

12) PRORAČUN PREMA GRANIČNIM STANJIMA (OSNOVNA NAČELA)

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI konstrukcije ili elementa konstrukcije podrazumeva takvo stanje pri kome se gubi sposobnost daljeg nošenja spoljnog opterećenja ili stanje stanje pri kome usled delovanja spoljnog opterećenja nastaje lom konstrukcije ili lom nekog njenog dela.

Opterećenje koje je konstrukciju dovelo u ovakvo stanje zove se GRANIČNO opterećenje

OSNOVNE pretpostavke proračuna prema graničnim stanjima:

- 1) Bernulijeva hipoteza o ravnom preseku u različitim stanjima loma
⇒ dilatacija po visini poprečnog preseka se raspoređuje linearno
- 2) Celokupne napone zatezanja prima armatura dok beton prima isključivo napone pritiska. [hipoteza o aktivnom preseku]
- 3) Veza betona i armature nije narušena čak ni u stanju loma (dobra adhezija ova dva materijala)
- 4) VEZA NAPONA I dilatacije σ - ϵ se aproksimira RAVNIM DIJAGRAMIMA RDB i RDC

Betonski nosač sistema prosta greda koji se postepeno opterećuje posle:

- STAJA I ⇒ elastična staja, betonski presek homogen, bez praznina, proporcionalni ugibi
- STAJA II ⇒ kada naponi zatezanja u zategnutom delu betona dostignu čvrstoću pri zatezanju ⇒ dolazi do pojave praznina, sve do $\approx (0,3 \div 0,4) f_{tk}$ u pritisnutoj zoni kada nastaje staja stabilizacije praznina ⇒ postojeće se proširuju, ne nastaju nove. Neutralna linija se pomera ka pritisnutoj ivici pp. a praznine se produžuju do nje.
- STAJA III ⇒ STAJA LOMA NOSAČA:

KARAKTER SAMOG LOMA ZAVISI od količine i mehaničkih karakteristika glavne armature

- 1) kod normalnih procenata armiranja lom uglavnom nastaje dostizanjem f_{yk} u armaturi.
Armatura se plastifikuje ⇒ počinje da teče i stvaraju se drastični ugibi nosača
Ovaj lom se naziva NAZARENI lom ili lom po armaturi, **u ovom slučaju napon u armaturi nije dostigao granicu kidanja nosač ispada iz upotrebe zbog velikih ugiba.**
- 2) kod visokih procenata armiranja napon u armaturi ne dostiže granicu f_{yk} , već do loma dolazi usled dostizanja čvrstoće betona u pritisnutoj ivici preseka. Ovaj lom nastaje iznenađeno ⇒ tzv. KRTI lom ili lom po betonu.
- 3) lom koji nastaje usled istovremenog iscrpljenja nosivosti i (pritisnutog) betona i zategnute armature se naziva SIMULTANI lom
lom može nastati i kao posledica naglog skoka napona u zategnutoj armaturi u preseku na mestu praznine ukoliko je stvarni % armiranja manji od minimalnog zbog toga se presek uvek mora armirati bar sa k_{min} % armiranja.

18) PRORAČUN I KONSTRUISANJE jednostruko ARMIRANIH pravougaonih preseka opterećenih ekscentričnom silom zatezanja u oblasti velikog ekscentriciteta. A.B. preseki opterećeni ekscentričnom silom zatezanja u oblasti velikog ekscentriciteta su oni kod kojih ~~se~~ sila zatezanja deluje izvan betonskog preseka odnosno napadna tačka sile se ne nalazi između težišta gornje i donje armature. Neutralna linija je u preseku. Proračun se sprovodi na identičan način kao i kod ekscentrično pritisnutih elemenata, s tim što je po usvojenoj konvenciji sila zatezanja negativna.

$$M_{au} = M_u - Z_u \left(\frac{d}{2} - a_1 \right)$$

$$h = k \sqrt{\frac{M_{au}}{b f_b}} \Rightarrow \left[A_{a1} = \bar{k}_1 b h \cdot \frac{f_b}{\sigma_v} + \frac{Z_u}{\sigma_v} \right]$$

Dimenzionisanje se sprovodi kao slobodno i^o vezano
 → slobodno iterativni postupak određivanja visine d za koje je zadovoljen uslov ravnoteže sila
 → vezano na osnovu usvojenih podataka SRAČUNAVANO $k \Rightarrow$ TABELA $\Rightarrow \bar{k}_1 \Rightarrow A_{a1}$

19) Proračun i konstruisanje dvostruko armiranih pravougaonih preseka opterećenih ekscentričnom silom pritiska u oblasti velikog ekscentriciteta.

Ukoliko se pri proračunu preseka opterećenog na složeno savijanje tj. preseka opterećenih na ekscentričnu silu pritiska u oblasti velikog ekscentriciteta dobije $\epsilon_{s1} \leq 3\%$ presek se dvostruko armira.

Usvajamo deformacije jednostruko armiranog preseka, najčešće $\epsilon_{s1}^* = 3.0\%$ i $\epsilon_b = 3.5\%$ i na osnovu toga iz tablica očitamo k^* i $\bar{\mu}_1^*$. Na osnovu ovoga računamo moment nosivosti jednostruko armiranog preseka M_{abu} i moment koji prihvataju pritisnuta i dodatna zategnuta armatura ΔM_{au}

$$M_{abu} = \left(\frac{h}{k^*}\right)^2 \sigma_b f_b \Rightarrow \Delta M_{au} = M_{au} - M_{abu}$$

ukupna površina zategnute armature se računa kao:

$$A_{a1} = \bar{\mu}_1^* \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_b}{\sigma_v} + \frac{\Delta M_{au}}{\sigma_v (h - a_2)} - \frac{N_y}{\sigma_v}$$

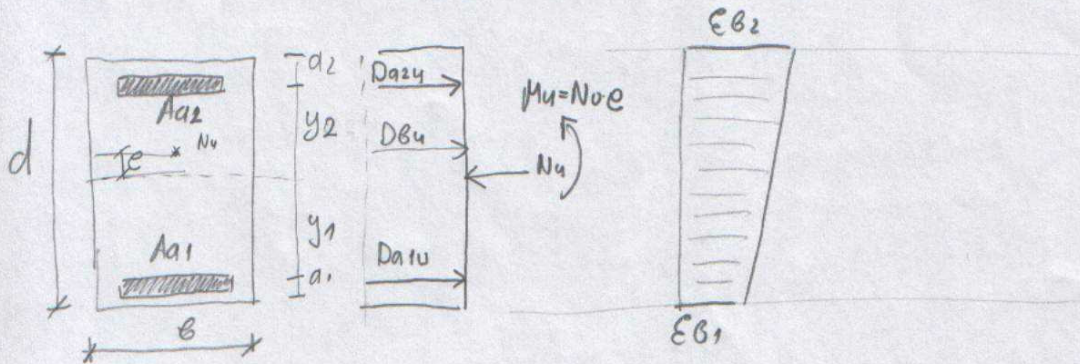
potrebna površina pritisnute armature:

$$A_{a2} = \frac{\Delta M_{au}}{\sigma_v (h - a_2)}$$

Ukoliko na presek deluju alternativna opterećenja presek se obavezno armira simetrično (dvostruko $A_{a1} = A_{a2}$). Dvostruko armiranje se može koristiti ukoliko postoji potreba za povećanjem duktilnosti \Rightarrow čine se savijanjem

20) PRORAČUN I KONSTRUISANJE EKSCENTRIČNO PRITISNUTIH ELEMANATA
u oblasti malog ekscentriciteta (bez izvijanja $\lambda \leq 25$)

A.B. presek koji je opterećen silom pritiska u oblasti malog ekscentriciteta je ~~pritisnut~~ pritisnut celom površinom poprečnog preseka. Usled ekscentrične sile n-n linija se ~~nalaze~~ nalazi izvan preseka a oblik dijagrama dilatacije je trapezan. Ovakvi preseki zahtevaju simetrično armiranje a najbolji način za njihovo dimensionisanje je uz pomoć dijagrama interakcija. dilatacije u betonu se kreću u granicama $0 < \epsilon_{B1} < 2\%$ i $2 < \epsilon_{B2} \leq 3,5\%$. U ovoj oblasti se primenjuju maksimalni koeficijenti sigurnosti zbog opasnosti od krutog loma



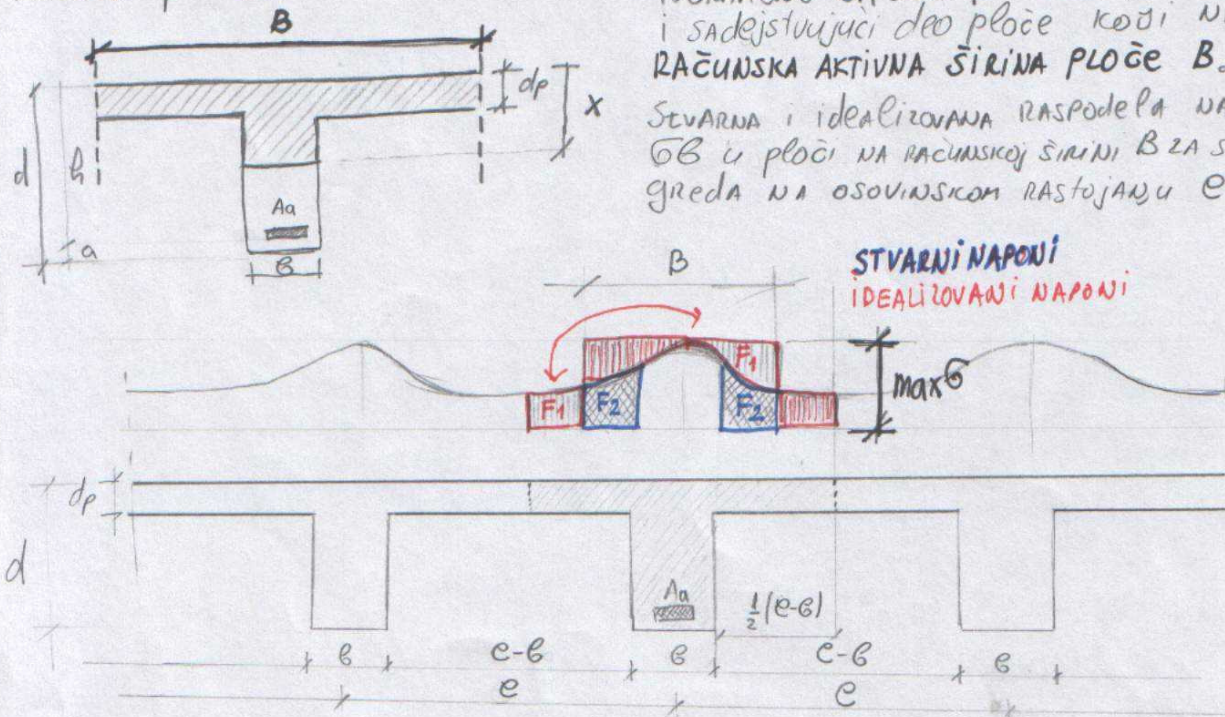
Ovakvi preseki se obično armiraju sa koeficijentom armiranja $0,8\% \leq \mu \leq 3,0\%$. Ali pošto beton dobro „prima“ napone pritiska, i iz ekonomskih razloga najčešće se koristi $\mu \approx 0,8 \div 1,0\%$.

21) PRORAČUN I KONSTRUISANJE „T“ PRESEKA OPTEREĆENIH NA ČISTO SAVIJANJE (SLUČAJ B > 5b)

Nosač T poprečnog preseka čina A.B. greda (REBRO) koja je u svom pritisnutom delu **monolitno** vezana sa pločom. Na ovaj način se beton kao materijal optimalno koristi jer se u pritisnutoj zoni preseka nalazi velika masa betona koja odlično prihvata pritisak.

Normalne napone pritiska prihvataju rebro i sadejstvujući deo ploče koji nazivamo **RAČUNSKA AKTIVNA ŠIRINA PLOČE B**.

Stvarna i idealizovana raspodela napona pritiska σ_b u ploči na računskoj širini B za slučaj n.2a greda na osovinskom rastojanju e su nastali



Do izvesnog nivoa opterećenja monolitnost veze (ploča-rebro) obezbeđuje se naponima smicanja na spoju ploče i rebra a zatim se ona veća održava armiranjem upravno na pravac grede

Aktivna širina B, na kojoj se vrši osrednjavanje napona se prema pravilniku BAB 89 usvaja kao

$$B = \min \begin{cases} B + 20 \cdot dp \leq e \\ B + 0,25 \cdot e_0 \leq e \end{cases} \text{ gde je } e_0 \text{ rastojanje nultih tačaka dijagrama momenta na delu nosača gde je ploča pritisnuta.}$$

Ploča kod T preseka može biti i nesimetrična ili samo sa jedne strane rebra pa takvu vrstu nosača nazivamo Γ presek. B za Γ presek se usvaja kao

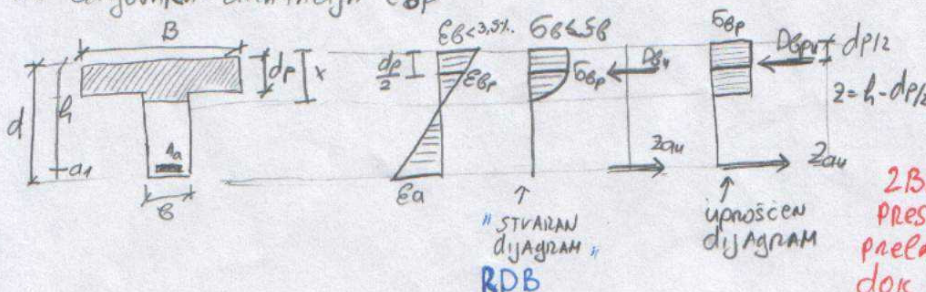
$$B = \min \begin{cases} B_1 + B + 8 dp \leq 0,5 e \\ B_1 + B + 0,25 e_0/3 \leq 0,5 e \end{cases}$$

Nosači T ili Γ preseka se računaju kao pravougaoni $B \times d$ ako je:

- neutralna linija u ploči ($x \leq dp$) $\rightarrow B \times d$
 - neutralna linija u rebri ali je ploča u zategnutoj zoni
- Ali se u ovom slučaju proračun radi za $B \times d$ (kao pravougaoni presek)

U slučaju kada se neutralna linija nalazi u rebri T preseka uz zanemarivanje nosivosti malog dela pritisnutoj rebra proračun T preseka se značajno uprošćava, uz uslov da je **$B \geq 5b$**

Naime usvaja se da je napon koji deluje u ploči konstantan (σ_{bp}) i da deluje u srednjoj ravni ploče a da mu odgovara dilatacija ϵ_{bp}



greška koja nastaje uprošćajem proračuna je zanemarivanje zbog male površine pritisnutog dela rebra i malih vrednosti napona u tom delu.

2BOG VELIKE pritisnute površine preseka dilatacije u betonu retko prelaze vrednosti $\epsilon_b \pm 0,5 \div 1,5\%$ dok je $\epsilon_{a1} = 10\%$ i skoro uvek do čima dođe po armaturi -

SLOBODNO DIMENZIONISANJE T PRESEKA:

nepoznate A_a, d } \Rightarrow uslovi ravnoteže $\Sigma N = 0: \sigma_{bp} \cdot B \cdot d_p - A_a \cdot \sigma_v = 0$
 poznate (usvojene): B, σ, d_p } $\Sigma M_a = 0: \sigma_{bp} \cdot B \cdot d_p \cdot (h - \frac{d_p}{2}) = M_u$

usvajamo $\sigma_{bp} \approx [0.3 \div 0.75 \sigma_b] \Rightarrow h = \frac{M_u}{\sigma_{bp} \cdot B \cdot d_p} + \frac{d_p}{2}$

veće vrednosti napona σ_{bp} daju manju d sa više A_a .

$\frac{x_0}{\epsilon_{bp}} = \frac{h - d_p/2}{\epsilon_{bp} + \epsilon_a} \Rightarrow x_0 = \frac{\epsilon_{bp}}{\epsilon_{bp} + \epsilon_a} (h - \frac{d_p}{2})$

Ako je $x_0 < d_p/2 \Rightarrow$ ① \leftarrow NEUTRALNA LINIJA u ploči
 Ako je $x_0 > d_p/2 \Rightarrow$ ② \leftarrow NEUTRALNA LINIJA u rebru

① PRORAČUNAVAMO presek kao pravougaoni širine $B \Rightarrow k = \frac{4}{\sqrt{\frac{M_u}{B \cdot \sigma_b}}} \Rightarrow A_a = \sqrt{k} \cdot B \cdot h \cdot \frac{\sigma_b}{\sigma_v}$

② PRORAČUN ZA T presek $\Rightarrow A_a = \frac{\sigma_{bp} \cdot B \cdot d_p}{\sigma_v} = \frac{M_u}{\sigma_v \cdot (h - \frac{d_p}{2})}$

VEZANO DIMENZIONISANJE T PRESEKA:

nepoznate: σ_{bp}, A_a } \Rightarrow pretpostavka $a_1 \Rightarrow h$
 poznate: B, σ, d, d_p }

$\sigma_{bp} = \frac{M_u}{B \cdot d_p \cdot (h - \frac{d_p}{2})}$

$\epsilon_{bp} = 2 \cdot (1 - \sqrt{1 - \frac{\sigma_{bp}}{\sigma_b}})$; $\epsilon_a = 10\%$

$x_0 = \frac{\epsilon_{bp}}{\epsilon_{bp} + \epsilon_a} (h - \frac{d_p}{2})$

$x_0 < \frac{d_p}{2} \Rightarrow$ pravougaoni $B \cdot d$
 $x_0 > \frac{d_p}{2} \Rightarrow$ T presek
 $A_a = \frac{M_u}{\sigma_v \cdot (h - \frac{d_p}{2})}$

u ova slučaja dimenzionisanja potrebno je proveriti dilataciju u betonu:

$\epsilon_b = \epsilon_{bp} \cdot \frac{x_0 + \frac{d_p}{2}}{x_0} \leq 3,5\%$

ukoliko je $\epsilon_b > 3,5\%$ PRORAČUN SE PONAVLJA SA MANJIM σ_{bp} .

U PRAKSI se proračun sprovodi sa pretpostavkom da je $x_0 < d_p/2$ što je u većini slučajeva zadovoljeno pa se T presek dimenzioniše kao pravougaoni $B \times d$

Proračun T preseka kao pravougaonog $B \times d$ se može sa dovoljnom tačnošću sprovoditi čak i ako je n-n linija u rebru do visine $x \leq 1,25 d_p$.

NOSAČ T preseka se UVEK mora ARMIRATI BAR SA MINIMALNIM KOLIČINAMA ARMATURE KOJA ZAVISI od dimenzija T preseka.

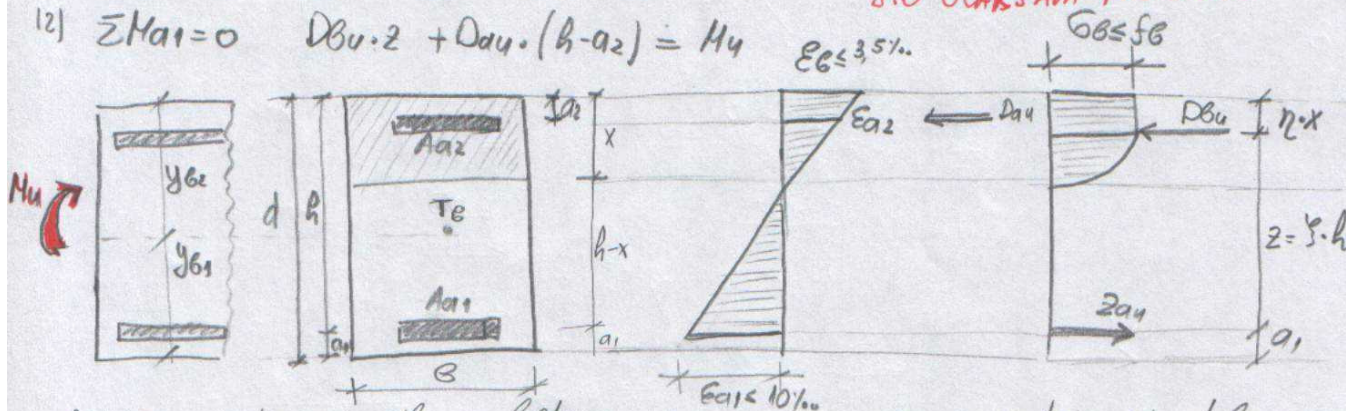
$A_{amin} = \kappa_{min} \cdot \frac{\sigma \cdot d}{100}$

gde je $\kappa_{min} \begin{cases} 0,25\% - GA \\ 0,20\% - RA \end{cases}$

22) Odrediti nosivost poznatog poprečnog preseka opterećenog na čisto savijanje

Uzeto za primer pravougaoni poprečni presek opterećen momentom savijanja usled čega je presek dvostruko armiran (ovo je proizvoljno - nemora A_{a2}) iz uslova ravnoteže unutrašnjih sila i momenta oko težišta A_{a1} dobijamo

$$\begin{aligned} 1) \sum N &= 0 & D_{bu} + D_{au} - 2a_u &= 0 & (*) \text{ Ako je } A_{a2} = 0 \Rightarrow D_{au} = 0 \\ & & & & \text{što olakšava proračun} \\ 2) \sum M_{A_{a1}} &= 0 & D_{bu} \cdot z + D_{au} \cdot (h - a_2) &= M_u & \epsilon_B \leq 3.5\% \end{aligned}$$



Zamenom unutrašnjih sila u betonu i armaturi u uslov ravnoteže 1) dobija se:

$$\sum N = 0 \quad b \cdot \eta \cdot b \cdot \epsilon_B + A_{a2} \cdot \epsilon_{a2} - A_{a1} \cdot \epsilon_{B1} = 0$$

Sve nepoznate veličine ovog izraza određujemo tako ako nam je poznat položaj n-n linije, dok se neke veličine očitavaju sa zadatog preseka.

Uz pomoć Bernulijeve hipoteze o ravnim presecima određujemo parametar S

$$S \geq 0.250 \Rightarrow \epsilon_B = 3.5\%$$

$$S \leq 0.250 \Rightarrow \epsilon_{B1} = 10\%$$

$$\epsilon_{a1} = \frac{1-S}{S} \cdot \epsilon_B$$

$$\epsilon_B = \frac{S}{1-S} \cdot \epsilon_{a1}$$

postupak se sprovodi iterativno, počevši od neke pretpostavljene vrednosti S, sve dok se ne zadovolji uslov ravnoteže (normalnih) unutrašnjih sila $\sum N = 0$

Kada se sa dovoljnom preciznošću odredi položaj n-n linije iz ravnoteže momenta oko zategnute armature (2) se sračunava tražena vrednost granicnog momenta nosivosti zadatog poprečnog preseka.

(*) Postupak je isti i za složeno savijanje stih što sa uslovi ravnoteže onda

$$1) \sum N = 0 \quad D_{bu} + D_{au} - 2a_u = N_u$$

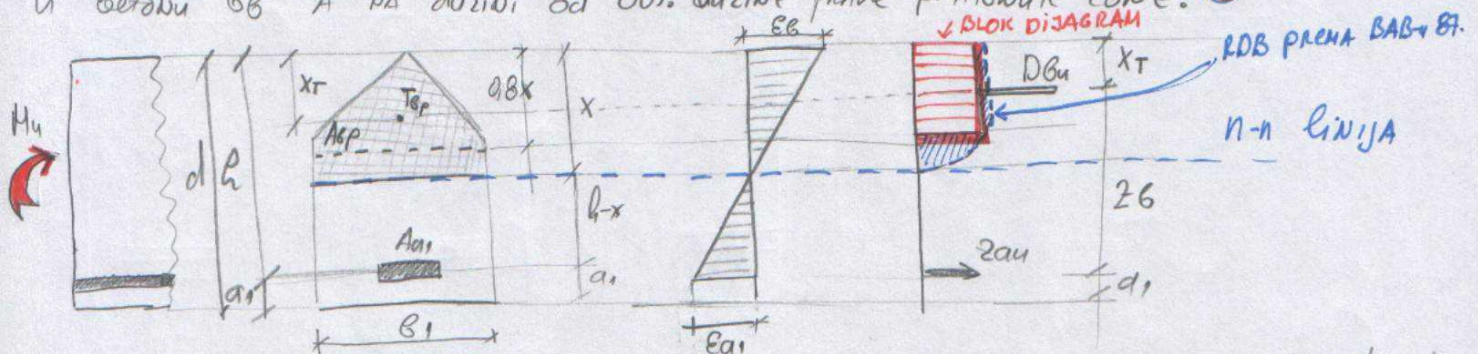
$$2) \sum M_{A_{a1}} = 0 \quad D_{bu} \cdot z + D_{au} \cdot (h - a_2) = M_{au} = M_u + N_u \cdot (y_{B2} - a_1)$$

$$\text{tražena nosivost preseka je } M_u = M_{au} - N_u \cdot (y_{B2} - a_1)$$

Postupak određivanja nosivosti poznatog poprečnog preseka se u praksi koristi kod adaptacija i rekonstrukcija.

23) Dimenzionisanje preseka sa nepravilnim oblikom pritisnute zone
primena blok dijagrama napona (kružni i trapezni poprečni presek)

PRAVILNIK BAB 87 je propisao primenu jednog dijagrama betona (RDB) u slučaju da je pritisnuta zona betona pravougaona. Ukoliko je pritisnuti deo betonskog preseka nepravilnog oblika (trougao, krug, trapez...) dolazi do komplikovanja pri proračunu sile pritiska u betonu. Zbog toga je BAB-on 87 dozvoljena primena uprošćenog dijagrama napona pravougaonog oblika sa konstantnim naponom pritiska u betonu σ_b a na dužini od 80% dužine prave pritisnute zone.



$D_{bu} = \sigma_b \cdot A_{bp} = d \cdot \sigma_b \cdot A_{bp}$ koja deluje u težištu površine A_{bp} na x_T od pritisnute ivice

BAB 87 dozvoljava primenu tzv. blok dijagrama (visine $0.8x$) umesto RDB
Ako je položaj neutralne linije unutar poprečnog preseka i ukoliko su dilatacije u granici $3 \leq \epsilon_b \leq 3.5\%$.

Propisima kao što je DIN (NEMAOK) se uvode koeficijenti korekcije d kojim se množi σ_b da bi se što bolje aproksimirao stvarni naponski dijagram.

Da bi se primena blok dijagrama proširila na slučajeve $\leq 3\%$ (značajno za icoso savijanje) uvode se koeficijenti redukcije uz pomoć dijagrama u zavisnosti da li se presek širi ili sužava od pritisnute ivice ka n-n liniji. Maksimalne vrednosti d su:

$d = 1.0$ ukoliko se presek sužava od pritisnute ivice ka n-n liniji. (trapez)

$d = 0.95$ ukoliko se presek širi od pritisnute ivice ka n-n liniji (krug)

Postupak dimenzionisanja se svodi na određivanju položaja neutralne linije iz uslova ravnoteže momenata ($\sum M_{a1}$). Postupak se sprovodi iterativno.

$$\sum N = 0 \Rightarrow D_{bu} - Z_{au} = N_u \Rightarrow A_{a1} = \frac{D_{bu} - N_u}{\sigma_s}$$

$$\sum M_{a1} = 0 \quad D_{bu} \cdot z_b = M_{au} = M_u + N_u(y_{b1} - a_1)$$

$$D_{bu} = \sigma_b \cdot A_{bp} = d \cdot \sigma_b \cdot A_{bp} \Rightarrow \text{položaj } z_b = h - x_T$$

* koeficijent d se ne mora uzeti u obzir ako je $3 \leq \epsilon_b \leq 3.5\%$.

Dimenzionisanje kružnog i trapeznog preseka se svodi na geometrijski problem određivanja A_{bp} i x_T i u zavisnosti od oblika A_{bp} usvajanje d . Celokupna problematika je u određivanju σ_s , odnosno položaj n-n linije.

(24) Dimenzionisanje preseka pomoću interakcionog dijagrama $M_u - N_u$

Dijagrami interakcije predstavljaju grafičku interpretaciju granične nosivosti preseka i mogu se koristiti za citavu oblast naprezanja M_u i N_u ili M_u i E_u .

Dijagram interakcije je savršen način za dimenzionisanje ili kontrolu granične nosivosti ekscentrično pritisnutih elemenata jer daje interakciju (veru) M_u i N_u .

Konstrukcija dijagrama:

Za usvojeno $b, d, A_{s1}, A_{s2}, a_1, a_2, f_b, \sigma_v$ bira se stanje graničnih dilatacija u preseku. Sa poznatih dilatacija potpuno je određen položaj unutrašnjih sila i pritisnutog/zategnutog dela preseka. Iz uslova ravnoteže se dolazi do M_u i N_u za koje je presek došao u granično stanje za odabrane dilatacije. Ponavljanjem postupka za različite odnose dilatacija dobija se niz tačaka koje odgovaraju usvojenom procentu armiranja. Ove prave opisuju granično stanje naprezanja M_u i N_u za zadati presek i mehaničke karakteristike materijala.

Variranjem količine armature u preseku dobija se familija krivih u funkciji mehaničkog koeficijenta armiranja.

Dijagrami su uopšteni uvodjenjem odnosa b/d i a/d a prikazuju se u bezdimenzionalnom koordinatnom sistemu $M_u - N_u$. Takođe kvalitet čelika i marka betona su funkcija m_u i n_u .

Dijagrami interakcija se mogu proširiti i za centričan pritisak i zatezanje. Ovim dijagramima se ne prikazuje stvarno stanje preseka pri čemu već konvencionalna - računaska nosivost preseka.

Sigurnost u odnosu na lom preseka je zadovoljena kada je granična nosivost preseka veća ili jednaka nosivosti tog preseka za granične uticaje odnosno ako se granični uticaji m_u i n_u nalaze unutar površine ograničene krivom (za određeni mehanički koeficijent armiranja) i koordinatnim osama.

$$m_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_b}$$

$$n_u = \frac{N_u}{b \cdot d \cdot f_b} \Rightarrow \text{BOC u D.I.} \Rightarrow \bar{n}$$

$$A_s = \bar{n} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_b}{\sigma_v}$$

$$\Rightarrow \text{provera odnosa } \epsilon_s / \epsilon_b \Rightarrow \text{provera } f_{ui}$$

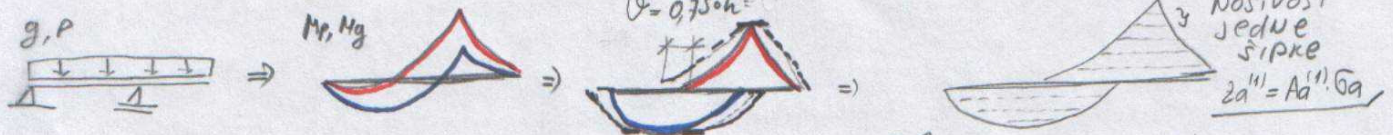
(25) Proračun i konstruisanje grednih nosača
(linija zatežućih sila i vođenje podužne armature)

Gredni nosač je linijski element, uglavnom pravougaonog ili T preseka, opterećen najčešće momentom savijanja. U nosaču razlikujemo 3 tipa armature:

- Podužnu (glavnu) armaturu koja ide duž nosača i prihvata napone zatezanja
- Poprečnu armaturu koja služi da ukruči nosač i prihvati T, ME uticaje
- Ikošo povijenu armaturu.

Podužnu armaturu u nosaču sračunavamo za najopterećenije preseke dok se u ostalim presecima armatura raspoređuje u odnosu na liniju zatežućih sila. Liniju zatežućih sila konstruišemo iz dijagrama momentata M na osnovu jednakosti $z = 0.8 \cdot h \approx 0.9 \cdot h$

$$Z_{du} = A_a \cdot \sigma_v = \frac{M_{du}}{\sigma \cdot R} - N_u \approx \frac{M_{du}}{0.9 \cdot h} - N_u \quad \text{odnosno} \quad Z_{du} = \frac{M_u}{0.9 \cdot h} \quad \text{za } N_u = 0$$



NAKON KONSTRUKCIJE DIJAGRAMA ZATEŽUĆIH SILA DA BI BILI NA STRANI SIGURNOSTI PREMA BAB-u 87. TRANSIRAMO DIJAGRAM U OBE STRANE ZA PO $0.75 \cdot h$ ČIME SE STVARA NOVI DIJAGRAM NA OSNOVU KOGA GRAFIČKIM PUTE RASPOREĐUJEMO ŠIPKE ZATIM SE ZA USVOJENI PREČNIK ŠIPKE SRAČUNAVA KOLIKU SILU MORE DA PRIHVA JEDNA ŠIPKA I Onda se GRAFIČKIM PUTE UKIDAJU ŠIPKE PO PRESEKU NA MESTIMA GDE SU „VIŠAK“, VODEĆI RAČUNA DA SE SVAKA ŠIPKA U ODNOSU NA DUŽINU IZ LINIJE ZATEŽUĆIH SILA MORA PRODUŽITI ZA DULJINU SIDRENJA. UKIDANJE ŠIPKI SE RADI SIMETRIČNO TJ. PARAN BROJ ŠIPKI.

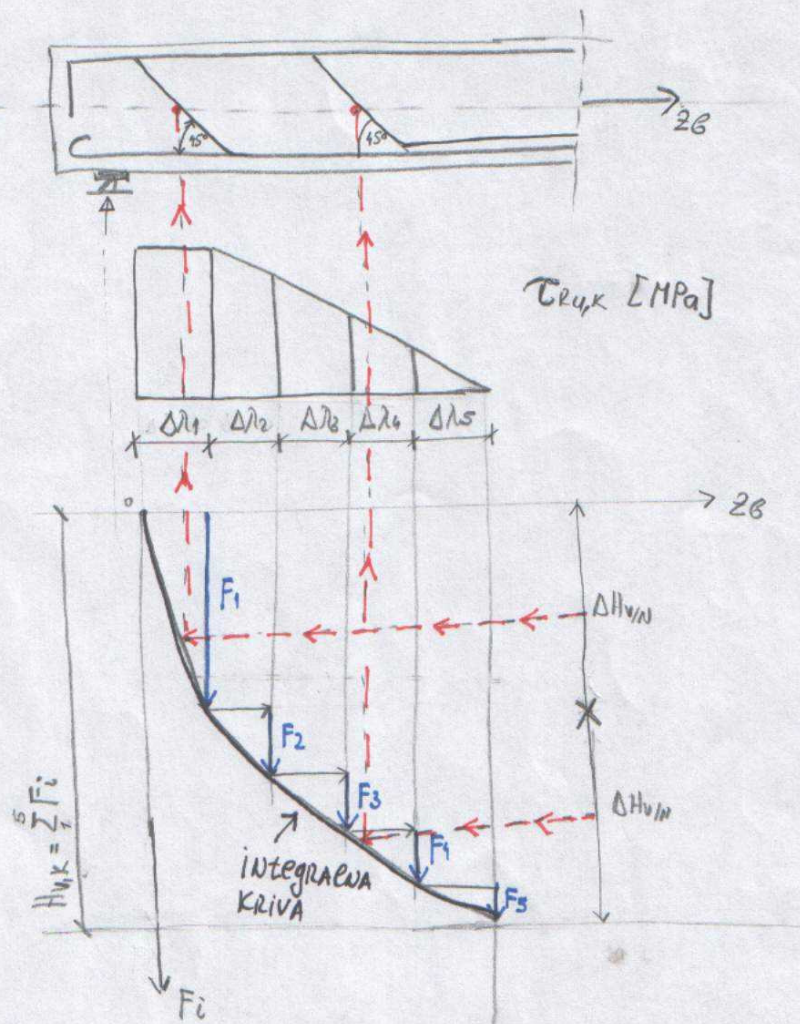
26. Grafičko određivanje mesta povišanja kose armature (integralna kriva)

Mesto povišanja koso povišenih podužnih profila se može odrediti iz integ. krive. Naime iz dijagrama τ_{yk} koji izdelimo na određen broj delova i računamo vrednost sile F_i na određenom delu. Treba napomenuti da se tačnost povećava ukoliko dužinu osiguranja podelimo na veći broj delova Δl_i ($i=1, 2, \dots, k$). Računate sile F_i nanosimo na ordinatu F_i dijagrama ΣF_i i spajanjem vrhova ovih sila dobijamo integralnu krivu liniju.

Na ovaj način smo dijagram τ_{yk} predstavili ΣF_i na integralnoj krivaj. Veoma lako zatim ΣF_i delimo na potreban broj profila N , tako da za svako N odgovara sila $\Delta H_{v,i,k}$. Grafičkim putem se onda odredi tačiste ΔH_v koje se nanosi na integralnu krivu i zatim prenosi do nosača gde se ucrta. Integralna greda za pravougaoni oblik τ_{yk} je prava linija dok je za trougao parabola.

BAB 87

TOM 1 - 260 STR.



(27) PRORAČUN I KONSTRUISANJE CENTRIČNO POKRETNIH ELEMANATA (OBLAST UMERENE VITKOSTI $25 \leq \lambda \leq 75$ - Metoda dopunske ekscentričnosti)

PREMA BAB-u 87. ZA centrično pritisnute elemente kod kojih je vitkost u granicama $25 \leq \lambda \leq 75$ dozvoljava se upotreba približnog postupka koji dovoljnom tačnošću (za umereno vitke elemente) uvode u proračun ekscentricitet po teoriji drugog reda.

① ekscentricitet usled uticaja prvog reda C_1

$C_1 = \frac{M}{N}$ gde su M i N uticaji sračunati za stanje upotrebljivosti;

II) ekscentricitet usled netačnosti pri izvođenju e_0

$$2 \text{ cm} \leq C_o = \frac{C_i}{300} = \frac{R_i}{300} \leq 10 \text{ cm}$$

③ DODATNI EKSCENTRICITET USLED TEČAJA BETONA CY

Pri proračunu približnom - metodom „dopunske ekscentricnosti“ prema BAB-u 87 uticaje ekscentricnosti usled tečaja belova ne treba uvoditi u sledećim slučajevima:

- $\lambda_i \leq 50$ - $e_i/d \geq 2$ - $N_g \leq 0,2 N_2$ N_g -eksploataciouna N sila od g opterećenja
Ako nije ispunjen jedan od ovih tri slučaja onda: N_2 -eksploataciouna N sila od blagovog opt.

Ako nije ispunjen jedan od ova tri slučaja onda:

$$C_Y = (C_{1g} + C_0) \cdot \left(e^{\frac{dE}{1-dE} \cdot Y} - 1 \right) \quad C_{1g}, dE - \text{definisano pravilnikom član 106.}$$

④ DODATNI EKSCENTRICITET II REDA - e_2

prema obrascima odredjujemo ϵ_2 u zavisnosti od ϵ_1/d

$$C_2 = d \cdot \frac{\lambda_i - 25}{100} \cdot \sqrt{0,1 + \frac{e_1}{d}} \Leftrightarrow 0 \leq \frac{e_1}{d} \leq 0,30$$

$$C_2 = d \cdot \frac{\lambda_i - 25}{160} \quad \Leftrightarrow \quad 0,30 \leq \frac{C_1}{d} \leq 2,50$$

$$C_2 = d \cdot \frac{\lambda_i - 25}{160} \cdot \left(3,5 - \frac{C_1}{d}\right) \Leftrightarrow 2,50 \leq \frac{C_1}{d} \leq 3,5$$

PLAN 106. BAB 87

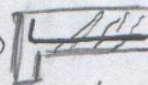
Укупна ekscentricnost je $e_0 = e_1 + e_2 + e_3 + e_4$

$$M_v = N_v \cdot e_v$$

28) PRORAČUN elemenata ZA granične uticaje TRANSVERZALNIH sila:

- principi, naponi smicanja, stepen naprezanja

Usled uticaja graničnih transverzalnih sila lom u nosaču može nastati uglavnom zbog:

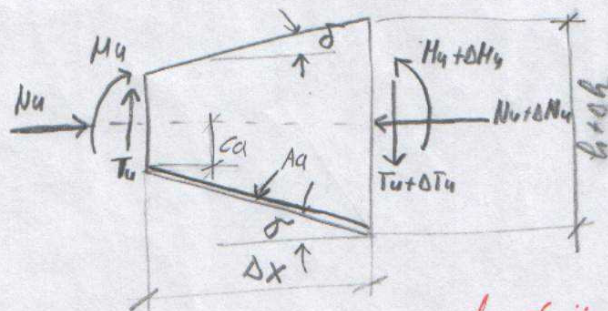
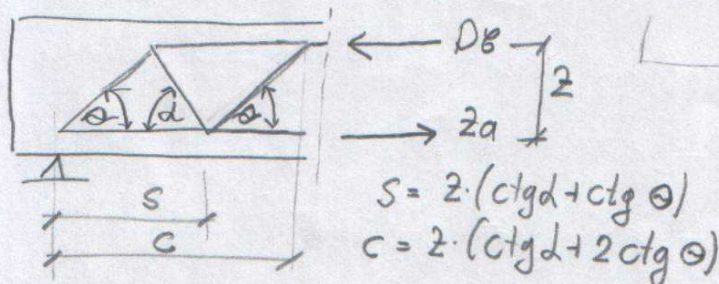
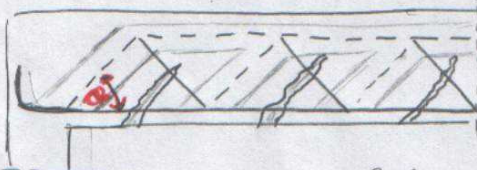
- ① nedostatka ili malog procenta poprečne armature
- ② pojave loma betona kao se kosa prslina proteže visoko po preseku \Rightarrow 
- ③ usled proklizavanja zategnute armature kada ona nije pravilno usidrena u području oslonca

ZA opterećenja bliska graničnim, razvoj prslina u linijskim nosačima je toliko izražen da se proračun ne vrši na bazi glavnih napona već pomoću modela rešetke

Kod nosača kod kojih se prsline formiraju dostizanjem graničnog stanja loma oblast u blizini oslonca (gde su najveći uticaji T sila) se može prikazati idealizovanim modelom rešetke

Pritisnute dijagonale ove rešetke čine betonski štapovi, koji su odvojeni kosim presecima, nagnuti pod uglom α u odnosu

na poduznu osu nosača. Gornji pojas rešetke je pritisnuta zona betona a donji pojas je zategnuta poduzna armatura. Ulogu zategnutih vertikalnih odnosno dijagonalnih rešetke preuzima poprečna armatura - UZENGICE odnosno koso povišeni profili pod uglom λ . Ovaj model su uočili inženjeri Murš, koji su uz zamećivanje doprinosa nosivosti zategnutog betona napravili idealizovan statički model rešetke.



NAPONI SMICANJA:

Stepen naprezanja linijskog nosača od delovanja graničnog opterećenja se određuje iz veličine napona smicanja, NA OSNOVU granične transverzalne sile.

U opštem slučaju (kao na slici desno) ZA NOSAČ PROMENLJIVOG p.p. izloženog dejstvu promenljivih uticaja M, N, T dimenzionisanje se vrši prema MERODAVNOJ TRANS. sili T_{mu} koju dobijamo iz uslova ravnoteže sila:

$$T_{mu} = T_u \mp \frac{M_u}{h} \cdot (\tan \delta + \tan \alpha) - \frac{\Delta N_u}{\Delta x} (z - c_a) + N_u \cdot \left[\tan \delta - \frac{c_a}{h} \cdot (\tan \delta + \tan \alpha) \right]$$

gde su z - krak unutrašnjih sila, h - statička visina.

S u izraz se stavlja negativan znak ukoliko se moment savijanja i statička visina preseka menjaju na isti način (oboje rastu ili opadaju) duž nosača, odnosno treba staviti pozitivan znak ako su različiti (povećanje $M \Rightarrow$ smanjenje h)

NOMINALNI NAPON SMICANJA $\tau_n(T) = \frac{T_{mu}}{b \cdot z}$

gde je b minimalna širina p.p. na delu od $n \cdot h$ linije do zategnute armature

$$\tau_n(T) = \frac{T_{mu}}{b \cdot z}$$

7. NOKMALNI NAPON SMICANJA određen za granične uticaje upoređuje se sa računskom čvrstoćom pri smicanju τ_r koja je utfunkcij MB.

① $\tau_n^{III} \leq \tau_r$

Nije potrebna računska armatura za prihvatanje T sile, dovoljna je samo konstruktivna poprečna armatura \rightarrow uzengije

② $\tau_r < \tau_n^{III} \leq 3\tau_r$

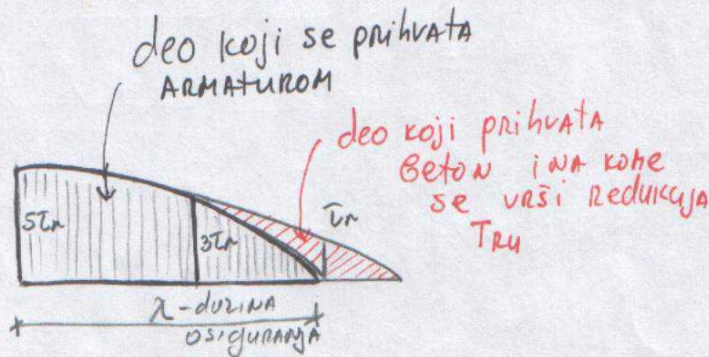
potrebno je smisliti poprečnu armaturu na mestima gde je prekoćena računska čvrstoća Betona pri smicanju. U ovim granicama se javljaju relativno male prsline pa shodno tome smatraemo da beton može da primi deo uticaja T sile, tako da potrebnu površinu armature računamo sa tzv. redukovanim računskom silom τ_{ru}

$\tau_{ru} = \tau_{nu} - \tau_{bu}$ gde je $\tau_{bu} = \frac{1}{2} \cdot [3\tau_r - \tau_n^{III}] \cdot 0.2$

③ $3\tau_r < \tau_n^{III} \leq 5\tau_r$

Na ovom delu nosača se smatra da beton ne može da primi uticaje usled T sile jer su prsline veoma izražene, tako da se ovde ne vrši redukcija računске trans. sile τ_{nu} . Armatura koja se proračunava se usvaja na osnovu sile τ_{nu} na delu $3\tau_r \leq \tau_n^{III} \leq 5\tau_r$ dok se za deo $\tau_r < \tau_n^{III} \leq 3\tau_r$ vrši redukcija sile $\tau_{nu} \rightarrow$ pa se računa sa τ_{ru}

④ $\tau_n^{III} > 5\tau_r$ nije dopusten slučaj (povećati b ili d ili MB)

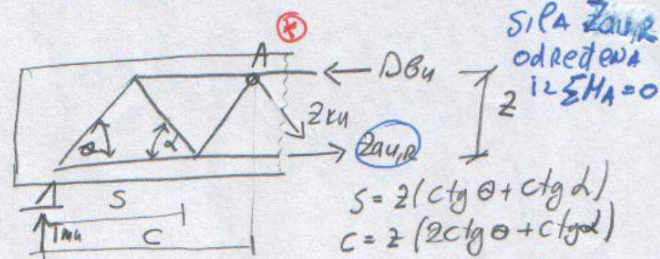


29) PRORAČUN elemenata za granične uticaje TRANSVERZALNIH SILE - PRORAČUN I KONSTRUISANJE ARMATURE

Sila zatezanja u kosoj (poprečnoj) ARMATURI u blizini oslonca se određuje iz $\Sigma V = 0$:

$$T_{ru} = Z_{ku} \cdot \sin \alpha \Rightarrow Z_{ku} = \frac{T_{ru}}{\sin \alpha}$$

$$A_{ak} = \frac{1}{b_v \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha} \int T_{ru} \cdot b \cdot dx$$

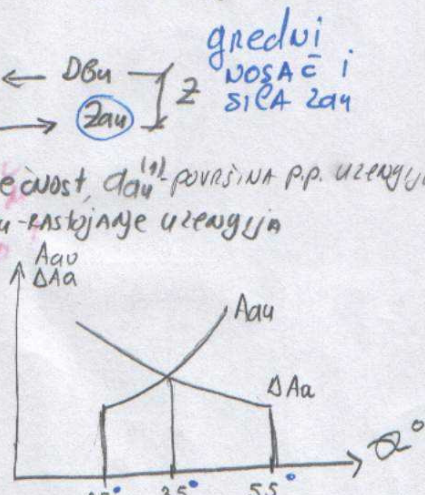


Ako se osiguranje vrši SAMO VERTICALNIM UZENGJAMA tj. za $\alpha = 90^\circ$ prema T_{ru} uz uslov

$$Z_{uu} = T_{ru} \Rightarrow m_{au}^{(1)} = \frac{T_{ru} \cdot b}{b_v \cdot \cot \theta} \cdot C_u$$

- potrebna površina ΔT_{ru} za jednu uzengiju $\uparrow T_{ru}$ \rightarrow m sečnost Δu površina p.p. uzengije C_u - rastojanje uzengija

ugao α je ugao nagiba armature za prihvatanje uticaja od graničnih T sile i obično je u granicama $45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$
ugao θ je nagib pritisnutih dijagonala i bira se slobodno u granicama $25^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$ i od njega zavisi ukupna količina armature za osiguranje.



Pored poprečne armature za prihvatanje T sile

potrebno je obezbediti i dodatnu podužnu zategnutu armaturu ΔA_a

ΔA_a se dimensionira na osnovu razlike sile zatezanja određene iz $\Sigma H_A = 0$ \rightarrow Z_{au} (oko tačke A) \rightarrow Z_{au} i sile zatezanja koja je određena za gredni nosač Z_{au} (slika gore)

$$\Delta Z_a = Z_{aur} - Z_{au} = \frac{T_{ru}}{2} \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)$$

$$\Delta A_a = \frac{T_{ru}}{2b_v} \cdot (\cot \theta - \cot \alpha)$$

- površina ovako sračunate armature se dodaje na računski potrebnu armaturu A_a

Minimalna površina preseka poprečne armature (uzengija) $A_{au}^{(1)}$ se određuje iz uslova zadovoljenja minimalnog procenta armiranja na dužini osiguranja l .

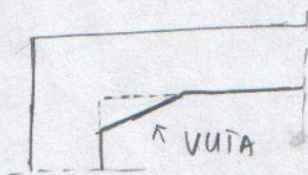
$$A_{au}^{(1)} \geq K_{u,min} \frac{b \cdot C_u}{m}$$

pri čemu je $K_{u,min} = 0.2\%$

$$C_{u,max} = \min \left\{ \frac{h}{2}, \frac{8}{25a_n} \right\}$$

$C_{u,max}$ je max rastojanje uzengija

Na dužini od $l \geq \frac{b+0.75d}{1.5d}$, u blizini oslonca se može izvršiti redukcija T sile SA TRV. VUTAMA



30) PRORAČUN elemenata za granične uticaje momenata torzije

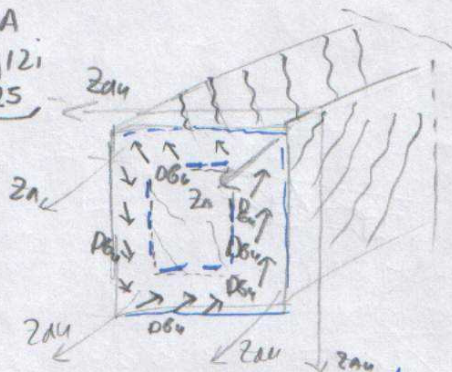
PRINCIPI, NAPONI SMICANJA, STEPEN NAPREZANJA

Granični momenti torzije su uređivosti torzijskih momenata pri kojima se određuje granična nosivost nosača. Nosač se u stanju granične nosivosti može posmatrati (idealizovati) kao prostorna rešetka čije zategnute pojasne stapove i vertikalne čelične armature dok pritisnute dijagonale čine betonski stapovi između kosih prslina. Lom AB grede usled M_t može biti po

armaturi dostizanjem $\sigma_a = \sigma_v$ gde je $\sigma_b < f_c$ ili po betonu $\sigma_b = f_b$ ili $\sigma_a < \sigma_v$

usled delovanja čiste torzije po čitavom obimu preseka se pružaju kose prsline pod uglom od 45° . U slučaju da pored M_t deluje i M_u prsline menjaju nagib po dužini nosača u zavisnosti od T sile i M_u .

SLIKA
U KNJIZI
STR. 125

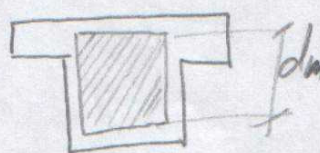


Ekspерименталним putem je dokazano da je granična nosivost punih preseka, na moment torzije, neravno veća od ~~šupljih~~ šupljih - sandučastih poprečnih preseka sa istom količinom armature.

Shodno ovome dimenzionisanje preseka na M_t se vrši aproksimacijom na tankozidne profile istih spoljašnjih dimenzija. Uz pretpostavku da je smičući napon ravnomerno raspoređen duž zida tankozidnog profila:

$$\tau_n(M_t) = \frac{M_{tu}}{2A_{bo} \delta_o} \quad \text{gde su } A_{bo} - \text{površina ograničena torzijskom armaturom}$$

δ_o - debljina ekvivalentnog zida tankozidnog preseka



$$\delta_o \leq \frac{d_m}{8}$$

kao i kod transverzalnih sila postoje 4 slučaja za proračun:

- 1) $\tau_n^{(M_t)} \leq \tau_r \Rightarrow$ ne proračunava se posebna armatura, osim konstruktivne
- 2) $\tau_r < \tau_n^{(M_t)} \leq 3\tau_r \Rightarrow$ vrši se redukcija $M_{tr} = M_{tu} - M_{tr}^{(*)} \Rightarrow$ proračunava se armatura za osiguranje
- 3) $3\tau_r < \tau_n^{(M_t)} < 5\tau_r \Rightarrow$ nema redukcije \Rightarrow proračun armature
- 4) $\tau_n^{(M_t)} \geq 5\tau_r \Rightarrow$ nije dozvoljen slučaj

Način pojave kosih prslina sile pritiska u kosim stapovima rešetke D_{bu} pružata se uzdužjama i podužnom armaturom.

$$M_{tr}^* = [3\tau_r - \tau_n(M_t)] \cdot A_{bo} \cdot \delta_o$$

31) PRORAČUN ZA GRANIČNE UTICAJE MOMENTA TORZIJE - PRORAČUN I KONSTRUISANJE ARMATURE

U ZAVISNOSTI OD GRANIČNIH UTICAJA U NOSAČU RAZLIKUJEMO SLUČAJEVE:

- ① $T_n^{(M)} \leq T_r \Rightarrow$ NE ARMIRAMO DODATNO
- ② $T_r < T_n^{(M)} \leq 3T_r \Rightarrow M_{tr} = M_{tu} - M_{tu}$
- ③ $3T_r < T_n^{(M)} \leq 5T_r \Rightarrow M_{tu} = 0 \Rightarrow M_{tr} = M_{tu}$
- ④ $T_n^{(M)} > 5T_r \Rightarrow$ NIJE DOPUŠTENO

PRORAČUN POPREČNE ARMATURE:

$$a_{au}^{(1)} = \frac{M_{tr}}{2A_{G0} \cdot \sigma_v} \cdot E_u \cdot \tan \theta \Rightarrow \text{UZENGJE}$$

UKUPNA PODUŽNA ARMATURA:

$$A_{ap} = \frac{M_{tu}}{2A_{G0} \cdot \sigma_v} \cdot O_{G0} \cdot \cot \theta$$

O_{G0} - obim srednje linije tankozidnog preseka

A_{G0} - površina ograničena srednjom linijom T.O.P.

θ - nagib pritisnutih dijagonala prostorne rešetke
koja čiramo $25^\circ \leq \theta \leq 55^\circ$

POVRŠINA PODUŽNE ARMATURE SE NE
ODREĐUJE REDUKOVANIM MOMENTOM IMAJUĆI
U VIDU UTICAJE SKUPljanja betona i temperaturnih promena

ZA SVAKI OD SLUČAJA gde je $T_n^{(M)} > T_r$ MORA SE POŠTOVATI USLOV
MINIMALNE POVRŠINE POPREČNE ARMATURE (UZENGJA):

$$a_{au}^{(1)} = \frac{T_r \cdot \sigma_0 \cdot E_u}{2 \sigma_v} \quad \text{--- min } a_{au}^{(1)} !!!$$

UZENGJE KOJE SE KORISTE KAD OBEZBEDIVANJA PRESEKA USLED M_t MORAJU SE PREKLAPATI
PREKO KRAĆE STANICE \Rightarrow t.zv. TORZIONE UZENGJE

U SLUČAJU SIMULTANOG DEJSTVA T SILE I M_t VRŠI SE SUPERPOZICIJA NAPONA

$$T_n = T_n^{(T)} + T_n^{(M)}$$

T_n usled simultanog dejstva se upoređuje kao
i kod T sile ili M_t pa se u zavisnosti da li je
potrebno redukuje i T silu i M_{tu} (za slučaj $T_n \leq 3T_r$)

ARMATURA KOJA SE DOBIVA ZA UTICAJE OD T I M_{tu} SE SAGIRA DAJUĆI UKUPNU

$$a_{au}^{(1)} = a_{au}^{(1)} + a_{au}^{(1)}$$

MEĐUSOBNI RAZMAK UZENGJA I ŠIPKI PODUŽNE ARMATURE SE OGRANIČAVANA:

$$e_{max} = \min \begin{cases} 25 \text{ cm} \\ d_m \end{cases}$$

ZA UZENGJE SE KORISTE PROTECI DO MAX $\phi 12 \text{ mm}$ DOK ZA PODUŽNU $> \phi 12 \text{ mm}$

32) GRANIČNA STANJA UPOTREBLJIVOSTI - PRORAČUN PRSLINA - ODREĐIVANJE RASTOJANJA PRSLINA

Dimenzionisanje prema graničnom stanju čvrstoće nam zadovoljava zahteve nosivosti ali nam ne daje sliku o trajnosti i deformabilnosti konstrukcije. Shodno tome dimenzionisanje obuhvata i dodatni proračun stanja prslina i deformacija. Tako se granične vrednosti širine prslina ograničavaju na 0,1mm za jako agresivne sredine odnosno 0,4mm za slabo agresivne sredine odnosno veličine ugrba su ograničene na $\epsilon/300$ - za proste i kontinualne grede, $\epsilon/150$ za konzole odnosno $\epsilon/750$ za krajske staze

PRORAČUN PRSLINA:

Kada u A.B. elementu naponi zatezanja dostignu čvrstoću na zatezanje dolazi do pojave prslina. Ovi naponi se javljaju usled opterećenja ali mogu biti i posledica prisilnih deformacija - skupljanja betona ili promene temperature

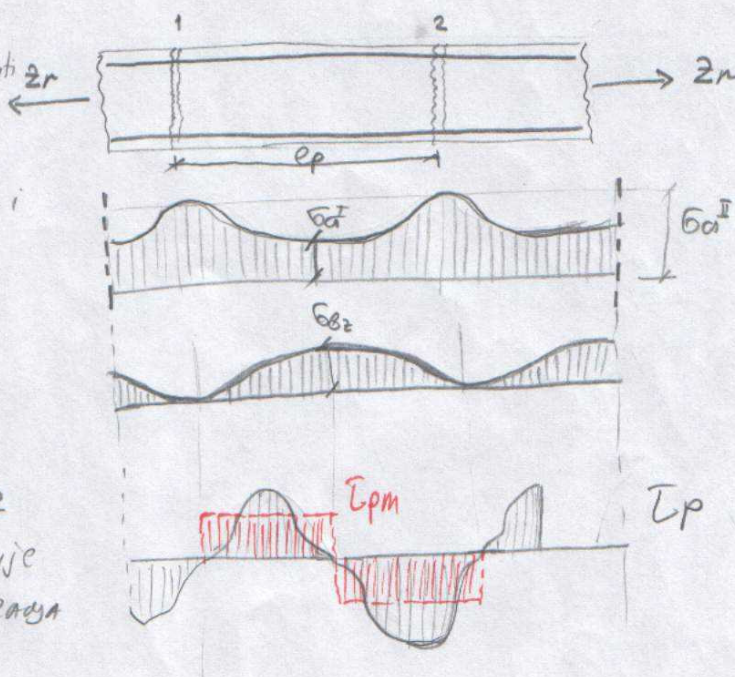
RASTOJANJE IZMEĐU PRSLINA:

Uzročnik za primer simetrično armiran preseka opterećenog centralnom silom zatezanja. Usled sile Z_r dolazi do otvaranja prve prslina pa sve napore u preseku na mestu te prslina preuzima armatura. Na odstojanju ℓ_p dolazi do uspostavljanja homogenog stanja betona i armature pa se stvaraju uslovi za nastanak sledeće prsline.

Kako bi sačuvali rastojanje između prslina napon prijanjanja τ_p čemo upotrebiti Z_r sa njegovom osrednjom vrednošću. KONAČNO RASTOJANJE između prslina, uzimajući u obzir zaštitni sloj betona i međusobni RAZMAK šipki ARMATURE.

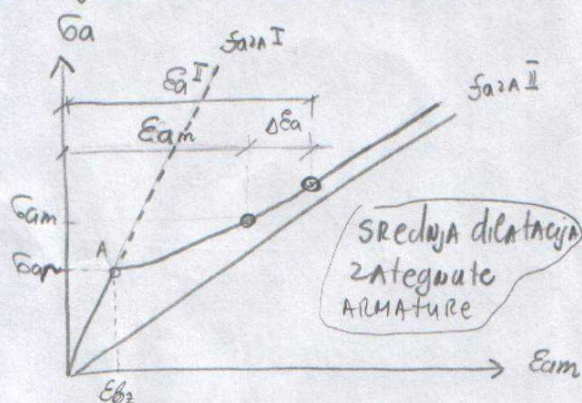
$$\ell_p = 2 \cdot \left(a_0 + \frac{\ell_\phi}{10} \right) + k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{\Phi}{\mu_z}$$

- a_0 - debljina zaštitnog sloja
- ℓ_ϕ - osovinsko rastojanje šipki ARMATURE
- k_1 - koeficijent ZAVISAN od kvaliteta adhezije
- k_2 - koeficijent ZAVISAN od vrste naprezanja
- μ_z - efektivni koeficijent ARMIRANJA



33) GRANIČNA STANJA UPOTREBLJIVOSTI - PRORAČUN PUSLINA - ODREĐIVANJE ŠIRINE PUSLINA

Da ne postoji veza (adhezija) Betona i ARMATURE srednja širina puskina bi bila jednaka izduženju ARMATURE između dve puskine, Ali posto deo sile zatezanja prihvata i beton srednja dužina puskina je UMANJENA ZATU VREDNOST.



Saza I - početak pojave puskina u bar ($\sigma_a > \sigma_{a2}$)

Saza II - faza širenja postojećih puskina

Opterećenje se dolazi do prve puskine kada se dostigne napon zatezanja Betona. Dilatacija, bi onda usled povećavanja napona trebale da teir fazi II ali neće dostići dilatacije u fazi II jer se usled nosivosti Betona ove dilatacije MORAMO UMANJITI ZA $\delta\epsilon_a$ KNJIGA 140 STR.

SREDNJA DILATACIJA **ARMATURE** se određuje po formuli

$$\epsilon_{am} = (1 - \gamma) \epsilon_a^I + \gamma \epsilon_a^II \quad \text{gde je } \gamma - \text{koeficijent raspodele u fazi opterećenja}$$

Za proračun širine puskina potrebno je srednju dilataciju zategnute ARMATURE umanjiti za dilataciju Betona između dve puskine

$$\epsilon_{am}^n = \epsilon_{am} - \epsilon_b^I, \quad \text{gde je } \epsilon_b^I = (1 - \gamma) \epsilon_a^I$$

PA SE IZRAZ ZA SREDNJU ŠIRINU PUSLINA SUDI NA:

$$\boxed{a_{pm} = \epsilon_{am}^n \cdot c_{pm} = \gamma \epsilon_a^II \cdot c_{pm}} \quad \begin{array}{l} - \text{srednja širina puskina} \\ \epsilon_{am}^n - \text{srednja dilatacija} \\ c_{pm} - \text{rastojanje između dve puskine} \end{array}$$

KARAKTERISTIČNA ŠIRINA PUSLINA a_{pk}

$a_{pk} = 1,7 a_{pm}$ posto je dokazano da postoji odstupanje između širine puskina i srednje vrednosti širine puskina i to čak do 70%.

Prema teoriji granicnih stanja upotrebljivosti sledi da

$$a_{pk} \leq a_{pu} \quad \text{gde je } a_{pu} - \text{granična širina puskina}$$

veličine dopuštenih puskina se kreću od 0,05 do 0,4 mm a zavise od agresivnosti okoline sredine.