hlajenih pasovih se lahko preme vzdolžne
armature zmanjša v sorazmerju z razpoložljivo
hladno silo (prav pri različnih kombinacijah
obtočitih primerov)

→ v natrjenih pasovih je treba krajšo vzdolžno
armaturo DODATI k ostali vzdolžni armaturi.

(Bk - 10 del / str. 11, 12, 13)

28 a) IZHODISKA ZA IZPELJAV IZRAZOV ZA DOLOČANJE ODPORNOSTI GLEDE TORZIJE
NA PODLAGI NADOMESTNEGA PALICJA

Pri računu mejne torzijske nosilnosti AB elementov izhajamo iz mejne nosilnosti nadomestnega prostorskega palicja, ki ga sestavljajo razmerna palicja v rednih razmikih ter izkabljenega oziroma nadomestnega izkabljenega premera v primeru polnih premerov.

Prostorbo palicji sestavljajo:

- tlačne betonske rozpe pod kotom α
- materna stremena A_{sw}
- vzdolžna armatura A_{sl}

NADALJEVANJE

b) IZRAZI ZA DIMENZIONIRANJE IZ STANDARTA

5 tega medijo 3 omejitve glede nosilnosti elementov:

- Mejna torzijska odpornost, ki jo določa nosilnost tlačnih rozpor

$$T_{Rd,max} = \frac{2 \cdot \alpha_{cw} \cdot V \cdot F_{cd} \cdot A_k \cdot t_{eff,min} \cdot \cot \alpha}{1 + \cot^2 \alpha}$$

- Mejna torzijska odpornost, - 1 - prečne stične armature

Potrebni prezet stremenske armature na enoto dolžine ($A_{sw/s}$)
Z A_{sw} smo označili prezet enega stremena

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{T_{Ed}}{2 \cdot A_k \cdot \cot \alpha \cdot f_{ywd}}$$

Ta izraz dobimo iz mejne sile police če upoštevamo pogoje plastifikacij:

$$T_{Rd,sw} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 2 \cdot A_k \cdot \cot \alpha \cdot f_{ywd}$$

- Mejna torzijska odpornost, ki jo določa nosilnost vzdolžne torz. armat.

Vzdolžna torzijska armatura mora biti na splošno enakomerno razporejena vzdolž dolžin stanic.

- Celotna sila n vzdolžni armaturi zapisemo:

$$F_{ed,se} = \frac{\sum A_{se} \cdot f_{yd} \cdot 2 \cdot A_k}{U_k \cdot \cot \alpha}$$

g. če enake dobimo ~~preko~~ preko vzdolžne armature

$$\frac{\sum A_{se}}{U_k} = \frac{T_{ed} \cdot \cot \alpha}{2 \cdot A_k \cdot f_{yd}}$$

NADALJEVANJE a)

Pri določanju torzijske in mejnih stanj upoštevamo:

- 1.) Strizna armatura - projektna ~~elastičnost~~ meja elastičnosti $\sigma_{sw} = f_{ywd}$
- 2.) Vzdolžna armatura - projektna meja el. : $\sigma_{sl} = f_{ydl}$
- 3.) Nateglost betona v tlačnih razporedih upoštevamo:

$$\sigma_{cw} = \alpha_{cw} \cdot V \cdot F_{ed}$$

$$V = 0,6 \left(1 - \frac{f_{ck} [MPa]}{250} \right)$$

$$\alpha_{cw} = 1 \quad \leftarrow \text{BETON NI PREDNAPET}$$

- 4.) Torzijska odpornost tlačnih razpor - oznaka $T_{Rd,max}$
- 5.) Torzijska odpornost prečne strež. arm. - oznaka $T_{Rd,sw}$
- 6.) Torzijska odpornost vzdolžne strež. ar. - oznaka $T_{Rd,sl}$
- 7.) Debelina stene pri tlačnih razporih - za debelino t_i vzamemo $t_{eff,min}$

BK (Model; str 1)

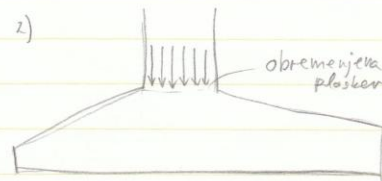
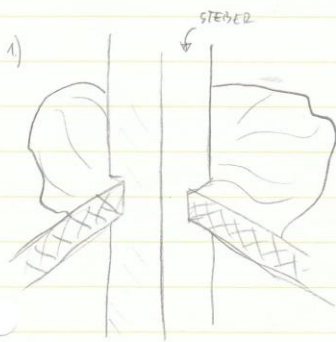
29) a) SPLOŠNA PREDSTAVITEV

Pod prebojem razumemo takšen primer stranske obremenitve, ki povzroči iztrganje prisrkanega stožca iz ploščatega betonskega elementa.

Strig pri preboju ploščatih elementov se lahko pojavi zaradi koncentrirane obteže ali raskaji robova, ki deluje na majhni plošni imenovani A_{load} .

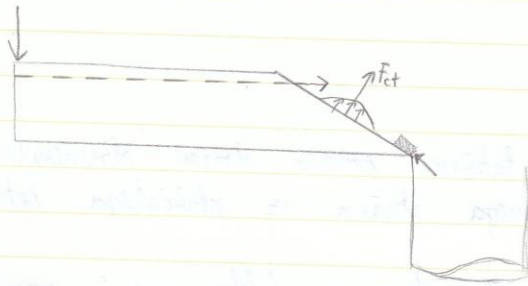
b) PRIMERI NEVARNOSTI PREBOJA

Značilna primera kjer obstaja nevarnost preboja so polne gladke plošče podprete dveh in več stebri in temelji stebrov.

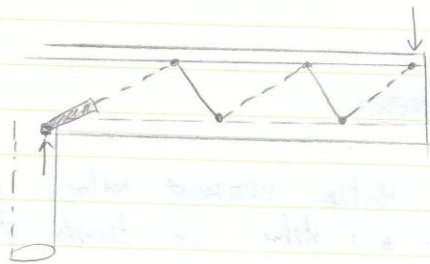
c) MEHANSKI MODELI

Mehanski modeli za določanje odpornosti ploščatih elementov glede preboja so bili razviti na podlagi eksperimentalnih raziskav. V novejšem času se te modeli dopolnjujejo s s modeli z vezmi in razporami.

29 c) ① model z waterno tchnostjo



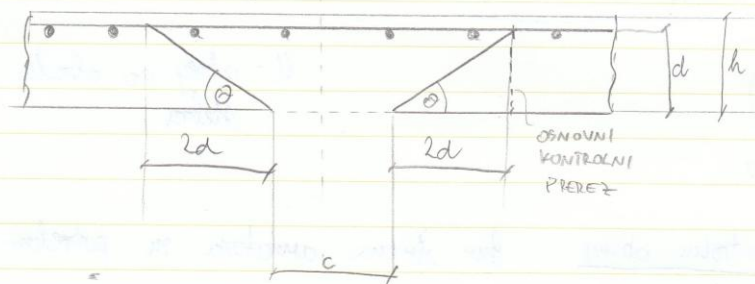
② model Kinnunen/Nylander dopolnjen z modelom z vezm in razporam



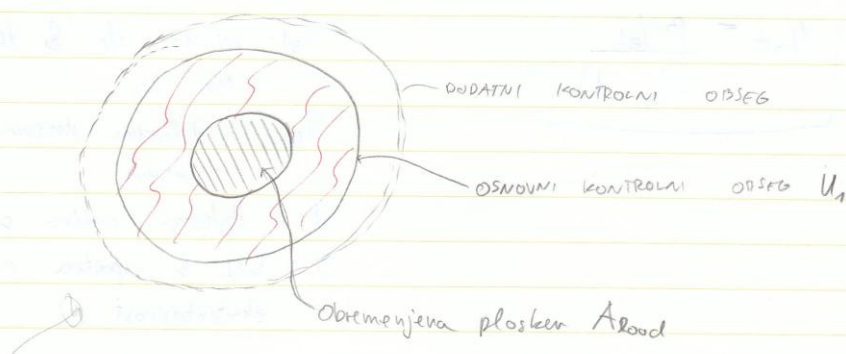
Bk (Model; str. 2, 3, 4, 5)

30 a) PREDSTAVITEV USTREŽNEGA MODELA

Pravila navedena v SIST EN 1992-1-1 so načelno primerna za primer zvezno razporejene obtebe na gladkih ploščah na stebrih.



Strmo odpornost je treba preveriti ob robu stebra in v osnovnem kontrolnem obsegu U_1 . Če je potrebna strma armatura moramo poiskati dodatni obseg U_{out} oz. $U_{out,ef}$ v katerem arm. ni potrebna.



(TA SKICA SE LAHKO DODA K TOČKI b))

b) KONTROLNI OBSEG

① Osnovni (Vgotavljanje potrebe po stržni armaturi)

Za osnovni kontrolni obseg se privzame, da je na oddaljenosti $2d$ od obremenjene plosce, oblikovati pa ga je treba tako, da je njegova dolžina najmanjša.

$$u_1 = u_0 + 2\pi d = \boxed{u_1 = 2 \cdot (h_s + h_{s'}) + 2\pi \cdot 2d}$$

$$d = d_{\text{eff}} = \frac{d_y + d_z}{2}$$



u_0 - obseg po obodu stebra

② Dodatni kontrolni obseg, kjer stržna armatura ni potrebna - M_{out} (ali $M_{\text{out,eff}}$).

Najbolj zunanjo mesto stržne armature je treba namestiti znotraj obsega M_{out} tako, da njena oddaljenost ne presega $1,5d$.

$$\boxed{M_{\text{out}} = \frac{\beta \cdot V_{\text{ed}}}{(V_{\text{Rd,c}} \cdot d)}}$$

• V_{ed} - prečna sila, ki deluje na M_1

• $V_{\text{Rd,c}}$ - določena stržna trdnost betona

• d - statična vsilna plosč

• β - kof. ki upošteva možno ekscentričnost

2) c) KRITERIJI ZA DOLOČANJE ODPORNOSTI:

1) Odpornost glede tlačnih razpor:

Ob obodu stebra največja stlačna napetost V_{ed} ne sme biti večja od projektne stlačne odpornosti $V_{Rd,max}$:

$$V_{ed} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{ed} = \beta \cdot \frac{V_{ed}}{M_0 \cdot d}$$

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot V \cdot f_{cd}$$

• V_{ed} - prečna sila, ki deluje na M_0

• V - redukcijski faktor tlačne nosilnosti razpojanega betona

$$V = 0,60 \cdot \left(1 - \frac{f_{ctk}}{250}\right)$$

2) Prebojna stlačna odpornost brez stlačne armature

Kadar V_{ed} v kontrolnem obsegu stopnih plosč ne presega $V_{Rd,c}$ stlačna armatura proti preboju ni potrebna

$$V_{ed} = \beta \cdot M_0 \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ctk})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \rho_{cp}$$

0,18 - koeficient

$$C_{Rd,c} = \frac{f_{ctk}}{1 + \sqrt{\frac{200}{d}}}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_{ly} + \rho_{lx}} \leq 0,02$$

$$\rho_{cp} = \frac{\rho_{cy} + \rho_{cx}}{2}$$

3) Prebojna stlačna odpornost s stlačno armaturo

Kadar V_{ed} presega $V_{Rd,c}$ je potrebna stlačna armatura: bi jo izračunamo z enačbo:

$$A_{sw} = \frac{(V_{ed} - 0,75 V_{Rd,c}) \cdot M_0 \cdot d}{1,5 \left(\frac{d}{s_r}\right) \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha}$$

• α - kot med stlačno arm. in plosčjo

$$f_{ywd} = 250 + 25 \cdot d$$

• s_r - radialna medsebojna oddaljenost stlačne arm.