

DIJAGRAMI ZA
DIMENZIONISANJE
ARMIRANO
BETONSKIH
PRESEKA PREMA
GRANIČNOJ
NOSIVOSTI

Recenzenti:

Prof. dr Milorad Ivković, dipl. inž

Doc. dr Dejan Bajić, dipl. inž

ISBN 86-315-0206-4

Za IRO „GRAĐEVINSKA KNJIGA“:

Milan Višnjić, direktor — odgovorni urednik

Milica Dodić, odgovorni urednik

Olga Arsenijević, urednik

Dubravka Jurela — Kovačević, lektor

Vera Knežević, korektor

Dragan Paunović, naslovna strana i tehničko uređenje

foto-slog: „MM FOSLAM“

Tiraž: 1500 primeraka

Štampa: štamparija „Bakar“ — Bor

PREDGOVOR

Pojavom novog Pravilnika o tehničkim normativima za beton i armirani beton i u našoj zemlji se prelazi na dimenzionisanje armiranobetonskih poprečnih preseka prema graničnoj nosivosti. Većina zemalja već je odavno u svojim propisima usvojila ovakav koncept proračuna koji, u odnosu na klasičan način dimenzionisanja prema dopuštenim naponima, predstavlja napredak jer, između ostalog, za različite kombinacije spoljašnjih uticaja pruža veći stepen ujednačenosti koeficijenta sigurnosti konstrukcije u celini. Sam proces dimenzionisanja obavlja se najčešće uz pomoć tabela, dijagrama i nomograma u kojima su dati potrebni parametri za karakteristične slučajeve preseka ili, danas, sa sve prisutnijim računarima, uz pomoć računarskih programa.

Interakcioni dijagrami prikazani u ovom priručniku imaju za cilj da ubrzaju postupak dimenzionisanja armiranobetonskih preseka koji se najčešće javljaju u praksi. Pored brzine u radu, koja se nesumnjivo povećava u odnosu na dimenzionisanje primenom tabela, postiže se i veća sigurnost pri projektovanju jer se problem dimenzionisanja može sagledati i bolje razumeti u celoj oblasti kombinacije jednovremenih uticaja M_u i N_u .

Priručnik sadrži dijagrame za dimenzionisanje pravougaonih i kružnih preseka opterećenih na pravo i koso složeno savijanje sa normalnom silom pritiska ili zatezanja, i to za dve vrste armature: rebrastu armaturu — RA 400/500 ($\sigma_v = 400$ MPa), i za glatku armaturu — GA 240/360 ($\sigma_v = 240$ MPa). Posebno su, na kraju priručnika, prikazani dijagrami za pravo složeno savijanje armiranobetonskih zidova, armiranih u polju prema seizmičkim propisima minimalnom armaturnom mrežom (MA 500/560) i promenljivom rebrastom armaturom koncentrisanom u uglovima zida.

Radi lakše primene priručnika, data su neophodna objašnjenja i uputstva za korišćenje proračuna karakterističnim brojnim primerima. Ispred svake grupe dijagrama priložene su pregledne tabele sa skicom preseka i rasporedom armature koje imaju za cilj lakše pronalaženje traženog dijagrama.

Ovako koncipiran priručnik uglavnom je namenjen građevinskim inženjerima, ali i svim ostalima koji se bave projektovanjem armiranobetonskih konstrukcija. Nadamo se, takođe, da će naići na dobar prijem i kod studenata građevinskih fakulteta.

Autori se najtoplije zahvaljuju svima koji su na bilo koji način doprineli i pomogli pri izradi priručnika, posebno onim koji su učestvovali u njegovoj tehničkoj obradi.

1. UVOD

Dijagrami interakcije u ovom priručniku predstavljani su tako da prikazuju računsku graničnu nosivost poprečnog preseka (M_u , N_u). Sigurnost prema lomu poprečnog preseka je zadovoljena onda kada je granična nosivost preseka veća ili jednaka nosivosti tog preseka za granične uticaje dobijene množenjem statičkih uticaja parcijalnim koeficijentima sigurnosti.

Dakle, za jedan određeni oblik poprečnog preseka i usvojeni položaj armature, dijagrami predstavljaju interakciju između graničnih momenata savijanja i graničnih normalnih sila, sa mehaničkim procentom armiranja kao parametrom čije su granice izabrane tako da pokrivaju najčešće slučajeve koji se javljaju u praksi. Kako je to već uobičajeno, dijagrami su prikazani u bezdimenzionalnom obliku $m - n$.

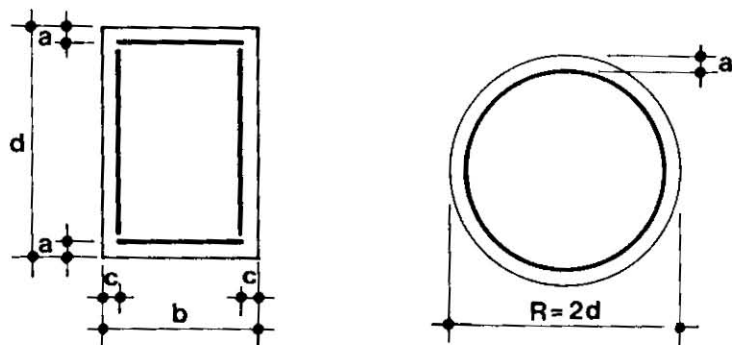
Dijagrami interakcije uglavnom su namenjeni analizi granične nosivosti armiranobetonskih stubova različitih poprečnih preseka i rasporeda armature. Osim za pravo složeno savijanje, naročito su pogodni za dimenzionisanje u slučaju kosog savijanja. Prethodno naprezanje može takođe da se obuhvati pa se domen primene dijagrama može i proširiti.

Kada je o stubovima reč, budući da se dimenzionisanje putem dijagrama odnosi samo na graničnu nosivost poprečnog preseka, dijagramima interakcije ne može se opisati granično stanje stuba kao konstruktivnog elementa u celini. Problemi stabilnosti i uticaja 2. reda moraju posebno da se analiziraju. Ukoliko se dopunski efekti dobijeni po teoriji 2. reda svedu na promenu ekscentriciteta normalne sile u okviru posmatranog preseka (tzv. $P - \delta$ efekat), dijagram interakcije može opet da se primeni uvođenjem korigovanog graničnog momenta savijanja.

2. OZNAKE I DEFINICIJE

2.1. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE

- d, R — Ukupna visina, prečnik kružnog poprečnog preseka
 b — Širina poprečnog preseka
 a, c — Odstojanje težišta armature od ivica preseka



Slika 1. Geometrijske karakteristike
a) pravougaoni presek, b) kružni presek.

2.2. GRANIČNI UTICAJI

Za proračun preseka prema graničnom stanju nosivosti uzimaju se sledeći uticaji:

- S_g — uticaji sopstvene težine i stalnog opterećenja;
 S_p — uticaji promenljivih opterećenja: korisnog pokretnog opterećenja (statičkog ili dinamičkog), opterećenja snegom i vetrom;
 S_{Δ} — uticaji ostalih opterećenja: promene temperature, skupljanja betona, razmicanja i sleganja oslonaca tokom vremena i drugo.

2.3. UNUTRAŠNJE SILE

- N_u, M_u — sile loma preseka (sila pritiska je pozitivna a sila zatezanja je negativna);
 M_{xu}, M_{yu} — moment loma oko ose x, odnosno y;
 $n = N_u / b d f_B$ — bezdimenzionalna granična normalna sila loma preseka;
 $m_x = M_{xu} / b d^2 f_B$ — bezdimenzionalni granični moment savijanja oko ose x;
 $m_y = M_{yu} / b^2 d f_B$ — bezdimenzionalni granični moment savijanja oko ose y;
 $\eta = m_y / m_x$ — odnos bezdimenzionalnih graničnih momenata savijanja.

2.4. USVOJENI ZNACI SILA I DILATACIJA

Normalna sila pritiska usvojena je sa pozitivnim znakom, a sila zatezanja sa negativnim znakom. Shodno ovim oznakama, dilatacije pritiska su pozitivne, a dilatacije zatezanja negativne.

2.5. ARMATURA

- A_a — ukupna površina armature;
 μ (%) — geometrijski procenat ukupne armature;
 $\bar{\mu}$ — mehanički koeficijent armiranja ukupnom armaturom;
 β — koeficijent raspodele armature u poprečnom preseku.

2.6. KARAKTERISTIKE MATERIJALA

- σ_v — granica velikih izduženja armature;
 f_B — računaska čvrstoća betona.

3. OPIS I PRIMENA DIJAGRAMA

3.1. OSNOVE ZA PRORAČUN PREMA PBAB 87

3.1.1. RAČUNSKI RADNI DIJAGRAMI MATERIJALA

Granična nosivost preseka, određena na osnovu interakcionih dijagrama, ne predstavlja stvarno stanje pri lomu, već je to računski, konvencionalna nosivost koja je funkcija geometrije poprečnog preseka i mehaničkih karakteristika materijala.

Stoga se proračun granične nosivosti preseka zasniva na sledećim, konvencionalnim dijagramima napon — dilatacija.

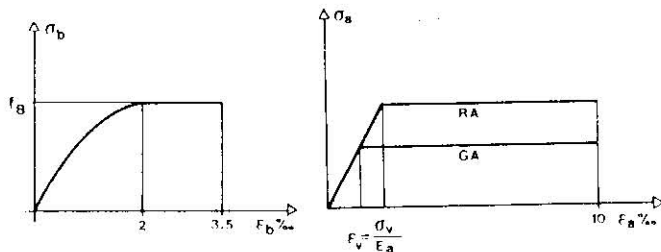
Radni dijagram betona

Radni dijagram pritisnutog betona, slika 2a, dat je u obliku: kvadratne parabole

$$\sigma_b = f_B (4 - \varepsilon_b) \varepsilon_b, \text{ kada je } 0\text{‰} \leq \varepsilon_b \leq 2\text{‰}$$

i u obliku prave

$$\sigma_b = f_B \text{ kada je } 2\text{‰} \leq \varepsilon_b \leq 3,5\text{‰}$$



Slika 2. Radni dijagrami: a) betona, b) čelika.

Radni dijagram čelika

Za radni dijagram čelika usvaja se bilinearni dijagram sa najvećom dopuštenom dilatacijom čelika u oblasti zatezanja $\varepsilon_a = -10\text{‰}$, slika 2b.

3.1.2 ODREĐIVANJE GRANIČNIH UTICAJA

Dimenzionisanje po graničnom stanju loma vrši se primenom parcijalnih koeficijenata sigurnosti. Za stalno i promenljivo opterećenje, granični uticaji određuju se izrazima:

$$S_u = 1,6 S_g + 1,8 S_p, \text{ za } \varepsilon_a \leq -3\text{‰};$$

$$S_u = 1,9 S_g + 2,1 S_p, \text{ za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰}$$

Za stalno i promenljivo opterećenje u kombinaciji sa ostalim opterećenjima, granični uticaji u preseku određuju se izrazima:

$$S_u = 1,3 S_g + 1,5 S_p + 1,3 S_{\Delta}, \text{ za } \varepsilon_a \leq -3\text{‰};$$

$$S_u = 1,5 S_g + 1,8 S_p + 1,5 S_{\Delta}, \text{ za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰}$$

Ako stalno opterećenje deluje povoljno u smislu povećanja granične nosivosti (smanjuje vrednosti graničnih uticaja), izrazi za granične uticaje imaju sledeće oblike:

$$S_u = S_g + 1,8 S_p, \text{ za } \varepsilon_a \leq -3\text{‰};$$

$$S_u = 1,2 S_g + 2,1 S_p, \text{ za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰};$$

$$S_u = S_g + 1,5 S_p + 1,3 S_{\Delta}, \text{ za } \varepsilon_a \leq -3\text{‰};$$

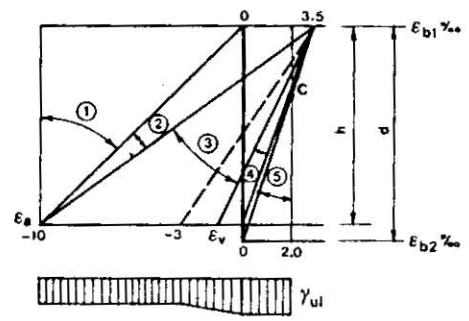
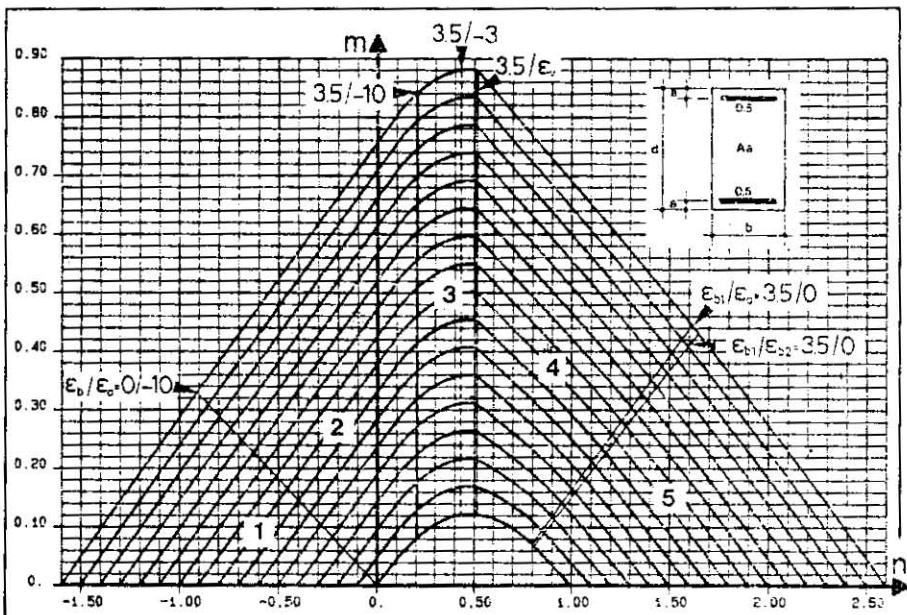
$$S_u = 1,2 S_g + 1,8 S_p + 1,5 S_{\Delta}, \text{ za } \varepsilon_a \geq 0\text{‰}.$$

Sile u preseccima linijskih konstrukcija određuju se prema teoriji elastičnosti, odnosno, u slučaju statički neodređenih sistema, ti uticaji se mogu odrediti i prema teoriji elastičnosti sa ograničenom preraspodelom, na način kako je to predviđeno pravilnikom.

3.2. KONSTRUKCIJA DIJAGRAMA

3.2.1. PRAVO SAVIJANJE SA NORMALNOM SILOM

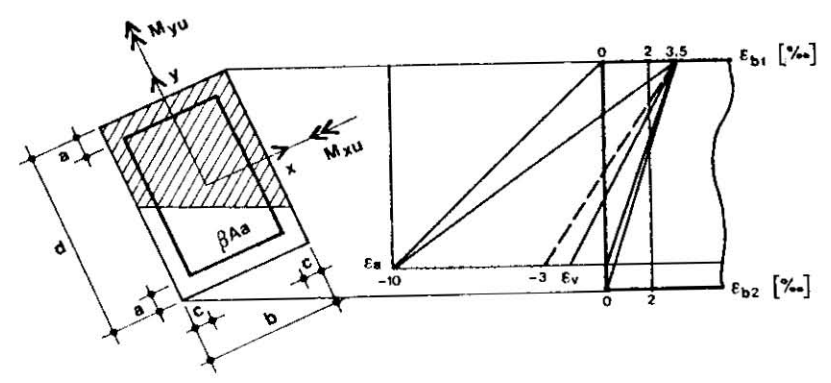
Za izabrani oblik poprečnog preseka, raspored i količinu armature i za poznato stanje dilatacija, integracijom dva uslova ravnoteže jednoznačno je određena granična nosivost preseka, moment M_u i normalna sila N_u . Ponavljajući integraciju na izabranom konačnom broju stanja dilatacija, kojima je opisan ceo opseg mogućeg opterećenja, od centričnog pritiska do centričnog zatezanja (slika 3), dolazi se do odgovarajućih graničnih vrednosti momenata i normalnih sila, čiji je grafički prikaz dijagram interakcije $M_u - N_u$. Ovi dijagrami predstavljaju familiju krivih linija u funkciji procenta armiranja kao parametra.



Slika 3. Stanja dilatacija kojim se opisuje ceo opseg mogućeg opterećenja i odgovarajući dijagram interakcije.

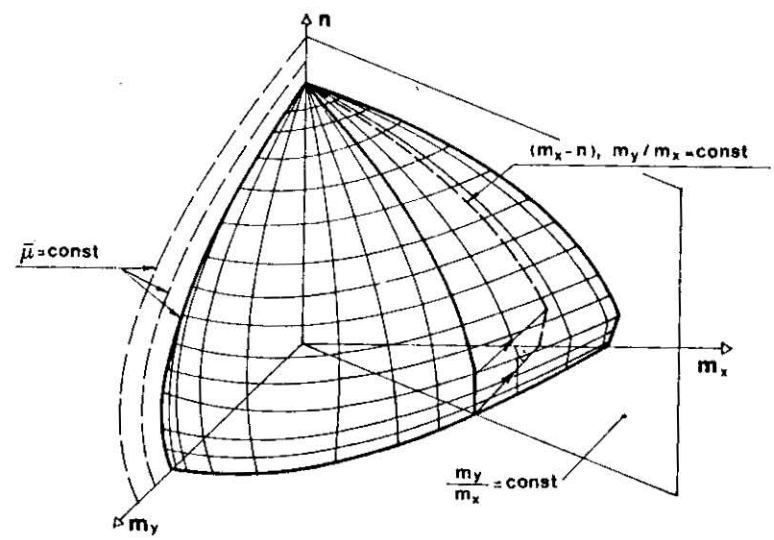
3.2.2. KOSO SAVIJANJE SA NORMALNOM SILOM

Primenjujući sličan postupak kao što je to izloženo u prethodnom paragrafu, polazeći od stanja deformacija prikazanog na slici 4, dolazi se do graničnih vrednosti momenata i normalnih sila za poznat presek, raspored i količinu armature.



Slika 4. Stanja dilatacija kojim se opisuje ceo opseg mogućeg opterećenja u slučaju kosog savijanja.

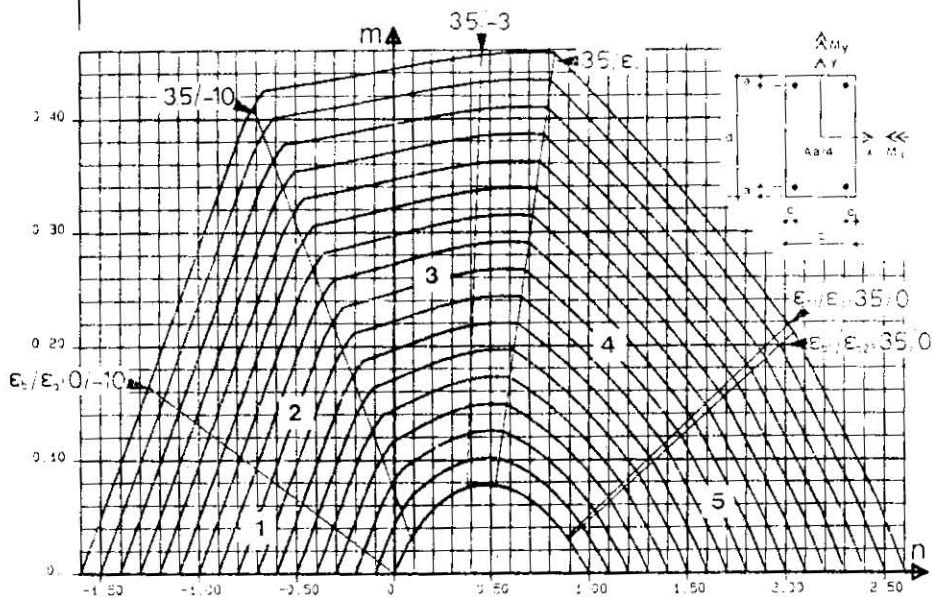
Međutim, za razliku od dijagrama interakcije u slučaju pravog savijanja (savijanje oko jedne glavne ose), dijagrami u slučaju kosog savijanja (savijanje van glavnih osa inercije) zahtevaju, u principu, predstavljanje u prostoru, što bi znatno otežalo njihovu praktičnu primenu, slika 5.



Slika 5. Površina loma za dati presek u slučaju kosog savijanja.

Ovaj problem se može, međutim, uspešno rešiti ako familiju površi interakcije prikazanu na slici 5, presečemo sa ravnima $m_y/m_x = \text{const}$, a zatim izvršimo projekciju presečne krive na ravan $m_x - n$.

Za unapred usvojeni odnos momenata $\eta = m_y/m_x$, rezultat ovakvog postupka je serija interakcionih dijagrama $m_x - n$, od kojih je jedan prikazan na slici 6.



Slika 6. Dijagram interakcije u slučaju kosog savijanja.

3.3. UPOTREBA DIJAGRAMA INTERAKCIJE

Kako bi se primena ovih dijagrama što više proširila, oni su prikazani za određen oblik poprečnog preseka u sistemu bezdimenzionalnih koordinatnih osa $m_u - n_u$, za različite vrednosti mehaničkih procenata armiranja. Zahvaljujući ovome, dijagrami važe za bilo koji odnos strana b i d kod pravougaonih preseka, odnosno bilo koji prečnik R kod kružnih preseka i za bilo koju marku betona MB. Međutim, dva parametra: položaj (a/d , c/b) i raspored armature u poprečnom preseku, mogu da imaju značajan uticaj pri dimenzionisanju, pa se njihova promena mora

uzeti u obzir. Kako bi se broj dijagrama u priručniku ograničio na razumnu meru, usvojene su pored graničnih vrednosti ova dva parametra i one koje se najčešće javljaju u praksi. Međuvrednosti se mogu odrediti odgovarajućim linearnim interpolacijama, kao što je to prikazano u poglavlju 3.3.1.

Raspon mehaničkog koeficijenta armiranja koji je usvojen u priručniku, kreće se od $\bar{\mu} = 0,0$ do 1,6 za rebrastu armaturu, odnosno od $\bar{\mu} = 0,0$ do 1,5 za glatku armaturu. Da bi se postigla veća preciznost pri očitavanju sa dijagrama, za najčešće koeficijente armiranja koji se javljaju u praksi, a za slučaj pravog savijanja, dijagrami su urađeni sa koeficijentom armiranja $\bar{\mu} = 0,0$ do 0,4 i prikazani su na parnim stranama priručnika.

3.3.1. INTERPOLACIJA PRI ODREĐIVANJU MEHANIČKOG PROCENTA ARMIRANJA

U slučaju kada se neki od parametara a/d , c/b ne nalazi na određenom dijagramu, za preliminarno dimenzionisanje mogu se izabrati dijagrami sa najbližim većim vrednostima ovih parametara.

Ako se, pak, vrši dimenzionisanje, treba pribeci linearnoj interpolaciji između dva susedna dijagrama što daje vrlo dobre rezultate. Kako bi se postigla što veća tačnost kod poprečnih preseka većih dimenzija, priloženi su i dijagrami bez zaštitnog sloja betona ($a/d = c/b = 0$).

3.3.2. PRESECI SA ARMATUROM RASPOREĐENOM PO OBIMU

Presek u kome su šipke armature raspoređene po stranama preseka, najbolje je aproksimirati sa presekom koji je armiran odgovarajućom armaturom linearno raspoređenom po obimu (slika 7). Rezultati aproksimacije nalaze se na strani sigurnosti i u najnepovoljnijem slučaju ne odstupaju više od 8% u odnosu na tačne vrednosti.



Slika 7. Aproksimacija poprečnog preseka sa 8 profila armature.

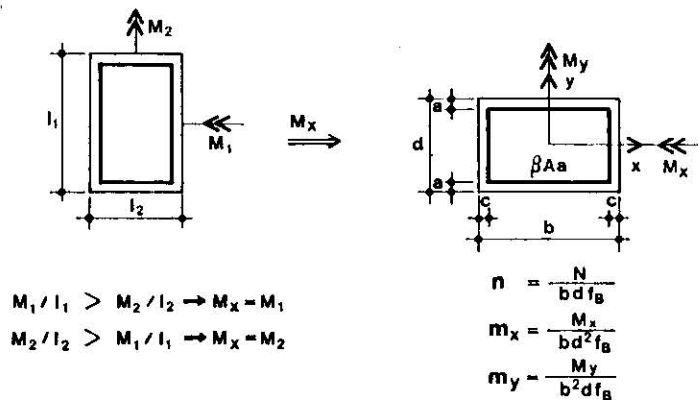
Ovakvoj aproksimaciji treba pribeci uvek kada se duž strane preseka nalazi više od tri profila armature.

3.3.3. INTERPOLACIJA U SLUČAJU KOSOG SAVIJANJA

Dijagrami u slučaju kosog savijanja pravougaonih preseka dati su za dva odnosa bezdimenzionalnih momenata: $\eta = m_y/m_x = 0,5$ i $\eta = m_y/m_x = 1,0$. Ovakav način izbora dijagrama interakcije zasnovan je na činjenici da je između karakterističnih vrednosti $\eta = 0,0, 0,5$ i $1,0$, mehanički procenat armiranja $\bar{\mu}$ praktično linearna funkcija odnosa m_y/m_x . Time je broj dijagrama znatno smanjen, a da se pri tome ne gubi značajnije ni na tačnosti, ni na brzini proračuna.

Da bi se izvršila interpolacija između datih karakterističnih vrednosti odnosa η , treba postupiti na sledeći način:

a) Treba izvršiti pravilnu orijentaciju preseka tako da je zadovoljen uslov prikazan na slici 8.



Slika 8. Pravilna orijentacija poprečnog preseka u slučaju kosog savijanja

b) Odréditi bezdimenzionalne momente m_x , m_y i normalnu silu n , položaj armature u datom poprečnom preseku i odnos momenata m_y/m_x .

c) Ako se odnos bezdimenzionalnih momenata nalazi, na primer, između karakterističnih odnosa $\eta = 0,5$ i $\eta = 1,0$ (za koje su dati dijagrami), a pritom se za parametre a/d , c/b i β vrednosti ne mogu naći u priloženim dijagramima, onda treba vršiti dvostruku interpolaciju, radi veće tačnosti proračuna.

Prvom interpolacijom određuje se $\bar{\mu}_g$ sa dijagrama $\eta = 0,5$ i $\eta = 1,0$ (videti šematski prikaz na slici 9) i to za vrednosti parametra a/d , c/b i β koji daju rešenje na strani sigurnosti (oznaka g).

Na isti način određuje se $\bar{\mu}_d$ za parametre a/d , c/b i β koji daju rešenje na strani nesigurnosti (oznaka d).

Na kraju se vrši druga linearna interpolacija između vrednosti $\bar{\mu}_g$ i $\bar{\mu}_d$ kojom se dobija tražena vrednost bezdimenzionalnog procenta armiranja $\bar{\mu}$ za dati poprečni presek.

Parametri na strani sigurnosti (g)

$$\left. \begin{matrix} a/d \\ c/b \\ \beta \end{matrix} \right\} \longrightarrow \bar{\mu}_g (m_y/m_x = 0,5) \quad \bar{\mu}_g (m_y/m_x = 1,0)$$

Interpolacija za dato $m_y/m_x \longrightarrow \bar{\mu}_g (m_y/m_x)$

Parametri na strani nesigurnosti (d)

$$\left. \begin{matrix} a/d \\ c/b \\ \beta \end{matrix} \right\} \longrightarrow \bar{\mu}_d (m_y/m_x = 0,5) \quad \bar{\mu}_d (m_y/m_x = 1,0)$$

Interpolacija za dato $m_y/m_x \longrightarrow \bar{\mu}_d (m_y/m_x)$

Linearna interpolacija između $\bar{\mu}_g (m_y/m_x)$ i $\bar{\mu}_d (m_y/m_x)$

$$\Rightarrow \bar{\mu} (m_y/m_x)$$

$$\text{Tražena količina ukupne armature} \Rightarrow A_a = b d \bar{\mu} f_B / \sigma_v$$

Slika 9. Šematski prikaz postupka interpolacije.

Pri interpolaciji u kojoj je $\eta = m_y/m_x$ dat odnos bezdimenzionalnih momenata savijanja:

$$\begin{aligned} 0 < \eta < 0,5 & \quad \eta_d = 0 \Rightarrow \bar{\mu}_d, \\ & \quad \eta_g = 0,5 \Rightarrow \bar{\mu}_g, \\ 0,5 < \eta < 1,0 & \quad \eta_d = 0,5 \Rightarrow \bar{\mu}_d, \\ & \quad \eta_g = 1,0 \Rightarrow \bar{\mu}_g, \end{aligned}$$

može se koristiti sledeći obrazac:

$$\bar{\mu} = [(1 - 2 \Delta) \bar{\mu}_d / \bar{\mu}_g + 2 \Delta] \bar{\mu}_g,$$

gde je:

- $\bar{\mu}$ — tražena vrednost mehaničkog procenta armiranja;
- $\Delta = \eta - \eta_d$;
- η_d — donja granica odnosa bezdimenzionalnih momenata savijanja;
- $\bar{\mu}_g$ — mehanički procenat armiranja koji odgovara gornjoj granici η_g ;
- $\bar{\mu}_d$ — mehanički procenat armiranja koji odgovara donjoj granici η_d .

3.3.4. PRIMENA DIJAGRAMA ZA RAZLIČITE VRSTE ČELIKA

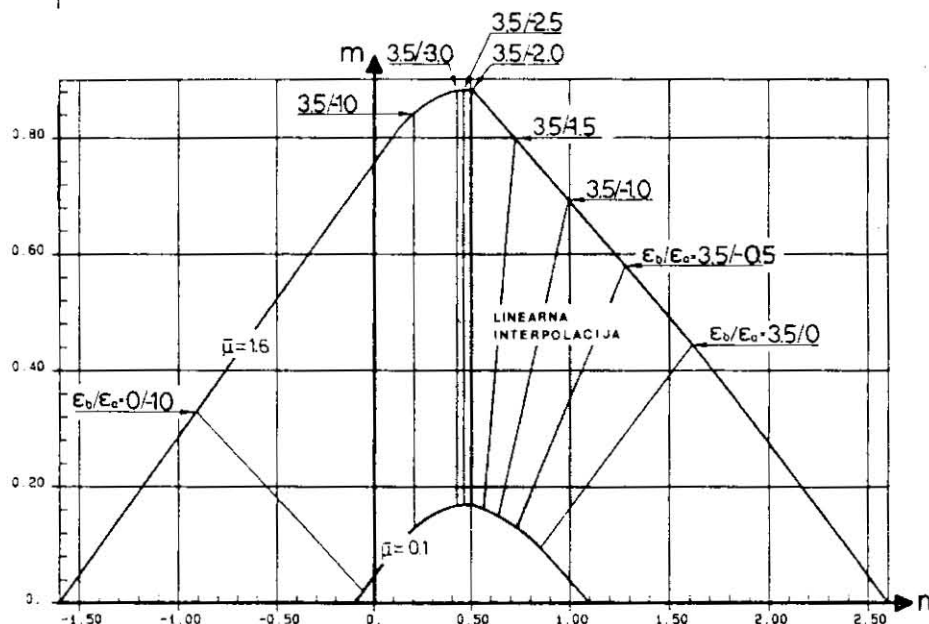
Korišćenje dijagrama interakcije za različite čelike sasvim je moguće, ako se umesto čelika $\sigma_v = 400$ MPa ili $\sigma_v = 240$ MPa, za koje su dijagrami urađeni, unese stvarna vrednost σ_v upotrebljenog čelika pri proračunu mehaničkog koeficijenta armiranja. Pri ovoj zameni, ako se upotrebi čelik nižeg kvaliteta, dobijena količina armature je na strani sigurnosti, i obrnuto.

Razlika stvarnih i ovako dobijenih rezultata najveća je u oblasti maksimalnih momenata savijanja i povećava se sa procentom armiranja.

3.3.5 INTERPOLACIJA KOEFICIJENTA SIGURNOSTI U OBLASTI $-3\text{‰} \leq \varepsilon_a \leq 0\text{‰}$

Novim pravilnikom o tehničkim normativima za beton i armirani beton predviđa se linearna promena koeficijenta sigurnosti γ_{ui} kada su dilatacije zategnute armature između $\varepsilon_a = -3\text{‰}$ i $\varepsilon_a = 0\text{‰}$.

Radi lakše interpolacije koeficijenta sigurnosti, na svim dijagramima su jasno označene granične dilatacije čelika, a dilatacije u oblasti $-3\text{‰} \leq \varepsilon_a \leq 0\text{‰}$ prikazane su sa korakom $\varepsilon_a = 0,5\text{‰}$, slika 10.



Slika 10. Dijagram interakcije sa prikazanim granicama dilatacije betona i armature. Šrafirano je prikazana oblast u kojoj se vrši linearna interpolacija koeficijenta sigurnosti γ_{ui} .

4. PRIMERI

A. Pravo savijanje sa normalnom silom

A.1.

Podaci

$$d = 70 \text{ cm}$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$a = 3,5 \text{ cm}$$

$$\text{MB 30} \Rightarrow f_B = 20,5 \text{ MPa}$$

$$\text{RA 400/500}$$

Granični uticaji

$$N_u = 5740 \text{ kN}$$

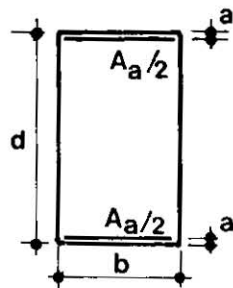
$$M_{xu} = 482,2 \text{ kNm}$$

Granični bezdimenzionalni uticaji

$$N_u / b d f_B = 1,0,$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,12.$$

$$\text{Dijagram 111} \Rightarrow \bar{\mu} = 0,3 \Rightarrow A_a = 0,3 \cdot 40 \cdot 70 \cdot 2,05 / 40,0 = 43,0 \text{ cm}^2.$$



A.2.

Podaci

Kao za primer A.1.

Statički uticaji

$$N_g = 1017,2 \text{ kN} \quad M_g = 330,6 \text{ kNm}$$

$$N_p = 610,3 \text{ kN} \quad M_p = 198,4 \text{ kNm}$$

Granični uticaji

Pretpostavka da je $\varepsilon_a > 0\text{‰} \Rightarrow \gamma_{ug} = 1,9$ i $\gamma_{up} = 2,1$.

$$N_u = 1,9 N_g + 2,1 N_p = 3214,3 \text{ kN},$$

$$M_{xu} = 1,9 M_g + 2,1 M_p = 1044,8 \text{ kNm}$$

Granični bezdimenzionalni uticaji

$$N_u / b d f_B = 0,56,$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,26.$$

Dijagram 111 $\Rightarrow \bar{\mu} = 0,34 \Rightarrow -2 < \varepsilon_a < -1,5 \text{ ‰}$ pa je potrebno korigovati polaznu pretpostavku.

Usvaja se veća granica dilatacija, $\varepsilon_a = -1,5 \text{ ‰}$, odakle je:

$$\gamma_{ug} = 1,75 \text{ i } \gamma_{up} = 1,95.$$

Korekcija graničnih uticaja

$$N_u = 1,75 N_g + 1,95 N_p = 2970,2 \text{ kN}$$

$$M_{xu} = 1,75 M_g + 1,95 M_p = 965,4 \text{ kNm}$$

Bezdimenzionalni granični uticaji su

$$N_u / b d f_B = 0,517$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,24 \Rightarrow \bar{\mu} = 0,31$$

Sa ovim korakom iteracije postiže se dovoljna tačnost pa je količina ukupne armature:

$$A_a = 43,05 \text{ cm}^2.$$

A.3.

Podaci

$$d = 60 \text{ cm}$$

$$b = 60 \text{ cm}$$

$$a = c = 5,25 \text{ cm} \quad a/d = c/b = 0,0875$$

$$\text{MB 35} \Rightarrow f_B = 23 \text{ MPa}$$

$$\text{RA 400/500}$$

Granični uticaji

$$N_u = 2649,6 \text{ kN}$$

$$M_u = 1092,9 \text{ kNm}$$

$$N_u / b d f_B = 0,32$$

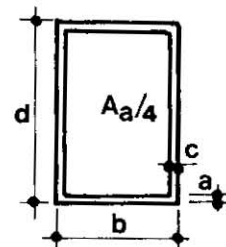
$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,22$$

$$\text{Dijagram 137 (} a/d = c/b = 0,075) \quad \bar{\mu} = 0,35$$

$$\text{Dijagram 139 (} a/d = c/b = 0,1) \quad \bar{\mu} = 0,37$$

$$\bar{\mu} = (0,35 + 0,37) / 2 = 0,36,$$

$$A_a = 74,52 \text{ cm}^2.$$



B. Koso savijanje sa normalnom silom

B.1.

Podaci

$$d = 80 \text{ cm}$$

$$b = 40 \text{ cm}$$

$$a = 8 \text{ cm}, c = 4 \text{ cm}$$

$$\text{MB 30} \Rightarrow f_B = 20,5 \text{ MPa}$$

$$\text{GA 240/360}$$

Granični uticaji

$$N_u = 4592,0 \text{ kN}$$

$$M_1 = 960,4 \text{ kNm} \Rightarrow M_1/l_1 = 960,4/0,8 = 1200,5 \text{ kN}$$

$$M_2 = 240,1 \text{ kNm} \Rightarrow M_2/l_2 = 240,1/0,4 = 600,3 \text{ kN}$$

$$M_1/l_1 > M_2/l_2 \Rightarrow M_{xu} = M_1, \beta = 0,4.$$

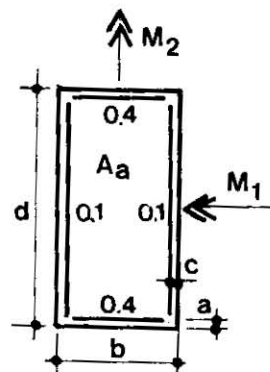
Granični bezdimenzionalni uticaji

$$N_u / b d f_B = 0,7,$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,183,$$

$$M_{yu} / b^2 d f_B = 0,0915 \Rightarrow \eta = m_y/m_x = 0,5$$

$$\text{Dijagram 428} \Rightarrow \bar{\mu} = 0,4 \Rightarrow A_a = 0,4 \cdot 40 \cdot 80 \cdot 2,05 / 24,0 = 109,33 \text{ cm}^2.$$



B.2.

Podaci

$$d = 50 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$a/d = c/b = 0,1$$

$$\text{MB 40} \Rightarrow f_B = 25,5 \text{ MPa}$$

$$\text{RA 400/500}$$

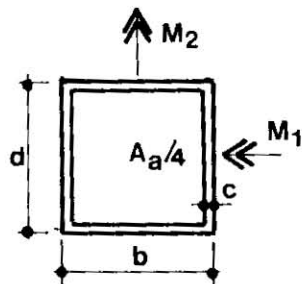
Granični uticaji

$$N_u = 8925,0 \text{ kN}$$

$$M_1 = 2550,0 \text{ kNm} \Rightarrow M_1/l_1 = 2550,0/0,5 = 5100,0 \text{ kN}$$

$$M_2 = 1912,5 \text{ kNm} \Rightarrow M_2/l_2 = 1912,5/0,5 = 3825,0 \text{ kN}$$

$$M_1/l_1 > M_2/l_2 \Rightarrow M_{xu} = M_1, M_{yu} = M_2$$



Granični bezdimenzionalni uticaji

$$N_u / b d f_B = 1,4$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,8$$

$$M_{yu} / b^2 d f_B = 0,6 \Rightarrow \eta = m_y/m_x = 0,75$$

$$\text{Dijagram 334} (m_y/m_x = 0,5) \Rightarrow \bar{\mu} = 0,65$$

$$\text{Dijagram 335} (m_y/m_x = 1,0) \Rightarrow \bar{\mu} = 0,71$$

$$\text{Interpolacija: } \bar{\mu} = (0,65 + 0,71) / 2 = 0,68 \\ \Rightarrow A_a = 87,13 \text{ cm}^2$$

B.3.

Podaci

$$l_1 = 80 \text{ cm}$$

$$l_2 = 40 \text{ cm}$$

$$\text{MB 35} \Rightarrow f_B = 23,0 \text{ MPa}$$

$$\text{RA 400/500}$$

Granični uticaji

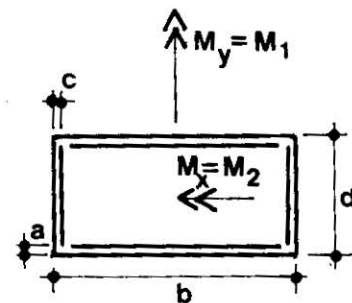
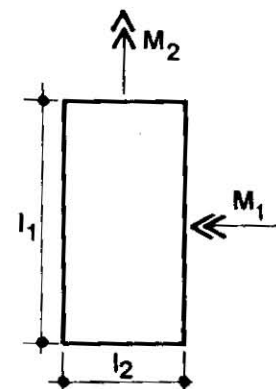
$$N_u = 5152,0 \text{ kN}$$

$$M_1 = M_2 = 647,7 \text{ kNm} \Rightarrow M_1/l_1 = 647,7/0,8 = 809,6 \text{ kN}$$

$$M_2/l_2 = 647,7/0,4 = 1619,3 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow M_1/l_1 < M_2/l_2 \quad M_{xu} = M_2, M_{yu} = M_1$$

$$a/d = 0,1, c/b = 0,05$$



Granični bezdimenzionalni uticaji

$$N_u / b d f_B = 0,7$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,22$$

$$M_{yu} / b^2 d f_B = 0,11 \text{ kNm} \Rightarrow \eta = m_y/m_x = 0,5$$

$$\text{Dijagram 354 } (m_y/m_x = 0,5) \Rightarrow \bar{\mu} = 0,6$$

$$\Rightarrow A_a = 110,4 \text{ cm}^2$$

B.4.

Podaci

$$d = 80 \text{ cm}$$

$$b = 50 \text{ cm}$$

$$a = 4 \text{ cm}$$

$$c = 4 \text{ cm}$$

$$a/d = 0,05, c/b = 0,08$$

$$\text{MB 40} \Rightarrow f_B = 25,5 \text{ MPa}$$

$$\text{RA 400/500}$$

Granični uticaji

$$N_u = 7140,0 \text{ kN}$$

$$M_1 = 1795,2 \text{ kNm} \Rightarrow M_1/l_1 = 2244,0 \text{ kN}$$

$$M_2 = 336,6 \text{ kNm} \Rightarrow M_2/l_2 = 673,2 \text{ kN}$$

$$M_1/l_1 > M_2/l_2 \Rightarrow M_{xu} = M_1, M_{yu} = M_2$$

Granični bezdimenzionalni uticaji

$$N_u / b d f_B = 0,7$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,22$$

$$M_{yu} / b^2 d f_B = 0,066 \Rightarrow \eta = m_y/m_x = 0,3$$

a) Aproksimacija na strani sigurnosti

$$a/d = 0,05, c/b = 0,1$$

$$a/d = 0,05$$

$$\text{Dijagram 346 } (m_y/m_x = 0,5)$$

$$\Rightarrow \bar{\mu} = 0,6$$

$$\text{Dijagram 134 } (m_y/m_x = 0)$$

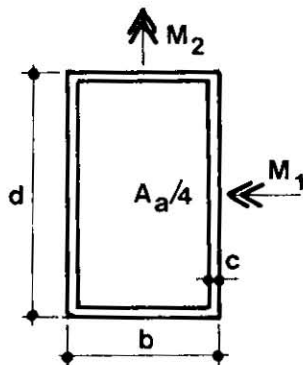
$$\Rightarrow \bar{\mu} = 0,4$$

$$m_y/m_x = 0,3 \Rightarrow \bar{\mu}_g = 0,52$$

b) Aproksimacija na strani nesigurnosti

$$a/d = 0,05, c/b = 0,05$$

$$a/d = 0,05$$



$$\text{Dijagram 332 } (m_y/m_x = 0,5)$$

$$\Rightarrow \bar{\mu} = 0,57$$

$$\text{Dijagram 134 } (m_y/m_x = 0)$$

$$\Rightarrow \bar{\mu} = 0,4$$

$$m_y/m_x = 0,3 \Rightarrow \bar{\mu}_d = 0,502$$

c) Interpolacija između $\bar{\mu}_g$ i $\bar{\mu}_d$

$$\Rightarrow \bar{\mu} = 0,51$$

$$\Rightarrow A_a = 130,05 \text{ cm}^2$$

C. Pravo savijanje sa normalnom silom armiranobetonskih zidova

Dijagrami interakcije prikazani na kraju priručnika, od broja 500 do 509, tipični su za dimenzionisanje armiranobetonskih zidova, armiranih armaturnom mrežom MA 500/560 po dužini zida i rebrastom armaturom RA 400/500, koncentrisanom u uglovima zida. Ukupna površina rebraste armature, čije je težište na odstojanju $a = 0,05 d$ od ivice zida, iznosi $2 A_a^R$, a ukupna površina armaturne mreže je A_a^M .

C.1.

Podaci

$$d = 300 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$\text{MB 30} \Rightarrow f_B = 20,5 \text{ MPa}$$

$$\text{RA 400/500 i MA 500/560}$$

Granični uticaji

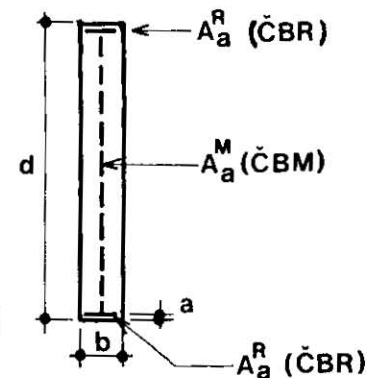
$$N_u = 12300,0 \text{ kN}$$

$$M_u = 3690,0 \text{ kNm}$$

Granični bezdimenzionalni uticaji

$$N_u / b d f_B = 1,0$$

$$M_{xu} / b d^2 f_B = 0,1$$

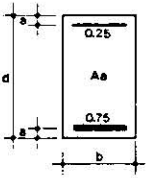
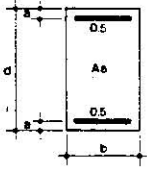
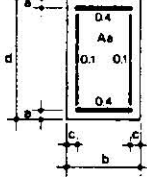


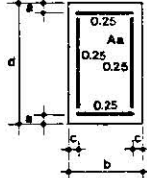
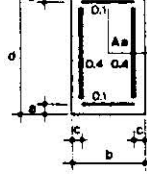
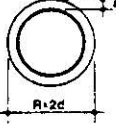
$$\text{Dijagram 503} \Rightarrow \bar{\mu} = \frac{2A_a^R + A_a^M}{bd} \frac{\sigma_v}{f_B} = 0,25$$

Ukupna armatura zida $A_a = (0,25 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 2,05) / 40 = 76,88 \text{ cm}^2$
od čega ukupna površina armaturne mreže iznosi

$$A_a^M = 76,88/3 = 25,66 \text{ cm}^2,$$

što je jednako i površini rebraste armature u svakom uglu zida ($A_a^R = A_a^M$).

OBLIK PRESEKA	a/d	$\sigma_v = 40$		$\sigma_v = 24$	
		max $\bar{\mu}$		max $\bar{\mu}$	
		1.6	0.4	1.5	0.4
	0.000 0.025 0.050 0.075 0.100 0.150		100 101 102 103 104 105		200 201 202 203 204 205
	0.000 0.025 0.050 0.075 0.100 0.150	106 108 110 112 114 116	107 109 111 113 115 117	206 208 210 212 214 216	207 209 211 213 215 217
	0.000 0.025 0.050 0.075 0.100 0.150	118 120 122 124 126 128	119 121 123 125 127 129	218 220 222 224 226 228	219 221 223 225 227 229

OBLIK PRESEKA	a/d	$\sigma_v = 40$		$\sigma_v = 24$	
		max $\bar{\mu}$		max $\bar{\mu}$	
		1.6	0.4	1.5	0.4
	0.000 0.025 0.050 0.075 0.100 0.150	130 132 134 136 138 140	131 133 135 137 139 141	230 232 234 236 238 240	231 233 235 237 239 241
	0.000 0.025 0.050 0.075 0.100 0.150	142 144 146 148 150 152	143 145 147 149 151 153	242 244 246 248 250 252	243 245 247 249 251 253
	0.000 0.050 0.100 0.150 0.200 0.300	154 156 158 160 162 164	155 157 159 161 163 165	254 256 258 260 262 264	255 257 259 261 263 265