

PROTIVPROBOJNO OSIGURANJE AB PUNIH PLOČA MEĐUSPRATNE KONSTRUKCIJE PRIMENOM PEIKKO PSB ČEPOVA

Zsolt Kokrehel¹

УДК: 624.072.1.012.45

DOI:10.14415/konferencijaGFS 2015.024

Rezime: U konstrukcijama veza stubova sa armiranobetonskom punom pločom direktno oslonjene na AB stubove su uvek najkritičnija mesta u konstrukciji. Postoji više načina proračuna i armiranja veze. Još važeći srpski standard predviđa osiguranje sa uzengijama u oformljenim gredicama u ploči oko stuba. Očekuje se skoro usvajanje Eurocode 1992 da bude i u Srbiji važeći. Evrokod 2 predviđa u potpunosti drugi pristup proračunu i načinu armiranja u odnosu na PBAB '87. Proračun se temelji na prostornoj rešetki modela pritisnute dijagonale i zategnute vertikalne - strut and tie model. Analizom rezultata proračuna prema starom i novom propisu, kao i uzimanjem u obzir nacionalnih dodataka uz Eurocode 1992 dobija se jedna lepeza maksimalnih nosivosti na proboj pri istim ulaznim parametrima. U ovom radu je kratak osvrt na važeću regulativu i na nadolazeći stari-novi standard Eurocode 1992, 2004/AC:2010.

Ključne reči: Probojno osiguranje, Strut and Tie, Eurocode 1992, PSB armaturni čepovi

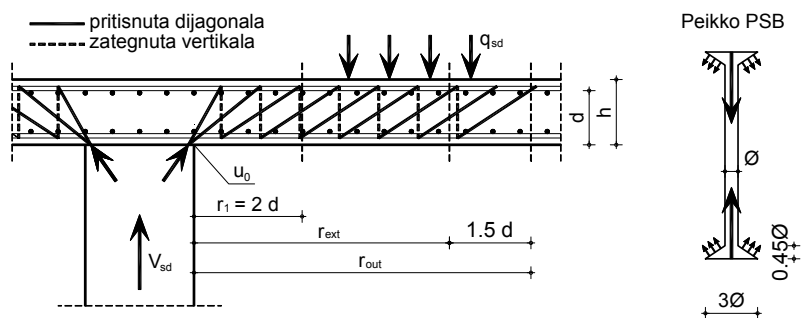
1. UVOD

Važeći standard za armiranobetonske konstrukcije u Srbiji, P BAB '87 proračun nosivosti na proboj AB pune ploče propisuje na osnovu karakterističnih vrednosti sila merodavnih za proboj. Kontrola smičućeg napona se vrši na obimu kritičnog preseka kružnog oblika koji se nalazi na 0.5d (polovina statičke visine preseka) od linije zamenjujućeg kružnog preseka stuba. Dva nivoa dozvoljenog napona smicanja je definisan pravilnikom i to nivo do kojeg nije potrebno osiguranje armaturom i opseg smičućeg napona u kojem se mora primeniti proračunska armatura za prijem zatežućih sila usled dejstva trasverzalne sile. Položaj stuba u konstrukciji, na ivici ploče ili na uglu ploče uzima se u obzir reduciranjem obima kritičnog preseka sa koeficijentom 0.6 za ivične dok sa 0.3 za stubove na uglu ploče.

Evrokod 2 (EN 1992-1-1:2004/AC:2010) proračun nosivosti na proboj zasniva na proračunskim (design) vrednostima sila merodavnih za kontrolu proboja AB ploče, što znači da su uključeni parcijalni faktori sigurnosti za dejstva u merodavnoj kombinaciji. Proračun nosivosti je zasnovan na modelu pritisnute dijagonale i zategnute vertikalne –

¹ Zsolt KOKREHEL, dipl. inž. grad., Peikko Slovakia S.r.o., Kráľová nad Váhom 660, 92591 Kráľová nad Váhom, Slovakia, tel: +381.63.58.99.55, e-mail: zsolt.kokrehel@peikko.com

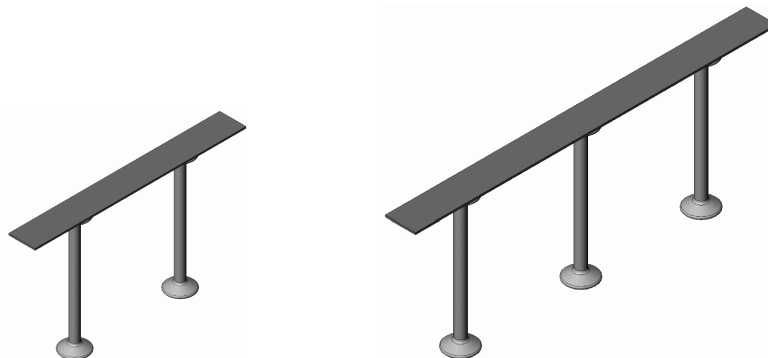
Strut and Tie model. Zategnute vertikale su od kratkih armaturnih šipki sa obostranom kovanom glavom u obliku proširenja, prečnika minimalno trostrukog prečnika šipke. Sidrenje armature i prenos opterećenja iz zategnute dijagonale na beton vrši se pritiskom površine proširene kovane glave na masu betona. Prečnici armature za zategnutu vertikalu proizvođača Peikko su standardne od 10, 12, 14, 16, 20 i 25mm.



Slika 1. Model proračuna sa karakterističnim obimima i funkcionisanje armature zategnute vertikale

2. PROIZVODNJA I NOSIVOST PROTIVPROBOJNE ARMATURE

Protivprobojne armature sa obostranom kovanom glavom se proizvode od standardne armature kvaliteta B500 B prema EN 10080:2009. Armatura se seče na dužu dužinu od konačne projektovane dužine. Kraj armature se indukcijskim grejačem zagrejava do crvenog usijanja i sa dvostrukim udarcem se kuje proširenje, glava sa dimenzijama prema slici 1. Nakon hlađenja isti proces se ponovi i za drugi kraj armature. Svaka armatura ima oznaku sa komercijalnim nazivom i prečnikom. Nakon toga prema specifikaciji iz projekta proizvedeni PSB čepovi (komercijalni naziv proizvođača Peikko) se vare na šinu, nosač od lima S235 debljine 4mm i širine 30mm na predviđenim razmacima. Ova šina služi za održavanje definisanog razmaka PSB čepova i da vertikalno ne potone u oplati – šina leži na armaturi ploče za savijanje. Na jednoj šini može se naredati od 2 do 10 komada PSB čepova, dok iz praktičnih razloga montaže i transporta preporučuju se šine sa 2 ili 3 elementa.



Slika 2. Izgled šine sa 2 i 3 probojne armature PSB na jednoj šini proizvođača PEIKKO Pojedinačna nosivost na zatezanje armature sa obostranom kovanom glavom je određen u Evrokodu 2. Na osnovu tačke 6.4.5 efektivna proračunska čvrstoća armature za osiguranje proboja je data u zavisnosti od debljine elementa, ploče u koju se ugrađuje.

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25 \cdot d \leq f_{ywd} \quad (1)$$

Na osnovu izvršenih ispitivanja i Evropskog dopuštenja ETA-13/0151 kod Peikko PSB armature može se iskoristiti celokupna nosivost preseka armature

$$f_{ywd,ef} = f_{ywd} = f_y / \gamma_s \quad \text{prema ETA-13/0151} \quad (2)$$

3. PRORAČUN NOSIVOST NA PROBOJ PREMA EVROKODU 2 I ETA 13/0151

Pri proveru nosivosti ravnih AB ploča oslonjene direktno na stubove osnovni kontrolni obim u_1 je na $2x$ mereno od ivice stuba, gde je d prosečna statička visina ploče. Dejstvujuća proračunska sila proboja V_{Ed} se povećava sa koeficijentima u zavisnosti od položaja stuba u konstrukciji prema 6.4.3. (6):

- srednji stubovi $\beta = 1.15$
- ivični stubovi $\beta = 1.40$
- ugaoni stub $\beta = 1.50$

Nosivost ploče na proboj bez osiguranja i bez uzimanja u obzir normalnog napona u ploči prema 6.4.4. (1):

$$v_{Rd,c} = \max \left[\begin{array}{l} C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \\ 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \end{array} \right] \quad (3)$$

Dok je ispunjen uslov na osnovnom kontrolnom obimu u_1 da je sila proboja manja od nosivosti bez osiguranja, nema potrebe za ugradnjom armature za osiguranje.

$$V_{Ed} \leq \frac{v_{Rd,c} \cdot u_1 \cdot d}{\beta} \quad (4)$$

Ukoliko jednačina (3) nije ispunjena, znači da je potrebno predvideti osiguranje ploče. Maksimalna proračunska otpornost AB ploče na proboj $V_{Rd,max}$ zasniva se na maksimalnom nosivošću pritisnute dijagonale od betona. Kontrola nosivosti pritisnute dijagonale prema EN 1992-1-1:2004 po principu vrši se na obimu same ivice stuba i obim $u_0 = 2x(a+b)$ i važi do $a:b \leq 1:2$, odnos dužine stranice pravougaonog stuba. U slučaju da se otvor nalazi u zoni osiguranja na rastojanju manjem od $6x$ mereno od ivice stuba, dužina iste se oduzima od kontrolnog obima u bilokom kontrolnom obimu prema tački 6.4.2. (3).

$$V_{Rd,max} = \frac{v_{Rd,max} \cdot d \cdot u_0}{\beta} \quad \text{prema EN 1992-1-1:2004} \quad (5)$$

$$v = \max \left[\begin{array}{l} 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \\ 0.5 \end{array} \right] \quad (6)$$

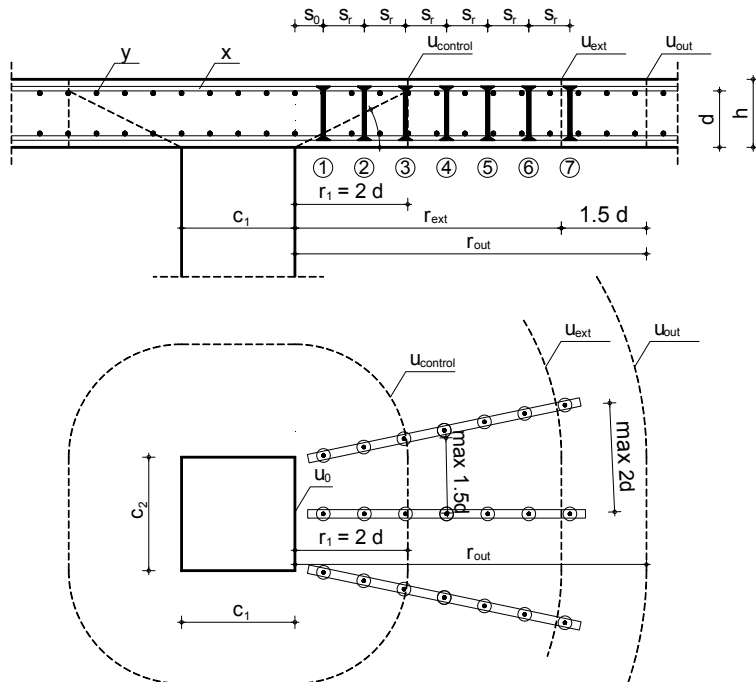
$$v_{Rd,max} = 0.4 \cdot v \cdot f_{cd} \quad \text{prema EN 1992-1-1:2004/AC:2010} \quad (7)$$

S obzirom na to da svaki proizvođač protivprobojnih čepova je aplicirao i dobio ETA dopuštenje gde maksimalna proračunska otpornost AB ploče na proboj $V_{Rd,max}$ definisan na drugačiji način. Maksimalna nosivost je ograničen na 1.96-struku vrednost nosivosti betona na smicanje bez armature $v_{Rd,c}$ ali računato na kontrolnom obimu u_1 koji je na $2x d$ mereno od ivice stuba prema sledećoj formuli:

$$V_{Rd,max} = \frac{1.96 \cdot v_{Rd,c} \cdot d \cdot u_1}{\beta} \quad \text{prema ETA-13/0151} \quad (8)$$

Mora se napomenuti da koeficijent 1.96 važi za međuspratne ploče, dok za temeljne ploče koeficijent je 1.62.

Ova razlika u načinu pristupa određivanja maksimalne nosivosti na proboj rezultira sa različitim rezultatima tako da za iste uslove prema ETA dopuštenju dobija se manja vrednost približno 11% za međuspratne ploče i oko 26% za temelje, nego kada se računa čisto prema Evrokodu 2 i bez nacionalnih dodataka.



Slika 3. Osnovni princip razmeštaja armature protiv proboja prema Evrokodu 2

Položaj krajnjeg obima potrebnog osiguranja se određuje na osnovu nosivosti betona na smicanje bez armature za osiguranje prema 6.4.5. (4) jednačini:

$$r_{out} = \left(\beta \cdot \frac{V_{Ed}}{v_{Rd,c} \cdot d} - 2 \cdot (a + b) \right) / 2\pi \quad \text{za pravougaoni stub } a:b \leq 1:2 \quad (9)$$

Zadnji čep mora da bude postavljen na liniji ili dalje od $r_{ext} = r_{ext} - 1.5d$.

Maksimalni međusobni razmak čepova u radijalnom pravcu $s_r \leq 0.75d$.

Prvi čep od ivice stuba mora da bude udaljen $s_o = (0.3-0.5)d$

Potrebna površina preseka jednog protivprobojnog čepa na i -tom obimu osiguranja može se računati iz jednačine 6.4.5 (1) i ako se $v_{Rd,cs}$ izjednači sa $v_{Ed,i}$ prema sledećem:

$$A_{sw,req} = (v_{Ed,i} - 0.75 \cdot v_{Rd,c}) \cdot \frac{s_{r,prov} \cdot u_i}{1.5 \cdot f_{ywd,ef}} \quad (10)$$

Da bi osiguranje zadovoljilo uslove nosivosti mora da se zadovolji na svakom i -tom obimu osiguranja

$$v_{Ed,i} \leq v_{Rd,cs} = 0.75 \cdot v_{Rd,c} + 1.5 \cdot \frac{A_{sw,prov} \cdot f_{ywd,ef}}{s_{r,prov} \cdot u_i} \quad (11)$$

Maksimalni razmaci armature za osiguranje u tangencijalnom pravcu su definisani na dva karakteristična obima i to na kontrolnom $u_{control}$ i na obimu zadnjeg reda čepova na u_{ext} i definisani su prema slici 3. na osnovu Evrokoda 2. Ovi razmaci su drugačije definisani u ETA-13/0151 i koji se mogu proučiti u predmetnom dokumentu.

4. UPOREDNI PRIKAZ NOSIVOSTI SA I BEZ ARMATURE ZA OSIGURANJE PROBOJA

Direktno upoređivanje proračuna prema važećem srpskom standardu P BAB '87 i proračuna prema Evrokodu 2 nije moguće, jer se prvi bazira na karakterističnim vrednostima opterećenja dok savremeniji propis EC2 radi sa proračunskim (design) vrednostima sa uključenim parcijanim faktorima sigurnosti za opterećenja. Da bi se mogao uporediti rezultati prema starom propisu sa novijim uzet je u obzir prosečan koeficijent sigurnosti za opterećenje od $\gamma=1.45$ i dobijeni rezultati prema EC2 su deljeni da bi se dobili upoređljivi vrednosti. Kod svih proračuna uzet je u obzir i faktor ekscentričnosti od $\beta=1.15$.

Primer 1. - Ulazni podaci za proračun su prema sledećem – središnji stub:

AB puna ploča $h=20.0\text{cm}$, kvalitet betona MB40 (C30/37) sa zaštitnim slojem od 2cm, armatura za savijanje u oba pravca gornje zone $\emptyset 16/10$ B500 B. Statička visina ploče $d=16.4\text{cm}$ sa procentom armiranja $\mu=1.228\%$. Stub preseka $40 \times 40\text{cm}$.

Dobijeni rezultati su prema sledećem:

Tabela 1. Rezultati proračuna otpornosti na proboj – primer 1.

Propis	P BAB '87	EN 1992-1-1 AC 2010	ETA-13/0151
Nosivost bez osiguranja proračunska vrednost V_{Rdc} karakteristična vrednost V_{Rc}	344.07 kN	416.87 kN 287.50 kN	416.87 kN 287.50 kN
U odnosu na P BAB '87	100 %	84 %	84 %
Maksimalna nosivost sa osiguranjem proračunska vrednost V_{Rdmax} karakteristična vrednost V_{Rmax}	464.65 kN	963.80 kN 664.69 kN	817.04 kN 563.48 kN
U odnosu na P BAB '87	100 %	143 %	121 %

Primer 2. - Ulazni podaci za proračun su prema sledećem – središnji stub:

AB puna ploča $h=40.0\text{cm}$, kvalitet betona MB40 (C30/37) sa zaštitnim slojem od 2cm, armatura za savijanje u oba pravca gornje zone $\varnothing 20/10$ B500 B. Statička visina ploče $d=36.0\text{cm}$ sa procentom armiranja $\mu=0.873\%$. Stub preseka $40 \times 40\text{cm}$.

Dobijeni rezultati su prema sledećem:

Tabela 2. Rezultati proračuna otpornosti na proboj – primer 2.

Propis	P BAB '87	EN 1992-1-1 AC 2010	ETA-13/0151
Nosivost bez osiguranja proračunska vrednost V_{Rdc} karakteristična vrednost V_{Rc}	840.26 kN	1192.35 kN 822.31 kN	1192.35 kN 822.31 kN
U odnosu na P BAB '87	100 %	98 %	98 %
Maksimalna nosivost sa osiguranjem proračunska vrednost V_{Rdmax} karakteristična vrednost V_{Rmax}	1134.98 kN	2115.65 kN 1459.07 kN	2337.04 kN 1611.75 kN
U odnosu na P BAB '87	100 %	129 %	142 %

5. ZAKLJUČAK

Iz dve prikazane analize za dve različite debljine ploče može se zaključiti da primena proračuna prema graničnim stanjima nosivosti i načinom armiranja propisan u EC 2 dobijaju se vitkije/tanje ploče, za iste ulazne parametre i dobiju se povećane maksimalne sile proboja za 21%-43% u odnosu na još važeći P BAB '87, tojest za istu silu je moguće primeniti tanju ploču. U nekim uslovima osnovni EN 1992-1-1:2004/AC:2010 daje veću nosivost dok Evropsko Tehničko dopuštenje pri drugim jer ona je kombinacija EC2 i rezultata opsežnih eksperimentalnih ispitivanja izvršena na realnim ispitnim modelima. Osnovni razlog ove razlike je da važeći P BAB '87 na konzervativniji način predviđa osiguranje ploča od proboja, proverava smičuće napone samo u jednom kritičnom preseku na 0.5d od ivice stuba i daje mogućnost samo za jedan red osiguranja u obliku uzengija koje oformljuju gredice oko stuba. Upoređivanjem radius krajnjeg osiguranja od proboja prema P BAB '87 za ploču od 20cm imamo 8.2 cm, za ploču od 40cm imamo 18cm dok prema EN 1992 ove vrednosti su za ploču od 20 cm, krajnja linija osiguranja je na 84.5cm, a za ploču od 40cm ona iznosi 93.5cm.

Prednosti primene proračuna i armiranja prema Evrokodu su:

- veća protivprobojna nosivost ploče
- moguća primena vitkijih, tanjih ploča – minimalna debljina primene je 18cm
- smanjivanje statičkih visina spratova, manje seizmičke sile
- jednostavna i brza ugradnja nakon postavljene armature gornje zone
- jednostavni proračun sa besplatnim softverom – Peikko Designer[®]
- poseduje ETA dopuštenje – na primer proizvođač Peikko PSB – ETA-13/0151

Jedina negativna strana primene je da se proizvod mora uvoziti od stranih dobavljača.

LITERATURA

- [1] Pravilnik o tehničkim normativima za beton i armirani beton – Pravilnik BAB 87 Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, April 1995
- [2] EC for Standardization (2004) Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1: General rules and rules for buildings, EN 1992-1-1:2004/AC:2010
- [3] Peikko Group: PSB Reinforcement against punching failure of slabs (6/2013), Technical Manual
<http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=5747&org=2&chk=55759d21>
- [4] DIBt – European Technical Approval ETA-13/0151, from 30.05.2013.
Peikko PSB punching reinforcement
<http://materials.crasman.fi/materials/extloader/?fid=43985&org=2&chk=185a5332>

ENSURING FLAT RC FLOOR STRUCTURE AGAINST PUNCHING USING PEIKKO PSB SHEAR STUDS

Summary: *In structures the connection between columns and flat reinforced concrete floor supported only by columns are the most critical places in the structure. There are several ways of design and reinforcing of the connections. The still applicable Serbian code foresees ensuring with stirrups in beams formed around columns in the slab. It is expected Eurocode 2 will be adopted in near future and to be applicable in Serbia. Eurocode 2 foresees completely different approach of design and way of reinforcing compared to P BAB '87. The design is based on spatial lattice model formed from pressed concrete diagonals and tensioned verticals – strut and tie model. By analyzing the design results according the old and the new code, as well as taking into consideration of national documents for Eurocode 1992, results of maximum punching capacities are in a range when the input data is the same. In this paper is a short overview of current code and the upcoming old-new design code Eurocode 1992, 2004/AC:2010.*

Keywords: *Ensuring punching, Strut and Tie, Eurocode 1992, PSB reinforcing studs*