Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada

Mateljan, Ivan

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:775688

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Ivan Mateljan

Split, 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Ivan Mateljan

Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada

Diplomski rad

Split, 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: Ivan Mateljan

BROJ INDEKSA: 524

KATEDRA: **Katedra za teoriju konstrukcija**

PREDMET: Zidane konstrukcije

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada

Opis zadatka: Zadatak diplomskog rada je parametarska analiza i procjena potresne otpornosti više varijanti zgrada od omeđenog ziđa i AB zidova. Procjena potresne otpornosti proračunata je po pojednostavljenom postupku te pomoću metode naguravanja u programskom paketu AmQuake. Varijante promatranih zgrada se razlikuju po količini ziđa, te udjelu AB zidova u njima u odnosu na potresnu zonu u kojoj se promatrana zgrada nalazi.

U Splitu, 23.09.2016.

Voditelj Diplomskog rada:
Izv. prof. dr. sc. Boris Trogrlić

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Prof. dr. sc. Ivica Boko

Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada

Sažetak:

Zadatak diplomskog rada je parametarska analiza, te procjena potresne otpornosti više varijanti zgrada od omeđenog ziđa. Procjena potresne otpornosti se provodi po pojednostavljenom postupku te uz pomoć metode naguravanja u programskom paketu AmQuake. Analizirani su konstruirani dijagrami sila-pomak za oba smjera za svaku varijantu zgrade. U skladu s dobivenim rezultatima doneseni su zaključci koji obuhvaćaju povezanost pojedinih potresnih zona s potrebnom količinom ziđa te udjelom AB zidova u njima.

Ključne riječi:

parametarska analiza, omeđeno ziđe, AB zidovi, potresna otpornost, metoda naguravanja, AmQuake

Parametric analysis of seismic resistance of masonry buildings

Abstract:

The goal of this thesis is parametric analysis of seismic resistance of various building made of confined masonry walls adn RC walls. Assessment of the seismic resistance is determined in accordance with the simplified procedure and by using pushover analysis in the computer program AmQuake. Constructed LD diagrams were analyised for both directions for every building. Conclusions were made according to the program results and connection between seismic zones and necessary percentage of the masonry walls, as well as the share of RC walls in them, was also taken in consideration.

Keywords:

parametric analysis, confined masonry, RC walls, seismic performance, pushover analysis, AmQuake

Sadržaj

1. Uvod 4
1.1. Cilj rada 4
2. Općenito o zidanim konstrukcijama 6
2.1. Zidni elementi 6
2.1.1 Svojstva zidnih elemenata 7
2.1.2 Svojstva morta 8
2.2. Vrste ziđa 10
2.2.1 Omeđeno ziđe 10
2.3. Zidni elementi 11
2.3.1 Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa (f_k) 11
2.3.2 Karakteristična posmična čvrstoća ziđa (f_{vk}) 14
2.3.3 Karakteristična savojna čvrstoća ziđa (f_{xk1} , f_{xk1}) 17
2.3.4 Referentna čvrstoća ziđa 19
2.4. Deformacijska svojstva ziđa 19
2.4.1 Modul elastičnosti (E) 19
2.4.2 Modul posmika (G) 20
2.4.3 Odnos naprezanja i relativne deformacije ($\sigma - \varepsilon$) 20
2.5. Zidane konstrukcije kao „energetski štedljive“ zgrade 22
2.6. Energetski učinkovita gradnja 24
3. Tehnički opis 26
3.1. Općenito 26
3.2. Proračunski modeli 27
3.3. Konstruktivne pojedinosti 28
3.4. Beton 29
3.5. Čelik 29
3.6. Opeka 30

4. Analiza opterećenja 32
4.1. Djelovanja na konstrukciju 32
4.2. Stalno opterećenje 34
4.3. Uporabno opterećenje 34
4.4. Opterećenje potresom 36
5. Pojednostavljeni proračun 37
5.1. Proračun zidova na vertikalana djelovanja 37
5.2. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja 38
5.3.1 4 etaže (Model I) 38
5.3.2 4 etaže (Model II) 39
5.3.3 6 etaža (Model I) 40
5.2.4 6 etaža (Model II) 41
5.3. Proračun ukupne potresne poprečne sile i ukupnog momenta 42
5.3.1 4 etaže ((Model I) 43
5.3.2 4 etaže (Model II) 43
5.3.3 6 etaža (Model I) 44
5.3.4 6 etaža (Model II) 45
5.4. Proračun zidova na potres 46
5.4.1 4 etaže (Model I) 47
5.4.2 4 etaže (Model II) 48
5.4.3 6 etaža (Model I) 49
5.4.4 6 etaža (Model II) 50
5.5. Analiza rezultata pojednostavljenim postupkom 51
6. Općenito o metodi naguravanja - pushover metoda 53
6.1. Metoda naguravanja u EN 1998-1 54
6.2. Primjena metode naguravanja 56
6.3. Postupak provedbe pushover analize 57

7. Rezultati proračuna metodom naguravanja 65
7.1. Uvod 65
7.2. 4 etaže 66
7.2.1 Model I (Zadar) 66
7.2.2 Model II (Split) 68
7.2.3 Model II / II* (Zagreb) 70
7.3. 6 etaža 72
7.3.1 Model I (Osijek) 72
7.3.2 Model II (Rijeka) 74
7.3.3 Model II* (Dubrovnik) 76
7.4. Analiza rezultata metodom naguravanja 78
8. Zaključak 80
9. Prilozi 82
10. Literatura 83

1. Uvod

1.1. Cilj rada

Cilj ovog rada je bio dobiti što cjelovitiju „sliku“ ponašanja zidanih zgrada na području Hrvatske za sve potresne zone. Važno je naglasiti da je u radu najviše pozornosti obraćeno na samo ponašanje zidova ovisno o postotku ziđa, te udjelu AB zidova u odnosu na potresnu zonu u kojoj se promatrana zgrada nalazi. Dok su drugi konstruktivni elementi zgrade uglavnom „fiksirani“ tj. uzeti su kao „okvirni“ te se nije u potpunosti vodilo računa o njima na način da ih se mijenjalo ovisno o možebitnim potrebama konstrukcije same zgrade kako oni ne bi utjecali na dobivene rezultate za samo ziđe te na taj način komplicirali već složene proračune.

Smisao rada nije bilo isključivo traženje najveće katnosti ili najmanjeg postotka nosivog ziđa već dobivanje što šireg uvida u ponašanje ziđa koje bi obuhvatilo sve potresne zone većih gradova u Hrvatskoj. Tako su iz serije proračuna izvučeni neki reprezentirajući primjeri s kojim bi se skrenula pozornost na neke važne segmente koji utječu na nosivost zidanih zgrada.

Korištene su dvije metode proračuna. Prva je „pojednostavljenim postupkom“ i s njom je prikazana razlika nosivosti ziđa na vertikalna djelovanja i potresne sile s obzirom na postotaka ziđa te pojedinu potresnu zonu. Dok je druga metoda „pushover analiza“ služila da se detaljnije kroz 3D modele prikaže ponašanje samih zidanih konstrukcija, te dokaže nosivost na GSU i GSN za određene primjere. (Kod svake metode nakon proračuna i samih rezultata slijedi objašnjenje svih obrađenih primjera – *5.5 Analiza rezultata pojednostavljenim postupkom* i *7.4 Analiza rezultata metodom naguravanja*.)

Također na kraju svake metode su paralelno s analizom rezultata izneseni i neki zaključci vezano za konkretnu metodu te neka razmišljanja autora kojima se htjela skrenuti pozornost na neke detalje. Dok je na samom kraju iznesen „globalni zaključak“ ovog rada te navedene neke pojedinosti vezane za ponašanje zidanih konstrukcija.

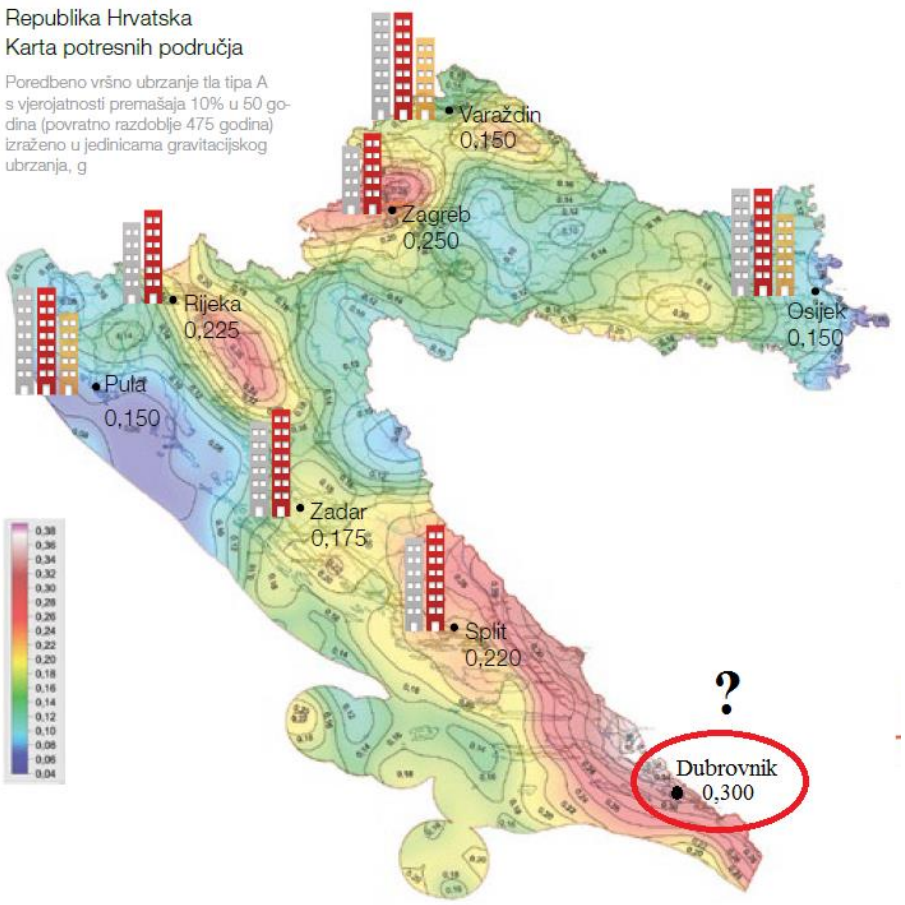
Uz strogo „konstrukterski“ dio vezan za metode proračuna i analize ponašanja zidanih konstrukcija htio sam skrenuti pozornost i na zidane zgrade kao „energetski štedljive“ zgrade te na energetski učinkovitu gradnju na koju bi trebalo obratiti pozornost i to iz više razloga. (Detaljnije o tome u poglavljima *2.5. Zidane konstrukcije kao „energetski štedljive“ zgrade* i *2.6 Energetski učinkovita gradnja*.)

(Slika 1.1) i (Tablica 1.1) su služili kao motivacija ili bolje rečeno izazov za ovaj rad.

Očekivano vršno (najveće) ubrzanje tla na gradilištu: $a_g \cdot S$		$a_g \cdot S \leq 0{,}07 \cdot k \cdot g$	$0{,}07 \cdot k \cdot g < a_g \cdot S \leq 0{,}10 \cdot k \cdot g$	$0{,}10 \cdot k \cdot g < a_g \cdot S \leq 0{,}15 \cdot k \cdot g$	$0{,}15 \cdot k \cdot g < a_g \cdot S \leq 0{,}20 \cdot k \cdot g$
Tip gradnje	**Granični broj etaža (n)[1)]**	**Najmanji zbroj ploština horizontalnog presjeka nosivog zida u svakom smjeru kao postotak ukupne ploštine stropa po etaži ($p_{A,min}$)**			
Nearmirano zide	1	2,0 %	2,0 %	3,5 %	n/a[2)]
	2	2,0 %	2,5 %	5,0 %	n/a
	3	3,0 %	5,0 %	n/a	n/a
	4	5,0 %	n/a[2)]	n/a	n/a
Omeđeno zide	2	2,0 %	2,5 %	3,0 %	3,5 %
	3	2,0 %	3,0 %	4,0 %	n/a
	4	4,0 %	5,0 %	n/a	n/a
	6 5	6,0 %	n/a	n/a	n/a
Armirano zide	2	2,0 %	2,0 %	2,0 %	3,5 %
	3	2,0 %	2,0 %	3,0 %	5,0 %
	4	3,0 %	4,0 %	5,0 %	n/a
	5	4,0 %	5,0 %	n/a	n/a

[1)] Prostor ispod kosog krova (tavana) iznad punoga kata nije uključen u broj etaža
[2)] n/a znači „nije prihvatljivo" (engl. „not acceptable")

Tablica 1.1: Najmanji dozvoljeni postotci nosivog zida za najveću moguću katnost



Slika 1.1: Karta potresnih područja s obzirom na katnost

2. *Općenito o zidanim konstrukcijama*

Ziđe je skup nastao naizmjeničnim polaganjem zidnih elemenata (blokova) u specifičnom uzorku između nekog vezivnog materijala (morta, ljepila).

2.1 Zidni elementi

Zidni elementi izrađuju se od raznih materijala i mogu imati različite čvrstoće te biti puni ili šuplji. Zidni elementi su u skladu sa sljedećim tipovima:

- Opečni blokovi od pečene gline, proizvedeni oblikovanjem, sušenjem i pečenjem plastične smjese glinenog materijala, pijeska i vode. Opeka je najmasovniji proizvod keramičke industrije.
- Kalcij-silikatni zidni elementi, proizvedeni od smjese silikatnog agregata, vapna, izrađeni pod tlakom i zaparivani.
- Betonski zidni elementi, proizvedeni od agregata normalne težine (kamenog) ili lakog agregata i cementa.
- Porobetonski zidni elementi, proizvedeni od smjese silicijskog agregata, cementa, vapna i dodatka za stvaranje mjehurića. Izrađuju se u autokalvama i oblikuju rezanjem.
- Zidni elementi od blokova kamena klesanih ili rezanih na određene dimenzije, te od lomljenog kamena nepravilnog oblika.

Prema kontroli proizvodnje zidni elementi se dijele na kategorije I i II.
Zidni element kategorije I je onaj element za koji je proizvođač osigurao stalnu kontrolu kakvoće i koji u pošiljci ima deklariranu tlačnu čvrstoću s 5 % fraktila, dok su elementi kategorije II oni koji imaju srednju vrijednost tlačne čvrstoće jednaku deklariranoj.

	Grupa zidnih elemenata			
	1	2a	2b	3
Obujam šupljina	≤25	> 25-45 za opečne zidne elemente > 25-50 za betonske zidne elemente	> 45-55 za opečne zidne elemente > 50-60 za betonske zidne elemente	≤70
Obujam bilo koje šupljine	≤12.5	≤12.5 za opečne zidne elemente ≤25 za betonske zidne elemente	≤12.5 za opečne zidne elemente ≤25 za betonske zidne elemente	Ograničena površina
Površina bilo koje šupljine	Ograničena obujmom	Ograničena obujmom	Ograničena obujmom	≤2800mm^2, osim za zidne elemente s jednom šupljinom kad je šupljina ≤1800mm^2
Kombinirana debljina (% ukupne širine)	≥37.5	≥30	≥20	Nema zahtjeva
1. Šupljine mogu biti vertikalne kroz zidni element, utori ili ništa.				
2. Ako iskustvo na razini države, utemeljeno na isptivanjima, potvrđuje da sigurnost ziđa nije neprihvatljivo smanjena kad postoji veći postotak šupljina, ograničenja od 55% za opečne i 60% za betonske zidne elemente, može se povećati za zidne elemente koji se rabe u zemlji koja ima takvo iskustvo.				
3. Kombinirana debljina je debljina unutarnje i vanjske stijenke mjerena horizontalno na zidnom elementu pod pravim kutom na lice zida.				

Tablica 2.1. Zahtjevi koje grupe zidanih elemenata moraju zadovoljiti

2.1.1 Svojstva zidnih elemenata

U osnovna svojstva zidnih elemenata ubrajaju se tlačna čvrstoća i trajnost. Tlačna čvrstoća zidnih elemenata koja se uzima u proračunu je normalizirana tlačna čvrstoća f_b.

To je tlačna čvrstoća zidnog elementa prevedena na tlačnu čvrstoću na zraku sušenog zidnog elementa širine 100 mm i visine 100 mm dok duljina nije definirana normom. Da bi se srednja tlačna čvrstoća dobivena eksperimentalno, ispitivanjem uzoraka koji su bili 24 sata uronjeni u vodu, pretvorila u normaliziranu čvrstoću za suhe zidne elemente, treba za zidne elemente od pečene gline rezultate srednje tlačne čvrstoće pomnožiti sa 1,1 a za sve ostale elemente sa 1,2.

Zatim se ta vrijednost množi sa faktorom oblika zidnog elementa δ. Faktor oblika δ prikazan je u tablici i ovisi o širini i visini zidnog elementa. Vrijednosti faktora mogu se linearno interpolirati.

Zidni elementi trebaju imati srednju tlačnu čvrstoću na tlak okomito na naliježu ću ploštinu (vertikalno) barem za 2,5 N/mm ^{2}. U horizontalnom smjeru tlačna čvrstoća mora biti barem 2,0 N/mm^2. U seizmički aktivnim područjima, tlačna čvrstoća zidnih elemenata bi trebala iznositi najmanje:

- okomito na horizontalnu sljubnicu morta $f_{b,min}$ = 4,0 N/mm^2,
- paralelno horizontalnoj sljubnici morta u ravnini zida $f_{b,min}$ = 2,0 N/mm^2.

Za odabranu blok opeku u proračunu, vrijednost tlačne čvrstoće okomito na horizontalnu sljubnicu iznosi 10 N/mm^2 , a okomito na vertikalnu sljubnicu iznosi 2,5 N/mm^2.

Visina zidnog elementa (mm)	Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa (mm)				
	50	100	150	200	≥250
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Tablica 2.2: Vrijednosti faktora oblika δ

2.1.2 Svojstva morta

Mort je materijal koji se sastoji od mješavine anorganskog veziva, agregata i vode, a može sadržavati i aditive. Rabi se za povezivanje zidnih elemenata. Mort za zidanje razvrstava se prema sastojcima i prema mehaničkim svojstvima.

Kod zidanih konstrukcije rabe se sljedeći mortovi:

- cementni mort: mort s određenim omjerom cementa i pijeska te dodataka po potrebi
- cementno – vapneni mort: mješavina određene količine cementa, vapna i pijeska (produžni mort)
- vapneni mort: mješavina određene količine hidratiziranog vapna i pijeska

- tankoslojni mort: to je unaprijed pripremljeni cementni mort s maksimalnim zrnom pijeska od 0.1 mm i s kemijskim dodacima. Debljina morta u horizontalnim blokovima.
- unaprijed pripremljeni mort: doprema se na gradiliš te u vrećama u suhom stanju, ili već pripremljen za uporabu s usporivačem vezanja
- lakoagregatni mort: mort spravljen s lakim agregatom, čija je gustoća obično manja od 1000 kg/m^3. Agregat može biti: perlit, ekspandirana glina, plovučac.

Mort se kvalificira prema računskoj tlačnoj čvrstoći i označava slovom M nakon kojeg slijedi broj koji predstavlja tlačnu čvrstoću u N/mm^2. U većini propisa odnos komponenti morta određuje se volumenski, no težinski na čin je svakako točniji

Vrste mortova	Minimalna tlačna čvrstoća nakon 28 dana (N/mm^2)	Približni sastav		
		cement	hidratizirano vapno	pijesak
M20	20	treba odrediti ispitivanjem		
M15	15	1	0-1/4	3
M10	10	1	$\frac{1}{4}-\frac{1}{2}$	$4-4\frac{1}{4}$
M5	5	1	$\frac{1}{2}-1\frac{1}{4}$	5-6
M2,5	2.5	1	$1\frac{1}{4}-2\frac{1}{2}$	8-9
M1	1	1	nije definirano	>9

Tablica 2.3: Volumni sastav morta

Tlačna čvrstoća morta mora se ispitati u skladu s normom EN 1015-11. U slučaju kada je čvrstoća manja ili znatno veća od one u tablici mogu se mijenjati omjeri cementa, vapna i pijeska, kako bi se postigla zahtijevana čvrstoća. Uporabu drugačijih omjera sastojaka treba dokazati ispitivanjem. Laboratorijska ispitivanja takvih mješavina moraju dati čvrstoću na tlak barem 20% veće vrijednosti nego one iz tablice.

Uzorci za ispitivanje su prizme 160 mm x 40 mm x 40 mm ili kocke sa stranicom 70,7 mm ili 100 mm. Potrebne su najmanje 3 prizme ili 6 kocki.

Povećanje trajnosti morta postiže se dodavanjem cementa, ali tada su veće i tendencije nastajanja pukotina u zidanim konstrukcijama. Veća otpornost na pomake postiže se uporabom slabijih mortova, koji sadrže manje cement a i više vapna.

2.2 Vrste ziđa

Ziđe se općenito svrstava u sljedeće konstruktivne kategorije:

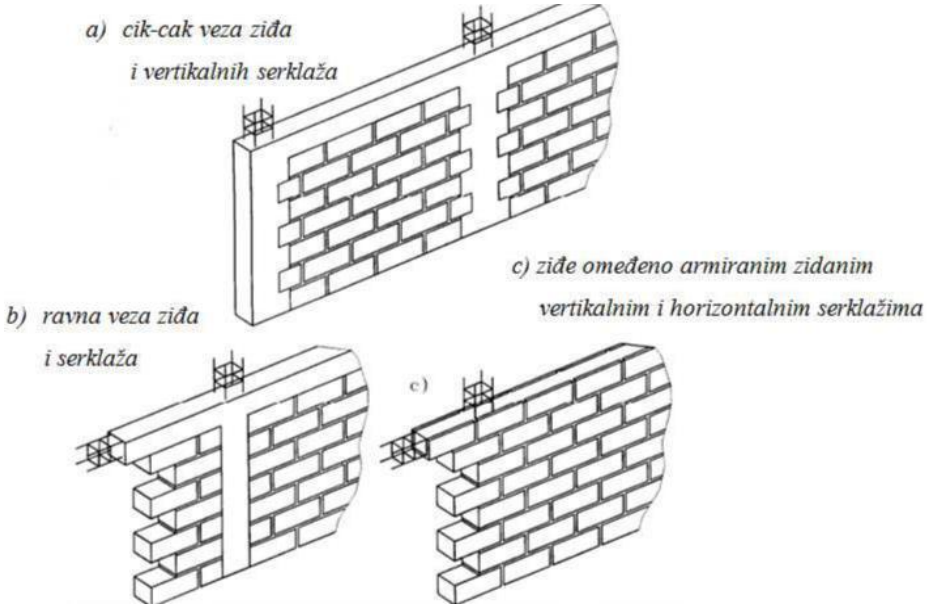
- Nearmirano ziđe. (Ne sadrži nikakva prikladna ojačanja da bi se smatralo armiranim ziđem.)
- Omeđeno ziđe. (Ziđe osigurano armirano betonskim elementima-serklažim a ili samo armiranim zidnim elementima u vertikalnom i horizontalnom smjeru.)
- Armirano ziđe. (Ziđe u koje se ugrađuju čelične šipke ili mreže kroz mort ili beton pa prema tome svi materijali rade zajedno u otporu djelovanjima.)
- Prednapeto ziđe. (Unutarnja tlačna naprezanja uvedena su ciljano zategnutom armaturom.)

2.2.1 Omeđeno ziđe

Omeđeno ziđe prožeto je AB ili zidanim vertikalnim i horizontalnim serklažima. Vertikalni i horizontalni serklaži djeluju zajedno sa ziđem i nisu samostalan okvir. Uloga serklaža je posebno značajna pri djelovanju potresa na zidane građevine. Serklaži povezuju i ukrućuju ziđe. Znatno pridonose nosivosti ziđa na tlak, savijanje i posmik, za opterećenje u ravnini zidova i za opterećenje okomito na njihovu ravninu. Pri horizontalnim djelovanjima oni omogućavaju formiranje tlačnih dijagonala u ziđu i smanjuju deformacije ziđa. Vertikalni AB serklaži dominantno prenose vlačna naprezanja, dok horizontalni serklaži preraspodjeljuju vertikalna opterećenja na ziđe, posebno koncentrirane sile.

Od omeđenog ziđa razlikujemo:

a) Izlomljena cik-cak veza između AB serklaža i ziđa
b) Ravna veza vertikalnog AB serklaža i ziđa
c) Ziđe omeđeno zidanim serklažima od posebnih prefabriciranih opeka koje se armiraju

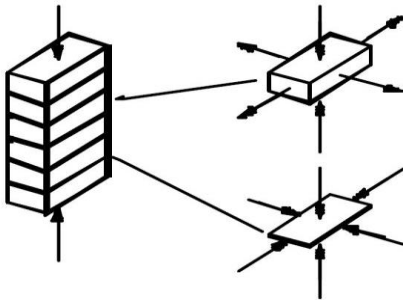


Slika 2.1: Primjeri omeđenog ziđa

2.3 Svojstva ziđa

2.3.1 Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa (f_k)

Na tlačnu čvrstoću ziđa utječu: dimenzije i geometrijski odnosi zidnih elemenata, ispunjenost horizontalnih i vertikalnih sljubnica mortom, omjer volumena i raspodjela šupljina i vanjskih dimenzija zidnih elemenata, visina prizmi tj. ziđa, čvrstoća morta, čvrstoća zidnih elemenata, odabrani zidni vez, debljina sljubnica morta, čvrstoća betona kod ziđa sa betonskom ispunom. Čvrstoća ziđa u tlaku je manja nego nominalna tlačna čvrstoća bloka, od kojeg je to ziđe izvedeno. Na drugoj strani, čvrstoća ziđa može zna čajno prekoračiti slomnu čvrstoću kocke morta. Pravilan vez veoma je važan za nosivost ziđa jer nepravilni vez smanjuje nosivost.



Slika 2.2: Troosno stanje naprezanja zidnih elemenata i morta u prizmi

Sekundarno vlačno naprezanje, koje uzrokuje pukotinski slom ziđa, posljedica je spriječenih deformacija morta u sljubnicama ziđa.

Prividna tlačna čvrstoća bloka, u standardnim ispitivanjima na tlak, nije prava mjera čvrstoće bloka u ziđu, jer je način sloma različit.

Mort može podnijeti povećana tlačna naprezanja u fugama zbog višeosnog stanja naprezanja.

Karakteristična tlačna čvrstoća uzorka ziđa f_k je čvrstoća ispod koje se, bez učinka ekscentričnosti, vitkosti ili spriječenosti horizontalnog pomaka pločama preko kojih se prenosi tlak, ne očekuje više od 5% rezultata. Ako karakterističnu tlačnu čvrstoću ziđa nije moguće odrediti pokusom, svakako treba eksperimentalno odrediti tlačne čvrstoće morta i zidnog elementa. Izrazi u tekstu empirijske su formule za određivanje karakteristične tlačne čvrstoće ziđa na temelju tlačnih čvrstoća morta i zidnog elementa, dobivene ispitivanjem više stotina uzoraka.

Karakterističnu tlačnu čvrstoću ziđa, f_k, moguće je odrediti ili iz granične čvrstoće ziđa visine kata ispitanog do sloma ili iz tlačne čvrstoće manjih uzoraka ziđa. Rabe se materijali, zidanje i vez onako kako se oni primjenjuju i u praksi. Zapisuje se količina vlage zidnog elementa u vrijeme polaganja u sloj morta. Odredi se normalizirana tlačna čvrstoća fb, zidnog elementa. Ako se čvrstoća zidnog elementa s vremenom mijenja, njihova tlačna čvrstoća ispitivat će se kad se ispituje i ziđe. Rabi se mort koji treba pripremiti tako da mu se sastojci vežu, a odrede se na osnovi volumnih omjera suhog materijala koji odgovaraju određenoj vrsti morta. Ako se, rabi vlažni pijesak, što je uobičajeno, treba uzeti u obzir količinu vlage.

Ispituje se najmanje 3 uzorka. Visina uzorka treba biti barem pet puta veća od njegove širine. Zidovi se ispituju nakon 7 ili 28 dana, ili kada je postignuta neka određena čvrstoća morta.

Uzorak se postavi centrično tako da se uzdužna os uzorka i os uređaja za ispitivanje poklope. Opterećenje se nanosi jednoliko na vrhu i dnu uzorka i neprekidno povećava tako da se slom dosegne nakon 15 do 30 minuta. Pomoću 4 elektronska uređaja ekstenziometra mjere se deformacije uzorka u vertikalnom smjeru. Na svaku plohu zida se postave po dva ekstenziometra.

Relativna deformacija uzorka uzima se kao srednja vrijednost sva četiri očitanja. Potrebno je izdvojiti vrijednosti izmjerene relativne deformacije, pri sili jednakoj trećini maksimalne.

Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa određuju se iz rezultata testova provedenih za projekt ili dostupnih iz baze podataka prethodno provedenih testova. Rezultate se izražava tablično ili u obliku:

$$f_k = K * f^{\alpha}_b * f^{\beta}_m$$

gdje je:

f_k – karakteristična tlačna čvrstoća ziđa u N/mm^2

K – konstanta (uzima se iz tablice)

α, β – konstante

f_b – normalizirana srednja tlačna čvrstoća zidnog elementa u smjeru primjenjene sile u N/mm^2

f_m – tlačna čvrstoća morta N/mm^2

Izračuna se tlačna čvrstoća za svaki uzorak ziđa f_1,f_2,f_3 primjenom izraza:

$$\boldsymbol{f_i = \frac{F_{i,max}}{A_i}}$$

gdje je:

$F_{i,\,max}$ - maksimalna sila i-tog uzorka određenog ispitivanjem

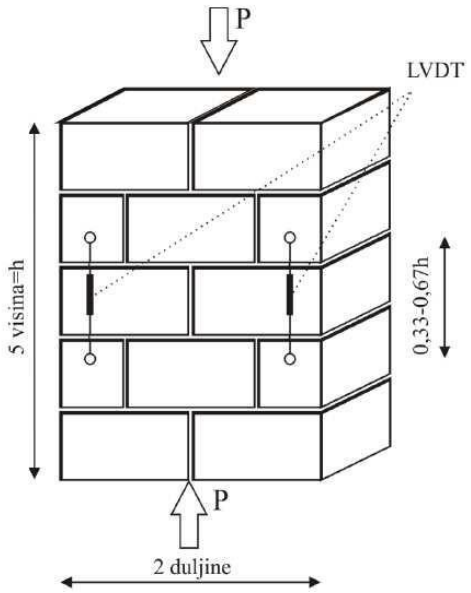
A_i – površina poprečnog presjeka i-tog uzorka zida (mm^2)

Srednju vrijednost f` svih uzoraka ziđa zaokružimo na najbližu vrijednost do 0,1 N/mm^2.Karakteristična tlačna čvrstoća tada je:

$$f_k = f'/1.2 \text{ ili } f_k = f_{i,min}$$

gdje je:

$f_{i,min}$ - najmanja pojedinačna vrijednost čvrstoće ispitanih uzoraka, f' - srednja vrijednost čvrstoće ispitanih uzoraka.



Slika 2.3. Način ispitivanja tlačne čvrstoće ziđa

Empirijski izrazi za određivanje tlačne čvrstoće ziđa ako se ne raspolaže eksperimentalno dobivenim podacima imaju više oblika i ovise uglavnom o tipu morta:

- mort opće namjene i lagani mort $f_k = K \cdot f_b^{0.7} \cdot f_m^{0.3}$
- tankoslojni mort, opečni blokovi skupine 1 i 4 $f_k = K \cdot f_b^{0.85}$
- tankoslojni mort, opečni blokovi skupine 2 i 3 $f_k = K \cdot f_b^{0.7}$

K – konstanta koja ovisi o grupi zidnih elemenata i vrsti morta

2.3.2 Karakteristična posmična čvrstoća ziđa (f_{vk})

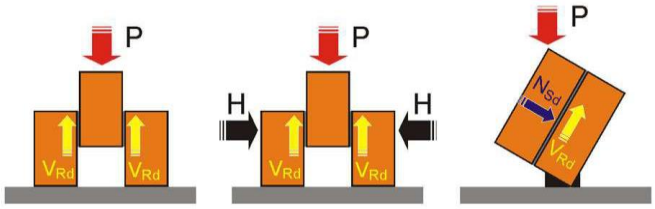
Posmična čvrstoća ziđa u direktnoj je vezi sa vertikalnom komponentom tlačnog naprezanja. Čvrstoća ziđa počiva na čvrstoći zidnih elemenata i morta. Oko elementa postoje različita područja tlačnih i posmičnih naprezanja. Posmična čvrstoća ziđa ovisi o visini i debljini ziđa stoga za zidove više od dvostruke vlastite duljine utjecaj posmičnih deformacija može biti zanemaren, dok za porast debljine ziđa posmična čvrstoća raste. Može se pretpostaviti da je raspodjela posmičnih naprezanja duž dijela zida izloženog tlaku konstantna.

Karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog ziđa f_{vk} je ona ispod koje se ne očekuje da može pasti više od 5% rezultata ispitivanja te čvrstoće. Karakteristična posmična čvrstoća f_{vk} može se dobiti iz odgovarajućeg ispitivanja uzoraka. Za određivanje posmične

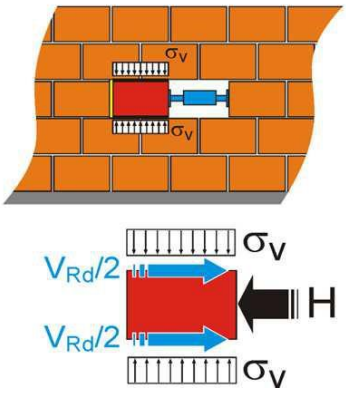
čvrstoće ziđa koriste se različite metode usavršene proteklih desetljeća. Čvrstoća se može dobiti ispitivanjem odgovarajućeg broja uzoraka ili ispitivanjem na zidu. Izradi se 9 uzoraka od kojih se po 3 ispituju do posmičnog sloma pri vertikalnom naprezanju 0.2,0.6 i 1 N/mm^2 . Duljina uzorka treba biti između 40 i 70 cm, dok omjer visine i debljine treba biti veći od 2. U svakom sloju treba biti barem jedna vertikalna sljubnica morta. Ukoliko ispitujemo posmičnu čvrstoću postojeće građevine, treba odstraniti barem jedan zidni element i na njegovo mjesto postaviti uređaj za nanošenje sile.

Ispitivanje posmične čvrstoće pomoću uzoraka može se vršiti:

- bez tlačnih normalnih naprezanja
- dodavanjem tlačnih normalnih naprezanja
- pod konstantnim tlačnim normalnim naprezanjima



Slika 2.4: Pojednostavljeni prikaz načina ispitivanja posmičnih naprezanja na uzorku



Slika 2.5: Način ispitivanja posmične čvrstoće ziđa na izvedenom zidu

Karakteristična posmična čvrstoća ziđa sa mortom opće namjene, tankoslojnim mortom i laganim mortom uz popunjene sljubnice morta data je iskazom:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 * \sigma_d$$

Ali ne uzima se većom od:

$$f_{vk} = 0.065\, f_b \quad \text{ili} \quad f_{vlt}$$

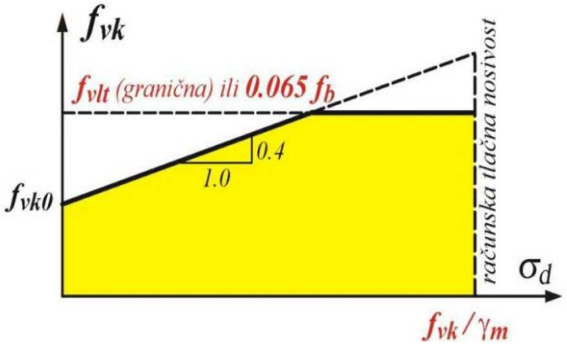
Gdje je:

f_{vk0} – karakteristična početna čvrstoća na posmik, bez tlačnih naprezanja

f_{vlt} – granična vrijednost karakteristične posmične čvrstoće, bez tlačnih naprezanja

σ_d – proračunska tlačna čvrstoća okomito na posmik u razini koja se promatra koristeći prikladnu kombinaciju opterećenja baziranu na prosječnom vertikalnom naprezanju iznad tlačnog područja zida što osigurava posmičnu otpornost

f_b – normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa u pravcu dodavanja opterećenja na uzorak okomito na horizontalnu sljubnicu morta



Slika 2.6. Dijagram karakteristična posmična čvrstoća-tlačno naprezanje

Karakteristična posmična čvrstoća ziđa ukoliko okomite sljubnice morta nisu popunjene, ali sa tijesno postavljenim susjednim stranicama zidnih elemenata uzima se pomoću izraza:

$$f_{vk} = 0.5 * f_{vko} + 0.4 * \sigma_d$$

Ali ne preko $0.045 f_b$ ili f_{vlt} i ne manje od f_{vko}

Početna posmična čvrstoća ziđa f_{vk0} može biti određena iz procjene baze podataka testova ili ako ne postoje eksperimentalno dobiveni podaci tada treba uzeti f_{vk0}=0,1 N/mm^2.

Ziđe kod kojega su zidni elementi položeni na dvije ili više jednakih traka morta opće namjene, 30 mm širine u horizontalnim sljubnicama na oba ruba zidnog elementa karakteristična posmična čvrstoća se određuje:

$$f_{vk} = \frac{g}{t} \cdot f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d$$

g - ukupna širina dviju traka morta

t – širina ziđa

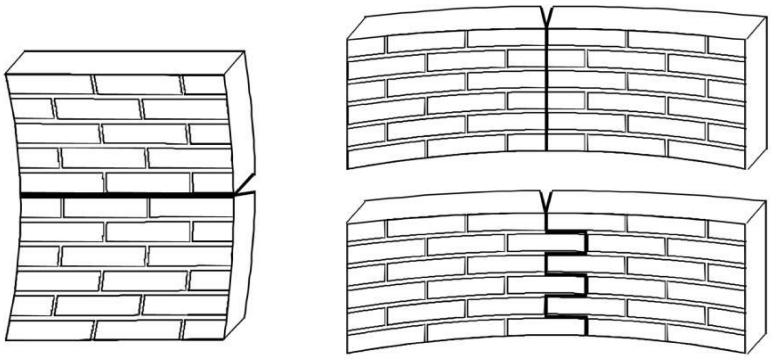
Zidni element	f_{vko} (N/mm^2)			
	Mort opće namjene		Tankoslojni mort (debljine horizontalnih sljubnica ≥0,5 mm i ≤3,0 mm)	Lagani mort
Glina	M10 – M20	0,30	0,30	0,15
	M2,5 – M9	0,20		
	M1 – M2	0,10		
Kalcijsko-silikatni	M10 – M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5 – M9	0,15		
	M1 – M2	0,10		
Betonski	M10– M20	0,20	0,30	0,15
Porasti (autoklavirani aerirani)	M2,5 – M9	0,15		
Kameni	M1 – M2	0,10		

Tablica 2.4: Vrijednosti početne posmične čvrstoće ziđa

2.3.3 Karakteristična savojna čvrstoća ziđa (f_{xk1}, f_{xk1})

U odnosu na savijanje ziđa izvan ravnine mogu se razmatrati sljedeće situacije: Karakteristična čvrstoća ziđa na savijanje sa ravninom sloma paralelnom sa ležajnicama morta f_{xk1} i savojna čvrstoća sa ravninom sloma okomitom na ležajnice morta f_{xk2}.

Karakteristična čvrstoća na savijanje nearmiranog ziđa f_{xk} određuje se eksperimentalno, to je ona čvrstoća ispod koje ne pada više od 5% svih rezultata. Inače u zemljama s iskustvom i rezultatima eksperimentalnih istraživanja koji to iskustvo potvrđuju, karakterističnu čvrstoću na savijanje moguće je odrediti iz tablica poduprtih eksperimentalno dobivenim podacima.



Slika 2.7: Dva slučaja savojne čvrstoće ziđa f_{xk1} i f_{xk2}

Zidni element	f_{xk1} (N/mm^2)			
	Mort opće namjene		Tankoslojni mort	Lagani mort
	$f_m < 5$ N/mm^2	$f_m \geq 5$ N/mm^2		
Glineni	0,10	0,10	0,15	0,10
Kalcijsko-silikatni	0,05	0,10	0,20	Ne koristi se
Betonski	0,05	0,10	0,20	Ne koristi se
Porasti	0,05	0,10	0,15	0,10
Industrijski kamen	0,05	0,10	Ne koristi se	Ne koristi se
Obrađeni prirodni kamen	0,05	0,10	0,15	Ne koristi se

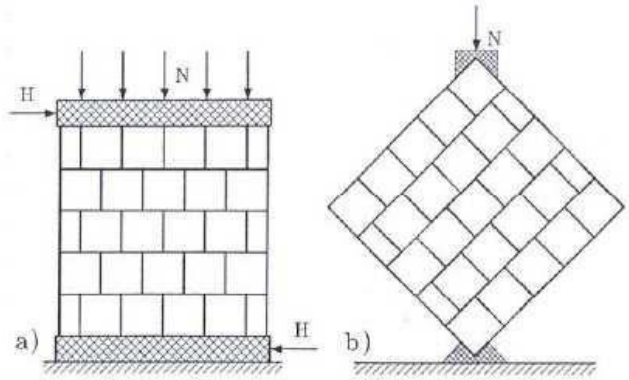
Tablica 2.5: f_{xk1} ravnina sloma paralelna s horizontalnim sljubnicama

Zidni element		f_{xk2} (N/mm^2)			
		Mort opće namjene		Tankoslojni mort	Lagani mort
		$f_m < 5$ N/mm^2	$f_m \geq 5$ N/mm^2		
Glineni		0,20	0,40	0,15	0,10
Kalcijsko-silikatni		0,20	0,40	0,30	Ne koristi se
Betonski		0,20	0,40	0,30	Ne koristi se
Porasti	$\rho<400$ kg/m^3	0,20	0,40	0,20	0,15
	$\rho\geq400$ kg/m^3	0,20	0,40	0,30	0,15
Industrijski kamen		0,20	0,40	Ne koristi se	Ne koristi se
Obrađeni prirodni kamen		0,20	0,40	0,15	Ne koristi se

Tablica 2.6: f_{xk2} ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice

2.3.4 Referentna čvrstoća ziđa

Referentna čvrstoća ziđa je ona kod koje dolazi do vlačnog otkazivanja ako imamo zid opterećen istodobno vertikalnim i horizontalnim opterećenjem. Vertikalno je opterećenje stalno prisutno, a horizontalno povremeno, uzrokovano vjetrom ili potresom. Referentnu vlačnu čvrstoću može se odrediti eksperimantalo (slika 8.) ili iz propisanih tablica.



Slika 2.8: Ispitivanje vlačne čvrstoće ziđa

2.4 Deformacijska svojstva ziđa

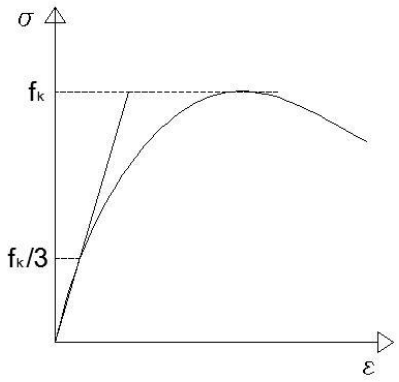
2.4.1 Modul elastičnosti (E)

U nedostatku eksperimentalnih ispitivanja, sekantni modul elastičnosti pod opterećenjem, do 1/3 slomnog opterećenja za sve vrste ziđa uzima se kao $K_E f_k$, gdje je f_k karakteristična tlačna čvrstoća zida, a vrijednost K_E je dana nacionalnim dodatkom i preporuča se K_E=1000 .

Kada se modul elastičnosti primjenjuje za granična stanja uporabiljivosti, preporuča se uzeti E = 600 f_k. Ovo se uzima radi pojednostavljenja pri dimenzioniranju, a orijentacijska je vrijednost i može se promatrati kao srednja. Pri proračunu graničnog stanja uporabljivosti preporuča se reducirati modul E za 40 %.

Module elastičnosti za predmetnu konstrukciju iznosi:

$$E = 1000\ f_k = 1000*4{,}78 = 4780\ \text{Mpa}$$



Slika 2.9. Dijagram naprezanja – relativna deformacija

2.4.2 Modul posmika (G)

Modul posmika uzima se kao 40% modula elastičnosti E

Pri proračunu na djelovanje potresa uzima se kao: G = 0,167 E

Modul posmika iznosi:

$$G = 0{,}4*4780 = 1912\ \text{MPa}$$

A za potresno djelovanje:

$$G = 0{,}167*4780 = 798{,}3\ \text{MPa}$$

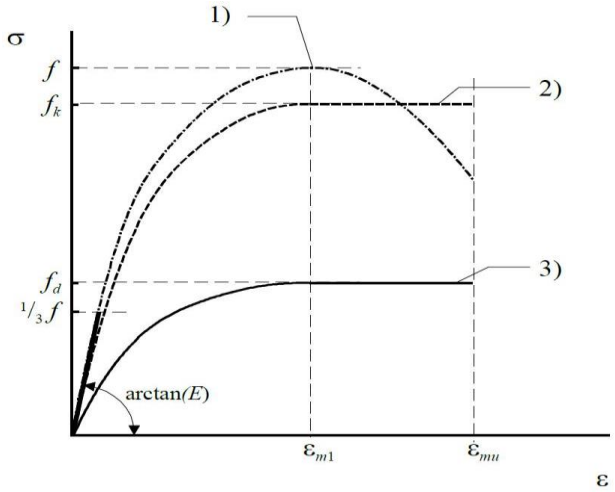
2.4.3 Odnos naprezanja i relativne deformacije (σ – ε)

Ovaj odnos je prikazan na (Slici 2.10.) kao:

1) tipični dijagram
2) idealizirani dijagram (parabola-kvadrat)
3) računski dijagram

U proračunu se $\sigma - \varepsilon$ dijagram može uzeti kao površina ispod parabole + pravokutnika ili kao pravokutnik za verifikaciju presjeka kod graničnog stanja nosivosti.

Valja imati na umu da zidni elementi s velikim šupljinama mogu imati krti slom već kod relativne deformacije $\varepsilon_{m1} = 0,002$, tj. prije horizontalnog duktilnog ponašanja (Slika 2.10.).



Slika 2.10. Računski dijagram naprezanja – relativna deformacija

Deformacijska svojstva trebala bi se odrediti eksperimentalno. U nedostatku takvih ispitivanja, vrijednosti iz tablica uzimaju se kao računske vrijednosti za puzanje, skupljanje i toplinsko širenje, a odnose se na deformacijska svojstva ziđa. Te vrijednosti su izvedene za određene vrste zidnih elemenata. Deformacijska svojstva ziđa mogu varirati značajno i zato se mora očekivati da će neke vrijednosti biti iznad, a neke ispod onih zadane u proračunu.

2.5 Zidane konstrukcije kao „energetski štedljive“ zgrade

Potrošnja energije je u svijetu posljednjih 50 godina dva puta veća nego u cijelom povijesnom razdoblju prije toga, rast potrošnje i dalje je prisutan. Uz to je veliki dio izvora energije neobnovljiv, što znači da će energija i sirovine za dobivanje energije nužno postojati sve skuplji. To će dovesti do toga da će mnogim siromašnim zemljama energija biti nedostupna.

Nažalost, Hrvatska se ne može ubrojiti u malu skupinu zemalja koje vlastitim nalazištima pokrivaju svoje potrebe za energijom. Izlaz se vidi u racionalizaciji potrošnje i štednji.

Racionalizaciji potrošnje, tj. učinkovitijem korištenju energije pristupile su mnoge razvijene zemlje Zapada već nakon prve energetske krize 1973. g.

Veliki dio energije troši se na zagrijavanje i hlađenje prostorija u zgradama. Zato je nužno za ekonomsku bilancu zemlje da se gradnja novih građevina izvede od materijala koji štede (ne rasipaju) energiju potrebnu za grijanje (hlađenje). Također u proizvodnji elemenata za gradnju troši se energija pa je potrebno rabiti materijale koji su ekonomski isplativi i po mogućnosti u blizini, kako bi se smanjili troškovi prijevoza.

Svakako je potrebno rabiti materijale koji su i ekološki prihvatljivi kako u pozajmištu materijala tako i na gradilištu. Tvornice koje proizvode građevni materijal ne bi smjele štetno djelovati na okoliš. Priroda sama prerađuje i razgrađuje otpad, no kada zagađenost prijeđe granice samorazgradnje, dolazi do ekoloških problema. Tada dolazi do postupnog uništavanja biljnog i životinjskog svijeta, koje ta posljedice može imati i umiranje šuma, zagađenje pitke vode, te nastajanje sveopćeg ekološkog problema.

Danas se u svijetu počinju reciklirati građevinski materijali. Zidni elementi su u tome lakše upotrebljiviji nego ostali građevni materijali. Drobljena opeka može poslužiti kao agregat nekim vrstama betona. Osim toga, nužno je da su materijali „zdravi“ tj. da nemaju štetnih posljedica na zdravlje korisnika takvih građevina tj. ljude koji u njima rade ili stanuju.

Kuće, poslovne zgrade i industrijska postrojenja, način njihova korištenja značajan je čimbenik u potrošnji pa samim tim i u iscrpljivanju energetskih potencijala. Tako se povećava količina zagađenja te se stvaraju veće ili manje količine kućnog industrijskog otpada.

Primjereno klimatskim uvjetima određenih regija treba ispravno toplinski izolirati zgrade. Prema nekim pokazateljima dobro toplinski izolirane zgrade skuplje su za oko 10% ali

je zato dugoročno ušteda u potrošnji energije za grijanje i/ili hlađenje i do 50% u odnosu na slabo izolirane građevine.

Za određeni tip građevine zidane konstrukcije zadovoljavaju sve navedene uvjete. Radi toga ne samo da ne treba izbjegavati zidane zgrade, a to se nastojalo posljednjih tridesetak godina 20. Stoljeća, nego ih treba uvoditi ponovo u uporabu jer su se pokazale za određene namjene bolje od armiranobetonskih. Najviše je „straha“ od zidane gradnje uzrokovalo rušenje pojedinih zgrada u potresu. No to ne znači da se zidanih zgrada treba odreći u nižoj gradnji , do 5-6 etaža. Također je znanost napredovala u osiguranju duktilnih i potresno otpornih zidanih građevina te se u svijetu sve vise rabe armirane pa i prednapete zidane konstrukcije. Današnje moderne zidane građevine zadovoljavaju zahtjeve nosivosti i stabilnosti te su racionalne u trošenju energije. Nužno je koristiti takve zidane elemente koji zadovoljavaju i s obzirom na svoju mehaničku otpornost ali i s obzirom na toplinsku izolaciju.

Ne smije se zaboraviti da mnoge danas prisutne vrste zidanih elemenata nisu dobro izolacijski projektirane., jer se kroz materijal između šupljina u zidnim elementima treba osigurati što dulji put s jedne strane na drugu stranu ziđa. Također, ziđe debljine 15,20 ili 25 cm za pojedine je klimatske zone premale debljine i kao takvo izolacijski je nepovoljno. Načini toplinskog izoliranja zgrada sjeverno-europskih zemalja nisu uvijek primjenljivi za prilike u Hrvatskoj. U južnim krajevima Hrvatske potrebno je u znatnom dijelu godine štititi prostorije od vrućine.

Za klimatske uvjet hladnih ima i vrućih ljeta najpogodnije su simetrično izolirane paropropusne opečne zgrade. To ujedno osigurava trajnost fasade.

Osim svega i sam materijal, pečena glina s dodatcima koji joj povećavaju izolacijska svojstva, ili bez njih, utječe na ekonomičnost i potrošnju energije za zagrijavanje. Problem je također u tome što katkad dobra izolacija ide na štetu čvrstoće samog zidnog elementa, pa i tu treba biti oprezan. No, takvi problemi se rješavaju dobro u zemljama zapadne Europe pa nema razloga da se njihova iskustva ne primjene i u Hrvatskoj.

Uz dobru toplinsku bilancu i štedljivost energije budućnost zidanih građevina je osigurana na zadovoljstvo njihovih stanara i napredak zemlje koja će za energiju za zagrijavanje (hlađenje) prostorija izdvajati znatno manje sredstava nego do sada.

2.6. Energetski učinkovita gradnja

Koncept „e^4 kuće od opeke“ je misao vodilja energetski učinkovite gradnje. Pri tome, ključnu ulogu igra odabir odgovarajućeg građevinskog materijala da se osobe koje grade energetski učinkoviti objekt ne moraju odreći zdravog stanovanja, kvalitete života i individualnosti. Opeka sve to omogućuje.

Značajka „e^4 kuće od opeke“ je izuzetna toplinski izolirana masivna ovojnica niskoenergetskog standarda od Porotherm opeke. Jednostruki vanjski zid je dokazano solidan i zrakonepropusan te pridonosi malom gubitku energije. Uz to, masa opeke pohranjuje energiju sunca upravo u prijelaznom razdoblju između ljeta i zime te na taj način smanjuje potrošnju energije. Osim toga „e^4 kuća od opeke“ se temelji na najmodernijoj tehnologiji grijanja i kućnoj tehnici, kao i obnovljivim izvorima energije. Pored svega toga, važan čimbenik je i ekonomičnost budući da se ulaganje u kuću treba isplatiti sada i kroz budućnost.

Energetskoj učinkovitosti se pridaje najveća pažnja. Minimalna energetska potreba kuće postiže se savršenim kombinacijom Porotherm sistema s inovativnom tehnologijom grijanja i kućanske tehnike. Masivna ovojnica objekta od opeke osigurava izvrsnu toplinsku zaštitu kao i visoku sposobnost akumulacije topline. Ovojnica od opeke čuva ljeti unutarnje prostore od pregrijavanja, a zimi ih održava ugodno toplim. Učinkovito grijanje uz kućansku tehniku dodatno smanjuje potrošnju energije.

Upotrebom ekološki prihvatljivih i ekonomičnih te obnovljivih izvora energije poput sunčeve energije, topline okoliša ili bio-mase objekt uzrokuje smanjenu proizvodnju CO_2. Želite li prilikom izgradnje objekta pridonijeti zaštiti klime, ne bi trebali smanjiti isključivo energetsku potrebu samog objekta, već i emisiju CO_2 te reducirati primarne energetske potrebe svoje kuće. Izgaranjem fosilnih goriva poput ugljena, nafte i plina, stvaraju se štetne tvari, kao na primjer ugljični dioksid. Osim toga, ta goriva prelaze dugi put od proizvođača do korisnika, a na tom putu se gubi puno energije. To se treba uzeti u obzir kod primarnih energetskih potreba. Korištenjem energije sunca, topline okoline ili bio-mase smanjuju se emisije CO_2 objekta do 93%, a pri tome se automatski smanjuje primarna energetska potreba.

Prosječni Europljanin provodi oko 90% vremena u zatvorenim prostorijama. Istraživanja pokazuju, da u njima ponekad udahne više štetnih tvari nego na prometnicama u uvjetima pojačanog prometa. Važno je voditi računa o kvaliteti zraka unutarnjeg prostora. Kada je riječ o prostorima zdravim za stanovanje neovisni Institut „Sentinel-Haus“ za zdravu

gradnju i stanovanje izričito preporučuje korištenje opeke. Ziđe diše i izjednačuje odstupanja vlažnosti zraka kao i temperaturu prostorije. Rezultat je zdrava klima unutarnjih prostorija.

Niži troškovi izgradnje i troškovi održavanja štede novac. Koncept „e4 kuće od opeke“ omogućuju zdravo stanovanje u energetski učinkovitim i održivim objektima sagrađenih od opeke, koji su uz to atraktivni i isplativi. Energetski učinkovita kuća od opeke jamči ekonomičnost i trajnu vrijednost koja dolazi do izražaja u mnogim segmentima: kraće vrijeme građenja, niži troškovi materijala, ušteda energije, niski troškovi održavanja, dugi životni vijek, sigurna investicija i visok povrat od investicije zbog visokokvalitetnog građevinskog materijala.

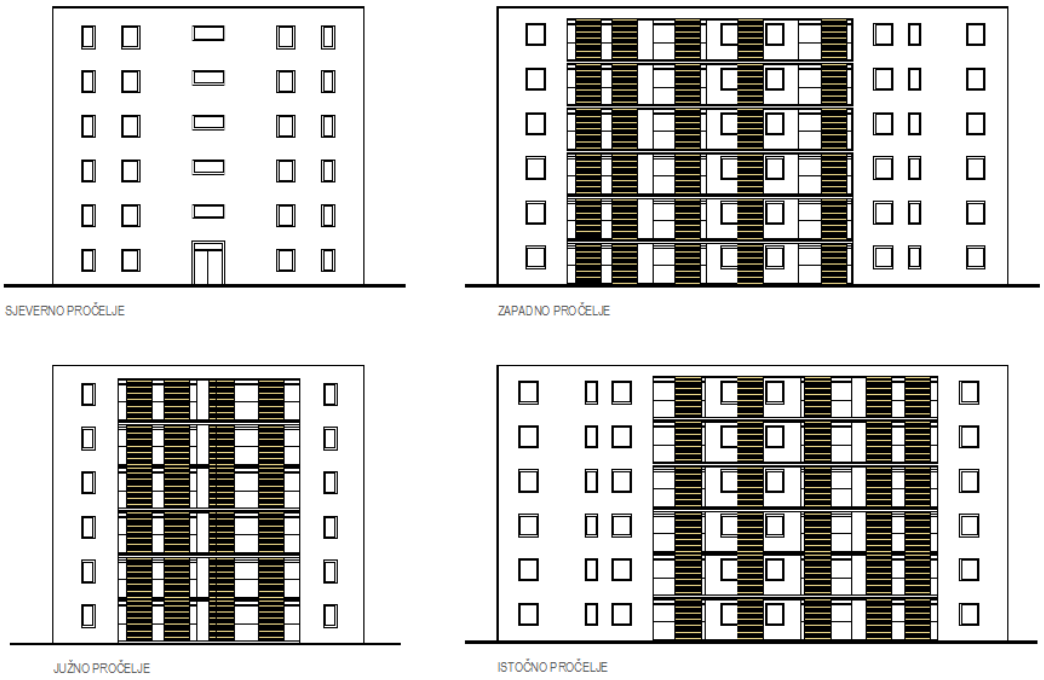
3. Tehnički opis

3.1 Općenito

Predmetne građevine su stambene zgrade tlocrtnih dimenzija L_X= 32,20 m i L_Y=19,70 m. Visina kata iznosi 2,80 m. Ukupna visina zgrade od 4 etaže iznosi 11,90 m, dok od 6 etaža iznosi 17,50 m. Površina svake pojedine etaže zgrade iznosi 634,34 m^2.

Nosivu konstrukciju čine vertikalni konstrukcijski elementi izrađeni od ziđa i armiranog betona, te horizontalni konstrukcijski elementi odnosno armirano-betonske međukatne ploče debljine 20cm. Pokrov konstrukcije čini neprohodni ravni krov izveden od AB ploče također debljine 20cm. Konstrukcija je ojačana vertikalnim i horizontalnim serklažima.

Gravitacijska djelovanja se preko međukatnih ploča prenose na zidove te horizontalne i vertikalne serklaže – do temelja. Horizontalna djelovanja se dominantno preuzimaju po zidovima.



Slika 3.1: Prikaz pročelja zgrade

3.2 Proračunski modeli

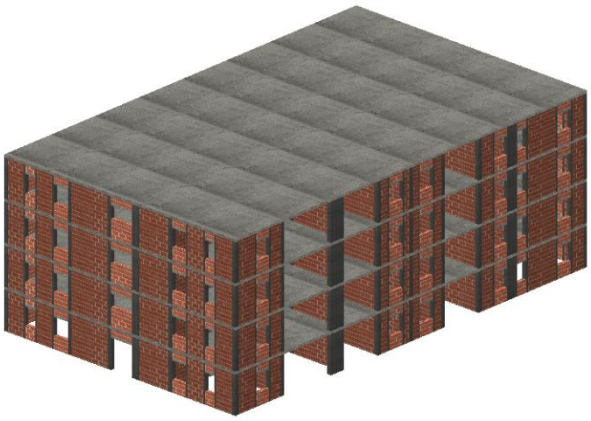
Izvršena je parametarska analiza na više različitih proračunskih modela s obzirom na broj katova, postotak ziđa, udjela AB zidova te ovisno u kojoj se potresnoj zoni nalazi promatrana zgrada. Svi modeli imaju iste tlocrtne dimenzije dok su postotci površina nosivih zidova drugačiji ovisno o potresnoj zoni. Kod nekih primjera je povećan postotak AB zidova kako bi zadovoljili uvjeti nosivosti.

Proračunski modeli su napravljeni u računalnom programu AmQuake.

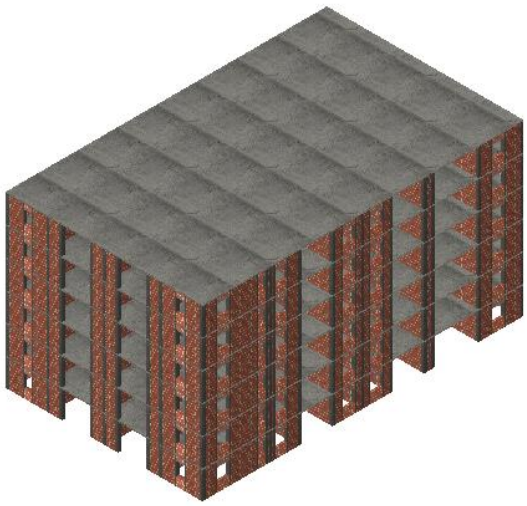
AmQuake je računalni program koji kombinirajući metodu ekvivalentnog okvira i metodu naguravanja provodi dokaz potresne otpornosti za zidane konstrukcije.

Cilj ove analize je bio provjeriti zadovoljavaju li modeli uvjete GSU i GSN, te usporediti njihovo ponašanje.

.



Slika 3.2: Model zgrade od 4 etaže izrađen u računalnom programu AmQuake



Slika 3.3: Model zgrade od 6 etaža izrađen u računalnom programu AmQuake

3.3 Konstruktivne pojedinosti

Dimenzije vertikalnih serklaža su 30x30 cm, odnosno 30x15 cm kod otvora prozora. Na par mjesta su zbog blizine vertikalnih serklaža i jednostavnosti izvedbe, te ujedno i veće nosivosti izvedeni AB zidovi dimenzija 30x60 i 30x90 cm. Zbog potrebe za većom nosivosti u nekim „zahtjevnijim“ primjerima kao što je zgrada od 6 etaža u Dubrovniku (0,300 g) su zamijenjeni zidovi od opeke za AB zidove kod skala i lifta.

Vertikalni serklaži su postavljeni prema pravilima struke, tj. vodilo se računa o najvećim mogućim razmacima koje ziđe može imati bez ojačanja vertikalnim serklažom.

Horizontalni serklaži postavljeni su u visini međukatne konstrukcije odnosno ploče, dimenzija 30x40 cm. Iznad vrata i prozora su nadvoji dimenzija 30x15 cm. Svi su AB elementi, vertikalni i horizontalni serklaži, te nadvoji izvedeni od betona klase C 30/37.

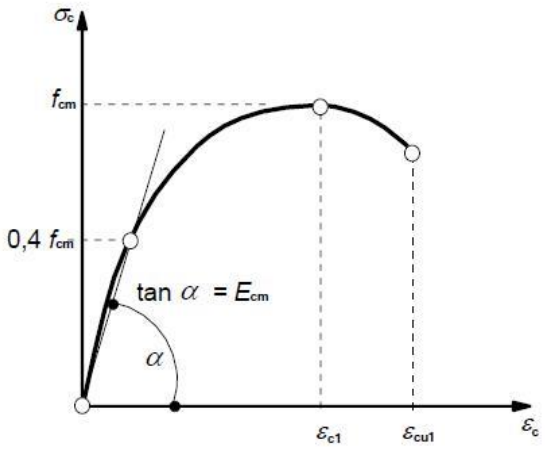
Pregradni zidovi i zidovi ispune povezani su u smjeru okomitom na vlastitu ravninu s nosivim zidovima odnosno nosivim dijelovima konstrukcije, te stropnim dijelovima konstrukcije u skladu s projektom zidane konstrukcije. Zidovi ukupno opterećenje prenose preko temelja u tlo. Ziđe je izgrađeno od blok opeke POROTHERM PROFI 30.

Temelji su trakasti, uglavnom dimenzija 1,50 x 0,80 m, na pojedinim mjestima manje, a na pojedinim veće širine ovisno o potrebnoj nosivosti i uvjetu da kontaktna naprezanja ne premaše nosivost tla. Nadtemeljni zid je dimenzija 0,30 x 0,60 m. Podna ploča je debljine 20 cm.

Svakako još jednom treba napomenuti kako nisu napravljeni detaljni proračuni za ostale konstruktivne elemente već su uzete „okvirne“ vrijednosti te je naglasak stavljen isključivo na samo ziđe i njegovo ponašanje s obzirom na određene parametre.

3.4 Beton

Elementi konstrukcije izgrađeni su od klase betona C30/37.



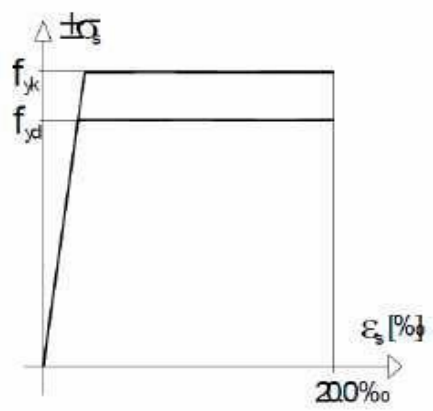
Slika 3.4: Radni dijagram betona

3.5 Čelik

Svi armirano-betonski elementi armirani su čelikom za armiranje B500B

Fizikalni parametri čelika za armiranje su:

Karakteristična vlačna i tlačna čvrstoća	f_{yk} = *500 MPa*
Modul elastičnosti	*E = 21000 MPa*



Slika 3.5: Radni dijagram čelika za armiranje

3.6 Blok opeka

Za nosive zidove zgrade upotrebljena je opeka POROTHERM 30 PROFI čija su svojstva dana u izjavi o svojstvima. Ona spada u skupinu II zidnih elemenata prema postotku šupljina i kategoriju I jer je proizvođač osigurao stalnu kontrolu kakvoće i proizvod u pošiljci ima deklariranu tlačnu čvrstoću sa 5 % fraktila.

POROTHERM 30 PROFI

Odlična toplinska, sezmička i zvučna svojsatva. Kao vezivo koristi se tankoslojni mort ili DRYFIX.extra ljepilo koji osiguravaju iznimna toplinaska svojstva, manji utrošak materijala za zidanje, a zbog suhe i brže gradnje objekti su prije spremni za useljenje. Egzaktno, vizualno lijep blok bez mortne reške te je i optimalna podloga za žbuku.



TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Dimenzije:		25x30x24,9 cm
Masa cca.:	m	12,40 kg
Tlačna čvrstoća:		10,00 N/mm²
Potrošnja opeke:		16,00 kom/m²
		53,30 kom/m³
Potrošnja morta:		3,00 l/m²
Težina za m² zida		2,77 kN/m²

Toplinska žbuka 4 cm (λ=0,08 W/mK)
U=0,39 W/m²K
Toplinska izolacija 6 cm (λ=0,04 W/mK)
U=0,28 W/m²K

FIZIKALNA SVOJSTVA

Koeficijent toplinske vodljivosti*:	λ	0,15 W/mK
Koeficijent prolaznosti topline*:	U	0,45 W/m²K
Bruto volumen:	ρ	680,00 kg/m³
Specifični toplinski kapacitet:	c	920,00 J/kgK
Faktor otpora difuzije vodene pare:	μ	5/10
Računska dozvoljena vlažnost:	Xr	2,60 %
Maksimalna dozvoljena vlažnost:	Xmax	5,40 %
Računska debljina kondenzirane vodene pare:		0,05 m
Razred raspona / Razred dopuštenih odstupanja:		T1+/R1+
Reakcija pri požaru:		A1
Otpornost na zamrzavanje:		F0
Sadržaj aktivnih topljivih soli:		S0
Grupa prema HRN EN 1996-1-1		2b

Certifikat
Tvrtka Wienerberger certificirala je unutarnju tvorničku kontrolu proizvodnje kojom se potvrđuje da je proizvođač proveo početno ispitivanje tipa proizvoda, da provodi stalnu kontrolu proizvodnje i da je ovlašteno tijelo provelo početni nadzor tvornice i početni nadzor tvorničke kontrole proizvodnje te da provodi stalni nadzor, procjenu i ocjenu tvorničke kontrole proizvodnje.
Opekarski proizvodi tvrtke Wienerberger su u potpunosti u skladu sa Zakonom o građevnim proizvodima (NN br. 86/08), Pravilnikom o ocjenjivanju sukladnosti, ispravama o sukladnosti i označavanju građevnih proizvoda (NN br. 103/08) i Tehničkim propisom za zidane konstrukcije.

Hrvatska - Certifikat Institut IGH
EU - Certifikat ZAG Ljubljana

ZVUČNE KARAKTERISTIKE

Gipsana žbuka POROTHERM 38 S PLUS zidan toplinskim mortom Toplinsko-izopacijska žbuka Silikatna žbuka	50 dB

*- zidano sa tankoslojnim mortom λ=0,80 W/mK, lagana žbuka 3 cm (λ=0,60 W/mK)
Napomena - Potrebno je izraditi statički proračun

VATROOTPORNOST

Razred požarne otpornosti (min)	REI 90

Vatrootpornost nezbukanih zidova prema Eurocode 6: Projektiranje zidanih konstrukcija 1-2: Opća pravila - Projektiranje konstrukcija na požarno djelovanje

Slika 3.6: Svojstva opeke POROTHERM 30 PROFI

POROTHERM PROFI brušena opeka prirodni je i ekološki prihvatljiv proizvod koji se s pravom još može nazvati i proizvodom budućnosti. Precizno je brušena s obje strane kontroliranim kompjuterskim procesom te je izrađena od prirodnih proizvoda - gline, pijeska i piljevine, a nakon uporabe može se 100% reciklirati.

Primjenom POROTHERM PROFI opeke osiguravamo 50% bržu gradnju, 90% manji utrošak morta, 30% bolja toplinska svojstva, minimalnu upotrebu alata i uređaja te iznimno čisto gradilište.

POROTHERM PROFI kao vezivo rabi revolucionarno POROTHERM Dryfix.Extra ljepilo. Nanošenje veziva je vrlo jednostavno i lako te na taj način osigurava iznimnu brzinu gradnje, a zbog izbjegavanja „hladnih mostova“, omogućuju maksimalnu toplinsku zaštitu. Zidanje Porotherm Dryfix.Extra moguće je i zimi do -5 C, što znatno produžuje period gradnje.

4. Analiza opterećenja

Konstrukcija treba biti planirana, projektirana i izvedena na način da tijekom predviđenog vijeka trajanja uz zadovoljavajući stupanj pouzdanosti i na ekonomičan način:

- ostane uporabiva za predviđenu namjenu
- bude u stanju podnijeti sva predviđena djelovanja i učinke tijekom izvedbe i uporabe

Proračunske situacije opisuju okolnosti u kojima konstrukcija ispunjava svoju ulogu a moraju biti dovoljno zahtjevne i tako varirane da obuhvate sve uvjete koji se mogu očekivati tijekom izvedbe i uporabe konstrukcije. Proračunski uporabni vijek je pretpostavljeno razdoblje korištenja konstrukcije uz održavanje, ali bez velikih popravaka.

Trajnost konstrukcije je njena sposobnost da tijekom svog proračunskoga uporabnog vijeka ostane sposobna za uporabu uz odgovarajuće održavanje. Treba biti projektirana ili zaštićena tako da se u periodu između uzastopnih pregleda značajno ne pogorša njena uporabljivost.

Sigurnost neke nosive konstrukcije protiv otkazivanja nosivosti općenito je uvjetovana time da njena otpornost R bude veća od ekstremnog djelovanja S, koje će na nju djelovati u vijeku njenog trajanja. Kriterij za određivanje sigurnosti nosive konstrukcije može se iskazati na sljedeći način:

$$R>S$$

Zona sigurnosti ili veličina stanja nosivosti definirana je kao razlika između otpornosti i djelovanja na konstrukciju:

$$Z=R-S$$

Granična stanja su stanja izvan kojih konstrukcija više ne zadovoljava projektom predviđene zahtjeve. Razlikuju se:

- granična stanja nosivosti – GSN (eng. ULS)
- granična stanja uporabljivosti – GSU (eng. SLS).

4.1 Djelovanja na konstrukciju

Djelovanja se klasificiraju:

Prema promjenljivosti tijekom vremena

- stalna djelovanja G (vlastita težina, nepokretna oprema (dodatno stalno), pritisak tla, pritisak vode, prednapinjanje, slijeganje oslonaca, deformacije uslijed načina izgradnje konstrukcije)

- promjenljiva djelovanja Q (uporabno opterećenje, opterećenje snijegom i opterećenje vjetrom, djelovanje temperature, opterećenje ledom, promjena razine površine vode, opterećenje valovima)
- izvanredna djelovanja A (eksplozije, udar vozila, potres, požar, slijeganje i klizanje terena).

Stalna opterećenja su ona za koje se smatra da će vjerojatno djelovati na konstrukciju u cijelom vijeku trajanja, ili imati promjenu intenziteta ali su te promjene zanemarive u odnosu na srednju vrijednost.

Promjenjiva opterećenja su ona za koje je vjerojatno da će djelovati tijekom zadane proračunske situacije te da će imati promjenu intenziteta tijekom vremena.

Izvanredna opterećenja su općenito kratkog vremena trajanja, a vjerojatnost njihovog nastupanja u planiranom vijeku trajanja je mala.

Promjenjivo djelovanje ima četiri reprezentativne vrijednosti:

- karakteristična vrijednost (Qk)
- vrijednost u kombinaciji (ψ_0Qk)
- česta vrijednost (ψ_1Qk)
- nazovistalna vrijednost (ψ_2Qk)

Vrijednost u kombinaciji (ψ_0Qk) uzima u obzir smanjenu vjerojatnost istovremenog djelovanja više promjenljivih neovisnih opterećenja s njihovom najnepovoljnijom vrijednošću. Koristi se za provjeru graničnog stanja nosivosti i nepovratnog graničnog stanja uporabljivosti. Ova kombinacija je vrlo rijetka, u vijeku trajanja konstrukcije događa se jedanput ili nijedanput.

Česta vrijednost (ψ_1Qk) koristi se za provjeru graničnog stanja nosivosti uzimajući u obzir izvanredna djelovanja i za povratna granična stanja. Ovakva česta kombinacija događa se npr. jedanput godišnje.

Nazovistalna vrijednost (ψ_2Qk) također se koristi za provjeru graničnog stanja nosivosti uzimajući u obzir izvanredna djelovanja te za povratna granična stanja uporabljivosti. Nazovistalna kombinacija događa se npr. jedan put tjedno.

4.2. Stalno djelovanje

U računalnom modelu vlastita težina nosive konstrukcije je zadana s G_0=5,0 kN/m^2, a dodatno stalno opterećenje je zadano s G_1=2,3 kN/m^2.

Dok je u proračunu pojednostavljenim postupkom to prikazano zbrojeno kao stalno djelovanje u iznosu od G=7,3 kN/m^2.

4.3 Uporabno opterećenje

Uporabna opterećenja se uglavnom svrstavaju u promjenljiva i slobodna. Uporabno opterećenje u zgradama je ono koje proizlazi iz samog korištenja i uglavnom je modelirano jednoliko raspoređenim opterećenjem. Karakteristične vrijednosti ove vrste opterećenja dane su u ovisnosti o namjeni. U nekim slučajevima važna su i koncentrirana uporabna opterećenja i to sama ili u kombinaciji s kontinuiranim opterećenjem. Prostorije u zgradama ovisno o namjeni svrstane su u pet osnovnih razreda i neke podrazrede s odgovarajućim karakterističnim opterećenjem.

A	Stambene prostorije, odjeljenja u bolnicama, hotelske sobe
B	Uredi
C	Površine na kojima je moguće okupljanje ljudi (5 podrazreda prema vjerojatnoj gustoći okupljanja i gužve)
D	Prodajne površine
E	Površine za skladištenje

Tablica 4.1. Razredi prostorija

Opterećenje	qk [kN/m2]	Qk [kN]
A - općenito	2,0	2,0
- stubišta	3,0	2,0
- balkoni	4,0	2,0
B	3,0	2,0
C - C1	3,0	4,0
- C2	4,0	4,0
- C3	5,0	4,0
- C4	5,0	7,0
- C5	5,0	4,0
D - D1	5,0	4,0
- D2	5,0	7,0
E	6,0	7,0

Tablica 4.2. Uporabna opterećenja u zgradama

U računalnom modelu uporabno opterećenje je zadano s Q=2,0 kN/m^2, dok je u pojednostavljenom postupku uzeto Q=2,0 kN/m^2 za svaki kat i za krov Q=1,0 kN/m^2 .

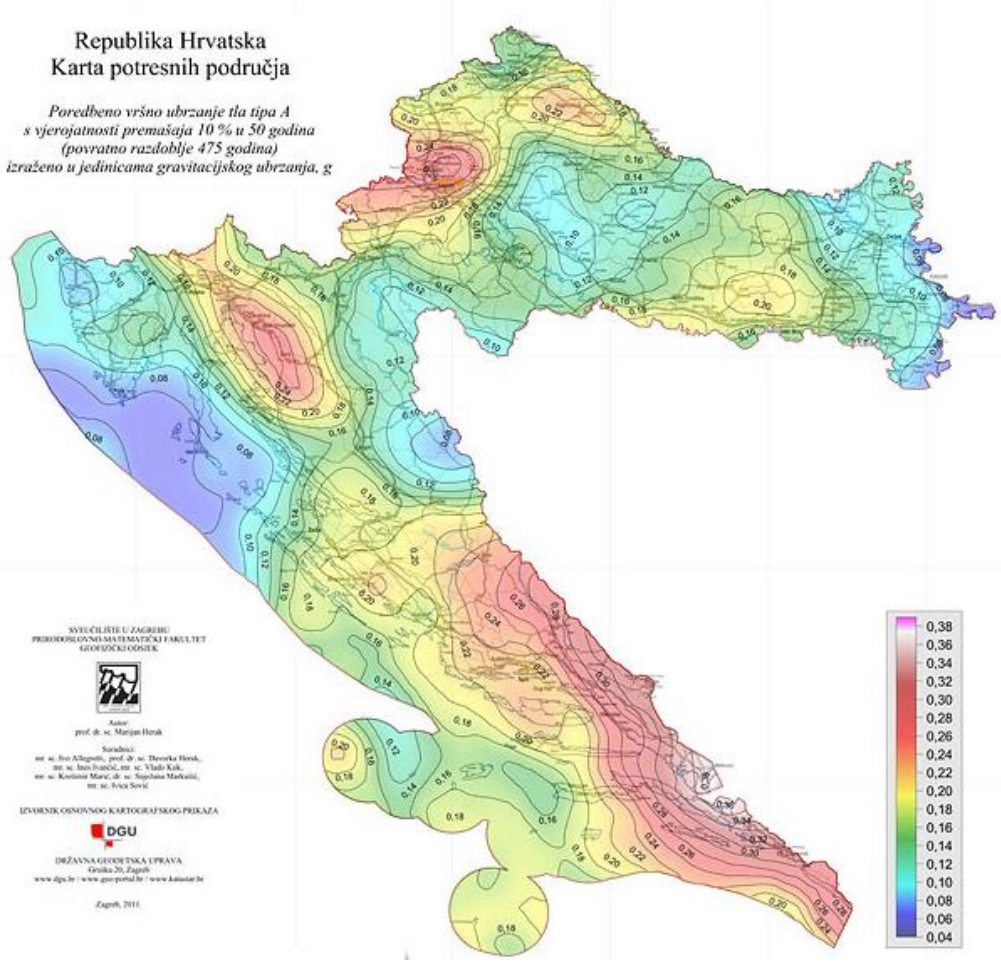
4.4 Opterećenje potresom

Računsko ubrzanje tla ovisno o području na kojima se nalaze promatrani gradovi prikazano je u (Tablica 4.3.), dok je faktor ponašanja za ovakvu vrstu građevine usvojen q = 2,5. Uzeta je kategorija tla tipa A za sva područja.

Grad	**DUBROVNIK**	**ZAGREB**	**RIJEKA**	**SPLIT**	**ZADAR**	**OSIJEK**
a_g	**0,300 g**	**0,250 g**	**0,225 g**	**0,220 g**	**0,175 g**	**0,150 g**

Tablica 4.3: Računsko ubrzanje tla po gradovima

Potres se razmatra kao fenomen velike količine energije i veoma je kratkog trajanja. Seizmičko djelovanje određuje se preko računskog ubrzanja tla a_g koje odgovara povratnom periodu potresa od 475 godina. Računsko ubrzanje tla ovisi o stupnju seizmičkog rizika i određuje se na temelju odgovarajućih seizmoloških ispitivanja lokacije građevine ili prema usvojenim vrijednostima za seizmička područja državnog teritorija. Računska ubrzanja tla daju se državnim propisima.



Slika 4.1: Karta potresnih područja

5. Pojednostavljeni proračun

Pravila za jednostavne zidane zgrade (prema EC 8) koja osiguravaju dovoljnu tlačnu nosivost ziđa kao i pravilan raspored elemenata građevine jesu:

1. Potrebno je ograničiti dopušteni broj katova iznad temeljnog tla n ovisno o umnošku *asS* za lokaciju i tip gradnje, a u oba ortogonalna smjera treba predvidjeti nosive zidove čija je najmanje površina presjeka A_{min} izražena kao najmanji postotak ukupne površine stropa po katu $p_{A,min}$.
2. Tlocrt zgrade treba biti približno pravokutnog oblika s omjerom ne većim od 4.
3. Građevina mora biti ukrućena nosivim zidovima sa simetričnim rasporedom u odnosu na središte zgrade.
4. Središte krutosti i središte masa zgrade trebali bi se poklapati.
5. U oba horizontalna smjera razlika masa i razlika površina presjeka nosivih zidova.

   susjednih katova treba biti ograničena maksimalnim vrijednostima $_{m,max}$=20% i

   A,max=20% .
6. Omjer horizontalne površine zidova i površine kata dat je tablično:

Vršno ubrzanja tla	a<0,20g	0,20ga<a<0,30g	a<0,30g
Nearmirano ziđe	3%	5%	6%
Omeđeno i armirano ziđe	2%	**4%**	5%

Tablica 5.1. Omjeri površine zidova i katova

7. Omjer katne visine i duljine zida (h/l) ne smije biti veći od 2 za nearmirane, niti 3 za omeđene zidove.
8. Nearmiran, nepovezan zid ne smije biti dulji od 7m.

5.1 Proračun zidova na vertikalna opterećenja

Podaci za proračun zidova:

blok opeka, dimenzije: $\mathbf{d \cdot š \cdot v = 30.0 \cdot 25.0 \cdot 24.9\ cm}$

srednja tlačna čvrstoća bloka: $\mathbf{f_{ck,sred} = 10,0\ MPa}$

normalizirana tlačna čvrstoća bloka: $\mathbf{f_b = 10,0 \cdot \delta = 10,0 \cdot 1.15 = 11,5\ MPa}$

grupa zidnih blokova: 2a (K=0.55)

mort: M10 ($\mathbf{f_m = 10,0\ MPa}$)

tlačna čvrstoća ziđa: $\mathbf{f_k = K \cdot f_b^{0.65} \cdot f_m^{0.25} = 0.55 \cdot 11,5^{0.65} \cdot 10,0^{0.25} = 4,78\ MPa}$

faktor smanjenja za vitkost i ekscentričnost: $\mathbf{\Phi_{i,m} = 0.77}$ (na strani sigurnosti)

parcijalni koef. sigurnosti za materijale: $\mathbf{\gamma_M = 2.2}$ (razred proizvodnje I., razred izvedbe B.)

debljina nosivih zidova: t=30 cm

računska uzdužna sila: $\mathbf{N_{Ed} = N_g \cdot 1.35 + N_q \cdot 1.5}$

računska nosivost na uzdužnu silu: $\mathbf{N_{Rd} = \Phi_{i,m} \cdot A \cdot f_k / \gamma_M}$

U proračunu zidova na vertikalna djelovanja dokazuje se da je

$$\mathbf{N_{Ed} < N_{Rd}}$$

Proračun se provodi tablično kako je prikazano na slijedećoj stranici gdje je:

L = računska duljina zida [m]

t = debljina zida [m]

g = stalno opterećenje po jednoj međukatnoj konstrukciji

q = promjenjivo opterećenje po jednoj međukatnoj konstrukciji

g_z = vlastita težina zida; $\mathbf{g_z = t \cdot \gamma_z + g_{žbuke} = 0.30 \cdot 10.0 + 0.50 = 3.50\ kN/m2}$

L' i b' = utjecajna duljina i širina međukatne ploče koja se oslanja na zid [m]

n = broj etaža (broj međukatnih ploča)

Ng = vertikalno stalno djelovanje: $Ng = (g \cdot L' \cdot b' + g_z \cdot h) \cdot n$

Nq = vertikalno promjenjivo djelovanje: $Ng = (q \cdot L' \cdot b') \cdot n$

o = duljina otvora [m]

A_z = računska površina zida: $A_z = (L-o) \cdot t$ [m]

5.2. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja

5.2.1 4 etaže (Model I)

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer X

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_M= 2,20	-parcijalni faktor sigurnosti za zide	Ukupna tlocrtna površina = 634,34
f_k= 4,78	(MPa)	-tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	-parcijalni faktor sigurnosti za beton	Površina zidova (X smjer) = 28,65
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 4	- broj etaža	Postotak površine zidova = 4,52%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	384	65	620	0,77	1656	37	9,35
Z-1/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	645	125	1064	0,77	1857	57	17,82
Z-1/H-J	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	802	138	1298	0,77	3388	38	19,71
Z-2/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1054	181	1706	0,77	4467	38	25,87
Z-3/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	519	88	838	0,77	2259	37	12,60
Z-5/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	2129	373	3455	0,77	8582	40	53,25
Z-6/I-J	0,30	7,00	0,00	2,10	7,00	3,65	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	981	179	1603	0,77	3513	46	25,55
Z-7/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	2129	373	3455	0,77	8582	40	53,25
Z-8/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	467	76	748	0,77	2259	33	10,80
Z-9/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1054	181	1706	0,77	4467	38	25,87
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	384	65	620	0,77	1656	37	9,35
Z-10/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	645	125	1064	0,77	1857	57	17,82
Z-10/H-J	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	802	138	1298	0,77	3388	38	19,71
		119,60	24,10	95,50														300,95

Slika 5.2: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za x smjer

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer Y

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_M= 2,20	- parcijalni faktor sigurnosti za zide	Ukupna tlocrtna površina = 634,34
f_k= 4,78	(MPa)	- tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	- parcijalni faktor sigurnosti za beton	Površina zidova (Y smjer) = 30,68
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 4	-broj etaža	Postotak površine zidova = 4,84%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,00	2,13	10,10	1,90	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	799	134	1288	0,77	3563	36	19,19
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,00	2,01	9,50	1,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	697	113	1117	0,77	3363	33	16,15
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,00	0,90	3,00	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	241	34	378	0,77	1506	25	4,80
Z-C/1-5	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	3,30	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	454	87	747	0,77	1380	54	12,38
Z-C/7-10	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	3,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	432	81	709	0,77	1380	51	11,63
Z-D/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1262	229	2061	0,77	4567	45	32,76
Z-D/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1262	229	2061	0,77	4567	45	32,76
Z-E/1-2	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	377	68	615	0,77	1380	45	9,75
Z-E/9-10	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	377	68	615	0,77	1380	45	9,75
Z-F/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	4,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1395	261	2289	0,77	4567	50	37,31
Z-F/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	4,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1395	261	2289	0,77	4567	50	37,31
Z-G/1-2	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	377	68	615	0,77	1380	45	9,75
Z-G/9-10	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	377	68	615	0,77	1380	45	9,75
Z-H/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,90	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1076	185	1741	0,77	4567	38	26,39
Z-H/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1023	172	1650	0,77	4567	36	24,57
Z-I/4-8	0,30	4,45	0,00	1,34	5,45	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	500	84	805	0,77	2233	36	11,99
Z-J/1-2	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	369	60	592	0,77	1782	33	8,56
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,00	0,84	4,80	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	430	81	706	0,77	1405	50	11,52
Z-J/9-10	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	369	60	592	0,77	1782	33	8,56
		107,85	5,60	102,25														334,87

Slika 5.3: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za y smjer

5.2.2 4 etaže (Model II)

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer X

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_{Mi}= 2,20	-parcijalni faktor sigurnosti za zide	Ukupna tlocrtna površina = 634,34
f_k= 4,78	(MPa)	-tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	-parcijalni faktor sigurnosti za beton	Površina zidova (X smjer) = 32,88
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 4	- broj etaža	Postotak površine zidova = 5,18%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	352	58	565	0,77	1656	34	8,25
Z-1/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	503	91	820	0,77	1857	44	12,96
Z-1/H-J	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	706	115	1133	0,77	3388	33	16,43
Z-2/E-G	0,30	6,10	2,10	1,20	6,10	1,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	384	60	612	0,77	2008	30	8,54
Z-2/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	996	167	1606	0,77	4467	36	23,88
Z-3/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	493	82	793	0,77	2259	35	11,70
Z-4/D-E	0,30	3,05	0,00	0,92	3,05	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	245	34	384	0,77	1531	25	4,88
Z-4/G-H	0,30	3,05	0,00	0,92	3,05	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	245	34	384	0,77	1531	25	4,88
Z-5/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1881	313	3027	0,77	8582	35	44,73
Z-6/I-J	0,30	7,00	0,00	2,10	7,00	3,65	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	981	179	1603	0,77	3513	46	25,55
Z-7/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	2254	403	3669	0,77	8582	43	57,51
Z-8/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	467	76	748	0,77	2259	33	10,80
Z-9/E-G	0,30	6,10	2,10	1,20	6,10	1,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	384	60	612	0,77	2008	30	8,54
Z-9/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	996	167	1606	0,77	4467	36	23,88
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	352	58	565	0,77	1656	34	8,25
Z-10/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	503	91	820	0,77	1857	44	12,96
Z-10/H-K	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	706	115	1133	0,77	3388	33	16,43
		137,90	28,30	109,60														300,16

Slika 5.4: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za x smjer

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer Y

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_{Mi}= 2,20	- parcijalni faktor sigurnosti za zide	Ukupna tlocrtna površina = 634,34
f_k= 4,78	(MPa)	- tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	- parcijalni faktor sigurnosti za beton	Površina zidova (Y smjer) = 37,85
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 4	-broj etaža	Postotak površine zidova = 5,97%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,00	2,13	10,10	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	681	106	1085	0,77	3563	30	15,15
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,00	2,01	9,50	1,30	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	586	86	926	0,77	3363	28	12,35
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,00	0,90	3,00	1,00	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	188	21	288	0,77	1506	19	3,00
Z-C/1-5	0,30	9,10	0,90	2,46	9,10	3,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1126	204	1837	0,77	4116	45	29,12
Z-C/7-10	0,30	9,10	0,90	2,46	9,10	3,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1099	197	1791	0,77	4116	44	28,21
Z-D/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1209	217	1969	0,77	4567	43	30,94
Z-D/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1209	217	1969	0,77	4567	43	30,94
Z-E/1-2	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	451	73	723	0,77	2183	33	10,44
Z-E/9-10	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	451	73	723	0,77	2183	33	10,44
Z-F/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	890	140	1421	0,77	4567	31	20,02
Z-F/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	890	140	1421	0,77	4567	31	20,02
Z-G/1-2	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	451	73	723	0,77	2183	33	10,44
Z-G/9-10	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	451	73	723	0,77	2183	33	10,44
Z-H/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1050	178	1695	0,77	4567	37	25,48
Z-H/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	997	166	1604	0,77	4567	35	23,66
Z-I/1-2	0,30	4,35	1,05	0,99	4,35	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	301	46	478	0,77	1656	29	6,53
Z-I/4-8	0,30	4,45	0,00	1,34	5,45	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	500	84	805	0,77	2233	36	11,99
Z-I/9-10	0,30	4,35	1,05	0,99	4,35	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	301	46	478	0,77	1656	29	6,53
Z-J/1-2	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	369	60	592	0,77	1782	33	8,56
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,00	0,84	4,80	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	430	81	706	0,77	1405	50	11,52
Z-J/9-10	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	369	60	592	0,77	1782	33	8,56
		135,65	9,50	126,15														334,33

Slika 5.5: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za y smjer

5.2.3 6 etaža (Model I)

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer X

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_M= 2,20	-parcijalni faktor sigurnosti za zide	
f_k= 4,78	(MPa)	-tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	-parcijalni faktor sigurnosti za beton	
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 6	- broj etaža	

Ukupna tlocrtna površina =	634,34
Površina zidova (X smjer) =	28,65
Postotak površine zidova =	4,52%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	576	103	937	0,77	1656	57	9,35
Z-1/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	967	196	1609	0,77	1857	87	17,82
Z-1/H-J	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1203	217	1962	0,77	3388	58	19,71
Z-2/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1582	285	2578	0,77	4467	58	25,87
Z-3/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	779	139	1267	0,77	2259	56	12,60
Z-5/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	3194	586	5223	0,77	8582	61	53,25
Z-6/I-J	0,30	7,00	0,00	2,10	7,00	3,65	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1472	281	2423	0,77	3513	69	25,55
Z-7/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	3194	586	5223	0,77	8582	61	53,25
Z-8/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	700	119	1130	0,77	2259	50	10,80
Z-9/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1582	285	2578	0,77	4467	58	25,87
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	576	103	937	0,77	1656	57	9,35
Z-10/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	967	196	1609	0,77	1857	87	17,82
Z-10/H-J	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1203	217	1962	0,77	3388	58	19,71
		119,60	24,10	95,50														300,95

Slika 5.6: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za x smjer

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer Y

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_M= 2,20	- parcijalni faktor sigurnosti za zide	
f_k= 4,78	(MPa)	- tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	- parcijalni faktor sigurnosti za beton	
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 6	-broj etaža	

Ukupna tlocrtna površina =	634,34
Površina zidova (Y smjer) =	30,68
Postotak površine zidova =	4,84%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,00	2,13	10,10	1,90	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1198	211	1946	0,77	3563	55	19,19
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,00	2,01	9,50	1,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1045	178	1688	0,77	3363	50	16,15
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,00	0,90	3,00	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	361	53	571	0,77	1506	38	4,80
Z-C/1-5	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	3,30	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	681	136	1130	0,77	1380	82	12,38
Z-C/7-10	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	3,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	648	128	1073	0,77	1380	78	11,63
Z-D/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1894	360	3116	0,77	4567	68	32,76
Z-D/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1894	360	3116	0,77	4567	68	32,76
Z-E/1-2	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	566	107	930	0,77	1380	67	9,75
Z-E/9-10	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	566	107	930	0,77	1380	67	9,75
Z-F/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	4,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	2093	410	3462	0,77	4567	76	37,31
Z-F/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	4,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	2093	410	3462	0,77	4567	76	37,31
Z-G/1-2	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	566	107	930	0,77	1380	67	9,75
Z-G/9-10	0,30	2,75	0,00	0,83	3,75	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	566	107	930	0,77	1380	67	9,75
Z-H/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,90	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1615	290	2631	0,77	4567	58	26,39
Z-H/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1535	270	2493	0,77	4567	55	24,57
Z-I/4-8	0,30	4,45	0,00	1,34	5,45	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	749	132	1217	0,77	2233	54	11,99
Z-J/1-2	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	554	94	894	0,77	1782	50	8,56
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,00	0,84	4,80	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	646	127	1068	0,77	1405	76	11,52
Z-J/9-10	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	554	94	894	0,77	1782	50	8,56
		107,85	5,60	102,25														334,87

Slika 5.7: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za y smjer

5.2.2 6 etaža (Model II)

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer X

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_M= 2,20	-parcijalni faktor sigurnosti za zide	
f_k= 4,78	(MPa)	-tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	-parcijalni faktor sigurnosti za beton	
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 6	- broj etaža	

Ukupna tlocrtna površina =	634,34
Površina zidova (X smjer) =	32,88
Postotak površine zidova =	5,18%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	528	91	854	0,77	1656	52	8,25
Z-1/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	754	143	1239	0,77	1857	67	12,96
Z-1/H-J	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1060	181	1712	0,77	3388	51	16,43
Z-2/E-G	0,30	6,10	2,10	1,20	6,10	1,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	576	94	924	0,77	2008	46	8,54
Z-2/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1495	263	2427	0,77	4467	54	23,88
Z-3/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	739	129	1198	0,77	2259	53	11,70
Z-4/D-E	0,30	3,05	0,00	0,92	3,05	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	367	54	580	0,77	1531	38	4,88
Z-4/G-H	0,30	3,05	0,00	0,92	3,05	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	367	54	580	0,77	1531	38	4,88
Z-5/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	2821	492	4575	0,77	8582	53	44,73
Z-6/I-J	0,30	7,00	0,00	2,10	7,00	3,65	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1472	281	2423	0,77	3513	69	25,55
Z-7/C-I	0,30	21,30	4,20	5,13	21,30	2,70	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	3381	633	5547	0,77	8582	65	57,51
Z-8/A-C	0,30	4,50	0,00	1,35	4,50	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	700	119	1130	0,77	2259	50	10,80
Z-9/E-G	0,30	6,10	2,10	1,20	6,10	1,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	576	94	924	0,77	2008	46	8,54
Z-9/H-J	0,30	9,95	1,05	2,67	9,95	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1495	263	2427	0,77	4467	54	23,88
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,20	0,99	5,50	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	528	91	854	0,77	1656	52	8,25
Z-10/E-G	0,30	6,10	2,40	1,11	8,10	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	754	143	1239	0,77	1857	67	12,96
Z-10/H-K	0,30	9,95	3,20	2,03	10,95	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1060	181	1712	0,77	3388	51	16,43
		137,90	28,30	109,60														300,16

Slika 5.8: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za x smjer

Dokaz mehaničke otpornosti zida i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3) - smjer Y

h= 2,80	(m)	- katna visina	γ_M= 2,20	- parcijalni faktor sigurnosti za zide	
f_k= 4,78	(MPa)	- tlačna čvrstoća zida	γ_c= 1,50	- parcijalni faktor sigurnosti za beton	
$f_{c,k}$= 30,0	(MPa)	- tlačna čvrstoća betona	n= 6	-broj etaža	

Ukupna tlocrtna površina =	634,34
Površina zidova (Y smjer) =	37,85
Postotak površine zidova =	5,97%

zid	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa Ai [m2]	utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	vl. težina zida [kN/m3]	vertikalno djelovanje N_g [kN]	vertikalno djelovanje N_q [kN]	računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Sd}/N_{Rd} [%]	kontrola utjecajnih širina
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,00	2,13	10,10	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1021	167	1639	0,77	3563	46	15,15
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,00	2,01	9,50	1,30	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	879	136	1399	0,77	3363	42	12,35
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,00	0,90	3,00	1,00	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	283	33	434	0,77	1506	29	3,00
Z-C/1-5	0,30	9,10	0,90	2,46	9,10	3,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1689	320	2777	0,77	4116	67	29,12
Z-C/7-10	0,30	9,10	0,90	2,46	9,10	3,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1649	310	2708	0,77	4116	66	28,21
Z-D/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1814	340	2977	0,77	4567	65	30,94
Z-D/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	3,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1814	340	2977	0,77	4567	65	30,94
Z-E/1-2	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	677	115	1092	0,77	2183	50	10,44
Z-E/9-10	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	677	115	1092	0,77	2183	50	10,44
Z-F/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1336	220	2147	0,77	4567	47	20,02
Z-F/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1336	220	2147	0,77	4567	47	20,02
Z-G/1-2	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	677	115	1092	0,77	2183	50	10,44
Z-G/9-10	0,30	4,35	0,00	1,31	4,35	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	677	115	1092	0,77	2183	50	10,44
Z-H/1-5	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,80	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1575	280	2562	0,77	4567	56	25,48
Z-H/7-10	0,30	9,10	0,00	2,73	9,10	2,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	1495	260	2424	0,77	4567	53	23,66
Z-I/1-2	0,30	4,35	1,05	0,99	4,35	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	452	72	723	0,77	1656	44	6,53
Z-I/4-8	0,30	4,45	0,00	1,34	5,45	2,20	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	749	132	1217	0,77	2233	54	11,99
Z-I/9-10	0,30	4,35	1,05	0,99	4,35	1,50	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	452	72	723	0,77	1656	44	6,53
Z-J/1-2	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	554	94	894	0,77	1782	50	8,56
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,00	0,84	4,80	2,40	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	646	127	1068	0,77	1405	76	11,52
Z-J/9-10	0,30	4,35	0,80	1,07	5,35	1,60	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	554	94	894	0,77	1782	50	8,56
		135,65	9,50	126,15														334,33

Slika 5.9: Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja za y smjer

5.3 Proračun ukupne potresne poprečne sile i ukupnog momenta

5.3.1 4 etaže (Model I)

PRORAČUN UKUPNE POTRESNE POPREČNE SILE I UKUPNOG MOMENTA

BROJ ETAŽA:	4

POTRESNI PARAMETRI :	
Faktor ponasanja (q)	2,5
Potresno ubrzanje (ag)	0,175
Faktor za tip tla (S)	1
Ordinata Sd(T1)	0,175

RAČUNSKA TEŽINA (KROV):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	682,35
Zidovi (kN)	2422,44
Ukupno (kN)	7925,77

RAČUNSKA TEŽINA (KAT):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	682,35
Zidovi (kN)	1937,95
Ukupno (kN)	7441,28

SKONCETRIRANE TEŽINE U RAZINI M.K. :	
Krov (kN)	3962,89
Krov-1 (kN)	7683,53
Kat (kN)	7441,28

OSNOVNE KARAKTERISTIKE	
Katna visina (m)	2,8
Površina etaže (m2)	634,34
Debljina zida (m)	0,3

HORIZONTALNI SERKLAŽI:	
Širina serklaža (m)	0,3
Visina serklaža (m)	0,4
Duljina serklaža (m)	227,45

OPTEREĆENJA (kN/m3):	
G (betona)	25

OPTEREĆENJA (kN/m2):	
G (zidovi)	3,5
G (krov)	7,3
Q (krov)	1
G (kat)	7,3
Q (kat)	2

UKUPNA POTRESNA POPREČNA SILA (Fb):		
Ved =	4642,57	kN

RAZDIOB UKUPNE POTRESNE SILE :	
Fb-krov (kN)	1201,97
Fb-3 (kN)	1747,85
Fb-2 (kN)	1128,50
Fb-1 (kN)	564,25

UKUPNI MOMENT :		
Med =	36043,54	kNm

Ukupna računska težina zgrade (kN)	26528,98
Ukupna računska masa zgrade (t)	2704,28
Specifična računska težina zgrade (kn/m2)	10,46

	L-zidova (m)	L-otvora (m)	Duljina neto (m)	P-zidova (m2)	Postotak zidova
X	119,60	24,10	95,50	28,65	4,52%
Y	107,85	5,60	102,25	30,68	4,84%
UK	227,45	29,70	197,75	59,33	9,35%

Slika 5.10: Proračun ukupne potresne poprečne sile i ukupnog momenta za 4 etaže

5.3.2 4 etaže (Model II)

PRORAČUN UKUPNE POTRESNE POPREČNE SILE I UKUPNOG MOMENTA

BROJ ETAŽA:	4

POTRESNI PARAMETRI :	
Faktor ponasanja (q)	2,5
Potresno ubrzanje (ag)	0,3
Faktor za tip tla (S)	1
Ordinata Sd(T1)	0,3

RAČUNSKA TEŽINA (KROV):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	820,65
Zidovi (kN)	2887,94
Ukupno (kN)	8529,57

RAČUNSKA TEŽINA (KAT):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	820,65
Zidovi (kN)	2310,35
Ukupno (kN)	7951,98

SKONCETRIRANE TEŽINE U RAZINI M.K. :	
Krov (kN)	4264,79
Krov-1 (kN)	8240,78
Kat (kN)	7951,98

Ukupna računska težina zgrade (kN)	28409,53
Ukupna računska masa zgrade (t)	2895,98
Specifična računska težina zgrade (kn/m2)	11,20

OSNOVNE KARAKTERISTIKE	
Katna visina (m)	2,8
Površina etaže (m2)	634,34
Debljina zida (m)	0,3

HORIZONTALNI SERKLAŽI:	
Širina serklaža (m)	0,3
Visina serklaža (m)	0,4
Duljina serklaža (m)	273,55

UKUPNA POTRESNA POPREČNA SILA (Fb):		
Ved =	8522,86	kN

RAZDIOB UKUPNE POTRESNE SILE :	
Fb-krov (kN)	2215,09
Fb-3 (kN)	3210,13
Fb-2 (kN)	2065,09
Fb-1 (kN)	1032,55

UKUPNI MOMENT :		
Med =	66229,75	kNm

OPTEREĆENJA (kN/m3):	
G (betona)	25

OPTEREĆENJA (kN/m2):	
G (zidovi)	3,5
G (krov)	7,3
Q (krov)	1
G (kat)	7,3
Q (kat)	2

	L-zidova (m)	L-otvora (m)	Duljina neto (m)	P-zidova (m2)	Postotak zidova
X	137,90	28,30	109,60	32,88	5,18%
Y	135,65	9,50	126,15	37,85	5,97%
UK	273,55	37,80	235,75	70,73	11,15%

Slika 5.11: Proračun ukupne potresne poprečne sile i ukupnog momenta za 4 etaže

Grad	ag	Ved	Med
Osijek	0,150	4261,43	33114,88
Zadar	0,175	4971,67	38634,02
Split	0,220	6250,10	48568,49
Rijeka	0,225	6392,14	49762,32
Zagreb	0,250	7102,38	55191,46
Dubrovnik	0,300	8522,56	66229,75

Tablica 5.2: Prikaz poprečnih sila i momenata ovisno o potresnoj zoni (4 etaže)

5.3.3 6 etaža (Model I)

PRORAČUN UKUPNE POTRESNE POPREČNE SILE I UKUPNOG MOMENTA

BROJ ETAŽA:	6

POTRESNI PARAMETRI :	
Faktor ponasanja (q)	2,5
Potresno ubrzanje (ag)	0,15
Faktor za tip tla (S)	1
Sd(T1)	0,15

RAČUNSKA TEŽINA (KROV):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	682,35
Zidovi (kN)	2422,44
Ukupno (kN)	7925,77

RAČUNSKA TEŽINA (KAT):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	682,35
Zidovi (kN)	1937,95
Ukupno (kN)	7441,28

SKONCETRIRANE TEŽINE U RAZINI M.K. :	
Krov (kN)	3962,89
Krov-1 (kN)	7683,53
Kat (kN)	7441,28

Ukupna računska težina zgrade (kN)	41411,55
Ukupna računska masa zgrade (t)	4221,36
Specifična računska težina zgrade (kn/m2)	10,88

OSNOVNE KARAKTERISTIKE	
Katna visina (m)	2,8
Površina etaže (m2)	634,34
Debljina zida (m)	0,3

HORIZONTALNI SERKLAŽI:	
Širina serklaža (m)	0,3
Visina serklaža (m)	0,4
Duljina serklaža (m)	227,45

UKUPNA POTRESNA POPREČNA SILA (Fb):		
Ved =	6211,73	kN

RAZDIOB UKUPNE POTRESNE SILE :	
Fb-krov (kN)	1081,19
Fb-5 (kN)	1746,90
Fb-4 (kN)	1353,46
Fb-3 (kN)	1015,09
Fb-2 (kN)	676,73
Fb-1 (kN)	338,36

UKUPNI MOMENT :		
Med =	59366,35	kNm

OPTEREĆENJA (kN/m3):	
G (betona)	25

OPTEREĆENJA (kN/m2):	
G (zidovi)	3,5
G (krov)	7,3
Q (krov)	1
G (kat)	7,3
Q (kat)	2

	L-zidova (m)	L-otvora (m)	Duljina neto (m)	P-zidova (m2)	Postotak zidova
X	119,60	24,10	95,50	28,65	4,52%
Y	107,85	5,60	102,25	30,68	4,84%
UK	227,45	29,70	197,75	59,33	9,35%

Slika 5.12: Proračun ukupne potresne poprečne sile i ukupnog momenta za 6 etaža

5.3.3 6 etaža (Model II)

PRORAČUN UKUPNE POTRESNE POPREČNE SILE I UKUPNOG MOMENTA

BROJ ETAŽA:	6

POTRESNI PARAMETRI :	
Faktor ponasanja (q)	2,5
Potresno ubrzanje (ag)	0,3
Faktor za tip tla (S)	1
Sd(T1)	0,3

OSNOVNE KARAKTERISTIKE	
Katna visina (m)	2,8
Površina etaže (m2)	634,34
Debljina zida (m)	0,3

HORIZONTALNI SERKLAŽI:	
Širina serklaža (m)	0,3
Visina serklaža (m)	0,4
Duljina serklaža (m)	273,55

OPTEREĆENJA (kN/m3):	
G (betona)	25

OPTEREĆENJA (kN/m2):	
G (zidovi)	3,5
G (krov)	7,3
Q (krov)	1
G (kat)	7,3
Q (kat)	2

RAČUNSKA TEŽINA (KROV):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	820,65
Zidovi (kN)	2887,94
Ukupno (kN)	8529,57

UKUPNA POTRESNA POPREČNA SILA (Fb):		
Ved =	13294,05	kN

RAČUNSKA TEŽINA (KAT):	
Ploča (kN)	4820,98
Grede (kN)	820,65
Zidovi (kN)	2310,35
Ukupno (kN)	7951,98

RAZDIOB UKUPNE POTRESNE SILE :	
Fb-krov (kN)	2325,01
Fb-5 (kN)	3743,81
Fb-4 (kN)	2890,09
Fb-3 (kN)	2167,57
Fb-2 (kN)	1445,05
Fb-1 (kN)	722,52

SKONCETRIRANE TEŽINE U RAZINI M.K. :	
Krov (kN)	4264,79
Krov-1 (kN)	8240,78
Kat (kN)	7951,98

UKUPNI MOMENT :		
Med =	127055,36	kNm

Ukupna računska težina zgrade (kN)	44313,50
Ukupna računska masa zgrade (t)	4517,18
Specifična računska težina zgrade (kn/m2)	11,64

	L-zidova (m)	L-otvora (m)	Duljina neto (m)	P-zidova (m2)	Postotak zidova
X	137,90	28,30	109,60	32,88	5,18%
Y	135,65	9,50	126,15	37,85	5,97%
UK	273,55	37,80	235,75	70,73	11,15%

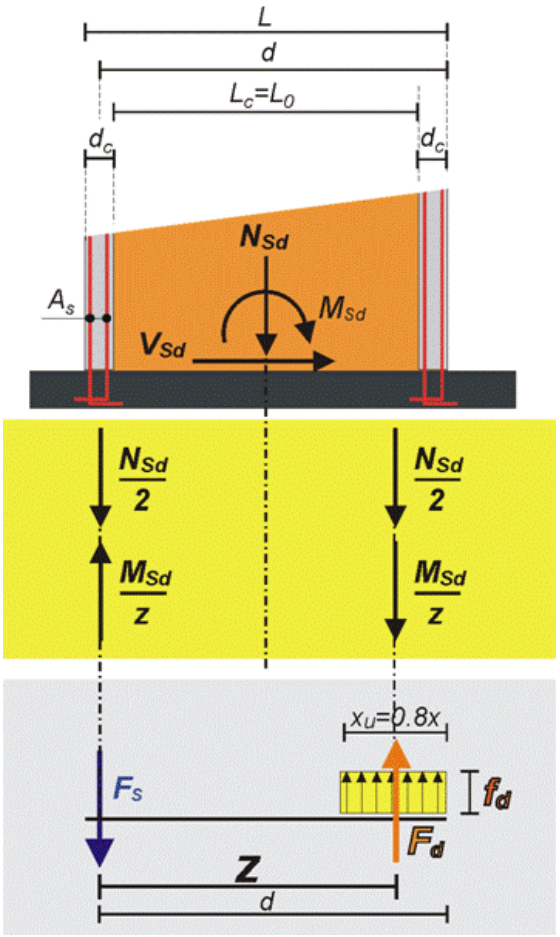
Slika 5.13: Proračun ukupne potresne poprečne sile i ukupnog momenta za 6 etaža

Grad	ag	Ved	Med
Osijek	0,150	6647,02	63527,68
Zadar	0,175	7754,86	74115,62
Split	0,220	9748,97	93173,93
Rijeka	0,225	9970,54	95291,52
Zagreb	0,250	11078,37	105879,46
Dubrovnik	0,300	13294,05	127055,36

Tablica 5.3: Prikaz poprečnih sila i momenata ovisno o potresnoj zoni (6 etaža)

5.4 Proračun zidova na potres

U proračunu zidova na potres dokazuje se da je:



1/ $V_{Sd} < V_{Rd}$

računska poprečna sila:

$V_{Sd}=V_{Ed}*\gamma_I = V_{Ed}*1.00$

računska nosivost na poprečnu silu:

$V_{Rd}=f_{vk}*A/\gamma_M$

2/ $F_{Sd} < F_{Rd}$

računska tlačna sila: $F_d = M_{Sd} / z$

računska vlačna sila: $F_s = M_{Sd} / z$

računski moment savijanja:

$M_{Sd} = M_{Ed}*\gamma_I = M_{Ed}*1.00$

z = krak unutarnjih sila

i izračunava potrebna površina armature vertikalnih serklaža:

3/ $A_{s1}=(M_{Sd}/z+N_{Sd}/2)/f_{yd}$ [cm^2]

računska uzdužna sila: $N_{Sd} = (N_g+N_q*\varphi\cdot\psi_{2i})$

5.4.1 4 etaže (Model I)

Proračun sila od potresa - smjer X			
V_{Ed}=	4642,5	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	36044	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t \Sigma L_i}{0.85 A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha \frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Ed} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Ed} [kN]	stalno djelovanje N_G [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Ed} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Ed,I}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Ed}/V_{Rd} [%]	F_{Ed}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	11,90	0,69	10,6	435	56	383,9	65,5	393,7	3,60	317,7	1,44	495,0	1376,6	11,3	23,1	-1,5
Z-1/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	11,90	0,54	17,6	724	93	644,7	124,7	663,4	4,88	480,1	1,95	555,0	1866,1	16,8	25,7	-3,7
Z-1/H-J	0,30	9,95	2,99	3,20	11,90	0,62	57,8	2372	305	802,3	138,0	823,0	7,96	709,5	3,18	1012,5	3043,9	30,2	23,3	-2,3
Z-2/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	11,90	0,88	81,4	3342	430	1054,4	181,1	1081,6	7,96	960,6	3,18	1335,0	3043,9	32,2	31,6	-2,4
Z-3/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	11,90	1,00	15,4	634	82	519,1	88,2	532,4	3,60	442,3	1,44	675,0	1376,6	12,1	32,1	-1,8
Z-5/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	11,90	0,77	233,6	9591	1235	2129,5	372,8	2185,4	17,04	1655,5	6,82	2565,0	6516,1	48,2	25,4	-10,6
Z-6/I-J	0,30	7,00	2,10	0,00	11,90	1,00	45,0	1849	238	981,3	178,9	1008,1	5,60	834,2	2,24	1050,0	2141,4	22,7	39,0	-3,5
Z-7/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	11,90	0,77	233,6	9591	1235	2129,5	372,8	2185,4	17,04	1655,5	6,82	2565,0	6516,1	48,2	25,4	-10,6
Z-8/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	11,90	1,00	15,4	634	82	466,6	75,6	477,9	3,60	415,1	1,44	675,0	1376,6	12,1	30,2	-1,3
Z-9/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	11,90	0,88	81,4	3342	430	1054,4	181,1	1081,6	7,96	960,6	3,18	1335,0	3043,9	32,2	31,6	-2,4
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	11,90	0,69	10,6	435	56	383,9	65,5	393,7	3,60	317,7	1,44	495,0	1376,6	11,3	23,1	-1,5
Z-10/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	11,90	0,54	17,6	724	93	644,7	124,7	663,4	4,88	480,1	1,95	555,0	1866,1	16,8	25,7	-3,7
Z-10/H-K	0,30	9,95	2,99	3,20	11,90	0,62	57,8	2372	305	802,3	138,0	823,0	7,96	709,5	3,18	1012,5	3043,9	30,2	23,3	-2,3
		119,60		24,10			877,7	36044	4643	11996,5	2106,7									

Slika 5.14: Proračun sila od potresa za x smjer

Proračun sila od potresa - smjer Y			
V_{Ed}=	4642,57	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	36043,5	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t \Sigma L_i}{0.85 A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha \frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Ed} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Ed} [kN]	stalno djelovanje N_G [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Ed} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Ed,I}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Ed}/V_{Rd} [%]	F_{Ed}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,73	2,00	11,90	0,74	58,0	3214	414	798,9	134,3	819,1	7,28	851,0	2,91	1065,0	2783,9	38,9	30,6	0,6
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,61	2,00	11,90	0,73	52,2	2891	372	696,7	113,1	713,7	6,96	772,2	2,78	1005,0	2661,5	37,1	29,0	1,2
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,90	0,00	11,90	1,00	5,2	286	37	241,0	33,6	246,0	2,40	242,3	0,96	450,0	917,8	8,2	26,4	-0,1
Z-C/1-5	0,30	2,75	0,83	0,00	11,90	1,00	4,0	224	29	453,8	86,6	466,7	2,20	335,3	0,88	412,5	841,3	7,0	39,9	-2,6
Z-C/7-10	0,30	2,75	0,83	0,00	11,90	1,00	4,0	224	29	431,9	81,4	444,1	2,20	323,9	0,88	412,5	841,3	7,0	38,5	-2,4
Z-D/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	4335	558	1262,4	229,3	1296,8	7,28	1243,9	2,91	1365,0	2783,9	40,9	44,7	-1,1
Z-D/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	4335	558	1262,4	229,3	1296,8	7,28	1243,9	2,91	1365,0	2783,9	40,9	44,7	-1,1
Z-E/1-2	0,30	2,75	0,83	0,00	11,90	1,00	4,0	224	29	377,1	68,3	387,3	2,20	295,6	0,88	412,5	841,3	7,0	35,1	-1,8
Z-E/9-10	0,30	2,75	0,83	0,00	11,90	1,00	4,0	224	29	377,1	68,3	387,3	2,20	295,6	0,88	412,5	841,3	7,0	35,1	-1,8
Z-F/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	4335	558	1395,2	261,2	1434,4	7,28	1312,7	2,91	1365,0	2783,9	40,9	47,2	-2,4
Z-F/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	4335	558	1395,2	261,2	1434,4	7,28	1312,7	2,91	1365,0	2783,9	40,9	47,2	-2,4
Z-G/1-2	0,30	2,75	0,83	0,00	11,90	1,00	4,0	224	29	377,1	68,3	387,3	2,20	295,6	0,88	412,5	841,3	7,0	35,1	-1,8
Z-G/9-10	0,30	2,75	0,83	0,00	11,90	1,00	4,0	224	29	377,1	68,3	387,3	2,20	295,6	0,88	412,5	841,3	7,0	35,1	-1,8
Z-H/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	4335	558	1076,3	184,7	1104,1	7,28	1147,5	2,91	1365,0	2783,9	40,9	41,2	0,9
Z-H/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	4335	558	1023,2	172,0	1049,0	7,28	1120,0	2,91	1365,0	2783,9	40,9	40,2	1,4
Z-I/4-8	0,30	4,45	1,34	0,00	11,90	1,00	15,0	832	107	499,6	83,9	512,2	3,56	489,7	1,42	667,5	1361,3	16,0	36,0	-0,5
Z-J/1-2	0,30	4,35	1,31	0,80	11,90	0,78	11,1	614	79	369,2	59,9	378,2	3,48	365,6	1,39	532,5	1330,8	14,9	27,5	-0,3
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,84	0,00	11,90	1,00	4,3	236	30	430,5	80,6	442,6	2,24	326,6	0,90	420,0	856,6	7,2	38,1	-2,3
Z-J/9-10	0,30	4,35	1,31	0,80	11,90	0,78	11,1	614	79	369,2	59,9	378,2	3,48	365,6	1,39	532,5	1330,8	14,9	27,5	-0,3
		107,85		5,60			650,2	36044	4643	13213,8	2344,1									

Slika 5.15: Proračun sila od potresa za y smjer

5.4.2 4 etaže (Model II)

Proračun sila od potresa - smjer X			
V_{Ed}=	8522,9	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	66230	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t \Sigma L_i}{0.85 A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha \frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Ed} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Ed} [kN]	stalno djelovanje N_0 [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Ed} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Ed,i}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Ed}/V_{Rd} [%]	F_{Ed}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	11,90	0,69	10,6	757	97	351,8	57,8	360,4	3,60	390,4	1,44	495,0	1376,6	19,7	28,4	0,6
Z-1/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	11,90	0,54	17,6	1259	162	502,8	90,7	516,4	4,88	516,2	1,95	555,0	1866,1	29,2	27,7	0,0
Z-1/H-J	0,30	9,95	2,99	3,20	11,90	0,62	57,8	4124	531	706,4	115,0	723,7	7,96	879,9	3,18	1012,5	3043,9	52,4	28,9	3,1
Z-2/E-G	0,30	6,10	1,83	2,10	11,90	0,59	19,5	1395	179	383,8	59,8	392,7	4,88	482,2	1,95	600,0	1866,1	29,9	25,8	1,8
Z-2/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	11,90	0,88	81,4	5810	748	996,3	167,2	1021,4	7,96	1240,6	3,18	1335,0	3043,9	56,0	40,8	4,4
Z-3/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	11,90	1,00	15,4	1103	142	492,8	81,9	505,1	3,60	558,8	1,44	675,0	1376,6	21,0	40,6	1,1
Z-4/D-E	0,30	3,05	0,92	0,00	11,90	1,00	5,4	386	50	245,0	34,2	250,1	2,44	283,3	0,98	457,5	933,1	10,9	30,4	0,7
Z-4/G-H	0,30	3,05	0,92	0,00	11,90	1,00	5,4	386	50	245,0	34,2	250,1	2,44	283,3	0,98	457,5	933,1	10,9	30,4	0,7
Z-5/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	11,90	0,77	233,6	16675	2146	1880,7	313,1	1927,6	17,04	1942,4	6,82	2565,0	6516,1	83,7	29,8	0,3
Z-6/I-J	0,30	7,00	2,10	0,00	11,90	1,00	45,0	3215	414	981,3	178,9	1008,1	5,60	1078,1	2,24	1050,0	2141,4	39,4	50,3	1,4
Z-7/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	11,90	0,77	233,6	16675	2146	2253,9	402,6	2314,2	17,04	2135,7	6,82	2565,0	6516,1	83,7	32,8	-3,6
Z-8/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	11,90	1,00	15,4	1103	142	466,6	75,6	477,9	3,60	545,2	1,44	675,0	1376,6	21,0	39,6	1,3
Z-9/E-G	0,30	6,10	1,83	2,10	11,90	0,59	19,5	1395	179	383,8	59,8	392,7	4,88	482,2	1,95	600,0	1866,1	29,9	25,8	1,8
Z-9/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	11,90	0,88	81,4	5810	748	996,3	167,2	1021,4	7,96	1240,6	3,18	1335,0	3043,9	56,0	40,8	4,4
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	11,90	0,69	10,6	757	97	351,8	57,8	360,4	3,60	390,4	1,44	495,0	1376,6	19,7	28,4	0,6
Z-10/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	11,90	0,54	17,6	1259	162	502,8	90,7	516,4	4,88	516,2	1,95	555,0	1866,1	29,2	27,7	0,0
Z-10/H-K	0,30	9,95	2,99	3,20	11,90	0,62	57,8	4124	531	706,4	115,0	723,7	7,96	879,9	3,18	1012,5	3043,9	52,4	28,9	3,1
		137,90		28,30			927,6	66230	8523	12447,2	2101,1									

Slika 5.16: Proračun sila od potresa za x smjer

Proračun sila od potresa - smjer Y			
V_{Ed}=	8522,56	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	66229,8	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t \Sigma L_i}{0.85 A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha \frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Ed} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Ed} [kN]	stalno djelovanje N_0 [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Ed} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Ed,i}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Ed}/V_{Rd} [%]	F_{Ed}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,73	2,00	11,90	0,74	58,0	4566	588	680,9	106,1	696,8	7,28	975,7	2,91	1065,0	2783,9	55,2	35,0	5,6
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,61	2,00	11,90	0,73	52,2	4108	529	585,7	86,5	598,7	6,96	889,5	2,78	1005,0	2661,5	52,6	33,4	5,8
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,90	0,00	11,90	1,00	5,2	407	52	188,4	21,0	191,6	2,40	265,2	0,96	450,0	917,8	11,6	28,9	1,5
Z-C/1-5	0,30	9,10	2,73	0,90	11,90	0,88	69,1	5442	700	1125,8	203,8	1156,4	7,28	1325,8	2,91	1230,0	2783,9	56,9	47,6	3,4
Z-C/7-10	0,30	9,10	2,73	0,90	11,90	0,88	69,1	5442	700	1099,3	197,5	1128,9	7,28	1312,0	2,91	1230,0	2783,9	56,9	47,1	3,7
Z-D/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	6159	793	1209,2	216,6	1241,7	7,28	1466,9	2,91	1365,0	2783,9	58,1	52,7	4,5
Z-D/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	6159	793	1209,2	216,6	1241,7	7,28	1466,9	2,91	1365,0	2783,9	58,1	52,7	4,5
Z-E/1-2	0,30	4,35	1,31	0,00	11,90	1,00	14,1	1114	143	451,0	73,1	462,0	3,48	551,0	1,39	652,5	1330,8	22,0	41,4	1,8
Z-E/9-10	0,30	4,35	1,31	0,00	11,90	1,00	14,1	1114	143	451,0	73,1	462,0	3,48	551,0	1,39	652,5	1330,8	22,0	41,4	1,8
Z-F/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	6159	793	890,3	140,1	911,4	7,28	1301,7	2,91	1365,0	2783,9	58,1	46,8	7,8
Z-F/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	6159	793	890,3	140,1	911,4	7,28	1301,7	2,91	1365,0	2783,9	58,1	46,8	7,8
Z-G/1-2	0,30	4,35	1,31	0,00	11,90	1,00	14,1	1114	143	451,0	73,1	462,0	3,48	551,0	1,39	652,5	1330,8	22,0	41,4	1,8
Z-G/9-10	0,30	4,35	1,31	0,00	11,90	1,00	14,1	1114	143	451,0	73,1	462,0	3,48	551,0	1,39	652,5	1330,8	22,0	41,4	1,8
Z-H/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	6159	793	1049,8	178,4	1076,5	7,28	1384,3	2,91	1365,0	2783,9	58,1	49,7	6,2
Z-H/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	11,90	1,00	78,2	6159	793	996,6	165,6	1021,5	7,28	1356,8	2,91	1365,0	2783,9	58,1	48,7	6,7
Z-I/1-2	0,30	4,35	1,31	1,05	11,90	0,72	10,1	797	103	301,4	45,7	308,3	3,48	383,2	1,39	495,0	1330,8	20,7	28,8	1,5
Z-I/4-8	0,30	4,45	1,34	0,00	11,90	1,00	15,0	1181	152	499,6	83,9	512,2	3,56	588,0	1,42	667,5	1361,3	22,8	43,2	1,5
Z-I/9-10	0,30	4,35	1,31	1,05	11,90	0,72	10,1	797	103	301,4	45,7	308,3	3,48	383,2	1,39	495,0	1330,8	20,7	28,8	1,5
Z-J/1-2	0,30	4,35	1,31	0,80	11,90	0,78	11,1	873	112	369,2	59,9	378,2	3,48	439,9	1,39	532,5	1330,8	21,1	33,1	1,2
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,84	0,00	11,90	1,00	4,3	335	43	430,5	80,6	442,6	2,24	370,9	0,90	420,0	856,6	10,3	43,3	-1,4
Z-J/9-10	0,30	4,35	1,31	0,80	11,90	0,78	11,1	873	112	369,2	59,9	378,2	3,48	439,9	1,39	532,5	1330,8	21,1	33,1	1,2
		135,65		9,50			841,0	66230	8523	14001,1	2340,3									

Slika 5.17: Proračun sila od potresa za y smjer

5.4.3 6 etaža (Model I)

Proračun sila od potresa - smjer X			
V_{Ed}=	6211,7	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	59366	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t\,\Sigma L_i}{0.85\,A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha\frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Sd} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Sd} [kN]	stalno djelovanje N_G [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Sd} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Sd,I}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Sd}/V_{Rd} [%]	F_{Sd}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	17,50	0,69	3,7	499	52	575,9	102,9	591,3	3,60	434,2	1,44	495,0	1376,6	10,5	31,5	-3,1
Z-1/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	17,50	0,54	6,7	893	93	967,0	196,0	996,4	4,88	681,2	1,95	555,0	1866,1	16,8	36,5	-6,3
Z-1/H-J	0,30	9,95	2,99	3,20	17,50	0,62	25,9	3454	361	1203,5	216,8	1236,0	7,96	1052,0	3,18	1012,5	3043,9	35,7	34,6	-3,7
Z-2/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	17,50	0,88	36,5	4867	509	1581,7	284,6	1624,4	7,96	1423,6	3,18	1335,0	3043,9	38,1	46,8	-4,0
Z-3/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	17,50	1,00	5,5	727	76	778,7	138,6	799,5	3,60	601,6	1,44	675,0	1376,6	11,3	43,7	-4,0
Z-5/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	17,50	0,77	135,5	18055	1889	3194,2	585,8	3282,1	17,04	2700,6	6,82	2565,0	6516,1	73,7	41,4	-11,6
Z-6/I-J	0,30	7,00	2,10	0,00	17,50	1,00	17,8	2377	249	1471,9	281,1	1514,0	5,60	1181,4	2,24	1050,0	2141,4	23,7	55,2	-6,7
Z-7/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	17,50	0,77	135,5	18055	1889	3194,2	585,8	3282,1	17,04	2700,6	6,82	2565,0	6516,1	73,7	41,4	-11,6
Z-8/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	17,50	1,00	5,5	727	76	699,8	118,8	717,7	3,60	560,7	1,44	675,0	1376,6	11,3	40,7	-3,1
Z-9/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	17,50	0,88	36,5	4867	509	1581,7	284,6	1624,4	7,96	1423,6	3,18	1335,0	3043,9	38,1	46,8	-4,0
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	17,50	0,69	3,7	499	52	575,9	102,9	591,3	3,60	434,2	1,44	495,0	1376,6	10,5	31,5	-3,1
Z-10/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	17,50	0,54	6,7	893	93	967,0	196,0	996,4	4,88	681,2	1,95	555,0	1866,1	16,8	36,5	-6,3
Z-10/H-K	0,30	9,95	2,99	3,20	17,50	0,62	25,9	3454	361	1203,5	216,8	1236,0	7,96	1052,0	3,18	1012,5	3043,9	35,7	34,6	-3,7
		119,60		24,10			445,7	59366	6212	17994,8	3310,5									

Slika 5.18 Proračun sila od potresa za x smjer

Proračun sila od potresa - smjer Y			
V_{Ed}=	6211,73	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	59366,4	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t\,\Sigma L_i}{0.85\,A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha\frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Sd} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Sd} [kN]	stalno djelovanje N_G [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Sd} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Sd,I}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Sd}/V_{Rd} [%]	F_{Sd}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,73	2,00	17,50	0,74	25,2	5427	568	1198,4	211,1	1230,0	7,28	1360,5	2,91	1065,0	2783,9	53,3	48,9	2,6
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,61	2,00	17,50	0,73	22,3	4802	502	1045,1	177,7	1071,7	6,96	1225,8	2,78	1005,0	2661,5	50,0	46,1	3,1
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,90	0,00	17,50	1,00	1,7	370	39	361,4	52,8	369,4	2,40	339,0	0,96	450,0	917,8	8,6	36,9	-0,6
Z-C/1-5	0,30	2,75	0,83	0,00	17,50	1,00	1,3	288	30	680,6	136,1	701,0	2,20	481,3	0,88	412,5	841,3	7,3	57,2	-4,4
Z-C/7-10	0,30	2,75	0,83	0,00	17,50	1,00	1,3	288	30	647,8	127,9	667,0	2,20	464,2	0,88	412,5	841,3	7,3	55,2	-4,1
Z-D/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	7320	766	1893,5	360,4	1947,6	7,28	1979,3	2,91	1365,0	2783,9	56,1	71,1	0,6
Z-D/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	7320	766	1893,5	360,4	1947,6	7,28	1979,3	2,91	1365,0	2783,9	56,1	71,1	0,6
Z-E/1-2	0,30	2,75	0,83	0,00	17,50	1,00	1,3	288	30	565,7	107,3	581,7	2,20	421,6	0,88	412,5	841,3	7,3	50,1	-3,2
Z-E/9-10	0,30	2,75	0,83	0,00	17,50	1,00	1,3	288	30	565,7	107,3	581,7	2,20	421,6	0,88	412,5	841,3	7,3	50,1	-3,2
Z-F/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	7320	766	2092,8	410,4	2154,4	7,28	2082,7	2,91	1365,0	2783,9	56,1	74,8	-1,4
Z-F/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	7320	766	2092,8	410,4	2154,4	7,28	2082,7	2,91	1365,0	2783,9	56,1	74,8	-1,4
Z-G/1-2	0,30	2,75	0,83	0,00	17,50	1,00	1,3	288	30	565,7	107,3	581,7	2,20	421,6	0,88	412,5	841,3	7,3	50,1	-3,2
Z-G/9-10	0,30	2,75	0,83	0,00	17,50	1,00	1,3	288	30	565,7	107,3	581,7	2,20	421,6	0,88	412,5	841,3	7,3	50,1	-3,2
Z-H/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	7320	766	1614,5	290,3	1658,1	7,28	1834,5	2,91	1365,0	2783,9	56,1	65,9	3,5
Z-H/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	7320	766	1534,8	270,3	1575,3	7,28	1793,2	2,91	1365,0	2783,9	56,1	64,4	4,4
Z-I/4-8	0,30	4,45	1,34	0,00	17,50	1,00	5,3	1140	119	749,4	131,9	769,2	3,56	704,9	1,42	667,5	1361,3	17,9	51,8	-1,3
Z-J/1-2	0,30	4,35	1,31	0,80	17,50	0,78	3,9	839	88	553,8	94,2	568,0	3,48	524,9	1,39	532,5	1330,8	16,5	39,4	-0,9
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,84	0,00	17,50	1,00	1,4	303	32	645,7	126,7	664,7	2,24	467,7	0,90	420,0	856,6	7,6	54,6	-3,9
Z-J/9-10	0,30	4,35	1,31	0,80	17,50	0,78	3,9	839	88	553,8	94,2	568,0	3,48	524,9	1,39	532,5	1330,8	16,5	39,4	-0,9
		107,85		5,60			275,4	59366	6212	19820,7	3683,6									

Slika 5.19: Proračun sila od potresa za y smjer

5.4.4 6 taža (Model II)

Proračun sila od potresa - smjer X			
V_{Ed}=	13294	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	127055	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t \Sigma L_i}{0.85 A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha \frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Ed} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Ed} [kN]	stalno djelovanje N_G [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Ed} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Ed,i}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Ed}/V_{Rd} [%]	F_{Ed}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-1/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	17,50	0,69	3,7	1025	107	527,7	90,8	541,3	3,60	555,4	1,44	495,0	1376,6	21,7	40,3	0,3
Z-1/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	17,50	0,54	6,7	1835	192	754,1	142,6	775,5	4,88	763,8	1,95	555,0	1866,1	34,6	40,9	-0,2
Z-1/H-J	0,30	9,95	2,99	3,20	17,50	0,62	25,9	7099	743	1059,6	180,7	1086,7	7,96	1435,2	3,18	1012,5	3043,9	73,4	47,1	7,0
Z-2/E-G	0,30	6,10	1,83	2,10	17,50	0,59	7,4	2033	213	575,7	93,9	589,7	4,88	711,4	1,95	600,0	1866,1	35,4	38,1	2,4
Z-2/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	17,50	0,88	36,5	10002	1046	1494,5	262,7	1533,9	7,96	2023,4	3,18	1335,0	3043,9	78,4	66,5	9,8
Z-3/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	17,50	1,00	5,5	1494	156	739,3	128,7	758,6	3,60	794,2	1,44	675,0	1376,6	23,2	57,7	0,7
Z-4/D-E	0,30	3,05	0,92	0,00	17,50	1,00	1,8	493	52	367,5	53,7	375,5	2,44	390,0	0,98	457,5	933,1	11,3	41,8	0,3
Z-4/G-H	0,30	3,05	0,92	0,00	17,50	1,00	1,8	493	52	367,5	53,7	375,5	2,44	390,0	0,98	457,5	933,1	11,3	41,8	0,3
Z-5/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	17,50	0,77	135,5	37105	3882	2821,0	492,0	2894,8	17,04	3625,0	6,82	2565,0	6516,1	151,4	55,6	14,6
Z-6/I-J	0,30	7,00	2,10	0,00	17,50	1,00	17,8	4884	511	1471,9	281,1	1514,0	5,60	1629,2	2,24	1050,0	2141,4	48,7	76,1	2,3
Z-7/C-I	0,30	21,30	6,39	4,20	17,50	0,77	135,5	37105	3882	3380,8	632,6	3475,7	17,04	3915,4	6,82	2565,0	6516,1	151,4	60,1	8,8
Z-8/A-C	0,30	4,50	1,35	0,00	17,50	1,00	5,5	1494	156	699,8	118,8	717,7	3,60	773,8	1,44	675,0	1376,6	23,2	56,2	1,1
Z-9/E-G	0,30	6,10	1,83	2,10	17,50	0,59	7,4	2033	213	575,7	93,9	589,7	4,88	711,4	1,95	600,0	1866,1	35,4	38,1	2,4
Z-9/H-J	0,30	9,95	2,99	1,05	17,50	0,88	36,5	10002	1046	1494,5	262,7	1533,9	7,96	2023,4	3,18	1335,0	3043,9	78,4	66,5	9,8
Z-10/A-C	0,30	4,50	1,35	1,20	17,50	0,69	3,7	1025	107	527,7	90,8	541,3	3,60	555,4	1,44	495,0	1376,6	21,7	40,3	0,3
Z-10/E-G	0,30	6,10	1,83	2,40	17,50	0,54	6,7	1835	192	754,1	142,6	775,5	4,88	763,8	1,95	555,0	1866,1	34,6	40,9	-0,2
Z-10/H-K	0,30	9,95	2,99	3,20	17,50	0,62	25,9	7099	743	1059,6	180,7	1086,7	7,96	1435,2	3,18	1012,5	3043,9	73,4	47,1	7,0
		137,90		28,30			464,1	127055	13294	18670,8	3301,8									

Slika 5.20: Proračun sila od potresa za x smjer

Proračun sila od potresa - smjer Y			
V_{Ed}=	13294,1	kN	- ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	127055	kNm	- ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	- modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	- modul posmika
f_k=	4,78	MPa	- tlačna čvrstoća zida
f_{vk}=	0,75	MPa	- posmična čvrstoća zida
γ_M=	1,50		- parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s=	1,00		- parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1$$

$$k_1 = \left(1 - \frac{t \Sigma L_i}{0.85 A}\right)$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha \frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Zid	debljina zida t [m]	duljina zida L [m]	površina zida A [m2]	Σ duljina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m]	moment od potresa M_{Ed} [kNm]	poprečna sila od pot. V_{Ed} [kN]	stalno djelovanje N_G [kN]	promjenjivo djelovanje N_Q [kN]	računska vert. sila N_{Ed} [kN]	krak unut. sila z [m]	računsko djelovanje $F_{Ed,i}$ [kN]	duljina tlačne zone xu [m]	računska nosivost V_{Rd} [kN]	računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]	V_{Ed}/V_{Rd} [%]	F_{Ed}/F_{Rd} [%]	Armat. As [cm2]
Z-A/1-5	0,30	9,10	2,73	2,00	17,50	0,74	25,2	9027	945	1021,4	166,7	1046,4	7,28	1763,2	2,91	1065,0	2783,9	88,7	63,3	14,3
Z-A/7-10	0,30	8,70	2,61	2,00	17,50	0,73	22,3	7987	836	878,6	135,9	899,0	6,96	1597,0	2,78	1005,0	2661,5	83,2	60,0	14,0
Z-B/7-8	0,30	3,00	0,90	0,00	17,50	1,00	1,7	616	64	282,6	33,0	287,6	2,40	400,5	0,96	450,0	917,8	14,3	43,6	2,3
Z-C/1-5	0,30	9,10	2,73	0,90	17,50	0,88	30,0	10759	1126	1688,7	320,3	1736,8	7,28	2346,2	2,91	1230,0	2783,9	91,5	84,3	12,2
Z-C/7-10	0,30	9,10	2,73	0,90	17,50	0,88	30,0	10759	1126	1648,9	310,3	1695,4	7,28	2325,5	2,91	1230,0	2783,9	91,5	83,5	12,6
Z-D/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	12175	1274	1813,8	340,3	1864,9	7,28	2604,8	2,91	1365,0	2783,9	93,3	93,6	14,8
Z-D/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	12175	1274	1813,8	340,3	1864,9	7,28	2604,8	2,91	1365,0	2783,9	93,3	93,6	14,8
Z-E/1-2	0,30	4,35	1,31	0,00	17,50	1,00	5,0	1780	186	676,5	114,8	693,7	3,48	858,3	1,39	652,5	1330,8	28,5	64,5	3,3
Z-E/9-10	0,30	4,35	1,31	0,00	17,50	1,00	5,0	1780	186	676,5	114,8	693,7	3,48	858,3	1,39	652,5	1330,8	28,5	64,5	3,3
Z-F/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	12175	1274	1335,5	220,2	1368,5	7,28	2356,7	2,91	1365,0	2783,9	93,3	84,7	19,8
Z-F/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	12175	1274	1335,5	220,2	1368,5	7,28	2356,7	2,91	1365,0	2783,9	93,3	84,7	19,8
Z-G/1-2	0,30	4,35	1,31	0,00	17,50	1,00	5,0	1780	186	676,5	114,8	693,7	3,48	858,3	1,39	652,5	1330,8	28,5	64,5	3,3
Z-G/9-10	0,30	4,35	1,31	0,00	17,50	1,00	5,0	1780	186	676,5	114,8	693,7	3,48	858,3	1,39	652,5	1330,8	28,5	64,5	3,3
Z-H/1-5	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	12175	1274	1574,7	280,3	1616,7	7,28	2480,8	2,91	1365,0	2783,9	93,3	89,1	17,3
Z-H/7-10	0,30	9,10	2,73	0,00	17,50	1,00	34,0	12175	1274	1494,9	260,3	1534,0	7,28	2439,4	2,91	1365,0	2783,9	93,3	87,6	18,1
Z-I/1-2	0,30	4,35	1,31	1,05	17,50	0,72	3,6	1274	133	452,1	71,8	462,9	3,48	597,6	1,39	495,0	1330,8	26,9	44,9	2,7
Z-I/4-8	0,30	4,45	1,34	0,00	17,50	1,00	5,3	1896	198	749,4	131,9	769,2	3,56	917,3	1,42	667,5	1361,3	29,7	67,4	3,0
Z-I/9-10	0,30	4,35	1,31	1,05	17,50	0,72	3,6	1274	133	452,1	71,8	462,9	3,48	597,6	1,39	495,0	1330,8	26,9	44,9	2,7
Z-J/1-2	0,30	4,35	1,31	0,80	17,50	0,78	3,9	1395	146	553,8	94,2	568,0	3,48	684,7	1,39	532,5	1330,8	27,4	51,5	2,3
Z-J/5-7	0,30	2,80	0,84	0,00	17,50	1,00	1,4	504	53	645,7	126,7	664,7	2,24	557,4	0,90	420,0	856,6	12,6	65,1	-2,1
Z-J/9-10	0,30	4,35	1,31	0,80	17,50	0,78	3,9	1395	146	553,8	94,2	568,0	3,48	684,7	1,39	532,5	1330,8	27,4	51,5	2,3
		135,65		9,50			354,4	127055	13294	21001,6	3677,6									

Slika 5.21: Proračun sila od potresa za y smjer

5.5 Analiza rezultata pojednostavljenim postupkom

Prije svega treba napomenuti kako pojednostavljena metoda proračuna ima ograničavajuće mogućnosti i više služi kao preeliminarna metoda za određivanje nosivosti ziđa na vertikalna djelovanja i potresne sile. Može koristiti za manje zahtjevne proračune i to isključivo za „okvirne“ rezultate. Zbog niza pojednostavljenja u nekim slučajevima može dati velika odstupanja od stvarnih vrijednosti.

Tijekom izrade ovog rada uočene su neke (ne)logičnosti pa smatram kako bi bilo dobro navesti neke od njih:

Konkretni primjer iz ovog rada je dugi zid hodnika s puno otvora od vrata koji zbog velike duljine, koja daje značajnu krutost te tako s obzirom na ostalo ziđe znatno "navlači na sebe", preuzima puno više nego što je to realno. (Model u AmQuake pokazuje prilično različit odnos preraspodjele sila.) Sigurno da na to utječe niz pojednostavljenja pa bi neke koje stvaraju značajnija odstupanja također naveo:

Tako otvori vrata koji su uzeti u obzir baš od gore navedenog primjera nisu jednaki kao što su otvori prozora. U literaturi je taj podatak označen kao vrijednost do 1/3 svijetle visine ziđa međutim vrata su puno viša od te vrijednosti.

Nadalje, koeficijent $\alpha=3.33$ koji ukazuje da se zid ponaša kao da je konzoli zid nije potpuno točan. Naročito to vrijedi za unutarnje zidove koji još imaju s obje strane poprečne zidove okomito na smjer svog pružanja koji sigurno pomažu u nosivosti pa bi se za neke detaljnije proračune mogao uzeti u razmatranje i taj „problem“ ako želimo da nam ovaj jednostavni postupak da malo točnije rezultate. Tu se svakako može spomenuti i utjecaj međukatne konstrukcije s obzirom na njenu savojnu krutost, te omjer visine i duljine zidova koji značajno utječe na posmična naprezanja kod raspona od 1:1 pa do 1:4.

Također je primijećeno da kod većeg postotka ukupne površine ziđa ima smisla "igrati" se s tanjim unutarnjim zidovima da bi se dobila veća neto površina, a i izolacijski su manje važniji od vanjskih. Na taj način, vezano za konkretni gore navedeni primjer, bi im se smanjila i krutost te bi manje „navlačili na sebe“ što ima smisla ako imamo rezerve u nosivosti u vidu ili dugih (krutih) vanjskih zidova ili dovoljnog ukupnog postotka nosivog ziđa. Inače kod „graničnog postotka“ nosivih zidova smanjenjem debljine unutarnji zidova izgubili bi više na globalnoj nosivosti nego što bi dobili u vidu manjeg „navlačenja krutosti“. Primijećeno je da do određenog postotka nosivih zidova ima smisla to primijeniti. Međutim konkretniji podatci na tu temu zahtijevaju zasebnu detaljnu analizu.

Što se konkretnih primjera u radu tiče prikazana su 2 glavna modela (Model I i Model II) za varijante od 4 i 6 etaža, dok je za Model II* (kojem su dodana 2 AB zida u X smjeru i jedan u Y) provjereno da s tom malom „intervencijom“ nije ništa naškodilo nosivosti, dapače kako je i očekivano samo je poboljšana nosivost pa to nije ni prikazano jer je već preko slučaja za Modela II jasno da zadovoljava.

U svim modelima X smjer ima malo manji postotak ziđa od Y smjera tako je u Modelu I (X smjer oko 4,5%, a Y smjer oko 5%), dok je u Modelu II (X smjer oko 5%, a Y smjer oko 6%). U Modelu II* je na postotak površine zidanih zidova Modela II samo napravljena navedena „intervencija“ zamjene s AB zidovima.

Na konkretnom primjeru *5.4.4. 6 etaža (Model II)* s ukupnim potresnim silama i momentom od referentnog ubrzanja (0,300 g) koji je „najkritičniji“ primjer jasno se vidi kako je u Y smjeru fino raspoređena nosivost zbog ujednačenijeg rasporeda zidova i njihovih duljina dok u X smjeru vidimo kako dva velika centralna zida dominantno „navlače na sebe“ dok su ostali zidovi značajno manje opterećeni. Što ipak u realnosti nije toliko naglašeno iz gore navedenih razloga ali je sigurno dobar pokazatelj kako je važno imati dobar raspored zidova i što je moguće ujednačenije duljine zidova. Ovo zapažanje se odnosi na (V_{Sd} / V_{Rd}) koji je uglavnom najkritičniji pokazatelj za potresno opterećenje.

Za potrebe ove analize napravljen je u „Excel-u“ mali "programčić" koji nam pomaže na jednostavan i brz način dobiti ukupne potresne sile, ukupni moment te nam jasno prikazuje postotak ziđa za svaki smjer kao i ukupni postotak ziđa.

U (*Tablicama 5.2.i 5.3)* su prikazane sile i momenti za sva promatrana potresna područja kako bi se dobio osjećaj koliko različita potresna zona utječe na potresne sile i momente.

Naravno „programčić“ može služit za razne druge analize. Tipa kako utječe na ukupne potresne sile i ukupni moment promjena kategorije tla, faktora ponašanja, postotak ziđa ili bilo koji parametar kojeg unosimo u proračun *(smeđa polja)*. *Zelena polja* su proračunate vrijednosti kao i *plava polja.* Samo što su *plava polja* „izlazni“ tj. najvažniji parametri.

6. Općenito o metodi naguravanja - pushover metoda

Metoda naguravanja ili pushover metoda je nelinearna statička metoda proračuna novih ili postojećih objekata. Glavni princip metode je da se prati odgovor sustava za rastuću horizontalnu silu uz konstantno vertikalno opterećenje. Iz dobivenog odnosa horizontalne sile i referentnog pomaka može se odrediti potresna otpornost sustava. Potresno opterećenje se inkrementalno nanosi na sustav koji je prethodno u potpunosti opterećen na vertikalna djelovanja. Na ovaj način, simuliraju se inercijalne sile koje se javljaju u sustavu prilikom potresnog opterećenja. Povećavanjem inkrementalnog opterećenja dolazi do otkazivanja pojedinih elemenata konstrukcije, što uzrokuje smanjenje krutosti sustava.

Metoda je nastala na temelju postupaka za projektiranje i saniranje oštećenih građevina, koji sadrže inženjerske koncepte osnovane na ponašanju konstrukcije. Uvidjelo se da prilikom projektiranja treba posvetiti veću pažnju kontroli oštećenja. To se jedino može postići uvođenjem nelinearnog proračuna u metodologiju potresnih proračuna. Jedan od najprikladnijih pristupa je kombiniranje nelinearne statičke metode postupnog guranja s metodologijom spektralnog odgovora.

Ocjena otpornosti na potres se daje na temelju praćenja jednog karakterističnog čvora – kontrolnog čvora. Kontrolni čvor je najčešće centar masa najvišeg kata. Na osnovu putanje kontrolnog čvora konstruira se krivulja nosivosti iz koje se može ocijeniti potresna otpornost sustava.

6.1. Metoda naguravanja u EN 1998-1

Metoda naguravanja je jedna od propisanih metoda u europskoj normi EN 1998-1:2004. U nastavku su navedene pretpostavke koje vrijede za proračun po toj normi:

Vrijednost savojne i poprečne krutosti ziđa i armiranog betona se uzima ½ od stvarne kako bi se simuliralo raspucavanje presjeka (EN 1998-1, 4.3.1(7))

Treba se koristiti minimalno bi-linearni odnos sila-deformacija na razini elementa (EN 1998-1, 4.3.3.4.1(2))

Nulta krutost se može pretpostaviti nakon granice popuštanja (EN 1998-1, 4.3.3.4.1(3))

Trebaju se koristiti srednje vrijednosti za svojstva materijala (EN 1998-1, 4.3.3.4.1(4))

Uzdužne sile uslijed gravitacijskog opterećenja se trebaju uzeti u obzir prilikom proračuna EN 1998-1, 4.3.3.4.1(5).

Za zgrade nepravilnog oblika je potrebno napraviti prostorni model, te dva različita proračuna za dva smjera, pri čemu nije potrebno u pojedinom proračunu uzimati u obzir horizontalna djelovanja iz dva različita smjera

Potrebno je provesti proračun za dvije vrste raspodjele horizontalnog opterećenja:

-jednolika – proporcionalna masi sustava i neovisna o visini

-modalna – prema EN 1998-1 stavak 4.3.3.2 i 4.3.3.3 ako je:

-zadovoljena tlocrtna pravilnost prema EN 1998-1 stavak 4.2.3.3

-prvi period sustava $T_1 \leq \begin{cases} 4T_c \\ 2s \end{cases}$

Horizontalne sile za slučaj modalne raspodjele se određuju na osnovu izraza:

$$F_i = F_b \frac{z_i m_i}{\sum z_j m_j}$$

gdje je :

z_i -katna visina

m_i -katna masa prema EN 1998-1 stavka 3.2.4

F_b -ukupna poprečna sila

Poprečne sile se trebaju zadati u središtu masa, tj. u središtu katova s ekscentricitetom zadanim prema EN 1998-1 stavka 4.3.2(1) tj.

$$e_{ai} = \pm 0.05 L_i$$

gdje je:

L_i -dimenzija kata okomita na djelovanje potresa

Vertikalne komponente seizmičkog djelovanja se mogu zanemariti (EN 1996-1, 4.3.3.5.2)

Krivulja kapaciteta je odnos između ukupne poprečne sile F_b , te pomaka čvora koji se prati, tj. pomaka kontrolnog čvora d_n

Krivulja kapaciteta bi trebala iznositi maksimalno 150% vrijednosti ciljanog pomaka

Ciljani pomak se određuje na osnovu seizmičkih zahtjeva elastičnog spektra u odnosu na pomak ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava. Vidjeti EN 1998-1 Annex B

Krivulja kapaciteta se može koristiti da bi se odredio:

Faktor ponašanja α_u / α_i , gdje je

α_u -pomak pri otkazivanju sustava

α_i -pomak pri pojavi plastičnog mehanizma

6.2. Primjena metode naguravanja

Metoda naguravanja se može primijeniti pri provjeri ponašanja novih ili postojećih konstrukcija za sljedeće svrhe:

Potvrda ili revizija omjera ojačanja α_u / α_1 (EC8 5.2.2.2, EC8 6.3.2, EC8 7.3.2)

Određivanje očekivanog plastičnog mehanizma i raspodjele oštećenja

Procjena ponašanja konstrukcije postojećih ili obnovljenih građevina za svrhu EN 1998-3

Alternativa proračunu baziranom na linearno elastičnoj analizi koja koristi faktor ponašanja q.

U ovom slučaju, ciljani pomak bi trebao biti korišten kao osnova proračuna.

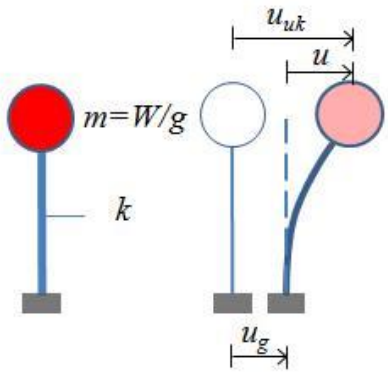
Zgrade koje nisu u skladu s uvjetima pravilnosti (EC8 4.2.3.2) ili kriterijima (EC8 4.3.3.1) bi trebale biti analizirane korištenjem prostornog modela. Dvije nezavisne analize s horizontalnim opterećenjem primijenjenim u samo jednom smjeru bi trebale biti provedene.

Za zgrade koje su u skladu s uvjetima pravilnosti (EC8 4.2.3.2) analiza može biti provedena korištenjem dva ravninska modela, jedan za svaki glavni horizontalni smjer.

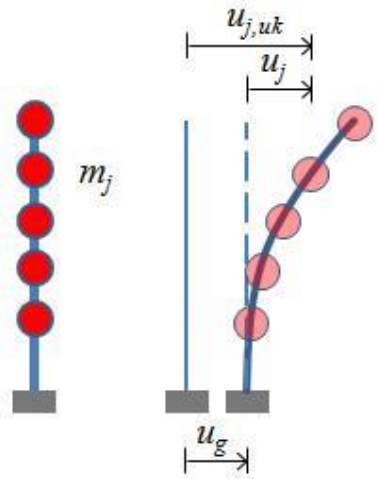
Za niske zidane zgrade, kod kojih je ponašanje nosivih zidova dominantno posmično, svaki kat može se analizirati neovisno. Uvjeti provedbe analize na navedeni način su: (1) broj katova je 3 ili manje, (2) prosječna vrijednost odnosa visina/dužina nosivih zidova je manja od 1,0.

6.3. Postupak provedbe pushover analize

Gibanje mnogih mehaničkih sustava ili konstrukcija izloženih dinamičkom djelovanju može biti uvelike opisano samo jednom vremenski promjenjivom koordinatom, odnosno može biti idealizirano modelom s jednim stupnjem slobode gibanja. Takav se sustav zove jednostupnjevni sustav (JS). Postoje sustavi kod kojih idealizacija s jednim stupnjem nije dovoljna. To su višestupnjevni sustavi (VS). Gibanje takvih višestupnjevnih sustava se može analizirati sličnim postupcima kao JS uz određena poopćenja. Simulacija nekog dinamičkog sustava JS modelom podrazumijeva njegovo prethodno svođenje na takav JS.
Kad se radi o sustavu koji ima samo jednu koncentriranu masu i jednu koncentriranu krutost, sustav je sam po sebi zadan kao JS. U svim ostalim slučajevima imamo višestupnjevni sustav.



Slika 6.1: Jednostupnjevni model – jednostupnjevni sustav



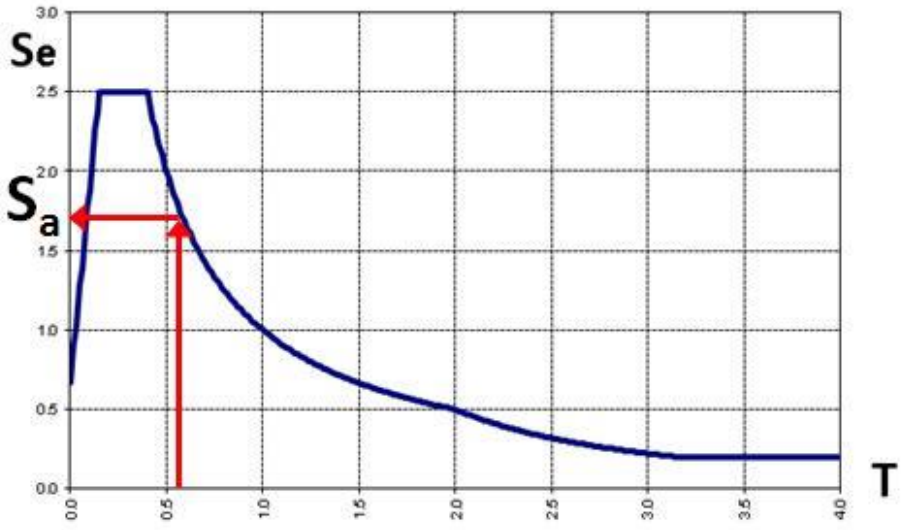
Slika 6.2: Višestupnjevni model – višestupnjevni sustav

Svaki JS je određen trima fizikalnim karakteristikama – svojom masom *m*, krutošću *k*i prigušenjem. Iz tih veličina može se odredit vlastiti period JS-a po izrazu:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}, \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Iz ovih izraza može se zaključiti da je vlastiti period sustava također fizikalna karakteristika sustava koja je određena masom i krutošću sustava. Nadalje, ovisno o vlastitom periodu sustava razlikuju se pomaci i ubrzanja koja će JS doživjeti pod utjecajem ubrzanja tla u_g. To se može vidjeti iz elastičnog spektra odgovora gdje je prikazana ovisnost ubrzanja JS-a u odnosu na vlastiti period T.

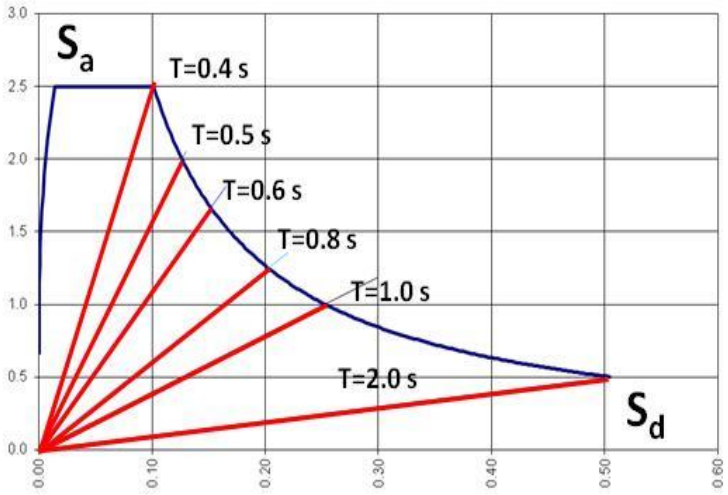
Nadalje, iz poznatog vlastitog perioda sustava lako se može odrediti spektralno ubrzanje, kao što se može vidjeti na (*Slici 6.3.*)



Slika 6.3: Određivanje spektralnog ubrzanja na temelju poznatog vlastitog perioda

Iz poznatog spektralnog ubrzanja može se odrediti pseudosila $F = m \cdot S_a$ koja je jednaka umnošku mase JS-a i spektralnog ubrzanja. Pseudosilu *F* može se prikazati i na sljedeći način: $F = k \cdot S_d$, tj. kao produkt krutosti JS-a i spektralnog pomaka S_d. Sad se lako može odrediti odnos između spektralnog ubrzanja i spektralnog pomaka pomoću sljedećeg izraza:

$$S_d = \frac{F}{k} = mS_a \frac{T^2}{4\pi^2 m} = \frac{S_a T^2}{4\pi^2}$$

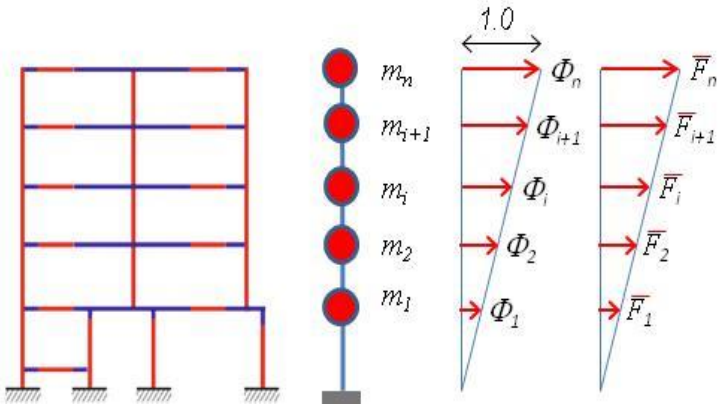


Slika 6.4: Različiti periodi su predstavljeni pravcima

Kao što se može vidjeti na slici, svaki period je predstavljen pravcem koji počinje u ishodištu koordinatnog sustava i čiji je nagib jednak:

$$\frac{S_a}{S_d} = \frac{4\pi^2}{T^2}$$

Za određivanje ciljanog pomaka potrebno je za kontrolni čvor sustava konstruirati krivulju putanje uslijed inkrementalnog povećanja horizontalnog opterećenja. Sve prethodno navedeno i opisano se odnosi na JS. Budući da se realne konstrukcije mogu tretirati kao višestupnjevni sustavi, potrebno je sve svesti na ekvivalentne jednostupnjevne sustave. To se radi na sljedeći način.



Slika 6.5: Shematizirani prikaz višestupnjevnog sustava i normaliziranih pomaka i sila

Pretpostavlja se sljedeća veza između normalizirane horizontalne sile $\bar{F}_i$ i normaliziranog pomaka Φ_i :

$$\bar{F}_i = m_i \Phi_i$$

gdje je m_i masa i-tog kata. Pomaci se normaliziraju tako što se postavi da je $\Phi_n = 1$, gdje je n kontrolni čvor (uobičajeno se n odnosi na krovnu razinu). Posljedica toga je $\bar{F}_n = m_n$ Transformacija VS-a u ekvivalentni JS se odvija po sljedećim izrazima:

$$m^* = \sum m_i \cdot \Phi_i = \sum \bar{F}_i$$

pri čemu je m^* masa ekvivalentnog JS-a, a transformacijski faktor je:

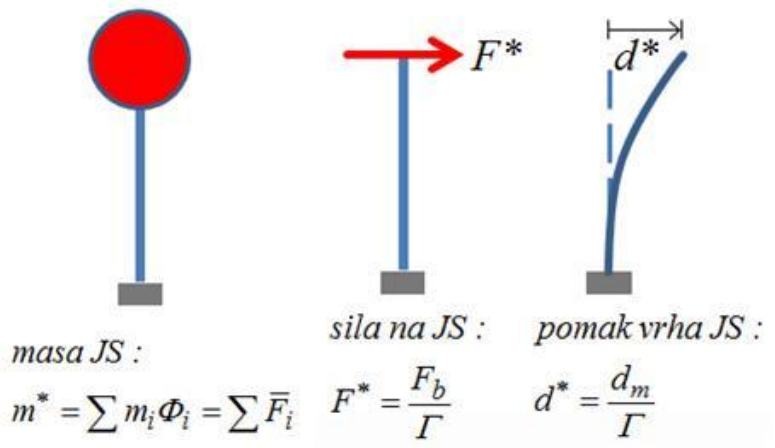
$$\Gamma_f = \Gamma_d = \frac{\sum \bar{F}_i}{\left(\frac{\bar{F}_i^2}{m_i} \right)}$$

Iz ovih izraza može se zaključiti da u masi ekvivalentnog JS- a najviše sudjeluju mase VS-a koje su pri vrhu sustava jer imaju najveće pomake, dok najmanje sudjeluju mase pri dnu sustava koje imaju najmanje pomake.

Nadalje, sila i pomak ekvivalentnog JS-a se određuju na sljedeći način:

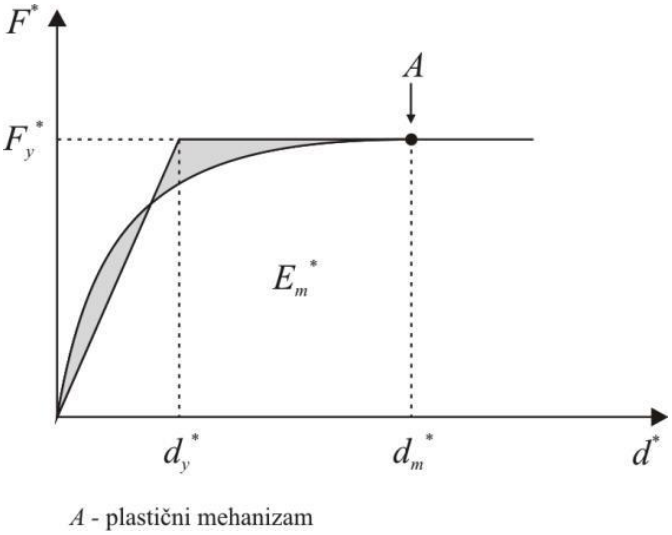
$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma_f}, \qquad d^* = \frac{d_n}{\Gamma_d}$$

gdje su F_b i d_n poprečna sila pri bazi i pomak kontrolnog čvora VS-a.



Slika 6.6: Prikaz ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava sa silom F i pomakom d**

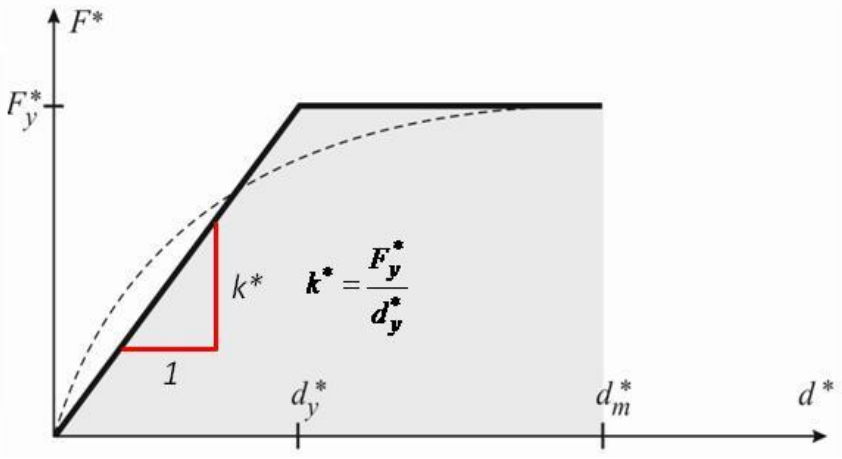
Sila tečenja F_y^*, koja predstavlja maksimalnu nosivost idealiziranog sustava je jednaka poprečnoj sili pri bazi pri formiranju plastičnog mehanizma. Početna krutost idealiziranog sustava se određuje na način da površine ispod stvarne i idealizirane sila-pomak krivulje budu jednake, tj. pod pretpostavkom očuvanja ukupne energije sustava.



Slika 6.7: Određivanje idealnog elasto-plastičnog dijagrama

Temeljeno na ovoj pretpostavci, pomak plastifikacije idealiziranog JS-a d_y^* je dan izrazom: $$d_y^* = 2\left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*}\right)$$

gdje je E_m^* energija deformacije do formiranja plastičnog mehanizma, d_y^* točka aproksimacije pojave plastičnog zgloba, a A točka pojave mehanizma.



Slika 6.8: Prikaz početne krutosti idealiziranog JS-a

Kao što se može vidjeti na slici, početna krutost idealiziranog JS-a je jednaka omjeru sile tečenja F_y^* i pomaka plastifikacije idealiziranog JS-a. Stoga se period idealiziranog ekvivalnetnog JS-a može odrediti kao:

$$T^* = 2\pi\sqrt{\frac{m^*}{k^*}} = 2\pi\sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}}$$

Nakon što se odredi period idealiziranog ekvivalentnog JS-a, preostaje još odrediti ciljani pomak ekvivalentnog JS-a. Ciljani pomak konstrukcije perioda T^* i neograničenog elastičnog ponašanja se određuje pomoću sljedećeg izraza:

$$d_{et}^* = S_e\left(T^*\right)\left[\frac{T^*}{2\pi}\right]^2$$

gdje je $S_e(T^*)$ elastični spektar ubrzanja za period T^*.

Za određivanje ciljanog pomaka d_t^* kod konstrukcija u području malih perioda i kod konstrukcija u području srednjih i većih perioda primjenjuju se različiti izrazi. Period koji dijeli male od srednjih perioda je period T_C.

$T^* < T_C$ (područje malih perioda)

Ako je $F_y^* / m^* \geq S_e\left(T^*\right)$ odgovor je linearan te slijedi;

$$d_t^* = d_{et}^*$$

Ako je $F_y^* / m^* < S_e\left(T^*\right)$ odgovor je nelinearan te slijedi;

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q_u}\left(1 + \left(q_u - 1\right)\frac{T_c}{T^*}\right) \geq d_{et}^*$$

gdje je q_u omjer ubrzanja u konstrukciji s neograničenim elastičnim ponašanjem $S_e(T^*)$ i u konstrukciji s ograničenim čvrstoćom F_y^*/m^*

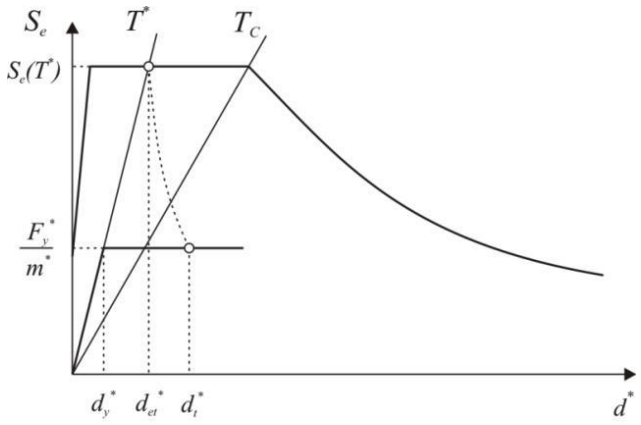
$$q_u = \frac{S_c\left(T^*\right)m^*}{F_y^*}$$

$T \geq T_C$ (srednji i veliki periodi)

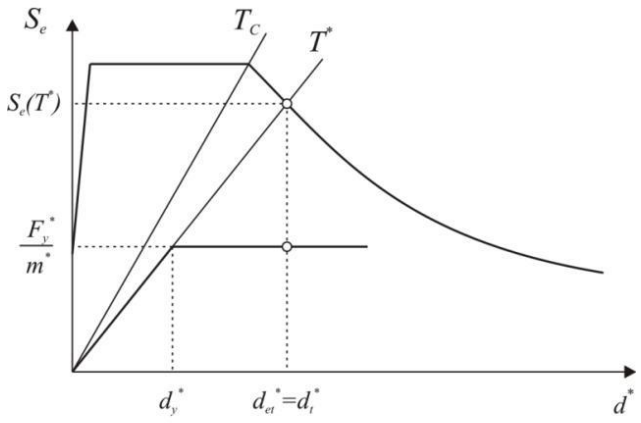
$$d_t^* = d_{et}^*$$

uz uvjet: $d_t^* \leq 3d_{et}^*$

Relacije prethodno predstavljene su prikazane grafički na crtežima koji slijede. Elastični spektri su prikazani u formatu ubrzanje-pomak.



a) Područje malih perioda ($T^*<T_C$)



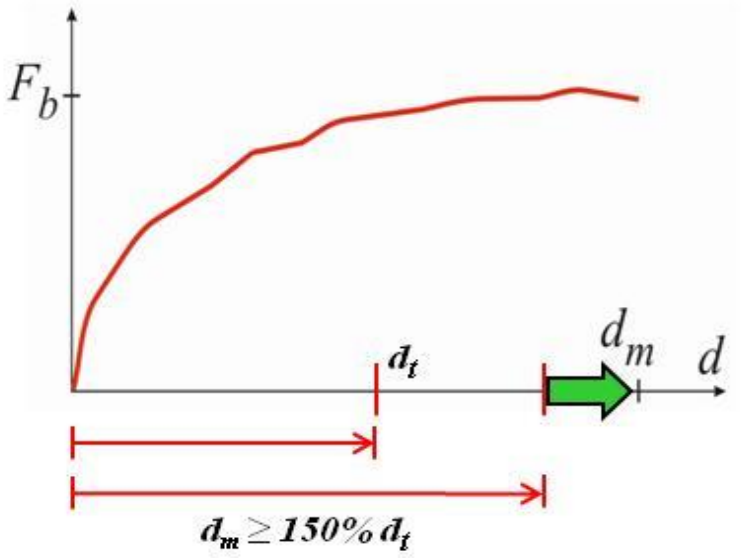
b) Područje srednjih i velikih perioda ($T^*\geq T_C$)

Slika 6.9: Grafički prikaz određivanja ciljanog pomaka

Preostaje još odrediti ciljani pomak VS-a. On se lako može odrediti pomoću faktora transformacije, kao produkt ciljanog pomaka idealiziranog ekvivalentnog JS-a i spomenutog faktora:

$$d_t^* = \Gamma_d d_t^*$$

Ciljani pomak se odnosi na kontrolni čvor.



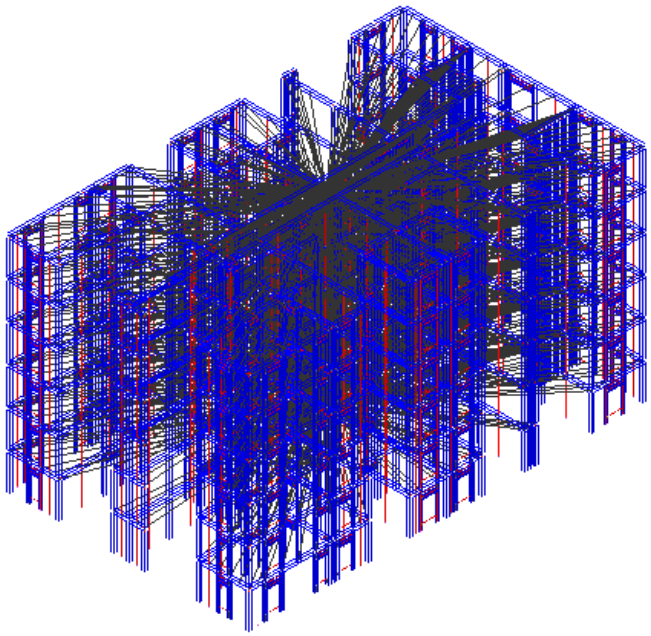
Slika 6.10: Krivulja kapaciteta nosivosti i odnos ciljanog pomaka i pomaka VS modela

Ciljani pomak kod dokazivanja graničnog stanja nosivosti predstavlja onaj pomak vrha konstrukcije koji se očekuje za zadani potres i svojstva konstrukcije. Smatra se da konstrukcija zadovoljava GSN ako je pomak vrha konstrukcije pred kolaps barem 150% veći od ciljanog pomaka.

7. Rezultati proračuna metodom naguravnja

7.1 Uvod

Na rezultate proračuna utječu postavke vezane za mrežu konačnih elemenata, pa je zato potrebno s posebnom pozornosti odabrati pojedine opcije u programu. Osnovna ideja leži u modeliranju svih nosivih elemenata 1D grednim elementima. To se odnosi na vertikalne i horizontalne elemente poput zidova, vertikalnih serklaža, horizontalnih serklaža, nadvoja nad vratima i sl. Iduća pretpostavka odnosi se na međukatnu konstrukciju, koja je u svojoj ravnini beskonačno kruta, dok je izvan te ravnine njena krutost zanemariva. Provedba navedenog modela i nelinearnog proračuna zahtijeva upotrebu kvalitetne mreže KE, te prikladno modeliranje krutih veza između grednih elemenata (*Slika 7.1*.).



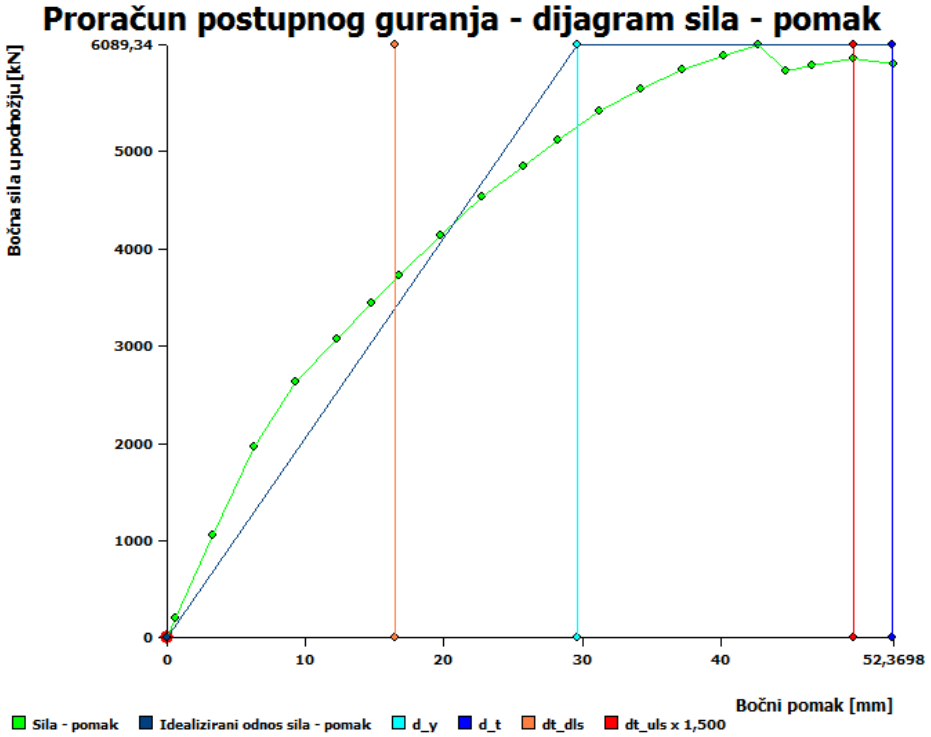
Slika 7.1: Mreža konačnih elemenata za proračunsku konstrukciju

U nastavku su prikazani rezultati proračuna za 6 promatranih modela. Za svaki model je prikazan dijagram sila-pomak, i to za oba smjera.. Horizontalno djelovanje je naneseno po modalnoj raspodjeli opterećenja u smjeru X i Y.

7.2 4 etaže

7.2.1 Model I (Zadar)

U ovom proračunskom modelu vršimo analizu zgrade od 4 etaže u Zadru (0,175 g):

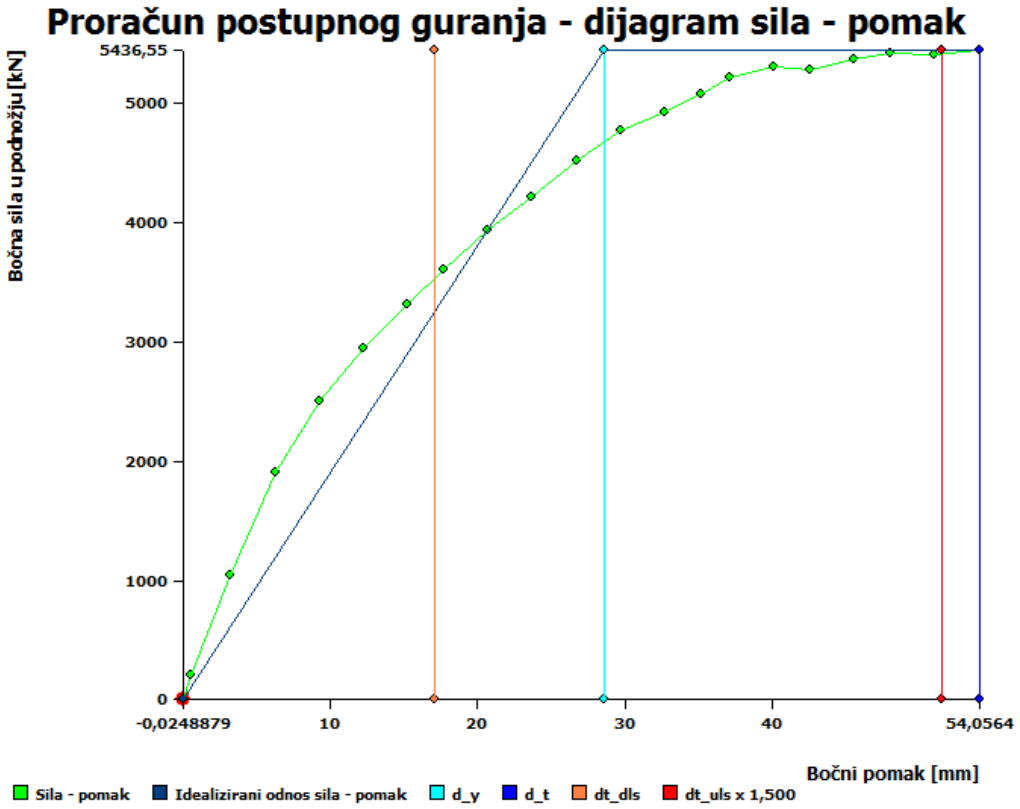


Slika 7.2: Dijagram sila – pomak (x smjer)

Na (*Slici 7.2.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (označen narančastom bojom), te iznosi 16,515 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 49,509 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 49,545 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 52,370 mm (*Slika 7.3.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti da promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	16,515
Kapacitet za GSU [mm]:	49,509
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	49,545
Kapacitet za GSN [mm]:	52,370
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.3: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (x smjer)



Slika 7.4: Dijagram sila – pomak (y smjer)

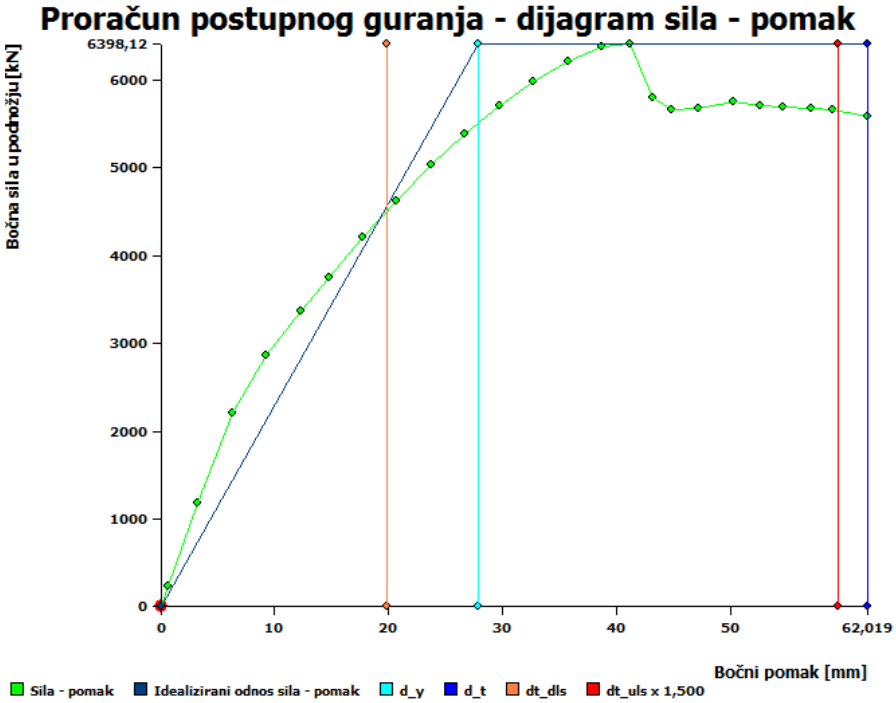
Na (*Slici 7.4.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabe (označen narančastom bojom), te iznosi 17,077 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 51,056 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 51,505 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 54,056 mm (*Slika 7.5.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(10) Y+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	17,077
Kapacitet za GSU [mm]:	51,056
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	51,505
Kapacitet za GSN [mm]:	54,056
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.5: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (y smjer)

7.2.2 Model II (Split)

U ovom proračunskom modelu vršimo analizu zgrade od 4 etaže u Splitu (0,220 g):

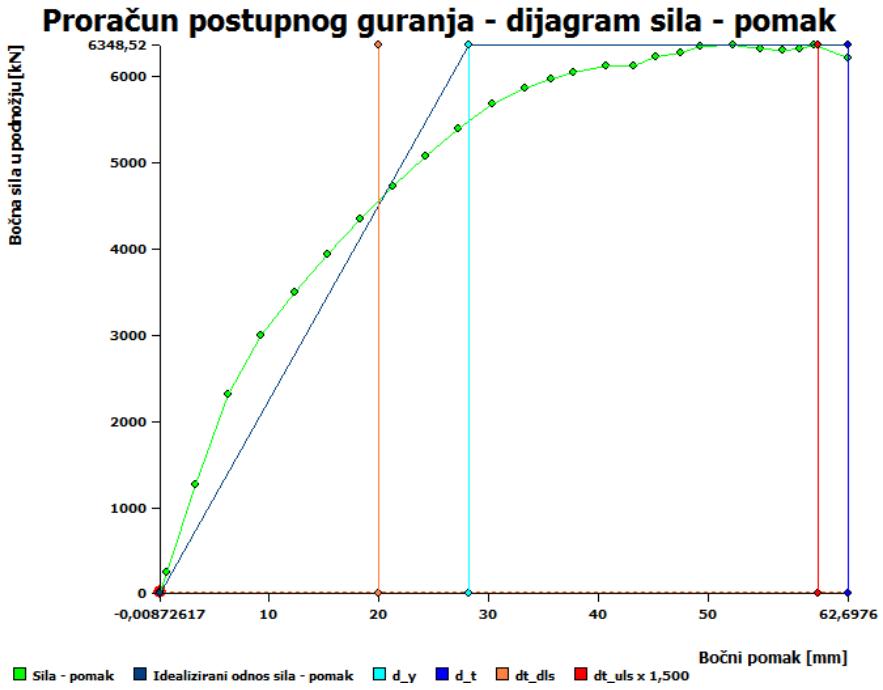


Slika 7.6: Dijagram sila – pomak (x smjer)

Na (*Slici 7.6.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (označen narančastom bojom), te iznosi 19,820 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 47,233 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 59,459 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 62,019 mm (*Slika 7.7.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti da promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	19,820
Kapacitet za GSU [mm]:	47,233
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	59,459
Kapacitet za GSN [mm]:	62,019
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.7: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (x smjer)



Slika 7.8: Dijagram sila – pomak (y smjer)

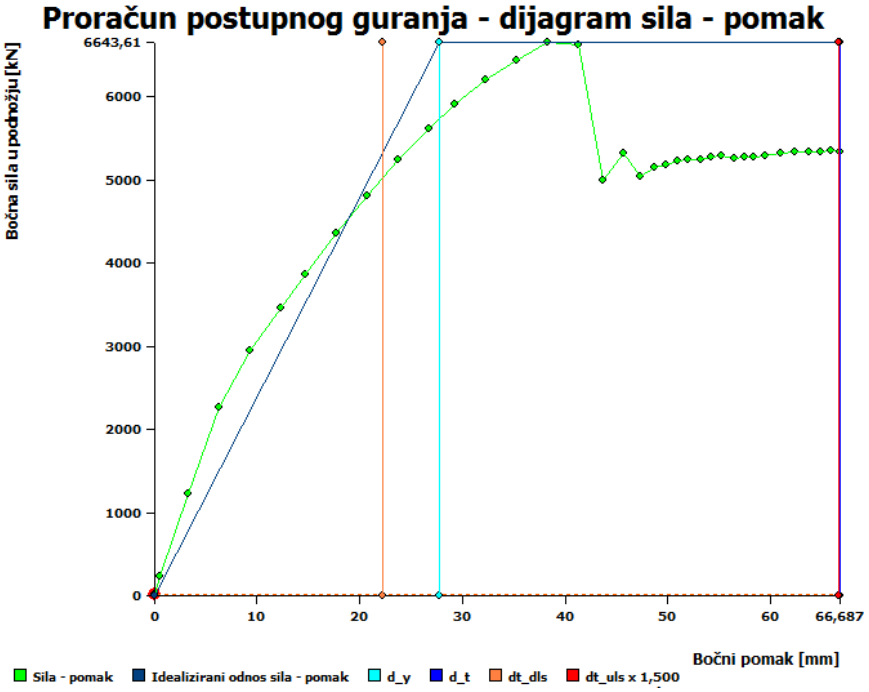
Na (*Slici 7.8.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabe (označen narančastom bojom), te iznosi 19,909 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 49,300 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 60,072 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 62,698 mm (*Slika 7.9.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(10) Y+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	19,909
Kapacitet za GSU [mm]:	49,300
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	60,072
Kapacitet za GSN [mm]:	62,698
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.9: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (y smjer)

7.2.3 Model II / II* (Zagreb)

U ovom proračunskom modelu vršimo analizu zgrade od 4 etaže u Zagrebu (0,250 g):

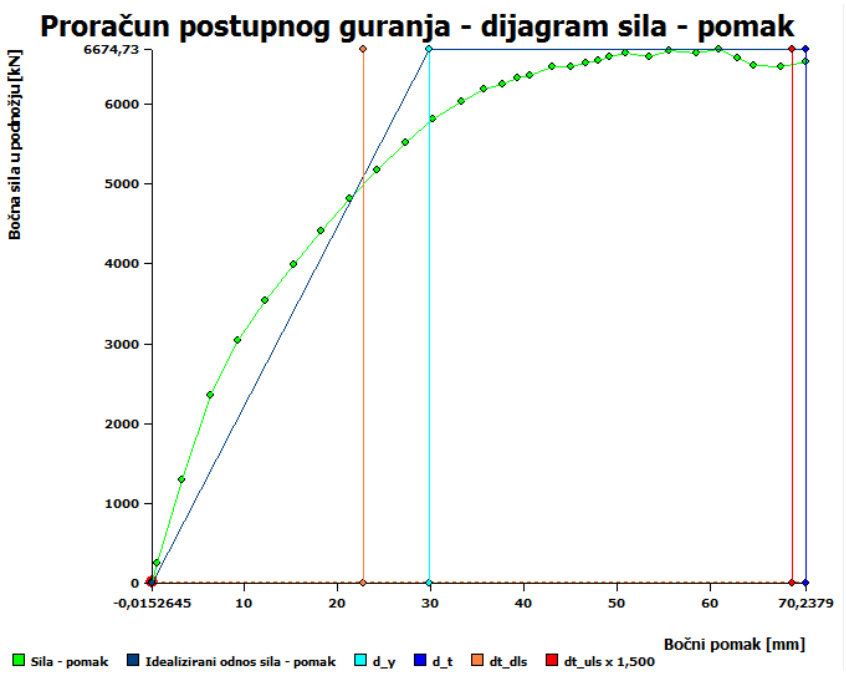


Slika 7.10: Dijagram sila – pomak (x smjer)

Na (*Slici 7.10.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (označen narančastom bojom), te iznosi 22,203 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 43,698 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 66,609 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 66,687 mm (*Slika 7.11.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti da promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	22,203
Kapacitet za GSU [mm]:	43,698
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	66,609
Kapacitet za GSN [mm]:	66,687
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.11: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (x smjer)



Slika 7.12: Dijagram sila – pomak (y smjer)

Na (*Slici 7.12.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabe (označen narančastom bojom), te iznosi 22,728 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 53,488 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 68,788 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 70,238 mm (*Slika 7.13.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

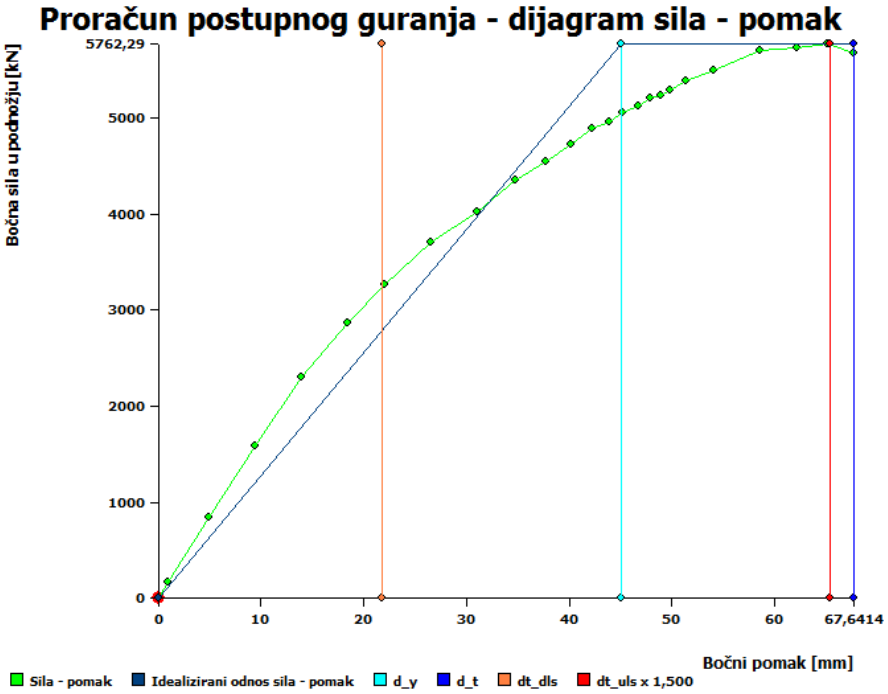
(10) Y+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	22,728
Kapacitet za GSU [mm]:	53,488
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	68,788
Kapacitet za GSN [mm]:	70,238
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.13: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (y smjer)

7.3 6 etaža

7.3.1 Model I (Osijek)

U ovom proračunskom modelu vršimo analizu zgrade od 6 etaža u Osijeku (0,150 g):

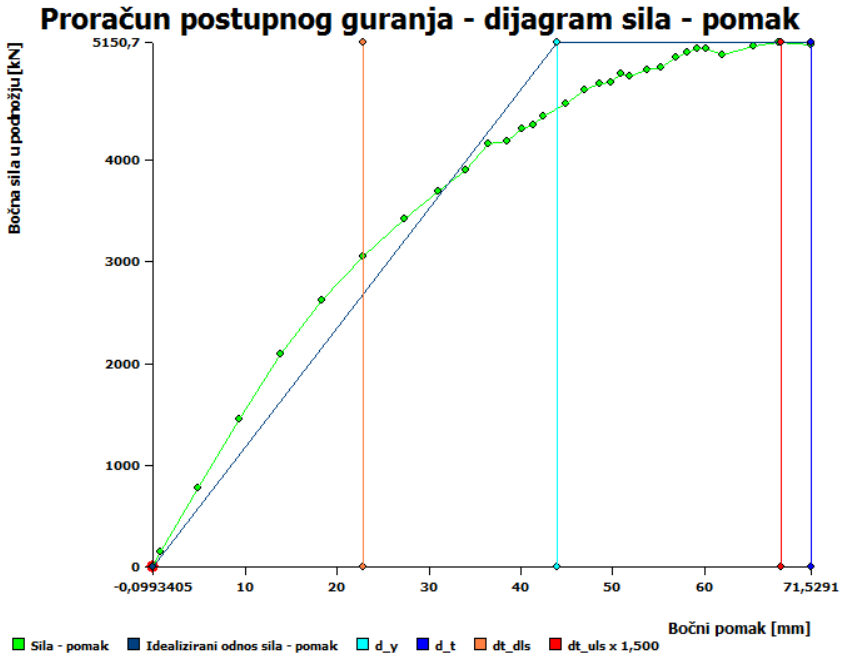


Slika 7.14: Dijagram sila – pomak (x smjer)

Na (*Slici 7.14.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (označen narančastom bojom), te iznosi 21,816 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 67,641 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 65,447 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 67,641 mm (*Slika 7.15.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti da promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	21,816
Kapacitet za GSU [mm]:	67,641
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	65,447
Kapacitet za GSN [mm]:	67,641
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.15: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (x smjer)



Slika 7.16: Dijagram sila – pomak (y smjer)

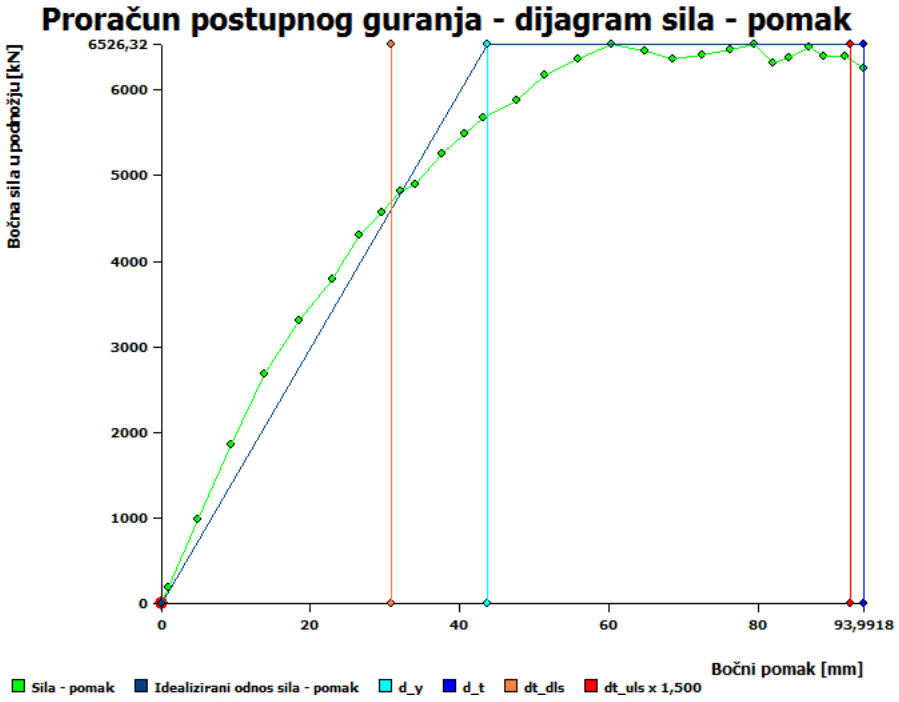
Na (*Slici 7.16.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabe (označen narančastom bojom), te iznosi 22,788 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 71,529 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 68,365 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 71,529 mm (*Slika 7.17.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(10) Y+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	22,788
Kapacitet za GSU [mm]:	71,529
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	68,365
Kapacitet za GSN [mm]:	71,529
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.17: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (y smjer)

7.3.2 Model II (Rijeka)

U ovom proračunskom modelu vršimo analizu zgrade od 6 etaža u Rijeci (0,225 g):

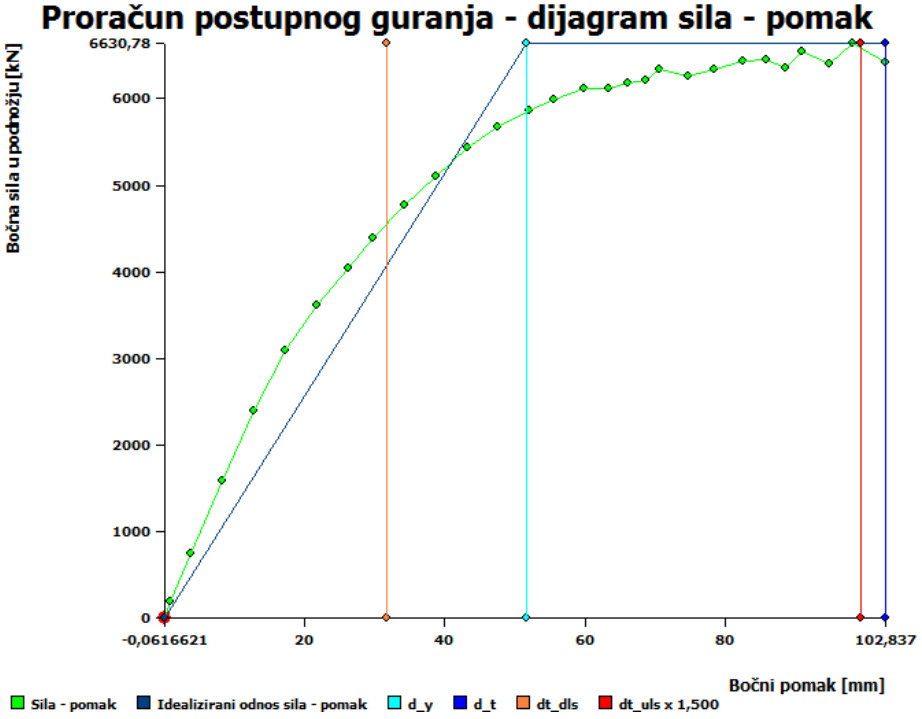


Slika 7.18: Dijagram sila – pomak (x smjer)

Na (*Slici 7.18.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (označen narančastom bojom), te iznosi 30,738 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 76,295 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 92,215 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 93,992 mm (*Slika 7.19.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti da promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	30,738
Kapacitet za GSU [mm]:	76,295
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	92,215
Kapacitet za GSN [mm]:	93,992
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.19: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (x smjer)



Slika 7.20: Dijagram sila – pomak (y smjer)

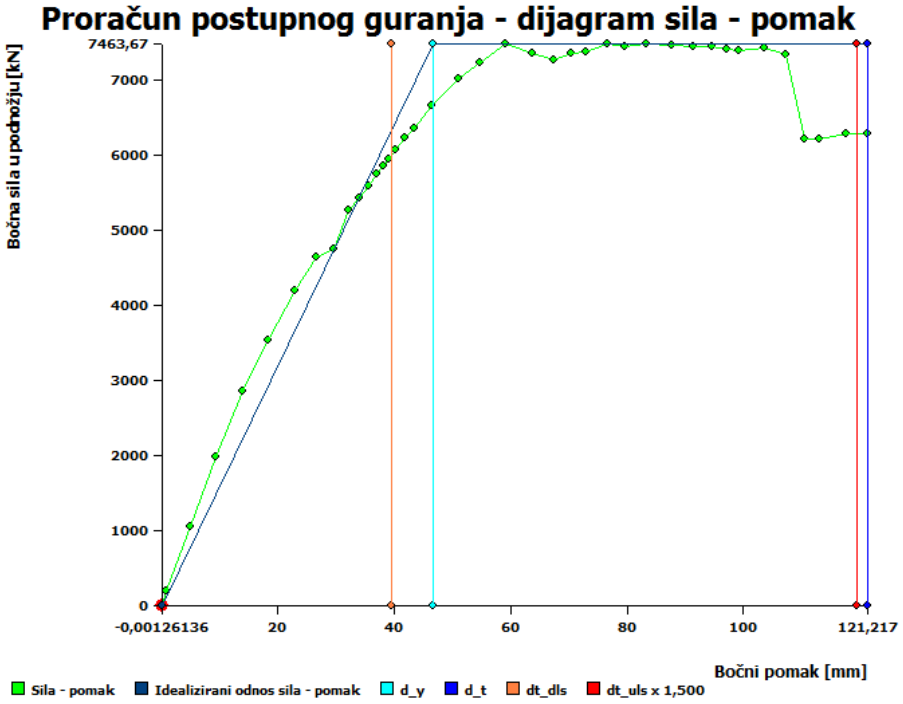
Na (*Slici 7.20.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabe (označen narančastom bojom), te iznosi 31,749 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 78,513 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 99,325 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 102,837 mm (*Slika 7.21.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(10) Y+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	31,749
Kapacitet za GSU [mm]:	78,513
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	99,325
Kapacitet za GSN [mm]:	102,837
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.21: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (y smjer)

7.3.3 Model II* (Dubrovnik)

U ovom proračunskom modelu vršimo analizu zgrade od 6 etaža u Dubrovniku (0,300 g):

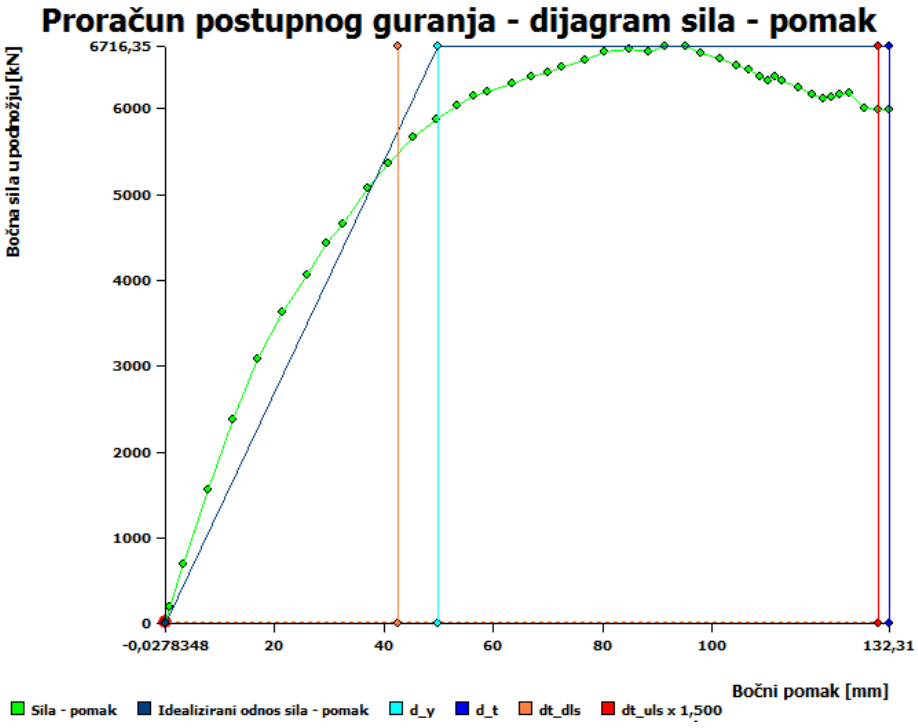


Slika 7.22: Dijagram sila – pomak (x smjer)

Na (*Slici 7.22)* primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (označen narančastom bojom), te iznosi 39,595 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 72,981 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 119,585 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 121,217 mm (*Slika 7.23*.). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti da promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	39,595
Kapacitet za GSU [mm]:	72,981
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	119,585
Kapacitet za GSN [mm]:	121,217
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.23: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (x smjer)



Slika 7.24: Dijagram sila – pomak (y smjer)

Na (*Slici 7.24.*) primjećujemo da je ciljani pomak za granično stanje uporabe (označen narančastom bojom), te iznosi 42,660 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 76,810 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također primjećujemo da je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 130,382 mm i označen je crvenom bojom, dok kapacitet za GSN iznosi 130,310 mm (*Slika 7.25.*). Iz prikazanih rezultata možemo zaključiti promatrana konstrukcija može izdržati takav pomak.

(10) Y+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	42,660
Kapacitet za GSU [mm]:	76,810
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	130,382
Kapacitet za GSN [mm]:	132,310
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Slika 7.25: Vrijednosti pomaka za GSU i GSN (y smjer)

7.4 Analiza rezultata metodom naguravanja

Analiza metodom naguravanja obuhvaća sve navedene gradove (potresne zone) na način da se za svaki grad birao jedan reprezentirajući primjer s obzirom na katnost, ukupni postotak zidova, udio AB zidova u njima, te referentno ubrzanje kojim bi se ukazalo na neke zanimljivosti vezano za cjelokupnu temu ponašanja zidanih konstrukcija.

Tako je u prvom primjeru za zgradu od 4 etaže u Zadru (0,175 g) s manjim postotkom površine zidova (Model I) prikazano kako je to granični slučaj za taj postotak ziđa i to ubrzanje te da je za sva veća referenta ubrzanja tla, bez intervencije dodavanja većeg postotka ziđa ili AB zidova, to granična vrijednost. Nadalje u drugom primjeru za zgradu od 4 etaže u Splitu (0.220 g) s većim postotkom ziđa (Model II) pokazano je kako s povećanjem od cca 1% površine ziđa u svakom smjeru to značajno utječe na nosivost. Zadnji primjer zgrade od 4 etaže u Zagrebu (0,250 g) s većim postotkom ziđa te zamjenom AB zidova (Model II*) donio nam je zanimljive rezultate koji ukazuju da u tom slučaju otkazuje Y smjer, dok je proračun za (Model II) prošao. Kako se vidi u primjeru 7.*2.3 Model II / II* (Zagreb*) s priličnim poteškoćama i otkazivanjima velikog broja zidova u X smjeru. Nije se imalo vremena ulaziti u detaljnije analize da se sa sigurnošću može potvrditi zašto je do ovoga došlo ali vjerojatno zbog efekta torzije koji stvara „fiktivna betonska jezgra“ koja nije u središtu već na rubu. Tako Y smjer, koji u (Modelu II*) ima manju krutost zbog AB zidova u X smjeru, postaje kritičniji te dolazi do otkazivanja. (Dijagram momenta torzije u AmQuake je pokazao da je u ovom slučaju došlo do velikih torzijskih momenata na pojedinim zidovima.)

Prvi primjer za zgrade od 6 etaža je zgrada u Osijeku (0,150 g) kojim je prikazano kako se s manjim postotkom ziđa (Model I) u nešto slabijoj potresnoj zoni može zadovoljiti nosivost i do 6 etaža. Sljedeći primjer zgrade od 6 etaža u Rijeci (0,225 g) koji nam prikazuje kako veći postotak ziđa (Model II) može podnijeti do 6 katova za to referentno ubrzanje. Dok se u zadnjem primjeru zgradom od 6 etaža u Dubrovniku (0.300 g) htjelo ukazati da se dodatkom AB zidova (Model II*) može čak i u toj iznimno zahtjevnoj zoni postići nosivost za 6 katova.

Što se tiče odnosa katova 4 i 6 etaža zapažen je zanimljiv slučaj da se kod 4 etaže puno više osjeti utjecaj torzije kao kod (Modela II*) zbog krute jezgre koja nije u središtu zgrade pa proračun ubrzanja (0.300 g) za 4 etaže ne prolazi a za 6 etaža prolazi. Ma da to nije jedini razlog. Inače je X smjer bio kritičniji ali kod Modela II* je očekivano Y smjer postao slabiji. Namjerno se nije išlo u pretjerano dodavanje AB zidova jer tada zgrada gubi smisao zidanih konstrukcija. Sve preuzimaju AB zidovi i veći „problem“ postaje preuzimanje sila

koje se javljaju u tlačnim dijagonalama AB zidova. Što je potrebno adekvatno proračunati te vjerojatno stavljati i kosu armaturu. Smatra se da je dodavanje tj. zamjena AB zidova najoptimalnija za cca 20% od ukupnog postotka nosivih zidova.

Valja napomenuti kako su svi izneseni primjeri samo "teoretska nosivost“ i kako svi ovi proračuni više imaju svrhu informativnog karaktera pošto nisu uzeti baš svi potrebni i precizni podatci, te se nije moglo u okviru ovog rada ići u toliko detalja niti obraditi toliki broj primjera koji bi jasnije i preciznije pokazali neke aspekte ponašanja seizmičke otpornosti zidanih konstrukcija. Svaki od navedenih "zaključaka" morao bi obuhvatit zasebnu i iscrpnu analizu kako bi se moglo s većom sigurnošću potvrditi točnost svih ovih pokazatelja.

Što se tiče samih oštećenja nije ih se detaljno analiziralo i prikazalo ma da se njih praktički može isčitati iz dijagrama sila-pomaka. Tako nam veći skokovi na dijagramu jasno pokazuju kada je došlo do značajnijeg otkazivanja više zidova zajedno. Makar to baš ne odgovara stvarnom stanju otkazivanja koje bi trebalo biti ipak malo „ravnomjernije“ ali ukazuje na to da se preko određene sile značajno gubi nosivost većeg dijela zidova. Tada ovisno o „ostatku“ nosivih zidova ovisi hoće li doći do totalnog otkazivanja ili će uspjeti „ostatak“ zidova preuzeti i zadovoljiti uvjete nosivosti.

Također treba spomenuti kako vertikalno opterećenje značajno utječe na nosivost horizontalno opterećenih zidova pa tako u modelima u AmQuakeu za povećanje od 1-2 kN/m^2 ziđe može podnijeti značajno veće potresno opterećenje. Praktički efekt je kao da je prednapeto ziđe. Što ukazuje da bi zidove koji dominantno preuzimaju horizontalna djelovanja trebalo na neki način dodatno vertikalno opteretiti. Naravno pri tome treba paziti na tlačna naprezanja. Dobro bi bilo spomenuti kako može doći i do gubitka globalne stabilnosti ako zid nije vertikalno dobro opterećen. Zato je bitno dobro opteretiti vertikalno zidove koji su dominantni u horizontalnoj nosivosti.

Zaključak ovog dijela je da kod „zahtjevnijih“ slučajeva bila to veća katnost ili „veća“ potresna zona osim što možemo dodavati veći postotak ziđa možemo zamijeniti neke zidove od opeke s AB zidovima. To će nam donijeti potrebnu nosivost za zadovoljavanje uvjeta GSU i GSN. Na taj efekt smo se posebno koncentrirali u metodi naguravanja. Te je fino pokazano kako se s malom „intervencijom“ (zamjenom par zidanih zidova AB zidovima) može značajno povećati nosivost. *Primjer 7.3.3. Model II* (Dubrovnik).*

8. Zaključak

Zadatak ovog diplomskog rada bila je parametarska analiza te procjena potresne otpornosti zidanih zgrada s obzirom na različiti postotak ziđa, udio AB zidova u njima u ovisnosti o potresnom području na koje se promatrana zgrada nalazi. Ocjenjuje se potresna otpornost zidanih zgrada uvažavajući granično stanje nosivosti i granično stanje deformabilnosti. Navedena granična stanja su provjerena nelinearnom statičkom metodom postupnog naguravanja prema EC8, uvažavajući EC6, EC2 i odgovarajuće hrvatske nacionalne dodatke. Proračunske analize su provedene programskim paketom AmQuake.

Kao što je već navedeno analizirani su različiti proračunski modeli. Model I (s manjim postotkom ziđa), Model II (s većim postotokom ziđa) te Model II* (postotak zidova kao u Modelu II samo što su dva zida u X smjeru i jedan u Y zamijenjeni s AB zidovima).

Iz navedenih primjera proračuna za obje metode koje smo koristili u radu proizlazi da je zgrade u seizmičkim aktivnim područjima najbolje izvoditi kao zidane (omeđeno ziđe) do 5-6 etaža ukoliko ne mislimo imati značajniji postotak AB zidova, te ako se ne nalazimo u „zahtjevnijim“ potresnim zonama. Tako za ukupni postotak površina nosivog ziđa od 9-10% (bilo bi dobro da je omjer što ujednačeniji pa tako da svaki smjer ima 4,5-5%) može podnijeti do (cca 0,200 g). Slijedeći „korak“ je povećati ukupni postotak nosivog ziđa recimo na 11-12% (također težiti svim pravilnostima i dobrom omjeru zidova u oba smjera – 5-6%) koje može podnijeti do (cca 0,250 g). Ukoliko se radi o još višim zgradama (6-7 etaža) ili još većim ubrzanjima (0,300 g) onda je potreban značajniji udio AB zidova (10-25 % od ukupnog postotka nosivih zidova). Pri tome treba paziti na izvedbu AB zidova te adekvatno ih proračunati za seizmička djelovanja. Naravno postotak AB zidova varira ovisno o potresnoj zoni, vrsti ziđa, serklažima te izvedbi cijele konstrukcije a posebno su važni temelji.

Nakon detaljne analize rezultata zaključujemo da je pravilna geometrija jako važan čimbenik, odnosno, da zgrada mora imati dovoljno zidova u dva ortogonalna smjera i pravilno posložene vertikalne serklaže da bi mogla preuzeti potresno opterećenje. Ziđe uvelike ukrućuje zgradu što inducira velike potresne sile, a samim time i oštećenja pri djelovanju potresa. Pojavom oštećenja krutosti se smanjuju a povećaju se vlastiti periodi. Krute konstrukcije imaju kratke vlastite periode što znači da im je ubrzanje najvažniji parametar dok fleksibilne imaju dugačke vlastite periode i najvažniji parametar im je pomak. Što znači da imaju manju krutost i manje potresne sile ali veće pomake. Zbog odizanja temelja i raspucanja zid kod nelinearnog proračuna brzo ispadne iz rezonantnog djelovanja. Tako nastaje velika razlika između prvog i drugog perioda oscilacija što je svojstveno za krute konstrukcije.

Temelji su važni iz više razloga. Slijeganje temelja kod krutih zgrada izaziva značajna oštećenja i pukotine.. Zbog velike krutosti u ziđu se za male vrijednosti slijeganja razvijaju velike sile, međutim zbog male vlačne čvrstoće se brzo razvijaju pukotine. Značajan utjecaj na diferencijalna slijeganja koja se javljaju osim temeljne konstrukcije izaziva i tlo kao podkonstrukcija pa je potrebno posebnu pozornost posvetiti tom problemu. Važno je temelje dobro povezati, pogotovu u smjeru pružanja zidova koji preuzimaju horizontalna djelovanja, s ciljem 'aktiviranja' što većeg vertiklanog (stabilizirajućeg) djelovanja. U tom slučaju je važna i savojna krutost nadtemeljnih zidova. Širinu temelja treba odabrati s ciljem ujednačavanja kontaktnih naprezanja, što osigurava jednakost slijeganja na terenu jednolikih mehaničkih (deformacijskih) svojstava. U ovom radu nije detaljno razrađena problematika temelja već je zbog složenosti problematike zidanih konstrukcija pozornost isključivo stavljena na samo ziđe ali je zbog važnosti problema skrenuta makar pažnja na temelje.

Naravno da je u praksi cijela konstrukcija uzajamno ovisna međutim da bi se jedan segment teoretski kvalitetno mogao obraditi potrebno je „zaključati" neke druge aspekte kako se međusobno ne bi „isprepletali" različiti utjecaji što je često slučaj u „konstrukterstvu". Naročito ovo vrijedi kada su u pitanju potresi i njihovo razorno djelovanje na konstrukciju.

9. Prilozi

Prilog 1: Tlocrt nadtemeljnih zidova M 1:150

Prilog 2: Tlocrt Model I M 1:150

Prilog 3: Tlocrt Model II M 1:150

Prilog 4: Tlocrt Model II* M 1:150

Prilog 5: Podloga za Model I M 1:150

Prilog 6: Podloga za Model II M 1:150

Prilog 7: Podloga za Model II* M 1:150

Prilog 8: Presjek 1-1 M 1:100

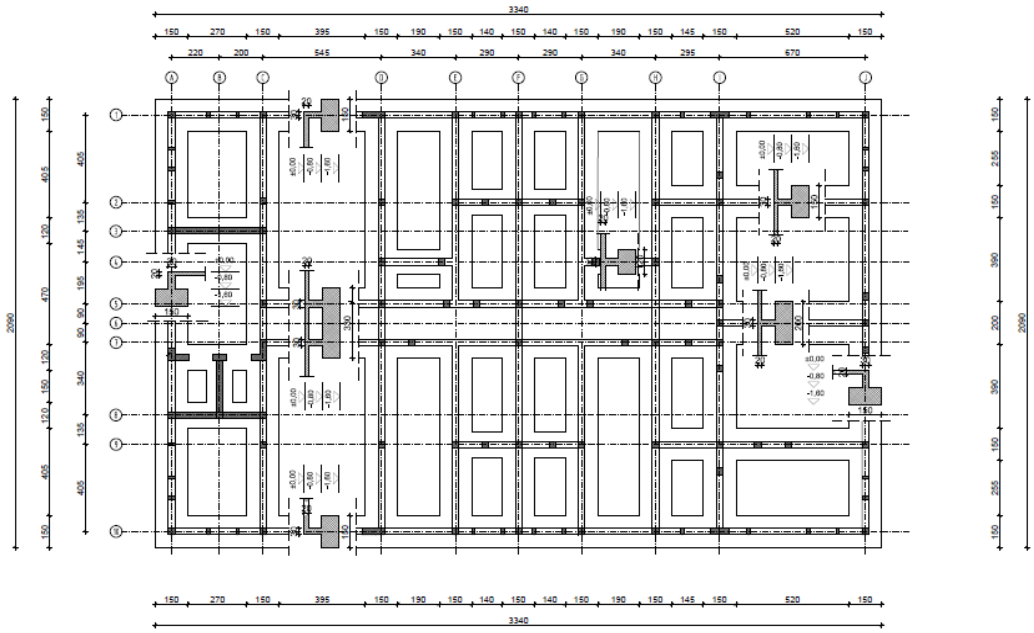
Prilog 9: Pročelja M 1:200

10. Literatura

1) Aničić D., Franko T., Zidane konstrukcije: Priručnik za investitore, projektante, Karlovac, Wienerberger Ilovac d.d., 2010.
2) Červenka J., Jendele L., Janda Z, AmQuake: Program Documentation, Prag, Cervenka Consulting Ltd, 2016
3) Europska norma EN 1998, 2004
4) Europska norma EN 1996, 2004
5) Europska norma EN 1992, 2004
6) Mihanović A., Dinamika konstrukcija, Udžbenici Sveučilšta u Splitu, Split, 1995
7) Mihanović A., Trogrlić B., Akmadžić V., Građevna statika II, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split 2014
8) Sorić Z., Zidane konstrukcije , Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016
9) Trogrlić B. Zidane konstrukcije – predavanja, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, Split, 2013

TLOCRT NADTEMELJNIH ZIDOVA

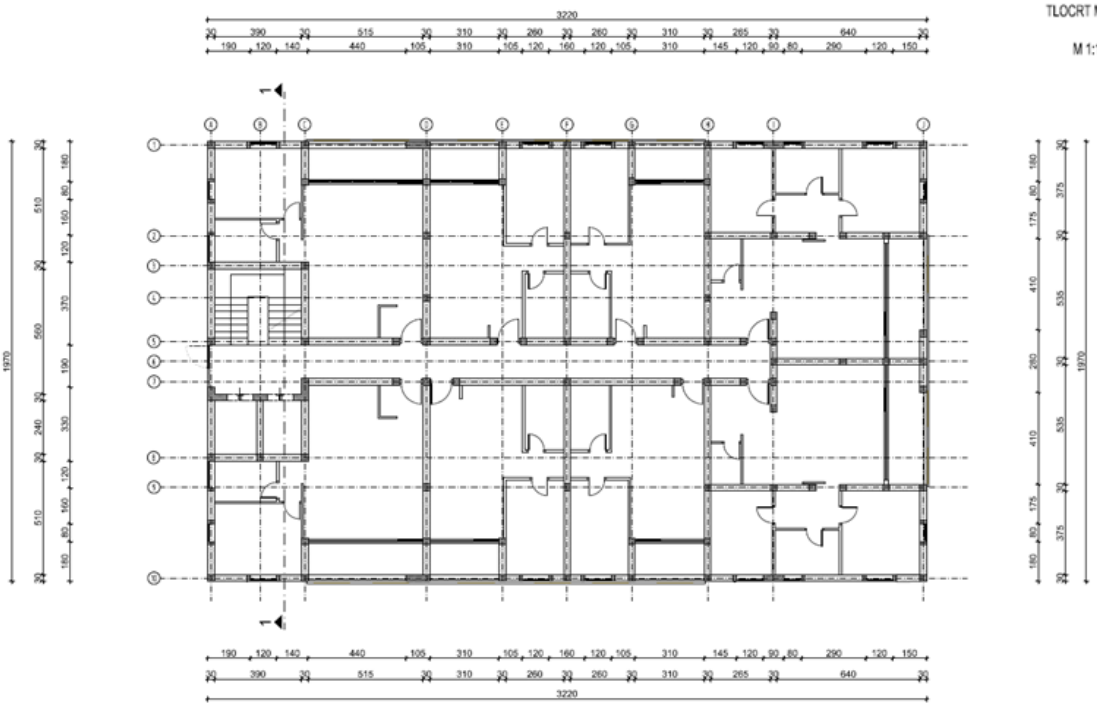
M 1:150



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada		
	Student:	Ivan Matešjan		
	Sadržaj:	Tlocrt nadtemeljnih zidova	Mjerilo:	Broj priloga:
	Datum:	Rujan, 2016.	1:150	1

TLOCRT MODEL I

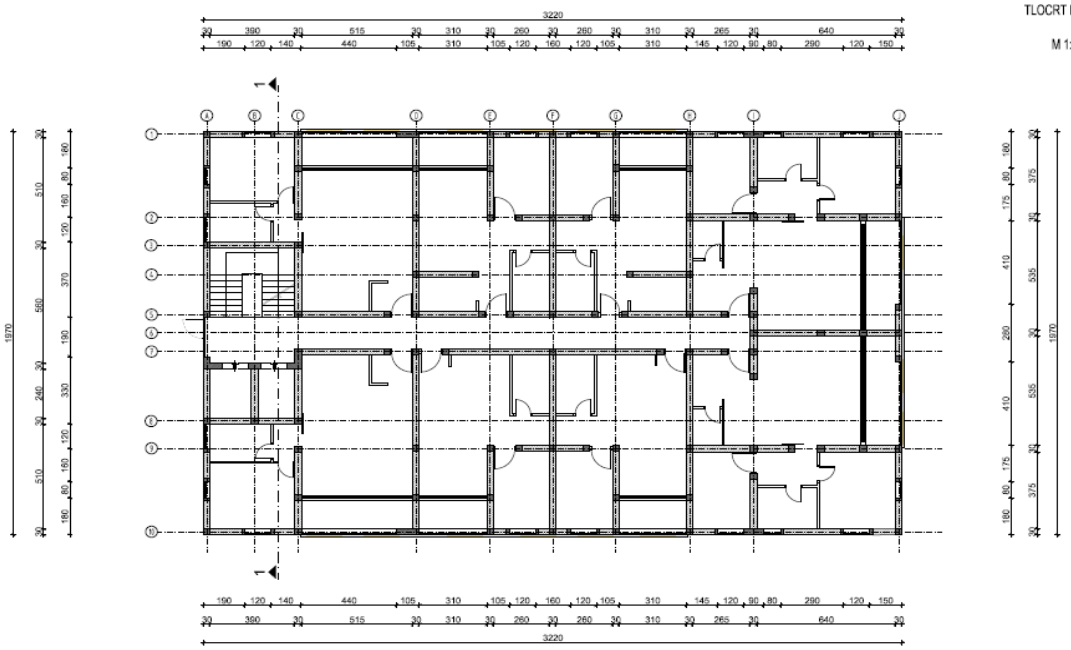
M 1:150



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada		
	Student:	Ivan Matešjan		
	Sadržaj:	Tlocrt Model I	Mjerilo:	Broj priloga:
	Datum:	Rujan, 2016.	1:150	2

TLOCRT MODEL II

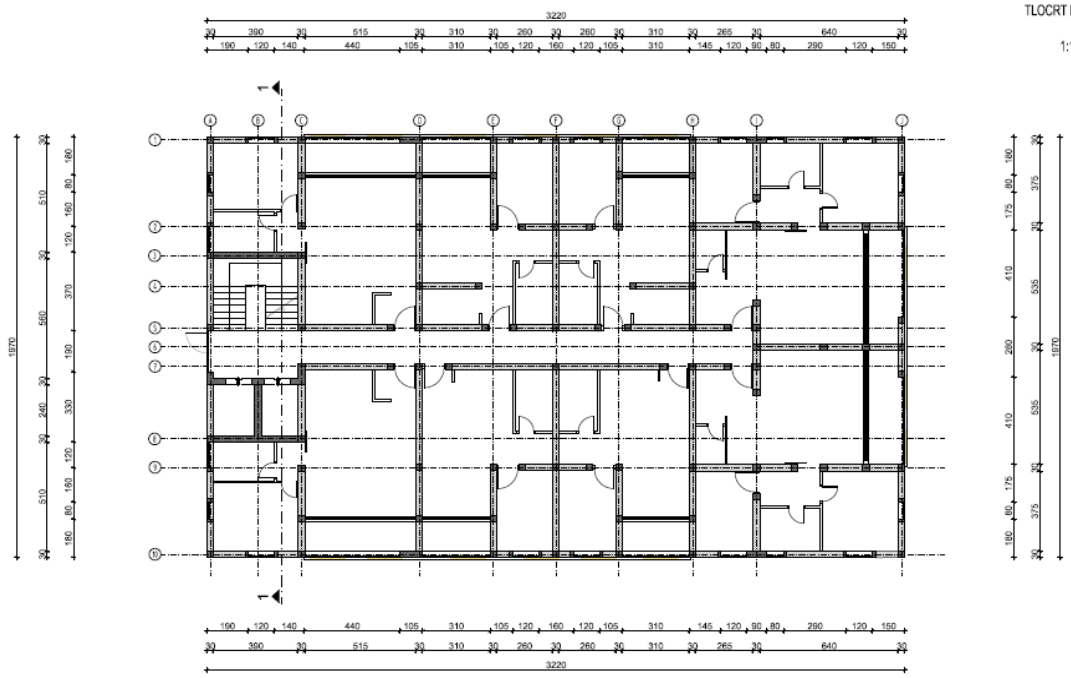
M 1:150



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada		
	Student:	Ivan Matešjan		
	Sadržaj:	Tlocrt Model II	Mjerilo:	Broj priloga:
	Datum:	Rujan, 2016.	1:150	3

TLOCRT MODEL II*

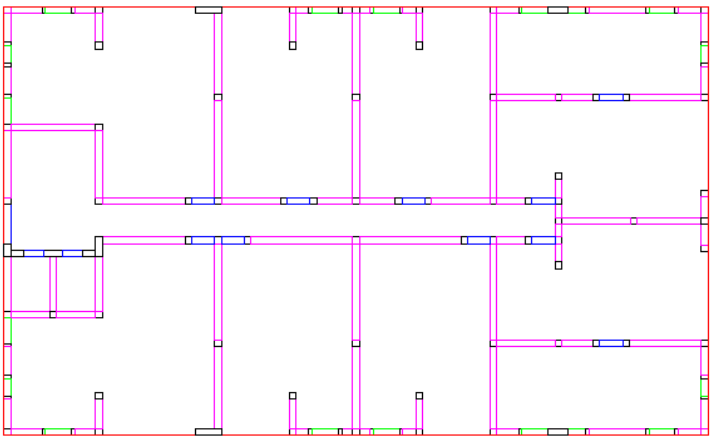
1:150



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada		
	Student:	Ivan Matešjan		
	Sadržaj:	Tlocrt Model II*	Mjerilo:	Broj priloga:
	Datum:	Rujan, 2016.	1:150	4

PODLOGA ZA MODEL I

M 1:150



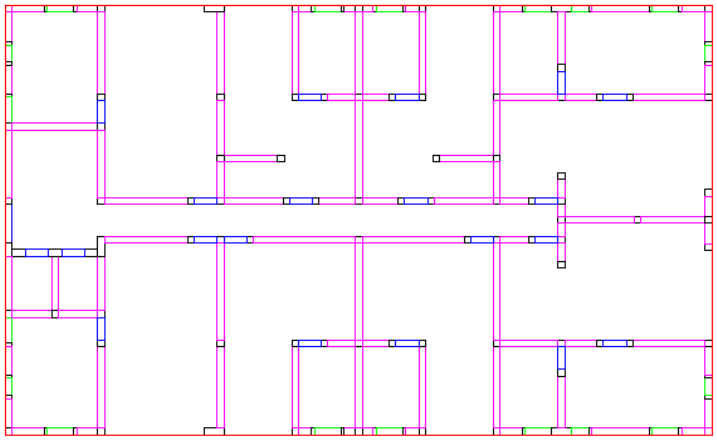
TOPOLOGIJA ZA MODEL :



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD		
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada	
	Student:	Ivan Matošjan	
	Sadržaj:	Podloga za Model I	Mjerilo: 1:150 / Broj priloga: 5
	Datum:	Rujan, 2016.	

PODLOGA ZA MODEL II

M 1:150



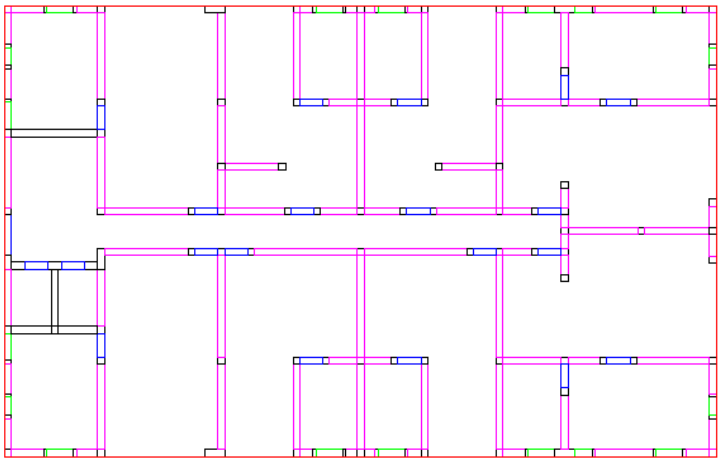
TOPOLOGIJA ZA MODEL :



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD		
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada	
	Student:	Ivan Matošjan	
	Sadržaj:	Podloga za Model II	Mjerilo: 1:150 / Broj priloga: 6
	Datum:	Rujan, 2016.	

PODLOGA ZA MODEL II*

M 1:150



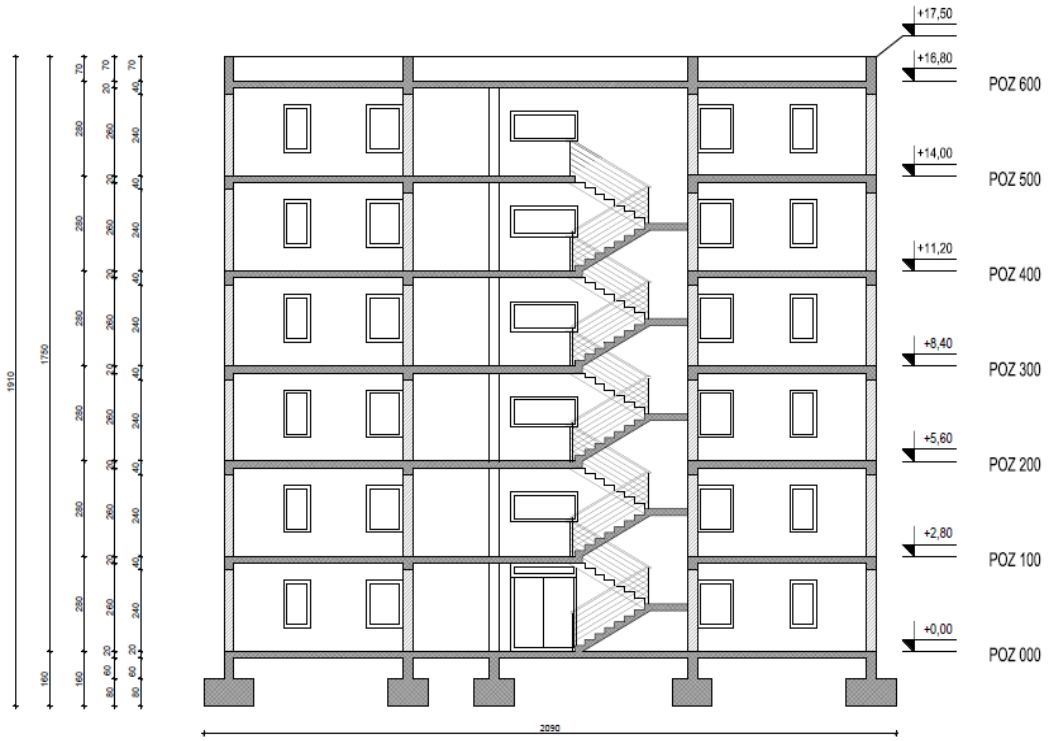
TOPOLOGIJA ZA MODEL :



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD		
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada	
	Student:	Ivan Matešan	
	Sadržaj:	Podloga za Model II*	Mjerilo: 1:150
	Datum:	Rujan, 2016.	Broj priloga: 7

PRESJEK 1-1

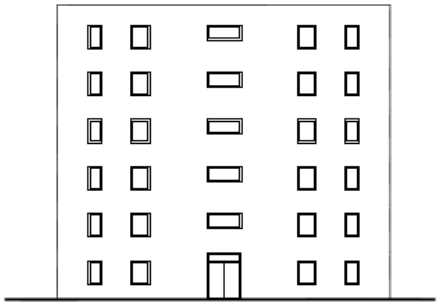
M 1:100



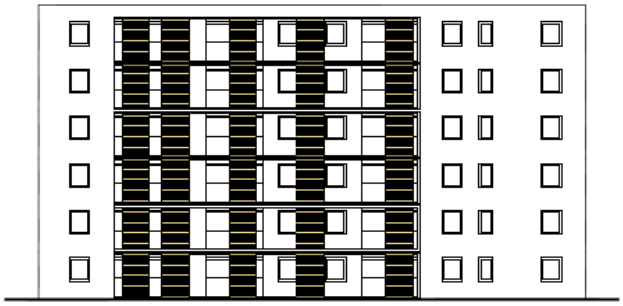
SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD		
	Tema:	Parametarska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada	
	Student:	Ivan Matešan	
	Sadržaj:	PRESJEK 1-1	Mjerilo: 1:100
	Datum:	Rujan, 2016.	Broj priloga: 8

PROČELJA ZGRADE

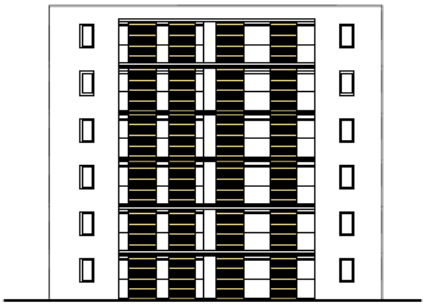
M 1:200



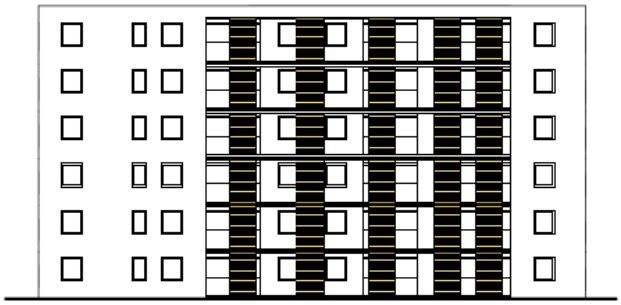
SJEVERNO PROČELJE



ZAPADNO PROČELJE



JUŽNO PROČELJE



ISTOČNO PROČELJE

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD			
Tema:	Panoramska analiza seizmičke otpornosti zidanih zgrada		
Student:	Ivan Matoljan		
Sadržaj:	PROČELJA ZGRADE	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan, 2016.	1:200	9