
DGKS

**DRUŠTVO GRAĐEVINSKIH
KONSTRUKTERA SRBIJE**

14. KONGRES

NOVI SAD
24-26. SEPTEMBAR

2014.

14

K

O

N

G

R

E

S

2014

U SARADNJI SA:



**GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

**MINISTARSTVOM PROSVETE,
NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA
REPUBLIKE SRBIJE**



**INŽENJERSKOM KOMOROM
SRBIJE**

**ZBORNİK
RADOVA**



**CHINA ROAD AND BRIDGE
CORPORATION SERBIA BRANCH**

Izdavač: **Društvo građevinskih konstruktora Srbije**
Beograd, Bulevar kralja Aleksandra 73/1

Urednici: prof. dr **Miloš Lazović**
prof. dr **Boško Stevanović**

Tehnička
priprema: **Saška - Stoja Todorović**

Priprema za
štampu: **Nebojša Ćosić**

Štampa: **DC Grafički centar**

Tiraž: **150 primeraka**

Beograd, septembar 2014.

ORGANIZACIONI ODBOR

PREDSEDNIŠTVO DGKS

Prof. dr Miloš LAZOVIĆ, dipl.inž.grad., predsednik
Aleksandar BOJOVIĆ, dipl.inž.grad., potpredsednik
Prof. dr Boško STEVANOVIĆ, dipl.inž.grad., sekretar
Prof. dr Đorđe VUKSANOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Mihajlo ĐURĐEVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Dragoslav STOJIC, dipl.inž.grad.
Prof. dr Đorđe LAĐINOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Snežana MARINKOVIĆ, dipl.inž.grad.
Prof. dr Aleksandar RISTOVSKI, dipl.inž.grad.
Doc. dr Bratislav STIPANIĆ, dipl.inž.grad.
Dr Zoran FLORIĆ, dipl.inž.grad.
Mr Slobodan GRKOVIĆ, dipl.inž.grad.
Branko KNEŽEVIĆ, dipl.inž.grad.
Gojko GRBIĆ, dipl.inž.grad.
Goran VUKOBRATOVIĆ, dipl.inž.grad.
Đorđe PAVKOV, dipl.inž.grad.
Svetislav SIMOVIĆ, dipl.inž.grad.

ČLANOVI ORGANIZACIONOG ODBORA IZVAN PREDSEDNIŠTVA

Prof. dr Zlatko MARKOVIĆ, dipl.inž. grad.
Miroslav MIHAJLOVIĆ, dipl.inž.grad.
Aleksandar TRAJKOVIĆ, dipl.inž.grad.

NAUČNO-STRUČNI ODBOR

1. Prof. dr Radenko Pejović, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
2. Prof. dr Duško Lučić, Građevinski fakultet Podgorica, Crna Gora
3. Prof. dr Goran Markovski, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
4. Prof. dr Meri Cvetkovska, Univerzitet "Kiril i Metodij" Gradežen fakultet, Skopje, Makedonija
5. Prof. dr Tatjana Isaković, Univerzitet u Ljubljani Fakultet građevinarstva i geodezije, Ljubljana, Slovenija
6. Prof. dr Viktor Markelj, Ponting d.o.o., Maribor, Slovenija
7. Prof. dr Zlatko Šavor, Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zavod za konstrukcije, Katedra za mostove, Zagreb, Hrvatska
8. Prof. dr Radu Bancila, University "POLYTEHNICA", Temišvar, Rumunija
9. Mr Predrag Popović, Čikago, SAD
10. Prof. dr Kostadin Topurov, Sofija, Bugarska
11. Prof. dr Dušan Najdanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
12. Prof. dr Miloš Lazović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
13. Prof. dr Đorđe Vuksanović, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
14. Prof. dr Dejan Bajić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija
15. Prof. dr Đorđe Lađinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
16. Prof. dr Dragoslav Stojčić, Arhitektonsko-građevinski fakultet, Niš, Srbija
17. Doc. dr Bratislav Stipanić, Univerzitet u Beogradu Građevinski fakultet, Beograd, Srbija

14. KONGRES JE ORGANIZOVAN U SARADNJI SA:

GRAĐEVINSKIM FAKULTETOM UNIVERZITETA U
BEOGRADU

MINISTARSTVOM PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG
RAZVOJA REPUBLIKE SRBIJE

INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE, Beograd

DONATORI SIMPOZIJUMA:

DIJAMANTSKI

CHINA ROAD & BRIDGE CORPORATION, SERBIA BRANCH,
Belgrade

SREBRNI

SIKA d.o.o., Novi Sad

BRONZANI

"POTISJE KANJIŽA" AD, Kanjiža

Biljana Deretić Stojanović¹, Svetlana Kostić², Marija Lazović³

NOSIVOST NA SAVIJANJE SPREGNUTOG PRESEKA SA PARCIJALNIM SMIČUĆIM SPOJEM PREMA EC4

Rezime:

Nosivost na savijanje spregnutog preseka od čelika i betona pored oblika i dimenzija poprečnog preseka i mehaničkih karakteristika materijala, zavisi i od načina sprezanja, tj. tipova sredstava za sprezanja i oblikovanja kontaktnog (smičućeg) spoja između betona i čelika. U radu se koriste duktilni i neduktilni moždanici sa glavom. Određuje se nosivost na savijanje spregnutih preseka sa parcijalnim smičućim spojem u kome, za razliku od punog smičućeg spoja, broj moždanika nije dovoljan da se ostvari moment pune nosivosti, tako da se određuje redukovani moment nosivosti. Proračun se sprovodi prema Evrokodu 4.

Ključne reči: sprezanje, nosivost na savijanje, parcijalni smičući spoj, moždanici

BENDING RESISTANCE OF COMPOSITE SECTION WITH PARTIAL SHEAR CONNECTION ACCORDING TO EC4

Summary:

Bending resistance of a composite steel and concrete section apart from shape and dimensions of a cross section and mechanical characteristics of materials, depends also on type of shear connection, i.e. connectors and shear steel-concrete interface. In the paper, ductile and nonductile headed studs are considered. Bending resistance of composite sections with partial shear connection, which is a connection where a number of shear studs is smaller than necessary for fully plastic bending resistance of a section to be achieved, is analysed. The reduced bending resistance is found. The calculation in accordance with Eurocode 4 is presented.

Key words: composite, bending resistance, partial shear connection, connectors

¹ V.prof, dr, dipl.inž. građ. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

² Doc, dr, dipl.inž. građ. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

³ Asistent, dipl.inž. građ. Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

1 UVOD

Analizira se nosivost na savijanje spregnute grede kod koje je betonska ili spregnuta ploča spojena (spregnuta) sa čeličnim nosačem zavarenog ili valjanog profila. Sprezanje se ostvaruje pomoću spojnih sredstava-moždanika koji prihvataju i prenose podužne sile smicanja koje se javljaju na kontaktnom spoju između betonskog i čeličnog dela grede.

Proračun granične nosivosti na savijanje spregnutog poprečnog preseka sprovodi se prema Evrokodu4 (EC4)[1], [4]. Poprečni presek ima adekvatnu nosivost ako je ispunjen sledeći uslov:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} , \quad (1)$$

gde je:

- M_{Ed} moment u preseku sračunat u okviru globalne analize konstrukcije,
- M_{Rd} granična nosivost poprečnog preseka na savijanje.

Granična nosivost može da se odredi korišćenjem teorije plastičnosti, elastičnosti i nelinearnom analizom. Prema teoriji plastičnosti, kada se u svakom vlaknu preseka dostigne odgovarajući granični napon u preseku se formira plastični zglob, a odgovarajući granični moment se naziva moment pune plastičnosti $M_{pl,Rd}$. Graničnom momentu nosivosti prema teoriji elastičnosti, tj. elastičnom momentu nosivosti $M_{el,Rd}$ odgovara stanje pri kome normalni naponi samo u krajnjim vlaknima ili betona ili čelika dostižu svoju graničnu vrednost.

Na nosivost spregnutog preseka na savijanje pored oblika i dimenzija poprečnog preseka i mehaničkih karakteristika sadejstvjućih materijala, utiče i način sprezanja, tj. tipovi moždanika i oblikovanje kontaktnog (smičućeg) spoja između betona i čelika. Prema svojoj nosivosti smičući spoj može biti pun i parcijalni smičući spoj.

Pun smičući spoj- podrazumeva takav smičući spoj u kome broj moždanika omogućava da se u kritičnom preseku ostvari moment pune plastičnosti $M_{pl,Rd}$ i dalje povećanje broja moždanika ne povećava graničnu nosivost spregnutog preseka.

Parcijalni smičući spoj- podrazumeva takav spoj kod koga broj moždanika nije dovoljan da se u kritičnom preseku ostvari moment pune plastičnosti $M_{pl,Rd}$. Tada se u kritičnom preseku ostvaruje moment nosivosti M_{Rd} manji od momenta pune plastičnosti, a suma sila koju preuzimaju moždanici (N_c) je manja od one koja odgovara punom smičućem spoju ($N_{c,f}$).

Parcijalni smičući spoj se koristi u slučajevima kada:

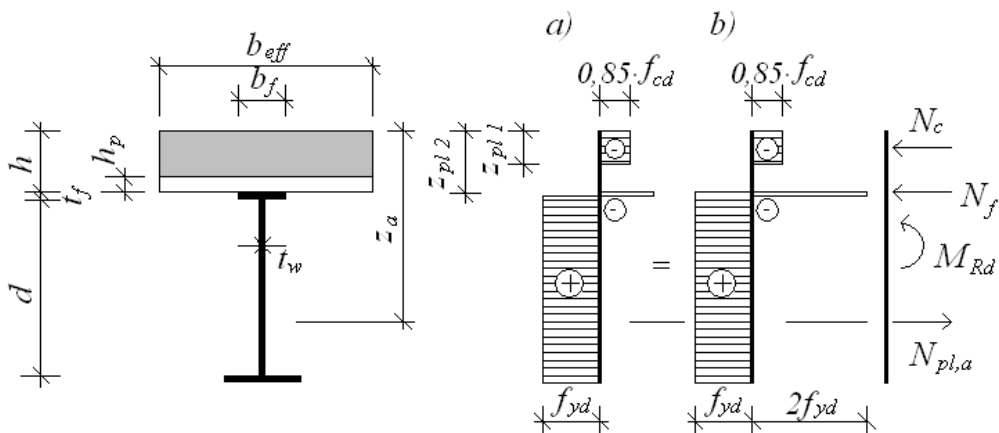
- iz konstruktivnih razloga nije moguće postaviti dovoljan broj moždanika da bi se iskoristila puna nosivost preseka, kao što je slučaj kod sprezanja nosača i spregnute ploče sa profilisanim limom kada nije moguće u okviru raspoloživog prostora unutar rebara profilisanog lima postaviti potreban broj moždanika,
- iz različitih razloga se ne koristi puna nosivost poprečnog preseka, na primer kada poprečni presek nije određen iz uslova nosivosti pri graničnom stanju loma već iz uslova zadovoljenja deformacije ili iz konstruktivnih razloga, pa je njegov moment pune plastičnosti znatno veći od sračunatog momenta usled spoljašnjeg opterećenja.

Parcijalni smičući spoj se može primeniti samo kod spregnutih preseka klase 1 i 2 izloženih pozitivnom momentu savijanja (betonska ploča je u gornjoj zoni preseka i pritisnuta je). Ukoliko se u okviru parcijalnog smičućeg spoja koriste duktilni moždanici tada se za proračun nosivosti na savijanje kritičnih preseka koristi teorija plastičnosti. Ako se u parcijalnom smičućem spoju primenjuju neduktilni moždanici tada se proračun nosivost na savijanje

kritičnih poprečnih preseka sprovodi elastičnom ili nelinearnom analizom. Pod duktilnim moždanicima se podrazumevaju oni moždanici koji poseduju dovoljan kapacitet deformacije (ne manji od 6mm) potreban da bude zadovoljena pretpostavka o idealno plastičnom ponašanju smičućeg spoja. Valjkasti moždanici sa glavom spadaju u grupu duktilnih moždanika.

2 NOSIVOST NA SAVIJANJE SPREGNUTOG PRESEKA SA PARCIJALNIM SMIČUĆIM SPOJEM KADA SE KORISTE DUKTILNI MOŽDANICI

Kada se koriste duktilni moždanici moment nosivosti M_{Rd} kritičnog poprečnog preseka grede sa parcijalnim smičućim spojem se određuje primenom teorije plastičnosti. S obzirom da je u parcijalnom smičućem spoju broj moždanika manji od onog potrebnog za ostvarivanje punog smičućeg spoja, kod parcijalnog smičućeg spoja dolazi do proklizavanja na kontaktu između betonskog i čeličnog dela preseka. Pretpostavlja se da nema odizanja betonskog od čeličnog dela. Iz uslova kompatibilnosti deformacija krivine betonskog i čeličnog dela ostaju iste, ali se u spregnutom preseku formiraju dve neutralne ose, jedna u betonskom delu, a druga u čeličnom delu. Položaj plastične neutralne ose u betonskoj ploči određuje se pomoću smanjene normalne sile N_c . Položaj druge plastične neutralne ose, koja se nalazi unutar čeličnog profila, određuje se iz ravnoteže normalnih sila u preseku. Druga plastična neutralna osa može da se nalazi u gornjoj nožici (sl.1) ili rebru čeličnog profila (sl.2).



Slika.1 Plastični moment nosivosti preseka sa parcijalnim smičućim spojem kada se druga plastična neutralna osa nalazi u gornjoj nožici čeličnog profila

Proračunski model za određivanje momenta nosivosti M_{Rd} po teoriji plastičnosti (plastični moment nosivosti) za parcijalni smičući spoj, a kada druga neutralna osa leži u gornjoj nožici čeličnog profila, dat je na slici 1. Ako se normalna sila u betonu N_c odredi preko ukupne nosivosti moždanika na odgovarajućem delu raspona, i pri tome pretpostavi da svaki moždanik (čiji je broj n) ima istu nosivost na smicanje, tada je sila N_c data sledećim izrazom:

$$N_c = \sum_n P_{Rd} \cdot \quad (2)$$

Plastična neutralna osa u betonskoj ploči $z_{pl,1}$ određuje se preko ove sile:

$$z_{pl,1} = N_c / (b_{eff} \cdot 0,85 f_{cd}) . \quad (3)$$

Normalna sila u čeličnom preseku i fiktivna normalna sila su:

$$N_{pl,a} = A_a \cdot f_{yd} , \quad N_f = 2 \cdot f_{yd} \cdot b_f \cdot (z_{pl,2} - h) . \quad (4)$$

Iz uslova ravnoteže normalnih sila :

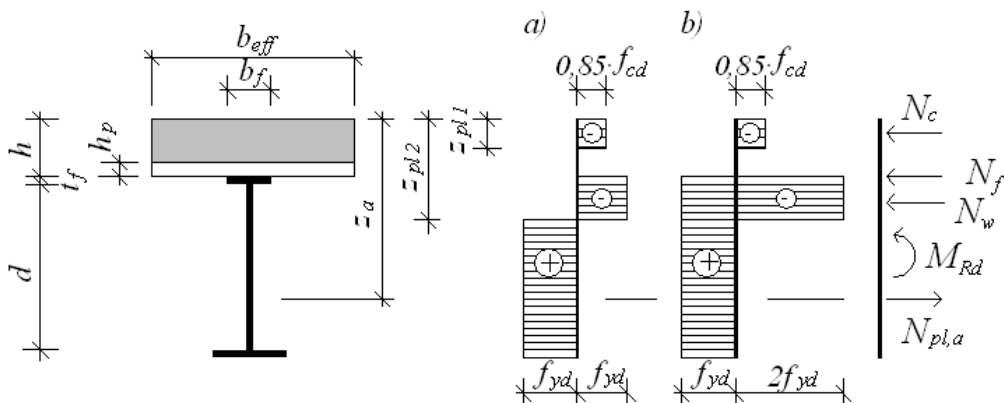
$$N_{pl,a} = N_c + N_f , \quad (5)$$

određuje se položaj plastične neutralne ose u čeličnom delu presek:

$$z_{pl,2} = h + (N_{pl,a} - N_c) / (2 \cdot f_{yd} \cdot b_f) . \quad (6)$$

Iz uslova ravnoteže momenata u odnosu na težišnu osu pritisnutog dela betona dobija se moment nosivosti M_{Rd} :

$$M_{Rd} = N_{pl,a} (z_a - z_{pl,1} / 2) - N_f (z_{pl,2} + h - z_{pl,1}) / 2 . \quad (7)$$



Slika.2 Plastični moment nosivosti preseka sa parcijalnim sivičućim spojem kada se druga plastična neutralna osa nalazi u rebru čeličnog profila

Proračunski model za određivanje momenta nosivosti M_{Rd} , kada druga neutralna osa leži u rebru čeličnog profila, je predstavljen na slici 2. Normalna sila u betonu N_c je data izrazom (2), a odgovarajuća neutralna osa $z_{pl,1}$ izrazom (3).

Plastična neutralna osa u čeličnom delu preseka $z_{pl,2}$ određuje se iz ravnoteže normalnih sila :

$$z_{pl,2} = h + t_f + (N_{pl,a} - N_c - N_f) / (2 f_{yd} t_w) \quad (8)$$

gde je :

$$N_{pl,a} = A_a f_{yd} , \quad N_f = 2 f_{yd} b_f t_f , \quad N_w = 2 f_{yd} t_w (z_{pl,2} - h - t_f) . \quad (9)$$

Iz uslova ravnoteže momenata u odnosu na težišnu osu pritisnutog dela betona dobija se moment nosivosti M_{Rd} :

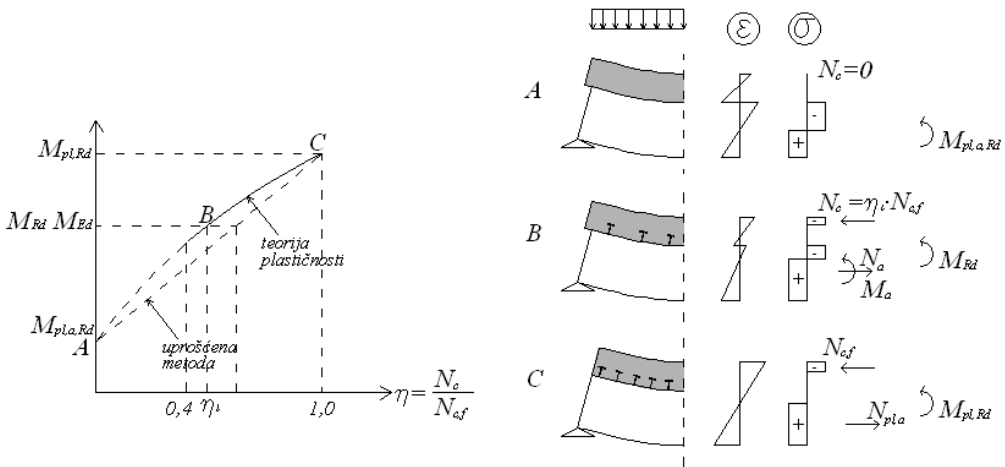
$$M_{Rd} = N_{pl,a}(z_a - z_{pl,1} / 2) - N_f(h + (t_f - z_{pl,1}) / 2) - N_w(z_{pl,2} + t_f + h - z_{pl,1}) / 2 \quad (10)$$

Odnos između normalne sile u betonskom delu preseka N_c , koja odgovara parcijalnom smičućem spoju i normalne sile $N_{c,f}$, koja odgovara punom smičućem spoju, definiše se kao stepen smičućeg spoja (stepen spreznjanja):

$$\eta = \frac{N_c}{N_{c,f}} \quad (11)$$

Na sl.3 prikazan je odnos između plastičnog momenta nosivosti M_{Rd} , i normalne sile pritiska u betonu N_c (ili stepena sprznjanja η). Konveksna kriva ABC se dobija primenom teorije plastičnosti kako je u prethodnom tekstu prikazano. Na sl.3 iz dijagrama dilatacija ε , može se uočiti da za vrednosti stepena spreznjanja $\eta < 1$, na spoju čeličnog nosača i betonske ploče postoji relativno pomeranje (proklizavanje). Proklizavanja na spoju nema kada je ostvaren pun smičući spoj (tačka C sl.3). Prikazani dijagram na sl.3 važi samo za duktilne moždanike.

Prema Evrokodu 4, u zavisnosti od dužine smicanja i dimenzija nožica čeličnog profila, definišu se granice stepena spreznjanja η za koje je ispunjen uslov duktilnosti moždanika, a time i mogućnost primene parcijalnog smičućeg spoja, i donja granica stepena spreznjanja je $\eta \geq 0,4$. Ukoliko bi stepen spreznjanja bio manji postojala bi mogućnost da pre dođe do loma u smičućem spoju nego do formiranja plastičnog zgloba na mestu kritičnog preseka.



Slika.3 Odnos između plastičnog momenta nosivosti M_{Rd} i normalne sile pritiska u betonu N_c

Konzervativna vrednost plastičnog momenta nosivosti M_{Rd} može se odrediti i zamenom krive ABC pravom linijom AC (sl.3 uprosćena metoda):

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + \left(M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd} \right) \frac{N_c}{N_{c,f}} \quad (12)$$

gde je $M_{pl,a,Rd}$, plastični moment nosivosti dela preseka od konstrukcionog materijala.

3 NOSIVOST NA SAVIJANJE SPREGNUTOG PRESEKA SA PARCIJALNIM SMIČUĆIM SPOJEM KADA SE KORISTE NEDUKTILNI MOŽDANICI

Kada se koriste neduktilni moždanci nosivost na savijanje spregnutog preseka može da se odredi primenom nelinearne teorije. Polazi se od nelinearne veze između napona (σ) i dilatacije (ε) za materijale koji sadejstvuju u spregnutom preseku. Dijagrami za beton i armaturu su dati u Evrokodu 2 [2], a za konstrukcioni čelik u Evrokodu 3 [3].

Evrokod 4 daje dva pristupa za računanje nelinearne nosivosti na savijanje M_{Rd} i sprovode se za kritične preseke s obzirom na računске momente savijanja.

Prema prvom pristupu nelinearna nosivost preseka na savijanje M_{Rd} se određuje iterativno iz odnosa napon- dilatacija (ε - σ) za materijale koji sadejstvuju u spregnutom preseku (beton, konstrukcioni čelik i armatura) [5]. Pretpostavlja se raspodela dilatacije ε za poprečni presek, a sračunavaju se naponi σ . Obično se pretpostavljena dilatacija ε koriguje dok se ne ispuni uslov da sračunati naponi σ odgovaraju aksijalnoj sili koja treba da bude jednaka nuli ($N=0$), jer je presek opterećen samo momentom savijanja. Kada je ovaj uslov zadovoljen, iz dijagrama napona se sračunava odgovarajući moment nosivosti M_{Rd} . Ako se pokaže da je moment savijanja M_{Ed} manji od dobijenog momenta nosivosti M_{Rd} , proračun momenta nosivosti se prekida. U protivnom se povećava dilatacija i ponovlja proračun. U Evrokodu 2 date su granične vrednosti dilatacija za beton i armaturu koje na kraju ograničavaju vrednost momenta nosivosti. Ovakav proračun momenta nosivosti M_{Rd} zahteva primenu odgovarajućeg kompjuterskog programa.

Drugi, uprošćeni pristup proračuna nelinearne nosivosti preseka na savijanje M_{Rd} može se koristiti za spregnute preseke klase 1 i 2 sa pritisnutim betonskim pojasom. Usvaja se pretpostavka da postoji potpuni kontinuitet na kontaktnoj površini između betona i čelika, odnosno da nema relativnog pomeranje (proklizavanja). Za ovaj uprošćeni pristup proračuna odnos između nelinearne nosivosti preseka na savijanje M_{Rd} i normalne sile pritiska u betonu N_c dat je na sl.4. Ovde je potrebno odrediti moment na pragu tečenja spregnutog preseka $M_{el,Rd}$, koji odgovara elastičnoj raspodeli napona sa dostignutim proračunskim naponom tečenja u najopterećenijim tačkama čeličnog dela, kao i silu pritiska $N_{c,el}$ u betonskom pojasu koja odgovara momentu $M_{el,Rd}$. U zavisnosti od toga da li je normalna sila u betonu N_c manja ili veća od sile $N_{c,el}$ u Evrokodu 4 se daju rešenja za određivanje momenta nosivosti M_{Rd} na osnovu jednačine prave na odgovarajućem delu dijagrama (sl.4).

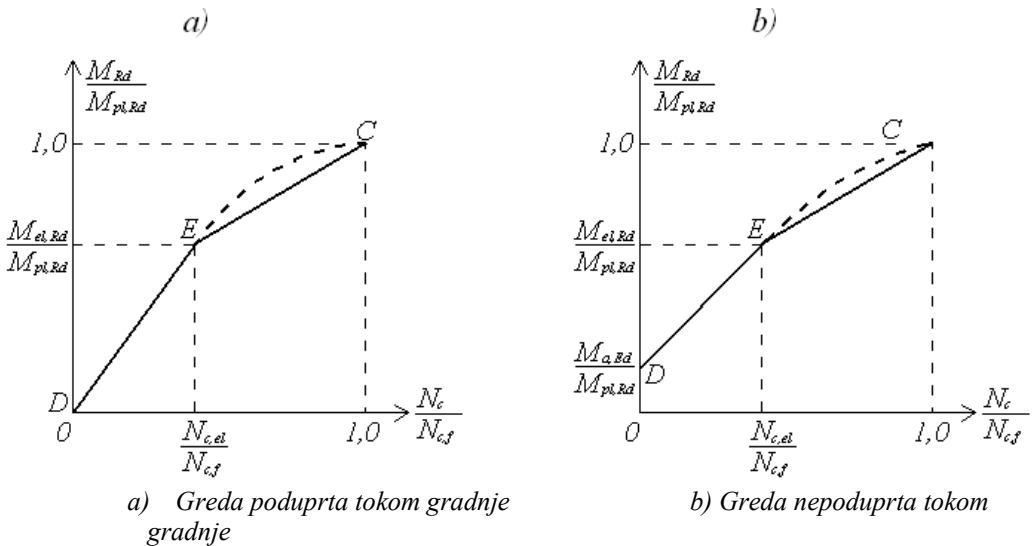
$$M_{Rd} = M_{el,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{el,Rd}) \frac{N_c - N_{c,el}}{N_{c,f} - N_{c,el}} \quad \text{za} \quad N_{c,el} \leq N_c \leq N_{c,f} \quad (13)$$

Ukoliko je normalna sila u betonu N_c manja od sile $N_{c,el}$ treba voditi računa da li celokupno opterećenje prihvata spregnuti presek (sl.4,a) što odgovara gredi poduprtoj tokom gradnje, ili deo opterećenja prima nespregnuti čelični deo preseka (sl.4,b) što odgovara gredi nepoduprtoj tokom gradnje, gde je $M_{a,Ed}$ moment savijanja koji deluje na čelični deo preseka pre no što je ostvaren efekat spreznjanja. Tada je moment nosivosti M_{Rd} dat sledećim izrazom:

$$M_{Rd} = M_{a,Ed} + (M_{el,Rd} - M_{a,Ed}) \frac{N_c}{N_{c,el}} \quad \text{za} \quad N_c \leq N_{c,el} \quad (14)$$

Na dijagramima sa sl. 4 mogu se uočiti tri tačke D, E, i C. Tačka D označava slučaj kada spregnuti presek nije izložen momentu, pa je i normalna sila $N_c=0$, u slučaju kada je greda nepoduprta tokom gradnje (sl.4,b) samo čelični deo preseka prihvata moment savijanja $M_{a,Ed}$. Tačka E je određena elastičnom, a tačka C plastičnom analizom. Konveksna kriva EC na sl. 4 je dobijena tačnim proračunom, dok linija EC predstavlja aproksimaciju koja je na strani sigurnosti.

Za konstrukcije kod zgrada određivanje elastičnog momenta nosivosti $M_{el,Rd}$ se može uprostiti tako što se površine betona A_c zamenjuju površinama efektivnog ekvivalentnog čeličnog preseka A_c/n , gde je n nominalni odnos modula elastičnosti. Ako se za efektivni modulu elastičnosti betona $E_{c,eff}$ uzme vrednost $E_{cm}/2$, time se pojednostavljuje i proračun kojim se obuhvata i tečenje betona.



Slika4: Uprošćena veza između M_{Rd} i N_c kada se koriste neduktilni moždanici.

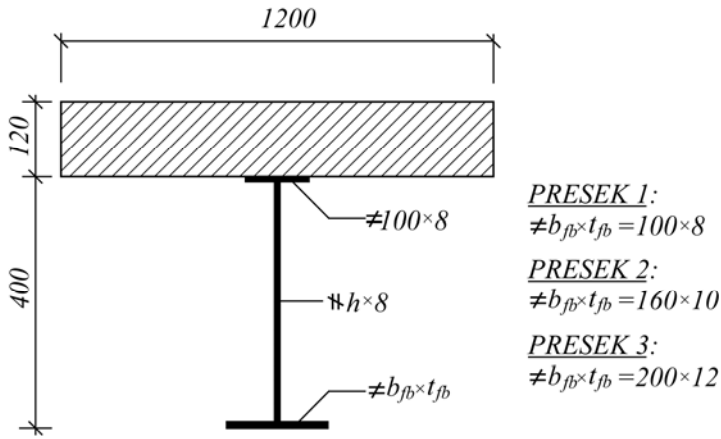
3. BROJNI PRIMER

Posmatrana su tri poprečna preseka spregnutog nosača prikazana na slici 5. Preseci imaju iste dimenzije betonske ploče, gornje nožice zavarenog čeličnog nosača, debljinu rebra, kao i ukupnu visinu čeličnog nosača, dok se dimenzije donje nožice i visina rebra razlikuju. Ovim su obuhvaćena sva tri slučaja predviđena Evrokodom 4:

- površina donje i gornje nožice je ista, tj. $A_1=A_2$ PRESEK 1,
- površina donje nožice je dva puta veća od površine gornje nožice, tj. $2A_1=A_2$ PRESEK 2 i
- površina donje nožice je tri puta veća od površine gornje nožice, tj. $3A_1=A_2$ PRESEK 3.

Evrokod 4 propisuje različite minimalne stepene sprezanja η u ovim slučajevima (član 6.6.1.2). Za beton marke C30/37, čelike klase S235, S275 i S355 i usvojenu dužinu smicanja $L_e = 5m$ su sračunati ovi minimalni dozvoljeni stepeni sprezanja i oni su prikazani u Tabeli 1. Može se

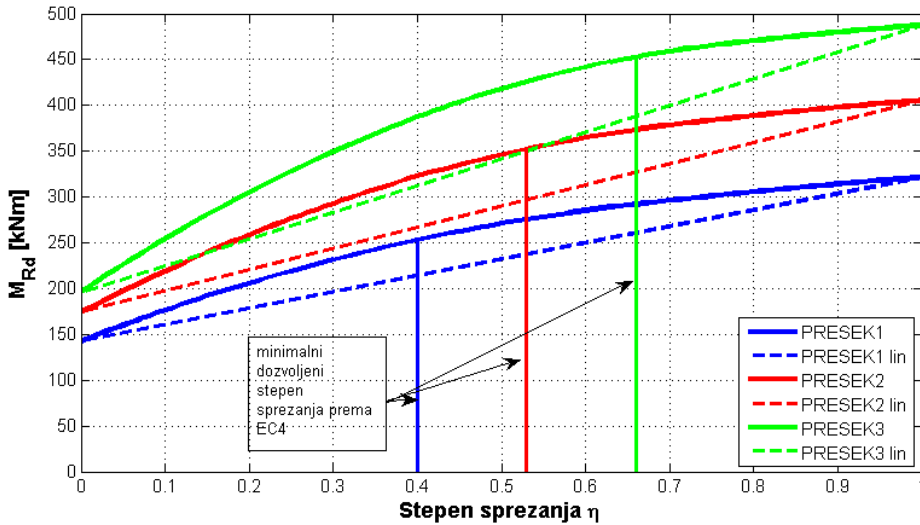
videti da su za PRESEK 2 i 3 ove vrednosti veće u odnosu na apsolutno minimalni stepen spreznja od 0.4.



Slika 5: Poprečni presek spregnutog nosača.

Tabela 1 – Minimalne dozvoljene vrednosti stepena spreznja

	S235	S275	S355
PRESEK 1	0.40	0.40	0.40
PRESEK 2	0.53	0.55	0.59
PRESEK 3	0.66	0.71	0.78



Slika 6: Krive zavisnosti redukovanog momenta nosivosti M_{Rd} od stepena spreznja η

Za preseke klase čelika S235 su, korišćenjem teorije plastičnosti sračunate krive zavisnosti redukovanog momenta nosivosti M_{Rd} od stepena spreznja η (Slika 6). Na ovoj slici su prikazane i linearne aproksimacije $M_{Rd} - \eta$ zavisnosti, čiju upotrebu, kao pojednostavljenje, Evrokod 4 takođe dozvoljava.

Za minimalne dozvoljene stepene spreznja sračunati su odgovarajući redukovani momenti nosivosti koji odgovaraju nelinearnoj krivoj (M_{Rd}) kao i njenoj linearnoj aproksimaciji ($M_{Rd,lin}$). Ove vrednosti su upoređene i prikazane u Tabeli 2.

Tabela 2 – Redukovani momenti nosivosti koji odgovaraju minimalnom dozvoljenom stepenu spreznja

	M_{Rd} [kNm]	$M_{Rd,lin}$ [kNm]	$M_{Rd}/M_{pl,Rd}$	$M_{Rd,lin}/M_{pl,Rd}$	$(M_{Rd}-M_{Rd,lin})/M_{pl,Rd}$
PRESEK 1	253.16	214.52	0.79	0.67	0.12
PRESEK 2	352.27	296.96	0.87	0.73	0.14
PRESEK 3	453.12	388.57	0.93	0.80	0.13

Dakle, može se zaključiti da su i za minimalne vrednosti stepena spreznja dobijeni relativno veliki momenti nosivosti, tj. redukcija momenta nosivosti preseka u odnosu na nosivost preseka kod punog smičućeg spoja kreće se u iznosu od 7 do 21%. Ukoliko se koristi linearna aproksimacija, dobijeni momenti nosivosti su redukovani u većem iznosu od 20 do 33% i, zbog konveksnosti nelinearne krive, ovi rezultati su uvek na strani sigurnosti. Greska dobijena uvođenjem linearne aproksimacije kreće se oko 15% za posmatrane maksimalne stepene spreznja. Generalno, ova greska je, zbog oblika $M_{Rd} - \eta$ krive, najveća za stepene spreznja u granicama od 0.4 do 0.7.

4. ZAKLJUČAK

U radu je objašnjen proračun nosivosti na savijanje spregnutih preseka od čelika i betona u slučaju parcijalnog smičućeg spoja prema Evrokodu 4 za slučaj korišćenja duktilnih i neduktilnih moždanika. Kod preseka sa parcijalnim smičućim spojem, za razliku od punog smičućeg spoja, broj moždanika nije dovoljan da se ostvari moment pune nosivosti, pa se određuje redukovani moment nosivosti. Kada se koriste duktilni moždanici moment nosivosti kritičnog poprečnog preseka grede sa parcijalnim smičućim spojem se određuje primenom teorije plastičnosti, dok se u slučaju korišćenja neduktilnih moždanika nosivost na savijanje spregnutog preseka može odredi primenom nelinearne analize ili primenom uprošćenog postupka.

Za tri spregnuta poprečna preseka sa parcijalnim smičućim spojem i duktilnim moždanicama, primenom objašnjenih postupaka, sračunate su krive zavisnosti redukovanog momenta nosivosti od stepena spreznja i upoređene su vrednosti dobijene korišćenjem nelinearne krive i njene linearne aproksimacije.

ZAHVALNOST

Drugi autor se zahvaljuje Ministarstvu nauke Republike Srbije na finansijskoj podršci u okviru projekta TR36046.

LITERATURA

- [1] Evrokod 4: EN 1994-1-1:2004 *Proračun spregnutih konstrukcija od čelika i betona*, Beograd ,februar 2006
- [2] Evrokod 2: EN 1992-1-1:2004 *Proračun betonskih konstrukcija*, Beograd ,februar 2006
- [3] Evrokod 3: EN 1993-1-1:2005 *Proračun čeličnih konstrukcija* Beograd ,februar 2006
- [4] R.P.Johnson *Composite Structions of Steel and Concrete*, Volume 1, Beams, Columns and Frames for Buldings, , Blackwell scientific Publication, Oxford 1994, Second Edition
- [5] *Design Handbook for Braced Composite Steel-Concrete Buildings According to Eurocode 4*, ECCS (Eropean Convection for Constructional Steelwork), 2000.