

PRETHODNO NAPREGNUTE BETONSKE KONSTRUKCIJE

Nenad PEČIĆ – materijal za nastavu – radna verzija

2024.

LEKCIJA 6: ODREĐIVANJE GRANIČNE NOSIVOSTI NA SAVIJANJE DEFINISANOG PRETHODNO NAPREGNUTOG PRESEKA

Napomena: U prethodnim lekcijama 1 – 5 objašnjen je koncept PN i, kroz primer, prikazan pragmatičan pristup projektovanju koji polazi od zadovoljenja SLS zahteva. U drugom delu Lekcije 5 urađena je prva SLS provera - ograničenje napona. Preostali SLS zahtevi (prsline, ugibi) biće predmet Lekcije 8 koja će, zbog organizacionih razloga, biti urađena naknadno. Sada se prelazi na proveru ULS zahteva. S obzirom da je nosač u primeru poprečno opterećen – napregnut na savijanje – to, kao i kod armiranobetonskih konstrukcija, podrazumeva obezbeđenje u odnosu na momente i transverzalne sile. Nosač je već koncipiran, a njegove karakteristike (preseki, materijali) poznate. Zbog toga se sada ne sprovodi dimenzionisanje u odnosu na momente savijanja, već provera da li usvojeno rešenje ima dovoljnu nosivost, kako i ukazuje naslov Lekcije 6. Iz ove lekcije radi se Zadatak broj 5, koji je prikazan na kraju teksta.

Definisani presek: geometrija preseka (betona), raspored i površina kablova za PN, veličina trajne sile PN - P_t , raspored i površina obične armature i kvalitet materijala (čvrstoće i drugi naponi i dilatacije potrebni za definisanje proračunskih dijagrama za materijale).

Kriterijum granične nosivosti: kriterijum je implicitno povezan sa vrstom (oblikom) proračunskih dijagrama za čelike koji se koriste pri određivanju granične nosivosti. Proračun se komplikuje ukoliko se za čelike koriste bilinearni dijagrami sa nagnutom završnom granom, jer su kod njih ograničene maksimalne dilatacija u čelicima i kriterijum dostizanja granične nosivosti nije jednoznačan - granična nosivost se postiže dosezanjem jedne od graničnih dilatacija (skraćenja ili rastezanja). Benefit od korišćenja ovakvih dijagrama, koji se ogleda u dobijanju nešto veće granične nosivosti u odnosu na dijagrame sa horizontalnom završnom granom, u većini slučajeva nije dovoljno veliki da bi se opravdalo komplikovanje proračuna. Evrokod 2 (EN 1992-1-1) daje mogućnost da se ne ograničava dilatacija rastezanja, tako da se granična nosivost savijanih elemenata uvek ostvaruje dostizanjem granične dilatacije skraćenja na pritisnutoj strani preseka. Postupak koji će se prikazati u nastavku odnosi se na nosače sa kablovima sa spojem (kablove injektirane materijalom koji vezuje) i odgovara konceptu ULS proračuna u kome se kablovi tretiraju kao deo unutrašnjeg ravnotežnog stanja preseka (alternativni koncept ULS proračuna nosača tretira uticaje PN kao spoljašnje dejstvo). Postupak koristi dijagrame za čelike sa horizontalnom završnom granom, bez ograničenja dilatacije rastezanja i sa jedinstvenim kriterijumom dostizanja granične nosivosti pri savijanju: dilatacija preseka na pritisnutoj strani (ivica 2) jednaka je maksimalnoj dilataciji pritiska proračunskog dijagrama za beton ε_{cu2} ili ε_{cu3} , zavisno od izabranog dijagrama za beton (koje iznosi 3,5 ‰, za klase do C50/60, a za više klase su nešto manje). Kriterijum granične nosivosti je u suštini deformacijski tako da, praktično, ne označava fizički kolaps nosača.

Za referentno mesto dilatacije od 3,5 ‰ usvaja se najjače pritisnuto vlakno preseka ('gornja ivica preseka'; presek ćemo nadalje posmatrati kao da spoljni moment zateže donju ivicu). Za sprovođenje proračuna postupkom prikazanim u nastavku potrebno je definisati i referentnu visinu. **Za referentnu visinu d** usvojena je statička visina kablova, kao glavne armature.

Proračunski dijagrami za materijale usvajaju se prema EN 1992-1-1. Dijagrami za čelike (kablovi i armatura) konstruišu se prema izabranim materijalima, primenom odgovarajućeg parcijalnog koeficijenta sigurnosti $\gamma_p = \gamma_s = 1,15$. Za beton se može koristiti osnovni dijagram parabola-prava ili, što je kod razuđenih preseka (čest slučaj kod PN elemenata) jednostavnije, blok dijagram na 80 % (pri $C \leq C50/60$) visine pritisnute zone, sa $\gamma_c = 1,50$ i $\alpha_{cc} = 0,85$.

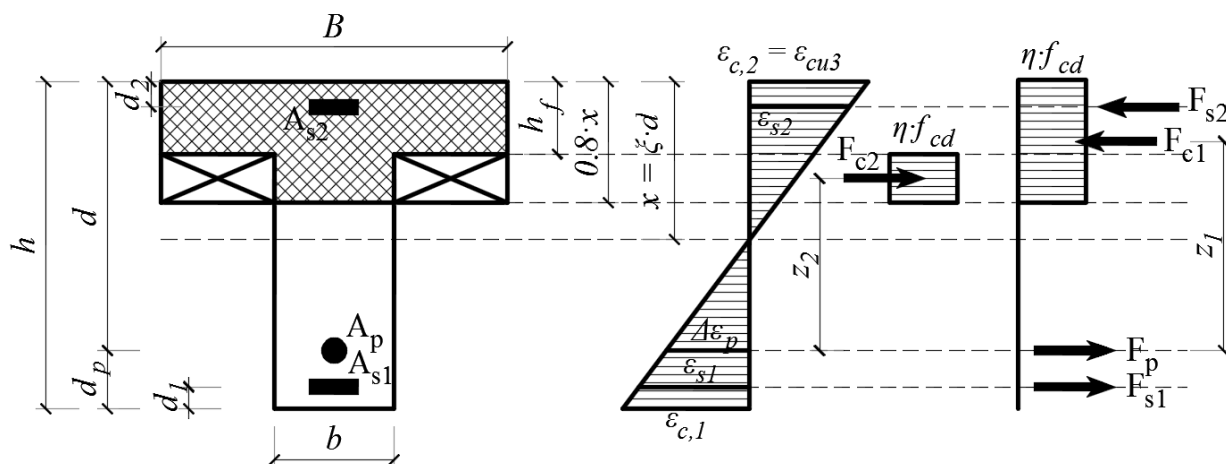
Naponi i unutrašnje sile u materijalima koji čine presek izračunavaju se korišćenjem proračunskih dijagrama, a na osnovu dilatacija na odgovarajućoj visini preseka (odgovarajući dijagram dilatacija po visini određuje se iz uslova ravnoteže normalnih sila i hipoteze ravnog preseka). Dilatacije u običnim armaturama kompatibilne su sa dilatacijama u betonu (preseku) i direktno se koriste na proračunskom dijagramu. Kablovi, međutim, imaju prethodno ostvarenu dilataciju – pre sprežanja sa betonom (pri PN). Pored toga, beton oko kablova je usled prethodnog naprezanja pritisnut (ima dilataciju skraćivanja). Pri dostizanju granične nosivosti u velikom ekscentricitetu ova zona je zategnuta (rastezana). Da bi se to postiglo, potrebno je najpre „istrošiti“ ovo skraćivanje, a potom nastaje zatezanje koje se vidi na slici dilatacija u preseku. Ukupna dilatacija kablova sastoji se od dela koji odgovara prethodnom naprezanju i rasterećenju betona od pritiska (prvi deo, naziva se dilatacija kablova pri dekompresiji) i dela koji se očitava sa slike dilatacija preseka, na mestu kablova (drugi deo, kao i kod armatura).

Ograničićemo se na oblike preseka kod kojih **pritisnuta zona** najviše jednom (skokovito) menja širinu, tj. ne komplikovanije od 'T' oblika pritisnute zone (ovo uključuje i oblike koji se mogu aproksimirati 'T' presekom, kada se, na primer, zakošene flanše zamene pravougaonim sa istom površinom). Preseci **ispod** neutralne linije (u zategnutoj zoni) mogu biti proizvoljnog oblika, pa su ovim obuhvaćeni i, na primer, 'I' preseci. Ograničenje na 'T' oblik je samo formalno, zbog operativnog algoritma. Postupak je isti za bilo koji oblik preseka, ali se rezultante napona i njihovi položaji moraju izračunavati integraljenjem, dok se za 'T' koriste već gotovi izrazi.

Koristi se postupak za AB preseke obradjen u okviru predmeta TBK 1, u koji se unose potrebne modifikacije (dopune). Dosledno tome, za beton će se koristiti blok dijagram.

Oznake (spoljni moment zateže donju ivicu):

- h - visina preseka;
- B - prva širina gledano odozgo (širina u nivou gornje ivice);
- b - druga širina gledano odozgo (širina 'rebra'); ako je pritisnuta zona oblika pravougaonika (fizički ne menja širinu) $b = B$;
- A_{s1} i A_{s2} - površine donje i gornje armature koje su na odstojanju d_1 i d_2 od odgovarajućih ivica preseka;
- A_p - površina kablova za prethodno naprezanje, čije je težište na d_p od donje ivice preseka; pretpostavka je da su kablovi grupisani i da se mogu zameniti jedinstvenom površinom u njihovom težištu (ako postoji više grupa kablova u preseku, svaka se razmatra zasebno na isti način i uvodi u jednačine ravnoteže kao i ova jedna);
- d - osnovna statička visina, $d = h - d_p$;
- h_f - visina dela koji ima širinu B (debljina 'ploče'), $\delta = h_f/d$;
- x - položaj neutralne linije, $\xi = x/d$
- f_c - napon pritiska u betonu za blok dijagram, $f_c = \eta \cdot f_{cd}$ (η prema 3.1.7 EN1992-1-1)
- λ - deo visine pritisnute zone na kome deluje napon f_c (λ prema 3.1.7 EN1992-1-1)



Proračunski dijagrami za materijale:

- beton: blok dijagram sa konstantnim naponom ηf_{cd} duž visine $\lambda \cdot x$ i maksimalnom dilatacijom ε_{cu3} (za $C \leq C50/60$ je $\eta = 1,0$, $\lambda = 0,8$ i $\varepsilon_{cu3} = 3,5 ‰$; η je ovde koeficijent čvrstoće iz klauzule 3.1.7(3) Evrokoda 2, a ne koeficijent trajne sile!);
- armatura: bilinearni, sa prelomom na $(\varepsilon, \sigma) = (f_{yd}/E_s, f_{yd})$ i horizontalnom završnom granom bez ograničenja dilatacije pri naponu f_{yd} , $E_s = 200 \text{ GPa}$;
- čelik za PN: bilinearni, sa prelomom u tački $(\varepsilon, \sigma) = (f_{pd}/E_p, f_{pd})$ i horizontalnom završnom granom bez ograničenja dilatacije pri naponu f_{pd} , gde je $f_{pd} = f_{p0,1d} = f_{p0,1k}/\gamma_p$. $f_{p0,1k}$ je vrednost napona koji ostavlja nepovratnu dilataciju od 0,1% pri rasterećenju do nule, a modul $E_p = 195 \text{ GPa}$ za užad (vidi Lekciju 2) i $E_p = 205 \text{ GPa}$ za žice i šipke. $\gamma_p = \gamma_s = 1,15$.

Podaci za čelik za PN se uzimaju iz atesta. Na primer, za užad, to su prekidna sila, (karakteristična) vrednost sile (koja pri rasterećenju ostavlja nepovratnu dilataciju od 0,1% - "0,1% proof stress") i izduženje pri maksimalnoj sili ε_{uk} , kao i modul elastičnosti E_p . Napon $f_{p0,1k}$ za konstruisanje dijagrama dobija se deljenjem sile pri nepovratanj dilataciji od 0,1 % sa nominalnom površinom (užeta). Dilatacija na prelomu se dobija kao $\varepsilon_p = f_{pd}/E_p$.

Dilatacija u kablovima pri dekompresiji preseka

Ovim računom se uvodi u proračun činjenica (1) da kablovi imaju prethodni napon, proizveden zatezanjem pri izvođenju PN, kao i činjenica (2) da je zona preseka oko kablova, koja će u graničnom stanju biti zategnuta, pre opterećivanja do graničnog stanja – pritisnuta usled PN.

(1) Prilikom PN kablovi se pomeraju duž zaštitnih cevi, kao posledica izduživanja usled zatezanja kome su izloženi. Dilatacija u njima, koja se pritom ostvaruje, ne može se odrediti iz uslova kompatibilnosti u preseku, s obzirom da u tom momentu ne postoji sprezanje sa betonom. Dilatacija se može jednostavno odrediti kao količnik ostvarenog napona i modula kablova. S obzirom da se ULS proračun odnosi na vreme eksploatacije, za izračunavanje napona u kablovima koristi se trajna sila P_t .

(2) Zona u kojoj, pri dostizanju graničnog stanja savijanjem, dolazi do pojave zatezanja (veliki ekscentricitet) je, usled PN, prvobitno pritisnuta. Stoga, „na putu“ ka dostizanju graničnog stanja, presek treba prvo opteretiti tako da se 'potroši' pritisak (tj. skraćenje) preseka (betona) u zoni kablova.

Deo dilatacije u kablovima koji obuhvata (1) i (2) se naziva **dilatacija pri dekompresiji** i odgovara situaciji kada je beton u nivou kablova opterećen tako da se istroši pritisak („dekompresija“). Dilatacija u kablovima se sastoji od dela koji odgovara naponu u kablovima od trajne sile P_t i dela koji nastaje pri (elastičnom) rasterećenju betona (u nivou težišta kablova) od pritiska (za ovaj deo važe uslovi kompatibilnosti).

$$\varepsilon_{p,dec} = \frac{P_t}{E_p A_p} + \frac{1}{E_{cm}} \left(\frac{P_t}{A_{ci}} + \frac{P_t \cdot z_{ci,p}^2}{I_{ci}} \right)$$

U prethodnom izrazu, umesto karakteristika transformisanog preseka („idealizovanog“ - svedenog na beton kao referentni materijal - indeks „ci“) uobičajeno se koriste karakteristike betonskog bruto preseka (indeks „c“). Transformisani presek uključuje beton, kablove i, eventualno, armaturu, ako je znatna (u primeru u Prilogu 5.4 izračunavane su ove karakteristike za kontrolu napona u eksploataciji).

Nakon dekompresije, daljim opterećivanjem (momentom), zona preseka u kojoj su kablovi prelazi u zatezanje. Nastavkom opterećivanja zategnuta zona se povećava, a pritisnuta smanjuje. Kada se pritisnuta zona dovoljno redukuje, dilatacija u pritisnutom betonu će doseći graničnih 3,5 ‰ na referentnom mestu. Pri ovom koraku prati se razvoj slike dilatacija po visini preseka (hipoteza ravnog preseka – sl. na str. 2; za beton i armaturu to su ukupne dilatacije, a za kablove je potrebno da se označi da je to dodatak dilatacije nakon dekompresije preseka, $\Delta\varepsilon_p$).

Ukupna dilatacija u kablovima se zato prikazuje kao zbir dve dilatacije ($\varepsilon_p = \varepsilon_{p,dec} + \Delta\varepsilon_p$).

Proračun granične nosivosti sprovodi se u **dva koraka**.

U prvom koraku određuje se položaj neutralne linije korišćenjem uslova ravnoteže normalnih sila. Ovaj korak je iterativan.

U drugom koraku izračunava se traženi moment kao redukcionni moment svih (konačnih) normalnih sila koje su proizašle iz iteracija prvog koraka.

Prvi korak: određivanje položaja neutralne linije

$$\Sigma N = 0: (F_{c1} - F_{c2}) + F_{s2} - F_{s1} - F_p = 0 \quad (a)$$

Napomena: jednačina (a) je ispisana pod pretpostavkom da u preseku ne deluje spoljna normalna sila (čisto savijanje), kao i da je pritisnuta zona oblika 'T' ($\lambda \cdot x > h_f$). Kada je neutralna linija u 'ploči' ($\lambda \cdot x < h_f$), F_{c2} se izostavlja. Sa f_c je označena veličina računskog pritiska blok dijagrama: $f_c = \eta \cdot f_{cd}$

$$F_{c1} = \lambda \cdot x \cdot B \cdot f_c \quad (b)$$

$$F_{c2} = (B - b) \cdot (\lambda \cdot x - h_f) \cdot f_c \quad (c)$$

1. Prema materijalima pribave se svi potrebni proračunski dijagrami. Za čelik za PN dijagram se 'konstruiše' prema podacima iz atesta, kao što je napred objašnjeno (bilinearni dijagram). Izračuna se $\varepsilon_{p,dec}$.
2. **Pretpostavi se vrednost x .** Izračunaju se dilatacije po visini preseka koje su potrebne za računanje unutrašnjih sila iz uslova da je na ivici 2 $\varepsilon = \varepsilon_{c,2} = \varepsilon_{cu3}$ i da je na mestu „x“ – neutralnoj liniji $\varepsilon = 0$.

F_{c1} se računa po (b) ;

ako je $\lambda \cdot x > h_f$, F_{c2} se računa po (c)

$\varepsilon_{s2} = \frac{x-d_2}{x} \cdot \varepsilon_{cu3} (‰)$, sa dijagrama za armaturu se uzme napon $\sigma_{s2} = \sigma_{s2}(\varepsilon_{s2})$ i $F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2}$;

$\varepsilon_{s1} = \frac{(h-d_1)-x}{x} \cdot \varepsilon_{cu3} (‰)$, sa dijagrama za armaturu se uzme napon $\sigma_{s1} = \sigma_{s1}(\varepsilon_{s1})$ i

$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1}$;

$\Delta \varepsilon_p = \frac{d-x}{x} \cdot \varepsilon_{cu3} (‰)$, $\varepsilon_p = \varepsilon_{p,dec} + \Delta \varepsilon_p$, sa dijagrama za kablove se uzme napon $\sigma_p = \sigma_p(\varepsilon_p)$ i $F_p = A_p \cdot \sigma_p$;

3. Izračuna se leva strana jednačine (a) i uporedi sa nulom. Jednačina se može smatrati zadovoljenom ako je dobijena vrednost manja od 1% od zbira svih sila istog znaka iz jednačine (na primer: $F_c + F_{s2} = (F_{c1} - F_{c2}) + F_{s2}$). Ako je odstupanje veće, bira se novo x i ponavlja postupak iz tačke 2. Ukoliko je izračunata vrednost leve strane jednačine (a) bila negativna, novo x treba da bude veće od prethodnog i obrnuto.

Napomena: U slučaju kada se za čelike koriste bilinearni proračunski dijagrami sa horizontalnom završnom granom, iterativni proračun pretpostavljanjem vrednosti x nije uvek neophodan. U slučaju da se granično stanje dostiže pri dovoljno velikim dilatacijama na zategnutoj strani (tako da je napon u kablovima konstantan) – potrebna površina pritisnutog betona (a time i položaj neutralne linije) može se direkto izračunati iz uslova ravnoteže.

Drugi korak: izračunavanje redukcionnog momenta unutrašnjih sila

$$z_1 = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x \quad (f)$$

$$\text{a ako je } \lambda \cdot x > h_f, \text{ i } z_2 = d - 0,5 \cdot (h_f + \lambda \cdot x) \quad (g)$$

Iz konačne iteracije prvog koraka proizašli su F_{c1} , F_{c2} , F_{s2} , F_{s1} , F_p , ε_b i ε_{bd} . Redukcionni moment svih unutrašnjih sila M_{Rdp} prema mestu koje označava položaj kablova je:

$$M_{Rdp} = F_{c1} \cdot z_1 - F_{c2} \cdot z_2 + F_{s2} \cdot (d - d_2) + F_{s1} \cdot (d_p - d_1) \quad (j)$$

Ukoliko u preseku ne deluje spoljna normalna sila M_{Rdp} je ujedno i granični moment $M_{Rdp} = M_{Rd}$. Ukoliko u preseku deluje spoljna normalna sila, koja je uzeta u jednačini (a), izračunati moment M_{Rdp} treba vratiti u težište preseka (sistemnu liniju za izračunavanje presečnih sila), dodavanjem redukcionog momenta spoljne normalne sile koji odgovara njenom premeštanju sa mesta kablova u težište preseka. Granična nosivost preseka M_{Rd} u tom slučaju predstavlja „zbir“ (sa odgovarajućim znakom) M_{Rdp} i redukcionog momenta.

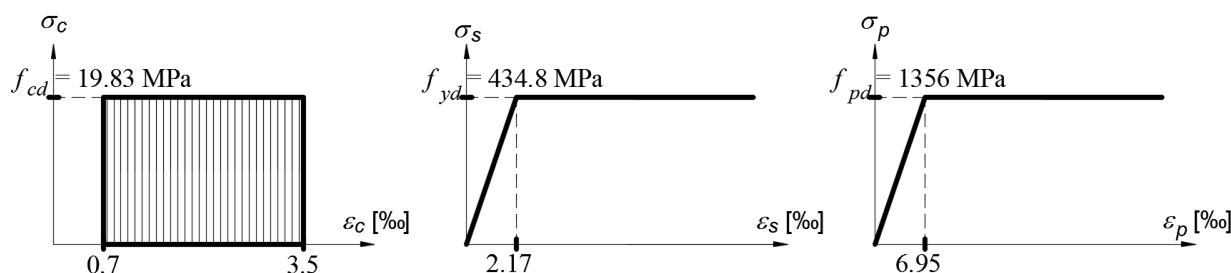
4.10. Određivanje granične nosivosti pri savijanju

Za presek u sredini raspona nosača koji je obrađivan u primeru (Prilozi 5.1 i 5.4).

Podaci o preseku i materijalima:

- beton: C35/40, $f_{cd} = 19,83$ MPa, $\lambda = 0,8$, $\eta = 1,0$, $B/b/h/h_f = 50/20/200/40$ cm, $E_{cm} = 34$ GPa (koeficijent η je ovde faktor redukcije čvrstoće na pritisak pri $f_{ck} > 50$ MPa iz klauzule 3.1.7(3) Evrokoda 2, a ne koeficijent trajne sile; pri $f_{ck} \leq 50$ MPa nema redukcije: $\eta = 1,0$)
- armatura: B500, $f_{yd} = 434,8$ MPa, $A_{s1} = A_{s2} = 8,04$ cm² (4Ø16), $d_1 = d_2 = 4,5$ cm, $E_s = 200$ GPa
- trajna sila PN $P_t = 4916$ kN
- kablovi: $A_p = 58,38$ cm² (7 kablova 6Ø15,2); užad Ø15,2: površina 139 mm², $d_p = 18,57$ cm, (prekidna sila užeta 245 kN, $f_{pk} = (245/1,39) \times 10 = 1770$ MPa, izduženje pri maksimalnoj sili $\epsilon_{uk} = 4,5$ %), karakteristična vrednosti sile pri nepovratnoj dilataciji od 0,1% (0,1% proof stress) 217 kN ($f_{p0,1k} = (217/1,39) \times 10 = 1560$ MPa, $f_{p0,1d} = f_{pd} = 1560/1,15 = 1356$ MPa), modul elastičnosti $E_p = 195$ GPa; $f_{pd}/E_p = 6,95$ ‰.

Dijagrami za materijale:



$$d = 200 - 18,57 = 181,43 \text{ cm}$$

Dilatacija u kablovima pri dekompresiji:

$$\epsilon_{p,dec} = \frac{4916}{19500 \cdot 58,38} + \frac{1}{3400} \left(\frac{4916}{6400} + \frac{4916 \cdot 81,43^2}{29013000} \right) = 4,318 + 0,556 = 4,875 \text{ ‰}$$

Iteracijama se pronalazi položaj neutralne linije. Iteracije se ne prikazuju u projektnoj dokumentaciji. Ukoliko se rešavanje ne sprovodi automatski – pomoću računara, primer iteriranja dat je u nastavku.

$x = 90,0$ cm	$\epsilon_{c,2}$		ϵ_{s2}	ϵ_{s1}	ϵ_p	Σ
dilatacije (‰)	3,500		3,325	4,103	6,962	
	F_{c1}	F_{c2}	F_{s2}	F_{s1}	F_p	
sile (kN)	7140	1904	350	350	7925	-2689

Neravnoteža od (-)2689 kN predstavlja oko 48% od $(F_{c1} - F_{c2}) + F_{s2}$; (-) znači treba veće x .

$x = 140,0$ cm	$\epsilon_{c,2}$		ϵ_{s2}	ϵ_{s1}	ϵ_p	Σ
dilatacije (‰)	3,500		3,388	1,388	5,910	
	F_{c1}	F_{c2}	F_{s2}	F_{s1}	F_p	
sile (kN)	11105	4284	350	223	6728	220

Neravnoteža od (+)220 kN predstavlja oko 3,1% od $(F_{c1} - F_{c2}) + F_{s2}$; (+) - treba manje x .

Pošto su sume različitog znaka, $90 < x < 140$, sledeći pokušaj se može kvalitetnije napraviti uz interpolaciju

$$x = 90,0 - \frac{140,0 - 90,0}{220 - (-2689)} \cdot (-2689) = 136,2 \text{ cm}$$

$x = 136,2 \text{ cm}$	$\varepsilon_{c,2}$		ε_{s2}	ε_{s1}	ε_p	Σ
dilatacije (‰)	3,500		3,384	1,524	6,037	
	F_{c1}	F_{c2}	F_{s2}	F_{s1}	F_p	
sile (kN)	10805	4103	350	245	6873	-66

Neravnoteža od (-66 kN) predstavlja oko 1,0 % od $(F_{c1} - F_{c2}) + F_{s2}$; Ovo je zadovoljavajuće precizno sračunato x . Rezultat prikazan u nastavku ($x = 137,1$) dobijen je većim brojem iteracija uz upotrebu računara.

Ravnoteža unutrašnjih normalnih sila dobija se pri $x = 137,1 \text{ cm}$

Sile, njihovi kraci i redukcionni momenti prema težištu kablova dati su u tabeli.

	F_{c1}	F_{c2}	F_{s2}	F_{s1}	F_p	Σ
sila (kN)	10874	4144	350	240	6839	0
krak (cm)	126,6	106,6	176,9	14,1	0	-
moment (kNm)	13767	-4418	618	34	0	10 001

Granična nosivost preseka na savijanje iznosi $M_{Rd} = 10001 \text{ kNm}$ (ukoliko bi se vrednost sračunala sa $x = 136,2 \text{ cm}$, rezultat bi iznosio 9982 kNm , što je praktično isto).

Ukupni granični (ULS) moment u sredini raspona

$$M_{Ed} = 1,35 \times (2173 + 3786) + 1,50 \times 317,9 + 1,50 \times 0,5 \times 621,4 = 8988 \text{ kNm, ili}$$

$$M_{Ed} = 1,35 \times (2173 + 3786) + 1,50 \times 621,4 + 1,50 \times 0,6 \times 317,9 = 9239 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 10\,001 \text{ kNm} > 9\,239 \text{ kNm} = M_{Ed, \max}$$

Kada se zanemari pritisnuta armatura, M_{Rd} iznosi 9483 kNm.

Kada se zanemare obe armature, M_{Rd} iznosi 9453 kNm, što je, u razmatranom primeru, takođe dovoljno za sprovođenje dokaza (nosivost je veća oko 2 %).

ZADATAK 5

Napomena 1: Zadatak broj 5 je povezan sa Zadatkom broj 2 (koriste se ulazni podaci i rezultati proračuna iz Zadatka broj 2)!

Napomena 2: Isključivo ukoliko Zadatak 2 nije rešen, ovaj zadatak se može uraditi koristeći pretpostavljenu vrednost trajne sile $P_t = 4905 \text{ kN}$.

Za nosač iz zadatka br. 2, sračunati graničnu nosivost pri savijanju preseka u sredini raspona (moment loma). Koristiti bilinearni dijagram σ - ε za užad za prethodno naprezanje sa horizontalnom gornjom granom bez ograničenja dilatacije i 'prelomom' na $f_{p0,1k}/\gamma_p$.

Podaci za proračun:

- Podaci iz atesta za **uže Ø15.2**:
 - karakteristična vrednosti sile pri nepovratnoj dilataciji od 0.1% (0.1% *proof stress*) iznosi **197** kN;
 - modul elastičnosti $E_p = 195$ GPa;
- Prethodnu dilataciju užadi (»dilataciju pri dekompresiji«) odrediti iz pretpostavljene trajne sile u kablovima i geometrijskih karakteristika bruto betonskog preseka (iz Zadatka 2).
- Uzeti u obzir zategnutu B500B armaturu površine **7.2** cm², sa težištem na **5.0** cm od donje ivice preseka. Pritisnutu armaturu zanemariti pri proračunu.
- Za **beton** koristiti proračuski **pravougaoni blok dijagram**, prema EN 1992-1-1:2015.