

Primljen / Received: 31.10.2014.

Ispravljen / Corrected: 21.1.2015.

Prihvaćen / Accepted: 19.3.2015.

Dostupno online / Available online: 1.8.2015.

Numerička ocjena spoja nosivog zida i ravne ploče

Autori:



Surumi Rasia Salim, dipl.ing.grad.

Sveučilište Anna
Građevinski fakultet
Chennai, Indija
surumirazia@gmail.com



Prof.dr.sc. **Krishnan Prabhakan Jaya**

Sveučilište Anna
Građevinski fakultet
Chennai, Indija
jayakp@annauniv.edu



Doc.dr.sc. **Greeshma Sivasankarapillai**

Sveučilište Anna
Građevinski fakultet
Chennai, Indija
greeshmas@annauniv.edu

Pregledni rad

[Surumi Rasia Salim, Krishnan Prabhakan Jaya, Greeshma Sivasankarapillai](#)

Numerička ocjena spoja nosivog zida i ravne ploče

U radu je provedena analiza odziva spoja vanjskog posmičnog zida i ravne ploče za slučaj ravninskog reverzibilnog cikličnog opterećenja. Provedena je numerička analiza spoja vanjskog zida i ploče na uzorcima umanjenima na jednu trećinu od prvobitne veličine, uz primjenu dviju vrsta rasporeda armature u spoju. Razmatran je konvencionalan raspored i predloženi nekonvencionalan raspored razrade armature spoja. Ustanovljeno je da se predloženi nekonvencionalni tip armiranja spoja bolje ponaša od konvencionalnog tipa.

Ključne riječi:

armirani beton, spoj posmičnog zida i ravne ploče, metoda konačnih elemenata, nelinearna analiza

Subject review

[Surumi Rasia Salim, Krishnan Prabhakan Jaya, Greeshma Sivasankarapillai](#)

Numerical evaluation of structural wall – flat slab connection

The response of the exterior shear wall to flat slab connection, subjected to the in-plane reversible cyclic load, is analyzed in the paper. The numerical analysis of the exterior wall-slab connection specimens scaled down to one third of the original size, with two types of joint detailing patterns, was conducted. The conventional pattern and a proposed nonconventional joint reinforcement detailing pattern were considered. It was established that the performance of the proposed nonconventional type of joint detailing is better compared to that of the conventional type.

Key words:

reinforced concrete, shear wall – flat slab connection, finite element method, nonlinear analysis

Übersichtsarbeit

[Surumi Rasia Salim, Krishnan Prabhakan Jaya, Greeshma Sivasankarapillai](#)

Numerische Beurteilung der Verbindung zwischen Tragwand und Flachdecke

In dieser Arbeit ist das Verhalten der Verbindung von äußerer Wandscheibe und Flachdecke bei wechselseitiger zyklischer Belastung in der Ebene analysiert. Numerische Analysen der Verbindung zwischen Außenwand und Platte sind für Proben im Maßstab 1:3 durchgeführt, unter Berücksichtigung zwei verschiedener Verbindungsdetails. Dabei wurden eine herkömmliche und eine vorgeschlagene unkonventionelle Bewehrungsanordnung für die Verbindung erfragt. Bei dem vorgeschlagenen unkonventionellen Detail ist ein besseres Verhalten als bei dem herkömmlichen Detail festgestellt worden.

Schlüsselwörter:

Stahlbeton, Verbindung Wandscheibe-Flachdecke, nichtlineare Analyse

1. Uvod

Ispitivanje ponašanja spojeva od presudne je važnosti za razumijevanje seizmičke otpornosti konstrukcija. Analiza takvog ponašanja podrazumijeva modeliranje materijala, modeliranje konstrukcije te modeliranje opterećenja. Analiza metodom konačnih elemenata nameće se kao najbolji izbor za uzimanje u obzir varijabilnosti spomenutih parametara. Do sada je proveden velik broj analiza armiranobetonskih nosivih elemenata i spojeva. S obzirom na značajni napredak u području numeričkih metoda proračuna, već sada je potvrđena učinkovitost vodećih računalnih programa za predviđanje odziva konstrukcija [1-6].

U proteklom su desetljeću provedena razna istraživanja o međusobnoj interakciji između ploča i posmičnih zidova [7-10] sa svrhom dobivanja što više podataka. Postupak projektiranja posmičnih zidova razmatra se u većini međunarodnih propisa kao što su ACI, europske norme (eurokodovi), kanadski, novozelandski i britanski propisi, propisi japanskog Instituta za arhitekturu itd. Međutim razrada spoja između posmičnih zidova i podne ploče spominje se samo u britanskim normama [11, 12]. Stoga se ovdje pokušava analizirati ponašanje spoja s konvencionalnom razradom prema britanskim normama [12] te je predložena opcija nekonvencionalne razrade kako bi se dobilo integralno i svrhovitije ponašanje konstrukcijskog sustava. Razrada spoja zida i ploče uključuje pitanja kao što su posmično djelovanje spoja, ovijanje betona, mogućnost jednostavne izvedbe te odgovarajuće sidrenje. Iako je primjena dodatnih horizontalnih U-kuka za spajanje posmičnog zida i ploče prema britanskim normama [12]

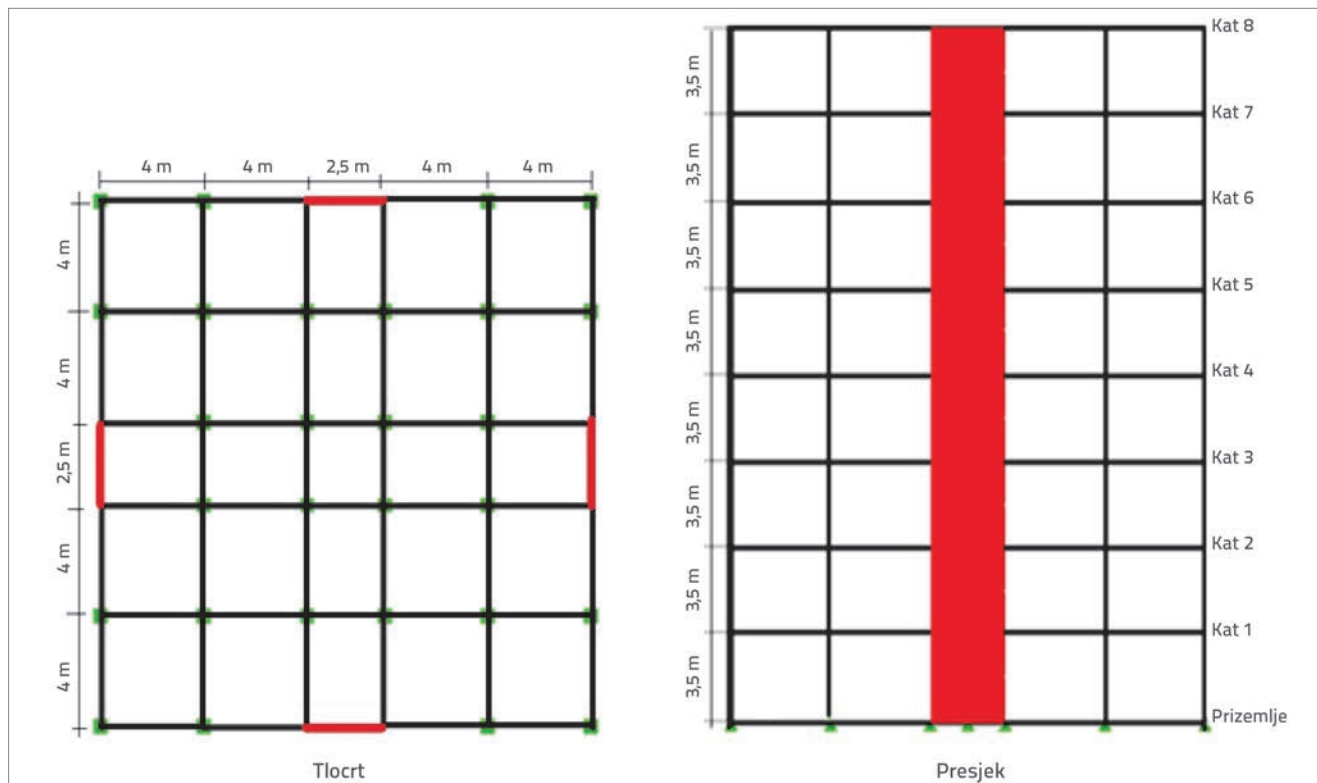
u skladu s očekivanjima, nearmirana jezgra spoja identificirana je kao kritično mjesto. Stoga se predlažu vilice u jezgri spoja u svrhu međusobnog povezivanja U-kuka.

2. Izrada uzoraka spoja zida i ploče

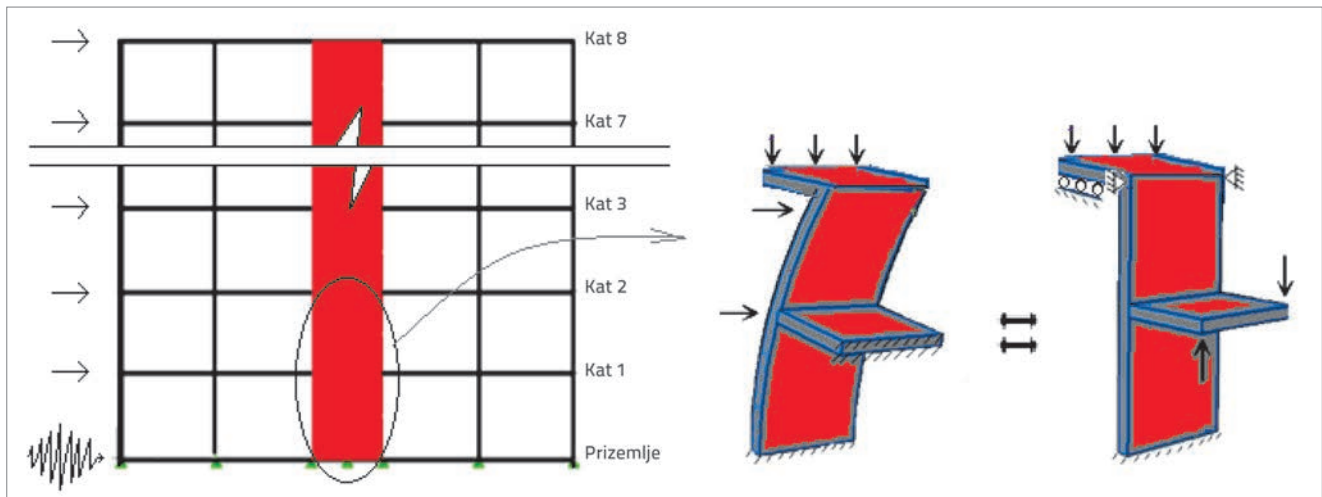
2.1. Analiza i projektiranje prototipa konstrukcije

U radu se analizira osmerokatna armiranobetonska građevina smještena u indijskom gradu Chennai-ju na tlu srednje kvalitete u seizmičkoj zoni III prema IS 1893, prvi dio: 2002. Za sve je razine usvojena visina kata od 3,5 m. Ploča dimenzija 4 m x 2,5 m spojena je s posmičnim zidom dimenzija presjeka 2,5 x 0,3 m. Tlocrt i pogled građevine prikazani su na slici 1. Visina uzdužnih i poprečnih greda iznosi 500 mm, a širina 200 mm. Za analizu je usvojeno korisno opterećenje od 2 kN/m², te opterećenje slojeva poda od 1 kN/m². Za projektiranje je usvojen beton razreda čvrstoće C 30/37 te kvaliteta čelika Fe 415.

Seizmička analiza provedena je primjenom metode ekvivalentne bočne sile koja se preporučuje u IS 1893, prvi dio, 2003. [13]. Određene su posmične sile, momenti savijanja i uzdužne sile koje se javljaju na kontaktu između zida i ploče uslijed raznih kombinacija opterećenja, te su dobivene sljedeće kritične računске sile za analizirani presjek: uzdužno opterećenje 1903,45 kN, posmična sila 311,74 kN i moment 1690,5 kNm. Projektiranje s razradom detalja posmičnog zida i ploče obavljeno je na temelju uputa danih u IS 456: 2000 [14] i IS 13920: 1993. [15].



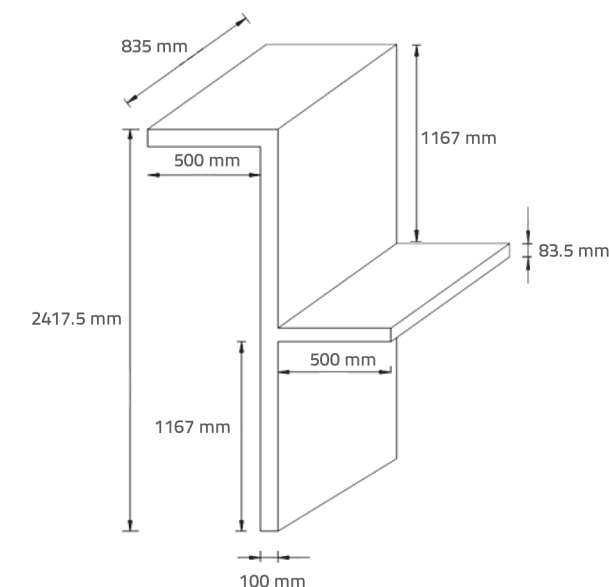
Slika 1. Detalji analizirane konstrukcije



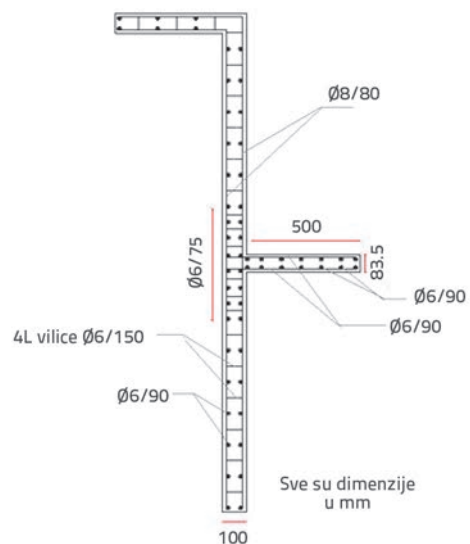
Slika 2. Uzorak vanjskog spoja zida i ploče

2.2. Detalji uzorka spoja zida i ploče

Kao što se vidi na slici 2., razmatra se spoj vanjskog zida i ploče na prvom katu. U svrhu analize tog spoja, potrebno je formirati ekvivalentni sustav sila u ploči koji će imati jednako djelovanje na promatrani podmodel spoja zbog prvobitnog ravninskog opterećenja zida uslijed seizmičkog djelovanja. Da bi se to postiglo, na vrhu posmičnog zida treba spriječiti pomake u ravnini, ali se zato treba omogućiti pomak izvan ravnine zbog djelovanja uzdužnog opterećenja. Uzorci spoja su podmodeli umanjeni na jednu trećinu. Uzorak se sastoji od posmičnog zida prizemnog kata, dijela ploče prvog kata i posmičnog zida prvog kata. Gornja ploča također služi za nanošenje osnog opterećenja na uzorak. Geometrijske karakteristike uzorka spoja prikazane su na slikama 3. i 4.



Slika 3. Geometrija podmodela spoja



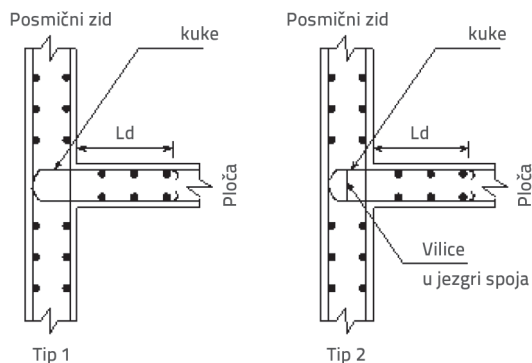
Slika 4. Detalji armature uzorka

2.3. Varijante spojeva zida i ploče

U ovom su radu razmatrane dvije varijante spojeva s različitim detaljima spoja. Te dvije varijante detalja spoja prikazane su na slici 5., a označene su prema vrsti detalja kao tip 1 i tip 2.

Tip 1 – konvencionalni detalj: spoj zida i ploče razrađen je na konvencionalan način pomoću kuka koje povezuju posmični zid i podnu ploču. Kuke ulaze u ploču do dužine koja je jednaka razvijenoj dužini armature.

Tip 2 – nekonvencionalni detalj: spoj zida i ploče razrađen je dodatnim vilicama koje prolaze kroz jezgru spoja i spajaju susjedne kuke.



Slika 5. Varijante analiziranih spojeva

3. Razvoj modela konačnih elemenata

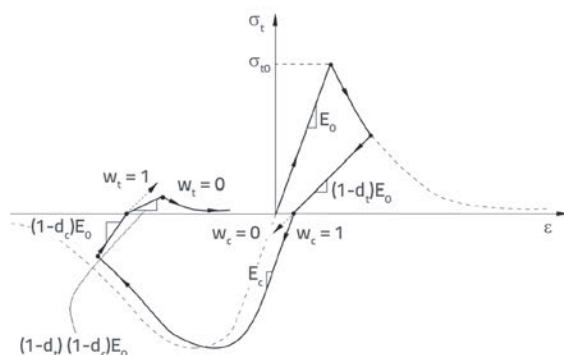
Armiranobetonске konstrukcije često se koriste u inženjerskoj praksi i to u raznim situacijama i za razne namjene. Iako su tradicionalne metode još uvijek pogodne za analizu i projektiranje armiranobetonских elemenata, razvoj metode konačnih elemenata omogućio je analizu mnogo složenijih sustava na znatno realniji način. Osnovnu prepreku u vezi s primjenom analize konačnih elemenata na armiranobetonске konstrukcije čine poteškoće koje se javljaju pri određivanju svojstava materijala. Mnogo je napora uloženo u istraživanje realnog modela za predviđanje ponašanja armiranobetonских konstrukcija. Zbog složenog kompozitnog ponašanja materijala, pravilno modeliranje takvih konstrukcija smatra se vrlo zahtjevnim zadatkom. Program ABAQUS/CAE [16] omogućuje rješavanje linearnih, nelinearnih i eksplicitnih problema. Njegovo grafičko sučelje omogućuje precizno definiranje modela te je izuzetno korisno za vizualizaciju i prezentaciju analitičkih rezultata.

3.1. Vrste elemenata

3.1.1. Beton

Računalni program ABAQUS omogućava korištenje dvaju modela za iskazivanje nelinearnog ponašanja betona, a to su modeli poznati pod nazivom: model betona s razmazanim pukotinama (eng. *concrete smeared cracking* - CSC) i model oštećenja betona pri plastifikaciji (engl. *Concrete damage plasticity* - CDP) Model betona s razmazanim pukotinama primjenjuje se za jednostavne konstrukcije na koje djeluje monotono opterećenje. Postupak se temelji na formuliranju oštećene elastičnosti, a sastoji se od detektiranja broja mikropukotina, uključujući i njihovo rasprostiranje. Model oštećenja betona pri plastifikaciji uglavnom se primjenjuje za konstrukcije na koje djeluje ciklično i dinamičko opterećenje. Najznačajnija razlika između ta dva tipa modela sastoji se u mogućnosti definiranja degradacije betona u tlaku i vlaku. Svojstvo oštećenja umanjuje elastičnu krutost za vrijeme plastifikacije elementa. Stoga on ne može povratiti svoju

početnu čvrstoću, što je izuzetno značajno za ciklično opterećenje. Stupanj degradacije određuje korisnik. Ponašanje betonskog elementa pod utjecajem cikličnog opterećenja iskazano je krivuljama koje su prikazane na slici 6. Na element djeluje vlačna sila koja je veća od vlačne čvrstoće. Pojava pukotina uzrokuje djelomično oštećenje materijala, što se može definirati parametrom d_t , a nakon rasterećenja elementa, modul elastičnosti mijenja se u $(1-d_t)E_0$. Ako se element nakon toga optereći tlačnom silom, njegovo elastično ponašanje određuje se parametrom w_c , a modul elastičnosti na tlak određuje se kao $(1-d_t+w_c d_t)E_0$. Ako pretpostavimo da pukotine ne utječu na krutost pri tlačnom opterećenju, tada se usvaja da parametar w_c iznosi 1. Kada je vrijednost parametra w_c jednaka nuli (potpuna degradacija), tada je krutost pri tlačnom opterećenju jednaka krutosti pri vlačnom opterećenju. Raspucali presjek gubi svoja prvobitna svojstva tlačne čvrstoće, definirana pomoću parametra d_t , isto kao i prvobitna svojstva vlačne čvrstoće, definirana parametrom d_t .



Slika 6. Model oštećenja betona pri plastifikaciji pod cikličnim opterećenjem

Parametri kod modela oštećenja betona pri plastifikaciji dijele se u tri skupine, tj. na tlačno ponašanje, vlačno ponašanje i područje tečenja. Ulazni podaci o tlačnom očvršćivanju u obliku deformacije drobljenja prikazani su za beton C 30/37 u tablici 1., a podaci o rasterećenju u obliku vlačnog oštećenja u tablici 2. Ulazni podaci o vlačnoj krutosti navedeni su u tablici 3. u obliku deformacije uz pojavu pukotina, a podaci o rasterećenju u obliku vlačnog oštećenja u tablici 4.

Tablica 1. Tlačno očvršćivanje betona

Naprezanje pri popuštanju [MPa]	Deformacija drobljenja
13	0
20	0,0007
24	0,001
37,5	0,002
22,5	0,0035
16	0,05

Tablica 2. Tlačno oštećenje betona

Parametar oštećenja d_c	Neelastična deformacija
0	0
0	7,47E-05
0	9,89E-05
0	0,0001541
0	0,0007615
0,195402	0,0025576
0,596382	0,0056754
0,894865	0,0117331

Tablica 3. Vlačna krutost betona

Naprezanje pri popuštanju [MPa]	Deformacija uz pojavu pukotina
3,5	0
1,75	0,00015
0,8	0,00035
0,25	0,0006

Tablica 4. Vlačno oštećenje betona

Parametar oštećenja d_c	Deformacija uz pojavu pukotina
0	0
0	3,33E-05
0,406411	0,0001604
0,69638	0,0002798

Prilikom definiranja funkcije sloma za model oštećenja betona pri plastifikaciji, uz parametre očvršćivanja i krutosti potrebni su i parametri elastičnosti i plastičnosti. Razni ulazni parametri modela oštećenja betona pri plastifikaciji prikazani su u tablici 5.

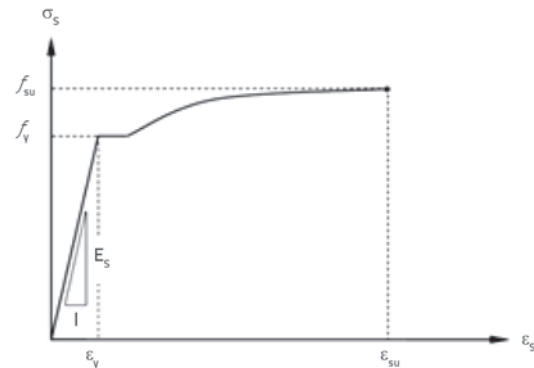
Tablica 5. Parametri modela oštećenja betona pri plastifikaciji

Parametri modela	Ulazne vrijednosti
Poissonov koeficijent	0,2
Youngov modul (E)	27386,127 N/mm ²
Kut širenja (φ)	38°
Početni dvoosni/jednoosni koeficijent	1,16
Koeficijent druge invarijante naprezanja na vlačni meridijan (Kc)	0,67
Parametar viskoznosti	0
Ekscentričnost potencijala tečenja (ϵ)	0,1

3.1.2. Čelik

Čelična armatura modelira se kao elastoplastičan materijal. Dijagram naprezanja – deformacije armaturnih šipki prikazan je

na slici 7. U vlaklu, materijal iskazuje početno linearno elastično ponašanje $\sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s$, nakon čega slijedi plato popuštanja $\sigma_s = f_y$, a nakon toga se deformacija povećava uz malu ili nikakvu promjenu naprezanja, te kod vlačne čvrstoće od $\sigma_s = f_{su}$ dolazi do deformacijskog očvršćivanja, sve do sloma. Ulazni podaci za armaturu klase F 415 prikazani su u tablici 6.



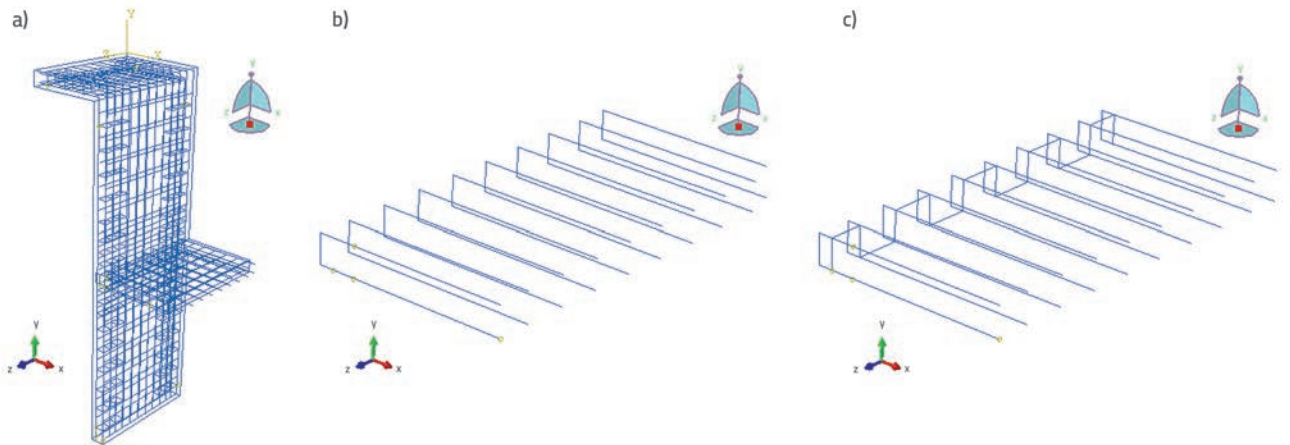
Slika 7. Dijagram naprezanja i deformacije za čelik

Tablica 6. Parametri modela čelika

Elastičnost	
Youngov modul [MPa]	Poissonov koeficijent
20000	0,3
Plastičnost	
Naprezanje pri popuštanju [MPa]	Plastična deformacija
413,69	0
415	0,00207
416	0,0205
450	0,0478
485	0,12
300	0,1292
100	0,139

3.2. Modeliranje uzoraka spoja

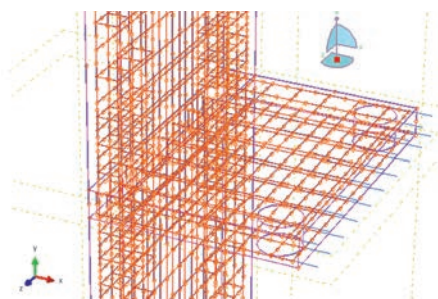
U ovom se radu za modeliranje betonskih elemenata kod obje varijante detalja koriste 3D deformabilni konačni elementi. Rebrasta armatura modelirana je 3D grednim konačnim elementima i pritom im je pridružen kružni poprečni presjek zadanog promjera. Raspored armature u modelu prikazan je na slici 8. Armatura zida modelirana je konačnim elementom grede (B31) s dva čvora i prikladno diskretizirana. Homogeni betonski presjek modeliran je pomoću osmočvornih volumnih konačnih elemenata (C3D8R). Potpun spoj između betona i armature pretpostavljen je pomoću kinematičkih ograničenja čime je osigurana čvrsta veza između čelika i betona. Ograničenje je prikazano na slici 9. Detalji mreže konačnih elemenata prikazani su u tablici 7.



Slika 8. Modeli spoja: a) model podsklopa; b) modeliranje spoja tipa 1; c) modeliranje spoja tipa 2

Tablica 7. Detalji mreže konačnih elemenata

Modul mreže	Beton	Rebrasta armatura
Vrsta elementa	C3D8R: linearni volumni konačni element sa osam čvorova (heksagonalni)	B31: linearni gredni konačni element s dva čvora u prostoru
Skupina	Trodimenzionalno naprezanje	greda
Globalna veličina	40	20
Konačni element		
Mreža konačnih elemenata		

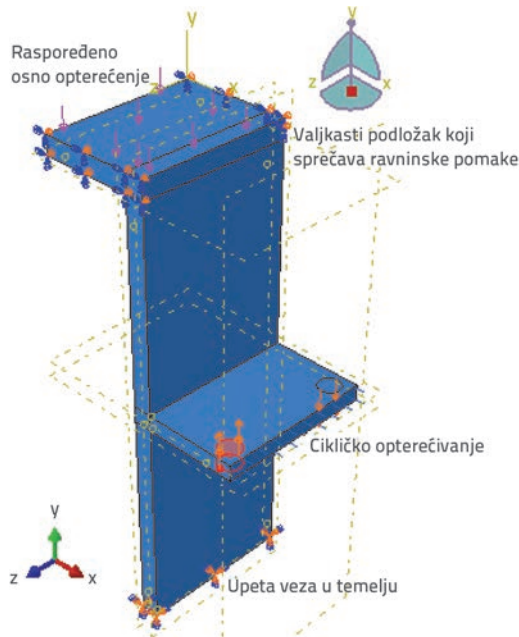


Slika 9. Učvršćeno područje interakcije

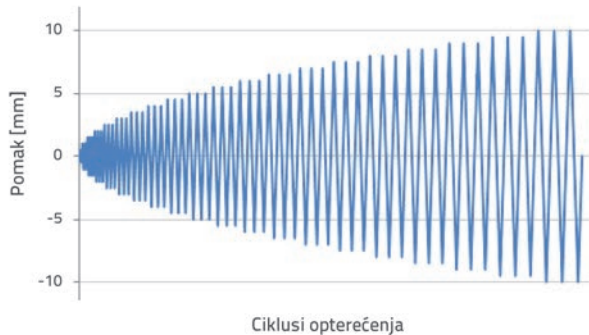
3.3. Rubni uvjeti i protokol opterećenja

Pretpostavljeno je da je posmični zid upet u temelju. Zato su svi stupnjevi slobode spriječeni u temelju posmičnog zida. Na vrhu posmičnog zida spriječen je pomak u ravnini, ali se dopušta pomak izvan ravnine uzrokovan uzdužnim opterećenjem. Uzdužno opterećenje i pomak izvan ravnine na vrhu podmodela raspoređeni su kao pritisak po vrhu ploče uzorka. Opterećenje i rubni uvjeti uzorka prikazani su na slici 10. Opterećenje u

obliku kontroliranog pomaka zadano je za kružna područja na ploči. Za kružna područja zadan je režim cikličnog opterećenja koje je prikazano na slici 11. Ciklusi zadanog pomaka dobiveni su pomoću glatke funkcije. Amplituda cikličnog opterećivanja povećavana je u intervalima od 0,5 mm, s tri ciklusa za svaku razinu amplitude pomaka, i to sve do popuštanja uzorka.



Slika 10. Opterećenje i rubni uvjeti podmodela spoja

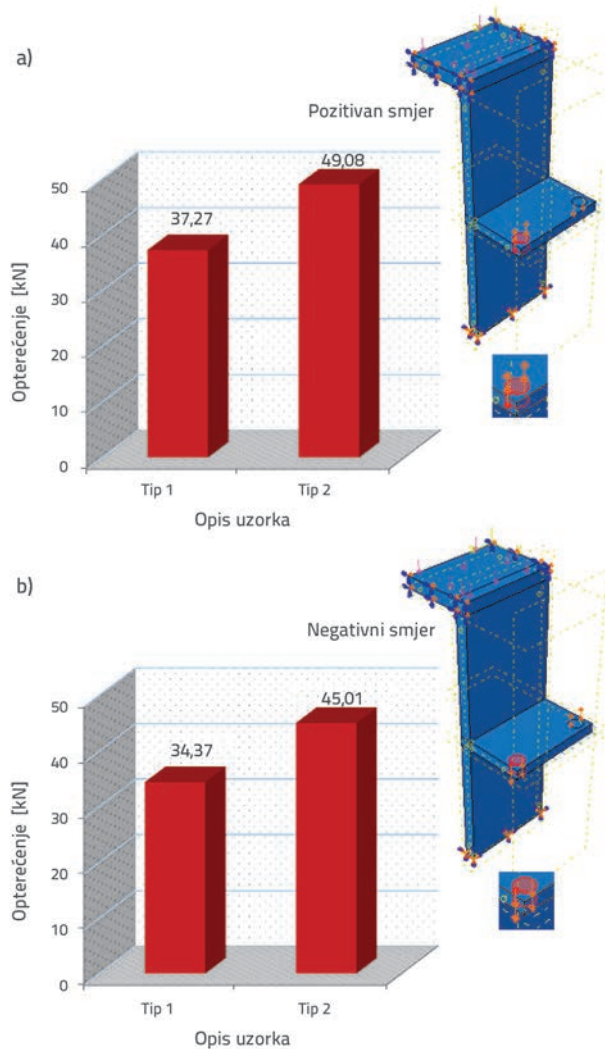


Slika 11. Funkcija opterećenja

4. Rezultati i rasprava

4.1. Čvrstoća

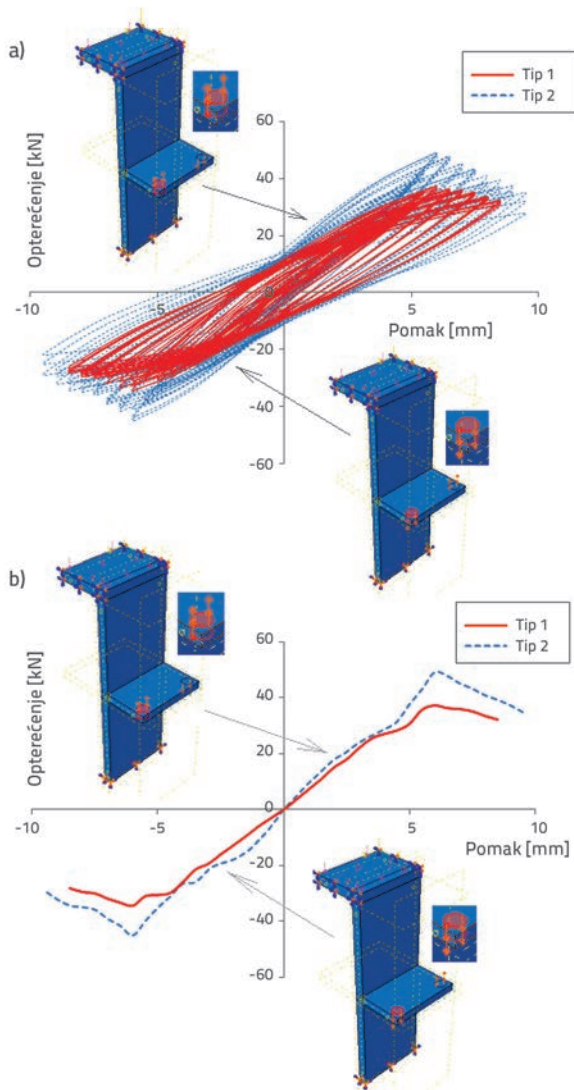
Usporedba čvrstoće dvaju tipova spoja u ovisnosti o pozitivnom i negativnom smjeru opterećenja prikazana je na slici 12. Uzorak s detaljem prema tipu 2 ponašao se bolje od uzorka tipa 1. Uzorak tipa 2 iskazuje nosivost koja je za 31,7% i 30,9% veća od nosivosti konvencionalnog uzorka tipa 1, i to kako u pozitivnom tako i u negativnom smjeru nanošenja opterećenja.



Slika 12. Usporedba čvrstoće uzoraka: a) pozitivni smjer; b) negativni smjer

4.2. Veza između opterećenja i pomaka

Veza između opterećenja i pomaka kod cikličnog opterećenja, za sve razine prisilnog pomaka dvaju tipova uzoraka, prikazana je na slici 13. Uzorci imaju vrlo široke histerezne petlje, s vrlo malim gubitkom krutosti zbog dobre veze između armature i betona u zoni spoja. Kako klizanje šipke nije uzeto u obzir, u modelu se nisu mogle definirati karakteristike gubitka krutosti. Iako se pomoću programa ABAQUS može vrlo dobro procijeniti kapacitet i ponašanje uzoraka spoja, njime se ipak ne može točno ocijeniti djelovanje gubitka krutosti na ciklično ponašanje armiranobetonskih elemenata [17]. Ovo svojstvo prvi su zamijetili Wan i dr. [18]. Krivulje su se slično ponašale pri smanjenju krutosti i čvrstoće tijekom ciklusa opterećenja. Ustanovljeno je da vilice u zoni jezgre spoja sudjeluju u otpornosti, te povećavaju nosivost spoja.



Slika 13. Odnos opterećenja i pomaka: a) histerezne petlje; b) anvelopa

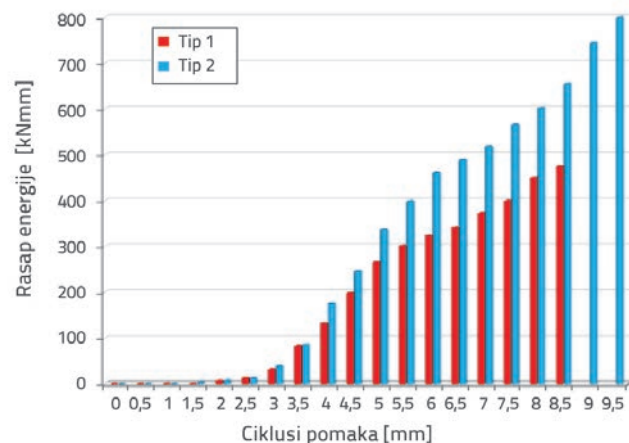
4.3. Duktilnost i rasipanje energije

Duktilnost je mjerena preko ostvarenog pomaka, izračunana je prema uputama ASCE-a [19] i prikazana u tablici 8. Utvrđeno je da je duktilnost pomaka za 42,7 % veća kod uzorka tipa 2 u usporedbi s uzorkom tipa 1. Smatra se da je spoj podvrgnut cikličnom opterećenju duktilan ako je dovoljno energije utrošeno bez bitnog gubitka čvrstoće

Tablica 8. Usporedba duktilnosti pomaka uzoraka

Uzorak	Pomak kod tečenja Δ_v [mm]		Granični pomak Δ_u [mm]		Faktor duktilnosti pomaka μ		Prosječni faktor duktilnosti pomaka μ
	pozitivan	negativan	pozitivan	negativan	pozitivan	negativan	
Tip 1	3,00	2,49	5,03	4,48	1,67	1,79	1,73
Tip 2	3,10	2,53	7,18	6,66	2,31	2,63	2,47

i krutosti. Područje obuhvaćeno histereznom petljom u nekom ciklusu predstavlja potrošnju energije u tom uzorku protoka promatranog ciklusa. Kumulativni utrošak energije izračunava se zbrajanjem energije koja je troši u uzastopnim ciklusima u vremenu ispitivanja. Usporedba utrošene energije u protoku svakog ciklusa opterećenja prikazana je na slici 14 za svaki uzorak. Ustanovljeno je da je kumulativna sposobnost rasipanja energije za 81,15 % veća kod uzorka tipa 2 u usporedbi s konvencionalnim uzorkom.

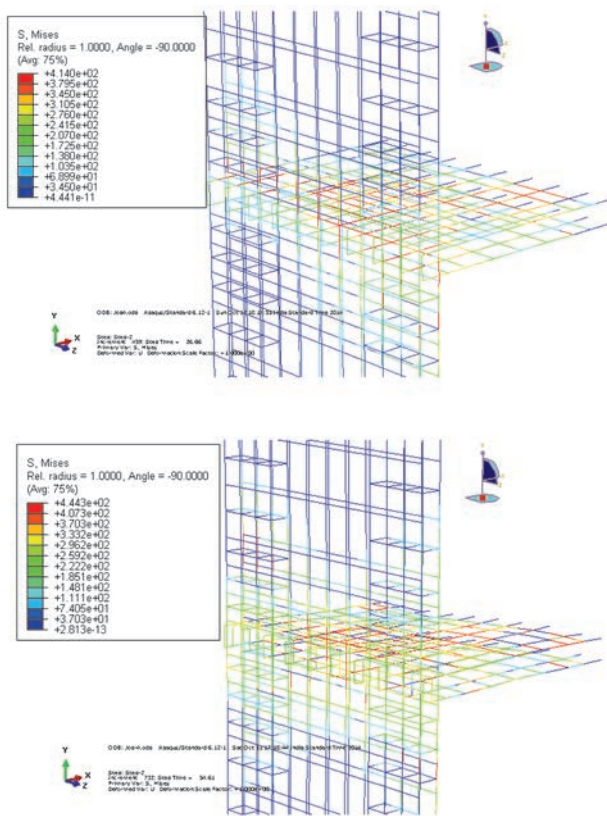


Slika 14. Usporedba kapaciteta trošenja energije

4.4. Naprezanje na spoju

Usporedba Von Misesovih naprezanja u armaturnim šipkama u spoju prikazana je na slici 15. Povećana razina naprezanja uočena je u uzorku tipa 2 zbog utjecaja vilica u jezgri, i ona se uravnoteži u spoju. Ustanovljeno je da u uzorku s konvencionalnim detaljem dolazi do određenog naprezanja kod kuka u zoni spoja, te da stoga dolazi do oštećenja na kontaktu između posmičnog zida i ploče.

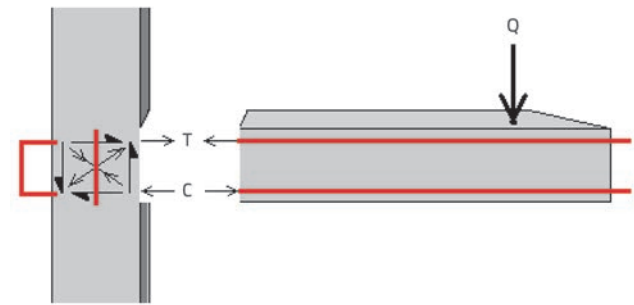
U uzorku tipa 2 vilice ovijaju jezgru spoja pa je tako omogućena ravnomjerna raspodjela naprezanja po vertikalnim šipkama. Vilice u zoni jezgre mogu se oduprijeti posmiku u spoju preuzimanjem vlačnih posmičnih sila (45°), kako je to prikazano na slici 16. Vilice također dodatno učvršćuju zonu jezgre spoja. Zbog takvog armiranja betonske jezgre, povećane nosivosti na posmik, te boljeg sidrenje, povećava se i sveukupna nosivost spoja.



Slika 15. Von Misesovo naprezanje na spoju: a) uzorak tipa 1; b) uzorak tipa 2

5. Zaključak

U ovom je radu napravljena numerička analiza spoja vanjskog zida i ploče da bi se odredila djelotvornost predloženog detalja



Slika 16. Sile u spoju

armiranja spoja za ciklično opterećenje. Rezultati pokazuju da uzorak s predloženim detaljem spoja, s vilicama u području jezgre, ima veću graničnu čvrstoću nego što je to slučaj kod konvencionalnog uzorka. Maksimalna prosječna granična čvrstoća uzorka tipa 2 za 31,3 % je veća od odgovarajuće čvrstoće uzorka tipa 1. Kod oba uzorka uočavaju se vretenaste histerezne petlje s velikom sposobnošću rasipanja energije. Ustanovljeno je da uzorak tipa 2 ima kumulativnu sposobnost rasipanja energije koja je za 81,15 % veća od rasipanja zabilježenog kod konvencionalnog uzorka. Sposobnost deformiranja uzorka tipa 2 veća je za 42,7 % u usporedbi s uzorkom tipa 1. Takvo ponašanje predloženog tipa detalja udovoljava osnovnim zahtjevima seizmičke otpornosti kao što su duktilnost i sposobnost rasipanja energije. Uzimajući u obzir ponašanje spoja posmičnog zida i ravne ploče, može se zaključiti da izvedba vilica u zoni jezgre spoja može biti djelotvorna u seizmički aktivnim područjima.

Zahvale

Autori zahvaljuju na financijskoj pomoći koju su dobili od Sveučilišta Anna u Chennaiju u povodu obilježavanja stogodišnjice istraživačkog rada toga sveučilišta.

LITERATURA

- [1] Fanning, P.: Nonlinear Models of Reinforced and Post-tensioned Concrete Beams, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 2 (2001), pp. 111-119.
- [2] Hidalgo, P.A., Jordan, R.M., Martinez, M.P.: An analytical model to predict the inelastic seismic behavior of shear-wall, reinforced concrete structures, *Engineering Structures*, 24 (2002) 1, pp. 85-98.
- [3] Coull, A., Chee, W.: Effect of Local Elastic Wall Deformations on the Interaction between Floor Slabs and Flanged Shear Walls, *Journal of Structural Engineering*, ASCE 110 (1983) 1, pp. 105-119.
- [4] Coull, A., Chee, W.: Stiffening of Structural Cores by Floor Slabs, *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 112 (1986) 5, pp. 977-994.
- [5] Bari, M.: Non linear finite element study of shear wall floor slab connection, *Journal of Civil Engineering*, The institution of engineers, Bangladesh CE 24 (1996) 2, pp. 137-145.
- [6] Uma, S.R., Meher Prasad, A.: Seismic behaviour of beam-column joints in RC moment resisting frames: A review, *Indian Concrete Journal*, Vol.80 (2006) 1, pp. 33-42.
- [7] Siti, I., Yee, H., M.: An Investigation on effect of Rebar on Structural behaviour for wall-slab system, *IEEE Business, Engineering & Industrial applications Colloquium (BEIAC)*, (2012), No.978-1-4673-0426-9/12, pp. 26-29.
- [8] Al-aghbari, A., Hamid, N., Rahman, N., Hamzah, S.: Structural Performance of two types of wall slab connection under out-of-plane lateral cyclic loading, *Journal of Engineering science and technology*, 7 (2012) 2, pp. 177-194.
- [9] Greeshma, S., Jaya, K.P.: Effect of Cross inclined bars on the behaviour of shear wall-floor slab joint under lateral cyclic loading, *Journal of Structural Engineering* (2012), Special Issue, April, Ref. No. 320(28/B)/2012/JOSE.

- [10] Greeshma, S., Jaya, K.P., Rajesh, C.: Seismic Behaviour of Shear Wall – Slab Joint under Lateral Cyclic Loading, *Asian Journal of Civil Engineering (Building and housing)*, 13 (2012) 4, pp. 455-464.
- [11] BS EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of Concrete Structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, 2004.
- [12] BS EN 1998-1: Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance – Part 1: General Rules, seismic actions and rules for buildings, 2004.
- [13] IS 1893 (Part 1): Indian Standard Criteria for earthquake resistant design of structures, Bureau of Indian Standards, New Delhi, India, 2002.
- [14] IS 456: Indian Standard Plain and Reinforced Concrete Code of Practice, Bureau of Indian Standards, New Delhi, India, 2000.
- [15] IS 13920: Indian Standard Ductile Detailing of Reinforced Concrete Structures subjected to Seismic forces, Bureau of Indian Standards, New Delhi, India, 1993.
- [16] Abaqus 6.12: Abaqus/CAE user's manual version, Dassault Systèmes, Dassault Systèmes Simulia Corp., Providence, RI, USA, 2012.
- [17] Mousavi, S.A., Zahrai, S.M., Bahrami-Rad, A.: Quasi-static cyclic tests on super-lightweight EPS concrete shear walls, *Engineering Structures*, 64 (2014), pp. 62-75, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.02.003>
- [18] Wan, S., Loh, C.H., Peng, S.Y.: Experimental and theoretical study on softening and pinching effects of bridge column, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 21 (2001), pp. 75-81, [http://dx.doi.org/10.1016/S0267-7261\(00\)00073-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0267-7261(00)00073-7)
- [19] ASCE: State-of-the-art report on finite element analysis of reinforced concrete, New York, 1982.