

DIJAGRAMI INTERAKCIJE ZA PRORAČUN ARMATURE STUPOVA (2)

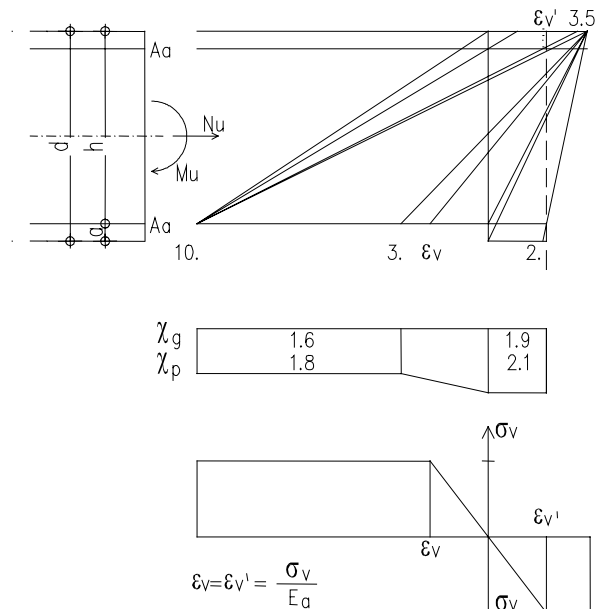
Predrag Presečki, Miljenko Kovač

1 Uvod

U radu autora A. Mandić Z. i Sorić "Dijagrami interakcije kratkih armiranobetonskih stupova" (Sabor hrvatskih graditelja 2000, Cavtat) te u članku "Dijagrami interakcije za proračun armature stupova" (Građevinar 7/2001.), autora Z. Sorić i A. Mandić, prikazuje se dimenzioniranje simetričnih pravokutnih armiranobetonskih stupova metodom graničnih stanja. Autori uvode nove dijagrame interakcije koje su kreirali postupkom prema Wuczkowskom i uspoređuju s postojećim dijagramima. U drugom članku izrađeni su dijagrami interakcije za uvjete iz Eurokoda-2 Ehlersovim postupkom. Pretpostavke tog postupka iste su kao i kod Wuczkowskog pa se primjedbe u reagiranju mogu odnositi na oba članka. Zaključuje se da novokreirani dijagrami u odnosu na postojeće imaju područja sa manjim ili većim odstupanjima tako da novi postupak u nekim slučajevima daje i do 3 puta veću armaturu. Iz radova proizlazi da se različitim metodama dimenzioniranja za iste ulazne parametre mogu dobiti bitno različiti iznosi potrebne armature. Takvi rezultati mogu zbunjivati i dovoditi u sumnju korištenje dosadašnjih načina proračuna. Smatramo da je u članku dan pogrešan pristup problematici, izrazi za proračun armature novim postupkom izvedeni su na proizvoljnim pretpostavkama, a rezultat svega su neupotrebljivi dijagrami interakcije kreirani iz takvih izraza.

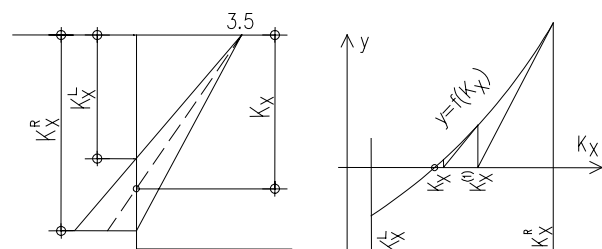
2 Opis problema

Dimenzioniranje metodom graničnih stanja nosivosti temelji se na ravnoteži vanjskih sila uvećanih koeficijentima sigurnosti s unutarnjim silama presjeka u pretpostavljenom mehanizmu sloma pri iskorištenju betona i/ili armature. Kod toga je moguće stanje sloma na više načina ovisno o odnosu deformacije gornjeg tlačnog ruba i vlačne armature (ili donjeg tlačnog ruba ako je cijeli presjek pod tlakom). Definira se bilinearni radni dijagram čelika, oblik naprezanja tlačne prizme betona te promjena faktora sigurnosti u zoni prelaska deformacije vlačne armature u tlačnu ($3‰ < \epsilon_a < 0‰$) (slika 1.). Zadatak se svodi na pronalaženje pravca deformacije da bi uz navedene pretpostavke, vanjske i unutarnje sile bile u ravnoteži. Kod toga je jedna od točaka pravca uvijek određena (granično izduženje vlačne armature od 10‰ ili deformacija tlačnog ruba betona od $-3,5‰$) pa se problem svodi samo na pronalaženje druge točke pravca - neutralne osi, izražene preko koeficijenta položaja k_x (slika 2.).Krajnji slučaj je deformacija cijelog presjeka od $-2,0‰$ pod centričnom tlačnom silom. Sama ideja o novoj metodi proračuna koja daje rješenja sa drugačijim



Slika 1. Zone mogućih pravaca deformacije unutar kojih su različiti analitički izrazi za površinu armature

iznosom armature načelno je pogrešna jer se, uz navedene pretpostavke i simetričan način armiranja, ravnoteža postiže samo za jednu vrijednost položaja neutralne osi. Može se stoga govoriti samo o metodi ili postupku pronalaženja neutralne osi s većom ili manjom točnošću. Krajnji rezultat mora biti jednaka površina potrebne armature, a time i grafički prikaz bezdimenzionalnog koeficijenta μ u interakcijskim dijagramima može imati samo jedan oblik.



$$y = K_x^3 (\dots) + K_x^2 (\dots) + \dots$$

$$y' = 3K_x^2 (\dots) + 2K_x (\dots) + \dots$$

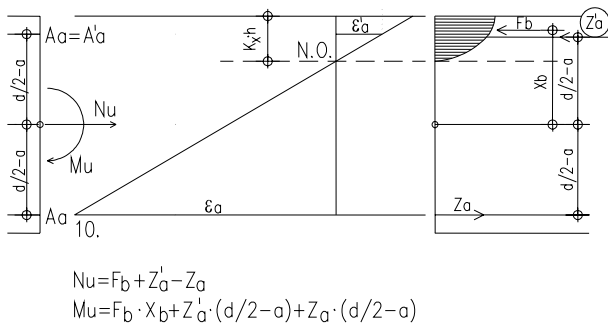
$$K_x^{(1)} = K_x^r - y/y' \quad (1) \text{ ITERACIJA}$$

$$\vdots$$

$$K_x^{(i+1)} = K_x^{(i)} - y^{(i)}/y'^{(i)}$$

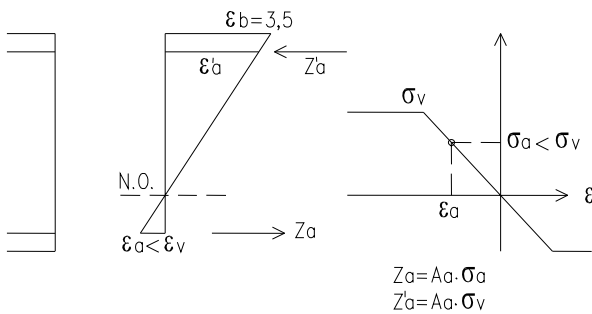
Slika 2. Princip pronalaženja neutralne osi u jednoj zoni pomoću Newtonove iteracije

Polazna je osnova autora Z. Sorić i A. Mandić u dimenzioniranju premještanje računске uzdužne sile u težište vlačne armature uz računanje ukupnog računskog momenta savijanja za jednostruko armirani presjek. Također se traži računski granični moment koji presjek može prihvatiti bez tlačne armature. Pošto je unaprijed definirano simetrično armiranje ($A_a = A_a'$) ne mogu se na takvim pretpostavkama određivati izrazi za vlačnu armaturu i udvostručiti je na simetrični položaj. Na slici 3. prikazano je moguće stanje ravnoteže s tlačnom deformacijom dijela presjeka iznad neutralne osi. Izvoditi izraze za površinu armature traženjem momenta koji presjek može prihvatiti bez tlačne armature značilo bi zaboraviti na utjecaj tlačne sile Z_a' u armaturi. Time bi se napustio uvjet monolitnosti koji pretpostavlja jednaku deformaci-



Slika 3. Mogući slučaj ravnoteže; vidljivo je da moramo uzeti u obzir i doprinos sile u tlačnoj armaturi

ju armature i betona koji je okružuje. Pogrešno je izvoditi izraze koristeći granični moment za jednostruko armirani presjek ($\epsilon_b/\epsilon_a = -3,5/3,0\%$) kad je cijeli presjek pod tlakom. Prvim izrazom za vlačnu armaturu "negativna" vrijednost armature pokazuje da izraz za to područje nije primjenljiv, a drugim izrazom tlačna armatura koja je uzeta kao mjerodavna opet u formuli sadrži granični moment temeljen na vlačnoj armaturi. Pretpostavlja se uvijek potpuno iskorištenje čelika sa granicom popuštanja σ_s , a neki od položaja ravnoteže ne dostižu tu granicu; primjerice povećanjem uzdužne sile neutralna se os spušta u zonu smanjenja deformacije vlačne armature s



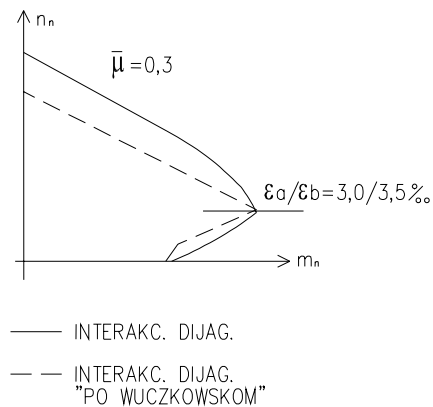
Slika 4. Slučaj linije deformacije sa naprezanjem u vlačnoj armaturi ispod granice popuštanja

posljedicom manje iskoristivosti napona u čeliku (slika 4.). Dijagrami interakcije moraju sadržavati i zrakasto položene pravce za parove vrijednosti ϵ_a / ϵ_b čime je ujedno određen i položaj neutralne osi. Za deformaciju $\epsilon_a < 3\%$ pravce je po Ehlersu i Wuczkowskom nemoguće definirati pa nisu ni nacrtani. Zbog toga se ne mogu provjeriti vrijednosti pretpostavljenih koeficijenata sigurnosti za ulazne sile i momente u toj zoni. Poznato je da se povećanjem uzdužne tlačne sile smanjuje duktilnost, što je praćeno povećanjem koeficijenta sigurnosti. Usporedbom interakcijskih dijagrama vidljivo je da se navedene greške manifestiraju povećanjem potrebne površine armature (slika 5.). Najveći propust, a kojeg je najlakše prekontrolirati odnosi se na završetak pravca u interakcijskom dijagramu na vertikalnoj osi za slučaj čiste centričke sile. Granično stanje tada pretpostavlja jednaku tlačnu deformaciju cijelog presjeka ($\epsilon_a = \epsilon_b = -2,0\%$) s potpunim iskorištenjem betona i armature prema izrazu:

$$N_u = b d f_B + A_a \sigma_v + A_a' \sigma_v \cdot 6300$$

$$= 0,3 \cdot 0,6 \cdot 27500 + 2 \cdot (0,0017 \cdot 400000)$$

Za slučaj presjeka 30/60 cm, $f_b = 27,5 \text{ N/mm}^2$ i $\sigma_v = 400 \text{ N/mm}^2$, $N_u = 6300 \text{ KN}$ sile su u ravnoteži za površinu armature $A_a = A_a' = 17,0 \text{ cm}^2$ i $\mu = 0,15$



Slika 5. Karakteristični prikaz odstupanja dijagrama interakcije prema dijagramu "po Wuczkowskom"

Dijagramom interakcije "prema Wuczkowskom" dobiva se $\mu = 0,30$ i dvostruka količina armature. Ili nema ravnoteže ili su naponi u armaturi iskorišteni s pola vrijednosti što više ne možemo nazvati graničnim stanjem.

U članku je izračunan primjer presjeka 30/60 cm, $f_b = 27,5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_v = 400 \text{ N/mm}^2$ i računске sile $N_u = 3629 \text{ KN}$ i $M_u = 404 \text{ KNm}$. U proračunu je pretpostavljeno $\epsilon_b/\epsilon_a = -3,5/0,0\%$, dakle neutralna os je u težištu vlačne armature ($k_x = 1$) Ovdje također nije moguće uspostaviti ravnotežu. Suma unutarnjih sila i momenata na os vlač-

ne armature ne odgovara vanjskim zbog trostruko veće površine armature od potrebne.

Smatramo da je ključni problem metode po kojoj su izrađeni novi dijagrami interakcije nemogućnost njene primjene na simetrično armirani presjek i sve kombinacije momenta i uzdužne tlačne sile. Ponavljamo, Wuczowski uspostavlja stanje ravnoteže za jednostruko armirani presjek bez tlačne armature ($10 < \varepsilon_a < 3\text{‰}$, $0 < \varepsilon_b < -3,5\text{‰}$) ili nesimetrično armiran presjek sa dodatnim parom tlačne i vlačne armature ($\varepsilon_b/\varepsilon_a = -3,5/3,0\text{‰}$, položaj neutralne osi ostaje isti !) što je moguće za čisti moment i kad je moment u kombinaciji sa malim iznosom uzdužne sile (veliki ekscentricitet). Proširenjem izraza na područje zona koja pokrivaju pravi interakcijski dijagrami, dolazi se u sukob sa temeljnim postavkama ravnoteže i rezultati tako izračunate armature nemaju valjano uporište.

U članku se upozorava da se novom metodom može dobiti neracionalno velika armatura ili se zbog simetričnog

armiranja uvodi veća armatura od potrebne. U osnovnim postavkama proračuna sami autori navode da se proračun provodi prema graničnom stanju nosivosti. Zar višak armature ne povećava graničnu nosivost?

Na kraju autori zaključuju: "treba naglasiti da dijagrami interakcije koji se temelje na postupku Ehlersa nisu konstruirani kako bi se rabili u praksi, nego zato da se upozori na netočnost tog postupka pri povećanim uzdužnim silama...". Nameće se pitanje koji je onda smisao dijagrama i zašto su rađeni ako je postupak netočan? Međutim, može se reći da je postupak točan u okvirima pretpostavki za koje je rađen (nesimetrično armiranje, mala uzdužna sila).

Znači da usporedba s pravim dijagramima interakcije, bez obzira jesu li rađeni prema PBAB ili EC2, nije moguća jer dijagramima "koje do sad nitko nije izradio" nisu zadovoljeni uvjeti ravnoteže.