
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

Snežana Marinković¹, Damjan Čekerevac²

GRANIČNA NOSIVOST NA PROBIJANJE PLOČA OSIGURANIH MOŽDANICIMA

Rezime:

U radu je analizirana upotreba moždanika za povećanje nosivosti na smicanje od probijanja. Oni uspešno prevazilaze probleme vezane za tradicionalne tipove smičuće armature i postaju standardan proizvod čiji je proračun dat mnogim nacionalnim standardima. Ovde se analizira njihova upotreba u ploči direktno oslonjenoj na unutrašnji stub. Rad tretira proračun prema standardima ACI 318- 11, ETA -13/0151 i SIA 262 (2013). Rezultati proračuna nosivosti i uticaja koji mogu dovesti do maksimalnih mogućih napona u ploči za usvojene karakteristike materijala i dimenzije preseka podvrgnuti su uporednoj analizi.

Ključne reči: moždanici, smicanje od probijanja, veza, stub, ploča, proboj, uporedna analiza

PUNCHING STRENGTH OF FLAT SLABS REINFORCED WITH SHEAR STUDS

Summary:

This article analyses the use of shear studs for improvement of punching shear resistance of the slab through comparative analysis of standards. They successfully overcome the problems related to traditional types of shear reinforcement and they are becoming standard product which design is defined by many standards. This article deals with the case of flat slab supported by internal column. Three standards were examined, ACI 318-11, ETA -13/0151 and SIA 262 (2013). The resistances and the effects that can lead to maximal shear stress in the slab are determined for chosen size and shape of the slab and column as well as for chosen material properties.

Key words: studs, punching shear, connection, column, slab, comparative analysis

¹Profesor, dr., Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bul. Kralja Aleksandra 73, Beograd

²Diplomirani inženjer - Master, Univerzitet "Blaise Pascal", Clermont-Ferrand

1 UVOD

Ploče direktno oslonjene na stubove nude elegantna rešenja za mostove manjih raspona, kao i kod zgrada gde se ovakav sistem primenjuje u stambenim, administrativnim i industrijskim tipovima objekata. Ovakve konstrukcije su jednostavne i ekonomične za izradu. Međutim, njihova granična nosivost i upotrebljivost uslovljena je zadovoljenjem ugiba i smičućih napona od probijanja. Smičući napon javlja se usled gravitacionog opterećenja, ali se njegova vrednost može značajno povećati usled bočnih opterećenja od vetra i seizmike. Porast temperature usled požara takođe može dovesti do povećanja uticaja na stubove [1]. Lom koji nastaje usled prekoračenja nosivosti je krt inenajavljen. Ovaj lom se može izbeći usvajanjem veće debljine ploče, upotrebom betona većih čvrstoća ili upotrebom smičuće armature. Poslednje rešenje je najbolje jer ono lokalno tretira problem probijanja. Međutim, problem predstavlja njena montaža i sidrenje. Smičuća armatura koja se tradicionalno koristi za osiguranje ploče u vidu uzengija je komplikovana za montažu jer, kako bi bila efikasna, neophodno je da obuhvata gornju i donju armaturu za savijanje. To je teško postići kod ploča manjih debljina i kada se kao armatura za savijanje primenjuju zavarene armaturene mreže. Ovaj rad se bavi jednim tipom smičuće armature koji postaje sve popularniji u svetu i čija je upotreba definisana mnogim standardima. Smičuća armatura u vidu moždanika sa dve glave koja je razvijana proteklih tridesetak godina, uspešno prevazilazi probleme karakteristične za druge metode osiguranja. Glave moždanika dozvoljavaju dobro sidrenje, što moždanicama daje prednost u odnosu na uzengije jer mogu dostići čvrstoće na granici tečenja čelika [2]. Rezultat je nosivost ploče, koja je do 40% veća nego u slučaju osiguranja uzengijama [3]. Moždanici montirani na šinu dati su slikom 1. Zbog različitog pristupa rešavanju problema proboja i različitih pravila za postavljanje moždanika, u ovom radu izvršiće se uporedna analiza proračuna prema tri vodeća svetska standarda. Rad će tretirati američki standard ACI 318-11 [4], evropski standard ETA - 13/0151 [5] i švajcarski standard SIA 262 (2013) [6].



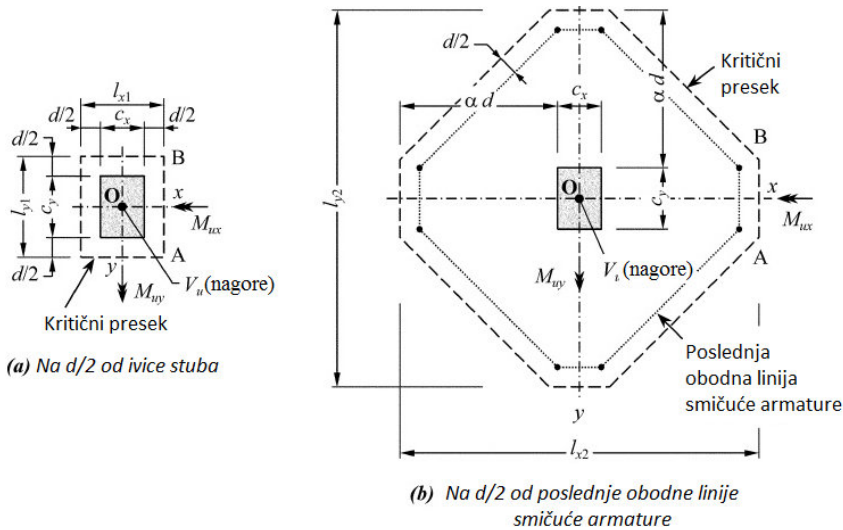
Slika 1 Izgled elementa sa moždanicama i njihova ugradnja [10] [11]



1.1 PRORAČUN PREMA STANDARDU ACI 318-11

Kontrola nosivosti na probijanje sprovodi se u kritičnim presecima. Kod pravougaonih stubova kritični presek definisan je pravim linijama, paralelnim ivicama stuba i na rastojanju $d/2$ od ivica stuba (d – srednja statička visina ploče). Za ploče jednake debljine dovoljno je sprovesti kontrolu u jednom preseku. Kritični presek je upravan na ravan ploče i njegova

dužina se obeležava sa b_0 . Ukoliko je potrebna armatura za osiguranje ploče od proboja, onda je neophodno proveriti i nosivost ploče na smicanje na $d/2$ od poslednjeg reda moždanika. Oblici ova dva kritična preseka dati su slikom 2 za unutrašnji stub pravougaonog poprečnog preseka. Nosivost u prvom kritičnom preseku određuje se u zavisnosti od vrednosti napona u njemu. U ovom radu smatraće se da je smičuća armatura za osiguranje od proboja neophodna, tako da će u ovom opisu biti zanemarena nosivost ploče bez smičuće armature.



Slika 2 Karakteristični kritični preseki u ploči direktno oslonjenoj na unutrašnji stub (Izvor: Autorova obrada slike 4.1 [7])

U opštem slučaju smičući napon u kritičnom preseku određuje se izrazom:

$$v_u = \frac{V_u}{A_c} + \frac{\gamma_{vx} \cdot M_{ux} \cdot y}{J_x} + \frac{\gamma_{vy} \cdot M_{uy} \cdot x}{J_y}$$

gde je:

V_u faktorisana smičuća sila

A_c površina usvojenog kritičnog poprečnog preseka ploče

M_{ux}, M_{uy} faktorisani neuravnoteženi momenti koji se prenose između ploče i stuba oko glavnih težišnih osa x i y usvojenog kritičnog preseka

γ_{vx}, γ_{vy} faktor kojim se određuje deo neuravnoteženog momenta oko osa x i y koji se smicanjem prenosi sa ploče na stub

l_x i l_y projekcije usvojenog kritičnog preseka na glavne ose x i y

J_x, J_y svojstvo usvojenog kritičnog preseka bilo kog oblika dato sledećim jednačinama [7]:

$$J_x = d \cdot \sum \left[\frac{l}{3} \cdot (y_i^2 + y_i \cdot y_j + y_j^2) \right]$$

$$J_y = d \cdot \sum \left[\frac{l}{3} \cdot (x_i^2 + x_i \cdot x_j + x_j^2) \right]$$

x, y koordinate tačaka kritičnog preseka u odnosu na težišne ose x i y

S obzirom na to da nosivost betona u kritičnom preseku na $d/2$ od oslonačke ivice nije dovoljna, potrebno je usvojiti smičuću armaturu:

$$\phi v_n < v_u$$

U ovom slučaju nosivost se sastoji od nosivostibetona i nosivostismičuće armature:

$$v_n = v_c + v_s$$

Za ploču osiguranu moždanicima, nosivost betona je $v_c = \lambda \cdot \frac{\sqrt{f'_c}}{4}$, vrednost je data u MPa. U ovom izrazu λ je modifikujući faktor koji uzima u obzir mehanička svojstva lakog betona. Smičući napon u ovom preseku ne sme biti veći od $\frac{2}{3}\sqrt{f'_c}$. Ako smičući napon prekorači ovu vrednost, potrebno je povećati debljinu ploče ili usvojiti beton veće čvrstoće na pritisak. Nosivost smičuće armature v_s zavisi od čvrstoće na granici tečenja i od broja moždanika:

$$v_s = \frac{A_v \cdot f_{yt}}{b_0 \cdot s} \geq \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c}$$

gde je:

f_{yt} čvrstoća smičuće armature na granici tečenja

A_v površina poprečnog preseka smičuće armature duž jedne obodne linije čiji oblik odgovara konturi stuba

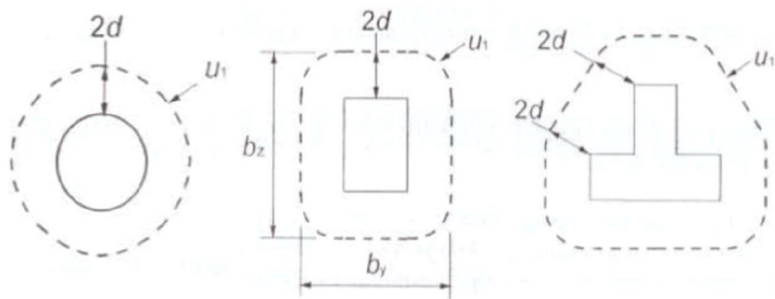
s rastojanje obodnih linija duž kojih je postavljena smičuća armatura u vidu moždanika sa glavama

Broj moždanika u elementu treba biti takav da smičući napon u preseku na rastojanju $d/2$ od poslednjeg reda moždanika ne bude veći od $\frac{1}{6}\phi\lambda\sqrt{f'_c}$:

$$v_u \leq \frac{1}{6}\phi\lambda\sqrt{f'_c}$$

1.2 PRORAČUN PREMA STANDARDU ETA -13/0151

Ranije su u Evropi proračun moždanika sa dve glave tretirale nacionalne tehničke saglasnosti (National Technical Approvals), ali od 2012. godine njihova upotreba definiše se evropskim tehničkim saglasnostima (European Technical Approval, u nastavku teksta samo ETA). Njihove odredbe usklađene su sa EN 1992-1-1 [8]. EN 1992-1-1 ne predviđa upotrebu moždanika kao smičuće armature, ali odredbom 6.4.5.5 naglašava da je moguće primeniti bilo koji patentirani proizvod čija je nosivost određena u skladu sa odgovarajućim ETA. U ovom radu korišćen je ETA -13/0151.



Slika 3 Oblici kritičnih preseka za različite oblike poprečnih preseka unutrašnjeg stuba [9]

Granično stanje nosivosti na smicanje od probijanja razmatra se u kritičnim prescima. Nosivost na smicanje od proboja određuje se na unutrašnjem kritičnom preseku u_1 upravnom na površinu ploče na rastojanju $2d$ od ivice stuba kao i na kritičnom preseku na rastojanju $1,5d$ od poslednjeg reda moždanika. Primeri oblika kritičnih preseka za karakteristične poprečne preseke stubova dati su slikom 3.

Proračunska vrednost smičućeg napona u kritičnom preseku određuje se u skladu sa EN 1992-1-1 prema izrazu:

$$v_{Ed} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_1 \cdot d}$$

gde je:

- v_{Ed} smičući napon duž kritičnog preseka u_1
- β koeficijent koji uvodi u proračun ekscentričnost opterećenja
- V_{Ed} proračunska vrednost smičuće sile
- u_1 dužina obima kritičnog preseka na rastojanju $2d$ od ivice stuba

Preporučena vrednost koeficijenta β za unutrašnji stub je 1,1. U primeru koji će biti prikazan, za određivanje ovog koeficijenta primenjen je tačan postupak.

Smičuća armatura se mora primeniti ukoliko je smičuća sila u ploči veća od nosivosti ploče bez smičuće armature. Nosivost se za ploču direktno oslonjenu na stubove računa sledećom jednačinom:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \text{ [MPa]}$$

gde je:

- $C_{Rd,c}$ empirijski faktor
- k koeficijent koji uzima u obzir veličinu statičke visine ploče, d [mm]:
- ρ_l srednji procenat armiranja od armature u x i y pravcu
- f_{ck} karakteristična vrednost čvrstoće betona
- k_1 empirijski faktor, preporučena vrednost
- σ_{cp} normalni napon u betonu u kritičnom preseku
- v_{min} minimalna nosivost betona

Ploča se mora osigurati moždanicima ukoliko je:

$$v_{Rd,c} < v_{Ed}$$

Maksimalna nosivost ploče na smicanje od proboja u kritičnom preseku mora biti veća od proračunske vrednosti napona:

$$V_{Rd,max} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd,max} = 1,96 \cdot V_{Rd,c}$$

Nosivost ploče na smicanje u preseku osiguranom smičućom armaturom u obzir uzima samo nosivost moždanika, dok se udeo betona u nosivosti zanemaruje. Broj moždanika duž kritičnog preseka usvaja se tako da bude zadovoljen sledeći uslov:

$$\beta \cdot V_{Ed} \leq V_{Rd,sy} = m_c \cdot n_c \cdot \frac{d_A^2 \cdot \pi \cdot f_{yk}}{4 \cdot \gamma_s \cdot \eta}$$

gde je:

m_c broj elemenata u zoni C [5], koja se prostire sve do $1,125d$ od ivice stuba

n_c broj moždanika na svakom elementu u zoni C [5]

d_A prečnik tela moždanika

f_{yk} karakteristična čvrstoća moždanika na granici tečenja

γ_s parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik ($\gamma_s=1,15$)

η faktor koji uzima u obzir statičku visinu [5]

Broj moždanika na elementu usvaja se tako da napon u kritičnom preseku izvan zone osigurane moždanicima bude manji od nosivosti betona. To se postiže ako se dužina kritičnog preseka odredi na sledeći način:

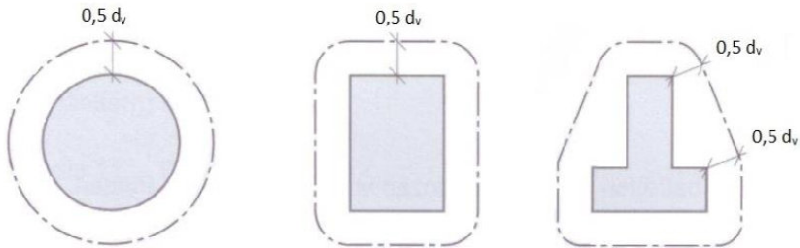
$$u_{out} \geq \frac{\beta_{red} \cdot V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d}$$

gde je:

β_{red} redukovani faktor koji uzima u obzir ekscentricitet spoljašnjeg kritičnog preseka u_{out}

1.3 PRORAČUN PREMA STANDARDU SIA 262 (2013)

Granično stanjenosivosti na smicanje od probijanja razmatra se takođe u kritičnim presecima. Kritični presek obima u , upravan je na površinu ploče i nalazi se na $0,5 \cdot d_v$ od ivice oslonca (d_v – srednja statička visina ploče). Napon smicanja je potrebno proveriti i izvan zone osigurane moždanicima, na udaljenosti $0,5 \cdot d_v$ od poslednjeg reda moždanika. Na slici 4 prikazani su primeri kritičnih preseka za karakteristične poprečne preseke unutrašnjih stubovakod ploče direktno oslonjene na stubove.



Slika 4 Primeri kritičnih preseka za unutrašnji stub [6]

Koeficijent redukcije kritičnog preseka k_c može da se odredi na dva načina, tačnim postupkom ili preko preporučenih vrednosti. Preporučena vrednost ovog koeficijenta za

unutrašnji stub iznosi 0,9. U primeru koji će biti prikazan, za određivanje ovog koeficijenta primenjen je tačan postupak.

Kod ploča direktno oslonjenih na stubove i temeljnih ploča proračunska vrednost smičuće sile jednaka je reakciji stuba umanjenoj za dejstva koja deluju unutar kritičnog preseka:

$$V_d = \frac{R_d - \Delta V}{k_e}$$

gde je:

R_d proračunska vrednost aksijalne sile u stubu

ΔV vrednost sile koja se odupire proboju

Proračunska vrednost smičućeg napona određuje se kao:

$$v_d = \frac{V_d}{u \cdot d_v}$$

Nosivost na smicanje od probijanja može se odrediti kao zbir nosivosti betona i armature:

$$V_{Rd} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$$

Nosivost betona bez armature za proboj data je sledećom formulom:

$$V_{Rd,c} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

gde je:

τ_{cd} proračunska vrednost graničnog smičućeg napona u MPa

k_r koeficijent koji uzima u obzir dimenziju ploče, njenu rotaciju, kao i maksimalnu veličinu zrna agregata

Smičuću armaturu za proboj potrebno je odrediti ako vrednost smičuće sile premašuje nosivost betona bez smičuće armature:

$$V_d > V_{Rd,c}$$

Neophodno je usvojiti armaturu tako da njena nosivost bude veća od razlike smičuće sile i nosivosti betona. Nosivost armature za smicanje data je izrazom:

$$V_{Rd,s} = \sum A_{sw} \cdot \sigma_{sd} \cdot \sin \beta$$

gde je:

β ugao koji smičuća armatura zaklapa sa ravni ploče

$\sum A_{sw}$ površina poprečnog preseka smičuće armature obuhvaćene zonom koja se prostire od $0,35d_v$ do d_v od oslonačke ivice

σ_{sd} proračunska vrednost napona zatezanja u vertikalnoj armaturi za proboj

Nosivost na smicanje od proboja ograničena je pojavom loma pritisnute dijagonale u blizini oslonačke zone, odnosno maksimalnom nosivošću betona na probijanje. Ona je za ploče armirane moždanicima određena sledećim izrazom:

$$V_{Rd,c,max} = 3 \cdot k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u \leq 3,5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

Potreban broj moždanika u elementu određuje se tako da smičući napon u preseku izvan zone armirane moždanicima bude manji od nosivosti betona. Ovaj uslov dat je sledećom relacijom:

$$V_d \leq V_{Rd,c,out} = k_r \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u_{out}$$

gde je:

u_{out} dužina kritičnog preseka izvan zone armiranja

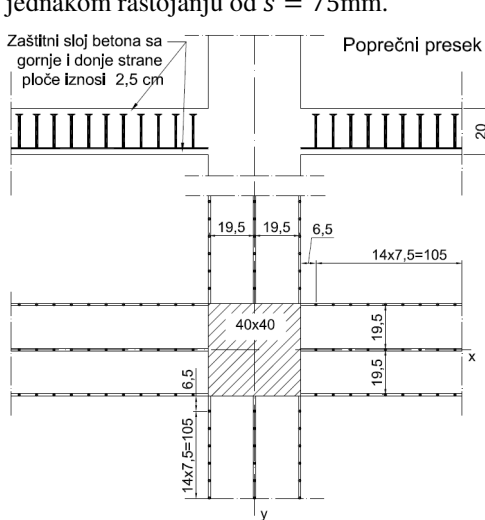
2 UPOREDNA ANALIZA STANDARDA NA PRIMERIMA

U ovom poglavlju biće predstavljeni računski primeri proračuna proboja ploče direktno oslonjene na unutrašnji stub i dati ulazni podaci za proračun čiji rezultati će biti analizirani u uporednoj analizi. Posebno su urađeni primeri za svaki od standarda.

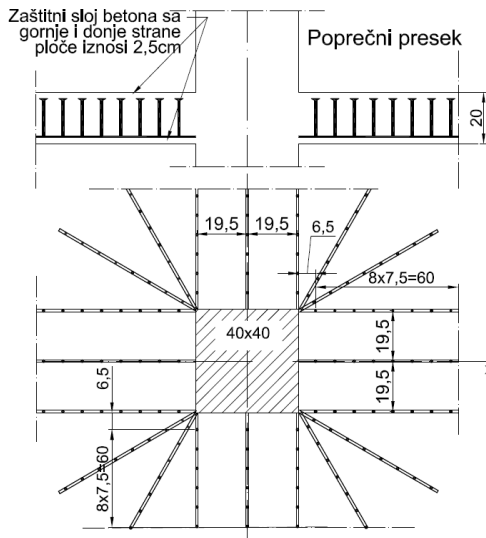
U primerima se pretpostavlja da na ploču deluje smičuća sila koja izaziva proboj, što zahteva usvajanje smičuće armature. Proračun je zasnovan na usvojenim karakteristikama preseka stuba, ploče i moždanika. Imajući u vidu različite zahteve standarda u pogledu rasporeda moždanika, kao i kvaliteta čelika od koga su napravljeni usvojeni su drugačiji polazni parametri, ali ukupan broj moždanika koji je upotrebljen za osiguranje ploče je isti u svim primerima. Za usvojen raspored moždanika određene su moguće kombinacije sile u stubu i momenta savijanja u ploči koji mogu dovesti do maksimalnog mogućeg napona u ploči uz zadovoljenje maksimalne nosivosti ovako armirane ploče. Za proračun nosivosti ploče i mogućih kombinacija uticaja razvijeni su novi alati za proračun u programu Microsoft Office Excel čiji će rezultati biti analizirani uporednoj analizi.

2.1 PRIMER ACI 318-11

Posmatra se ploča debljine 20 cm oslonjena na stub kvadratnog poprečnog preseka dimenzija 40x40 cm. Usvojen je beton čvrstoće 40 MPa, čvrstoća na granici tečenja čelika za moždanike 400MPa i armatura za savijanje prečnika 16 mm. Sve oznake date su slikom 5. Kao što se može videti ploča je osigurana sa 12 elemenata na kojima se nalazi po 15 moždanika prečnika 10 mm. Prvi red je na rastojanju $s_0 = 65\text{mm}$, a preostali moždanici uzimani su na jednakom rastojanju od $s = 75\text{mm}$.



Slika 5 Unutrašnji stub, primer ACI 318-11



Slika 6 Unutrašnji stub, primeri ETA -13/0151 i SIA 262 (2013)

2.2 PRIMER ETA -13/0151

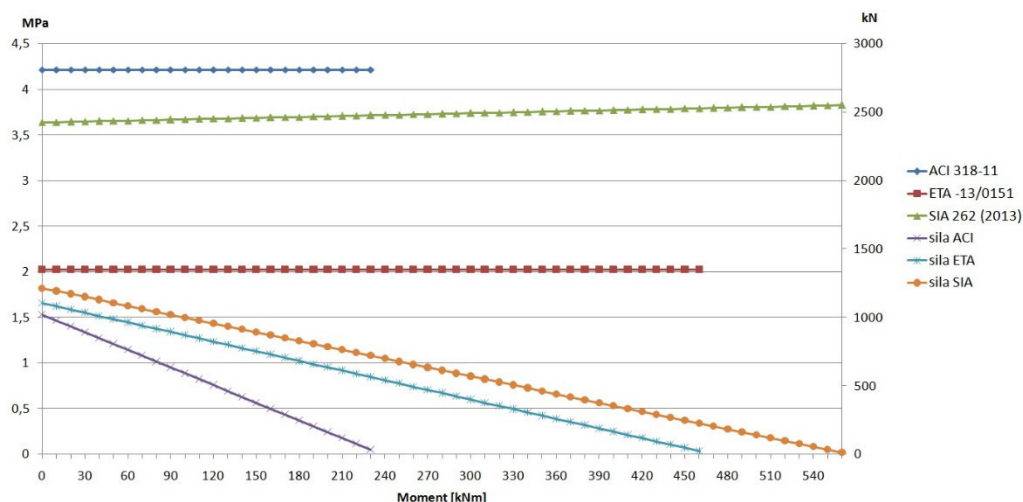
Posmatra se ploča debljine 20 cm oslonjena na stub kvadratnog poprečnog preseka dimenzija 40x40 cm. Usvojen je beton čvrstoće 40 MPa, čvrstoća na granici tečenja čelika za moždanike od 500 MPa i armatura za savijanje prečnika 16 mm. Sve oznake date su slikom 6. Ploča je osigurana jednakim brojem moždanika kao i u primeru ACI 318-11, ali je njihov raspored drugačiji usled različitih standardom propisanih maksimalnih rastojanja. Kao što se može videti ploča je osigurana sa 20 kompletnih elemenata na kojima se nalazi po 9 moždanika prečnika 10 mm. Prvi red moždanika je na rastojanju $s_0 = 65\text{mm}$, a preostali moždanici uzimani su na konstantnom rastojanju $s = 75\text{mm}$.

2.3 PRIMER SIA 262 (2013)

Posmatra se takođe ploča debljine 20 cm oslonjena na stub kvadratnog poprečnog preseka dimenzija 40x40 cm. Rastojanje između stubova jednako je u oba pravca i iznosi 6 m. Usvojen je beton čvrstoće 40 MPa, čvrstoća na granici tečenja čelika za moždanike od 500 MPa i armatura za savijanje prečnika 16 mm. Veličina najvećeg zrna agregata u betonu D_{\max} je 32 mm. Sve dimenzije i oznake odgovaraju primeru ETA -13/0151 i mogu se videti na slici 6. Ploča je osigurana jednakim brojem moždanika kao i u prethodna dva primera, a njihov raspored je isti kao u primeru ETA -13/0151.

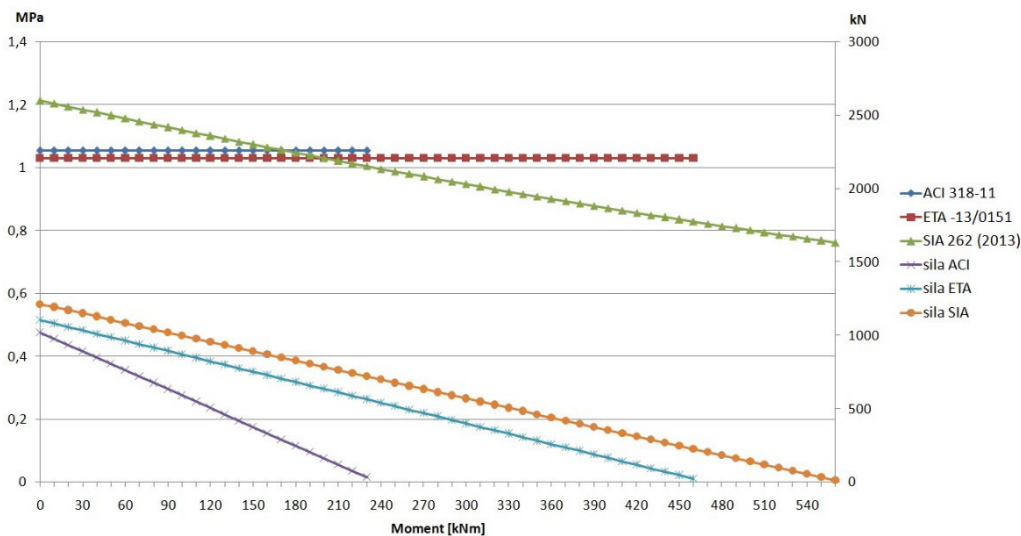
2.4 UPOREDNA ANALIZA REZULTATA

Na osnovu sprovedenog proračuna može se uočiti da standardi kojima se bavi ovaj rad imaju različite pristupe proračunu, što za posledicu ima različita rešenja. Kao što je već navedeno, vrednosti uticaja sračunate su tako da daju maksimalne moguće napone u ploči. Slikama 7 i 8 prikazane su vrednosti napona u kritičnom preseku unutar i izvan zone armiranja u zavisnosti od kombinacije momenta savijanja u ploči i odgovarajuće sile u stubu, koje su date posebnim krivama i čije se vrednosti mogu pročitati na desnoj vertikalnoj osi dijagrama.



Slika 7 Naponi u preseku unutar zone armirane moždanicama za različite kombinacije uticaja

Razlika u naponima se javlja kao posledica različitih dužina kritičnih preseka. Različite vrednosti sila u stubovima su posledica različitih nosivosti prema svakom od standarda. Važna razlika ACI 318-11 u odnosu na druga dva je ograničenje čvrstoće čelika na 60000 psi (oko 413 MPa). Do različitih rezultata dovodi i drugačije tretiranje nosivosti ploče osigurane moždanicima. Sa dijagrama sledi da standard SIA 262 (2013) omogućava najveće sile u stubu za isti moment savijanja. Imajući u vidu da su sile u ovim primerima uslovljene nosivošću ploče na smicanje od probijanja, sledi da se prema standardu SIA 262 (2013) dobija najveća nosivost.



Slika 8 Naponi u preseku izvan zone osiguranja moždanicima za različite kombinacije uticaja

3 ZAKLJUČAK

Ovim radom prikazana je upotreba moždanika sa dve glave kao smičuće armature za osiguranje ploče od proboja. Prikazane su osnovne jednačine za određivanje nosivosti, date su postavke računskih primera čiji su rezultati iskorišćeni za uporednu analizu. Na osnovu odredaba standarda i rezultata priloženih primera, analizom je zaključeno sledeće:

- Metodologija proračuna prema ovim standardima se razlikuje i nemoguće je izvršiti analizu na identičnim primerima, pa se i sama rešenja ovih primera razlikuju. Međutim, moguće je bilo odrediti vrednosti parametara nosivosti i njih uporediti.
- Standard ACI 318-11 daje najkonzervativnija rešenja. Ovo je bilo očekivano imajući u vidu da je najstariji od tri opisana standarda.
- Usled ograničenja nosivosti moždanika u standardu ACI 318-11, za istu nosivost preseka kao i prema druga dva standarda neophodno je usvojiti veći broj moždanika duž kritičnog preseka.
- Standard SIA 262 (2013) omogućava upotrebu manjeg broja moždanika u kritičnom preseku, jer za razliku od ETA -13/0151 uzima u obzir doprinos nosivosti betona ukupnoj nosivosti u kritičnom preseku.

- Standard SIA 262 (2013) omogućava upotrebu manjeg broja moždanika po elementu
- Za iste karakteristike poprečnog preseka i identičan raspored moždanika standard SIA 262 (2013) omogućava veće sile u kritičnom preseku od ETA -13/0151.
- Standard SIA 262 (2013) jedini uzima u obzir uticaj deformacije ploče na vrednost nosivosti na probijanje, što omogućava realističniji pristup problemu.

Zaključuje se da standard SIA 262 (2013) daje najekonomičnija rešenja u pogledu utroška čelika za osiguranje od proboja. Pojava novog američkog standarda će doneti najverovatnije i promenu u pristupu proračunu nosivosti veze stuba i ploče i mogla bi da bude predmet neke nove analize.

LITERATURA

- [1] *Shear Strength of Slabs with Double- Headed Shear Studs in Radial and Orthogonal Layouts.* **Birkle, G / Dilger, W.H.** SP-265-23, s.l. : American Concrete Institute, 2009, T. 265, strp. 499-510.
- [2] **Birkle, G.** *Punching of Flat Slabs: Influence of Slab Thickness and Stud Layout.* Calgary, AB, Canada : University of Calgary, 2004.
- [3] **Peikko group.** PSB Reinforcement against punching failure of slabs. *materials.crasman.fi.* [Na mreži] jun 2013. [Citirano: 25 avgust 2014.] http://materials.crasman.fi/materials/public/619a39e33f08620b52806e0a9ceed2ac/download?link_id=13360&folder_id=1380.
- [4] **ACI.** *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary.* Farmington Hills, MI : American Concrete Institute, 2012. 978-0-87031-744-6.
- [5] **DIBT.** European Technical Approval ETA-13/0151. *materials.crasman.fi.* [Na mreži] 30 maj 2013. [Citirano: 25 08 2014.] <http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=43985&org=2&chk=185a5332>.
- [6] **SIA 262:2013.** *SIA 262:2013 Betobau.* Zurich : SIA, 2013. str. 102. SN 505262:2013 de.
- [7] **Joint ACI-ASCE Committee 421.** *Guide to Shear Reinforcement for Slabs (ACI 421.1R-08).* Farmington Hills, MI : American Concrete Institute, 2008. 978-0-87031-280-9.
- [8] *Europäische Bemessungsregeln für Doppelkopffanker als Durchstanzbewehrung.* **Ricker, Marcus / Häusler, Frank.** Berlin : Ernst & Sohn, 2014, Beton- und Stahlbetonbau, T. 1, str. 30-42. DOI: 10.1002/best.201300056.
- [9] **Evrokod 2.** *EN 1992-1-1:2004 Proračun betonskih konstrukcija Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade.* Beograd : CEN, 2006.
- [10] **Halfen.** HDB - Shear reinforcement. *Halfen.* [Na mreži] 2014. [Citirano: 30 08 2014.] <http://www.halfen.com/uk/777/products/reinforcement-systems/hdb-shear-reinforcement/introduction/>.
- [11] **Peikko group.** DSA Stud Rails. *Peikko group.* [Na mreži] 2014. [Citirano: 30 08 2014.] http://www.peikko.ca/product-en_ca/p=DSA+Stud+Rails.