Proračun stambeno-poslovne zidane zgrade s fleksibilnim prizemljem

Maleć, Tomislav

Master's thesis / Diplomski rad

2015

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:123:297098

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

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

Tomislav Maleć

Split, srpanj 2015.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Tomislav Maleć

Proračun stambeno-poslovne zidane zgrade sa fleksibilnim prizemljem

Diplomski rad

Split, srpanj 2015.

Zahvaljujem mentoru prof.dr.sc. Borisu Trogrliću na savjetima pri izradi rada.
Hvala obitelji i roditeljima na njihovom doprinosu i podršci u mome školovanju.
Hvala prijateljima i drugim posebnim "mecenama"
koji podnose moje poglede, hirove i pitanja i koji će se nadam se pronaći u ovoj posveti.
Hvala i Bogu što mi je dao strpljenje i volju

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **Tomislav Maleć**

BROJ INDEKSA: **441**

KATEDRA: **Katedra za teoriju konstrukcija**

PREDMET: **Zidane konstrukcije**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Proračun stambeno-poslovne zidane zgrade sa fleksibilnim prizemljem

Opis zadatka: Izraditi projekt konstrukcije zgrade s vertikalnom nosivom konstrukcijom od omeđenih zidova sa fleksibilnim i zidanim prizemljem. U radu:

- opisati koncept nosive konstrukcije, osnovna djelovanja i kombinacije djelovanja, vrstu i svojstva gradiva, podatke o tlu i načinu temeljenja,
- proračunati horizontalne konstrukcije (međukatne konstrukcije) i grede fleksibilnog prizemlja,
- proračunati vertikalne konstrukcije (omeđene zidove) i stupove fleksibilnog prizemlja
- proračunati naprezanja u tlu i dimenzionirati temelje,
- izraditi građevinske nacrte (temelji, tlocrti, presjek, pročelja), te detalje armiranja spoja horizontalnog i vertikalnog serklaža
- nacrtati armaturu temelja i karakterističnog okvira prizemlja

Zadano:

- beton C25/30, C30/37, C40/50, armatura B 500B,
- blok opeka, srednja tlačna čvrstoća $f_{b,sr}$ = 10,0 MPa,
- mort: M10, opće namjene,
- računsko ubrzanje tla: a_g = 2,2 m/s^2,
- računska nosivost tla: σ_{Rd} = 500,0 kPa

Proračun provesti u skladu s odgovarajućim tehničkim propisima i normama

U Splitu, 06. 04. 2015.

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske
ispite:

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Boris Trogrlić

Prof. dr. sc. Ivica Boko

Proračun stambeno-poslovne zidane zgrade sa fleksibilnim prizemljem

Sažetak:

Zadatak diplomskog rada je proračun stambeno-poslovne zgrade od omeđenog ziđa sa fleksibilnim i zidanim prizemljem prema Europskim normama (EN 1992, EN 1996, EN 1998) i Tehničkom propisu za zidane konstrukcije (HRN EN 1996-3). Potresna otpornost konstrukcije određena je pojednostavljenim proračunom prema pravilima za jednostavne zidane zgrade. Također je napravljen nelinearni statički proračun u računalnom programu AmQuake, koristeći metodu naguravanja (EN 1998-1). Proveden je proračun ploča i temelja uslijed vertikalnog
Ključne riječi:

omeđeno ziđe, a-b okvir, potresna otpornost, metoda naguravanja, vertikalno djelovanje

Calculation of the residental-office building with flexible RC frames on ground floor

Abstract:

The thesis of this graduate work is calculation of the residental-office building made of confined masonry walls with flexible RC frames and masonry on the ground floor according to the European norms (EN 1992, EN 1996, EN 1998) and the Tehnical regulation for masonry constructions (HRN EN 1996-3). Seismic resistance is determined by the simplified calculation, according to the rules for simple masonry buildings. Also, the nonlinear static calculation is carried out through a computer program AmQuake, by using the pushover method (EN 1998-1).
Keywords:

confined masonry, RC frame, seismic resistance, pushover method, vertical load

1. UVOD 1
2. OPĆENITO O ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA 2
2.1 Zidni elementi 2
2.1.1 Zidni elementi – svojstva 4
2.1.2 Mort - svojstva 5
Kod zidanih konstrukcije rabe se sljedeći mortovi: 5
2.2 Vrste ziđa 7
2.2.1 Omeđeno ziđe 7
2.2.2 Svojstva ziđa 8
2.2.2 Deformacijska svojstva ziđa 16
3. TEHNIČKI OPIS 18
3.1 Beton 19
3.2 Čelik 20
3.3 Blok opeka POROTHERM 30 PROFI 20
4. ANALIZA OPTEREĆENJA 21
4.1 Djelovanja na konstrukciju 21
4.1.1. Stalno djelovanje 22
4.1.2. Uporabno opterećenje 23
4.1.3. Opterećenje potresom 24
4.1 Koeficijenti sigurnosti i kombinacije opterećenja 24
5. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN 25
5.1. Pojednostavljeni proraču na vertikalna djelovanja 26
5.2. Proračun zidova na potresno djelovanja 28
6. PRORAČUN NA POTRES PO PRINCIPU METODE NAGURAVANJA 37
6.1. O metodi naguravanja 37
6.2. Koraci metode naguravanja 37
7. REZULTATI PRORAČUNA SA FLEKSIBILNIM I ZIDANIM PRIZEMLJEM 52
7.1 Rezultati proračuna 52
7.2 Dimenzioniranje stupova i greda prizemlja 66
7.2.1. Dimenzioniranje stupova 66

7.2.2 Dimenzioniranje krutih greda prizemlja 68
8. PRORAČUN PLOČA 74
8.1. Opterećenje na pločama 74
8.2. Rezultati proračuna 77
9. TEMELJI 83
9.1. Rješenje za Winklerov prostor 84
10. ZAKLJUČAK 90
11. PRILOZI 91
12. SLIKE 91
13. TABLICE 95
14. LITERATURA 96

1. UVOD

Zidane konstrukcije općenito su veoma rasprostranjen i korišten tip konstrukcija. Opeka je uz drvo i kamen jedan od najstarijih građevnih materijala, a njena je upotreba i danas velika. Proizvodnja i upotreba opeke poznata je još u Mezopotamiji, gdje su najstarije sumerske i asirske građevine građene opekama s ispupčenom površinom vanjske plohe, vezanima blatom ili bitumenom. U Egiptu su prve građevine od opeka, sačuvano je više palača i grobnica građenih opekom. Rimljani su već proizvodili opeku u posebnim pećima, a dimenzije opeka i njihova priprema bili su propisani. Rimska se opeka upotrebljavala sama ili armirana komadima sadre i slojevima, a često su se ugrađivali naizmjenično slojevi opeke i kamena. Većina povijesnih građevina izvedena je zidanjem blokova od opeke ili kamena međusobno povezanih tradicionalnim spojevima. Svoju dugu tradiciju, ali i raširenost po cijelom svijetu, zidanje pripisuje svojoj jednostavnosti, ali i dugovječnosti zidanih konstrukcija koja se očituje u mnogim takvim građevinama starim više stotina pa i nekoliko tisuća godina. I danas zidane konstrukcije dominiraju u stanogradnji u kombinaciji sa AB konstruktivnim elementima. I dok je tradicionalno ziđe kao osnovni zidni element imalo punu opeku sušenu na suncu (ćerpić) ili pečenu, suvremene opeke izrađuju se uglavnom ošupljene sa različitim uzorkom šupljina. Unatoč jednostavnosti koja se očituje pri gradnji zidanih konstrukcija, razumijevanje i opisivanje mehaničkog ponašanja takvih konstrukcija osobito u uvjetima seizmičkog opterećenja i danas predstavlja pravi izazov zahvaljujući samoj prirodi zidane konstrukcije koja zbog prisutnosti sljubnica između blokova, koje mogu, a i ne moraju biti popunjene mortom, pokazuje kompleksno i izrazito nelinearno ponašanje.

Cilj ovog rada je proračun peteroetažne zidane zgrade kroz dva modela, jedan sa fleksibilnim prizemljem i drugi bez fleksibilnog prizemlja. Pojednostavljenim proračunom dokazana je nosivost zidova na vertikalna djelovanja u smjeru x i y te potresna otpornost za smjer x i y. Kod pojednostavljene ekvivalentne statičke analize potresno opterećenje se aproksimira s ekvivalentnim statičkim opterećenjem. Proveden je proračun modela sa fleksibilnim prizemljem na vertikalna djelovanja i potres. Stupovi i krute grede prizemlja su dimenzionirani na temelju rezultata proračuna prema graničnom stanju nosivosti. Napravljen je i nelinearni statički proračun koristeći metodu naguravanja.

2. OPĆENITO O ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

Ziđe (eng. masonry) je skup nastao naizmjeničnim polaganjem zidnih elemenata (blokova) u specifičnom uzorku između nekog vezivnog materijala (morta, ljepila). Zidni blokovi mogu biti opečni (pečena glina), kameni i betonski (obični ili laki beton).

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 1. Zahtjevi koje grupe zidnih elemenata moraju zadovoljiti

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.

Dimenzije:					
duljina	mm	250	± 6		
širina	mm	300	± 7		
visina	mm	249	± 1		
dopušteno odstupanje	razred	T1+			
dopušteno pdstupanje	razred	R1+			
Ravnost horizontalnih sljubnica:	mm	NPD			
Paralelnost ploha:	mm	1,0			
Obujamska masa:					
Bruto obujamska masa u suhom stanju	kg/m³	800			
Neto obujamska masa u suhom stanju	kg/m³	NPD			
razred	razred / %	D1	10		
Oblik i izgled:					
Skupina zidnog elementa	-	2			*EN 1996 -1*
Postotak šupljina	%	<55			
Tlačna čvrstoća:					
razred	-	I			
Okomito na horizontalnu sljubnicu	N/mm²	10			
Normalizirana na horizontalnu sljubnicu	N/mm²	NPD			
Okomito na vertikalnu sljubnicu	N/mm²	2,5			
Normalizirana na vertikalnu sljubnicu	N/mm²	NPD			
Čvrstoća prijanjanja:	N/mm²	0,15/0,30			
Toplinska provodljivost $\lambda_{10,dry,unit}$:	W/m·K	0,138			*EN 1745 zidano Dryfix.Extra*
Paropropusnost:	-	μ = 5/10			
Trajnost proizvoda:	razred	F0			
Vodoupojnost:	%	NPD			
Početna vodoupojnost:	kg/(m²·min)	NPD			
Sadržaj aktivnih topivih soli:	razred	S0			
Širenje vlage:	mm/m	NPD			
Ponašanje pri požaru:	razred	A1			
Opasne tvari:	-	NPD			*Nema štetnih tvari*

EN 771-1:2011

Tablica 2. Izjava o svojstvima za opeku POROTHERM 30 PROFI

2.1.1 Zidni elementi – svojstva

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 naliježuću 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 3. Vrijednosti faktora oblika δ

2.1.2 Mort - svojstva

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

sljubnicama je od 1 do 3 mm. Koristi se s brušenom opekom i porobetonskim blokovima.

- unaprijed pripremljeni mort: doprema se na gradilište 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 način je svakako točniji

Vrsta morta	Minimalna tlačna čvrstoća nakon 28 dana (N/mm^2)	Približni sastav		
		cement	hidratizirano vapno	pijesak
M20	20	treba odrediti ispitivanjem		
M15	15	1	0 – ¼	3
M10	**10**	**1**	**¼ - ½**	**4 – 4 ¼**
M5	5	1	½ - 1 ¼	5 – 6
M2	2	1	1 ¼ - 2 ½	8 - 9

Tablica 4. 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 zahtjevana 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 cementa i više vapna.

2.2 Vrste ziđa

Ziđe se općenito svrstava u sljedeće konstruktivne kategorije:

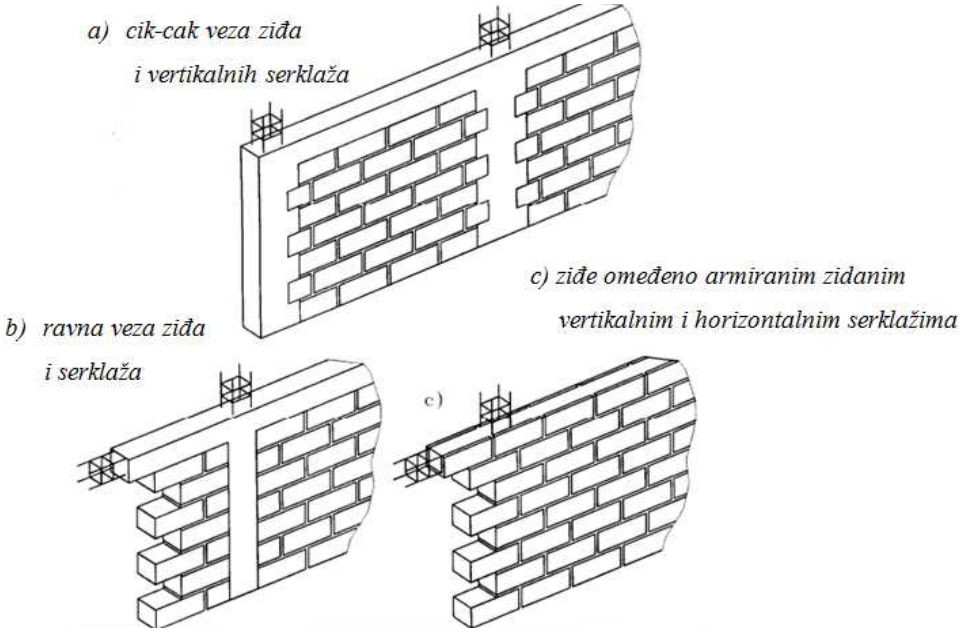
- Nearmirano ziđe, ne sadrži nikakva prikladna ojačanja da bi se smatralo armiranim ziđem
- Omeđeno ziđe. Ziđe osigurano armirano betonskim elementima-serklažima ili samo armiranim zidnim elementima u vertikalnom i horizontalnom smjeru
- Armirano zđe. Ziđe u koje se ugrađuju čelične šipke ili mreže kroz 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

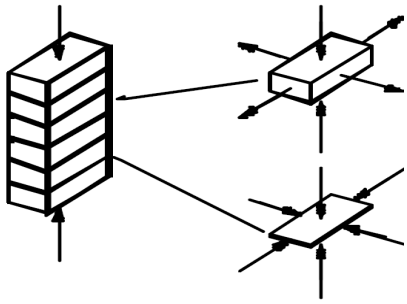


Slika 1. Primjeri omeđenog ziđa

2.2.2 Svojstva ziđa

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 značajno prekoračiti slomnu čvrstoću kocke morta. Pravilan vez veoma je važan za nosivost ziđa jer nepravilni vez smanjuje nosivost.



Slika 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 primijenjuju 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 deformacioje 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:

$$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta} \quad (1)$$

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:

$$f_i = \frac{F_{i,\max}}{A_i} \quad (2)$$

gdje je:

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

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

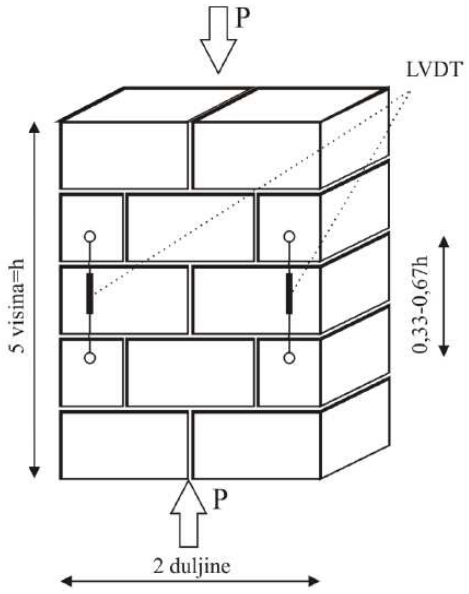
Srednju vrijednost f` svih uzoraka ziđa zaokružimo na najbližu vrijednost do 0,1 N/mm^2.Karakteristična tlačna čvrstoća tada je:

$$f_k = f'/1.2 \text{ ili } f_k = f_{i,min} \quad (3)$$

gdje je:

$f_{i,min}$ - najmanja pojedinačna vrijednost čvrstoće ispitanih uzoraka,

f' - srednja vrijednost čvrstoće ispitanih uzoraka.



Slika 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 $f_k=K\cdot f_b^{0.7}\cdot f_m^{0.3}$ (4)
- tankoslojni mort, opečni blokovi skupine 1 i 4 $f_k=K\cdot f_b^{0.85}$ (5)
- tankoslojni mort, opečni blokovi skupine 2 i 3 $f_k=K\cdot f_b^{0.7}$ (6)

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

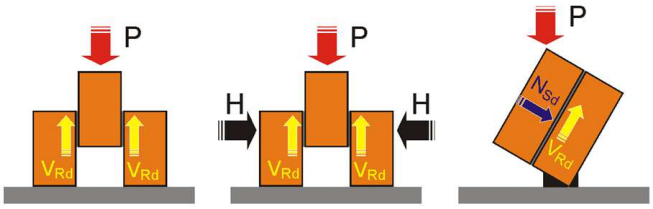
Karakteristična posmična čvrstoća ziđa f_{vk}

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.

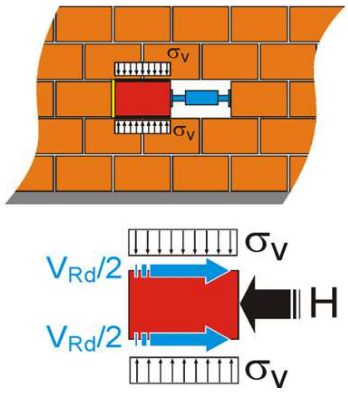
Karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog ziđa f_{vk} je ona ispod koje se ne očekuje da može pasti više od 5% rezultata ispitivanja te čvrstoće. Karakteristična posmična čvrstoća f_{vk} može se dobiti iz odgovarajućeg ispitivanja uzoraka. Za određivanje posmične čvrstoće ziđa koriste se različite 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 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 4. Pojednostavljeni prikaz načina ispitivanja posmičnih naprezanja na uzorku



Slika 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:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d \quad (7)$$

Ali ne uzima se većom od:

$$f_{vk} = 0.065 f_b \quad \text{ili} \quad f_{vlt} \quad (8)$$

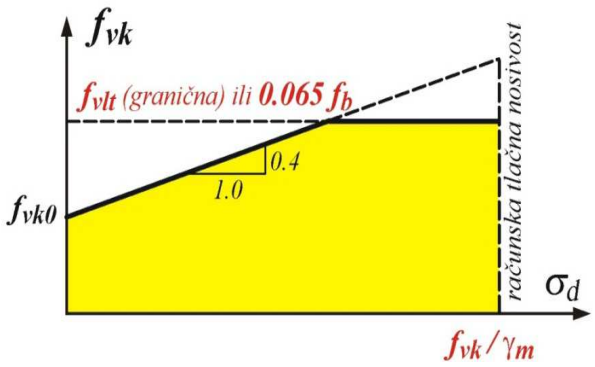
Gdje je:

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 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:

$$f_{vk} = 0.5 \cdot f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d \quad (9)$$

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:

$$f_{vk} = \frac{g}{t} \cdot f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d \quad (10)$$

g - ukupna širina dviju traka morta

t – širina ziđa

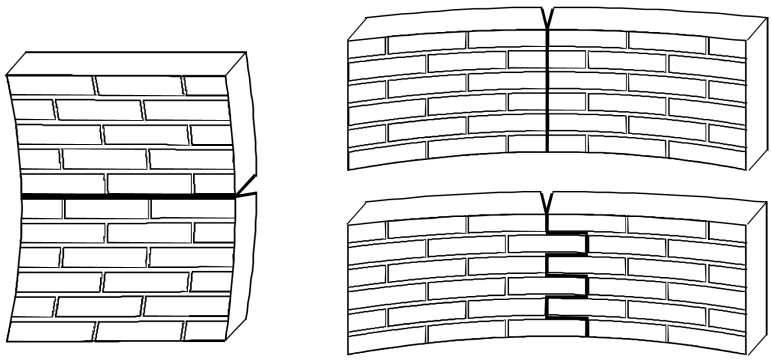
Zidni element	f_{vko}			
	Mort opće namjene		Tankoslojni mort (horizontalne sljubnice≥0,5 mm i ≤ 3 mm)	Lagani mort
Glina	**M10-M20**	**0,30**	0,30	0,15
	M2,5-M9	0,20		
	M1-M2	0,10		
Kalcijsko silikatni	M10-M20	0,20	0,40	0,15
	M2,5-M9	0,15		
	M1-M2	0,10		
Beton	M10-M20	0,20	0,30	0,15
Porobeton (autoklavirani aerirani)	M2,5-M9	0,15		
Kameni	M1-M2	0,10		

Tablica 5. Vrijednosti početne posmične čvrstoće ziđa

Karakteristična savojna čvrstoća ziđa

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 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<5N/mm^2	f_m≥5N/mm^2		
Glina	0,10	0,10	0,15	0,10
Kalcijsko silikatni	0,05	0,10	0,20	Ne koristi se
Beton	0,05	0,10	0,20	Ne koristi se
Porobeton	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

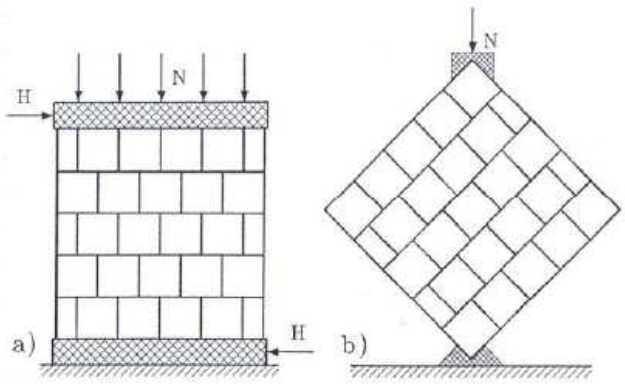
Tablica 6. f_{xk1} ravnina sloma paralelna s horizontalnim sljubnicama

Zidni element		f_{xk2} (N/mm^2)			
		Mort opće namjene		Tankoslojni mort	Lagani mort
		f_m<5N/mm^2	f_m≥5N/mm^2		
Glina		0,20	0,40	0,15	0,10
Kalcijsko silikatni		0,20	0,40	0,30	Ne koristi se
Beton		0,20	0,40	0,30	Ne koristi se
Porobeton	ρ< 400kg/m^3	0,20	0,20	0,20	0,15
	ρ≥400kg/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 7. f_{xk2} ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice

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 8. Ispitivanje vlačne čvrstoće ziđa

2.2.2 Deformacijska svojstva ziđa

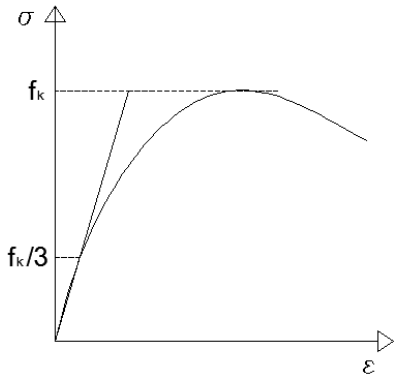
Modul elastičnosti E

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 data 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:

$$E = 1000\ f_k = 1000*4{,}78 = 4780\ \text{Mpa} \quad (11)$$



Slika 9. Dijagram naprezanja – relativna deformacija

Modul posmika G

Modul posmika uzima se kao 40% modula elastičnosti E (11)

Pri proračunu na djelovanje potresa uzima se kao: G = 0,167 E (12)

Prema izrazu (11), modul posmika iznosi:

$$G = 0{,}4*4780=1912 \text{ MPa} \quad (13),$$

A za potresno djelovanje, prema izrazu (12), iznosi:

$$G = 0{,}167*4780=798{,}3 \text{ MPa} \quad (14).$$

Odnos naprezanja i relativne deformacije (σ – ε)

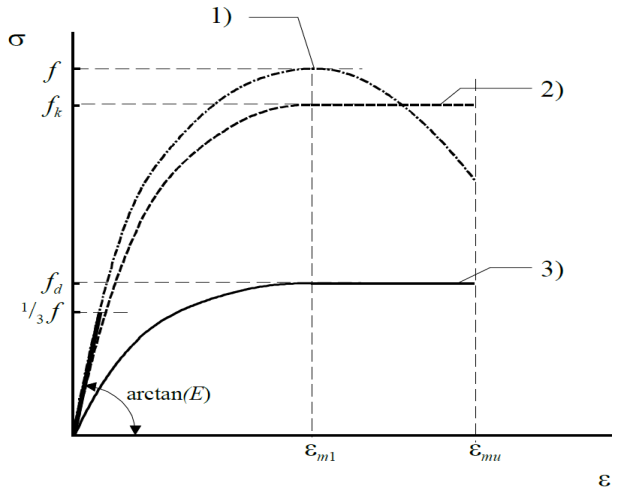
Ovaj odnos je prikazan na slici 10. kao:

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 11.).



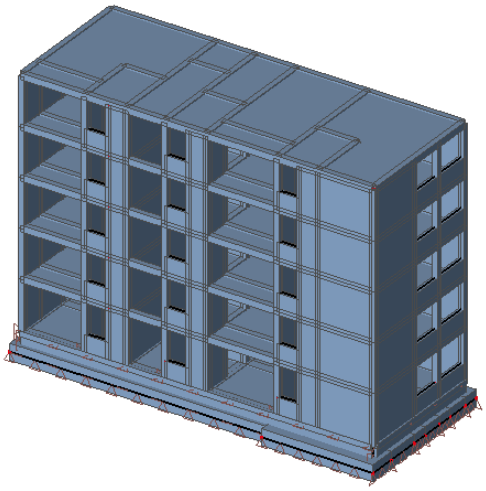
Slika 10. Računski dijagram naprezanja – relativna deformacija

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.

3. TEHNIČKI OPIS

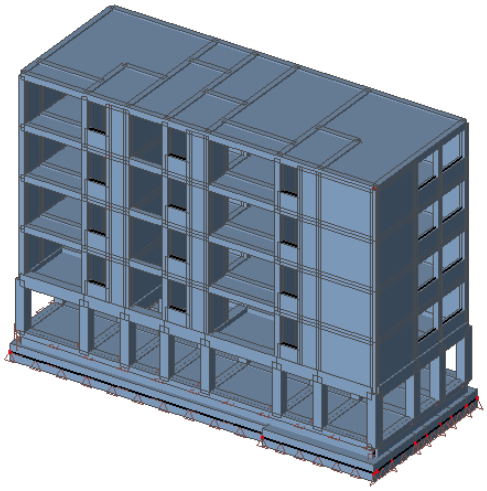
Konstrukcija stambeno poslovne zgrade sastoju se od konstrukcijskih elemenata izrađenih od ziđa i armiranog betona i međukatnh AB ploča debljine 20 cm. Zidana konstrukcija ojačana je vertikalnim armiranobetonskim serklažima te horizontalnim serklažima iznad zidova u visini međukatne konstrukcije

Izrađena su dva modela, jedan klasično zidane zgrade sa 5 etaža i drugi sa fleksibilnim prizemljem i 4 zidane etaže. Prva etaža zamišljana je kao poslovni prostor dok su ostale namjenjene stanovanju. Visina prve etaže je 2,86 m a ostalih 2,7 m. Računsko ubrzanje tla je 0,22g.



Slika 11. Prikaz modela 5-ero etažne zidane zgrade u Scii 2014

Fleksibilno prizemlje modelirano je kao roštilj armiranobetonskih krutih greda dimenzija 0,50 x 0,70 m koji sa stupovima poprečnog presijeka 0,50 x 0,50 čini okvir. Elementi su izrađeni betonom klase C40/50, armirani čelikom za armiranje B500B.



Slika 12. Prikaz modela zidane zgrade sa stupovima u prizemlju u Scii 2014

Dimenzije vertikalnih serklaža su 30x30 cm na vanjskim zidovima, dok su na pojedinim mjestima po potrebi, ovisno o geometriji same konstrukcije, te dimenzije izmijenjene.

Horizontalni serklaži postavljeni su u visini međukatne konstrukcije odnosno ploče, dimenzija 30x35. Iznad vrata i prozora su nadvoji dimenzija 30x25 cm. Svi AB elementi, vertikalni i horizontalni serklaži, nadvoji i jezgra, su izvedeni od betona klase C 30/37.

Međukatne ploče izrađene su od betona klase C25/30, armiranog čelikom za armiranje B500B.

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, dimenzija 0,90 x 0,90 m, odnosno na pojedinim mjestima širine i do 1,50 zbog uvjeta da kontaktna naprezanja ne premaše nosivost tla. Nadtemeljni zid je dimenzija 0,40 x 0,60 m. Podna ploča je debljine 20 cm. Svi elementi temelja izrađeni su od betona klase C25/30 i armirani čelikom za armiranje B500B.

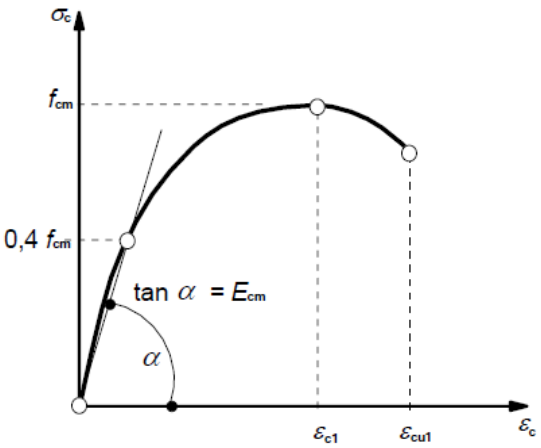
Konstrukcija je modelirana štapnim (stupovi, grede i serklaži) i ravninskim (ploče, zidovi) elementima.

3.1 Beton

Elementi konstrukcije izrađeni su od klasa betona C25/30; C30/37 i C40/50.

	C25/30	**C30/37**	**C40/50**
Karakteristična tlačna čvrstoća f_{ck} [MPa]	25	30	40
Posmična čvrstoća τ_{Rd} [MPa]	0,3	0,34	0,41
Srednja vlačna čvrstoća $f_{ct,m}$ [MPa]	2,6	2,9	2,9
Modul elastičnosti E [MPa]	31500	32800	35000
Modul posmika G [MPa]	13125	13667	14583

Tablica 8. Karakteristike betona



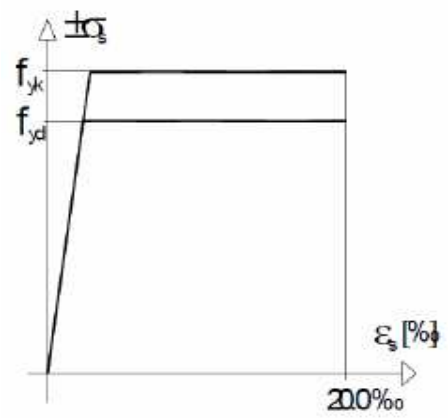
Slika 13. Radni dijagram betona

3.2 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 14. Radni dijagram čelika za armiranje

3.3 Blok opeka POROTHERM 30 PROFI

Sve su materijalne karakteristike korištenog zidnog elementa navedene u Tablici 2.

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 (ψ0Qk)
- česta vrijednost (ψ1Qk)
- nazovistalna vrijednost (ψ2Qk)

Vrijednost u kombinaciji (ψ0Qk) 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 (ψ1Qk) 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 (ψ2Qk) 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.

4.1.1. Stalno djelovanje

Vlastita težina

U računalnom modelu vlastita težina nosive konstrukcije, ploča, stupova, greda i nosivih zidova zadana je automatski.

Dodatno stalno opterećenje

a) Krovna ploča

završni sloj poda, izolacije, instalacije, žbuka:	0,5 kN/m^2
a-c estrih, d=6 cm:	1,32 kN/m^2

ukupno: 1,82 kN/m^2

b) Međukatne ploče

pregradni zidovi:	0,5 kN/m^2
završni sloj poda, izolacije, instalacije, žbuka:	0,5 kN/m^2
a-c estrih, d=6 cm, γ=22 kN/m^3 :	1,32 kN/ m^2

ukupno: 2,32 kN/m^2

4.1.2. 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 9. 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 10. Uporabna opterećenja u zgradama

4.1.3. Opterećenje potresom

Računsko ubrzanje tla iznosi ag = 0,22 g, dok je faktor ponašanja za ovakvu vrstu građevine sa fleksibilnim armirano-betonskim prizemljem usvojen kao q = 1,5.

Potres se razmatra kao fenomen velike količine energije i veoma je kratkog trajanja. Seizmičko djelovanje određuje se preko računskog ubrzanja tla ag 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.

4.1 Koeficijenti sigurnosti i kombinacije opterećenja

Parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale:

Beton γ_c=1,5

Čelik za armiranje, γ_s=1,15

Za ziđe je usvojeno γ_M=2,00

Kombinacija	Faktoriranje
Nazovistalna	1,0 G + 0,5 Q
Uobičajena	1,35 G + 1,50 Q
Progibi okvira	1,0 G + 1,0 Q
Potresna	1,0 G + 0,3 Q + 1,0 S_y

Tablica 11. Uporabna opterećenja u zgradama

5. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN

Pravila za jednostavne zidane zgrade (prema EC 8) koja osiguravaju dovoljnu tlačnu nosivost zida 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 $\Delta_{m,max}$=20% i $\Delta_{A,max}$=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 zide	3%	5%	6%
Omeđeno i armirano zide	2%	**4%**	5%

Tablica 12. 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. Pojednostavljeni proraču na vertikalna djelovanja

Podaci za proračun zidova:

srednja tlačna čvrstoća bloka: $f_{ck,sred}$=10.0 MPa

normalizirana tlačna čvrstoća bloka: f_b=10.0*1.15= 11.5 MPa

grupa zidnih blokova: 2a (K=0.55)

mort: M10 (f_m=10.0 MPa)

tlačna čvrstoća zida: f_k= K * $f_b^{0.65}$ * $f_m^{0.25}$ = 0.55*11.5^0.65 * 10^0.25 = 4.78 Mpa

faktor smanjenja za vitkost i ekscentričnost računa se po sljedećoj formuli:

$$\Phi_s = 0.85 - 0.0011\left(\frac{h_{ef}}{t_{ef}}\right)^2$$ za unutarnje zidove

$$\Phi_s = 1.3 - \frac{l_{f,ef}}{8} \le 0.85$$ za vanjske zidove

Parcijalni koef. sigurnosti za materijale:

zide: γ_M=2.0
beton: γ_c=1.5
čelik: γ_s=1.15

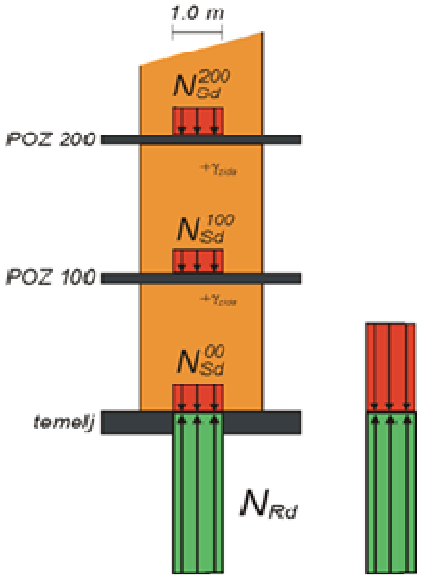
Debljina nosivih zidova: 30 cm

Računska uzdužna sila: $N_{Ed} = N_g*1.35+N_q*1.5$

Računska nosivost na uzdužnu silu: $N_{Rd} = F_{i,m} * A * f_k / \gamma_M$

U proračunu zidova na vertikalna djelovanja dokazuje se da je

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$



Slika 15. Shema vertikalnog opterećenja zida za pojednostavljeni proračun

Dokaz mehaničke otpornosti ziđa i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3)

h=	2,70	m	= katna visina	**γ_M=**	2,00	= parcijalni faktor sigurnosti za ziđe
f_k=	4,50	MPa	= tlačna čvrstoća ziđa	**γ_c=**	1,50	= parcijalni faktor sigurnosti za beton
$f_{c,k}$=	30,0	MPa	= tlačna čvrstoća betona	**n=**	5	= broj etaža

$N_{Ed}=1.3N_g+1.5N_q$ $N_{Rd}=\Phi\ f_d\ A$

	dimenzije zida i otvora				ploha utjecaja		opt. međukatne k.		opt. krov									
zid / stup	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/stupa [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} [%]	
Z-Dx1	0,30	1,60	0,00	0,48	2,32	1,24	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**170**	**26**	**268**	**0,77**	**832**	**32**	
Z-Dx2	0,30	9,00	2,00	2,1	10,80	1,17	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**746**	**114**	**1177**	**0,77**	**3638**	**32**	
Z-Dx3	0,30	5,50	0,00	1,65	5,50	1,19	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**462**	**59**	**712**	**0,77**	**2859**	**25**	
Z-Dx4	0,30	2,20	1,18	0,306	2,20	0,98	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**120**	**19**	**191**	**0,77**	**530**	**36**	
Z-Dx5	0,30	2,45	0,00	0,735	4,06	2,22	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**429**	**81**	**701**	**0,77**	**1273**	**55**	
Z-Dx6	0,30	2,45	0,00	0,735	4,30	2,24	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**452**	**87**	**740**	**0,77**	**1273**	**58**	
Z-Dx7	0,30	2,30	0,81	0,447	2,30	0,97	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**142**	**20**	**222**	**0,77**	**774**	**29**	
Z-Dx8	0,30	6,80	3,00	1,14	6,80	0,49	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**276**	**30**	**417**	**0,77**	**1975**	**21**	
Z-Dx9	0,30	5,35	0,95	1,32	5,35	0,57	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**290**	**27**	**432**	**0,77**	**2287**	**19**	

Tablica 13. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja, smjer X

Dokaz mehaničke otpornosti ziđa i stupova na vertikalna djelovanja (EN 1996-3)

h=	2,70	m	= katna visina	γ_M=	2,00	= parcijalni faktor sigurnosti za ziđe
f_k=	4,50	MPa	= tlačna čvrstoća ziđa	γ_c=	1,50	= parcijalni faktor sigurnosti za beton
$f_{c,k}$=	30,0	MPa	= tlačna čvrstoća betona	**n=**	5	= broj etaža

$N_{Ed}=1.3N_g+1.5N_q$ $N_{Rd}=\Phi\ f_d\ A$

	dimenzije zida i otvora				ploha utjecaja		opt. međukatne k.		opt. krov								
zid / stup	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/stupa [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} [%]
Z-Dy1	0,30	2,35	0,00	0,71	3,25	1,10	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**226**	**32**	**353**	**0,77**	**1221**	**29**
Z-Dy2	0,30	3,35	0,00	1,01	4,25	1,79	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**414**	**68**	**662**	**0,77**	**1741**	**38**
Z-Dy3	0,30	1,45	0,00	0,44	2,25	2,42	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**258**	**49**	**422**	**0,77**	**754**	**56**
Z-Dy4	0,30	7,50	1,11	1,92	7,50	1,48	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**665**	**100**	**1047**	**0,77**	**3321**	**32**
Z-Dy5	0,30	7,50	1,11	1,92	7,50	1,48	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**665**	**100**	**1047**	**0,77**	**3321**	**32**
Z-Dy6	0,30	1,45	0,00	0,44	2,25	2,62	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**274**	**53**	**450**	**0,77**	**754**	**60**
Z-Dy7	0,30	7,50	1,00	1,95	7,50	2,58	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**971**	**174**	**1572**	**0,77**	**3378**	**47**
Z-Dy8	0,30	3,20	0,00	0,96	5,23	1,71	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**457**	**80**	**737**	**0,77**	**1663**	**44**
Z-Dy9	0,30	3,20	0,00	0,96	4,25	1,13	7,3	2,0	7,3	1,0	10,0	**305**	**43**	**477**	**0,77**	**1663**	**29**

Tablica 14. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja, smjer Y

5.2. Proračun zidova na potresno djelovanja

Ukupna poprečna potresna sila:

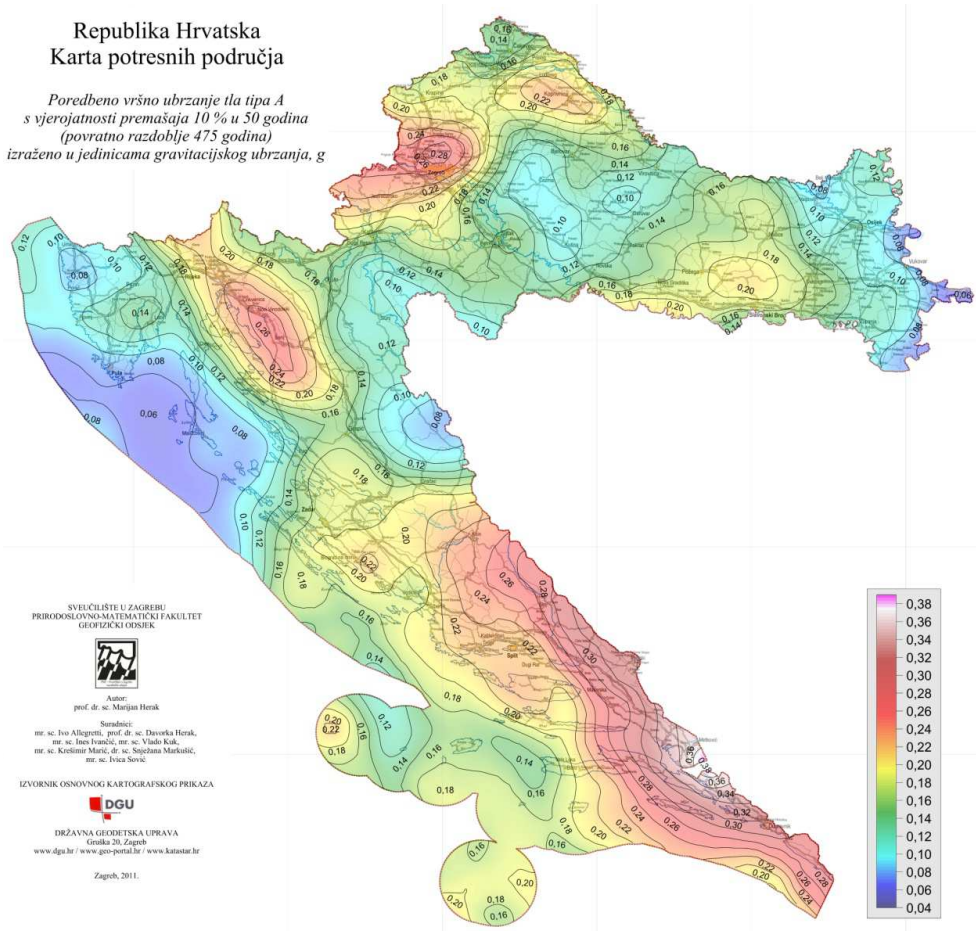
$F_b=S_d(T_1)*m*\lambda$

kategorija tla: B (polučvrsto kameno tlo) → S=1,2

Tip spektra: 1 (visoka seizmičnost)

Broj katova: 5

Visina kata: 2,7 m



Slika 16. vršna ubrzanja po potresnim zonama na seizmičkoj karti hrvatske

Računsko ubrzanje tla → a_g=0,22g

Popravni faktor: λ=1,0

T_1= osnovni period vibracija zgrade za horizontalno poprečno gibanje u promatranom smjeru

$S_d(T_1)$ – ordinata računskog spektra odziva za period T_1

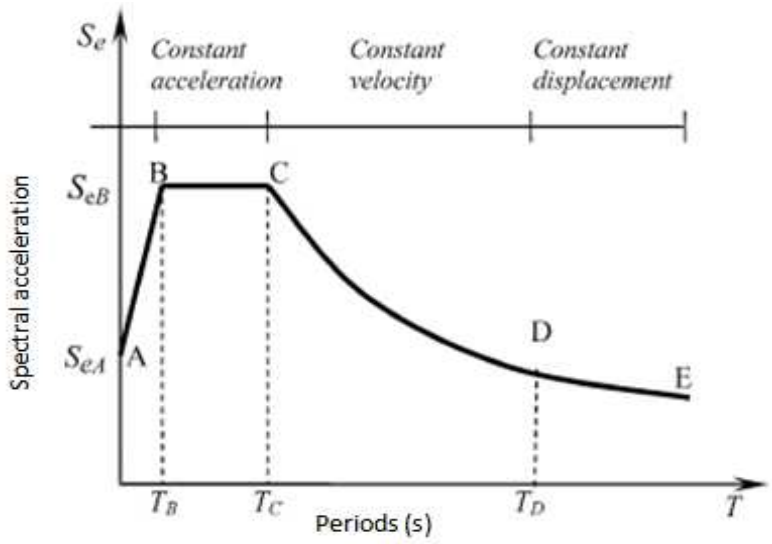
$T_1=C_t*H^{3/4}$

H=13.66 m

C_t=0,05 ili $C_t=0,075*\sqrt{A_c}$; $A_c=\Sigma(0,2+(l_{wi}/H)^2)$

Vrijednosti T_1 dobivene uvrštavanjem C_t izračunatog prema gornjem izrazu istovjetne su vrijednostima dobivenim uvrštavanjem vrijednosti C_t=0,05.

$T_1=0,050*13,66^{/4}=0,355$



Slika 17. Veza spektralnog ubrzanja i perioda

$T_B < T_1 < T_C$:

$S_d(T_1) = a_g * S * (2,5/q)$

q = faktor ponašanja je približno omjer potresnih sila koje bi djelovale na konstrukciju ako bi njezin odziv u cijelosti bio elastičan uz 5%-totno viskozno prigušennje i potresnih sila koje se smiju uzeti u proračun uz uobičajni elastični model, još uvijek osiguravajući zadovoljavajući odziv konstrukcije.

$$q = q_0 \, k_w \geq 1,5$$

$$q_0 = 3,0 * \alpha_u / \alpha_1$$

$\alpha_u / \alpha_1 = 1,1$ (uzeta je srednja vrijednost od 1,0 i 1,2 (za povezane zidove) zbog tlocrtne nepravilnosti)

k_w – faktor koji uzima u obzir prevladavajući oblik sloma zidane konstrukcije

$$\leq k_w = (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1$$

$0,5 \leq k_w = (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1$ za zidne sustave

$$\alpha_0 = \Sigma h_{wi} / \Sigma l_{wi} = 0,77$$

$$k_w = \frac{1 + 0,77}{3} = 0,6$$

$$q = 3,3 * 0,6 = 1,98$$

Tip tla: B → S=1,2 ; $T_b = 0{,}15$; $T_c = 0{,}4$; $T_1 = 0{,}355$

$T_b \le T \le T_c$:

$$S_d(T_1) = a_g * S * \frac{2{,}5}{q} = 0{,}2g * 1{,}2 * \frac{2{,}5}{1{,}98} = 0{,}3g$$

Računska težina zgrade:

5. ETAŽA I POZ 500:

POZ 500: (g+f*y_{2i}q) * A = (7,0+1,0*0,3*1,0)*135,24 =	987,252 kN
grede i serklaži 500: b*h'*L_{uk}*γ_c = 0,3*0,3*88,6*25.0=	199,35 kN
zidovi 5. etaže: g_z*h_z*L_{uk}=3,0*(2,7+0,5)*69,24=	664,70 kN
	W_5= 1851,30 kN

4. ETAŽA I POZ 400:

POZ 400: (g+f*y_{2i}q) * A = (7,3+1,0*0,3*1,0)* 135,24 =	1027,82 kN
grede i serklaži 400: b*h'*L_{uk}*γ_c = 0,3*0,3*88,6*25.0=	199,35 kN
zidovi 4. etaže: g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,7*69,24=	560,84 kN
	W_4= 1788,01 kN

3. ETAŽA I POZ 300:

POZ 300: (g+f*y_{2i}q) * A = (7,3+1,0*0,3*1,0)* 135,24 =	1027,82 kN
grede i serklaži 300: b*h'*L_{uk}*γ_c = 0,3*0,3*88,6*25.0=	199,35 kN
zidovi 3. etaže: g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,7*69,24=	560,84 kN
	W_3= 1788,01 kN

2. ETAŽA I POZ 200:

POZ 200: (g+f*y_{2i}q) * A = (7,3+1,0*0,3*1,0)* 135,24 =	1027,82 kN
grede i serklaži 200: b*h'*L_{uk}*γ_c = 0,3*0,3*88,6*25.0=	199,35 kN
zidovi 2. etaže: g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,7*69,24=	560,84 kN
	W_2= 1788,01 kN

1. ETAŽA I POZ 100:

POZ 100: $(g+f*y_{2i}q) * A = (7,3+1,0*0,3*1,0)* 135,24 =$ 1027,82 kN

grede i serklaži 100: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*88,6*25.0=$ 199,35 kN

zidovi 1. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,86*69,24=$ 594,08 kN

$W_1=$ 1821,25 kN

Izračun težina skoncentriranih u razini međukatnih konstrukcija:

$W_{500} = W_5/2 = 1851,3 /2 = 925,65$ kN

$W_{400} = (W_5+W_4)/2 = (1851,3+1788,01)/2 = 1819,65$ kN

$W_{300} = (W_4+W_3)/2 = (1788,01+1788,01)/2 = 1788,01$ kN

$W_{200} = (W_3+W_2)/2 = (1788,01+1788,01)/2 = 1788,01$kN

$W_{100} = (W_2+W_1)/2 = (1788,01+1821,25)/2 = 1804,63$ kN

Ukupna računska težina zgrade:

$W = \Sigma W_i = 8125,95$ kN

$w = \Sigma W_i / \Sigma A_i = 52,09 kN/m^2$

$\lambda=1,0$

Ukupna potresna poprečna sila u podnožju zgrade:

$F_b = S_d(T_1) * W = 0,3 * 8125,9 = 2437,79 kN$

Razdioba ukupne potresne sile po zidovima za smijer x':

$$F_{bx'100} = 2437,79 \frac{1804,63 * 2,86 * 1}{1804,63 * 2,86 * 1 + 1788,01 * (2,86 + 2,7) + 1788,01 * (2,86 + 2,7 * 2) + 1819,65 * (2,86 + 2,7 * 3) + 925,65 * (2,86 + 2,7 * 4)}$$

$$F_{bx'100} = 201,44 kN$$

$$F_{bx'200} = 2437,79 \frac{1788,01 * (2,86 + 2,7)}{1804,63 * 2,86 * 1 + 1788,01 * (2,86 + 2,7) + 1788,01 * (2,86 + 2,7 * 2) + 1819,65 * (2,86 + 2,7 * 3) + 925,65 * (2,86 + 2,7 * 4)}$$

$$F_{bx'200} = 388,01 kN$$

$$F_{bx'300} = 2437,79\frac{1788,01*(2,86+2,7*2)}{1804,63*2,86*1+1788,01*(2,86+2,7)+1788,01*(2,86+2,7*2)+1819,65*(2,86+2,7*3)+925,65*(2,86+2,7*4)}$$

$$F_{bx'300} = 576,43kN$$

$$F_{bx'400} = 2437,79\frac{1819,65*(2,86+2,7*3)}{1804,63*2,86*1+1788,01*(2,86+2,7)+1788,01*(2,86+2,7*2)+1819,65*(2,86+2,7*3)+925,65*(2,86+2,7*4)}$$

$$F_{bx'400} = 778,39kN$$

$$F_{bx'500} = 2437,79\frac{1851,3*(2,86+2,7*4)}{1804,63*2,86*1+1788,01*(2,86+2,7)+1788,01*(2,86+2,7*2)+1819,65*(2,86+2,7*3)+925,65*(2,86+2,7*4)}$$

$$F_{bx'500} = 493,51kN$$

Kontrola:

$$F_{bx'} = F_{bx'100} + F_{bx'200} + F_{bx'300} + F_{bx'400} + F_{bx'500} = 2437,79kN$$

Razdioba ukupne potresne sile po zidovima za smijer y':

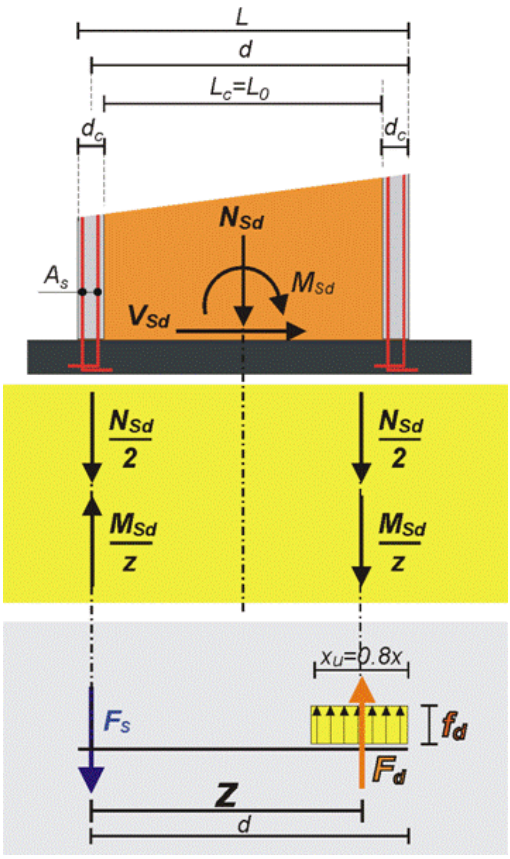
$$F_{by'} = 2437,79kN$$

Ukupan moment savijanja:

$M_{Ed} = F_{b,100}*h_{100} + F_{b,200}*h_{200} + F_{b,300}*h_{300} + F_{b,300}*h_{300} + F_{b,300}*h_{300}$

M_{Ed}=201,44*2,86+388,01*5,56+576,43*8,26 +778,39*10,96 +493,51*13,66 = 22767,27 kN

U proračunu zidova na potres dokazuje se da je:



Slika 18. Raspodjela potresnih sila

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: $N_{Sd} = (N_g+N_q*f*y_{2i})$

Proračun sila od potresa - smjer X

V_{Ed}=	**2437,79**	kN	= ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	**22767,27**	kNm	= ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	= modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	= modul posmika
f_k=	4,78	MPa	= tlačna čvrstoća ziđa
f_{vk}=	0,75	MPa	= posmična čvrstoća ziđa
γ_M=	1,50		= parcijalni faktor sigurnosti za ziđe
γ_s=	1,00		= parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

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

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

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

	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-Dx1	0,30	1,60	0,48	0,00	13,66	1,00	0,6	135	14	181,9	28,8	**190,5**	1,28	**200,9**	0,64	**240,0**	**612,4**	**6,0**	**32,8**	**0,2**
Z-Dx2	0,30	9,00	2,70	2,00	13,66	0,74	42,6	10225	1095	745,7	113,7	**779,8**	7,20	**1810,1**	3,60	**1350,0**	**3444,5**	**81,1**	**52,6**	**20,6**
Z-Dx3	0,30	5,50	1,65	0,00	13,66	1,00	18,1	4358	467	462,2	58,9	**479,8**	4,40	**1230,4**	2,20	**825,0**	**2105,0**	**56,6**	**58,5**	**15,0**
Z-Dx4	0,30	2,20	0,66	1,18	13,66	0,37	0,5	127	14	120,2	19,4	**126,0**	1,76	**135,2**	0,88	**330,0**	**842,0**	**4,1**	**16,1**	**0,2**
Z-Dx5	0,30	2,45	0,74	0,00	13,66	1,00	2,0	470	50	428,9	81,1	**453,3**	1,96	**466,7**	0,98	**367,5**	**937,7**	**13,7**	**49,8**	**0,3**
Z-Dx6	0,30	2,45	0,74	0,00	13,66	1,00	2,0	470	50	451,6	86,7	**477,6**	1,96	**478,8**	0,98	**367,5**	**937,7**	**13,7**	**51,1**	**0,0**
Z-Dx7	0,30	2,30	0,69	0,81	13,66	0,59	1,0	229	25	142,0	20,1	**148,0**	1,84	**198,7**	0,92	**345,0**	**880,3**	**7,1**	**22,6**	**1,0**
Z-Dx8	0,30	6,80	2,04	3,00	13,66	0,48	14,7	3539	379	277,3	42,8	**290,1**	5,44	**795,5**	2,72	**1020,0**	**2602,5**	**37,1**	**30,6**	**10,1**
Z-Dx9	0,30	5,35	1,61	0,95	13,66	0,79	13,4	3212	344	345,4	55,1	**361,9**	4,28	**931,5**	2,14	**802,5**	**2047,6**	**42,9**	**45,5**	**11,4**
		37,65	11,30	7,94			94,8	22767,3	2437,8	289,8	27,4									

Tablica 15. Proračun sila od potresa, smjer X

Proračun sila od potresa - smjer Y

V_{Ed}=	**2437,79**	kN	= ukupna poprečna sila od potresa
M_{Ed}=	**22767,27**	kNm	= ukupan moment od potresa
E=	4784	MPa	= modul elastičnosti
G=	797,3	MPa	= modul posmika
f_k=	4,78	MPa	= tlačna čvrstoća ziđa
f_{vk}=	0,75	MPa	= posmična čvrstoća ziđa
γ_M=	1,50	= parcijalni faktor sigurnosti za ziđe	
γ_s=	1,00	= parcijalni faktor sigurnosti za armaturu	

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

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

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

	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-Dy1	0,30	2,35	0,71	0,00	13,66	1,00	1,7	353	38	181,9	28,8	**190,5**	1,88	**283,2**	0,94	**352,5**	**899,4**	**10,7**	**31,5**	**1,9**
Z-Dy2	0,30	3,35	1,01	0,00	13,66	1,00	4,8	973	104	745,7	113,7	**779,8**	2,68	**752,9**	1,34	**502,5**	**1282,1**	**20,7**	**58,7**	**-0,5**
Z-Dy3	0,30	1,45	0,44	0,00	13,66	1,00	0,4	86	9	462,2	58,9	**479,8**	1,16	**313,8**	0,58	**217,5**	**554,9**	**4,2**	**56,5**	**-3,3**
Z-Dy4	0,30	7,50	2,25	1,11	13,66	0,83	31,8	6475	693	120,2	19,4	**126,0**	6,00	**1142,1**	3,00	**1125,0**	**2870,4**	**61,6**	**39,8**	**20,3**
Z-Dy5	0,30	7,50	2,25	1,11	13,66	0,83	31,8	6475	693	428,9	81,1	**453,3**	6,00	**1305,8**	3,00	**1125,0**	**2870,4**	**61,6**	**45,5**	**17,0**
Z-Dy6	0,30	1,45	0,44	0,00	13,66	1,00	0,4	86	9	451,6	86,7	**477,6**	1,16	**312,7**	0,58	**217,5**	**554,9**	**4,2**	**56,3**	**-3,3**
Z-Dy7	0,30	7,50	2,25	1,00	13,66	0,84	32,5	6610	708	142,0	20,1	**148,0**	6,00	**1175,7**	3,00	**1125,0**	**2870,4**	**62,9**	**41,0**	**20,6**
Z-Dy8	0,30	3,20	0,96	0,00	13,66	1,00	4,2	855	92	277,3	42,8	**290,1**	2,56	**479,1**	1,28	**480,0**	**1224,7**	**19,1**	**39,1**	**3,8**
Z-Dy9	0,30	3,20	0,96	0,00	13,66	1,00	4,2	855	92	345,4	55,1	**361,9**	2,56	**515,0**	1,28	**480,0**	**1224,7**	**19,1**	**42,0**	**3,1**
		37,50	11,25	3,22			111,9	22767,3	2437,8	289,8	27,4									

Tablica 16. Proračun sila od potresa, smjer Y

6. PRORAČUN NA POTRES PO PRINCIPU METODE NAGURAVANJA

6.1. O metodi naguravanja

Metoda naguravanja (pushover) je nelinearna metoda proračuna postojećih ili novih objekata. 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. Usporedbom deformabilne sposobnosti konstrukcije sa zahtjevanim stupnjem deformabilnosti pod utjecajem normiranog potresnog djelovanja moguće je odrediti sigurnost objekta u odnosu na potres. Pri provođenju analize dopušteno je primjeniti nelinearni model pri čemu se za pojedinačne strukturne elemente pretpostavlja bilinearno: linearno elastično, idealno plastično ponašanje.

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.

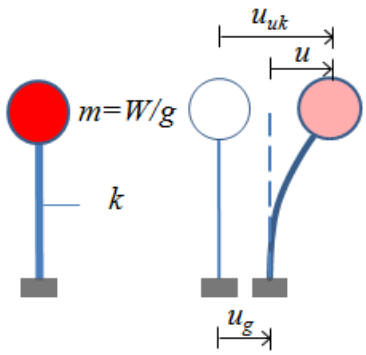
Postupak se primjenjuje na deformabilne objekte s duktilnim nosivim elementima. Deformabilni konstrukcijski elementi su po definiciji oni elementi koji pod utjecajem cikličkog djelovanja imaju izraženo stabilno ponašanje u nelinearnom području. Krhki (neduktilni) mehanizmi sloma ne smiju nastupiti niti kod jednog od primarnih nosivih elemenata.

6.2. Koraci metode naguravanja

- određivanje spektralnog ubrzanja iz elastičnog spektra odgovora jednostupnjevnog sustava,
- određivanje pseudosile iz spektralnog ubrzanja, te određivanje odnosa spektralnog ubrzanja i spektralnog pomaka,
- određivanje ciljanog pomaka jednostupnjevnog sustava,
- transformacija višestupnjevnog sustava u idealizirani jednostupnjevni sustav,
- određivanje idealiziranog (ekvivalentnog) elastoplastičnog dijagrama,
- određivanje perioda idealiziranog (ekvivalentnog) sustava,
- određivanje ciljanog pomaka idealiziranog (ekvivalentnog) sustava,
- određivanje ciljanog pomaka višestupnjevnog sustava.

Jednadžba gibanja JS modela:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g$$



Slika 19. Jednostupnjevni model - jednostupnjevni sustav

gdje je :

u_g – pomaci tla pri seizmičkom djelovanju

u– relativni pomaci

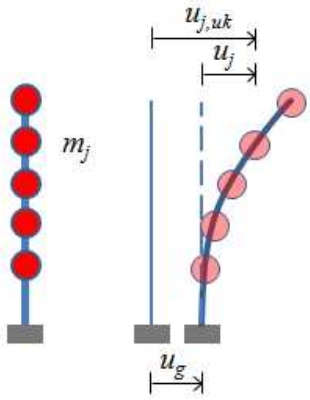
m– masa

c – prigušenje

k – krutost

Jednadžba gibanja VS modela:

$$\mathbf{m}\ddot{u} + \mathbf{c}\dot{u} + \mathbf{k}u = -\mathbf{m}\ddot{u}_g$$



Slika 20. Višestupnjevi model - višestupnjevni sustav

gdje je :

u_g – pomaci tla pri seizmičkom djelovanju

u– vektor pomaka

m– matrica masa

c – matrica prigušenje

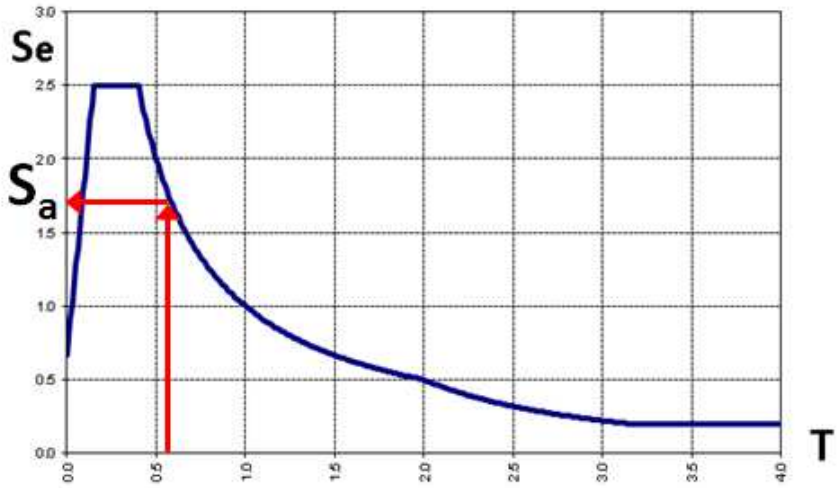
k – matrica krutosti

Osnovno fizikalno svojstvo svakog sustava je njegova vlastita frekvencija. Ona je u vezi sa masom i krutosti. Ukoliko znamo vlastitu frekvenciju možemo odrediti i vlastiti period JS sustava

$$\omega = \frac{2\Pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ - kružna frekvencija}$$

$$T = \frac{2\Pi}{\omega} = 2\Pi\sqrt{\frac{m}{k}} \text{ - period}$$

Iz navedenih izraza zaključuje se kako je i vlastiti period sustava fizikalna karakteristika sustava određena masom i krutosti sustava. Ovisno o vlastitom periodu sustava T, razlikuju se pomaci i ubrzanja koje će jednostupnjevni sustav doživjeti pod utjecajem horizontalnog ubrzanja tla. Tu vezu možemo uočiti u elastičnom spektru odgovora gdje je prikazana ovisnost ubrzanja jednostupnjevnog sustava u odnosu na vlastiti period T. Iz poznatog vlastitiog perioda jednostupnjevnog sustava može se odrediti spektralno ubrzanje što je i prikazano na slici 21.



Slika 21. Određivanje sprektralnog ubrzanja na osnovi poznatog vlastitog perioda

Kad se odredi spektralno ubrzanje može se odrediti pseudosila F, koja je jednaka umnošku mase m jednostupnjevnog sustava i spektralnog ubrzanja S_a.

$$F = m \cdot S_a \text{ - Pseudo sila F}$$

Pseudo sila se može izraziti i kao umnožak krutosti k jednostupnjevnog sustava i spektralnog pomaka S_d.

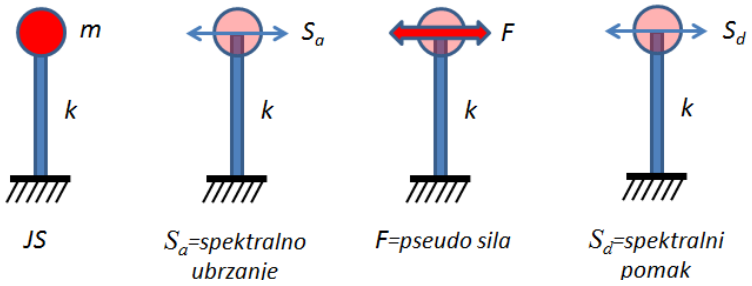
$$F = k \cdot S_d \text{ - Pseudo sila F}$$

Na temelju navedenog izraza za pseudosilu F i relacije:

$$\frac{1}{k} = \frac{T^2}{4\Pi^2 m}$$

određuje se odnos između spektralnog ubrzanja i spektralnog pomaka na temelju slijedećeg izraza:

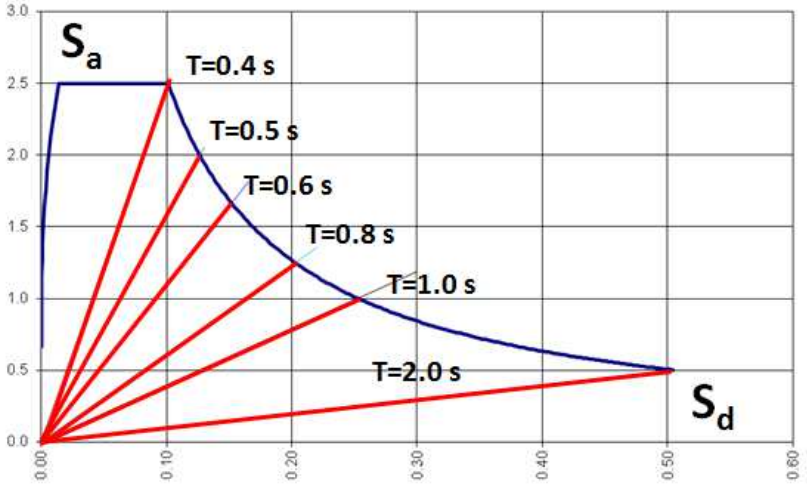
$$S_d = \frac{F}{k} = m \cdot S_a \cdot \frac{T^2}{4\Pi^2 m} = \frac{S_a T^2}{4\Pi^2}$$



Slika 22. Shematski prikaz određivanja spektralnog pomaka

Svaki period je predstavljen s pravcem koji počinje u ishodištu koordinatnog sustava, a čiji nagib glasi:

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

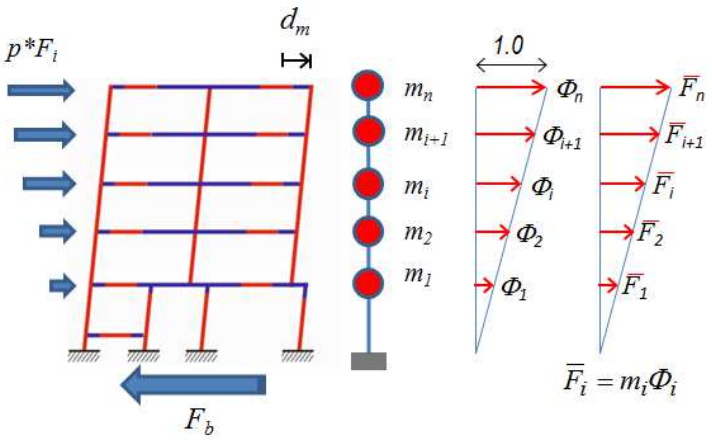


Slika 23. Različiti periodi predstavljeni pravcima

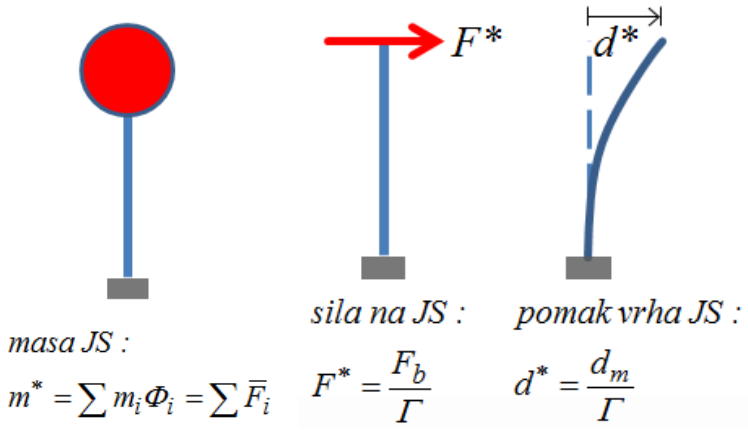
Za određivanje ciljanoga pomaka kontrolnog čvora, mora se za taj čvor konstruirati krivulja putanje koju čvor radi uslijed inkrementalnog povećanja horizontalnog opterećenja. Kao što je već spomenuto, na osnovi putanje kontrolnog čvora konstuira se krivulja nosivosti iz koje se može odrediti potresna otpornost sustava.

Navedeni izrazi vrijede za jednostupnjevne sustave, no budući da se realne konstrukcije tretiraju kao višestupnjevni sustavi, potrebno ih je transformirati u ekvivalentne jednostupnjevne sustave (slika 24.).

Transformacija se vrši po sljedećem postupku:



slijedi



Slika 24. Shematski prikaz transformacije višestupnjevnog sustava u ekvivalentni jednostupnjevni

Pretpostavljamo sljedeću vezu između normalizirane horizontalne sile $\overline{F_i}$ i normaliziranog pomaka Φ_i :

$$\overline{F}_i = m_i \cdot \Phi_i$$

gdje je m_i – masa i –tog kata.

Pomake normaliziramo tako da postavimo da je $\Phi_n = 1$,

gdje je n kontrolni čvor (najčešće se n odnosi na krovnu razinu).

Poslijedica toga je izraz:

$$\overline{F}_n = m_n$$

Masa ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava se određuje na slijedeći način:

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

gdje je m* masa ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava, a Γ transformacijski faktor za kojeg vrijedi:

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \cdot \Phi_i^2} = \frac{\sum \overline{F}_i}{\sum \left(\frac{\overline{F}_i^2}{m_i} \right)}$$

Sila F* i pomak d* ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava određuju se na slijedeći način:

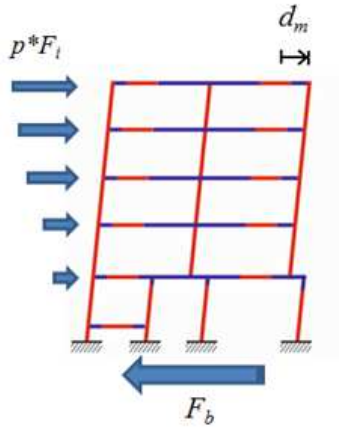
$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma_i}$$

$$d^* = \frac{d_n}{\Gamma}$$

gdje su :

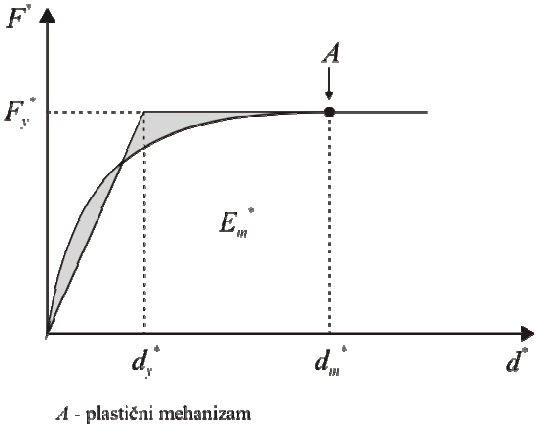
F_b - poprečna sila pri bazi sustava s više stupnjeva slobode,

d_n - bazni pomak kontrolnog čvora sustava s više stupnjeva slobode.



Slika 25. Prikaz višestupnjevnog sustava sa poprečnom baznom silom

Sila tečenja F_y^*, koja predstavlja maksimalnu nosivost idealiziranog sustava je jednaka poprečnoj sili pri bazi pri formiranju plastičnog mehanizma. Početna krutost idealiziranog sustava određuje se na način da površine ispod stvarne i idealizirane „sila – pomak“ krivulje budu jednake, tj. pod pretpostavkom očuvanja ukupne energije sustava (slika 26.).



Slika 26. Određivanje idealno elasto - plastičnog dijagrama

Bazirano na ovoj pretpostavci, pomak plastifikacije idealiziranog jednostupnjevnog sustava d_y^* je dan izrazom:

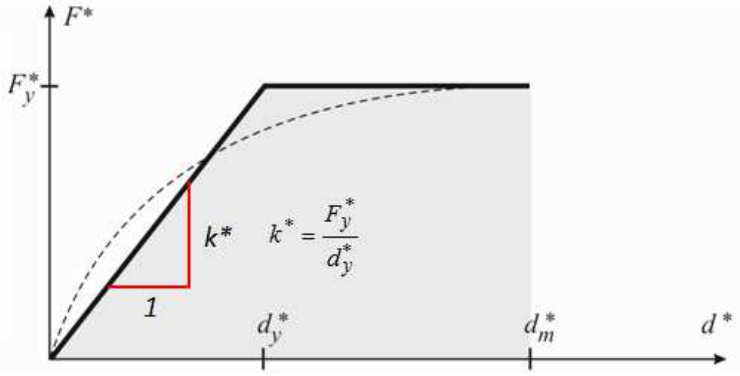
$$d_y^* = 2 \cdot \left(d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right)$$

gdje je:

E_m^* - energija deformacije do formiranja plastičnog mehanizma,

d_y^* - točka aproksimacije pojave plastičnog mehanizma

A - točka pojave mehanizma.



Slika 27. Prikaz početne krutosti idealiziranog jednostupnjevnog sustava

Kao što je vidljivo sa slike 25., početna krutost idealiziranog jednostupnjevnog sustava jednaka je omjeru sile tečenja F_y^* i pomaka plastifikacije idealiziranog jednostupnjevnog sustava d_y^*, stoga period idealiziranog ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava možemo odrediti prema izrazu:

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

Nakon što se odredi period idealiziranog ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava, trebamo odrediti ciljani pomak ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava. Ciljani pomak konstrukcije perioda T* i neograničenog elastičnog ponašanja određuje se pomoću sljedećeg izraza:

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

gdje je:

$S_e\left(T^*\right)$ - elastični spektar ubrzanja za period T*.

Primjenjuju se različiti izrazi ciljanog pomaka d_t^* za konstrukcije u području malih perioda i za konstrukcije u području srednjih i većih perioda.

$$T^* < T_C \text{ (područje malih perioda)}$$

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

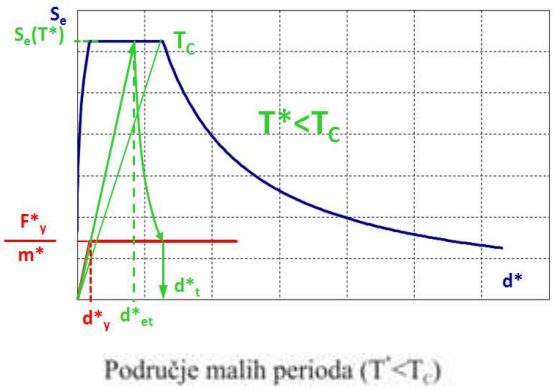
$$d_t^* = d_{et}^*$$

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 $S_e\left(T^*\right)$ i u konstrukciji s ograničenom čvrstoćom F_y^*/m^*

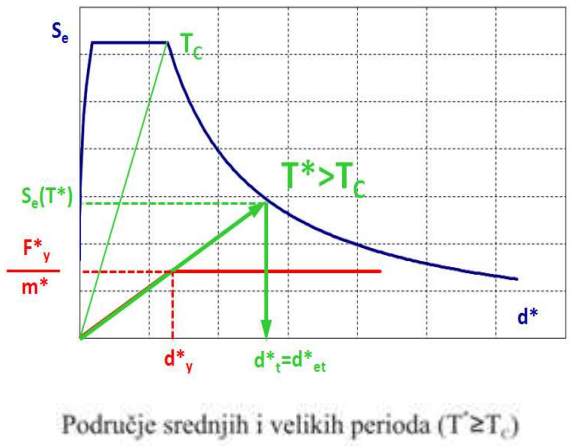
$$q_u = \frac{S_e\left(T^*\right)m^*}{F_y^*}$$



Slika 28. Grafički prikaz određivanja ciljanog pomaka za područje malih perioda

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

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

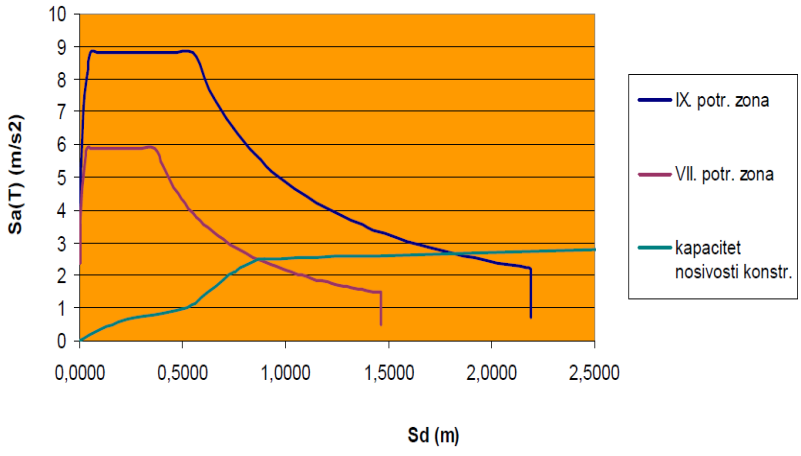


Slika 29. Grafički prikaz određivanja ciljanog pomaka za područje srednjih i velikih perioda

Ciljani pomak ekvivalentnog sustava se pretvara u pomak najvišeg čvora višestupnjevnog sustava, a proračunava se primjenom faktora transformacije oblika Γ .

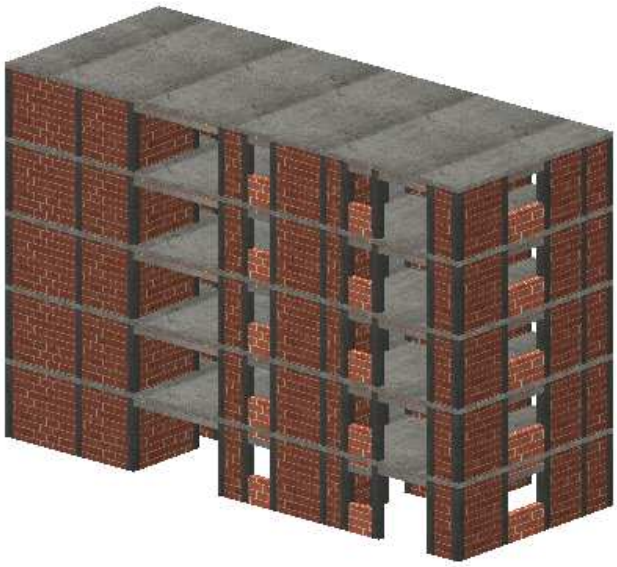
$$d_t = \Gamma \cdot d_t^*$$

Smatra se da konstrukcija zadovoljava granično stanje nosivosti ako je pomak vrha konstrukcije pred slom barem 150% veći od ciljanog pomaka. Ocjena kapaciteta nosivosti konstrukcije može se dati jednostavnom usporedbom krivulje kapaciteta nosivosti sa spektrom odaziva Sa – Sd. Ukoliko krivulja kapaciteta nosivosti siječe krivulju zahtjeva potresa u svom linearnom području konstrukcija ima dostatnu nosivost što se vidi na slici 30. u primjeru za VII. potresnu zonu, što ne vrijedi za IX. zonu jer krivulja kapaciteta nosivosti siječe krivulju zahtjeva potresa daleko u nelinearnom području pa se može smatrati da je došlo do većih oštećenja ili čak do sloma.

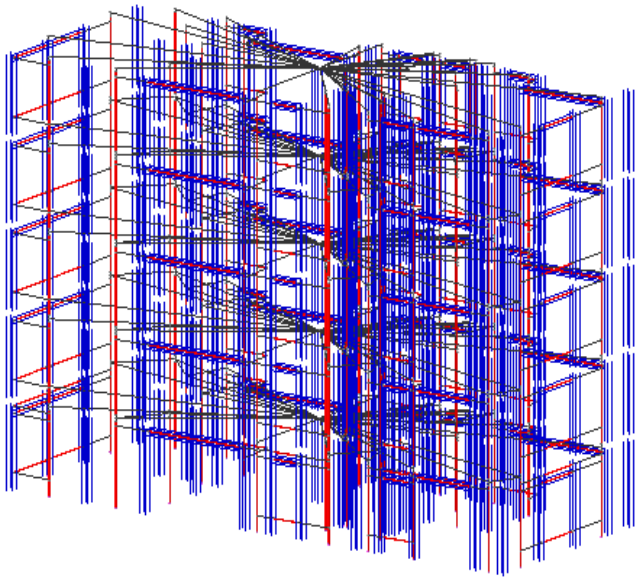


Slika 30. Usporedba krivulje kapaciteta nosivosti sa zahtjevima potresa

Proračunski model za pushover analizu napravljen je u programskom paketu AmQuake. Promatrano je opterećenje potresom.

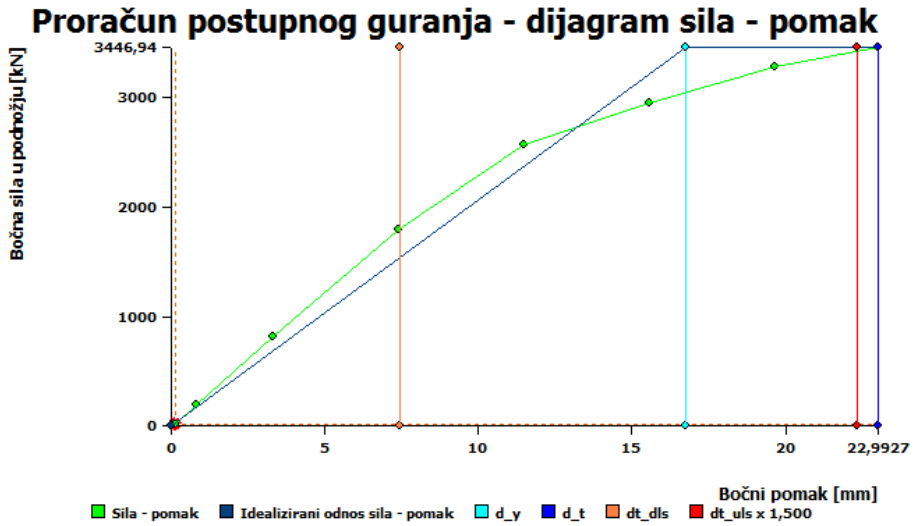


Slika 31. Prikaz proračunskog modela zgrade

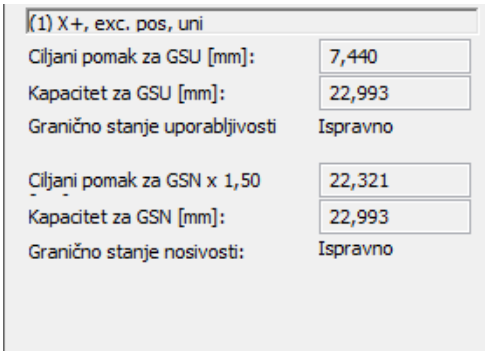


Slika 32. Generirana mreža konačnih elemenata

Jednoliko opterećenje - smjer X



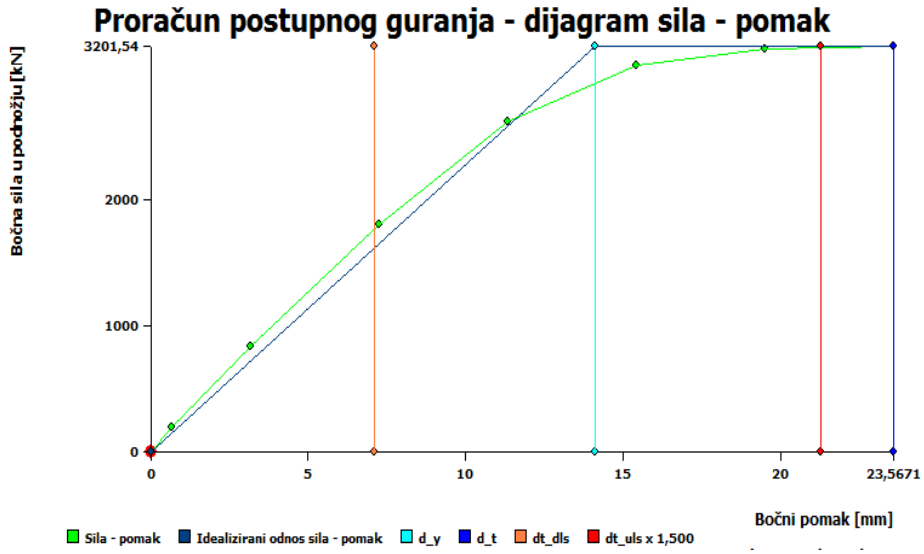
Slika 33. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za jednoliko opterećenje, smjer X



Slika 34. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer X

Ciljani pomak za granično stanje uporabe iznosi 7,440 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 22,993 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 22,32 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 22,99 (Slika 34.).

Jednoliko opterećenje - smjer Y



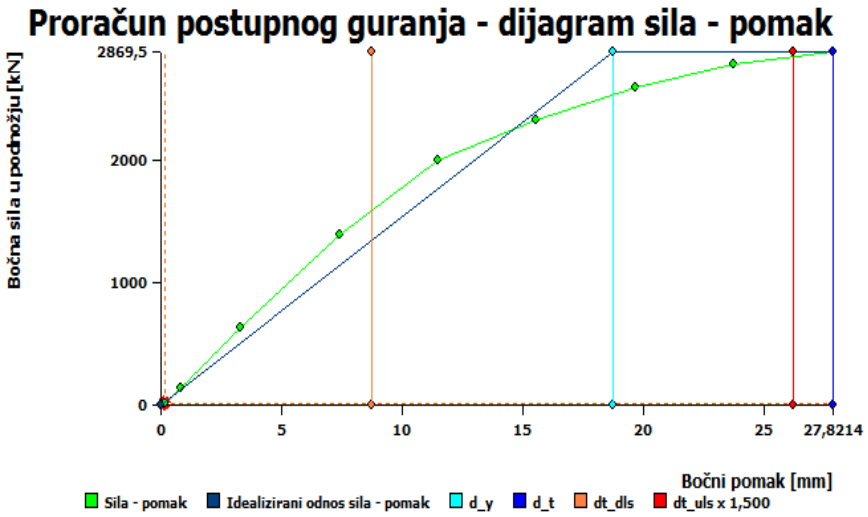
Slika 35. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za jednoliko opterećenje, smjer Y

(9) Y+, exc. pos, uni	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	7,091
Kapacitet za GSU [mm]:	23,567
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	21,273
Kapacitet za GSN [mm]:	23,567
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

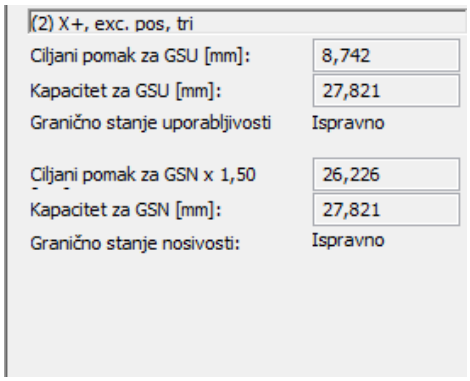
Slika 36. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer Y

Za smjer Y ciljani pomak za granično stanje uporabe iznosi 7,091 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 23,567 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 21,273 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 23,567 (Slika 36.).

Trokutasto opterećenje - smjer X



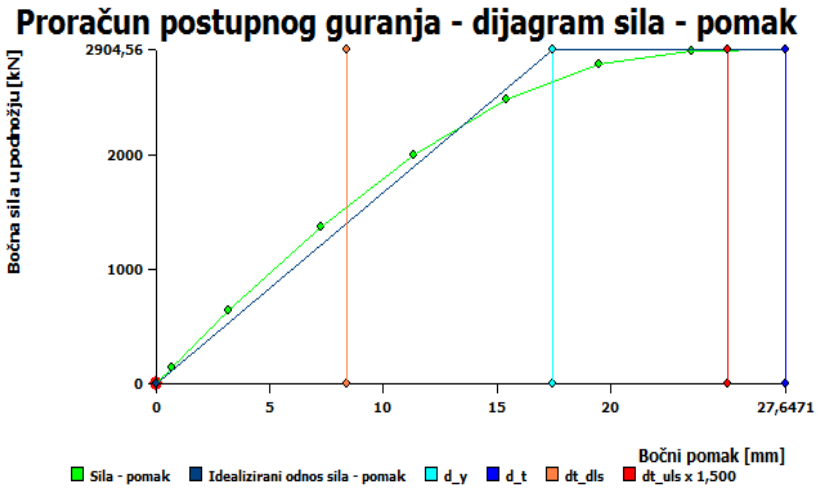
Slika 37. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za trokutasto opterećenje, smjer X



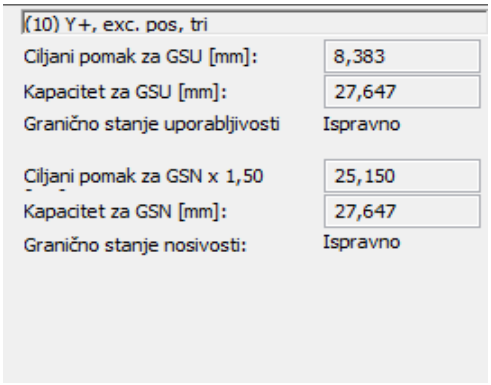
Slika 38. Rezultati proračuna, trokutasto opterećenje, smjer X

U slučaju trokutastog opterećenja proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Ciljani pomak za granično stanje uporabe iznosi 8,742 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 27,821 mm. Također je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 26,226 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 27,821 (Slika 38.).

Trokutasto opterećenje - smjer Y



Slika 39. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za trokutasto opterećenje, smjer Y



Slika 40. Rezultati proračuna, trokutasto opterećenje, smjer Y

Za smjer Y ciljani pomak za granično stanje uporabe iznosi 8,383 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 27,647 mm, što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabe. Također je zadovoljeno i granično stanje nosivosti (GSN). Ciljani pomak proračunske konstrukcije za GSN, pomnožen s faktorom 1.50, iznosi 25,150 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 27,647 (Slika 40.).

7. REZULTATI PRORAČUNA SA FLEKSIBILNIM I ZIDANIM PRIZEMLJEM

7.1 Rezultati proračuna

kombinacije su:

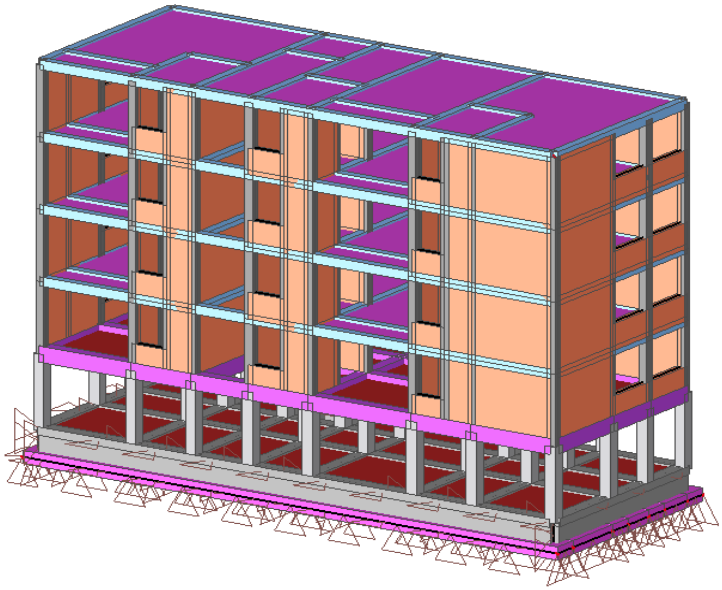
uobičajena : 1,35G+1,5Q

nazovistalna: 1,0G+0,5Q

potres x 1,0G+0,3Q+1,0Sx

potres y 1,0G+0,3Q+1,0Sy

Model fleksibilnog prizemlja sa temeljnim roštiljem 1

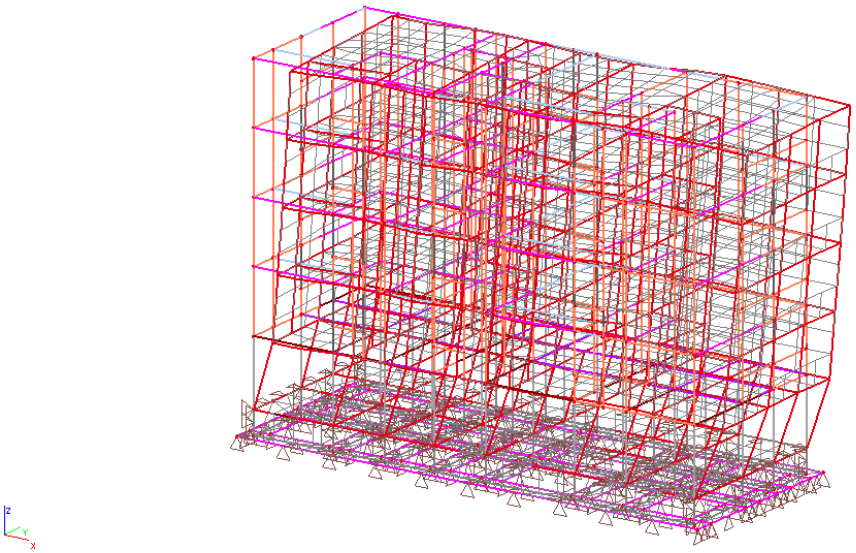


Slika 41. Prikaz modela zidane zgrade sa stupovima u prizemlju u Scia 2014

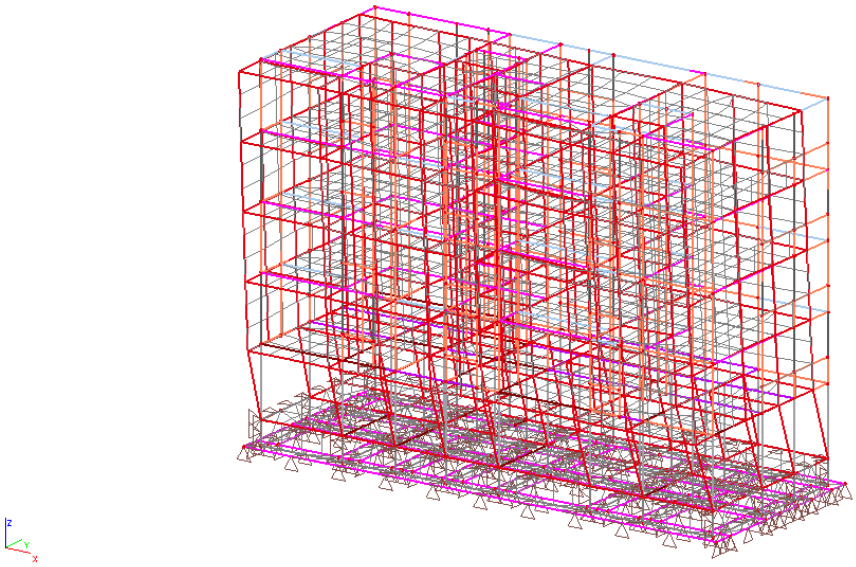
Modal participation factors

Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot	Wxi_R / Wxtot_R	Wyi_R / Wytot_R	Wzi_R / Wztot_R
Student version	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student versic
1	19.8245	0.3169	3.1552	0.0017	0.6034	0.0000	0.3747	0.0005	0.0072
2	23.3421	0.2692	3.7150	0.5373	0.0039	0.0000	0.0035	0.2002	0.0963
3	29.5146	0.2129	4.6974	0.0868	0.0027	0.0000	0.0032	0.0437	0.5678
4	71.7320	0.0876	11.4165	0.0000	0.0003	0.9629	0.0004	0.0007	0.0000
5	72.9952	0.0861	11.6175	0.1002	0.0223	0.0000	0.0382	0.2178	0.0247
6	80.3897	0.0782	12.7944	0.0324	0.0459	0.0022	0.0889	0.3725	0.0239
7	83.3668	0.0754	13.2682	0.0382	0.0781	0.0007	0.1187	0.0191	0.0003
8	94.9771	0.0662	15.1161	0.0253	0.0863	0.0010	0.1461	0.0060	0.1049
9	104.4858	0.0601	16.6294	0.0001	0.0005	0.0003	0.0001	0.0005	0.0027
10	125.1858	0.0502	19.9239	0.0000	0.0004	0.0027	0.0118	0.0001	0.0003
11	132.8927	0.0473	21.1505	0.0007	0.0006	0.0016	0.0086	0.0012	0.0001
12	139.5823	0.0450	22.2152	0.0002	0.0005	0.0010	0.0037	0.0012	0.0000
13	140.5514	0.0447	22.3695	0.0001	0.0001	0.0000	0.0006	0.0000	0.0000
14	140.9356	0.0446	22.4306	0.0013	0.0003	0.0003	0.0012	0.0004	0.0000
15	141.6648	0.0444	22.5467	0.0007	0.0002	0.0016	0.0012	0.0014	0.0000
16	145.0928	0.0433	23.0922	0.0149	0.0007	0.0022	0.0023	0.0165	0.0006
17	150.9876	0.0416	24.0304	0.0001	0.0003	0.0002	0.0028	0.0000	0.0027
18	151.1015	0.0416	24.0486	0.0734	0.0007	0.0001	0.0008	0.0533	0.0067
19	156.0338	0.0403	24.8335	0.0008	0.0009	0.0003	0.0016	0.0003	0.0007
20	157.5963	0.0399	25.0822	0.0007	0.0014	0.0008	0.0022	0.0001	0.0025
21	159.9910	0.0393	25.4634	0.0048	0.0747	0.0015	0.0994	0.0015	0.0163
22	164.9447	0.0381	26.2518	0.0016	0.0260	0.0007	0.0305	0.0000	0.0178
23	166.6922	0.0377	26.5299	0.0002	0.0000	0.0037	0.0002	0.0008	0.0400
24	171.1036	0.0367	27.2320	0.0036	0.0187	0.0019	0.0221	0.0005	0.0702
25	176.4145	0.0356	28.0772	0.0238	0.0051	0.0002	0.0057	0.0128	0.0007
26	177.1448	0.0355	28.1935	0.0076	0.0062	0.0006	0.0080	0.0049	0.0001
27	177.9601	0.0353	28.3232	0.0265	0.0005	0.0000	0.0006	0.0218	0.0000
28	178.9756	0.0351	28.4849	0.0011	0.0013	0.0004	0.0018	0.0020	0.0006
29	180.6948	0.0348	28.7585	0.0050	0.0004	0.0000	0.0006	0.0051	0.0045
30	186.0763	0.0338	29.6150	0.0003	0.0001	0.0000	0.0006	0.0012	0.0011
				0.9891	0.9826	0.9870	0.9801	0.9860	0.9929

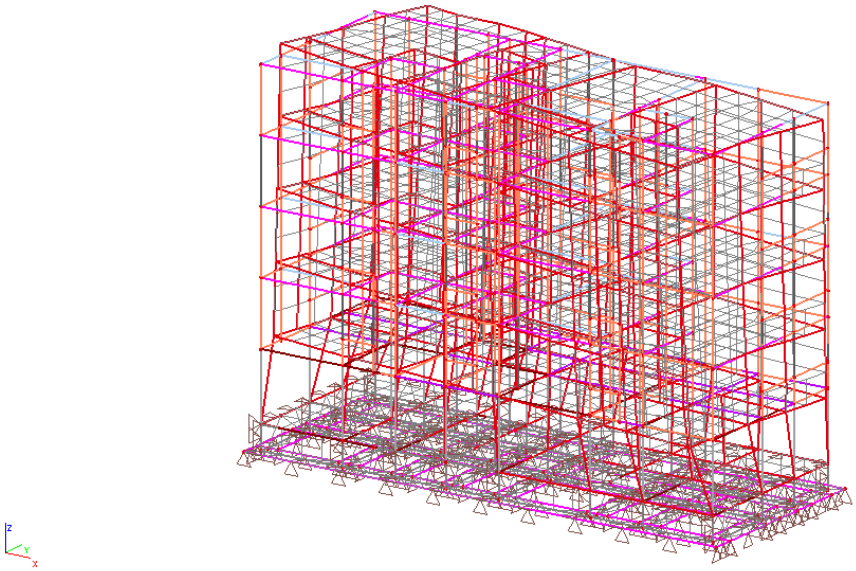
Tablica 17. Prikaz vrijednosti prvih 30 vlastitih vektora



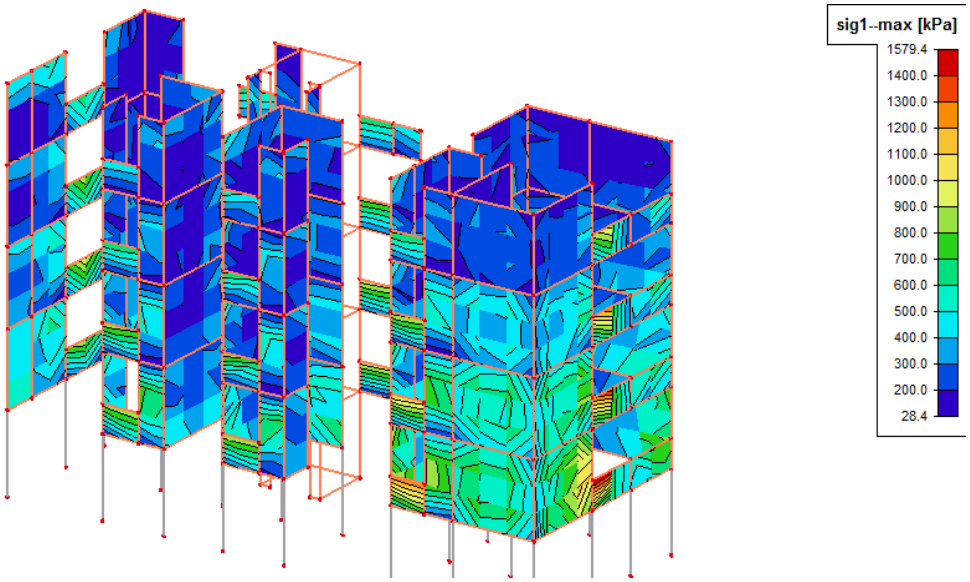
Slika 42. Prvi vlastiti vektor modela 1 u programskom paketu Scia 2014



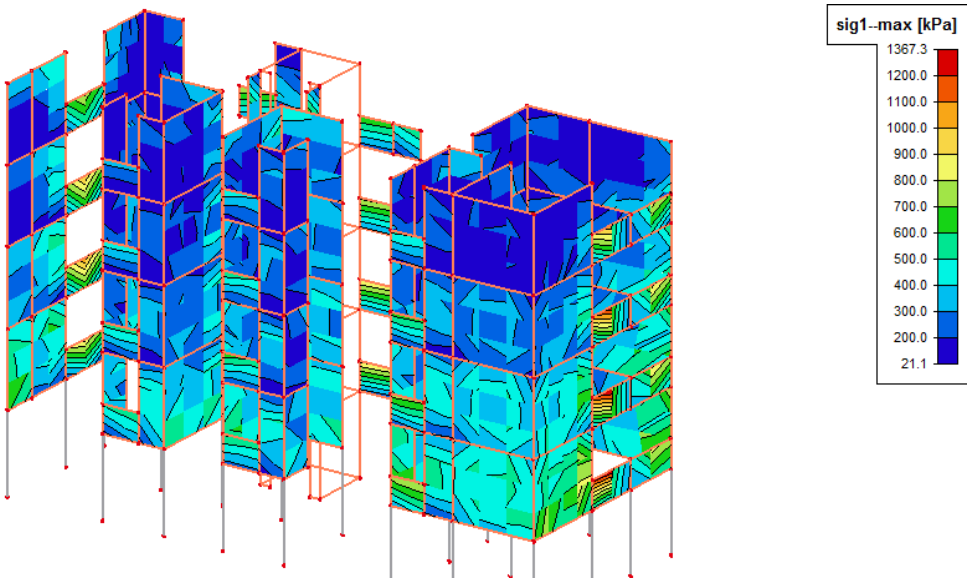
Slika 43. Drugi vlastiti vektor modela 1 u programskom paketu Scia 2014



Slika 44. Treći vlastiti vektor modela 1 u programskom paketu Scia 2014



Slika 45. Crtež maksimalna glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres x 1,0G+0,3Q1+1,0Sx



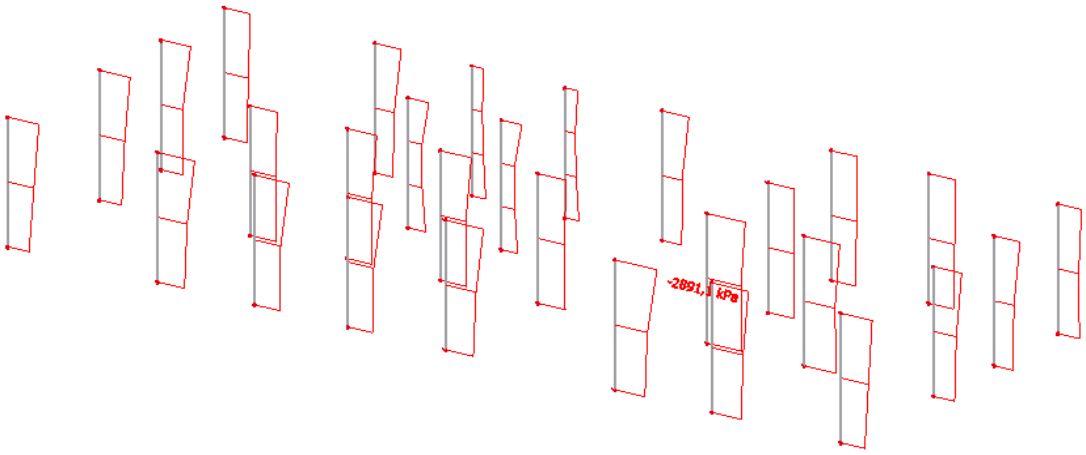
Slika 46. Crtež maksimalna glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres y 1,0G+0,3Q1+1,0Sy

Maksimalno naprezanje u ziđu ne prelazi karakterističnu tlačnu čvrstoću ziđa f_k=4784kPa

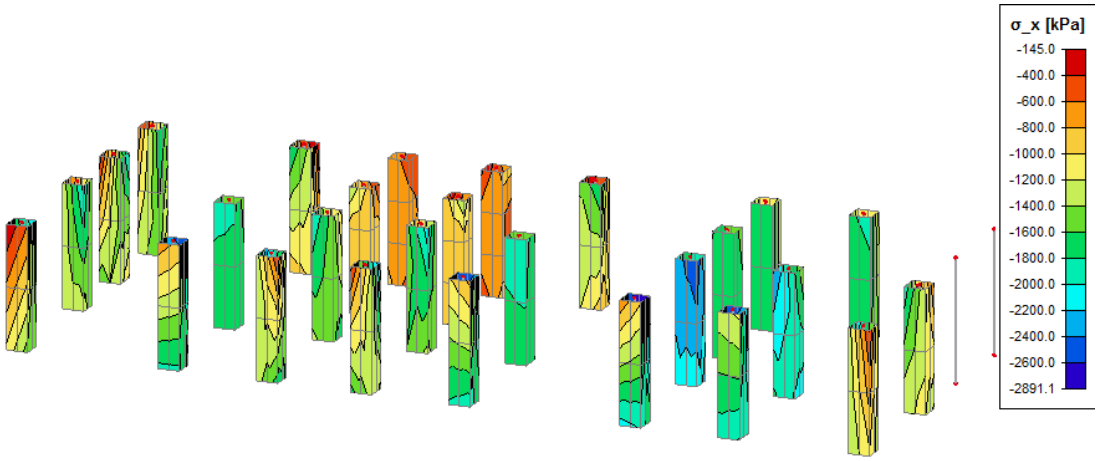
Ograničenje srednjeg tlačnog naprezanja u betonu je:

$$N_{Ed}/A_c \leq 0{,}45 f_{ck} = 0{,}45*26{,}67 = 12\text{MPa} > 2{,}89\text{MPa}$$

za nazovistalnu kombinaciju GSU=1,0G+0,5Q



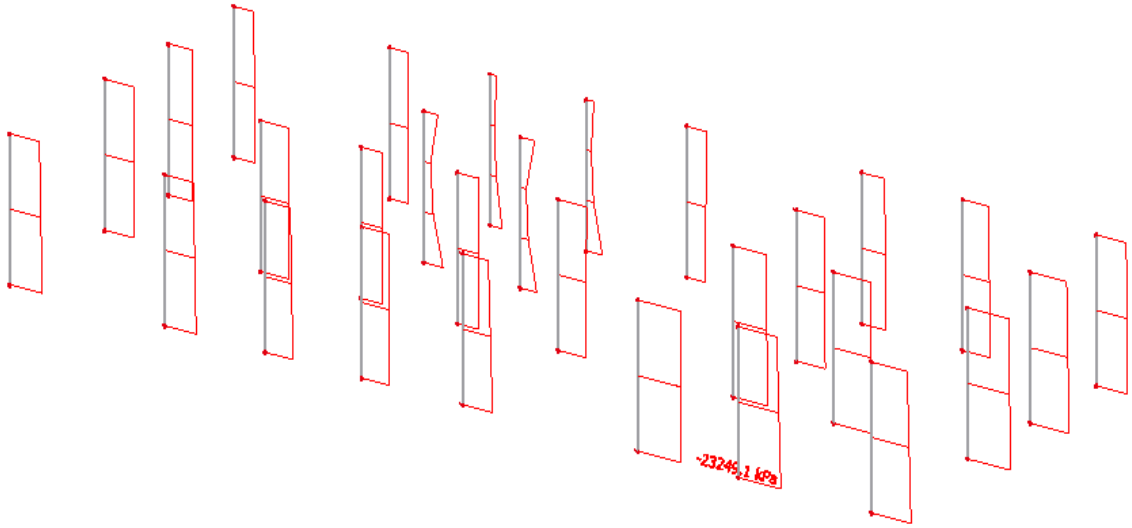
Slika 47. Tlačno normalno naprezanje u betonskim stupovima za nazovistalnu kombinaciju GSU1 1,0G+0,5Q



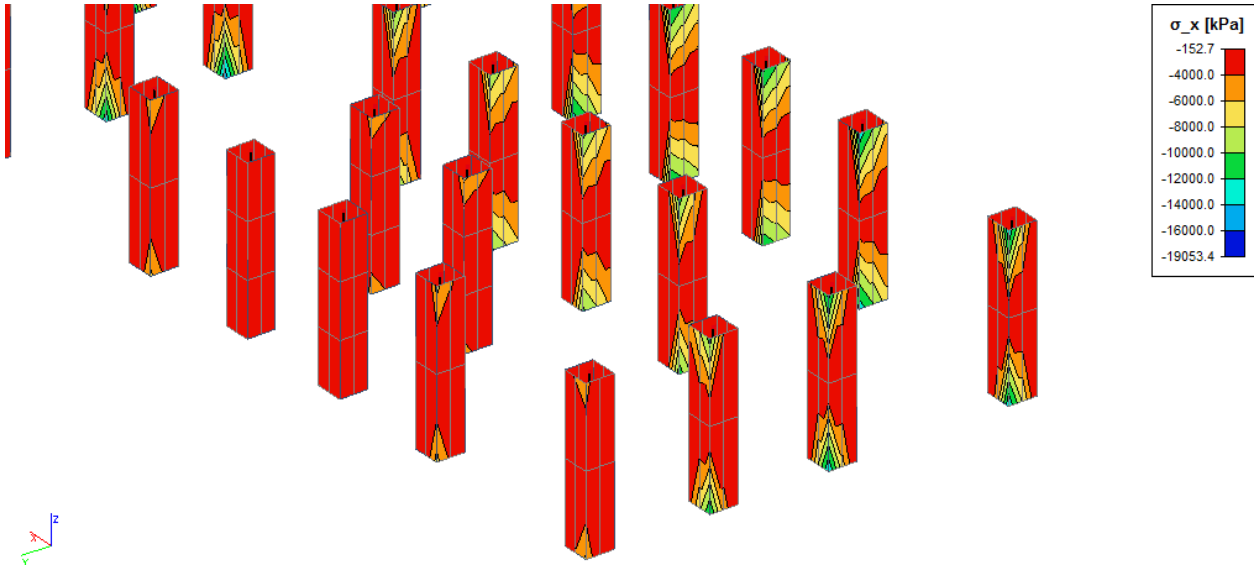
Slika 48. 3D prikaz tlačnih naprezanja u stupovima za nazovistalnu kombinaciju GSU1 1,0G+0,5Q

Prilikom određivanja dimenzija stupova u potresnom području prema EC 8 za stup duktilnosti M treba biti zadovoljen uvjet:

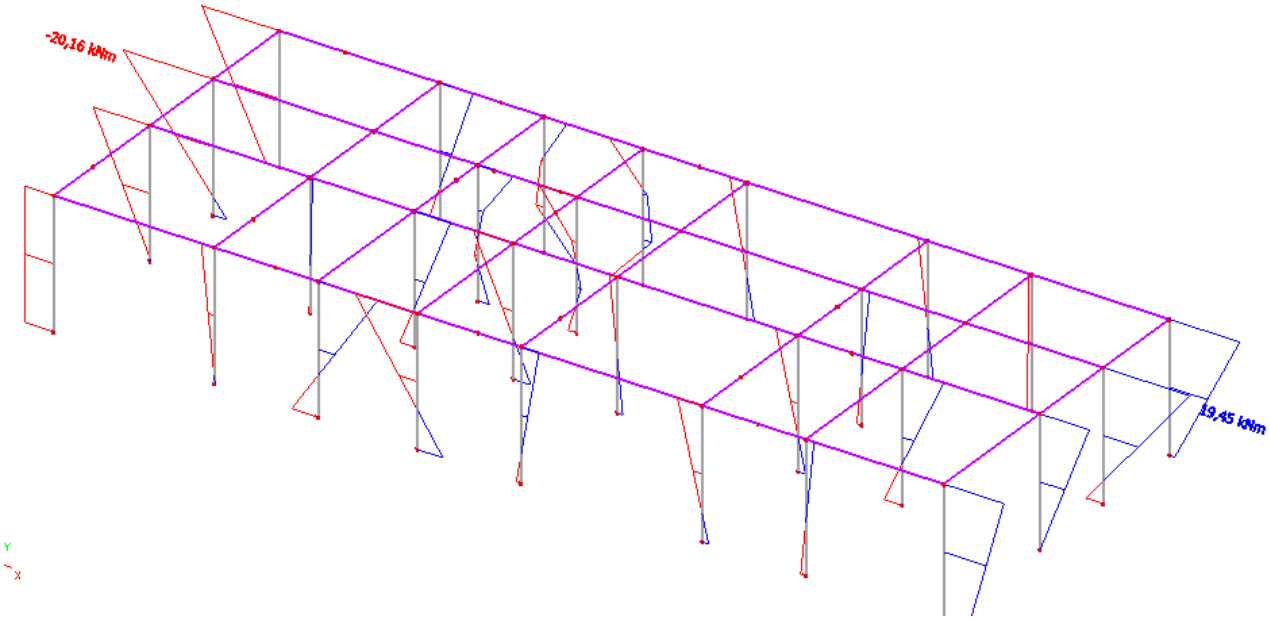
$$N_{Ed}/A_c \leq 0{,}65 f_{cd} = 0{,}65 * 40 = 26 \text{ MPa}$$



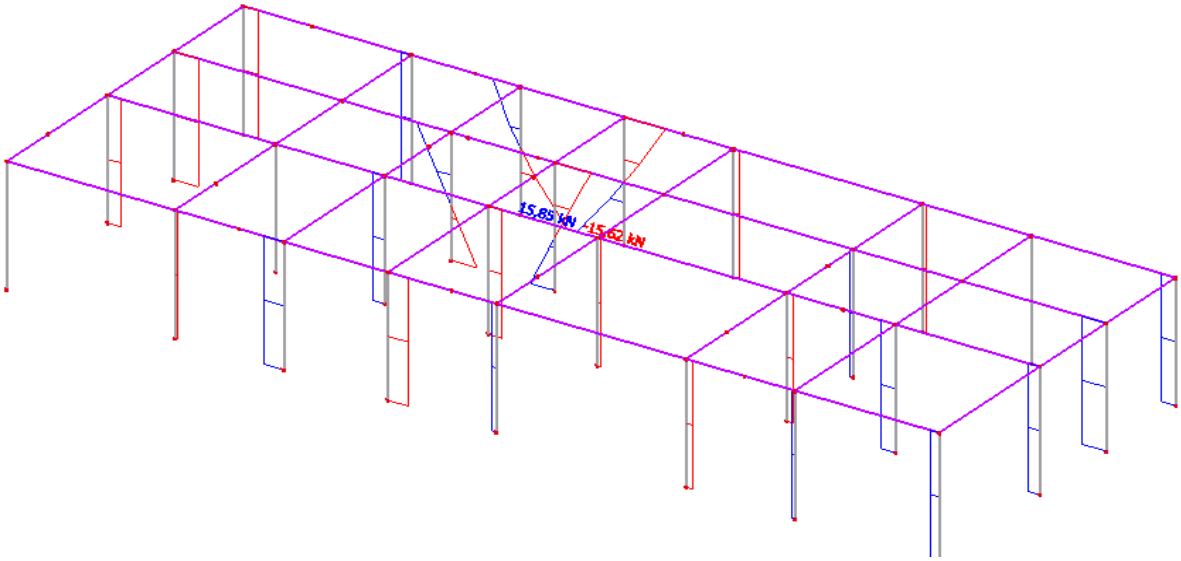
Slika 49. Tlačno normalno naprezanje u betonskim stupovima za kombinaciju potres x 1,0G+0,3Q+1,0Sx



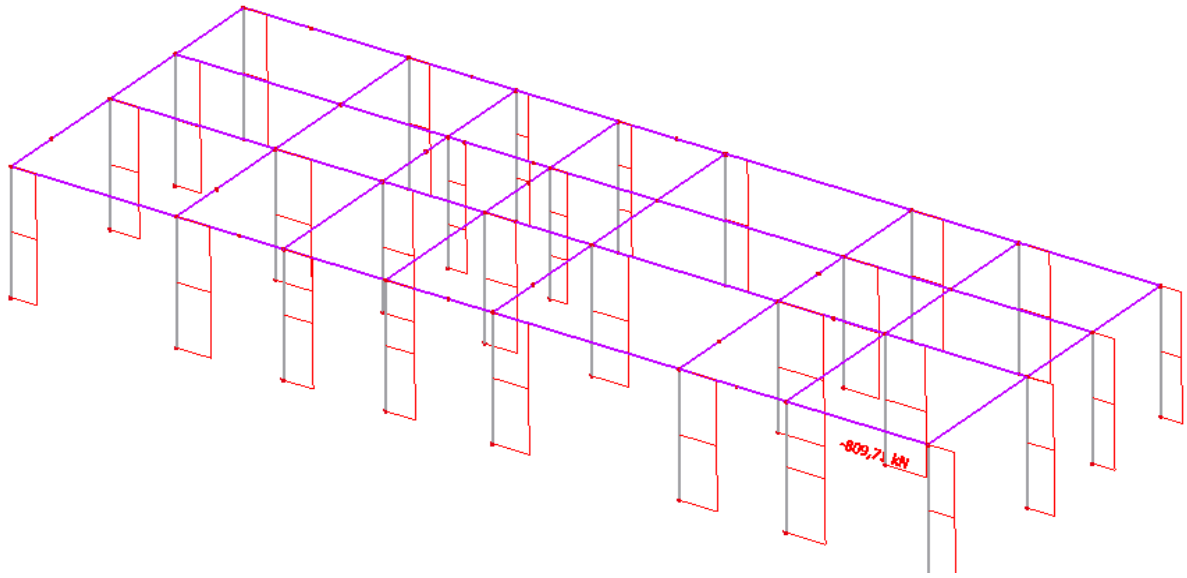
Slika 50. 3D prikaz tlačnih naprezanja u stupovima za kombinaciju potres x 1,0G+0,3Q+1,0Sx



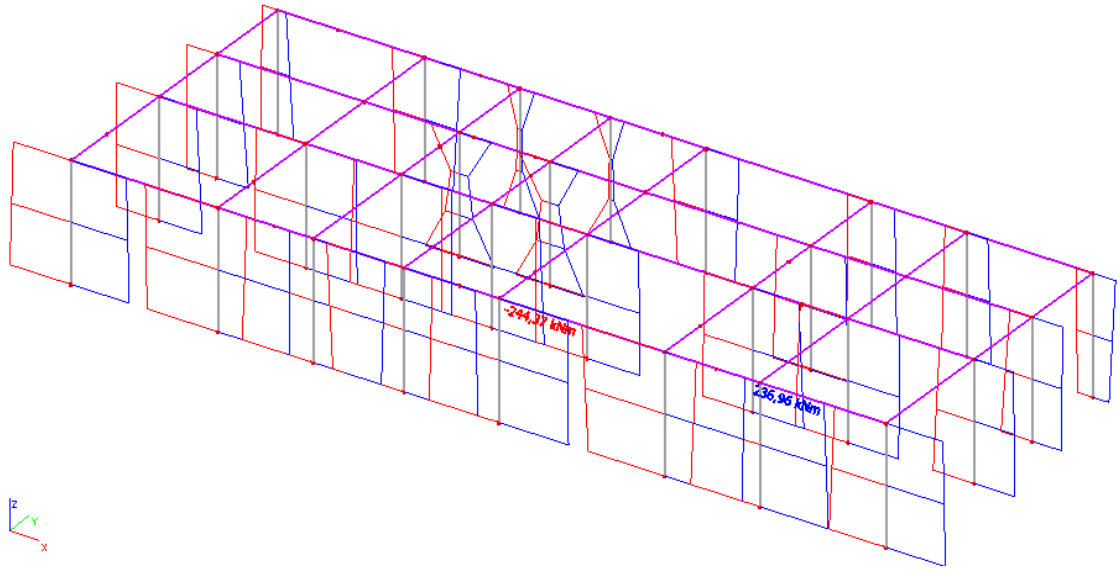
Slika 51. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q M_y



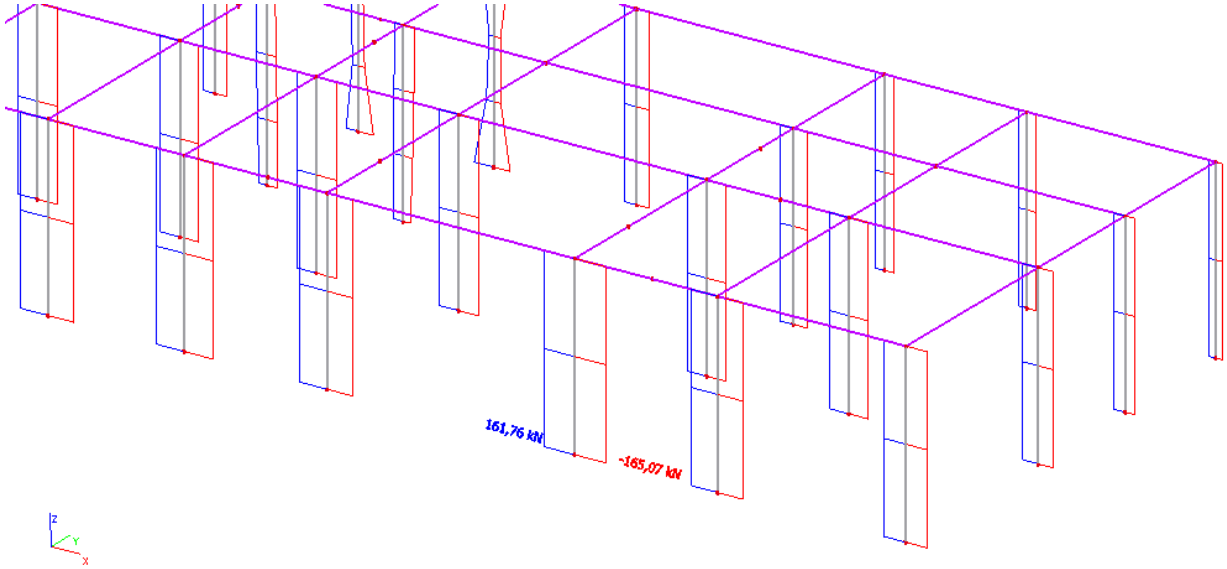
Slika 52. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q V_z



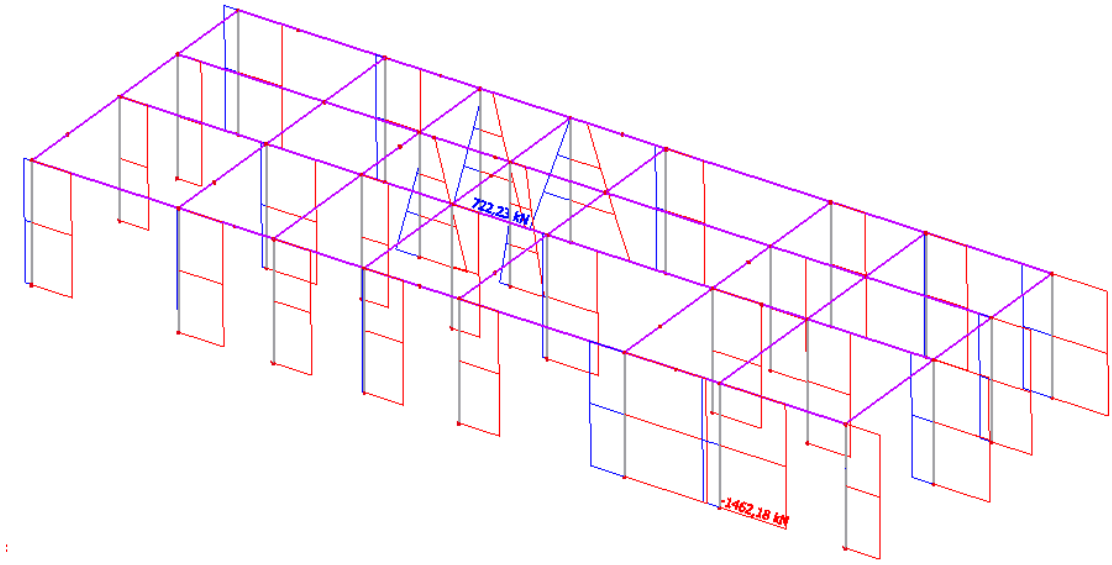
Slika 53. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q N



Slika 54. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx M_y



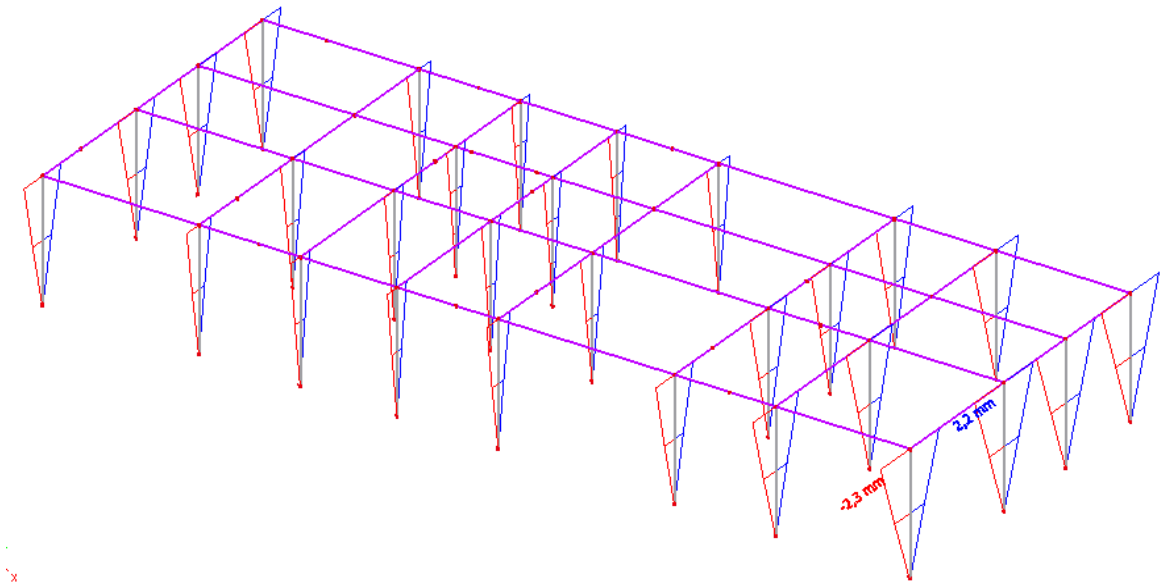
Slika 55. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx V_z



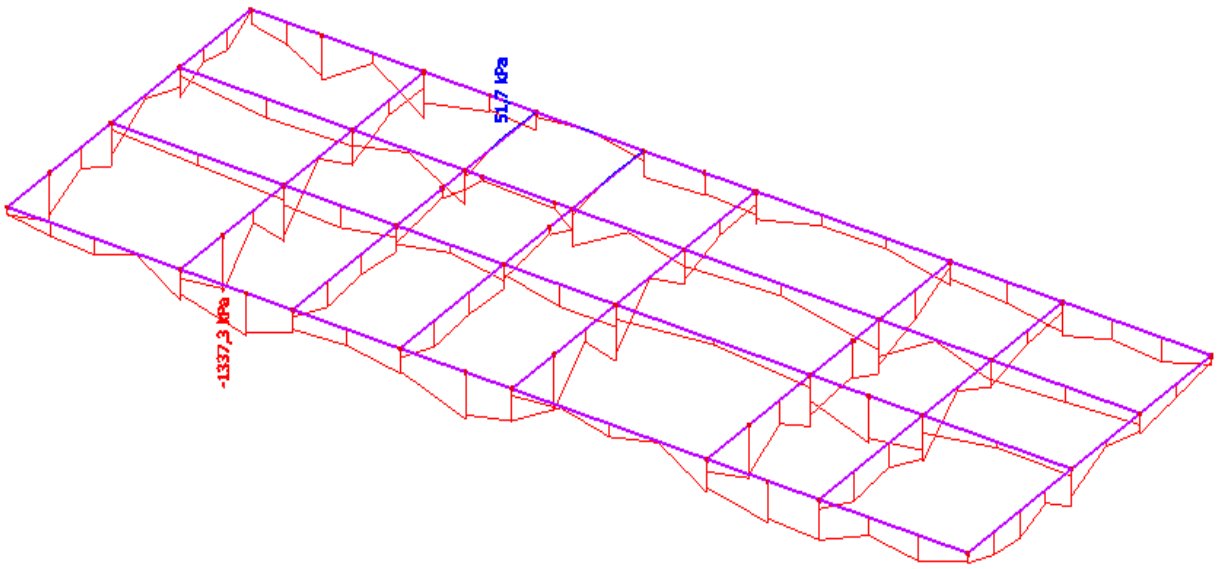
Slika 56. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sy N

Uvjet progiba je zadovoljen

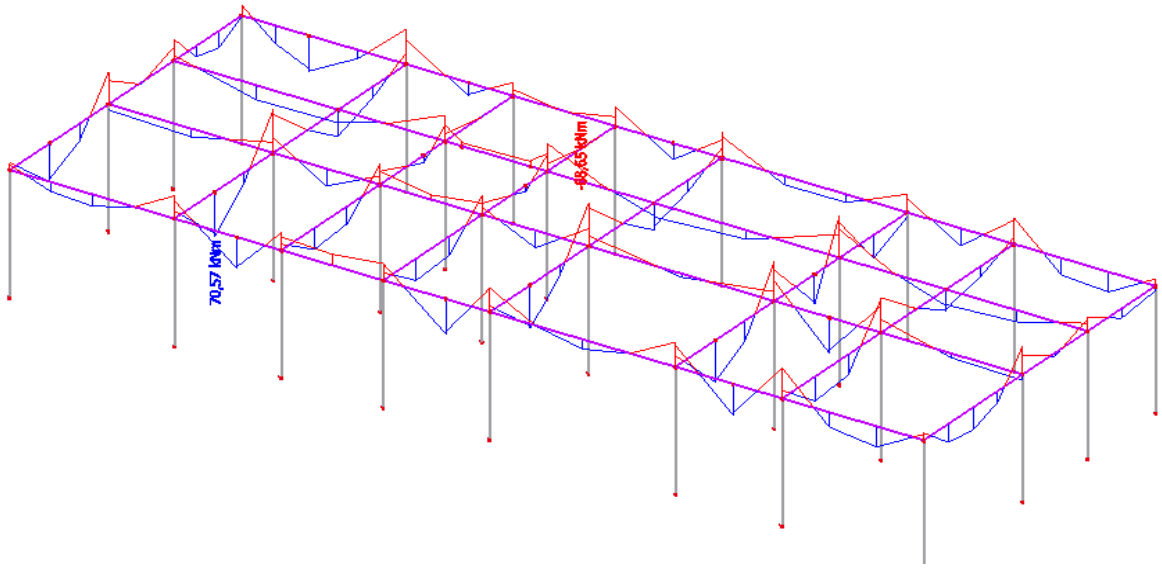
$$u_{dop} = \frac{l}{400} = \frac{2860}{400} = 7{,}15mm > 2{,}2mm$$



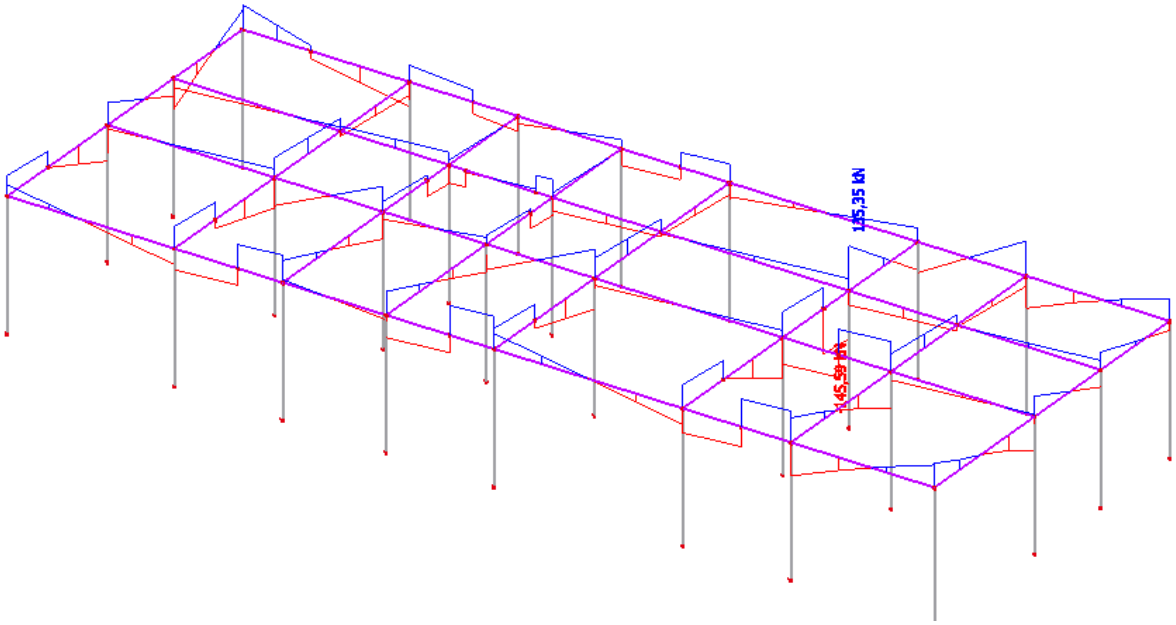
Slika 57. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sy pomak uy



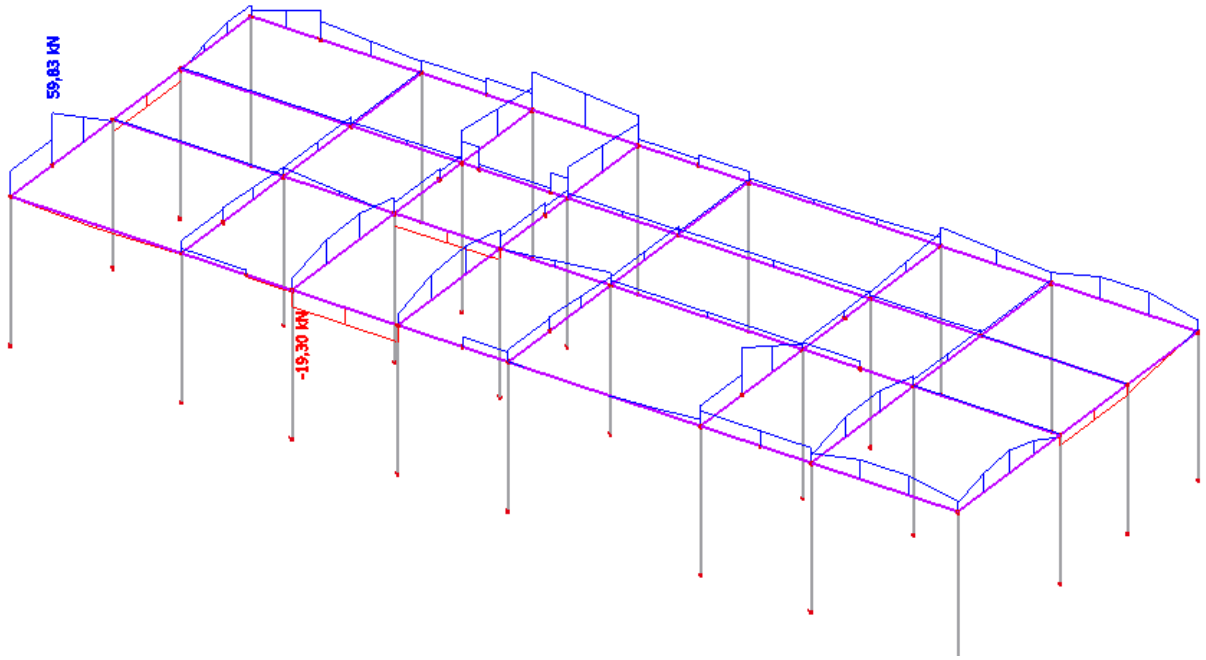
Slika 58 . Tlačno naprezanje za nazovistalnu kombinaciju 1,0G+0,5Q



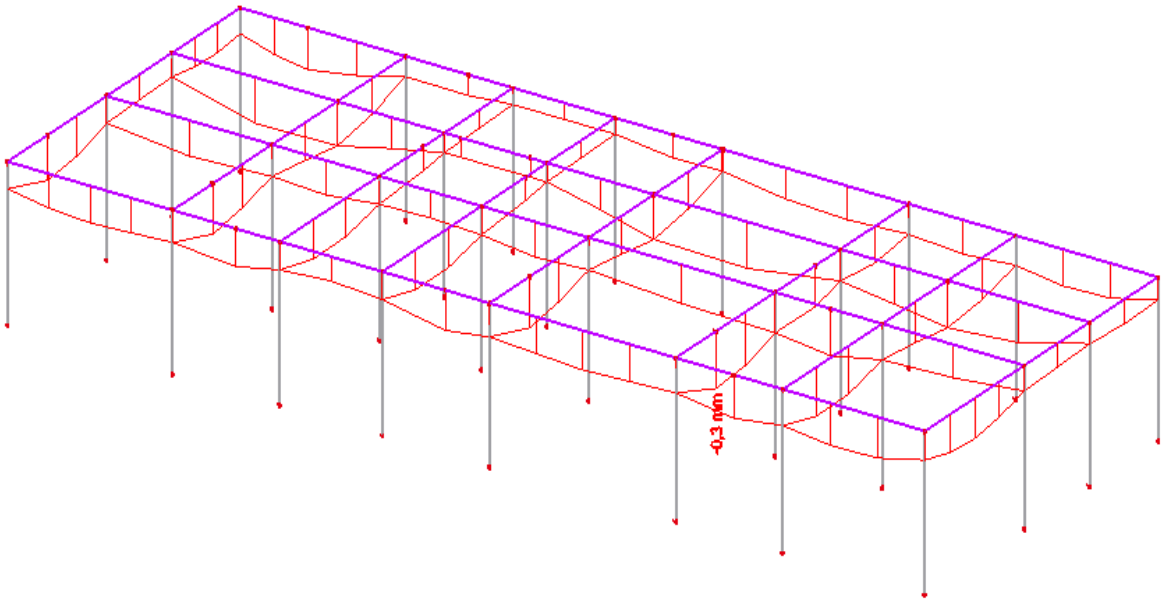
Slika 59. Uobičajena kombinacija 1,35G + 1,50Q M_y



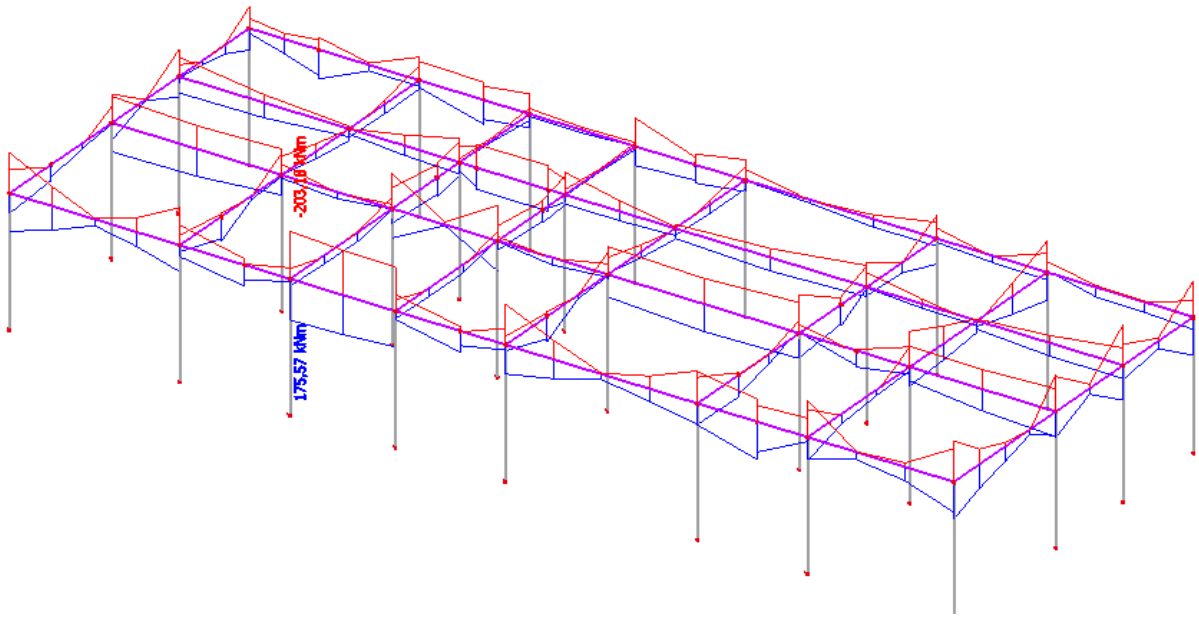
Slika 60. Uobičajena kombinacija 1,35G + 1,50Q V_z



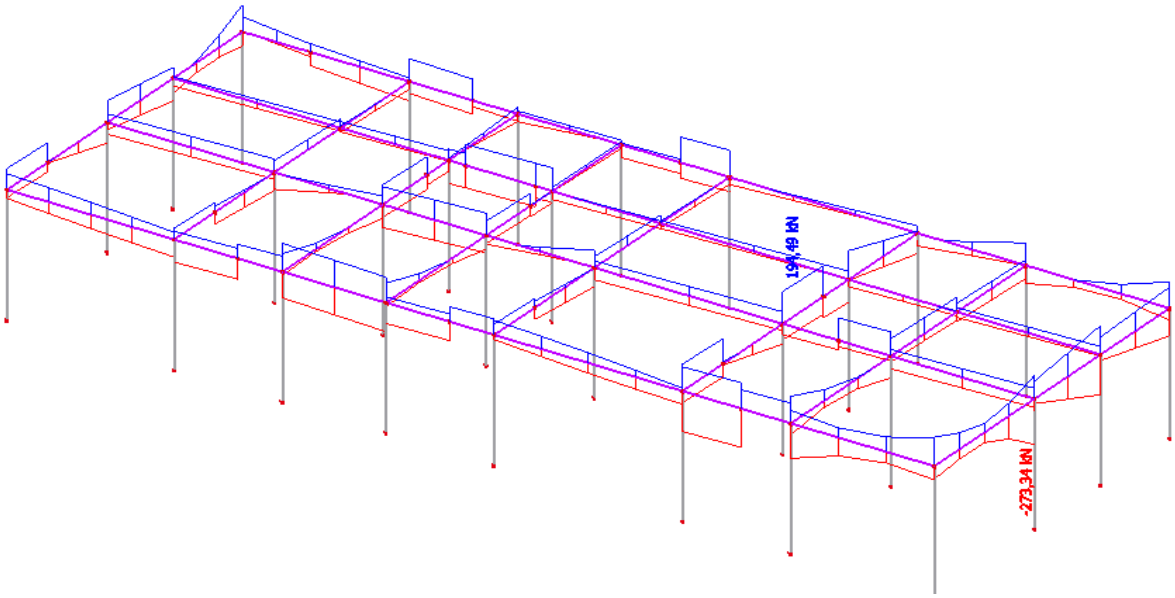
Slika 61. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q N



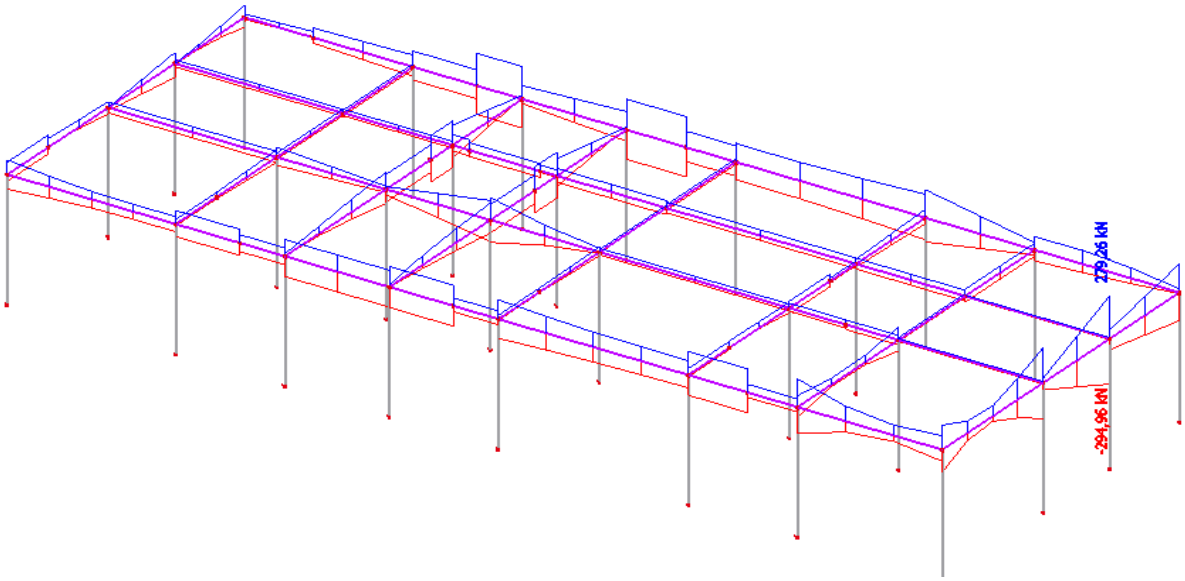
Slika 62. G.S.U kombinacija 1,0G+1,0Q pomak uz



Slika 63. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx M_y

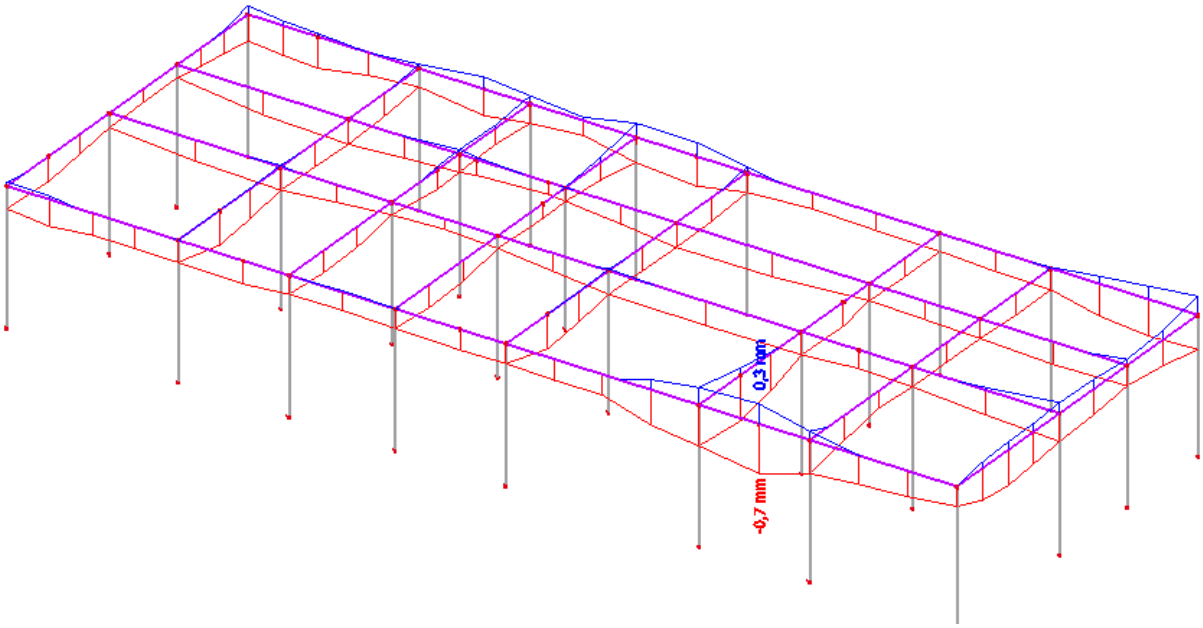


Slika 64. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx V_z



Slika 65. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sx N

$$u_{dop} = \frac{l}{300} = \frac{4000}{300} = 13,33mm > 1mm$$



Slika 66. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sy progib uz

7.2 Dimenzioniranje stupova i greda prizemlja

7.2.1. Dimenzioniranje stupova

Beton: C 40/50 ; f_{ck} = 40.0 MPa

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{40.0}{1.5} = 26.67\ MPa$$

Armatura: B 500B; f_{yk} = 500.0 MPa

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa$$

Mjerodavne rezne sile u stupovima iznose (maksimalni moment i pripadajuća uzdužna i poprečna sila):

$M_{ed} = 243.02\ kNm$; $N_{ed} = 736.34\ kN$ max vlačna sila ; $V_{ed} = 164.13 kN$

Premještanjem uzdužne vlačne sile u težište vlačne armature

$$M_{eds} = M_{ed} - N_{ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) = 95.75\ kNm$$

Granični moment nosivosti

$$M_{rd,\lim} = \mu_{ed,\lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.206 \cdot 0.5 \cdot 0.5^2 \cdot 26666.67 = 686.67\ kNm$$

$$M_{rd,\lim} \geq M_{eds}$$

Nije potrebna tlačna armatura

Napomena: U stupu se javlja i tlačna uzdužna sila, međutim uvrsti li se u izraz za dimenzioniranje poništit će vlačnu armaturu, a i rezultirajući moment je također manji od graničnog momenta nosivosti stoga nije mjerodavna

Vlačna armatura:

$$\mu_{ed} = \frac{M_{eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{95.75 \cdot 100}{50 \cdot 50^2 \cdot 2.67} = 0.035$$

$$\text{za } \varepsilon_{s1} = 10‰ \begin{cases} \varepsilon_{c2} = 1.1‰ \\ \varsigma = 0.965 \\ \xi = 0.099 \end{cases}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{ed}}{f_{yd}} = \frac{95.75 \cdot 100}{0.965 \cdot 45 \cdot 43.48} + \frac{736.34}{43.48} = 22.01 cm^2$$

Odabrano je 7∅22 (A_{s1}=26.61 cm^2)

Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$\rho = \frac{14\phi 22}{50 \cdot 50} = 0.0176$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rdc} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\right)^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{450}} = 1.67 < 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.7$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 2.94$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.7 \cdot \left(100 \cdot 0.018 \cdot 40\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 2.94 \right] \cdot 500 \cdot 450 = 290.18 kN$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f^{\frac{1}{2}}_{ck} = 0,035 \cdot 1,7^{\frac{3}{2}} \cdot 40^{\frac{1}{2}} = 0.49$$

$$V_{rd,c} \geq v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,49 \cdot 500 \cdot 450 = 110.25 kN$$

$$V_{ed} = 164.13 \leq V_{rd,c} = 290.18 kN$$

- nije potrebna proračunska armatura

Dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\nu = 0.6 \left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[1.0 - \frac{40}{250} \right] = 0.504 \geq 0.5$$

$$V_{Rd,\max}{}^{1-1} = 0.5 \cdot 0.5 \cdot 50 \cdot 45 \cdot 2.67 = 1501.88 kN$$

Potrebna poprečna armatura

$$\frac{V_{ed}}{V_{Rd2}} = \frac{164.13}{1501.88} = 0.11 \quad \rightarrow s_{w,\max} = \min\begin{cases} 0.8d = 36cm \\ 30\,cm \end{cases} \quad \rightarrow s_w = 30\,cm$$

Odabrane spone ∅10 (A_{sw}=0.79 cm^2):

$$s_{w,pot} \le \frac{m \cdot A_{sw,\min}}{\rho_{\min} \cdot b_w} = \frac{4 \cdot 0.79}{0.0013 \cdot 50} = 48.62\ cm$$

Odabrano : ∅10/30 cm, m=4

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta$$

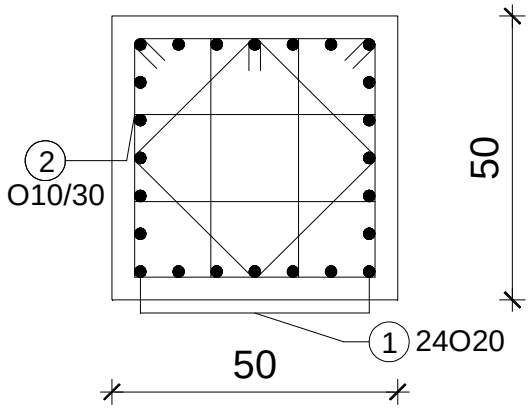
$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{30} \cdot (0.9 \cdot 45) \cdot 43.48 \cdot 4 = 185.48kN$$

$$V_{Ed} < V_{Rd}$$

<u>Kontroliramo nosivost betona:</u>

$$V_{Rd,\max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot v \cdot f_{cd}}{tg\vartheta + ctg\vartheta} = \frac{1 \cdot 50 \cdot (0.9 \cdot 45) \cdot 0.6 \cdot 2.67}{1+1}$$

$$V_{Rd,\max} = 1622.03kN > V_{Ed,\max}$$



Slika 67. Crtež poprečnog presjeka armiranog stupa

7.2.2 Dimenzioniranje krutih greda prizemlja

Beton: C 30/37 ; f_{ck} = 40.0 MPa

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{40.0}{1.5} = 26.67\ MPa$$

Armatura: B 500B; f_{yk} = 500.0 MPa

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1.15} = 434.8\ MPa$$

Mjerodavne rezne sile u gredama iznose (maksimalni moment i pripadajuća uzdužna i poprečna sila):

$M_{ed} = 202.97\ kNm$; $N_{ed} = 296.49\ kN$ max tlačna sila ; $V_{ed} = 273.04 kN$

Premještanjem uzdužne tlačne sile u težište vlačne armature

$$M_{eds} = M_{ed} + N_{ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) = 277.08\ kNm$$

Granični moment nosivosti

$$M_{rd,\lim} = \mu_{ed,\lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.252 \cdot 0.5 \cdot 0.6^2 \cdot 20000 = 907.2\ kNm$$

$$M_{rd,\lim} \geq M_{eds}$$

Nije potrebna tlačna armatura

Vlačna armatura:

$$\mu_{ed} = \frac{M_{eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{277.8 \cdot 100}{50 \cdot 60^2 \cdot 2} = 0.077$$

za $\varepsilon_{s1} = 10‰$ $\begin{cases} \varepsilon_{c2} = 1.8‰ \\ \varsigma = 0.944 \\ \xi = 0.153 \end{cases}$

$$A_{s1} = \frac{M_{eds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{ed}}{f_{yd}} = \frac{277.8 \cdot 100}{0.944 \cdot 60 \cdot 43.48} - \frac{296.49}{43.48} = 4.46 cm^2$$

Odabrano je 5∅12 (A_{s1}=5.65 cm^2)

Dimenzioniranje na poprečnu silu

$$\rho = \frac{5\phi 12}{50 \cdot 65} = 0.0017$$

Dio poprečne sile koju preuzima beton i uzdužna armatura:

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rdc} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck}\right)^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{600}} = 1.33 < 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.3$$

$$k_1 = 0.15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0.91$$

$$C_{Rdc} = 0.18 / \gamma_c = 0.18 / 1.5 = 0.12$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.3 \cdot \left(100 \cdot 0.0017 \cdot 30\right)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.91 \right] \cdot 500 \cdot 600 = 121.50 kN$$

$$V_{Rd,c} \geq \left[v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k_1 = 0.15$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \cdot 1,3^{\frac{3}{2}} \cdot 30^{\frac{1}{2}} = 0.28$$

$$V_{rd,c} \geq v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,28 \cdot 500 \cdot 600 = 84 kN$$

$$V_{ed} = 273.04 \geq V_{rd,c} = 121.50 kN$$

- potrebna je proračunska armatura

Dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale:

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\nu = 0.6 \left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[1.0 - \frac{30}{250} \right] = 0.528 \geq 0.5$$

$$V_{Rd,\max}^{1-1} = 0.5 \cdot 0.5 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 2 = 1500 kN$$

<u>Potrebna poprečna armatura</u>

$$\frac{V_{ed}}{V_{Rd2}} = \frac{273.04}{1500} = 0.18 \quad \rightarrow s_{w,\max} = \min \begin{cases} 0.8d = 48cm \\ 30\,cm \end{cases} \quad \rightarrow s_w = 30\,cm$$

Odabrane spone ∅10 (A_{sw}=0.79 cm^2):

$$s_{w,pot} \leq \frac{m \cdot A_{sw,\min}}{\rho_{\min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.79}{0.0011 \cdot 50} = 28.72\,cm$$

Odabrano : ∅10/20 cm, m=2

$$V_{Rd} = V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot m \cdot ctg\theta$$

$$V_{Rd,s} = \frac{0.79}{20} \cdot (0.9 \cdot 60) \cdot 43.48 \cdot 2 = 185.49kN$$

$$V_{Ed} > V_{Rd}$$

Kontroliramo nosivost betona:

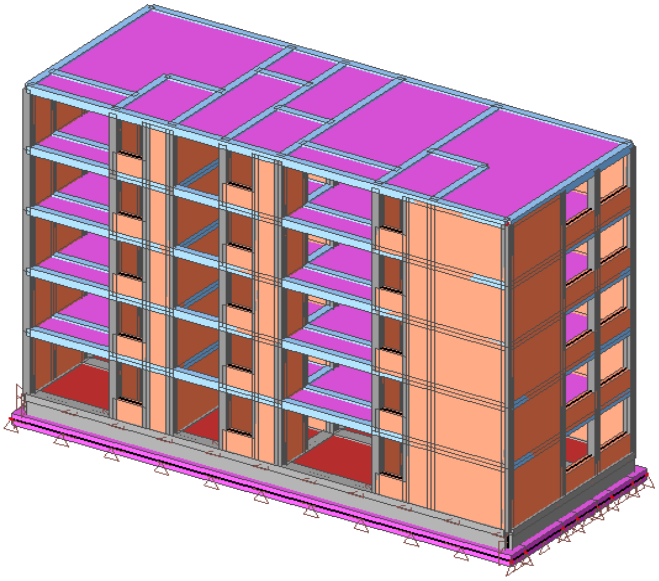
$$V_{Rd,\max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b \cdot z \cdot \nu \cdot f_{cd}}{tg\vartheta + ctg\vartheta} = \frac{1 \cdot 50 \cdot (0.9 \cdot 60) \cdot 0.6 \cdot 2}{1+1}$$

$$V_{Rd,\max} = 1620kN > V_{Ed,\max}$$

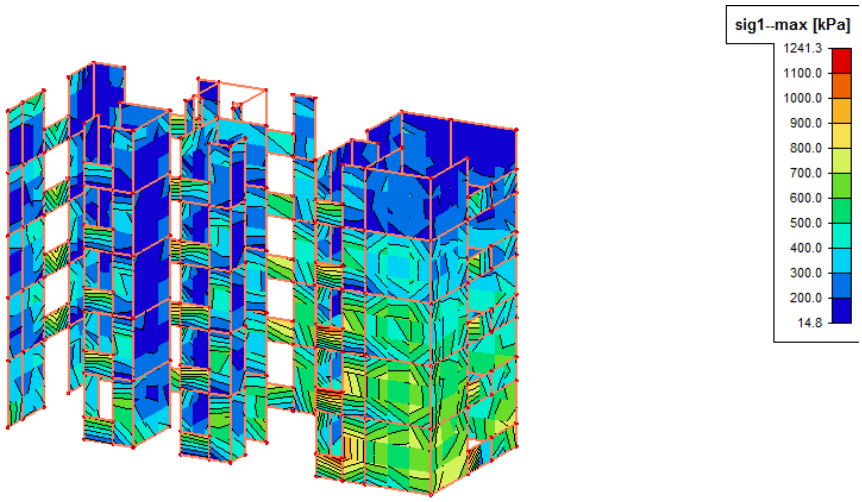
Na ležaju progustiti spone ∅10/10 cm, m=2

$$s_{w,pot} \le \frac{m \cdot A_{sw,\min} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{ed}} = \frac{2 \cdot 0.79 \cdot 43.48 \cdot (0.9 \cdot 60)}{273.04} = 13.59\ cm$$

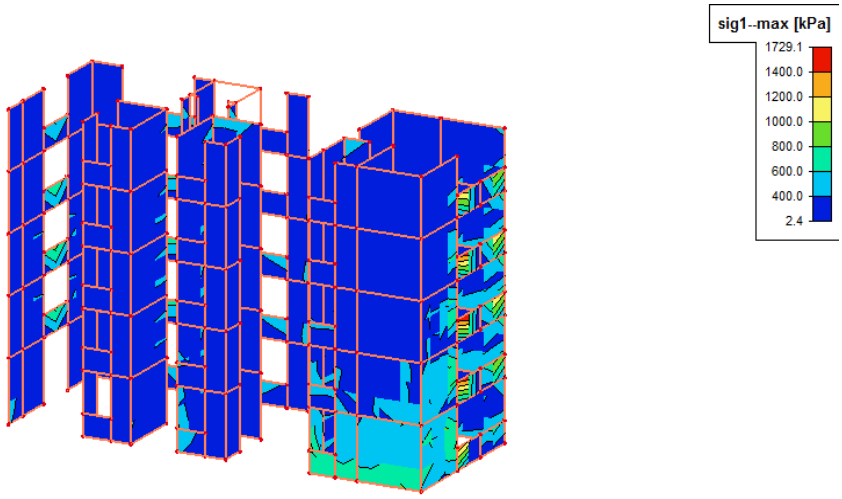
Model zidanog prizemlja sa temeljnim roštiljem 1



Slika 68. Prikaz modela zidane zgrade u Scia 2014



Slika 69. Crtež glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres x 1,0G0+1,0G+1,0Sx



Slika 70. Crtež glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres y 1,0G+0,3Q1+1,0Sy

Maksimalno naprezanje u ziđu ne prelazi karakterističnu tlačnu čvrstoću ziđa f_k=4784kPa

Modal participation factors

Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot	Wxi_R / Wxtot_R	Wyi_R / Wytot_R	Wzi_R / Wztot_R
Student version	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student version*	*Student versic
1	21.1738	0.2967	3.3699	0.0000	0.5781	0.0000	0.4094	0.0000	0.0021
2	24.9252	0.2521	3.9670	0.5362	0.0001	0.0000	0.0001	0.2390	0.0573
3	32.5686	0.1929	5.1834	0.0547	0.0022	0.0000	0.0017	0.0309	0.5621
4	74.7778	0.0840	11.9013	0.0001	0.0000	0.9644	0.0000	0.0013	0.0001
5	83.8712	0.0749	13.3485	0.0483	0.0008	0.0030	0.0000	0.5431	0.0000
6	92.6249	0.0678	14.7417	0.1715	0.0012	0.0000	0.0022	0.0365	0.0205
7	99.6787	0.0630	15.8644	0.0110	0.2270	0.0003	0.2957	0.0122	0.0398
8	107.0263	0.0587	17.0338	0.0064	0.0574	0.0000	0.0916	0.0050	0.1007
9	112.4578	0.0559	17.8982	0.0121	0.0199	0.0004	0.0275	0.0044	0.1063
10	132.2653	0.0475	21.0507	0.0001	0.0006	0.0015	0.0161	0.0001	0.0027
11	139.3164	0.0451	22.1729	0.0026	0.0007	0.0018	0.0066	0.0032	0.0001
12	146.1773	0.0430	23.2648	0.0000	0.0009	0.0007	0.0040	0.0006	0.0000
13	147.3868	0.0426	23.4573	0.0069	0.0007	0.0001	0.0025	0.0036	0.0002
14	147.9639	0.0425	23.5492	0.0041	0.0000	0.0002	0.0001	0.0032	0.0001
15	148.6186	0.0423	23.6534	0.0004	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000
16	149.3217	0.0421	23.7653	0.0007	0.0002	0.0006	0.0010	0.0015	0.0000
17	152.0166	0.0413	24.1942	0.0369	0.0002	0.0021	0.0009	0.0330	0.0035
18	156.3943	0.0402	24.8909	0.0692	0.0023	0.0004	0.0031	0.0445	0.0149
19	159.7991	0.0393	25.4328	0.0005	0.0018	0.0003	0.0058	0.0003	0.0015
20	163.2518	0.0385	25.9823	0.0001	0.0025	0.0005	0.0035	0.0000	0.0024
21	164.9984	0.0381	26.2603	0.0062	0.0614	0.0010	0.0760	0.0024	0.0185
22	166.4091	0.0378	26.4848	0.0018	0.0064	0.0001	0.0073	0.0003	0.0001
23	167.1023	0.0376	26.5952	0.0002	0.0008	0.0001	0.0009	0.0000	0.0001
24	173.8090	0.0361	27.6626	0.0001	0.0090	0.0006	0.0102	0.0006	0.0014
25	177.6597	0.0354	28.2754	0.0013	0.0008	0.0041	0.0031	0.0000	0.0148
26	181.8149	0.0346	28.9367	0.0035	0.0041	0.0001	0.0048	0.0024	0.0227
27	184.0009	0.0341	29.2847	0.0000	0.0094	0.0017	0.0110	0.0004	0.0144
28	185.4551	0.0339	29.5161	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0004	0.0013
29	189.1113	0.0332	30.0980	0.0000	0.0004	0.0007	0.0004	0.0003	0.0003
30	190.4354	0.0330	30.3087	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0001
				0.9751	0.9891	0.9854	0.9853	0.9699	0.9879

Tablica 18. Prikaz vrijednosti prvih 30 vlastitih vektora

8. PRORAČUN PLOČA

Model ploče je napravljen u programskom paketu Scia Engineer 2014. Sve ploče napravljene su od betona klase C25/30 te armirane čelikom za armiranje B500B. Debljina temeljne i međuetažne AB ploče iznosi 20 cm.

Određeni su momenti savijanja , progib, reakcije oslonaca i potrebna količina armature ploče za linearno stanje, momenti i progib uz uključenu materijalnu nelinearnost te za kombinaciju materijalne nelinearnosti i puzanja.

Max progib ploče dobiven proračunom u programskom paketu Scia Engineering 2014 iznosi 1,0 mm. Max dopušteni progib ploča iznosi 6000/500=12 mm.

$$1{,}0 \text{ mm} < 12 \text{ mm}$$

8.1. Opterećenje na pločama

Opterećenje ploča dijeli se na stalno i promijenjivo. U stalno opeterećenje spada vlastita težina *Go* i dodatno stalno opterećenje *G1*. Promijenjivo opterećenje *Q* predstavlja uporabno opterećenje i utjecaj pokretne opreme. Ploče su opterećene i na šahovski raspored promjenjivog opterećenja *Q* ,ali to nema velikog utjecaja na rezultat zbog osrednjig raspona stoga se može zanemariti

Ploče POZ 100 (a-b ploča)

Djelovanje:

Stalno:

pregradni zidovi	0.50 kN/m2
završni sloj poda	0.50 kN/m2
a-c estrih; d=6 cm; ρ=22 kN/m3	1.32 kN/m2
međukatna konstrukcija - a-b ploča; d=16 cm; ρ =25 kN/m3	4.00 kN/m2
	g=6,32 kN/m2

Promjenjivo:

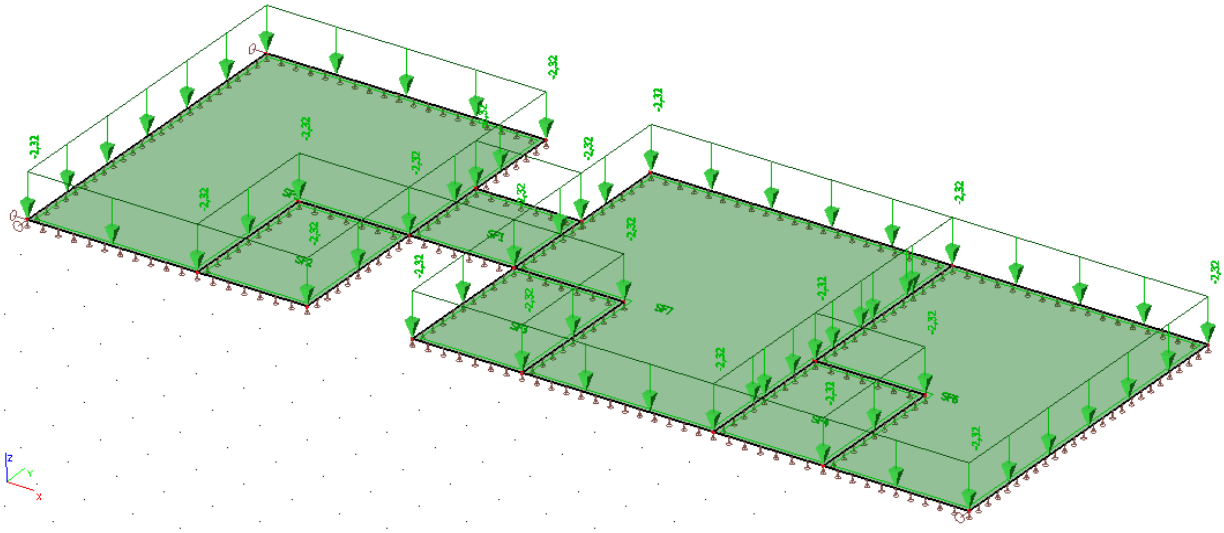
sobe, dnev. bor:	q=2.00 kN/m2
stubište:	q=3.00 kN/m2
balkoni:	q=4.00 kN/m2

Proračunski model ploče:

- ploča je modelirana plošnim elementima debljine d=16 cm
- ploča je slobodno oslonjena na zidove i horizontalne serklaže
- beton: C25/30; armatura: B500B; Ec=30.5 GPa

Stalno opterećenje

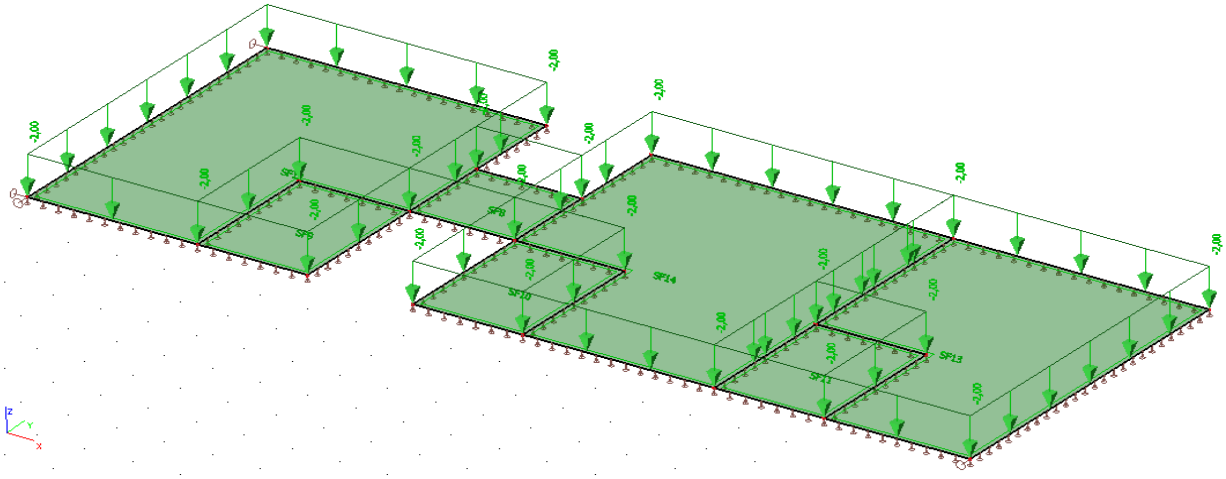
Dodatno stalno opterećenje G1 (stan) – 2,32 kN/m^2



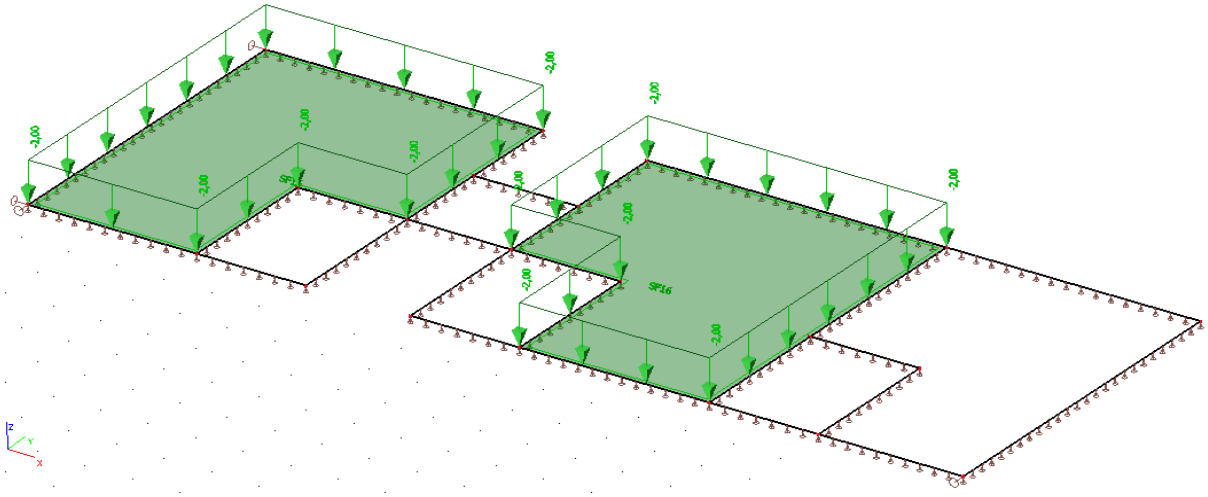
Slika 71. Prikaz dodatnog stalnog opterećenja G1 na ploču u računalnom softveru

Promijenjivo opterećenje

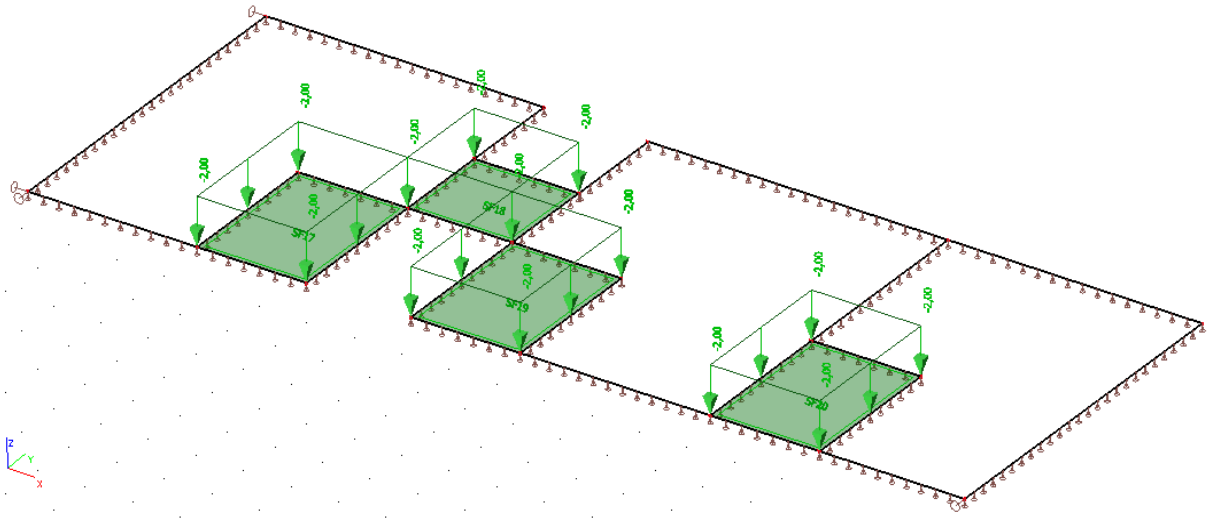
Promijenjivo opterećenje Q (stan) – 2,0 kN/m^2



Slika 72. Prikaz promjenjivog opterećenja Q1 na ploču u računalnom softveru



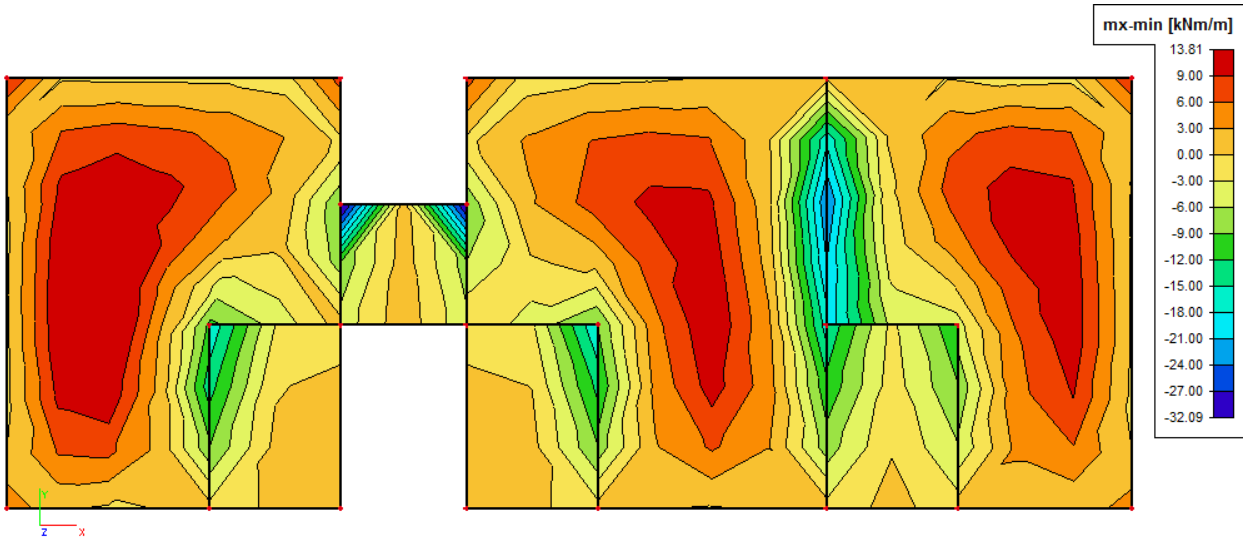
Slika 73. Prikaz promjenjivog šahovskog opterećenja Q2 po cijeloj etaži u računalnom softveru



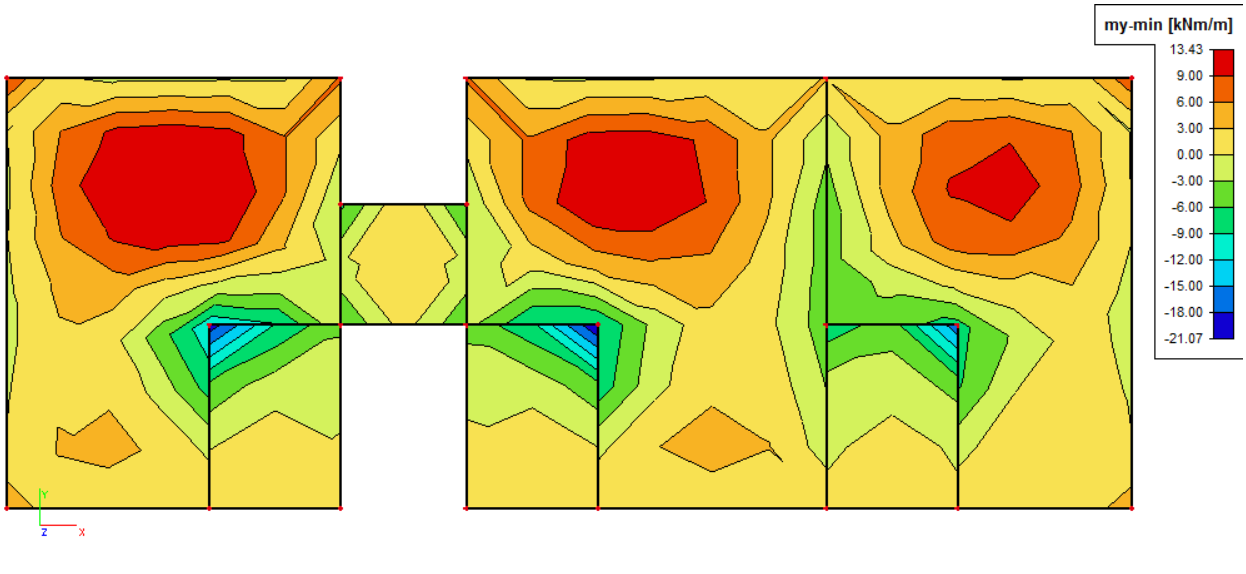
Slika 74. Prikaz promjenjivog šahovskog opterećenja Q3 po cijeloj etaži u računalnom softveru

8.2. Rezultati proračuna

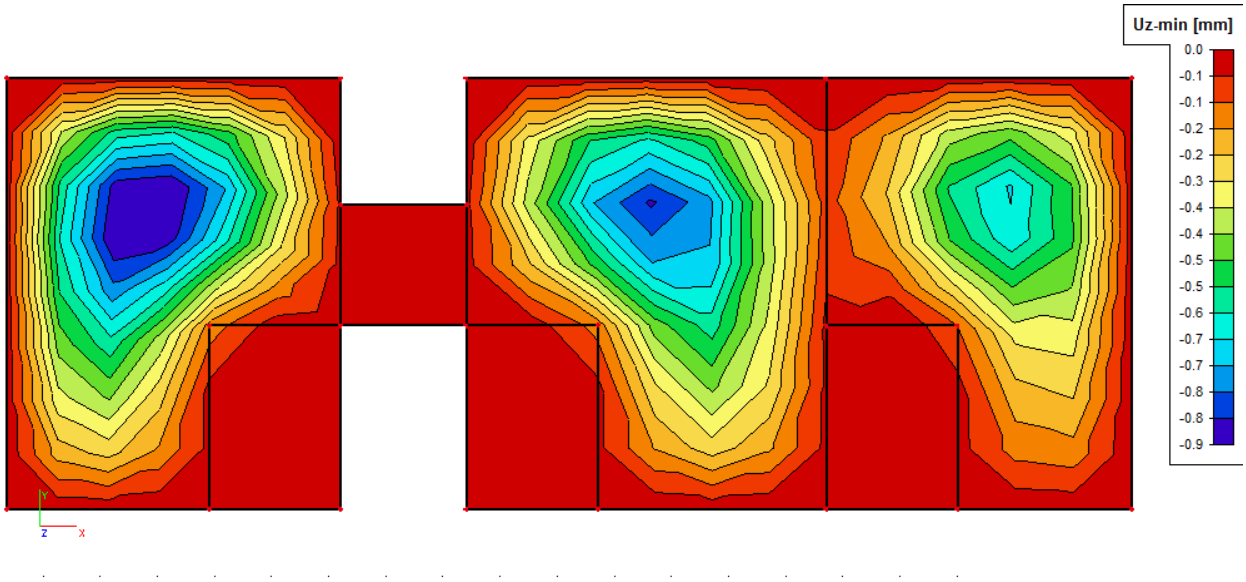
Momenti savijanja i progibi za uobičajenu kombinaciju (1,35G0+1,35G+1,5Q) za linearno stanje.



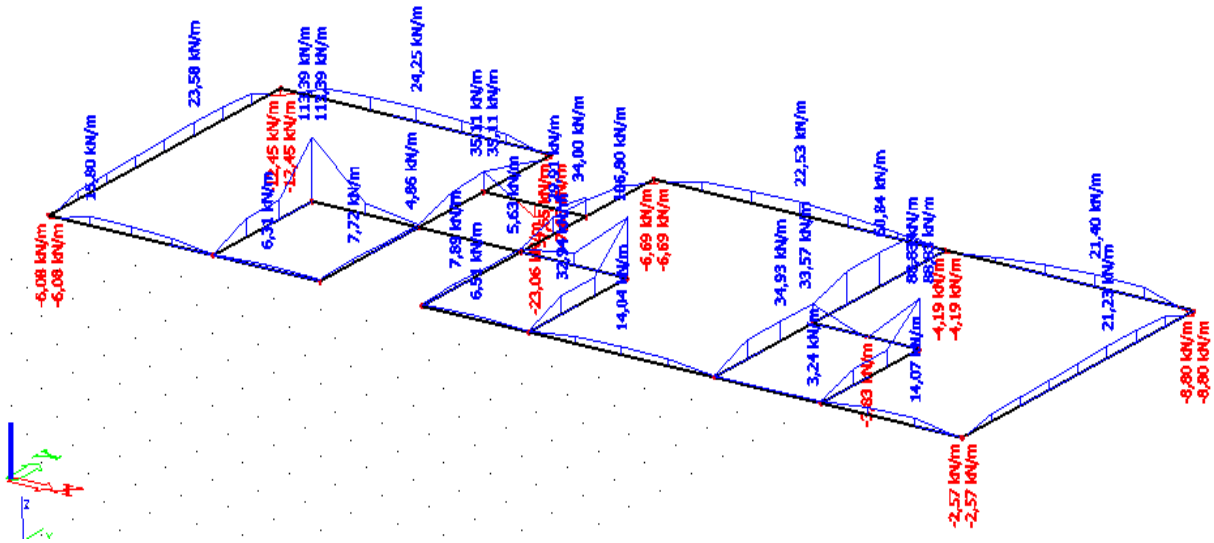
Slika 75. Prikaz mx-min[kNm/m] za linearnu kombinaciju opterećenja



Slika 76. Prikaz my-min[kNm/m] za linearnu kombinaciju opterećenja

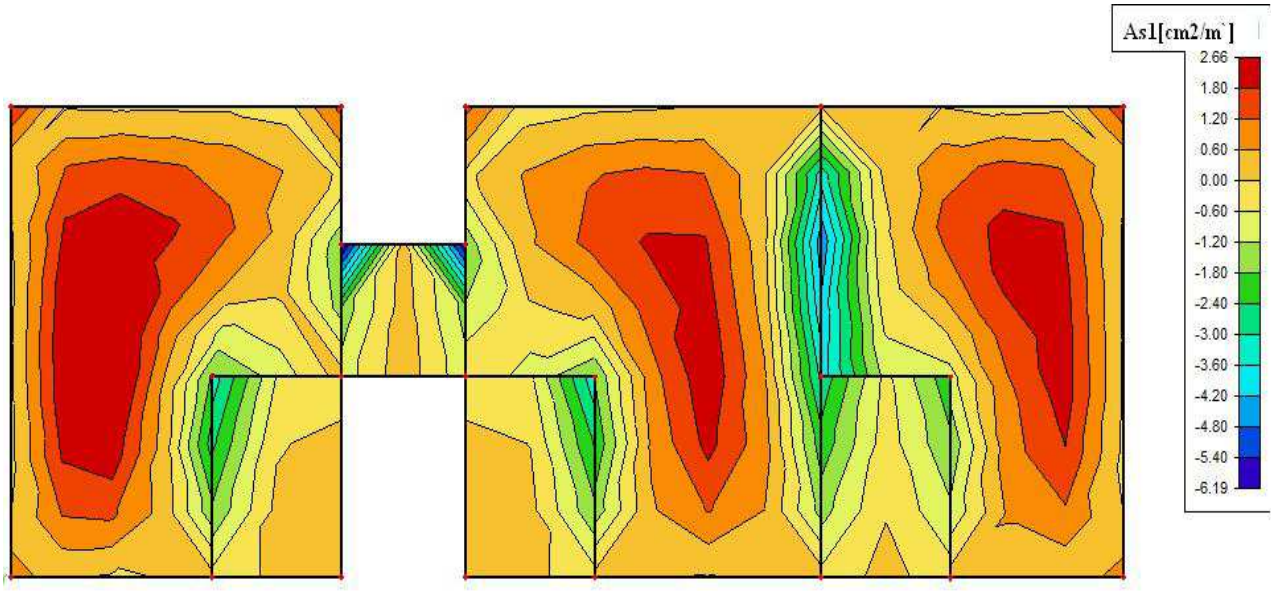


Slika 77. Prikaz pomaka U_z[mm] ploče za linearnu kombinaciju opterećenja

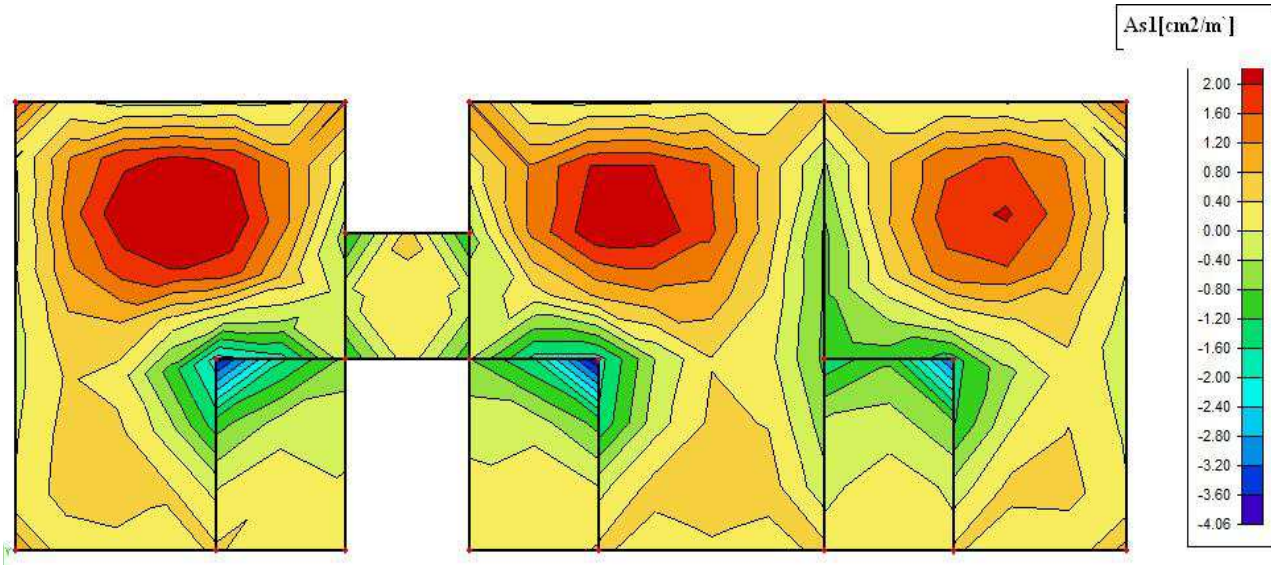


Slika 78. Prikaz reakcija R_z[kN] ploče za linearnu kombinaciju opterećenja

Potrebna količina armature upločama [cm^2/m]:

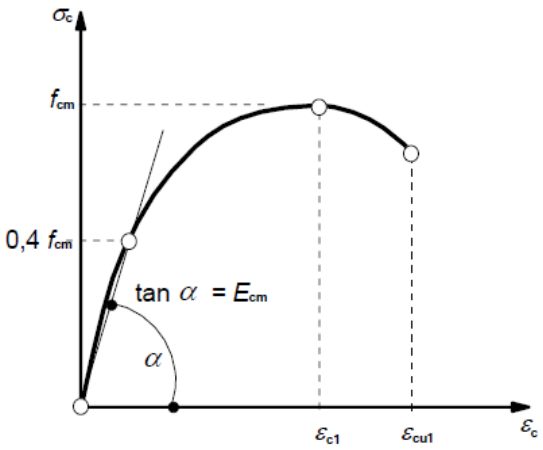


Slika 79. Prikaz x armature ploče[cm^2/m`] za linearnu kombinaciju opterećenja

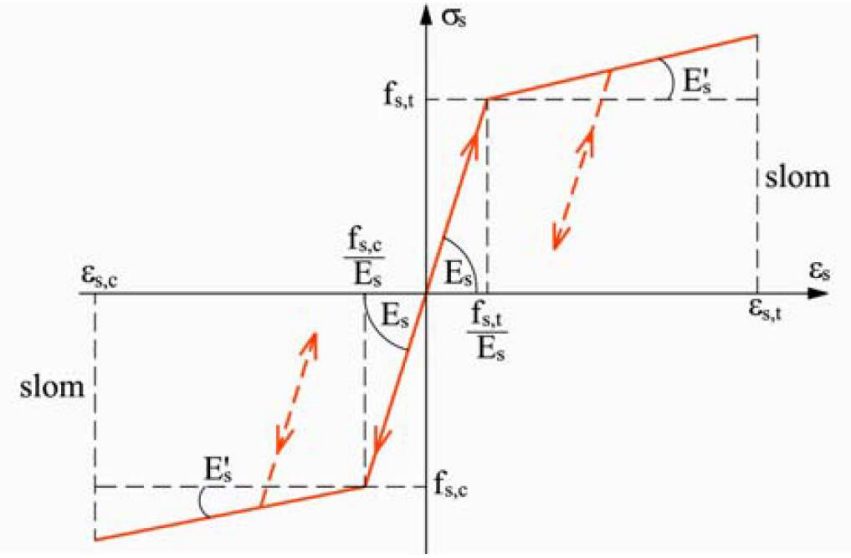


Slika 80. Prikaz y armature ploče[cm^2/m`] za linearnu kombinaciju opterećenja

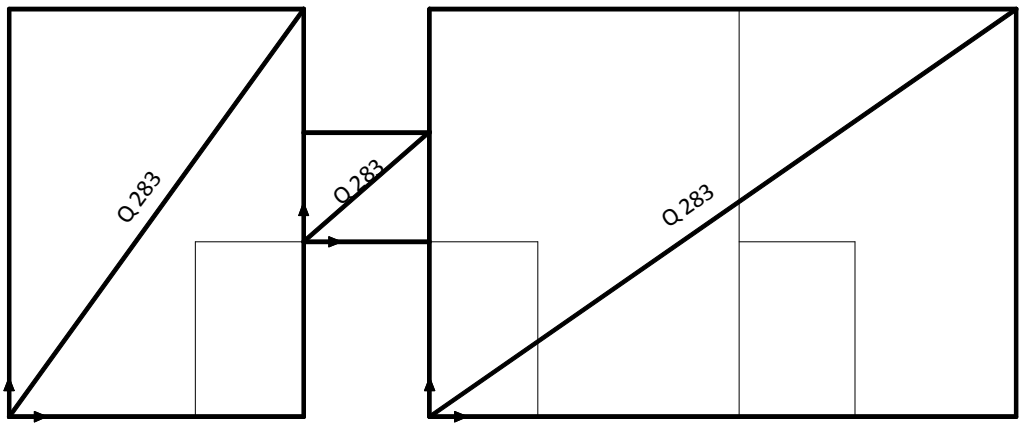
Kod proračuna na nelinearnu kombinaciju opterećenja svojen je parabolični radni dijagram (Slika 82.) betona prema EN 1992-1-1, zbog uključene materijalne nelinearnosti.



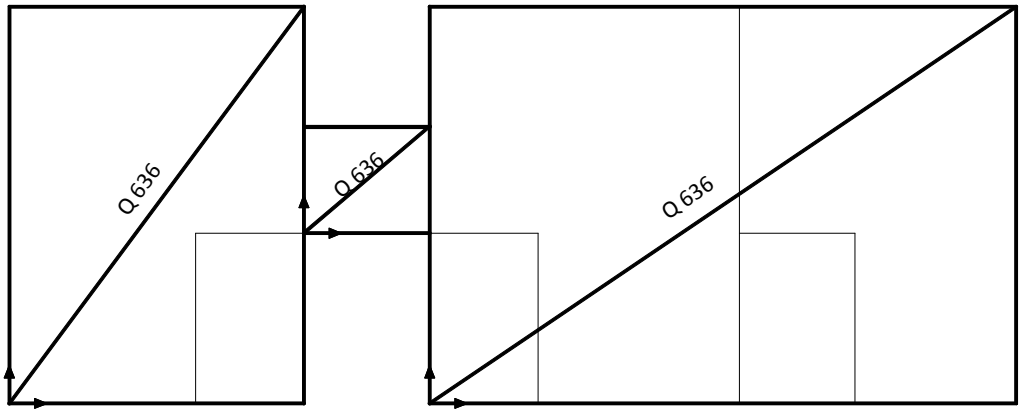
Slika 81. Radni dijagram betona



Slika 82. Veza naprezanje-deformacija za betonski čelik (armaturu)

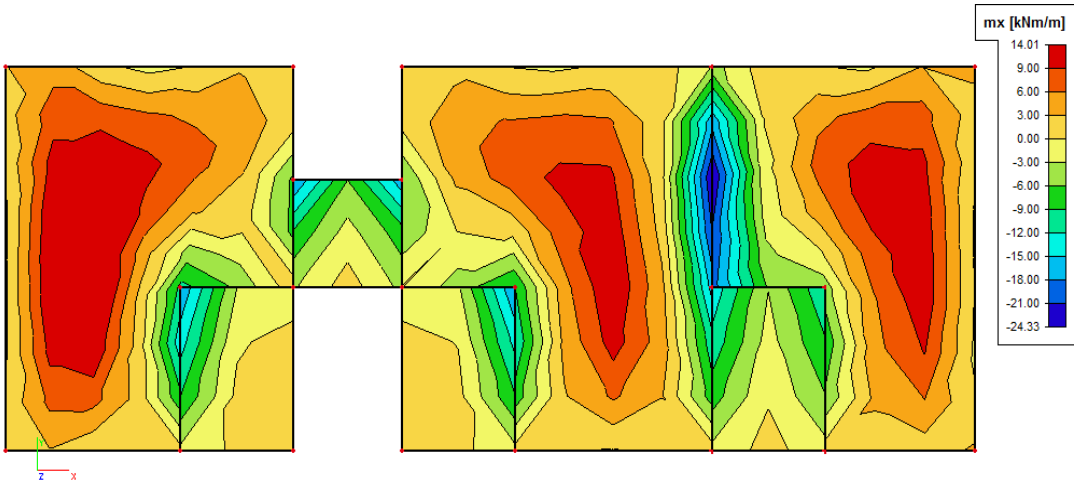


Slika 83. Armatura donje zone

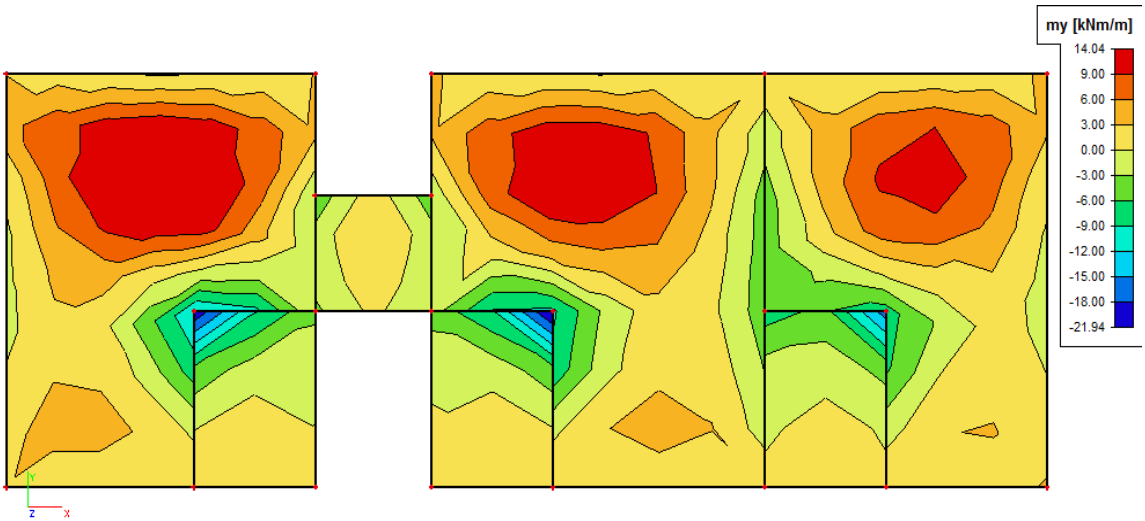


Slika 84. Armatura donje zone

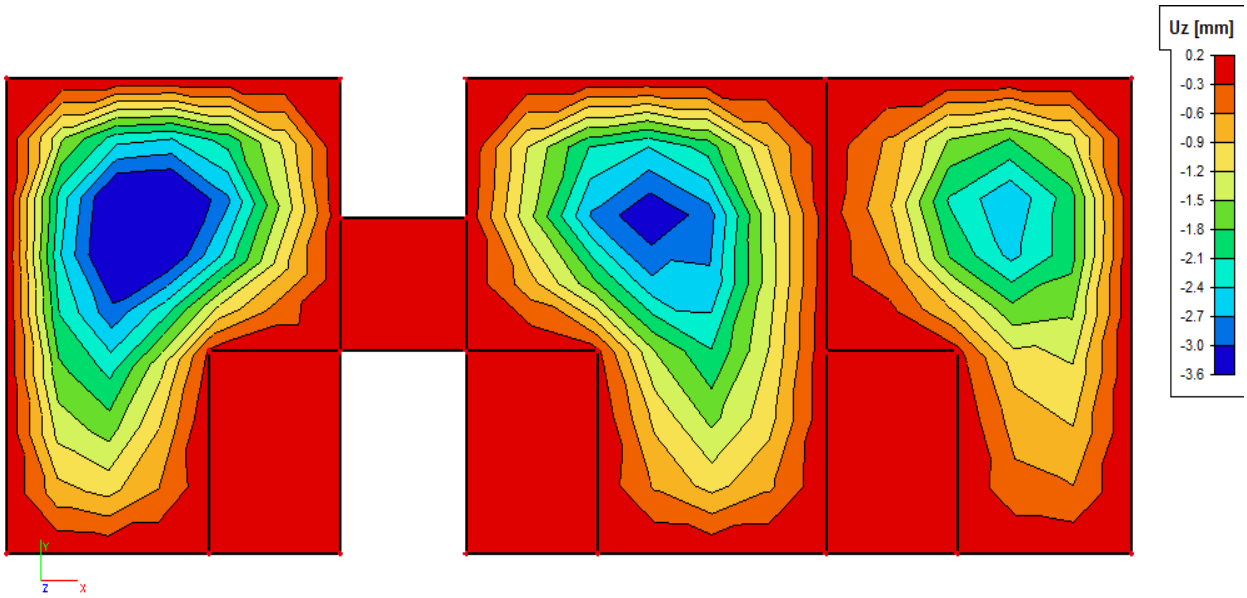
Momenti savijanja i progibi za uobičajenu kombinaciju (1,35G0+1,35G+1,5Q) za nelinearno stanje s uključenom armaturom.



Slika 85. Prikaz mx-min[kNm/m] za nelinearnu kombinaciju opterećenja



Slika 86. Prikaz my-min[kNm/m] za nelinearnu kombinaciju opterećenja



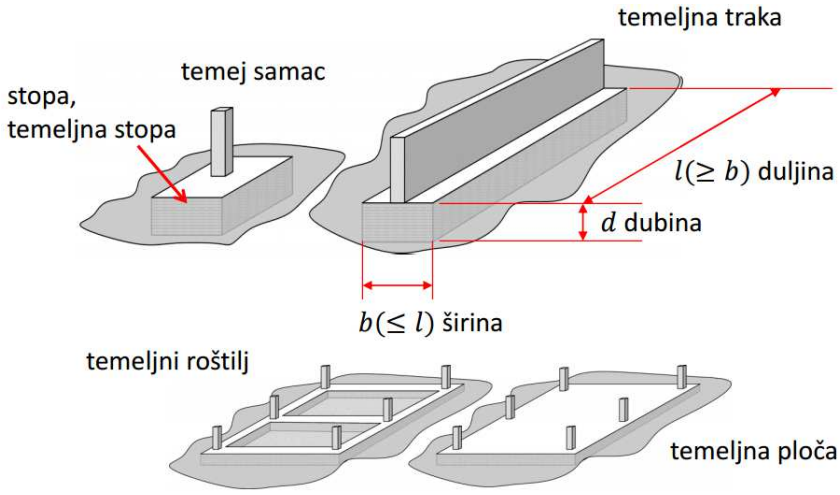
Slika 87. Prikaz progiba uz uključujući vremenske efekte puzanja za kombinaciju 1,35G0+1,35G1+1,5Q

9. TEMELJI

Temelj je dio konstrukcije koji prenosi opterećenja ostalih dijelova konstrukcije u tlo. Temelji prenose velikoplošno opterećenja zida, potpornja i stupova na podlogu a ono se sastoji od betona i armature. Najmanja debljina temelja iznosi prema EU normi 0,5 m. Dubina temeljenja mora biti veća od granice smrzavanja tla.

Temelji se mogu podijeliti u tri velike skupine: plitki, duboki i temelji s ojačanjem tla ili poboljšanjem:

- Temelji samci
- Temeljne trake, roštilji, ploče
- Piloti, piloti s pločom
- Bunari, kesoni
- Injektiranje
- Poboljšanje tla zbijanjem i predopterećenjem
- Ojačanje temelja



Slika 88. Vrste plitkih temelja

Temelj je "popustljivi ležaj" kod kojeg slijeganje ovisi o:

- opterećenju
- dimenzijama temelja
- raspodjeli naprezanja na dodirnoj površini temelj-tlo
- deformacijskim svojstvima tla

9.1. Rješenje za Winklerov prostor

Winklerov prostor samo približno opisuje deformacijske osobine temeljnog tla. Stišljivo tlo zamjenjujemo sustavom elastičnih pera, tako da je pomak točke na površini Winklerovog prostora linearno proporcionalan reaktivnom pritisku. Modul reakcije tla K je odnos između dodirnog naprezanja q kojim tlo odgovara na vanjsko opterećenje i slijeganja w, koje to isto naprezanje izazove u tlu.

$$k_s = \frac{q}{w}\left[kN/m^3 \right]$$

Nedostaci ovog modela su:

- Opterećenje skraćuje samo ona pera na kojima greda izravno leži
- Na tlo se može prenijeti kako pritisak tako i zatezanje
- Određivanje modula reakcije tla K koji ovisi o intenzitetu opterećenja, obliku i veličini opterećene plohe, krutosti grede, svojstvima materijala grede itd.

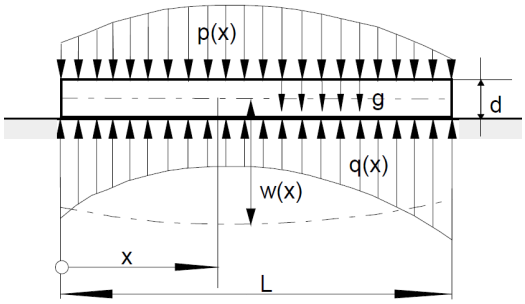
Vrijednost koeficijenta K ovisi o elastičnim svojstvima podloge i o veličini opterećene površine. Pri tom se misli na probnu ploču kojom se praktično ovaj podatak nastoji izmjeriti na terenu.

Izraz koji je predložio Vesić (1961. god.) :

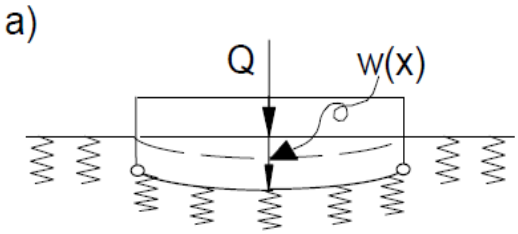
$$K = \frac{0.65}{B}\sqrt{\frac{E_s \cdot B^4}{E \cdot I}} \cdot \frac{E_s}{1-\nu^2}$$

gdje je:

- Es - modul elastičnosti tla;
- E - modul elastičnosti grede;
- I - moment inercije presjeka grede;
- n - Poissonov koeficijent tla;
- B - širina grede (temelja).



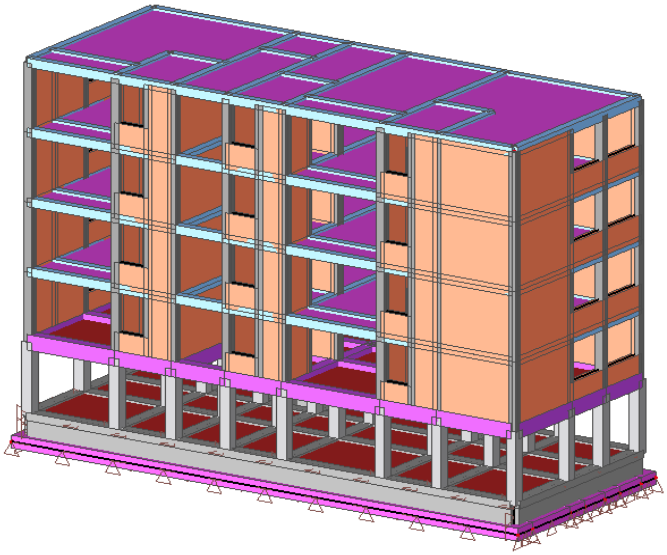
Slika 89. Temeljni nosač s opterećenjima i odgovorom podloge



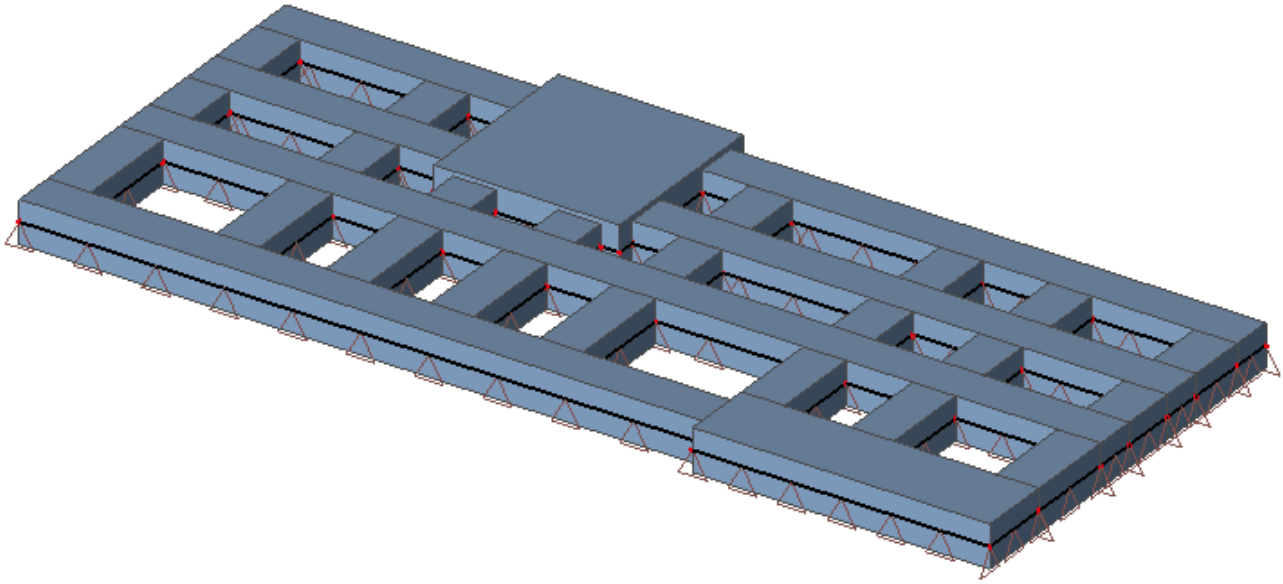
Slika 90. Winklerov model

Winklerov model se može poboljšati korištenjem "iterativnog postupka":

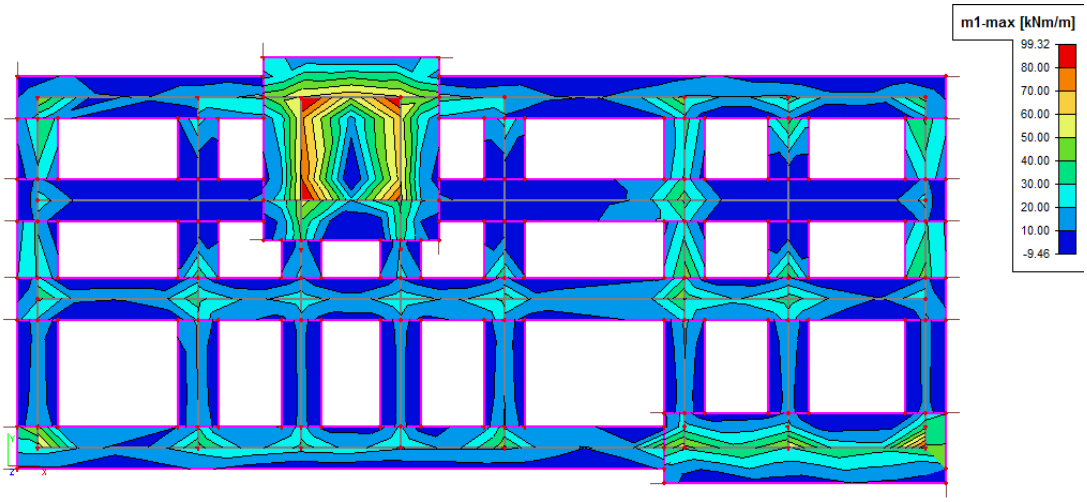
- Pretpostavi se neka raspodjela reaktivnog pritiska
- Na osnovu nje točnim metodama se izračuna slijeganje
- Pomoću ovog slijeganja odredi modul reakcije tla K koji će dati upravo tu veličinu slijeganja
- Sa dobivenim modulom reakcije tla izvrši se proračun grede koji će dati neku novu raspodjelu relativnog pritiska



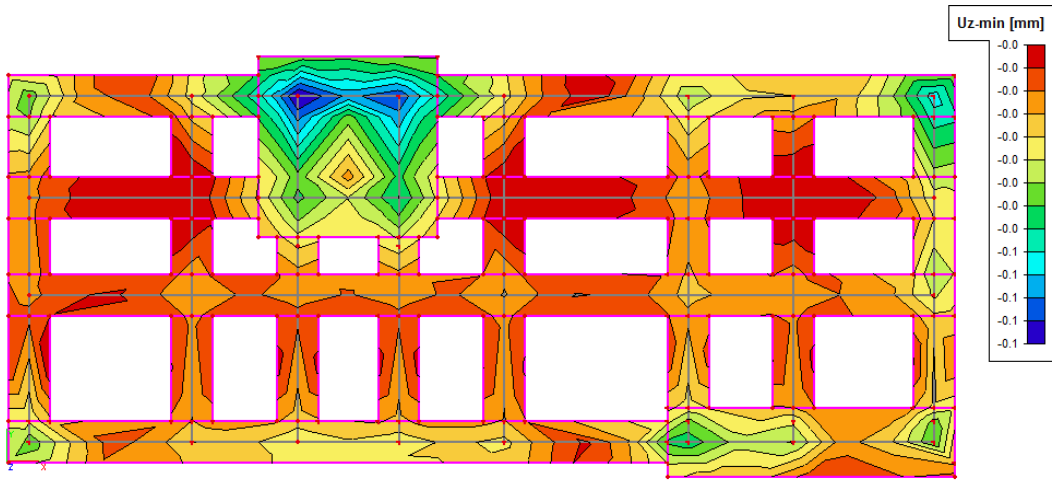
Slika 91. Prikaz modela zidane zgrade sa stupovima u prizemlju u Scia 2014



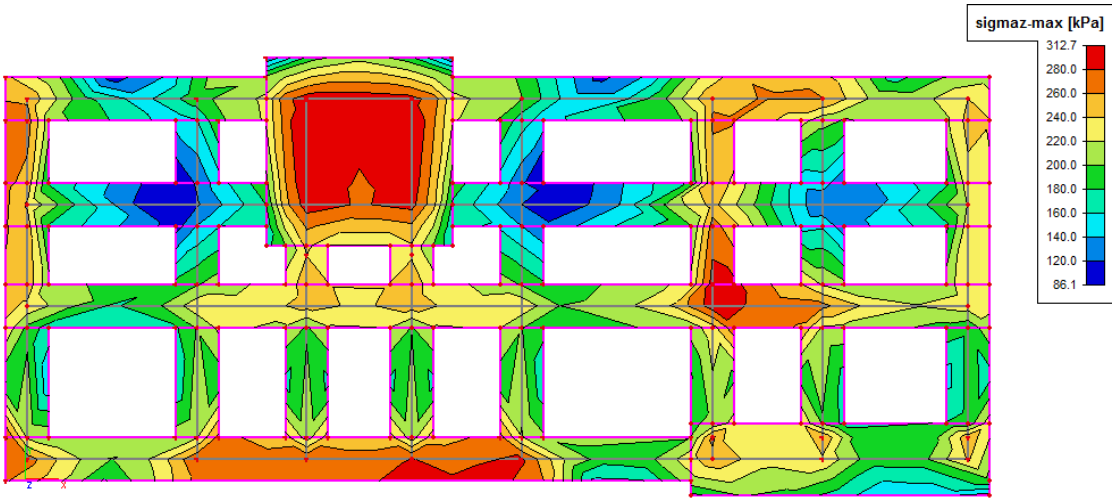
Slika 92. Prikaz modela temelja



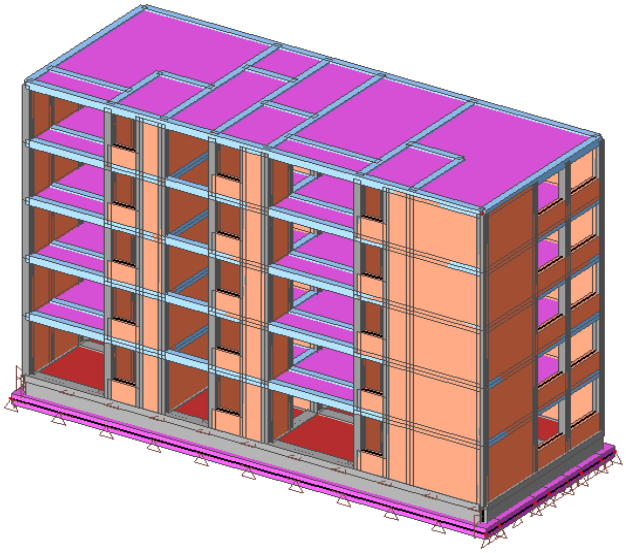
Slika 93. Prikaz momenta m1 za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kNm/m]



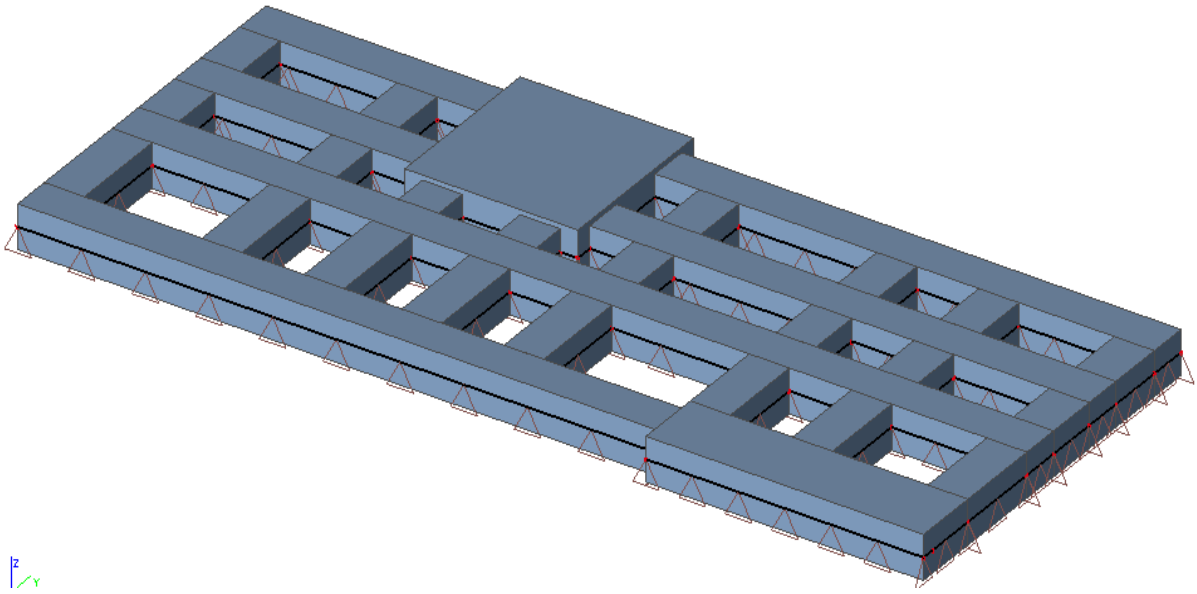
Slika 94. Prikaz progiba temelja U_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [mm]



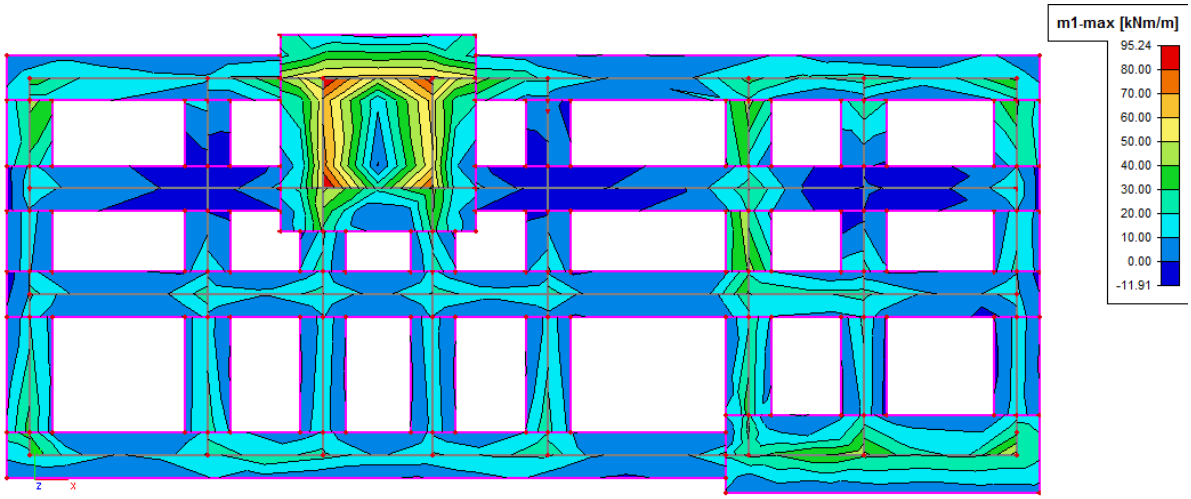
Slika 95. Prikaz kontaktnih naprezanja σ_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kPa]



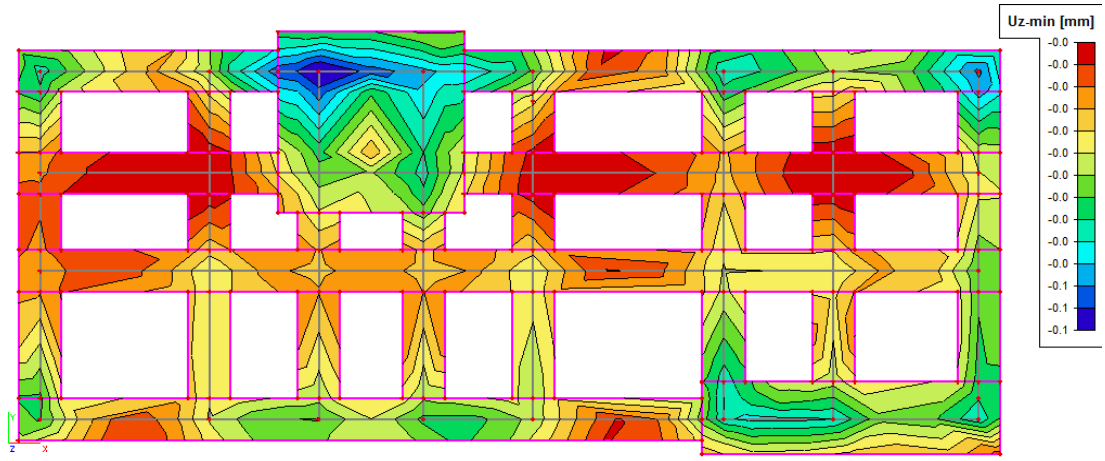
Slika 96. Prikaz modela zidane zgrade u Scii 2014



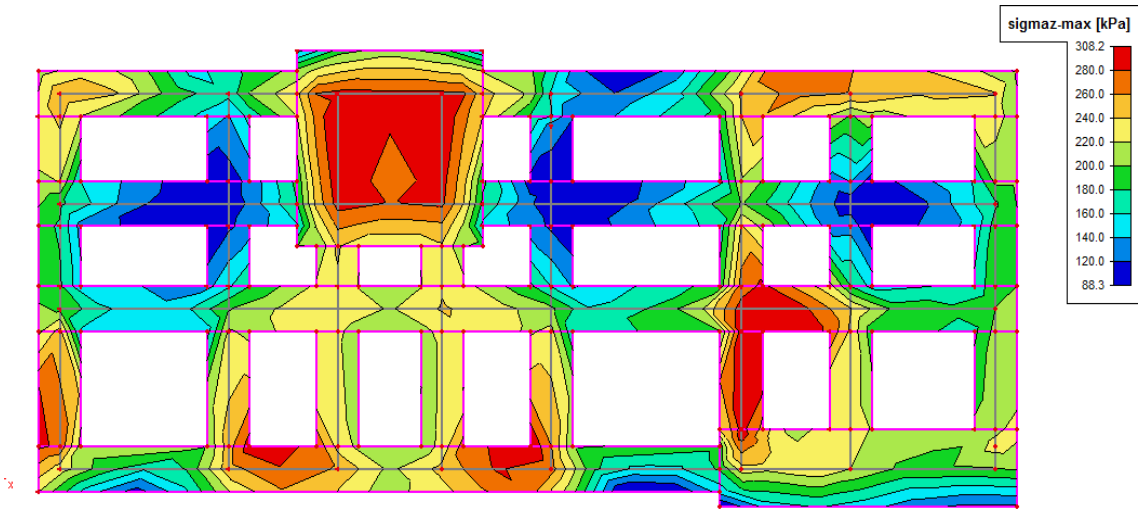
Slika 97. Prikaz modela temelja



Slika 98. Prikaz momenta m1 za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kNm/m]



Slika 99. Prikaz progiba temelja U_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [mm]



Slika 100. Prikaz kontaktnih naprezanja σ_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kPa]

10. ZAKLJUČAK

Prema pojednostavljenom proračunu zgrada je zadovoljila nosivost na vertikalna djelovanja.

U usporedbi pojednostavljenog proračuna na potres i proračuna po metodi naguravanja u programskom paketu AmQuake rezultati nosivosti po pojednostavljenom proračunu čini 70% kapaciteta nosivosti po metodi naguravanja.

Konstrukcije se u funkciji vlastitih perioda mogu podijeliti na krute koje imaju kratke vlastite periode i najvažniji im je parametar ubrzanje te fleksibilne koje imaju dugačke vlastite periode i najvažniji im je parametar pomak. Između njih se još stavljaju i obične koje imaju kratke vlastite periode i najvažniji im je parametar brzina. Granice između tri tipa konstrukcija nisu fiksne već ovise o karakteristikama kretanja tla. Krutost određuje vlastite periode konstrukcije, a o njihovom odnosu s predominantnim periodima potresa ovisi dinamička amplifikacija opterećenja na konstrukciju. Krutost zgrada bitno se mijenja tijekom potresa. Pojavom oštećenja krutost se smanjuje, a time se povećavaju vlastiti periodi.Kod duktilnih konstrukcija stoga se javlja veća redukcija sila od potresa za razliku od pretežno elastičnih konstrukcija sa punim inercijalnim silama. Na primjeru i rezultatima proračuna konstrukcije sa fleksibilnim prizemljem i zidanim prizemljem može se vidjeti da konstrukcija s fleksibilnim prizemljem ima veći period što znači time i manju potresnu silu.

Međukatna konstrukcija (AB ploča) proračunata je u softveru Scia Engineer 2014 za različite kombinacije opterećenja. Prvo su prikazani momenti i progibi za linearno stanje naprezanja. Zatim je proveden proračun koji uključuje materijalnu nelinearnost i puzanje. Za sve kombinacije opterećenja i sve oblike analiza progibi su bili manji od dopuštenih.

Temeljne trake su modelirane kao ploča na elastičnoj podlozi u softveru Scia Engineer 2014. Za širinu od 90 cm kontaktna naprezanja između temelja i tla za uobičajenu kombinaciju su uglavnom manja od dopuštenih osim na pojedinim mjestima pa je stoga tu širina trake postavljena na 150cm.

11. PRILOZI

Prilog 1: Tlocrt karakteristične etaže, M 1:100

Prilog 2: Presjek 1-1, M 1:100

Prilog 3: Tlocrt fleksibilnog prizemlja, M 1:100

Prilog 4: Tlocrt temelja, M 1:100

Prilog 5: Zapadno pročelje zgrade, M 1:100

Prilog 6: Istočno pročelje zgrade, M 1:100

Prilog 7: Sjeverno i južno pročelje zgrade, M 1:100

Prilog 8: Detalj spoja horizontalnog i vertikalnog serklaža, M 1:10

Prilog 8: Detalj armiranja temelja i okvira fleksibilnog prizemlja, M 1:25

12. SLIKE

Slika 2. Troosno stanje naprezanja zidnih elemenata i morta u prizmi 8

Slika 3. Način ispitivanja tlačne čvrstoće ziđa 10

Slika 4. Pojednostavljeni prikaz načina ispitivanja posmičnih naprezanja na uzorku 12

Slika 5. Način ispitivanja posmične čvrstoće ziđa na izvedenom zidu 12

Slika 6. Dijagram karakteristična posmična čvrstoća-tlačno naprezanje 13

Slika 7. Dva slučaja savojne čvrstoće ziđa f_{xk1} i f_{xk2} 14

Slika 8. Ispitivanje vlačne čvrstoće ziđa 16

Slika 9. Dijagram naprezanja – relativna deformacija 16

Slika 10. Računski dijagram naprezanja – relativna deformacija 17

Slika 11. Prikaz modela 5-ero etažne zidane zgrade u Scii 2014 18

Slika 12. Prikaz modela zidane zgrade sa stupovima u prizemlju u Scii 2014 18

Slika 13. Radni dijagram betona 20

Slika 14. Radni dijagram čelika za armiranje 20

Slika 15. Shema vertikalnog opterećenja zida za pojednostavljeni proračun 27

Slika 16. vršna ubrzanja po potresnim zonama na seizmičkoj karti hrvatske 29

Slika 17. Veza spektralnog ubrzanja i perioda 30

Slika 18. Raspodjela potresnih sila 34

Slika 19. Jednostupnjevni model - jednostupnjevni sustav 38

Slika 20. Višestupnjevi model - višestupnjevni sustav 38

Slika 21. Određivanje sprektralnog ubrzanja na osnovi poznatog vlastitog perioda 39

Slika 22. Shematski prikaz određivanja spektralnog pomaka 40

Slika 23. Različiti periodi predstavljeni pravcima 41

Slika 24. Shematski prikaz transformacije višestupnjevnog sustava u ekvivalentni jednostupnjevni 42

Slika 25. Prikaz višestupnjevnog sustava sa poprečnom baznom silom 43

Slika 26. Određivanje idealno elasto - plastičnog dijagrama 43

Slika 27. Prikaz početne krutosti idealiziranog jednostupnjevnog sustava 44

Slika 28. Grafički prikaz određivanja ciljanog pomaka za područje malih perioda 45

Slika 29. Grafički prikaz određivanja ciljanog pomaka za područje srednjih i velikih perioda 46

Slika 30. Usporedba krivulje kapaciteta nosivosti sa zahtjevima potresa 46

Slika 31. Prikaz proračunskog modela zgrade 47

Slika 32. Generirana mreža konačnih elemenata 47

Slika 33. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za jednoliko opterećenje, smjer X 48

Slika 34. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer X 48

Slika 35. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za jednoliko opterećenje, smjer Y 49

Slika 36. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer Y 49

Slika 37. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za trokutasto opterećenje, smjer X 50

Slika 38. Rezultati proračuna, trokutasto opterećenje, smjer X 50

Slika 39. Prikaz dijagrama odnosa sile i pomaka za trokutasto opterećenje, smjer Y 51

Slika 40. Rezultati proračuna, trokutasto opterećenje, smjer Y 51

Slika 41. Prikaz modela zidane zgrade sa stupovima u prizemlju u Scia 2014 52

Slika 42. Prvi vlastiti vektor modela 1 u programskom paketu Scia 2014 53

Slika 43. Drugi vlastiti vektor modela 1 u programskom paketu Scia 2014..... 54

Slika 44. Treći vlastiti vektor modela 1 u programskom paketu Scia 2014..... 54

Slika 45. Crtež maksimalna glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres x 1,0G+0,3Q1+1,0Sx 55

Slika 46. Crtež maksimalna glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres y 1,0G+0,3Q1+1,0Sy 55

Slika 47. Tlačno normalno naprezanje u betonskim stupovima za nazovistalnu kombinaciju GSU1 1,0G+0,5Q..... 56

Slika 48. 3D prikaz tlačnih naprezanja u stupovima za nazovistalnu kombinaciju GSU1 1,0G+0,5Q..... 56

Slika 49. Tlačno normalno naprezanje u betonskim stupovima za kombinaciju potres x 1,0G+0,3Q+1,0Sx 57

Slika 50. 3D prikaz tlačnih naprezanja u stupovima za kombinaciju potres x..... 57

1,0G+0,3Q+1,0Sx 57

Slika 51. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q M_y..... 58

Slika 52. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q V_z..... 58

Slika 53. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q N..... 59

Slika 54. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx M_y 59

Slika 55. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx V_z 60

Slika 56. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sy N 60

Slika 57. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sy pomak uy 61

Slika 58 . Tlačno naprezanje za nazovistalnu kombinaciju 1,0G+0,5Q 61

Slika 59. Uobičajena kombinacija 1,35G + 1,50Q M_y..... 62

Slika 60. Uobičajena kombinacija 1,35G + 1,50Q V_z..... 62

Slika 61. Uobičajena kombinacija 1,35G+1,5Q N..... 63

Slika 62. G.S.U kombinacija 1,0G+1,0Q pomak uz 63

Slika 63. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx M_y 64

Slika 64. Potres u smjeru x 1,0G+0,3Q+1,0Sx V_z 64

Slika 65. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sx N 65

Slika 66. Potres u smjeru y 1,0G+0,3Q+1,0Sy progib uz 65

Slika 67. Crtež poprečnog presjeka armiranog stupa 68

Slika 68. Prikaz modela zidane zgrade u Scia 2014 72

Slika 69. Crtež glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres x 1,0G0+1,0G+1,0Sx 72

Slika 70. Crtež glavna tlačna naprezanja u zidovima za kombinaciju potres y 1,0G+0,3Q1+1,0Sy 73

Slika 71. Prikaz dodatnog stalnog opterećenja G1 na ploču u računalnom softveru 75

Slika 72. Prikaz promjenjivog opterećenja Q1 na ploču u računalnom softveru 75

Slika 73. Prikaz promjenjivog šahovskog opterećenja Q2 po cijeloj etaži u računalnom softveru 76

Slika 74. Prikaz promjenjivog šahovskog opterećenja Q3 po cijeloj etaži u računalnom softveru 76

Slika 75. Prikaz mx-min[kNm/m] za linearnu kombinaciju opterećenja 77

Slika 76. Prikaz my-min[kNm/m] za linearnu kombinaciju opterećenja 77

Slika 77. Prikaz pomaka U_z[mm] ploče za linearnu kombinaciju opterećenja 78

Slika 78. Prikaz reakcija R_z[kN] ploče za linearnu kombinaciju opterećenja 78

Slika 79. Prikaz x armature ploče[cm^2/m`] za linearnu kombinaciju opterećenja 79

Slika 80. Prikaz y armature ploče[cm^2/m`] za linearnu kombinaciju opterećenja 79

Slika 81. Radni dijagram betona 80

Slika 82. Veza naprezanje-deformacija za betonski čelik (armaturu) 80

Slika 83. Armatura donje zone 80

Slika 84. Armatura donje zone 81

Slika 85. Prikaz mx-min[kNm/m] za nelinearnu kombinaciju opterećenja 81

Slika 86. Prikaz my-min[kNm/m] za nelinearnu kombinaciju opterećenja 81

Slika 87. Prikaz progiba uz uključujući vremenske efekte puzanja za kombinaciju 1,35G0+1,35G1+1,5Q 82

Slika 88. Vrste plitkih temelja 83

Slika 89. Temeljni nosač s opterećenjima i odgovorom podloge 85

Slika 90. Winklerov model 85

Slika 91. Prikaz modela zidane zgrade sa stupovima u prizemlju u Scia 2014 86

Slika 92. Prikaz modela temelja 86

Slika 93. Prikaz momenta m1 za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kNm/m] 87

Slika 94. Prikaz progiba temelja U_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [mm] 87

Slika 95. Prikaz kontaktnih naprezanja σ_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kPa] 87

Slika 96. Prikaz modela zidane zgrade u Scii 2014 88

Slika 97. Prikaz modela temelja 88

Slika 98. Prikaz momenta m1 za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kNm/m] 89

Slika 99. Prikaz progiba temelja U_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [mm] 89

Slika 100. Prikaz kontaktnih naprezanja σ_z za kombinaciju G.S.N 1,35G+1,5Q [kPa] 89

13. TABLICE

Tablica 1. Zahtjevi koje grupe zidnih elemenata moraju zadovoljiti 3

Tablica 2. Izjava o svojstvima za opeku POROTHERM 30 PROFI 4

Tablica 3. Vrijednosti faktora oblika δ 5

Tablica 4. Volumni sastav morta 6

Slika 1. Primjeri omeđenog ziđa 8

Tablica 5. Vrijednosti početne posmične čvrstoće ziđa 14

Tablica 6. f_{xk1} ravnina sloma paralelna s horizontalnim sljubnicama 15

Tablica 7. f_{xk2} ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice 15

Tablica 8. Karakteristike betona 19

Tablica 9. Razredi prostorija 23

Tablica 10. Uporabna opterećenja u zgradama 24

Tablica 11. Uporabna opterećenja u zgradama 24

Tablica 12. Omjeri površine zidova i katova 25

Tablica 13. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja, smjer X 27

Tablica 14. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalna djelovanja, smjer Y 28

Tablica 15. Proračun sila od potresa, smjer X 35

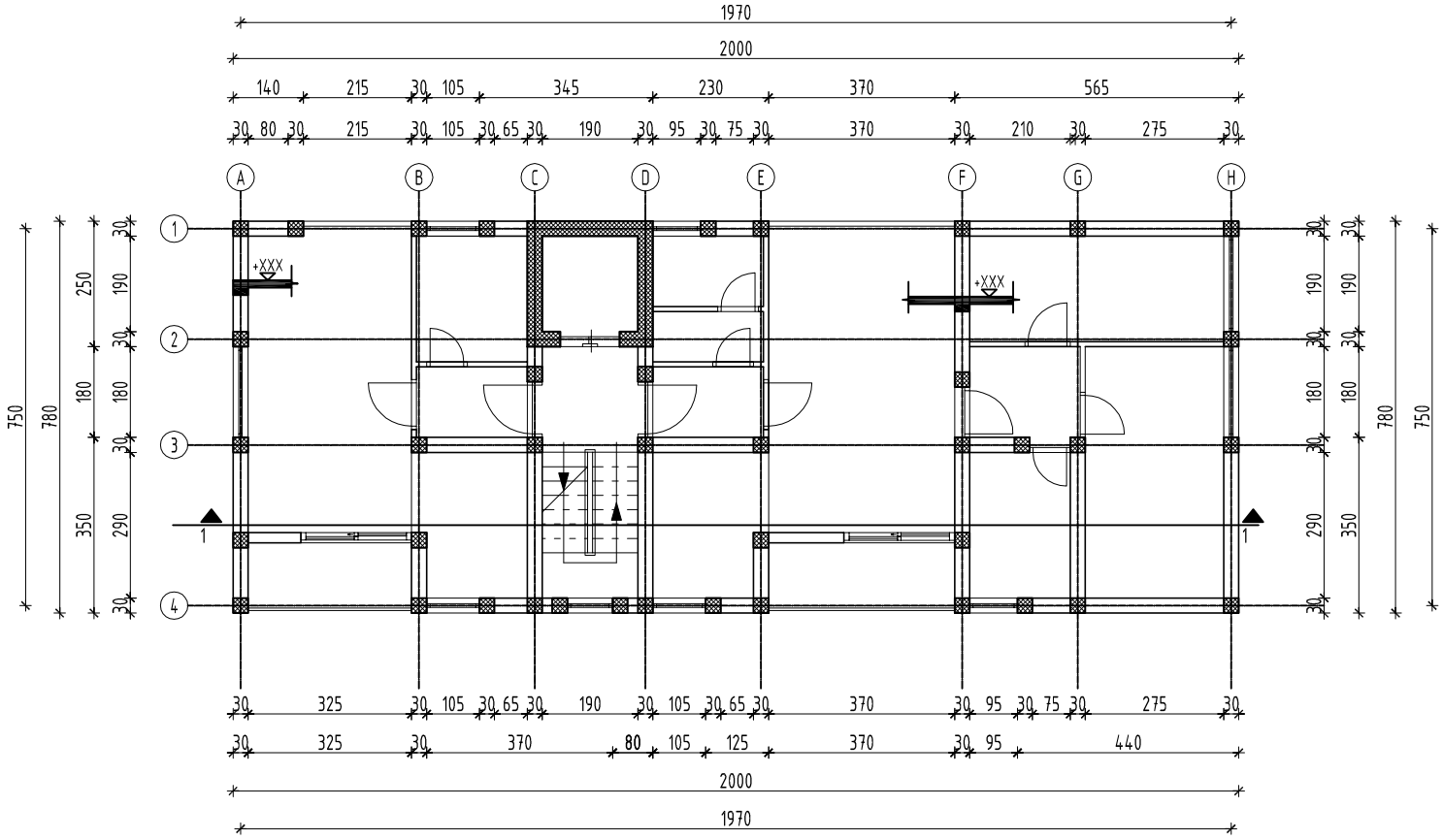
Tablica 16. Proračun sila od potresa, smjer Y 36

Tablica 17. Prikaz vrijednosti prvih 30 vlastitih vektora 53

Tablica 18. Prikaz vrijednosti prvih 30 vlastitih vektora 73

14. LITERATURA

1. Europska norma EN 1998, CEN, Brussels, Belgium, 2004.
2. Europska norma EN 1996, CEN, Brussels, Belgium, 2004.
3. Europska norma EN 1992, CEN, Brussels, Belgium, 2004.
4. Sorić Z.,Mehanička svojstva nearmiranog ziđa (članak), Građevinar, 2000.
5. Mihanović A., Dinamika konstrukcija, udžbenici Sveučilišta u Splitu, Split, 1995.
6. Trogrlić B., Potresna otpornost omeđenog ziđa – pushover metoda (zapisi s predavanja), Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2013
7. Trogrlić B., Zidane konstrukcije (zapisi s predavanja), Split, FGAG, Split, 2010.
8. Herak Marović V.,AB stupovi (zapisi s predavanja), Split, FGAG, Split, 2008/09.
9. Herak Marović V.,AB grede (zapisi s predavanja), Split, FGAG, Split, 2008/09.
10. http://www.wienerberger.hr/zidni-sistem/porotherm
11. Mišćević P., Geotehničko inženjerstvo (zapisi s predavanja), FGAG, Split 2013.



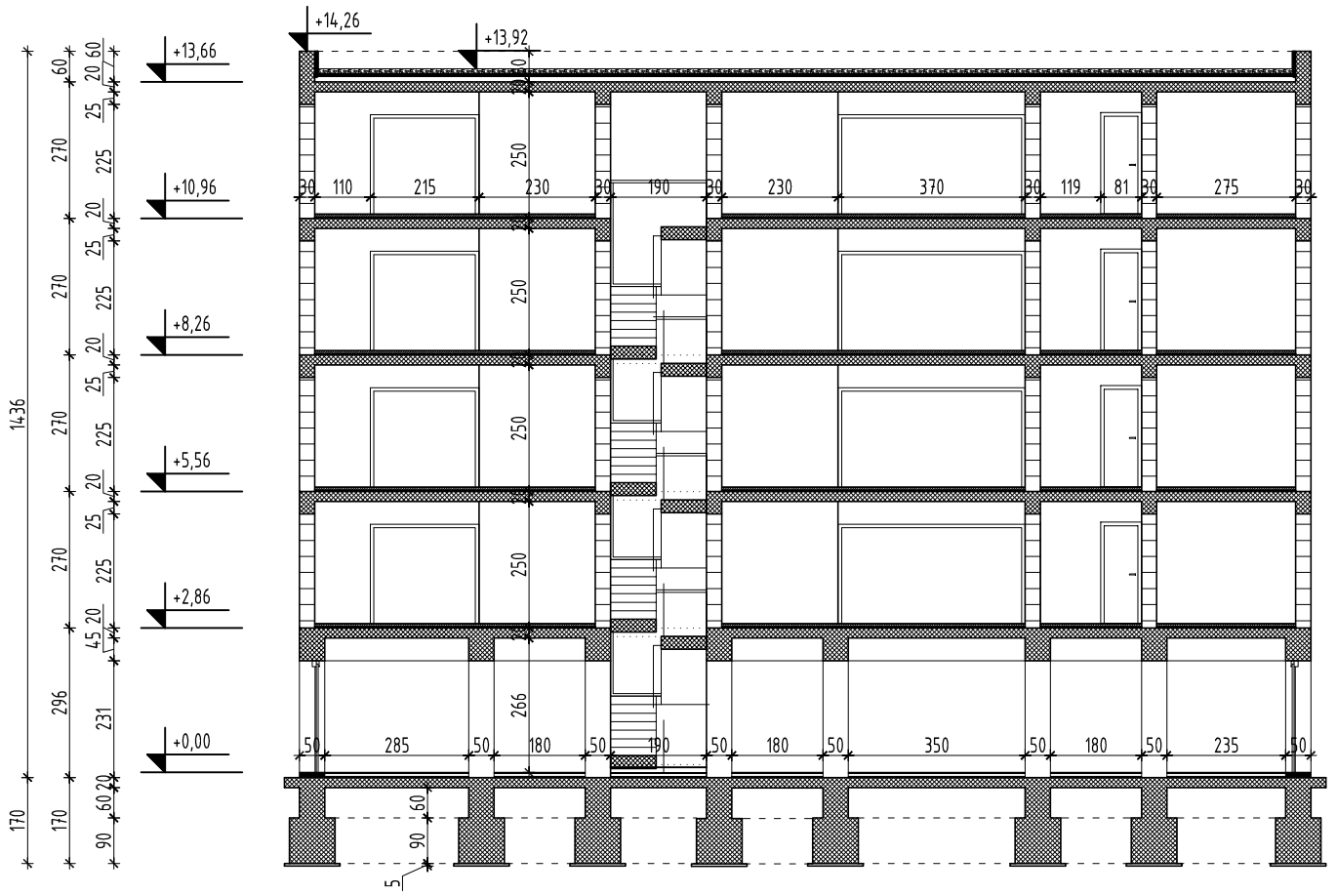
SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD	
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ	mjerilo: M 1:100
sadržaj:	TLOCRT TIPIČE ETAŽE	datum: 2015. list:

PRESJEK 1-1

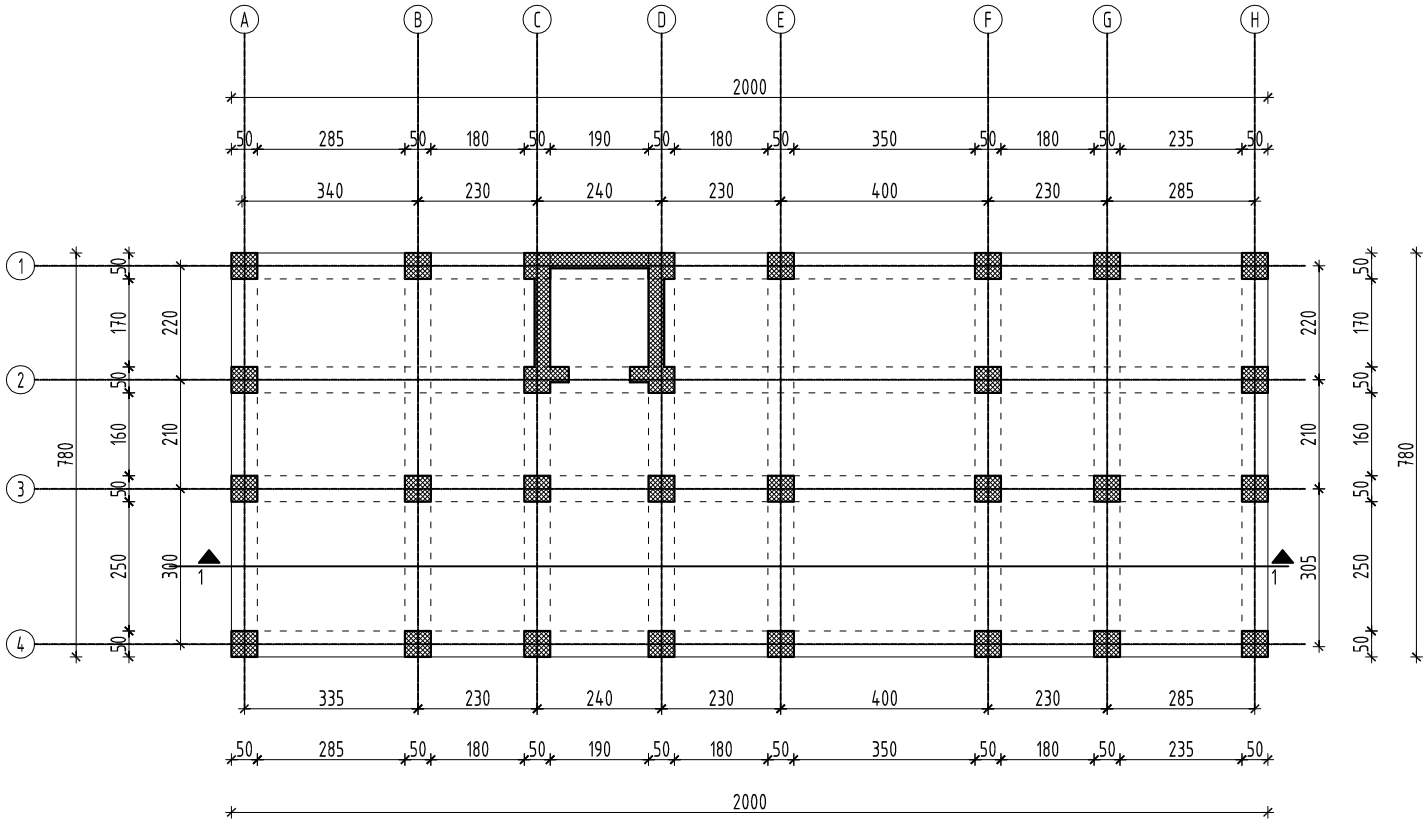


SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD	
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ	mjerilo: M 1:100
sadržaj:	PRESJEK 1-1	datum: 2015. list:

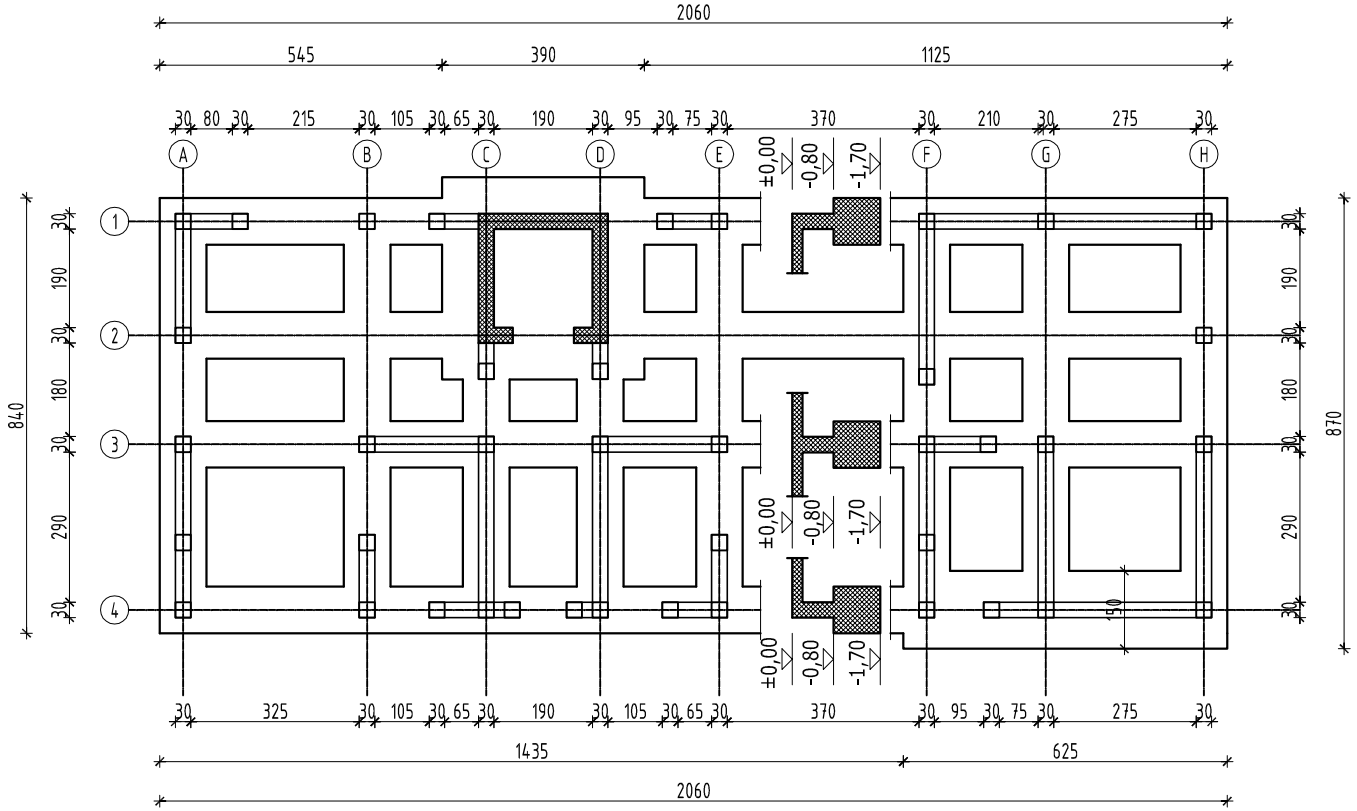


SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD		
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ		mjerilo: M 1:100
sadržaj:	TLOCRT FLEKSIBILNOG PRIZEMLJA	datum: 2015.	list:



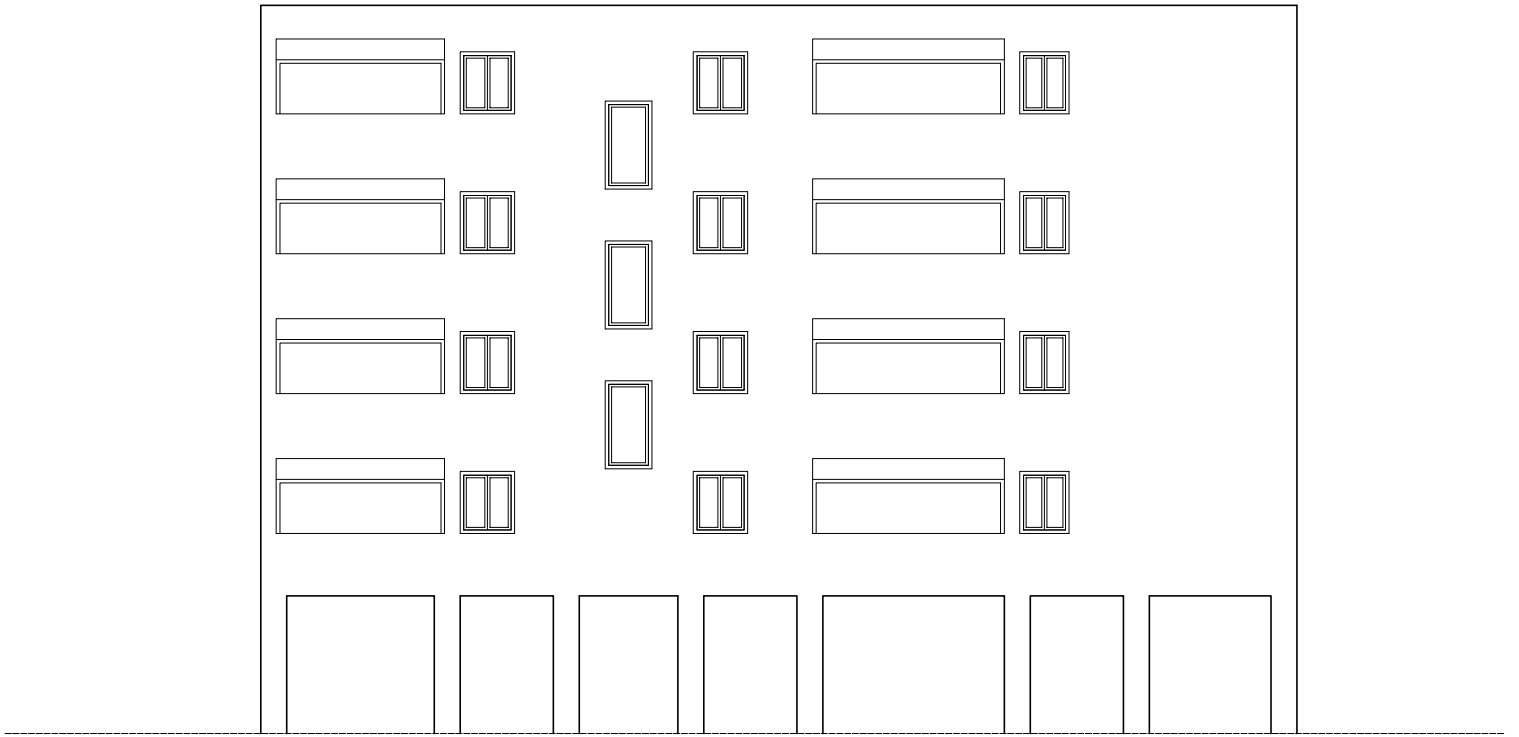
SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD	
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ	mjerilo: M 1:100
sadržaj:	TLOCRT TEMELJA	datum: 2015. list:

ZAPADNO PROČELJE



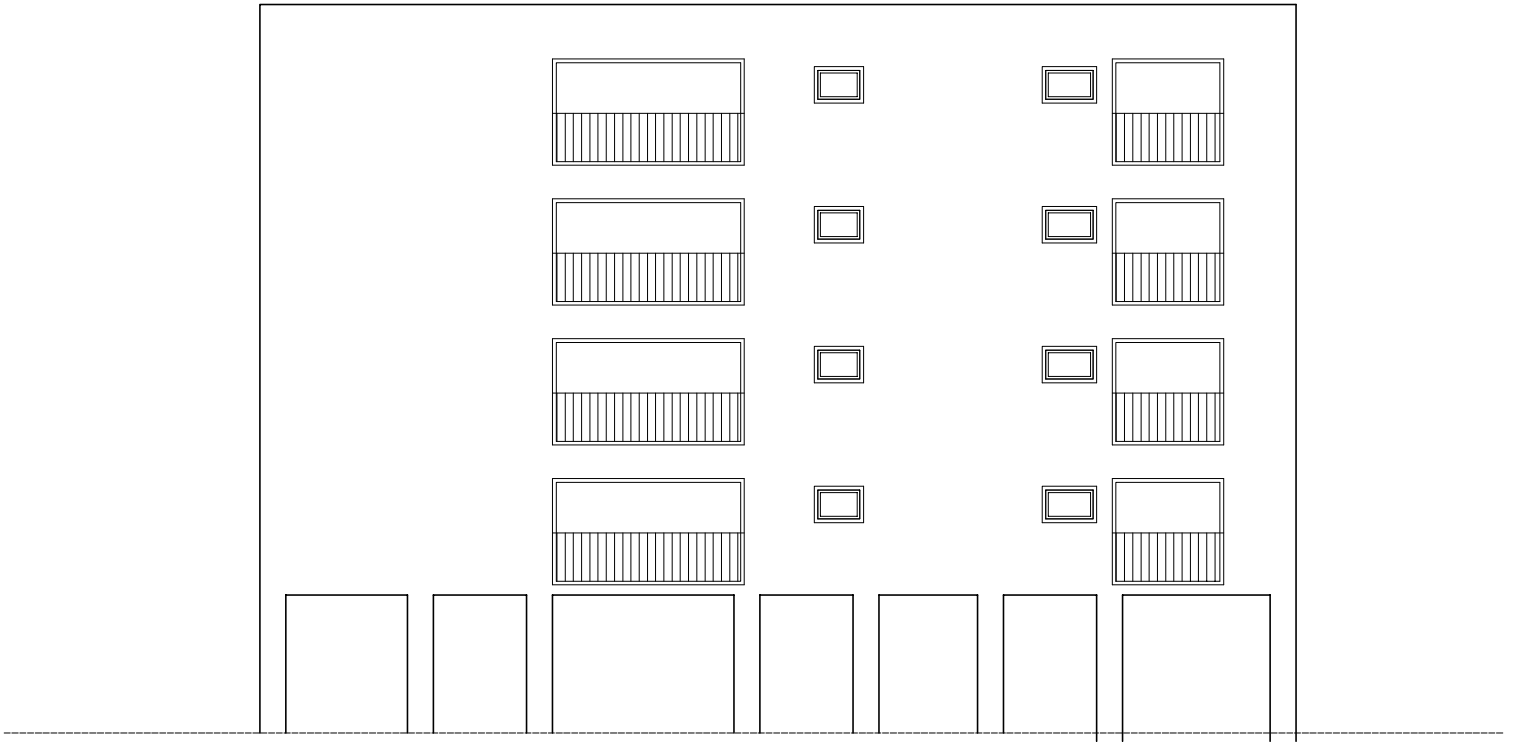
SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD		
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ		mjerilo: M 1:100
sadržaj:	ZAPADNO PROČELJE	datum: 2015.	list:

ISTOČNO PROČELJE



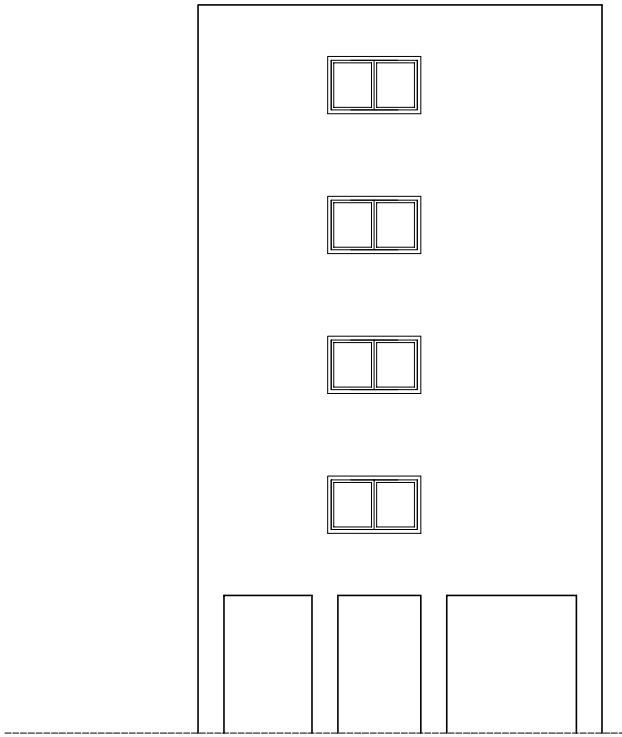
SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

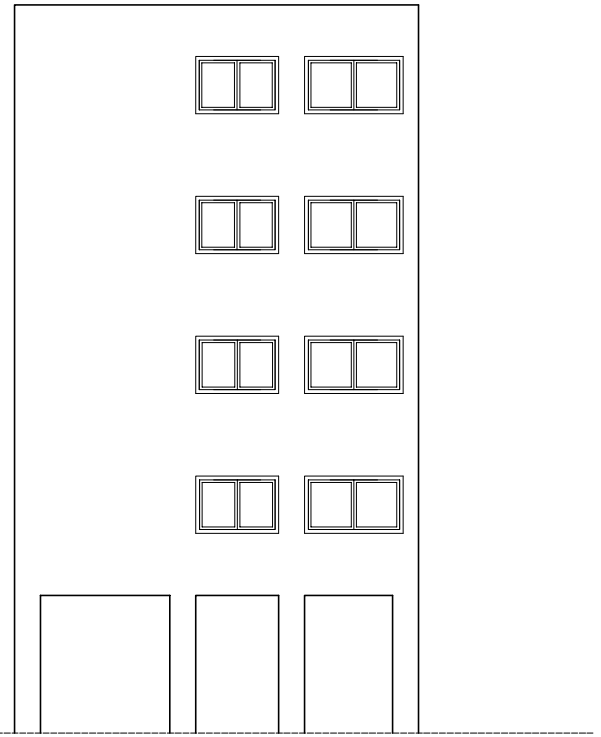
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD	
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ	mjerilo: M 1:100
sadržaj:	ISTOČNO PROČELJE	datum: 2015. list:

SJEVERNO PROČELJE



JUŽNO PROČELJE



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

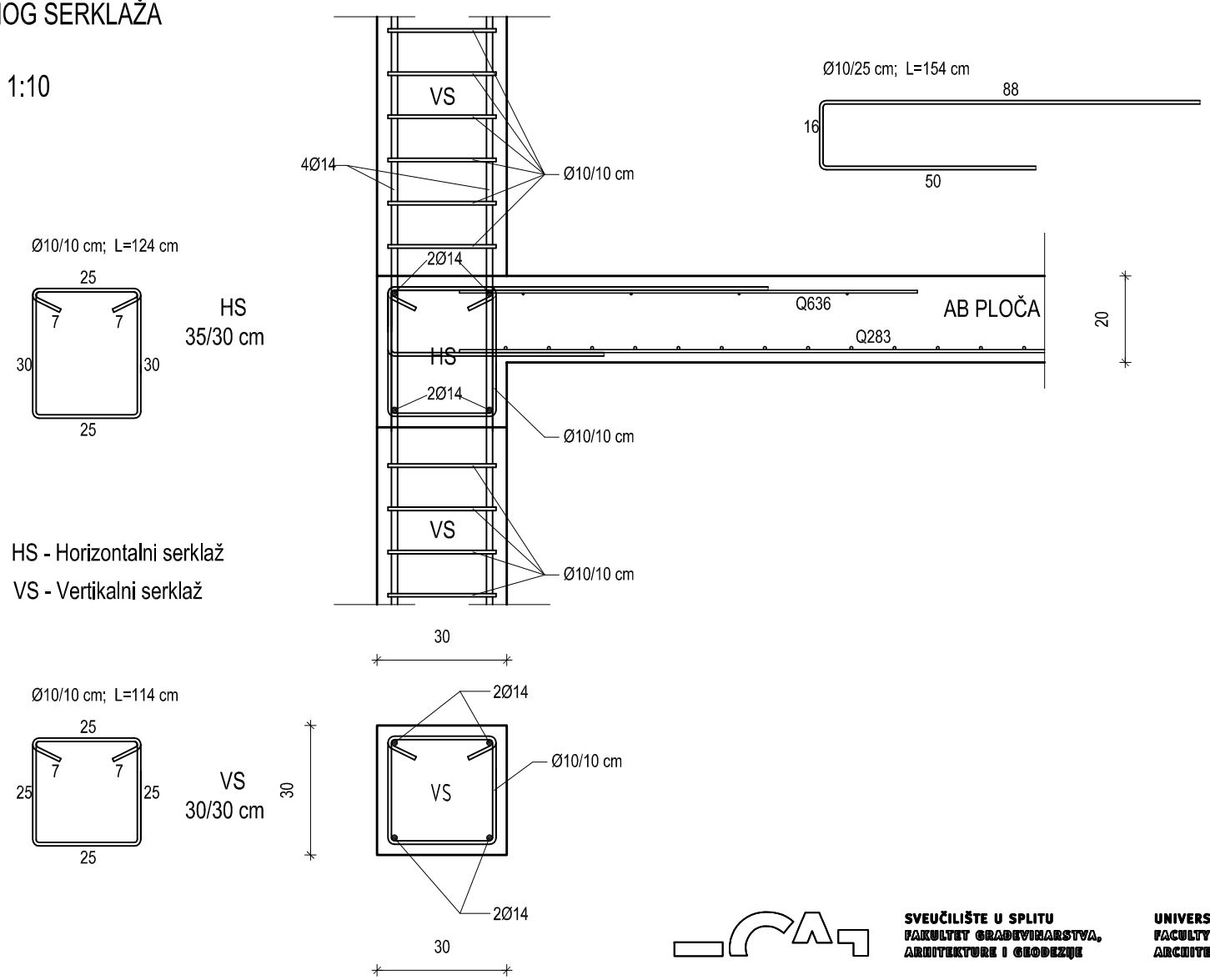
UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD		
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ		mjerilo: M 1:100
sadržaj:	SJEVERNO I JUŽNO PROČELJE	datum: 2015.	list:

DETALJI SPOJA HORIZONTALNOG I VERTIKALNOG SERKLAŽA

M 1:10



HS - Horizontalni serklaž

VS - Vertikalni serklaž

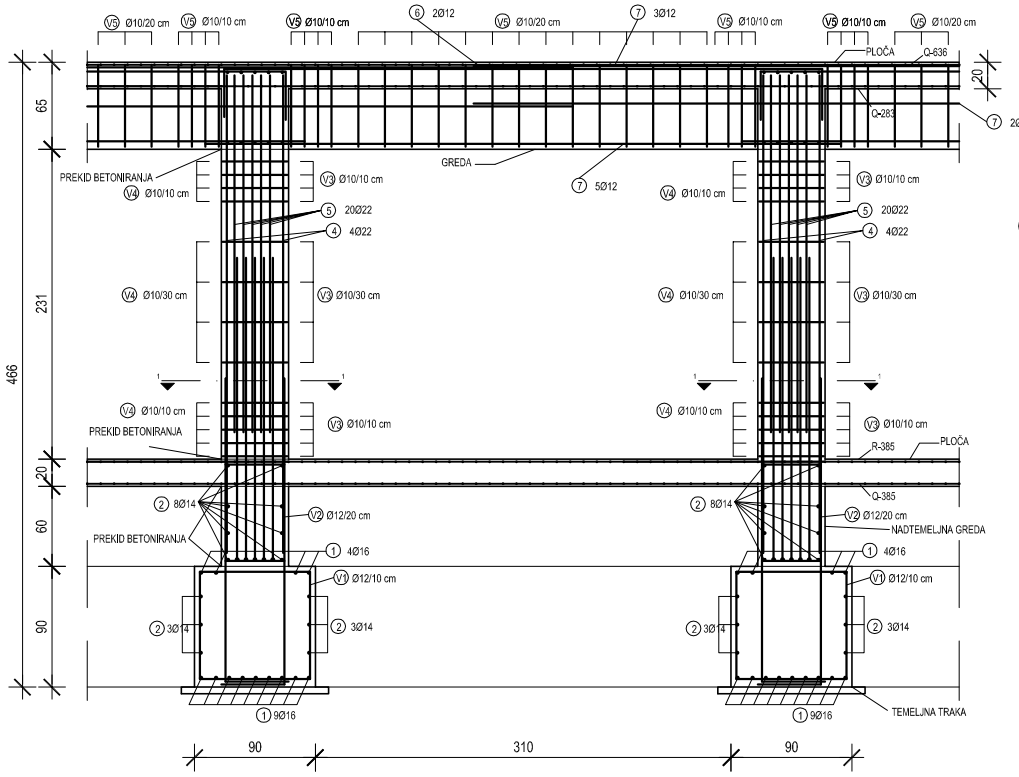
SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

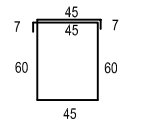
DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD		
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ		mjerilo: M 1:10
sadržaj:	ARMATURA SERKLAŽA	datum: 2015.	list:

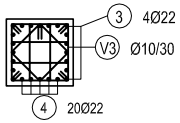
ARMATURA TEMELJA U SPOJU SA STUPOM I GREDOM
M 1:25



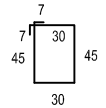
V5 Ø10/30 cm; L=269 cm m=2



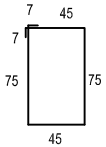
PRESJEK 1-1



V3 Ø10/30 cm; L=164 cm m=4



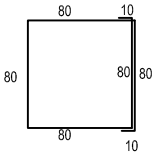
V2 Ø12/20 cm L=254 cm



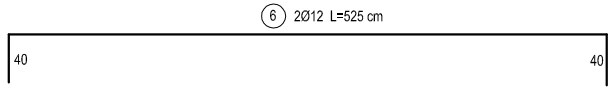
V4 Ø10/30 cm; L=148 cm



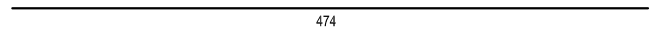
V1 Ø12/20 cm L=420 cm

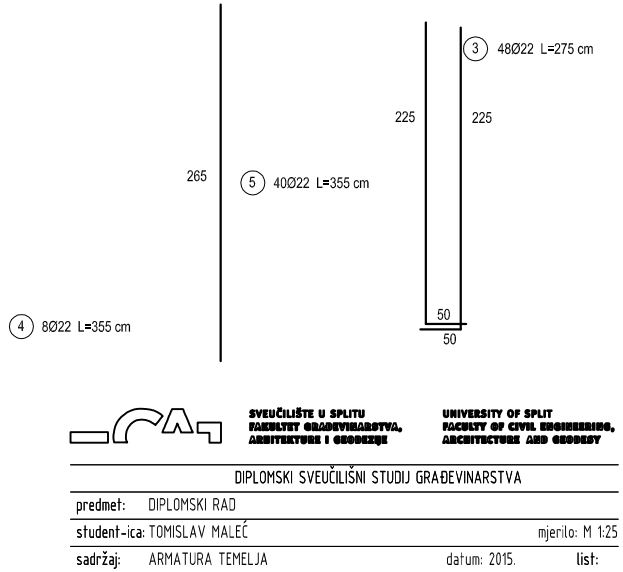


6 2Ø12 L=525 cm



4 25Ø12 L=474 cm





SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

UNIVERSITY OF SPLIT
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE AND GEODESY

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA

predmet:	DIPLOMSKI RAD		
student-ica:	TOMISLAV MALEĆ		mjerilo: M 1:25
sadržaj:	ARMATURA TEMELJA	datum: 2015.	list: