



## UTJECAJ ZIDOVA ISPUNE NA PONAŠANJE OKVIRNIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM OPTEREĆENJU

Doc. dr. sc. **Mladen Kožul**, dipl. ing. građ.  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru  
**Katarina Raspudić**, magistar građevinarstva  
Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

**Sažetak:** U radu su korištena tri modela: model bez ispune, model bez ispune u prizemlju te model s ispunom. Za sva tri navedena modela rađene su tri varijacije krutosti ispune, te se pratio njihov utjecaj na ponašanje okvirne konstrukcije. Statički proračun modela proveden je pomoću programskog paketa Tower 6.0, na 3D modelu, za sva tri modela i određene varijante krutosti. Na osnovu promatranih pomaka vrha okvira i potrebne količine armature dokazana je tvrdnja da zidana ispuna povećava čvrstoću, krutost i ukupnu duktilnost, te kapacitet disipacije seizmičke energije.

**Ključne riječi:** okvirna konstrukcija, seizmičko opterećenje, zidovi ispune, krutost, duktilnost.

## INFLUENCE OF INFILL WALLS ON THE BEHAVIOR OF FRAMED STRUCTURES UNDER SEISMIC LOAD

**Abstract:** The paper uses three models: a model without fill, a model without fill in the ground floor and a model with fill. For all the three specified models, three variations of fill stiffness were made, and their influence on behavior of the framed structure was monitored. The structural analysis of models was carried out using the software suite Tower 6.0 on 3D models for all the three models and specified stiffness variants. Based on observed displacements of top of the frame and necessary quantity of reinforcement, we proved the claim that masonry infill increases strength, stiffness and total ductility, as well as seismic energy dissipation capacity.

**Key words:** framed structure, seismic load, infill walls, stiffness, ductility.



## 1. UVOD

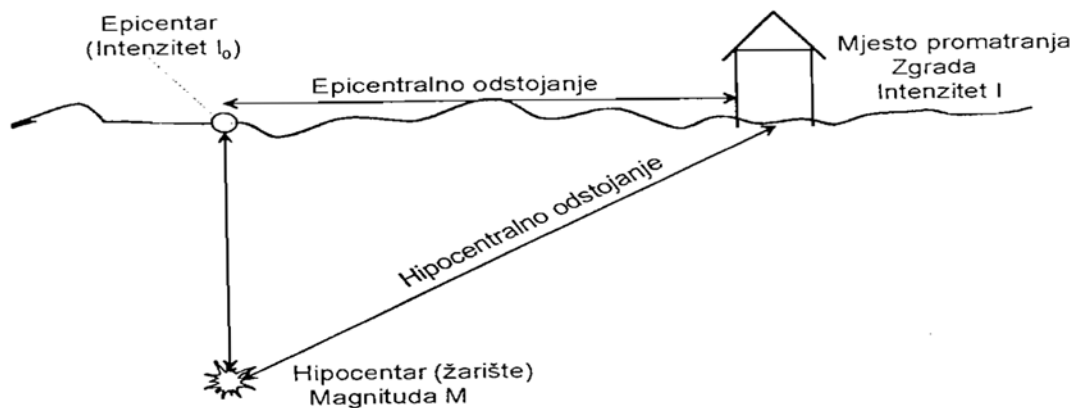
Pri projektiranju građevine u seizmičkim područjima trebali bi unaprijed znati karakteristike gibanja tla na lokaciji građevine za vrijeme potresa koji će se dogoditi u budućnosti, tj. u razdoblju korištenja građevine. Naravno da takvi podaci nisu poznati, te je potrebno na osnovu onoga što se događalo u prošlosti procijeniti što će se događati u budućnosti, tj. u vremenskom razdoblju u kojem će se građevina koristiti. Osnovu za takvu procjenu predstavljaju seizmološki i geološki podaci, koji obuhvaćaju povijest jačih potresa koji su se dogodili u posljednjih stotinu ili tisuću godina. Zbog toga se seizmičke informacije dopunjuju geološkim podacima koji obuhvaćaju studije dugotrajnih tektonskih procesa koji su se dogodili u tisućama ili stotinama godina. Karakteristike gibanja tla na određenoj lokaciji bitno ovise i od lokalnih karakteristika tla. Te karakteristike treba utvrditi geomehaničkim ispitivanjima. Potresi predstavljaju gibanja tla koja se javljaju zbog iznenadnih pomaka u zemljinoj kori ili gornjem dijelu zemljinog omotača. Za nas građevinare najvažniji su potresi tektonskog podrijetla. Od mnogobrojnih teorija koje objašnjavaju uzroke tektonskog potresa danas se najviše spominje teorija tektonskih ploča. Po ovoj teoriji tvrda zemljina litosfera, koju čine zemljina kora i gornji dio vanjskog omotača (što ukupno ima debljinu 50 do 150km), razlomljena je na ploče, koje se pomiču kao kruta tijela po relativno mekoj podlozi, astenosferi. Na mjestima koja se zovu oceanski grebeni ploče se odmiču jedna od druge, te na tim mjestima iz astenosfere prolaze magmatske mase iz dubine prema površini, izljevaju se na morsko tlo i hlade.

Uzrok potresa u našem području, koje se smatra područjem permanentne seizmičke aktivnosti, je pritisak Afričke ploče tj., njenog isturenog dijela Jadranske mikro ploče, na južnu konturu Euroazijske ploče. Zbog relativnih pomicanja ploča u blizini granica između ploča gomilaju se ogromne količine potencijalne energije, te u slučaju kada je iscrpljena posmična nosivost materijala na granici između tektonskih ploča dolazi do naglih pomaka, što se smatra uzrokom potresa. Najveći broj potresa javlja se upravo u blizini granica između pojedinih ploča. Međutim, značajni potresi se javljaju i u unutrašnjosti pojedinih ploča, i to zbog naprezanja koja nastaju kao posljedica pritiska na granicama ploča. Primjer ovakvih potresa dogodio se u Kini, jer je područje Kine pritisnuto s istoka Pacifičkom pločom, a s juga Indoaustralskom pločom.

## 2. OSNOVNI SEIZMOLOŠKI POJMOVI

Ovdje će biti kratko definirani osnovni seizmološki pojmovi koji se često javljaju pri pri opisu potresa i njegovih posljedica:

- Hipocentar je mjesto u Zemljinoj kori gdje je došlo do loma, ili mjesto nastanka potresa. Naziva se još fokus ili žarište potresa.
- Epicentar je mjesto na površini Zemlje iznad hipocentra.
- Hipocentralna udaljenost je razmak između hipocentra i promatrane građevine na površini Zemlje, ili udaljenost mjesta promatranja od hipocentra.
- Epicentralno udaljenost je razmak između epicentra i promatrane građevine ili određenog mjesta na površini Zemlje.
- Energija potresa je energija koja se oslobađa u hipocentu a sastoji se iz dva dijela:
  - energije koja se rasipa na mjestu nastanka potresa kroz procese trenja, razaranja, razvijanja topline...
  - dijela energije koja se predaje dalje od hipocentra u obliku seizmičkih valova
- Izoseiste su linije jednakog intenziteta potrasa. Na seizmičkim kartama povezuju mjesta gdje je zabilježen ili se očekuje podjednak intenzitet potresa.



Slika 1. Značajni seizmološki pojmovi- svojstva potresa

### 3. VRSTE SEIZMIČKIH VALOVA

Dio energije potresa prenosi se u obliku seizmičkih valova, koji se rasprostiru od hipocentra kroz slojeve Zemlje. Svojstva tih slojeva značajno utječu na brzinu rasprostiranja i mogu značajno mijenjati amplitude i frekvencije seizmičkih valova. Razlikuju se dva osnovna tipa valova, prostorni i površinski, a njihove podvrste su navedene u tablici 1. Prostorni valovi prenose se kroz Zemljinu koru, ali i kroz unutrašnjost, dok se površinski javljaju u gornjim slojevima Zemljine kore.

Tablica 1. Vrste valova

Prostorni	Primarni (P-valovi) Sekundarni (S-valovi)
Površinski	Love-ovi valovi (L-valovi) Rayleigh-evi valovi (R-valovi)

P- valovi su longitudinalni valovi kod kojih se djelići tla kreću u pravcu rasprostiranja valova i to naprijed i nazad. Pri tome mjestimično dolazi do kompresije ili do dilatacije (razvlačenja).

S- valovi su transvezalni ili posmični valovi. Kod kojih se djelići tla kreću poprečno na pravac rasprostiranja i to u horizontalnoj ravnini ( SH- valovi) , u vertikalnoj ravnini (SV- valovi) ili kombinirano.

L- valovi su slični SH-valovima. Djelići tla se kreću horizontalno, poprečno na pravac rasprostiranja, ali s jako opadajućom amplitudom.

R- valovi su slični valovima koji nastaju u vodi nakon što se u nju ubaci kamen. Djelići tla se kreću kombinirano, vertikalno gore- dolje i horizontalno naprijed – nazad.



#### 4. INŽENJERSKO RAZMATRANJE ZAPISA POTRESA

Kod analize vremenskog zapisa nekog potresa, izdvajaju se tri fizikalne veličine u funkciji od vremena  $t$ : pomak tla  $d_g(t)$ , brzina tla  $v_g(t)$  i ubrzanje tla  $a_g(t)$ . Pri tome su najzanimljivije njihove apsolutne maksimalne vrijednosti. Za štete na građevinama mjerodavni je ubrzanje tla, frekventni sastav zapisa kretanja tla i trajanje potresa. Kao primjer navodi se red veličine maksimalnih pomaka, brzina i ubrzanja tla za umjereno jak potres ( $I_0 = VIII, M = 6 - 6.5$ )

$$d_{g,max} = 0.1 - 0.3 \text{ m}$$

$$v_{g,max} = 0.1 - 0.3 \text{ m/s}$$

$$a_{g,max} = 0.15 - 0.30 \text{ g}$$

Ovdje se radi o horizontalnom ubrzanju tla. Vertikalna ubrzanja tla iznose, iskustveno od 1/3 do 1/1 horizontalnog ubrzanja na istom mjestu.

Što se tiče frekventnog sastava zapisa tla, za gotovo sve građevine mjerodavan je frekventni opseg  $f = 0.1 \text{ Hz} - 30 \text{ Hz}$ , ili izraženo preko perioda osciliranja  $T = 0.03 \text{ s} - 10 \text{ s}$ . Naznačeni rasponi frekvencija odnosno perioda osciliranja pokrivaju frekvencije osnovnih i svih ostalih, za odgovor konstrukcije značajnih, viših formi osciliranja. Zastupljenost pojedinih frekvencija u vremenskim kretanjima tla ovisi o vrsti i karakteru podloge. Tako su za čvrsta i stjenovita tla najzastupljenije frekvencije  $f = 3 - 10 \text{ Hz}$ , za srednje čvrsta  $f = 2 - 8 \text{ Hz}$  i za mekša tla  $f = 0.5 - 2 \text{ Hz}$ .

Kod projektiranja konstrukcija neophodno je definirati opterećenje uslijed mogućeg djelovanja potresa. Jačina potresa se određuje iz već pomenutih seizmičkih karti u skladu sa skalama inteziteta.

#### 5. OSNOVNE UPUTE ZA PLANIRANJE I OBLIKOVANJE ZGRADA

Za povoljan odgovor neke zgrade na utjecaj potresa važnu ulogu ima postavka cjelokupnog objekta, prije svega pravilnost njegovih vanjskih oblika te raspored i oblik osnovnih konstruktivnih elemenata. Općenito se zahtjeva:

- pravilno oblikovanje zgrade u tlocrtu ;
- pravilno oblikovanje zgrade po visini, po mogućnosti s proporcionalnom ili konstantnom raspodjelom krutosti ;
- jedinstveni temelj; izbjegavati temeljenje na različitoj podlozi; temelje samce i temeljne trake povezati gredama zbog izbjegavanja ili smanjenja diferencijalnog slijeganja ;
- prilagođavanje duktilnosti konstruktivnog sustava ;
- posjedovati simetričnost ;
- da konstrukcija ne bude previše izdužena u tlocrtu niti previše visoka ;
- te odgovarajući razmak između susjednih objekata, odnosno dovoljne dilatacijske razdjelnice unutar različitih dijelova iste zgrade ;

Kod projektiranja nosivog sustava za utjecaje potresa posebno su značajne sljedeće osobine konstrukcije:

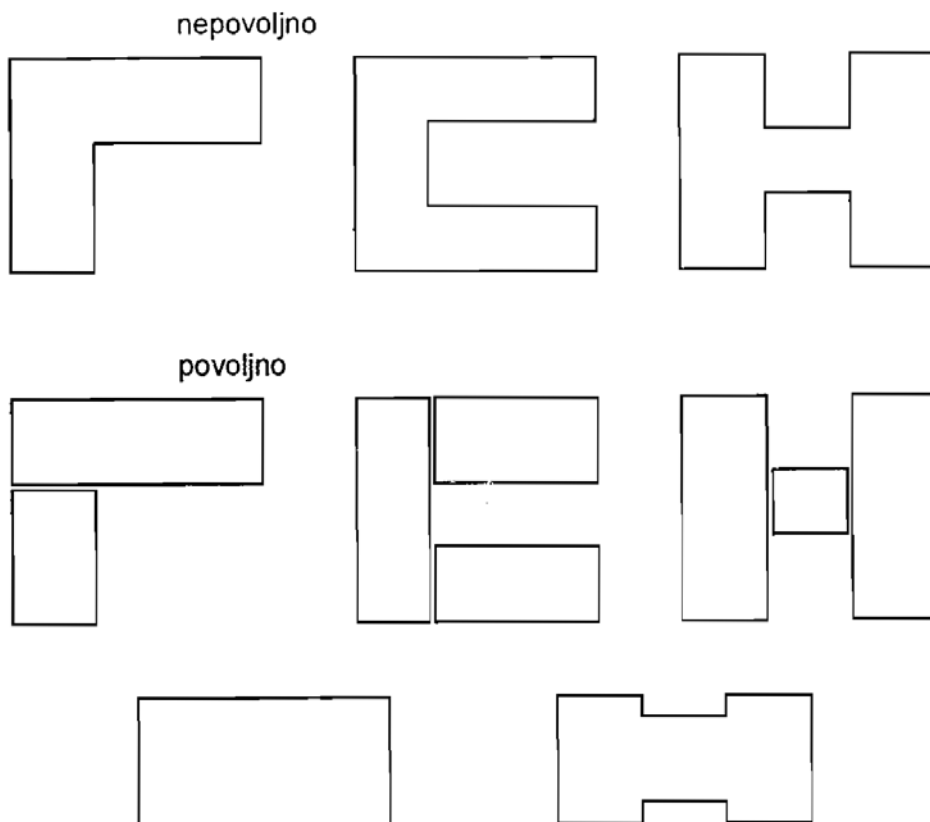
- krutost
- nosivost
- duktilnost



Krutost nosive konstrukcije značajna je za ograničenje horizontalnih pomaka katova. Izvjesna krutost je potrebna da bi se izbjegla oštećenja nenosivih elemenata koja mogu nastati pri češćim potresima slabijeg intenziteta. Što je veća nosivost konstruktivnih elemenata, kasnije će doći do formiranja plastičnih zglobova na najnapregnutijim mjestima na konstrukciji. Nosivost bi trebala biti tolika da za učestale potrese manje jačine odgovor konstrukcije ostane uglavnom u linearno-elastičnom području. Ovim se umanjuje mogućnost oštećenja na nosivoj konstrukciji. Duktilnost konstrukcije je važna za izbjegavanje naglog rušenja građevine uslijed djelovanja najjačih potresa koji se očekuju na nekom području. Veća duktilnost znači i veću sposobnost deformiranja u nelinearnom području. Ova osobina konstrukcije dolazi do izražaja kod jakih kretanja tla, kada se nelinearne deformacije i oštećenja ne mogu izbjeći.

## 6. OBLIKOVANJE ZGRADA U TLOCRTU

Za oblikovanje zgrada u tlocrtu posebno su važni sama forma zgrade promatrano u tlocrtu, oblik stropnih konstrukcija te raspored vertikalnih nosivih elemenata. Oblik zgrade u tlocrtu mora po mogućnosti biti pravilan, jednostavan te simetričan. Izlomljena forma tlocrta zgrade može rezultirati u značajnom povećanju naprezanja na istaknutim i udaljenim dijelovima. Složenije tlocrtne oblike zgrada potrebno je dilatacijskim razdjelnicama razdvojiti na jednostavnije i pravilne tlocrtne oblike, kao što je prikazano na slici 1.



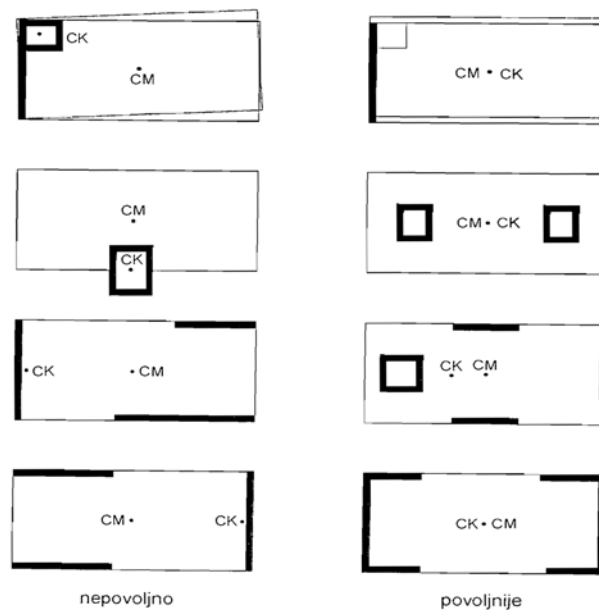
Slika 2. Oblikovanje cjelokupnog tlocrta zgrade



Vertikalne nosive elemente, promatrano u tlocrtu zgrade potrebno je rasporediti na način da razmak između centra mase i centra krutosti bude što manji. Najpoželjniji je simetrični raspored vertikalnih nosivih elemenata tako da bude:

CENTAR MASE  $\approx$  CENTAR KRUTOSTI

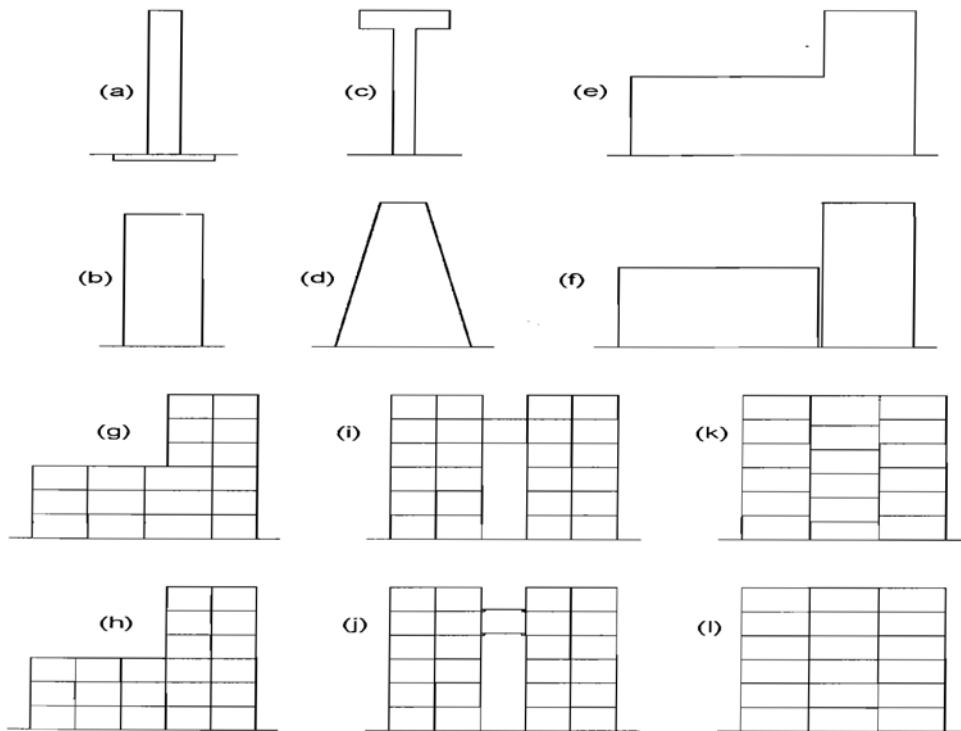
Povoljan i nepovoljan raspored vertikalnih elemenata je prikazan na slici 3. Cilj je da nesimetričnost bude što manje izražena. Mjera nesimetričnosti zgrade je ekscentritet koji predstavlja razmak između centra mase i centra krutosti. Posljedica nesimetričnosti je torzioni oblik koji raste proporcionalno ekscentritetu, pa treba nastojati da ekscentritet zgrade bude što manji.



Slika 3. Raspored vertikalnih nosivih elemenata u tlocrtu

## 7. OBLIKOVANJE ZGRADE PO VISINI

Veliku važnost za pravilno projektiranje zgrada ima njihovo oblikovanje po visini. Na slici 4. prikazani su različiti primjeri povoljnog i nepovoljnog oblikovanja zgrada po visini:

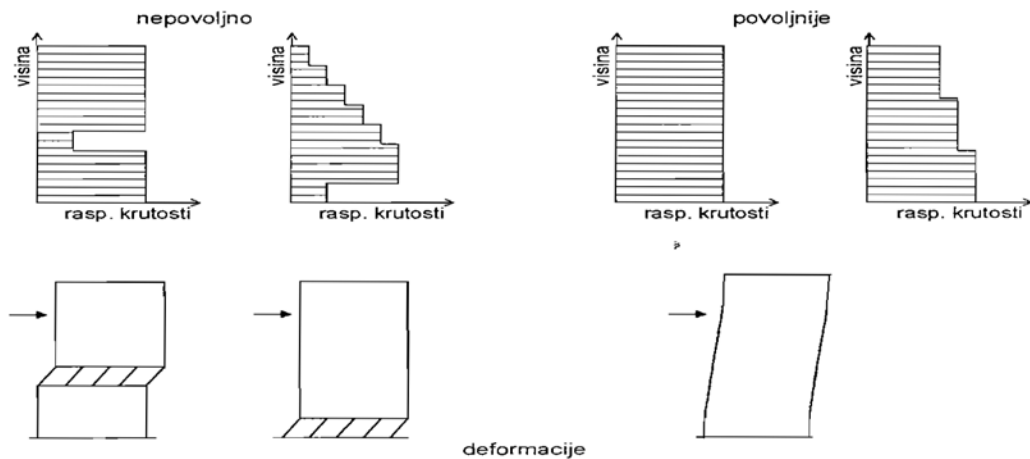


Slika 4. Oblikovanje zgrade po visini

- visoke i veoma vitke građevine trebaju imati velike temelje za pouzdano prenošenje momenta prevrtanja u tlo (a);
- povoljnija (b) je manja vitkost zgrade (odnos visine prema jednoj tlocrtnoj dimenziji);
- također mogu biti nepovoljne i velike mase koje su koncentrirane na velikoj visini (c), a primjer toga su rezervoari podignuti na visinu;
- povećanje krutosti prema dnu zgrade je povoljno za seizmički odgovor (d);
- dijelovi zgrade različitih visina (e,f) trebaju biti podijeljeni dilatacijskim razdjelnicama;
- horizontalno smaknute stupove treba izbjegavati (g,h);
- veze između pojedinih dijelova objekta ili između dvije zgrade trebaju biti pomične (i,j) jer krute veze vežu za sebe značajne momente savijanja;
- stropne konstrukcije ne bi trebale biti međusobno smaknute (k,l) jer to može izazvati velike poprečne sile u stupovima ili drugim vertikalnim elementima;

## 8. JEDNOLIKO I KONTINUIRANO RASPODIJELJENA KRUTOST U TLOCRTU I PO VISINI GRAĐEVINE

Od posebne važnosti je proporcionalna raspodjela krutosti po visini zgrade (slika 5). Ukoliko se radi smanjenje krutosti, to bi trebalo biti proporcionalno i to od nižih ka višim katovima. Nepovoljne su izrazite i iznenadne promjene krutosti u pojedinim katovima, a to je posebno nepovoljno u prizemlju zgrade. Arhitektonski zahtjevi, koji se pozivaju na funkcionalnost i fleksibilnost prostora u prizemlju, najčešći su razlog za smanjenje krutosti vertikalnih elemenata. Međutim tzv. „mekana“ prizemlja često su bila razlog teških oštećenja i rušenja objekata prilikom potresa (slika 6). Za takve objekte obično se zahtjeva proračun i dimenzioniranje s uvećanim seizmičkim silama.



Slika 5. Raspodjela krutosti po visini zgrade



Slika 6. Primjer rušenja objekta zbog tzv. „mekanog prizemlja”

## 9. ARMIRANO-BETONSKE OKVIRNE KONSTRUKCIJE

Jedno od osnovnih pravila za uspješno projektiranje bilo kakve konstrukcije je dobro poznavanje i pravilno korištenje mehaničkih svojstava materijala od koga se konstrukcija gradi. Pri projektiranju konstrukcija od armiranog betona, koje mogu biti izložene jakom potresu, treba uvijek imati u vidu da su seizmičke sile, dane propisima uvijek znatno manje od sila koje se za vrijeme potresa mogu javiti i da se prema tome, konstrukciji mora osigurati određeno duktilno ponašanje. Beton je materijal podložan, neduktilnom lomu, bilo da se radi o lomu uslijed drobljenja u tlaku ili da se radi o pucanju uslijed prekoračenja vlačne čvrstoće. Prema tomu, osnovno pravilo za konstruiranje betonskih konstrukcija bilo bi : spriječiti bilo koju vrstu krkog loma. To se postiže u osnovi na dva načina : izborom konstrukcije koja ne dovodi zgradu u opasnost od krkog i naglog loma i svakako ne do progresivnog loma uslijed ispadanja jednog od njenih dijelova, i pravilnim armiranjem elemenata konstrukcije, njihovih veza i detalja. Poznato je da se nosivost, a naročito deformeбилnost betona povećava upotrebom gustih vilica. Međutim efikasnost vilica za stvaranje troosnog naponskog stanja ovisi u velikoj mjeri ne samo od njihovog međusobnog razmaka i površine poprečnog



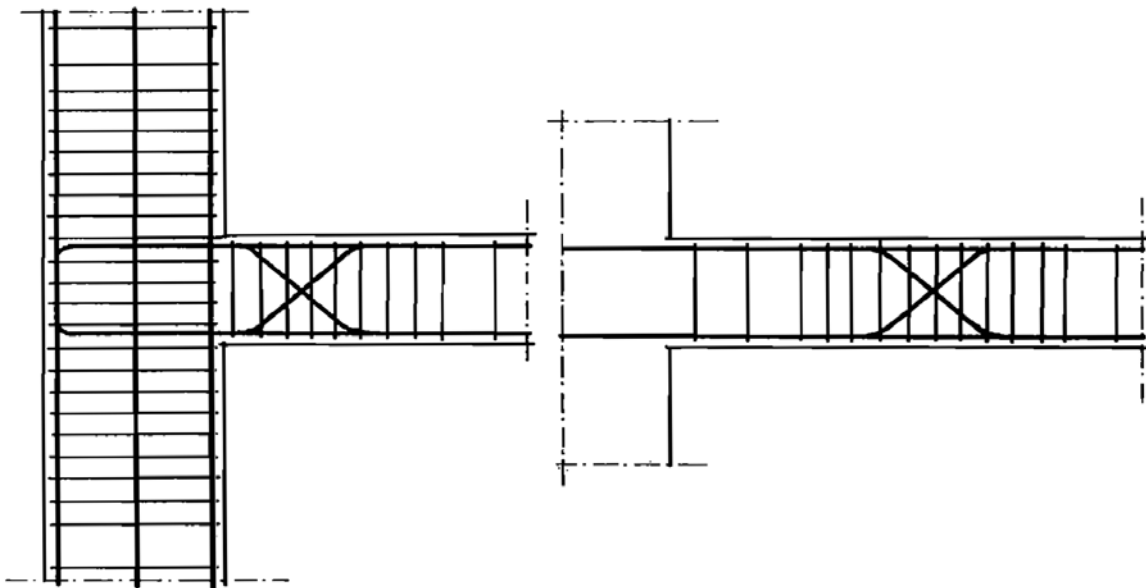


presjeka već i od oblika vilica. Obične pravokutne vilice, koje se koriste najčešće za osiguranje od smicanja, nisu u ovome slučaju dovoljno efikasne jer ne pružaju dovoljan otpor bočnom širenju betona : rade na savijanje, a krutost na savijanje im je mala. Najefikasnije su kružne vilice ( ili spiralne) i poligonalni oblici slični krugu jer rade na zatezanje.

Upotreba čelika visoke otpornosti za izradu vilica ili spirala daje veće poprečne napone u betonu, što znači i povoljnije efekte. Međutim, ne smje se upotrebljavati čelik podložen krutom lomu jer u ovom slučaju pucanje vilica dovodi do trenutnog drobljenja utegnutog betona. Minimalni razmak vilica treba biti toliki da se spriječi izvijanje plastificiranih pritisnutih čeličnih šipki. Pravilnikom se zahtjeva da u zoni plastičnih zglobova razmak ne smje biti veći od 10 cm i da vilice moraju biti preklapljene po cijeloj kraćoj strani.

Pložaj budućih plastičnih zglobova u gredama treba definirati već u fazi projektiranja. Krična mjesta gdje će se oni stvoriti uvijek su krajevi greda, gdje dolazi do razaranja veze između čelika i betona. Zato se preporučuje da se plastični zglob malo odmakne od oslonaca ( stuba ) u polje. Tako se može dobiti potrebna dužina sidrenja armature, a i sam zglob se kasnije na tom mjestu lakše popravlja. S tehničkog stajališta, najlakše je definirati mjesto plastičnog zgloba jednostavnim povijanjem određenog broja čeličnih šipki na mjestu gdje se zglob želi. Na slici 7. vidi se skica jednog takvog zgloba uz krajnj stup okvira, a na slici 8 isti takav zglob pomjeren u polje. Ovakvim povijanjem određene količine armature definira se mjesto s oslabljnom armaturom, gdje će se zglob pojaviti, a kosi dio armature pomaže lakšem prihvaćanju smičućih sila u zglobu. Granični moment, pri kome se želi zglob definiran je količinom donje i gornje armature, koja se može približno proračunati iz obrazca:

$$A_s = \frac{M_u}{\sigma_y \cdot 0,9 \cdot h} \quad (3)$$



Slika 7. Plastični zglob uz vanjski stup okvira

Slika 8. Pomjeranje plastičnog zgloba u gredi

Pri projektiranju stupova treba imati u vidu da oni direktno prenose sva gravitacijska opterećenja do temelja i da njihov lom obično dovodi do pada cijele konstrukcije sa svim teškim posljedicama koje to prati. Zbog toga se pri projektiranju stupova treba pridržavati slijedećeg: Krutost stupova neka je uvijek veća od krutosti priključnih greda. EC 8 zahtjeva da krutost stupova bude najmanje 30 % veća od krutosti greda.



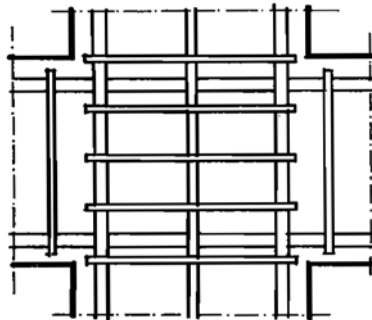
Ne smije se dozvoliti stvaranje plastičnih zglobova u stupovima, odnosno to treba da budu posljednja mjesta na kojima će do njihovog stvaranja doći. Stupovi ne smiju biti preopterećeni gravitacijskim opterećenjem, naročito ako se radi o neukrućenim skeletima kod kojih stupovi primaju i velike momente uzrokovane seizmičkim silama. Kod nas je korištenje aksijalnog napona pritiska u stupovima ograničeno na 35% čvrstoće betonske prizme. Na taj način se dobiva određena rezerva nosivosti na pritisak koja se koristi da bi se spriječio kruti lom uslijed drobljenja betona.

$$\frac{N}{A} \leq 0.35; \sigma_0 = \frac{N}{A}; f_b = 0.7 f_c \quad (4)$$

Stupovi moraju biti i osigurani od loma uslijed smicanja. Zbog toga se u potencijalnoj zoni oštećenja, odnosno plastičnog zgloba, cjelokupna poprečna sila „Tu“, koja prati granični moment loma „Mu“, mora primiti čelikom, odnosno vilicama. Naš Pravilnik propisuje da razmak vilica u stupovima na smje biti veći od 15 cm. U zonama na krajevima stuba razmak se smanjuje na 7.5cm. Za dužinu te zone uzima se najveća od slijedećih vrijednosti:

- 1.5 dužine veće strane stupa
- 1/6 visine stupa
- ili najmanje 50 cm

Vilice moraju biti zatvorene i preklopljene preko cijele kraće strane. Spoj stupa i grede okvira je osjetljivo mjesto, i jezgro spoja mora biti dobro obuhvaćeno vilicama i po potrebi prožeto dodatnom armaturom.



Slika 8. Armiranje čvora grede – stupa

Nastavljanje armature stupova predstavlja jedan, u najmanju ruku, tehnološki problem. S gledišta izvođenja radova, najpraktičnije mjesto za nastavljanje armature je neposredno iznad stropa. Međutim, to je mjesto mogućeg plastičnog zgloba u stupu i prema tome se ne smje preporučiti. Pravilnikom se propisuje da se nastavljanje armature izvodi van područja plastičnih zglobova, najbolje u sredini visine stupa gdje se približno nalazi nulta točka momenta savijanja. Ako se nastavljanje izvodi preklopom onda se, na jednom mjestu može nastaviti samo 50 % armature stupa i to bez kuka. Pravilnikom se zahtjeva da se čelične šipke promjera većeg od 20 mm nastavljaju isključivo zavarivanjem.

Pri projektiranju preklopa armature, izloženih jakim opterećenjima promjenjivog karaktera treba imati na umu slijedeće:

- Ako su čelične šipke napregnute do granice velikih izduženja, plastične deformacije čelika neminovno dovode do cijepanja okolnog betona, odnosno do razaranja prijanjanja kod glatkih profila. S ponavljanjem opterećenja, pri čemu je armatura naizmjenično plastificirana zatezanjem i pritiskom, dolazi do postepenog prodiranja ovog razornog procesa duž preklopa.



Zbog progresivne prirode ovog fenomena, nema veće koristi od povećanja dužine preklapanja.

- Upotrebom potrebne količine poprečne armature, recimo spirale oko preklopa, prijenos sila može se osjetno popraviti. Količina poprečne armature treba da je tolika da se omogući prenošenje sila sa šipke na šipku trenjem, preko eventualne naprsline u betonu među njima. Ukupna površina vilica „ $A_{ux}$ “, potrebna da se ostvari ovo trenje, uz pretpostavljeni koeficijent trenja  $\mu = 1.00$ , pri konstantnom momentu u zoni preklopa je :

$$A_{ux} = A_c \cdot \sigma_y / \sigma_{yx} \quad (5)$$

Kod svih konstruktivnih sustava za preuzimanje seizmičkog opterećenja stropne konstrukcije imaju značajnu ulogu. Njihova prvenstvena zadaća je da izvrše raspodjelu seizmičkih sila na vertikalne elemente, proporcionalno njihovoj krutosti. Stoga međukatne konstrukcije moraju imati dovoljnu krutost u svojoj ravnini što se postiže pravilnim izborom njihove visine. Na taj način dolazi do smanjenja dinamičkih stupnjeva slobode, te uz pretpostavku apsolutne krutosti stropne konstrukcije u ravnini, vodoravni pomaci vertikalnih elemenata u visini stropne konstrukcije su jednaki, što značajno pojednostavljuje proces seizmičke analize takvih konstrukcija.

Temelji okvirnih armiranobetonskih konstrukcija uglavnom su samci, odnosno stope, a u slučajevima slabije nosivosti tla i velikog opterećenja koriste se i temeljne ploče.

## 10. ARMIRANO-BETONSKI ZIDOVI ( PLATNA )

Zidovi za ukrućenje su vrlo važan konstruktivni elementi kojima se kod ukrućenih skeletnih zgrada povjerava nošenje praktično cjelokupnog horizontalnog opterećenja. Prema tome , oni moraju biti vrlo pažljivo projektirani i sposobni da izdrže propisana opterećenja.

Upotrebom zidova za ukrućenje postiže se slijedeće :

- Dimenzije skeleta ostaju i kod visokih zgrada zadovoljavajuće male tako da ne ometaju funkciju same zgrade
- Smanjuje se ukupan utrošak betona i armature
- Smanjuje se velika fleksibilnost skeleta što u velikoj mjeri smanjuje oštećenja na nenosivim elementima, prije svega na pregradnim zidovima
- Umanjuju se efekti drugog reda

Prilikom postavljanja zidova za ukrućenje treba imati u vidu da oni savladavaju seizmičke sile i nastale torzione momente savijanjem. Prema tome, njihova efikasnost za prihvaćanje torzionih momenata je tim veća što su udaljeniji od centra krutosti. Ako je skelet ukrućen jezgrom oko stubišta, onda se torzioni moment mora prihvatiti torzionom otpornošću jezgre, što je mnogo nepovoljniji i mnogo manje efikasan način.

Zidovi za ukrućenje mogu se projektirati na dva načina. Po jednom, zidovi se projektiraju da, s potrebnim koeficijentom sigurnosti, preuzmu onaj dio seizmičkih sila koji im po krutosti pripada uzimajući pri tome u obzir i krutost skeletnog dijela konstrukcije. Međutim, pošto može doći do oštećenja zidova za ukrućenje i gubitka njihove nosivosti, zahtjeva se da sami skelet, sam za sebe izdrži umanjene seizmičke sile, obično 25% ukupnih računskih seizmičkih sila. Po drugoj koncepciji, zidovi za ukrućenje prihvaćaju sve seizmičke sile i to povećane za neki iznos , recimo za 25 do 30 %, a skelet će primiti samo ono što mu po raspodjeli pripada.



Svaki kraj zida mora biti osiguran krutom armaturom koja se grupira na duljini od 1/10 širine zida, i ne smije biti manja od 0.15 % ukupne površine poprečnog presjeka zida.

Srednji dio zida može se armirati mrežama presjeka  $\mu = 0.15\%$  ukupne površine poprečnog presjeka zida. Ukupna vertikalna armatura ne smije biti manja od 0.45% horizontalnog presjeka zida. Horizontalna armatura zidova određuje se proračunom i ona ne smije biti manja od  $\mu = 0.25\%$  površine vertikalnog presjeka zida.

Zidovi se projektiraju tako da vrijedi:

$$\frac{\sigma_0}{f_b} \leq 0.2, \quad \text{gdje je} \quad \sigma_0 = \frac{F}{A} \quad (6)$$

$F$  – uzdužna sila u stupu od gravitacijskog opterećenja

$f_b$  - računski tlačna čvrstoća betona

$A$  – površina presjeka stupa

Eksperimentalna i teorijska istraživanja pokazala su da visoki zidovi i kod veće uzdužne sile, te niski kod male mogu imati svojstvo plastičnog deformiranja ako ih se adekvatno dimenzionira i armira. Duktilno ponašanje visokih zidova lakše je postići, te ih se gotovo uvijek može tretirati kao duktilne armiranobetonske elemente. Kod niskih zidova, posebice pri većoj uzdužnoj sili, teže je postići traženu duktilnost. Međutim, takvi zidovi inaju veliku nosivost, tako da značajnije smanjivanje seizmičkih sila zbog trošenja seizmičke energije nije kod njih od veće ekonomske važnosti.

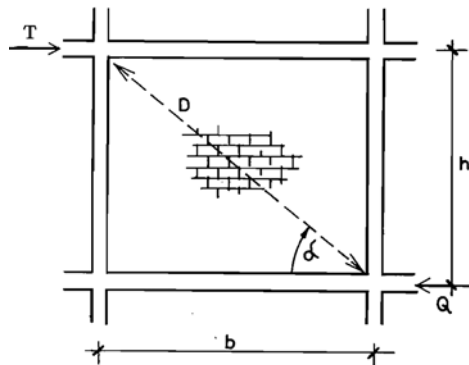
## 11. ISPUNA SKELETA

Okvirne konstrukcije se zatvaraju zidovima ili nekom obješenom fasadom od lakog materijala ili stakla. Zidovi ispune se, po pravilu, ne tretiraju kao nosivi dio sustava. Međutim, krutost neraspucalih zidova vrlo je velika i oni, bar u prvoj fazi rada, djeluju s okvirom. Procjena njihovog doprinosa u ukupnoj nosivosti i krutosti zgrade nije laka, najviše zbog velikog utjecaja kvalitete izvođenja radova i rasipanja u čvrstoći materijala od koga su zidovi sačinjeni. Istraživanja provedena u svijetu pokazala su, da okviri ispunjeni zidanim zidom povećavaju nosivost i krutost u odnosu na okvire bez ispune. Ignoriranje zidane ispune nije korektno, niti racionalno.

Ponašanje okvira sa zidanom ispunom kompleksan je problem ovisan o mnogo parametara kao što su: kvaliteta materijala zida, povezanost dvaju materijala ( blokovi i mort).

Osim što okviri s ispunom pružaju veći otpor horizontalnim silama, te imaju svojstvo disipacije seizmičke energije, oni zbog veće krutosti prihvaćaju veći dio horizontalnih sila. Eksperimentalna istraživanja su pokazala da tijekom cikličkog naizmjeničnog opterećenja ispunjenog okvira dolazi do raspadanja ispune, što potvrđuje pretpostavku, da se takve konstrukcije ponašaju kao cjelina, te da ispuna sudjeluje u nošenju. Nakon, ozbiljnijeg raspucavanja zida dolazi do stvaranja plastičnih zglobova, prvo u gredama, a zatim podnožju okvira.

Sva ova istraživanja odnose se na ispunjene okvire bez otvora. Za ispunjene okvire s otvorima za prozore i vrata pretpostavlja se da se ponašaju slično okvirima bez ispune. Pri proračunu se obično pretpostavlja da se u zidu ispune obrazuje pritisnuta dijagonala.



Slika 9. Dijagonalno djelovanje zidane ispune

Seizmička analiza armiranobetonskih okvira sa zidanom ispunom izvodi se na različite načine. Neki od najčešćih postupaka su :

- Ispuna je prikladno odvojena od armiranobetonskog okvira tako da ne sudjeluje u bočnom deformiranju. Ukupnu bočnu silu preuzima armiranobetonski okvir.
- Ispuna je ugrađena u armiranobetonski okvir, ali se smatra kao nekonstruktivni element. Ukupnu bočnu silu preuzima armiranobetonski okvir.
- Ispuna je ugrađena u armiranobetonski okvir i smatra se konstruktivnim elementom. Ukupnu bočnu silu preuzima armiranobetonski okvir i zidana ispuna.

Zidana ispuna povećava čvrstoću, krutost i ukupnu duktilnost, te kapacitet disipacije seizmičke energije. Ona također značajno reducira zahtjeve duktilnosti i deformabilnosti elemenata armiranobetonskog okvira.

S druge strane, zidana ispuna može imati i negativne učinke, kao što su: efekt kratkog stupa, efekt meke etaže, negativne torzijske učinke te malu krutost izvan ravnine.

## 11. 1. Modeliranje zidova ispune

Model materijala bilo koje konstrukcije je vrlo bitan za dobivanje korektnih rezultata analize. Čak i ako su svi fizikalni parametri, kao što je koeficijent kontakta između okvira i ispune, razdvajanje i klizanje blokova i morta, ortotropna svojstva materijala, uzeti u obzir ne postoji garancija da će se stvarna konstrukcija ponašati slično modelu jer ponašanje konstrukcije također ovisi o kvaliteti materijala i njene izgradnje.

Općenito govoreći, postoje dva modela za simulaciju ispune okvirnih sustava. To su tzv. mikro i makro modeli. Mikro modeli su utemeljeni na metodi konačnih elemenata ( MKE ), gdje se modeliraju elementi okvira, ispuna, te klizanje i razdvajanje između blokova ispune i morta. Činjenica je da ovi modeli daju bolje rezultate ali se ne koriste mnogo zbog svoje složenosti i troškova proračuna.

Makro modeli ili modeli s ekvivalentnom pritisnutom dijagonalom, koriste se za proučavanje globalnog odgovora okvira sa zidanom ispunom. Ovi modeli koriste jednu, ili više dijagonala za simulaciju zidova ispune. Nedostatak ove metode leži u činjenici da ona ne može ispravno uzeti u obzir postojanje otvora u zidovima ispune.

### 11.1.1. Čvrstoća

Veliki broj eksperimentalnih i numeričkih pokusa pokazao je da prisutnost ispune značajno poboljšava bočnu čvrstoću okvira s ispunom. Parametri koji utječu na povećanje te čvrstoće su : čvrstoća materijala ispune, čvrstoća okolnih elemenata okvira, relativni odnos krutosti ispune i okvira, prisutnost otvora u ispuni, čvrstoća morta i blokova ispune itd.



Osnovno svojstvo zidnih elemenata jest njegova tlačna čvrstoća. Koja je definirana izrazom:

$$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} \quad (9)$$

$f_k$  - karakteristična tlačna čvrstoća zida

$f_b$  – normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa ( N/mm<sup>2</sup>)

$f_m$  – nazivna tlačna čvrstoća morta ( N/mm<sup>2</sup>)

K – konstanta koja ovisi o vrsti zida i zastupljenosti morta na sljubnicama

Kada ne postoje eksperimentalno dobiveni rezultati, karakteristična posmična čvrstoća, uz uvijet da su horizontalne i vertikalne sljubnice potpuno ispunjene mortom, može se uzeti kao:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \sigma_d \quad (10)$$

$f_{vko}$  - posmična čvrstoća bez predtlačnog naprezanja, tj. kada je  $\sigma_d = 0$ . Međutim, ako ne postoje eksperimentalno dobiveni podaci o vrijednosti  $f_{vko}$ , tada treba uzeti  $f_{vko} = 0.1$  N/mm<sup>2</sup>.

$\sigma_d$  – računsko vertikalno tlačno naprezanje u zidu.

Kada ne postoje eksperimentalno dobiveni rezultatu, karakteristična posmična čvrstoća ako vertikalne sljubnice nisu ispunjene mortom, ali su susjedne plohe zidnih elemenata postavljene jedna uz drugu, može se uzeti kao:

$$f_{vk} = 0.5 f_{vko} + 0.4 \sigma_d \quad (11)$$

U nedostatku eksperimentalnih ispitivanja, sekantni modul elastičnosti pod opterećenjem ( do 1/3 slomnog opterećenja ) za sve vrste zida može se uzeti s  $E = 1000 f_k$ , gdje je  $f_k$  karakteristična tlačna čvrstoća zida. Kada se modul elastičnosti primjenjuje za granična stanja uporabljivosti, preporučuje se uzeti :  $E = 600 f_k$ . Dok modul posmika treba uzeti  $G = 0.4 E$ , a pri proračunu na djelovanje potresa uzima se  $G = 0.167 E$  ili manje.

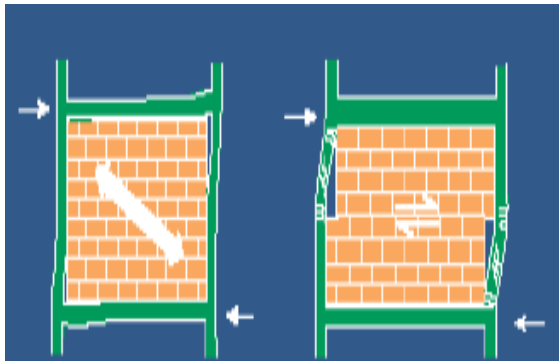
### 11.1.2. Bočna krutost

Poznato je da prisustvo ispune okvirima povećava bočnu krutost za 4 do 20 puta. Međutim, teško je kvantificirati dodatnu krutost uslijed krutosti ispune zbog velikog broja parametara koji na nju utječu.

### 11.1.3. Tipovi otkazivanja okvira s ispunom

Postoje različiti mehanizmi otkazivanja okvira s ispunom. Uočeno je iz eksperimentalnih istraživanja da se pri nižim razinama opterećenja javlja razdvajanje okvira i spune na liniji njihovog dodira, osim u dva pritisnuta područja (slika 10 a). Međutim, razdvajanje okvira i ispune bitno ne utječe na bočnu krutost okvira s ispunom. Osnovni konstruktivni sustav okvira ispunjenog zidom pretvara se u rešetkasti. U tom sustavu stupovi okvira postaju pojesevi vertikalne rešetke, grede okvira su horizontalni štapovi, a ispuna dobiva ulogu tlačnih dijagonala takve rešetke. Krutost građevine opada s povećanjem sile i pukotina. Daljnim povećanjem horizontalnih sila nastavlja se odvajanje okvira i ispune te stvaranje novih pukotina u ispuni sve do sloma ispune. U stupovima okvira tada nastaje popuštanje armature i pretvaranje sustava u mehanizam. „ Slab okvir „ ne može preneti sile na tlačnu

dijagonalu te se s toga javlja drobljenje na krajevima tlačne dijagonale. Nasuprot tome „jak okvir“ može prenjeti velike sile na tlačnu dijagonalu pa dolazi do pucanja ispune u središnjem području (slika 11). Isto tako je uočeno da kada se koristi slaba ispuna u jakom okviru dolazi do vodoravnog klizanja uzduž spojnica ispune (slika 10 b). Općenito su sljubnice u zidanoj ispuni najslabija mjesta zbog njihove male posmične čvrstoće.



(a)

(b)



Slika 11. Slom ispune u središnjem dijelu

Slika 10. Oblici sloma okvira s ispunom

## 12. MODELI

Zbog ograničenih mogućnosti korištenog softvera nije bilo moguće detaljnije opisati utjecaj pojedinih parametara na sveukupno ponašanje konstrukcije pri potresnom opterećenju. To se prije svega odnosi na modeliranje zidane ispune i njihove interakcije s okvirima.

U ovom radu korištene su tri vrste modela :

1. okvir bez ispune
2. okvir bez ispune u prizemlju
3. okvir s ispunom

Za svaki od ova tri modela korištene su tri različite vrijednosti modula elastičnosti i to:

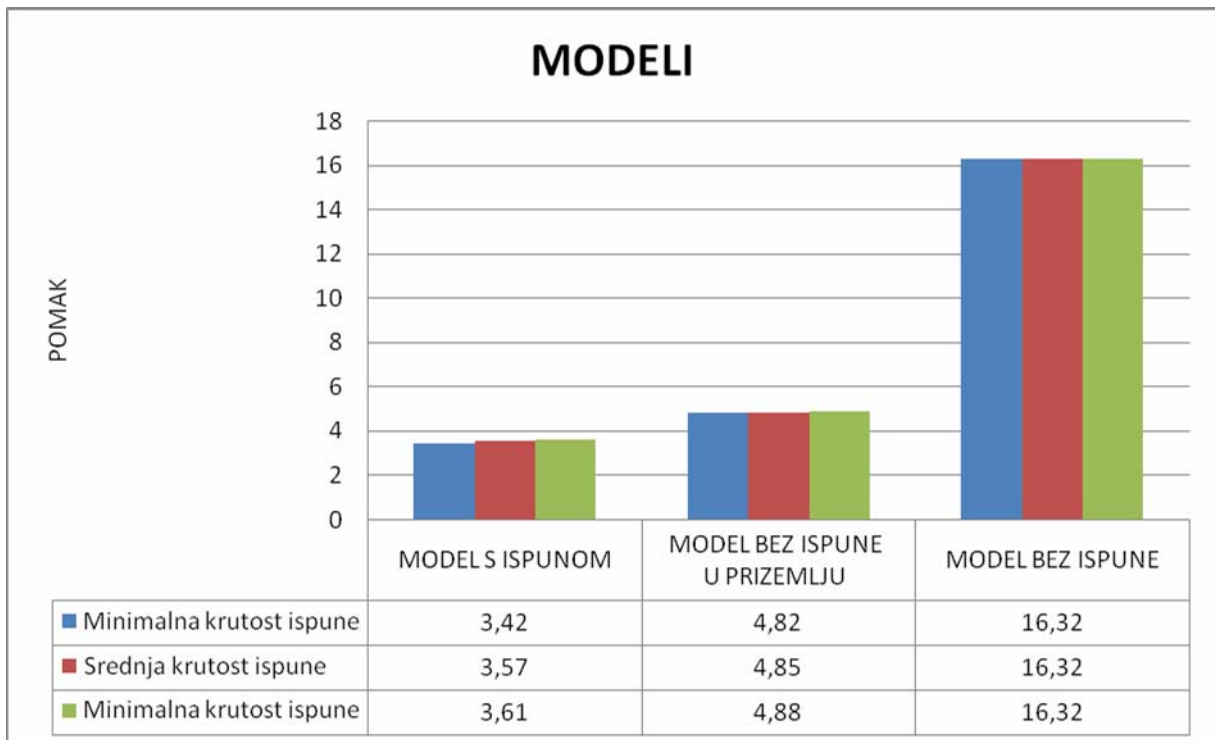
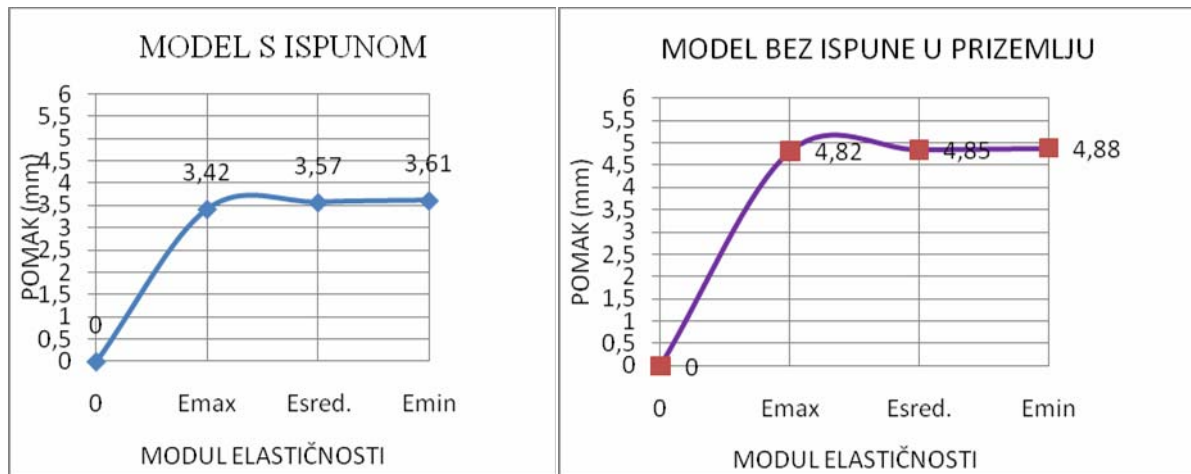
$$E_{max} = 6.6 \cdot 10^6 \text{ kN/ m}^2$$

$$E_{srednje} = 5.85 \cdot 10^6 \text{ kN/ m}^2$$

$$E_{min} = 5.1 \cdot 10^6 \text{ kN/ m}^2$$



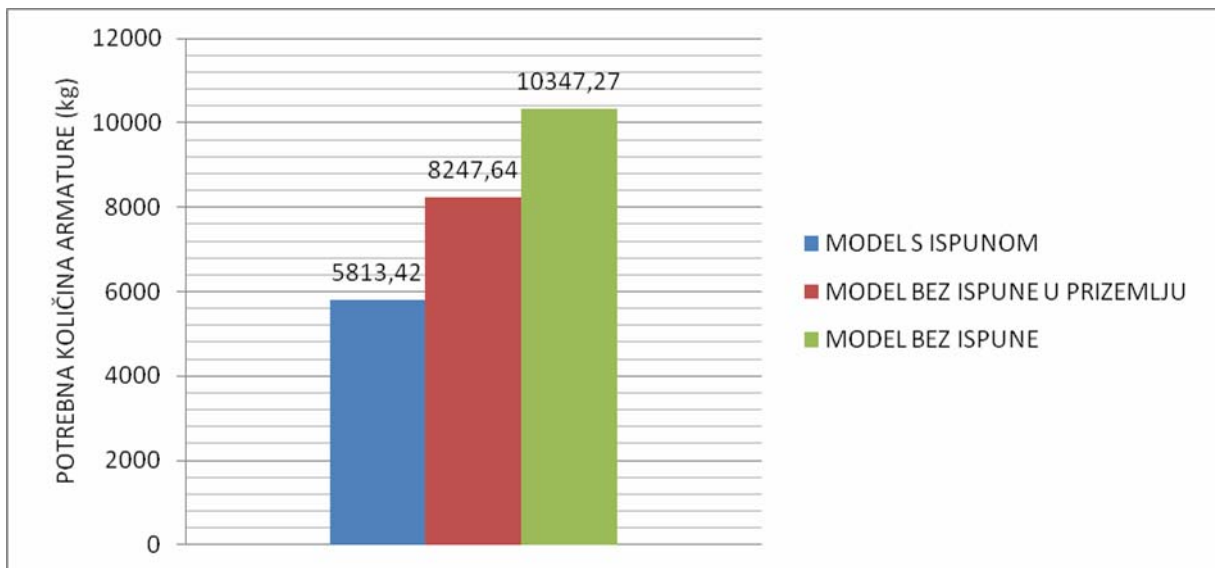
### 13. PROMJENA POMAKA U OVISNOSTI O KRUTOSTI ISPUNE







## 14. USPOREDBA POTREBNE ARMATURE ZA RAZLIČITE MODELE



## 15. ZAKLJUČAK

Zbog ograničenih mogućnosti korištenog softwera nije bilo moguće detaljnije opisati utjecaj pojedinih parametara na sveukupno ponašanje konstrukcije pri potresnom opterećenju. To se prije svega odnosi na modeliranje zidova ispune i njihove interakcije s okvirovima. U ovom radu korištena su tri modela okvira :

1. Okvir bez ispune
2. Okvir bez ispune u prizemlju
3. Okvir s ispunom

Kod kojih smo promatrali utjecaj zidova ispune na armirano-betonski okvir. Promatrani su pomaci vrha okvira H-7 te potrebna količina armature. Poznato je da prisustvo ispune povećava bočnu krutost za 4 do 20 puta. Kroz ovaj rad se to očituje u promatranim pomacima vrha okvira H-7 te potrebnoj količini same armature. Tako da model bez ispune ima najveći pomak od 16.23 mm i najveću potrebnu količinu armature, dok ostala dva modela imaju značajno manje pomake te potrebnu količinu armature.



## LITERATURA

1. M. Hrasnica, Seizmička analiza zgrada, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2005.
2. D. Ančić, P. Fajfar, B. Petrović, A. Szavits-Nossan, M. Tomažević.: Zemljotresno inženjerstvo-visokogradnja, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
3. Z. Sorić, Zidane konstrukcije I, 2 prošireno izdanje, Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2004.
4. I. Tomičić, Betonske konstrukcije – odabrana poglavlja, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 1996.
5. M. J. N. Priestley, G. M. Calvi, M. J. Kowalsky, Displacement-Based Seismic design of structures, IUSS PRESS, Pavia, Italy, 2007.
6. Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, Službeni list, br 31/81, 49/82, 29/83, 21/88, 52/90

Korišteni programski paketi :

1. Tower 6.0, Radimpex Beograd
2. Autocad 2007
3. Armcad 2007