
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

PRESEDNIŠTVO 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 LADINOVIĆ, 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 PRESEDNIŠTVA

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 Ladinović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija
16. Prof. dr Dragoslav Stojić, 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

Milan Spremić¹

PONAŠANJE GRUPE ELASTIČNIH MOŽDANIKA KOD SPREGNUTIH NOSAČA OD ČELIKA I BETONA

Rezime:

Smičući spoj ostvaren grupom moždanika sa glavom je jednostavno i često korišćeno rešenje za podužni smičući spoj između čeličnog nosača i montažne armiranobetonske ploče. Redukcijom rastojanja između moždanika u grupi omogućava se izvođenje manjih otvora u ploči za smeštaj moždanika. Ovaj rad daje prikaz istraživanja o nosivosti na smicanje grupe moždanika i dobijenih rezultata koji su objavljeni u doktorskoj disertaciji "Analiza ponašanja grupe elastičnih moždanika kod spregnutih nosača od čelika i betona" na Univerzitetu u Beogradu na Građevinskom fakultetu.

Ključne reči: Grupa moždanika sa glavom, Spregnuti nosači od čelika i betona

BEHAVIOR OF GROUPED HEADED STUDS IN COMPOSITE BEAM FROM STEEL AND CONCRETE

Summary:

Shear connection with headed studs in group arrangement is simple and frequently used solution for shear connection between steel beam and precast concrete slabs. Reducing the distance between the adjacent headed studs in the group enables smaller holes in the slab to accommodate grouped studs. This paper presents the research about the shear resistance of grouped studs and the main result published in PhD Thesis "The analysis of headed stud group behavior in composite steel-concrete beams" on University of Belgrade Faculty of Civil Engineering.

Key words: Group arrangement of headed studs, Steel-concrete composite beams

¹ Dr, dipl. građ. inž, docent, Univerzitet u Beogradu Građevinski Fakultet

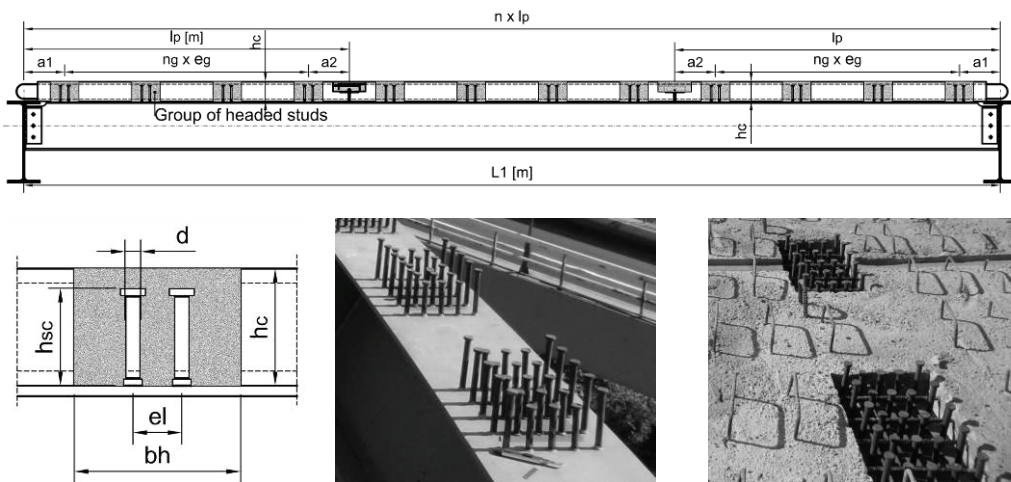
1 UVOD

Doktorska disertacija „Analiza ponašanja grupe elastičnih moždanika kod spregnutih nosača od čelika i betona“ [1], sadrži osam poglavlja u okviru kojih je prikazano istraživanje ponašanja i nosivosti grupe elastičnih moždanika sa glavom u smičućim spojevima prefabrikovanih spregnutih nosača. Ovaj rad daje pregled istraživanja i rezultata objavljenih u doktorskoj disertaciji.

2 PRIMENA GRUPE MOŽDANIKA U SMIČUĆIM SPOJEVIMA

Grupe moždanika sa glavom se primenjuju za konstruisanje podužnih smičućih spojeva kod prefabrikovanih spregnutih nosača od konstrukcionog čelika i montažnih armiranobetonskih ploča. Podužni smičući spoj formiran na ovakav način podrazumeva da su moždanici grupisani na diskretnim mestima na gornjoj nožici čeličnog nosača na mestima na kojima su napravljeni otvori u montažnim armiranobetonskim pločama. Ovako rešenje smičućeg spoja se može uspešno primeniti za sanaciju i ojačanje postojećih konstrukcija. Izradom otvora u postojećoj armiranobetonskoj ploči, zavarivanjem moždanika i ponovnim betoniranjem otvora moguće je ojačati postojeće ili naknadno izvesti smičući spoj između konstrukcionog čelika i AB ploče. Ovako konstruktivno rešenje podužnog smičućeg spoja je jednostavno za izvođenje pa ima čestu primenu pre svega u montažnim spregnutim konstrukcijama u mostogradnji. Poslednjih godina primenjeno je i na dva objekata u našoj zemlji, videti sliku 1.

Podužni smičući spoj sa grupama moždanika spada u diskontinualne smičuće spojeve. Iako je ovako rešenje smičućeg spoja široko rasprostranjeno, EN 1994 [2] daje samo generalne informacije bez preporuka za proračun i njihovo konstruisanje.



Slika 1 – Primena grupisanih moždanika u smičućim spojevima

Fokus istraživanja koje je objavljeno u doktorskoj disertaciji je na smičućim spojevima kod prefabrikovanih spregnutih nosača u objektima zgradarstva. Kod tipičnih podnih nosača raspona do 15,0 m pun smičući spoj se može uspešno konstruisati sa četiri moždanika prečnika

16 mm ili 19 mm. U ovom slučaju potreban razmak između grupa moždanika je u granicama od 500 mm do 600 mm, videti sliku 1.

3 SADRŽAJ ISTRAŽIVANJA

Istražena je mogućnost smanjenja rastojanja između susjednih moždanika u pravcu podužne smičuće sile u odnosu na minimalno propisana rastojanja prema Evrokodu 4 [2]. Smanjenje rastojanja između moždanika u grupi, u konstruktivnom smislu, omogućava manji diskontinuitet u montažnoj AB ploči, zbog izvođenja manjeg otvora potrebnog za smeštaj moždanika.

3.1 EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

Originalnim eksperimentalnim istraživanjem sprovedenim na Građevinskom fakultetu Univerziteta u Beogradu istraženi su ponašanje i nosivost podužnog smičućeg spoja ostvarenog grupama moždanika. Ispitano je ukupno dvadeset i dva standardna uzorka prema Prilogu B Evrokoda 4 [2], videti sliku 2. Postupak prireme uzoraka kao i tok ispitivanja su detaljno opisani u disertaciji.

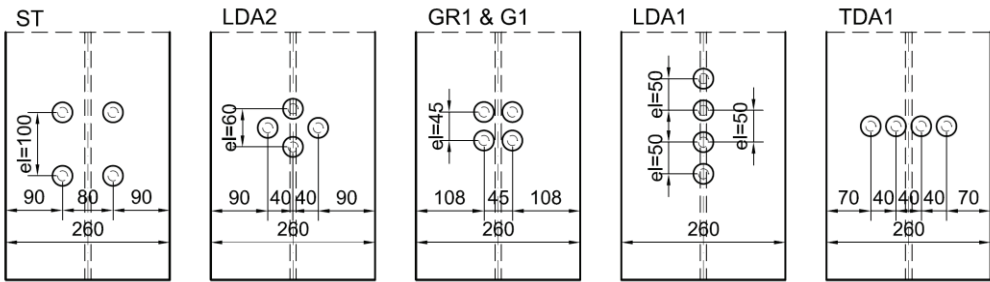


Slika 2 – Ispitivanje uzoraka i dispozicija merne opreme

Osnovni elementi geometrije grupe koji su analizirani su: raspored moždanika u grupi, orijentacija grupe moždanika u odnosu na pravac sile smicanja i međusobno rastojanje moždanika. Ispitano je pet različitih grupa od četiri moždanika sa glavom, prečnika 16 mm, kod kojih su rastojanja između susjednih moždanika u grupi manja od minimalno propisanih rastojanja u [2], videti sliku 3. Eksperimentalnim putem je analizira uticaj smanjenja rastojanja

između susjednih moždanika na nosivost, duktilnost i ukupne deformacije podužnog smičućeg spoja.

Izvođenjem uzoraka G1 i GR1 koji se razlikuju samo u detaljima armature u AB ploči analiziran je uticaj armature na nosivost spoja što je od posebnog značaja za praktičnu primenu i zaheve vezane za konstruktivno oblikovanje detalja armature u ploči oko grupe moždanika. Zato su uzorci G1 izvedeni bez armature u otvoru ploče za vezu montažne AB ploče sa betonom za monolitizaciju, videti detaljnije u [2] i [3].

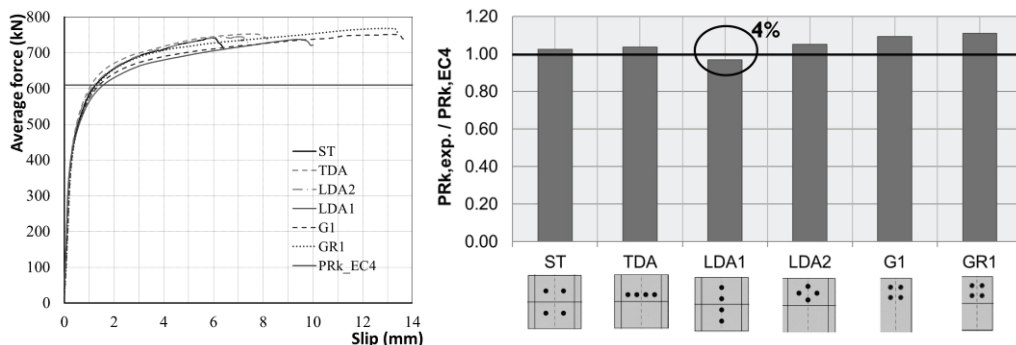


Slika 3 – Geometrija ispitanih grupa

Eksperimentalno istraživanje obuhvatilo je i određivanje fizičko-mehaničkih svojstava korišćenih materijala: konstrukcionog čelika, betona, armature i moždanika, videti [2] i [3].

Dijagrami srednje vrednosti sile, za jednu grupu uzoraka, u funkciji podužnog klizanja spoja za ispitane grupe moždanika prikazani su na slici 4. Razlike u srednjoj vrednosti sile za istu vrednost podužnog klizanja spoja ispitanih grupa moždanika bile su u granicama $\pm 5\%$. Sve ispitane grupe moždanika karakterisalo je duktilno ponašanje. Ova činjenica je od posebnog značaja. Duktilno ponašanje smičućeg spoja omogućava da se grupisani moždanici primenjuju i u parcijalnim smičućim spojevima.

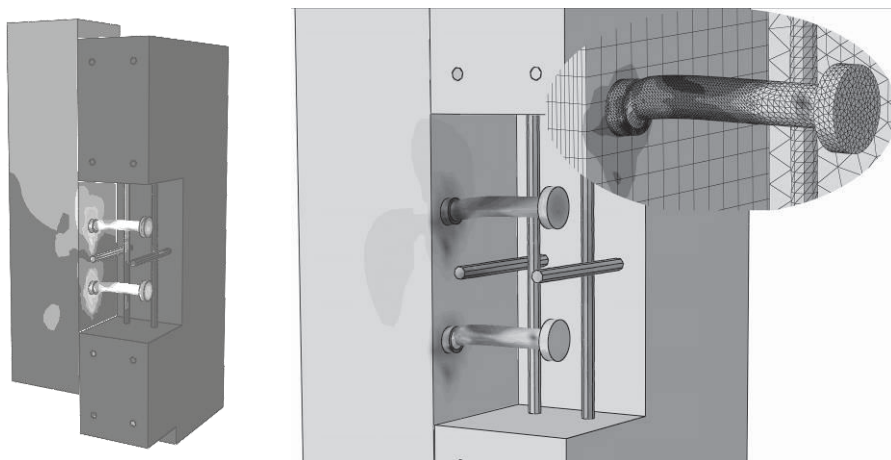
Lom smicanjem moždanika pri graničnom opterećenju je karakterisao sve analizirane grupe moždanika sa glavom, osim grupa G1 i GR1 kod kojih je uočen kombinovani lom smičućeg spoja. Na ovakav tip loma ukazale su znatno veće merene vrednosti klizanja podužnog smičućeg spoja uzoraka G1 i GR1, pri graničnom opterećenju. Eksperimentalne vrednosti karakteristične nosivosti na smicanje moždanika, za sve ispitane grupe osim grupe LDA1, su veće od računskih karakterističnih vrednosti nosivosti moždanika prema [2]. Dobijeni rezultati su potvrdili pretpostavku da je u nekim slučajevima nosivost na smicanje moždanika jednaka proračunskoj vrednosti prema Evrokodu [2] i kada je rastojanje, između susjednih moždanika u grupi, u pravcu smičuće sile, manje od minimalno propisanog. Treba naglasiti da se ni u jednom od ispitanih uzoraka nisu pojavile prsline ili odvajanje „novog“ od „starog“ betona.



Slika 4 – Rezultati eksperimentalnog ispitivanja

3.2 SIMULACIJA METODOM KONAČNIH ELEMENATA

Metodom konačnih elemenata primenom, programskog paketa ABAQUS (Explicit dynamic solver), simuliran je eksperiment. Modelirana je jedna četvrtina uzorka, slika 5.



Slika 5 – Numerički model [4]

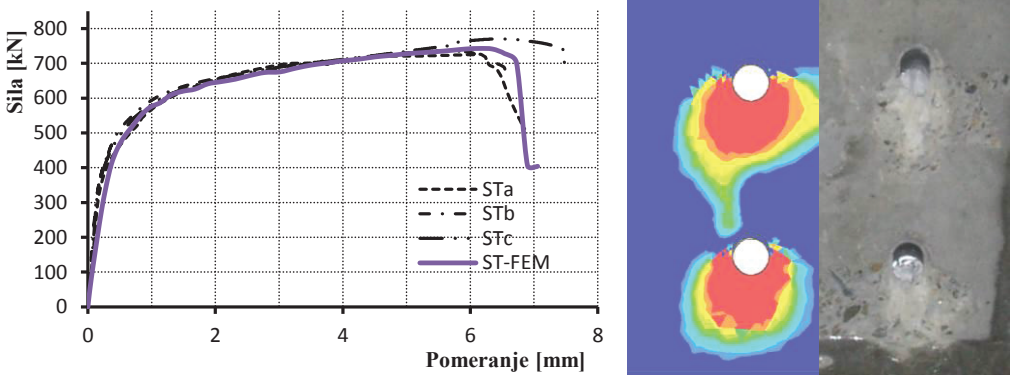
Na osnovu merenih mehaničkih svojstava materijala definisani su modeli za materijale, videti [1]:

- za moždanik primenom „material ductil damage“ i „shear damage“ modela,
- za beton primenom „concrete damage plasticity“ modela.

Kalibracijom parametara FE modela dobijeno je dobro poklapanje eksperimentalnih vrednosti sile i podužnog klizanja sa sračunatim numeričkim vrednostima, videti sliku 6. Numerički model je iskorišćen za parametarsku analizu koja je obuhvatila:

- različite dispozicije grupa,
- različite prečnike moždanika i
- različite visine moždanika.

Rezultati numeričke i eksperimentalne analize korišćeni su za izvođenje zaključaka o ponašanju smičućeg spoja ostvarenog grupom moždanika. Uočeni su i definisani modeli loma koji se mogu javiti u podužnim smičućim spojevima sa grupama moždanika. Na uočenim modelima loma definisana su granična stanja nosivosti za grupu moždanika sa glavom.



Slika 6 – Dijagrami sila – pod. klizanje i zona oštećenja betona, poređenje uzoraka ST i FEM

3.3 NOSIVOST GRUPE MOŽDANIKA

Proračunska vrednost nosivosti grupe moždanika $P_{Rd,G}$ za grupe kod kojih je rastojanje, u pravcu smičuće sile, između susednih moždanika veće ili jednako $5d$ (d -prečnik moždanika) može se odrediti kao suma nosivosti pojedinačnih moždanika u grupi:

$$P_{Rd,G} = \sum P_{Rd} \quad (1)$$

U nekim slučajevima kada je rastojanje između susednih moždanika u pravcu smičuće sile manje od $5d$ potrebno je redukovati proračunsku vrednost nosivosti na smicanje grupe moždanika na sledeći način:

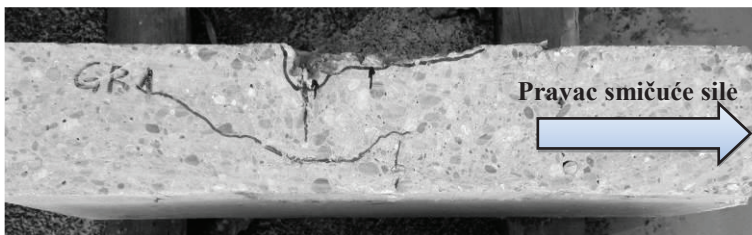
$$P_{Rd,G} = \alpha_G \cdot \sum P_{Rd} \quad (2)$$

gde je α_G je koeficijent redukcije.

U disertaciji je predložen originalni model za određivanje vrednosti koeficijenta redukcije za nosivost na smicanje grupe moždanika sa glavom, koji je zasnovan na ekvivalentnom (zamenjujućem) prečniku moždanika. Novouvedeni pojam, zamenjujućeg prečnika moždanika d_G , je funkcija: broja moždanika u grupi, broja redova moždanika n_r , broja kolona moždanika n_c i rastojanja u pravcu smičuće sile između susednih moždanika u grupi e_1 :

$$d_G = f(n_c, n_r, e_1) \quad (3)$$

Prema predloženom modelu proračuna, grupa moždanika se aproksimira sa jednim ekvivalentnim moždanikom. Uočeno je da je ponašanje grupe moždanika slično sa ponašanjem pojedinačnih moždanika male visine. Na slici 7 prikazan je poprečni presek ploče uzorka G1 nakon ispitivanja. Na poprečnom preseku se jasno uočavaju prsline u AB ploči koje su karakteristične za kombinovani lom smičućeg spoja.



Slika 7 – Poprečni presek AB ploče nakon ispitivanja

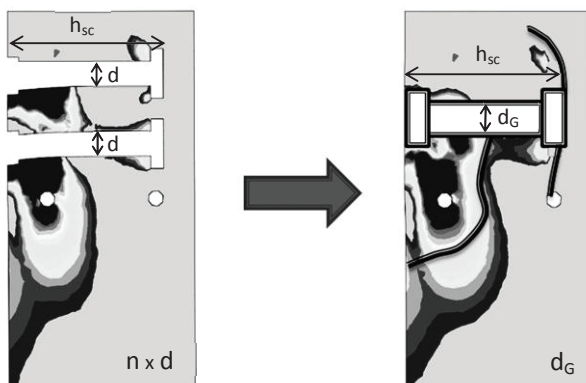
Predloženim modelom proračuna ponašanje grupe moždanika aproksimira sa ponašanjem ekvivalentnog pojedinačnog moždanika iste visine ali većeg prečnika $d_G \square d$. Koeffcijent redukcije za nosivost na smicanje grupe moždanika može se odrediti na sličan način kao za pojedinačni moždanik male visine. Ovakav model proračuna, koji je u potpunosti je u skladu sa aktuelnim Evrokodom 4, daje mogućnost da se uvrsti u neku od narednih edicija evropskog standarda za spregnute konstrukcije EN 1994-1-1.

Prema Evrokodu 4 proračunska nosivost na smicanje pojedinačnog moždanika jednaka je:

$$P_{Rd} = \min \left[0.8 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{1}{\gamma_v}; 0.29 \cdot \alpha \cdot d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} \frac{1}{\gamma_v} \right] \quad (4)$$

Kada se koriste moždanici visine manje od $4d$ Evrokod 4 propisuje redukciju nosivosti moždanika na smicanje. Vrednost koeffcijent redukcije α je funkcija odnosa visine moždanika d i prečnika moždanika h_{sc} i jednaka je:

$$\alpha = 0.2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) \quad \text{kada je } 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4 \quad (5)$$



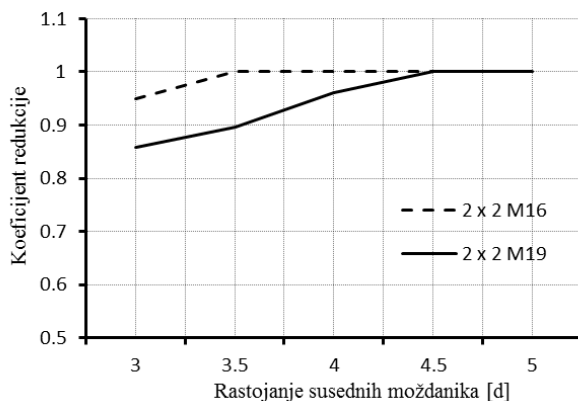
Slika 8 – Predloženi model proračuna nosivosti, ekvivalentan prečnik moždanika [4]

Model proračuna koeffcijenta redukcije predložen u disertaciji, na isti način kao i u slučaju pojedinačnih moždanika male visine, definiše vrednost koeffcijenta redukcije nosivosti na smicanje za grupu moždanika u funkciji odnosa visine moždanika i zamañujućeg prečnika.

Vrednost koeficijenta redukcije može se sračunati, pomoću izraza za α (5), kao i za pojedinačne moždanike zamenjujući u izrazu prečnik pojedinačnog moždanika sa ekvivalentnim prečnikom moždanika.

$$\alpha_G = \min \left(0,2 \cdot \left(\frac{h_{sc}}{d_G} + 1 \right); 1 \right) \quad (6)$$

Sračunate vrednosti koeficijenta redukcije za grupu od četiri moždanika prečnika 16 mm i 19 mm, visine 100 mm u funkciji međusobnog rastojanja između moždanika u pravcu smičuće sile prikazane su na dijagramima, slika 9. Znatno veća redukcija nosivosti na smicanje je potrebna u slučaju grupe moždanika prečnika 19 mm, dok se u slučaju grupe moždanika prečnika 16 mm uočava se da je redukcija nosivosti potrebna samo ako su rastojanja između moždanika manja od 3,5d.

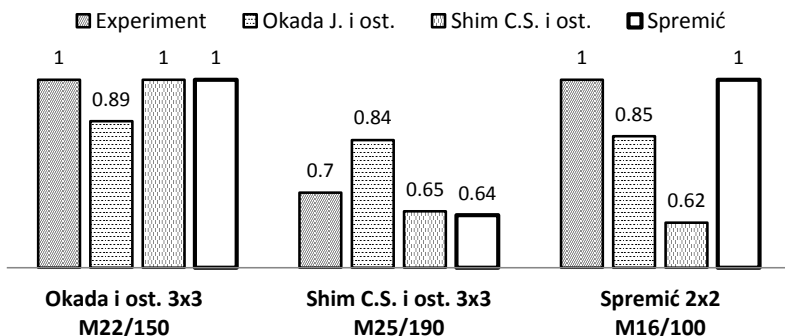


Slika 9 – Vrednosti koeficijenta redukcije za grupu od četiri moždanika

Model proračuna nosivosti grupe moždanika predložen u disertaciji je prvi model koji obuhvata sve geometrijske parametere grupe, od kojih zavisi nosivost grupe. Dosadašnji predloženi modeli Okade i ost. [5], Shim C.S. i ost. [6] su definisali vrednost koeficijenta redukcije samo u funkciji rastojanja, u pravcu smičuće sile, između susjednih moždanika u grupi.

4 REZULTATI I ZAKLJUČCI

Predloženi model proračuna i dobijeni rezultati su upoređeni sa eksperimentalnim rezultatima drugih autora. Parametarska analiza [1] je pokazala da se predloženi model može koristiti za različite dispozicije grupa moždanika. Koncept proračuna koji je prilagođen aktuelnim odredbama Evrokoda 4 sa novouvedenim pojmom ekvivalentnog prečnika moždnika može se uspešno koristiti i za procenu ponašanje grupe moždanika i za procenu duktilnosti spoja. Na osnovu vrednosti odnosa visine moždanika i zamenjujućeg prečnika moguće je na zadovoljavajući način proceniti duktilnost veze.



Slika 10 – Rezultati vrednosti koeficijenta redukcije

Slika 10 prikazuje poređenje vrednosti koeficijenta redukcije prema predloženom modelu, eksperimentalne vrednosti koeficijenta redukcije i računate vrednosti koeficijenta redukcije prema modelima iz [5] i [6]. Na osnovu prikazanih rezultata (slika 10) mogu se izvesti najvažniji zaključci:

- Predloženi model proračuna može se koristiti za proračun nosivosti na smicanje i malih i velikih grupa moždanika u smičućim spojevima prefabrikovanih spregnutih greda u objektima zgradarstvu i u mostogradnji.
- U radu je pokazano da se sa grupom od četiri moždanika mogu uspešno konstruisati smičući spojevi prefabrikovanih spregnutih greda raspona do 15m u tipičnim višespratnim objektima zgradarstva.
- Predloženi model proračuna nosivosti grupe moždanika sa glavom je sveobuhvatan, uzima u obzir sve bitne parametre geometrije grupe moždanika i jednostavan za praktičnu primenu.
- Položaj i količina armature ne utiču na nosivost veze, ali je armatura važna sa stanovišta globalnog ponašanja armiranobetonskog elementa. Armatura se može izostaviti na mestu otvora za smeštaj moždanika u armiranobetonskoj ploči, što značajno pojednostavljuje izvođenje.

ZAHVALNOST

Istraživanje sprovedeno u okviru doktorske disertacije je deo projekta TR36048 i podržano je od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja. Finansijski i tehnički izvođenje eksperimenta su pomogli GP „Gemax” d.o.o. i „NB Čelik” d.o.o. iz Beograda.

LITERATURA

- [1] Spremić M: *Analiza ponašanja grupe elastičnih moždanika kod spregnutih nosača od čelika i betona*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet, Beograd, oktobar 2013.
- [2] EN1994-1-1, Eurocode 4, “Design of Composite Steel and Concrete Structures. General Rules and Rules for Buildings”, CEN (European Committee for Standardization), December 2004.

- [3] Spremić M, Marković Z, Veljković M, Budjevac D: *Push-Out Experiments of Headed Shear Studs in Group Arrangements*. Advanced steel construction an international journal, Vol.9, No. 2, Jun 2013, ISSN 1816-112X.
- [4] Spremić M, Marković Z, Pavlović M, Veljković M, Budjevac D: *Reduction of shear resistance for headed studs – Group arrangement in precast slabs*. EUROSTEEL 2014 7. European Conference on Steel and Composite Structures, strane 579-581, September 10-12 2014, Napels, Italy, ISBN 978-92-9147-121-8.
- [5] Okada J, Yoda T. i Lebet J.P, *The Study of the Grouped Arrangements of Stud Connectors on Shear Strength Behavior*. Structural Eng./Earthquake Eng, JSCE, Vol.23, No. 1, strane 75-89, April 2006.
- [6] Shim C.S, Lee P.G, Kim D.W. i Chung C.H, *Effects of Group Arrangement on the Ultimate Strength of Stud Shear Connection*, Proceedings of the 2008 Composite Construction in Steel and Concrete Conference VI, ASCE Conf. Proc. doi:10.1061/41142(396)8.