Proračun stambene zgrade od porobetona

Popović, Kristina

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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:123:234767

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**

Repository / Repozitorij:

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

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Kristina Popović

Split, 2017.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Kristina Popović

Proračun stambene zgrade od porobetona

Diplomski rad

Split, 2017.

Zahvaljujem se mentoru Prof. dr. sc. Borisu Trogrliću
na pomoći pri izradi ovog rada i ugodnoj suradnji.
Posebna zahvala cijeloj obitelji koja mi je
bila potpora cijelo moje školovanje.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ:	**DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	**Kristina Popović**
BROJ INDEKSA:	**591**
KATEDRA:	**Katedra za teoriju konstrukcija**
PREDMET:	**Zidane konstrukcije**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Proračun stambene zgrade od porobetona

Opis zadatka: Izraditi projekt zidane šesterokatnice od porobetona. U radu:
- opisati koncept nosive konstrukcije,
- osnovna djelovanja i njihove kombinacije, vrstu i svojstva gradiva,
- podatke o tlu i načinu temeljenja,
- proračunati sve konstruktivne elemente te naprezanja u tlu,
- izraditi građevinske nacrte (temelji, tlocrti, presjeci, pročelja).

Zadano:
- Tlocrt tipične etaže,
- Porobeton, normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa $f_b = 4{,}40$ N/mm^2,
- Razred betona ovisno o konstruktivnom elementu, armatura B500B,
- Područje izgradnje objekta Split,
- Računska nosivost tla $\sigma_{Rd} = 450{,}0$ kPa.

Proračun provesti u skladu s tehničkim propisima i normama.

U Splitu,10.03.2017.

Voditelj Diplomskog rada:

Prof. dr. sc. Boris Trogrlić

Predsjednik Povjerenstva
za završne i diplomske ispite:
Doc. dr. sc. Veljko Srzić

Proračun zidane zgrade od porobetona

Sažetak:

U radu je prikazan proračun stambene zgrade s konstruktivnim sustavom od armirano-betonskih elemenata i zidanih zidova. Potresna otpornost konstrukcije određena je pojednostavljenim proračunom prema pravilima za jednostavne zidane zgrade, metodom spektralne analize te je napravljen i nelinearni statički proračun koristeći metodu naguravanja. Proveden je i proračun ploča, temelja, greda i zidova uslijed vertikalnog djelovanja. Proračunom su dobivene rezne sile u elementima konstrukcije koji su sukladno tome armirani.

Ključne riječi:

zidane zgrade, potresna otpornost

Calculation of a residential building with aerated concrete masonry walls

Abstract:

This paper presents calculation of a building with structural system of reinforced concrete elements and masonry walls. Seismic resistance of the construction is determined by the simplified calculation, according to the rules for simple masonry buildings, by spectral analysis method and by the nonlinear static calculation,which is carried out using the pushover method . The calculation of the plates, foundations, beams and walls is made due to vertical load. Internal forces in the construction elements were calculated, and accordingly reinforced.

Keywords:

Masonry building, seismic resistance

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. OPĆENITO O ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA 2
2.1 OPĆENITO 2
2.2 VRSTE ZIDNIH ELEMENATA 2
2.3 SVOJSTVA ZIDNIH ELEMENATA 5
2.3.1 Tlačna čvrstoća zidnih elemenata 5
2.4 MORT 6
2.5 VRSTE ZIĐA 8
2.5.1 Omeđeno ziđe 8
2.6 MEHANIČKA SVOJSTVA ZIĐA 9
2.6.1 Tlačna čvrstoća ziđa (f_k) 9
2.6.2 Posmična čvrstoća ziđa (f_v) 12
2.6.3 Karakteristična čvrstoća ziđa na savijanje (f_{xk}) 15
2.6.4 Referentna vlačna čvrstoća ziđa (f_t) 16
2.7 Deformacijska svojstva ziđa 17
2.7.1 Modul elastičnosti E 17
2.7.2 Modul posmika G 18
3. TEHNIČKI OPIS 19
3.1 OPĆENITO 19
3.2 OPIS NOSIVE KONSTRUKCIJE 20
3.2.1 Temelji 20
3.2.2 Zidovi 20
3.2.3 Međukatna konstrukcija 21
3.2.4 Ostale konstrukcije 21
3.3 KORIŠTENI MATERIJALI 21
3.3.1 YTONG zidni elementi 21
3.3.2 Beton 21
3.3.3 Armatura 22
4. ANALIZA OPTEREĆENJA 23
4.1 OPĆENITO 23
4.2 DJELOVANJA NA KONSTRUKCIJU 24
4.2.1 Stalno djelovanje 25
4.2.2 Uporabno opterećenje (Q) 26
4.2.3 Opterećenje vjetrom (W) 26
4.2.4 Opterećenje potresom (S) 31
4.2.5 Slučajni torzijski učinci (T) 35

4.3 KOEFICJENTI SIGURNOSTI I KOMBINACIJE OPTEREĆENJA 36
4.3.1 Parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale 36
4.3.2 Kombinacije opterećenja 36
4.3.2.1 Granično stanje uporabljivosti 36
4.3.2.2 Granično stanje nosivosti 36
5. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN ZIDOVA 37
5.1 IZRAČUN UDJELA NOSIVIH ZIDOVA 38
5.2 PRORAČUN ZIDOVA NA VERTIKALNA OPTEREĆENJA 39
5.3 PRORAČUN ZIDOVA NA POTRESNA DJELOVANJA 42
Razdioba ukupne potresne sile po zidovima 45
5.4 PRIKAZ NAPREZANJA ZIDOVA 49
6. REZULTATI PRORAČUNA NA POTRES 50
6.1 PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA ZIDANU ZGRADU 51
6.2 PRORAČUN POMAKA KONSTRUKCIJE USLJED POTRESA 54
7. METODA NAGURAVANJA 55
7.1 Općenito o metodi naguravanja 55
7.2 Pretpostavke metode naguravanja iz EN 1998-1 56
7.3 Postupak provedbe Pushover analize 58
7.3.1 Proračunski model 63
7.3.2 Model 63
7.3.3 Rezultati proračuna postupnog naguravanja 64
8. PRORAČUN KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA 66
8.1 Ploče 66
8.1.1 Model 66
8.1.2 Opterećenja ploče 67
8.1.3 Prikaz rezultata 68
8.2 GREDE 73
8.2.1 Proračun potrebne armature u gredama 73
8.3 ZIDOVI 80
8.3.1 Zid u osi Iy /1-2 –PLOŠNI ELEMENT 82
8.4 TEMELJI 90
8.4.1 Općenito 90
8.4.2 Temeljenje konstrukcije na trakastim temeljima 91
8.4.3 Temeljenje konstrukcije na temeljnoj ploči 95
9. ZAKLJUČAK 99
10. PRILOZI 100
11. LITERATURA 101

1. UVOD

Zidanje, odnosno slaganje kamenih ili glinenih blokova jedan na drugi uz njihovo eventualno međusobno povezivanje mortom najstarija je građevinska tehnika koja se sačuvala sve do današnjih dana. 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.

Zidane konstrukcije su veoma rasprostranjen i korišten tip konstrukcija. Opeka je jedan od najstarijih građevnih materijala, a njena je upotreba i danas velika. Većina povijesnih građevina izvedena je zidanjem blokova od opeke ili kamena međusobno povezanih tradicionalnim spojevima. Svoju dugu tradiciju 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 armirano-betonskim konstruktivnim elementima. Suvremeni tehnički standardi uvjetovali su razvoj novih građevinskih materijala pa za razliku od tradicionalnog zida koje je kao osnovni zidni element imalo punu opeku sušenu na suncu ili pečenu, suvremene opeke izrađuju se uglavnom ošupljene sa različitim uzorkom šupljina.

Zidane građevine su veoma otporne na vertikalna opterećenja, ali ne i na horizontalna djelovanja. Osjetljivost na horizontalna djelovanja posebno dolazi do izražaja pri potresu, ponajviše zbog prisutnosti sljubnica između blokova, koje mogu, a i ne moraju biti ispunjene mortom.

Cilj ovog rada je analiza 6-etažne stambene zidane zgrade, zidane sa zidnim elementima od porobetona, na gravitacijsko i potresno djelovanje.

Nosivu konstrukciju građevine čine omeđeni zidovi s armirano-betonskim vertikalnim i horizontalnim serklažama, kao i mali postotak armiranobetonskih zidova, te međukatna armirano-betonska ploča.

Proračun je proveden na dva načina, pojednostavljeno poštujući pravila za jednostavne zidane zgrade prema EC-u te računalno u programskim paketima SCIA Engineer 15.3 i AmQuake.

2. OPĆENITO O ZIDANIM KONSTRUKCIJAMA

2.1 OPĆENITO

Zidane konstrukcije su one konstrukcije koje su izvedene iz zidnih elemenata (opeke ili blokova) povezanih vezivom (mortom) i koje su zidane na gradilištu, ili su izvedene u obliku predgotovljenih zidova u tvornici i spojene na gradilištu u konstrukcijsku cjelinu. Naizmjeničnim polaganjem zidnih elemenata (blokova) između nekog vezivnog materijala (morta, ljepila) nastaje čvrsta cjelina tj. konstrukcijski element zide.

2.2 VRSTE ZIDNIH ELEMENATA

Zidni elementi se mogu podijeliti u više skupina. Najznačajnija skupina je ona prema vrsti materijala iz kojeg su izrađeni. Prema vrsti materijala od kojih su napravljeni razlikujemo:

- **Glineni zidni blok (opeka, opečni blokovi):** nastaju pečenjem elementa oblikovanih od sirove gline na visokim temperaturama.
- **Vapneno-silikatni zidni blokovi (kalcijsko-silikatni):** proizvedeni od smjese silicijskog agregata, vapna i drugih provjerenih materijala, izrađenih pod tlakom i zaparivanjem.
- **Betonski zidni blokovi**: proizvedeni od smjese agregata normalne težine (kamena) i cementa ili drugih provjerenih materijala u čvrsti oblik pod tlakom ili vibriranjem.
- **Betonski zidni blokovi od lakog agregata:** proizvedeni od smjese lakog agregata (npr. ekspandirana šljaka visokih peći, ekspandirana glina) i veziva, izvedeni u kalupima, vibrirani.
- **Porasti betonski zidni elementi (aerirani i autoklavirani):** proizvedeni od smjese finog silicijskog agregata, cementa, vapna i dodataka za stvaranje mjehurića. Izrađuje se autokalvama i oblikuje rezanjem.
- **Kameni zidni blokovi:** izrađeni od blokova kamena klesanih ili rezanih na određene dimenzije, te od lomljenog kamena nepravilnog oblika.

Crtež 2.1. Vrste zidnih elemenata

Prema kontroli proizvodnje zidani elementi se dijele na kategorije (razrede) I. i II. Zidani elementi I. kategorije su oni za koje je proizvođač osigurao stalnu kontrolu kakvoće prema odgovarajućoj normi i koji u pošiljci imaju deklariranu tlačnu čvrstoću s 5 % fraktila. Elementi kategorije II su oni koji imaju srednju vrijednost tlačne čvrstoće jednaku deklariranoj ali dodatni zahtjevi za I. kategoriju nisu ispunjeni. Prema postotku šupljina u volumenu zidanih elemenata oni se dijele na grupu 1, 2a, 2b te grupu 3. Debljina vanjskih stijenki zidnih elemenata ne bi smjela biti manja od 15 mm. (Tablica 2.1.)

Tablica 2.1. Zahtjevi koje grupe zidnih elemenata moraju zadovoljiti

	Grupe zidnih elemenata			
	1	2a	2b	3
Obujam šupljina (% bruto obujma) (vidi napomenu 1)	≤ 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 (vidi napomenu 2)	≤ 70
Obujam bilo koje šupljine (% bruto obujma)	≤ 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 ploštinom (vidi dolje)
Ploština bilo koje šupljine	Ograničena obujmom (vidi gore)	Ograničena obujmom (vidi gore)	Ograničena obujmom (vidi gore)	≤ 2800 mm^2, osim za zidne elemente s jednom šupljinom kad je šupljina ≤18000 mm^2
Kombinirana debljina (% ukupne širine) (vidi napomenu 3)	≥ 37,5	≥ 30	≥ 20	Nema zahtjeva

NAPOMENE
1. Šupljine mogu biti vertikalne kroz zidni element, utori ili niše.
2. Ako iskustvo na razini države, utemeljeno na ispitivanjima, potvrđuje da sigurnost zida nije neprihvatljivo smanjena kad postoji veći postotak šupljina, ograničenje 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 stjenke mjerena horizontalno na zidnom elementu pod pravim kutom na lice zida.

U ovom radu za nosive zidove odabrani su YTONG zidni elementi, koji spadaju u kategoriju I zidnih elemenata, te je zide izvedeno s tankoslojnim mortom M-10. (Tablica 2.2.).

Tablica 2.2. Izjava o svojstvima za Ytong zidne elemente

Naziv	Oznaka	Jedinica	EN 1996-1-1	Razred proizvoda					
				2,0/0,30	2,5/0,35	2,5/0,40	3,0/0,45	4,0/0,50	4,0/0,65
Obujamska masa u suhom stanju	ρ	kg/m³		300	350	400	450	500	650
Normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa u smjeru primijenjenog učinka djelovanja	f_b	N/mm²	tablica 3.6.1.2(1)	2,20 [1]	2,75 [1]	2,75 [1]	3,30 [1]	4,40 [1]	4,40 [1]
Karakteristična tlačna čvrstoća zida okomito na horizontalne sljubnice	$f_k = 0{,}80\, f_b^{0{,}85}$	N/mm²	formula (3.3) i tablica 3.3	1,56	1,89	1,89	2,21	2,82	2,82
Proračunska tlačna čvrstoća zida okomito na horizontalne sljubnice	$f_d = f_k/\gamma_M$	N/mm²	Razred kontrole izvedbe 1 γ_M=1,5 t. 2.4.3(1)P [2]	1,04	1,24	1,24	1,47	1,88	1,88
			Razred kontrole izvedbe 3 γ_M=2,0 t. 2.4.3(1)P [2]	0,78	0,95	0,95	1,11	1,41	1,41
Karakteristična početna posmična čvrstoća pri nultom tlačnom naprezanju	f_{vk0}	N/mm²	tablica 3.4	0,3					
Karakteristična čvrstoća zida na savijanje paralelno horizontalnim sljubnicama	f_{xk1}	N/mm²	tablica 3.6.3(3)	0,15					
Karakteristična čvrstoća zida na savijanje okomito na horizontalne sljubnice	f_{xk2}	N/mm²	tablica 3.6.3(3)	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
Karakterističan kratkotrajni modul elastičnosti okomito na horizontalne sljubnice	$E_k = 500 \times f_k$	N/mm²	tablica 3.7.2(1)P	680	870	870	1020	1300	1570
Proračunski kratkotrajni modul elastičnosti okomito na horizontalne sljubnice	E_d	N/mm²		340	435	435	510	650	785
Proračunski modul posmika zida	$G = E_k \times 0{,}4$	N/mm²	tablica 3.7.3(1)	272	348	348	408	520	628
Završna mjera skupljanja	ε_∞	‰		-0,2					
Završna vrijednost puzanja	φ			1,50					

2.3 SVOJSTVA ZIDNIH ELEMENATA

Osnovna svojstva zidnih elemenata su njihova tlačna čvrstoća i trajnost. Do sada je bilo uobičajeno da se zidni element naziva po svojoj tlačnoj čvrstoći. No uz tu čvrstoću treba uzeti u obzir i oblik elementa, tj. njegovu visinu i širinu, jer nije svejedno kakve je veličine element niti kako je ugrađen u zide. Manja visina uzrokuje veći broj horizontalnih sljubnica morta. Zato se prešlo na tzv. normaliziranu tlačnu čvrstoću zidanog elementa f_b.

2.3.1 Tlačna čvrstoća zidnih elemenata

Tlačna čvrstoća koja se uzima u proračun, jest normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa f_b. To je tlačna čvrstoća zidnog elementa prevedena na tlačnu čvrstoću na zraku sušenog zidnog uzorka širine 100 mm i visine 100 mm, duljina zidnog elementa nije mjerodavna. Srednja tlačna čvrstoća dobivena eksperimentalno (uzorci 24 sata uronjeni u vodu), pretvara se u normaliziranu tlačnu čvrstoću f_b za suhe zidne elemente, množeći se s koeficijentom 1,10 za blokove od pečene gline, a za sve ostale blokove sa 1,20. Zatim se dobivene vrijednosti množe sa faktorom oblika δ (Tablica 2.3.):

Tablica 2.3. Faktor oblika δ za normaliziranje tlačne čvrstoće blokova

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

Minimalna tlačna čvrstoća zidnog elementa :

- okomito na horizontalnu sljubnicu morta $f_{b,min,vert.} = 2,5\ N/mm^2$
- paralelno horizontalnoj sljubnici u ravnini zida $f_{b,min,hor.} = 2,0\ N/mm^2$

U seizmičkim područjima tlačna čvrstoća zidanih elemenata trebala bi iznositi najmanje:

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

Za odabrani zidni element u proračunu, vrijednost normalizirane tlačne čvrstoće u smjeru primjenjenog učinka djelovanja je 4,40 N/mm^2 (Tablica 2.2.).

2.4 MORT

Mort je vezivni materijal koji se sastoji od mješavine anorganskog veziva, agregata i vode, a može sadržavati i dodatke za povećanje čvrstoće, vodonepropusnosti i itd. Rabi se za povezivanje zidanih elemenata, odnosno služi za ostvarivanje čvrstoće zida. Vrsta morta ovisi o njegovom sastavu. Prilikom gradnje omogućava izravnavanje geometrijskih odstupanja blokova i njihovo međusobno vezanje te ravnomjernu raspodjelu tlačnih napona.

Glavni sastojci morta:

- vezivo (hidratizirano vapno, hidrauličko vapno, cement)
- agregat (pijesak ili neki drugi materijal određen prema normi)
- voda (ne smije sadržavati štetne tvari)

Kemijski dodaci mortu služe za promjenu njegovih svojstava:

- dodaci za plastifikaciju morta
- dodaci za vodonepropusnost morta
- dodaci za sprječavanje vezivanja suhog morta

Vrste mortova:

- **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)

- **hidraulični vapneni mort:** mješavina određene količine hidratiziranog vapna i pijeska
- **unaprijed pripremljeni mort:** doprema se na gradilište u vrećama u suhom stanju, ili već pripremljen za uporabu s usporivačem vezanja
- **tankoslojni mort:** to je unaprijed pripremljeni cementni mort s maksimalnim zrnom pijeska do 1,0 mm i s kemijskim dodacima. Debljina morta u horizontalnim sljubnicama je od 1 do 3 mm
- **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 klasificira prema svojoj proračunskoj tlačnoj čvrstoći, a označava se slovom M nakon kojeg slijedi broj koji predstavlja tlačnu čvrstoću u N/mm^2. U većini propisa u svijetu odnos komponenata morta se određuje volumenski, odnosno sastavi morta dani su u volumenskim omjerima (Tablica 2.4.).

Tablica 2.4. Volumenski sastav morta

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 - $^1/_4$	3
M10	10	1	$^1/_4$ - $^1/_2$	4 - 4$^1/_4$
M5	5	1	$^1/_2$ - 1$^1/_4$	5 - 6
M2	2	1	1$^1/_4$ - 2$^1/_2$	8 - 9

Najslabiji mort koji je dopušten u nearmiranom zidu je *M1*, za armirano zide *M5*, i za tankoslojne i lakoagregatne mortove također *M5*. 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.

U predmetnoj konstrukciji odabran je tankoslojni mort M10 (f_m=10,0 MPa).

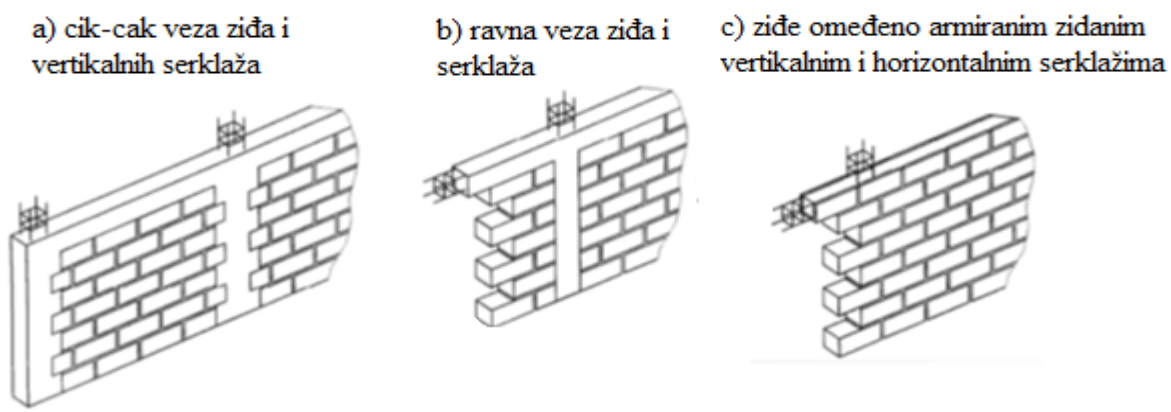
2.5 VRSTE ZIĐA

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 ziđe**, ziđe u koje se ugrađuju čelične šipke ili mreže kroz mort ili beton pa prema tome svi materijali rade zajedno u otporu djelovanjima
- **Prednapeto ziđe**, unutarnja tlačna naprezanja uvedena su ciljano zategnutom armaturom

2.5.1 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.



Crtež 2.2. Primjeri omeđenog ziđa

2.6 MEHANIČKA SVOJSTVA ZIĐA

2.6.1 Tlačna čvrstoća ziđa (f_k)

Ziđe opterećeno u jednoosnom tlaku postiže slom uglavnom razvojem vlačnih pukotina paralelnih pravcu djelovanja opterećenja, koja su kao rezultat vlačnih naprezanja okomita na glavna tlačna naprezanja. Čvrstoća ziđa u tlaku je manja nego nominalna tlačna čvrstoća bloka, od kojeg je ziđe izvedeno. S druge strane, čvrstoća ziđa može značajno prekoračiti slomnu čvrstoću kocke morta.

Opća svojstva:

- sekundarno vlačno naprezanje, koje prouzročuje 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 ziđa, f_k, može biti određena ili iz granične čvrstoće ziđa visine kata ispitanog do sloma ili iz tlačne čvrstoće manjih uzoraka ziđa. Rabe se materijali, zidanje i vez onako kako se oni primjenjuju i u praksi. Zapiše se količina vlage zidnog elementa u vrijeme polaganja u sloj morta. Odredi se normalizirana tlačna čvrstoća f_b, 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, kako je to uobičajeno, rabi vlažan pijesak, treba uzeti u obzir količinu vlage.

Rabe se najmanje 3 uzorka, visina uzorka zida treba biti barem tri puta veća od njegove širine, pet puta veća od visine zidanog elementa i veća od duljine uzorka. Zidovi se ispituju ili nakon 7 ili 28 dana starosti, ili kada je postignuta neka određena čvrstoća morta. Uzorak se postavi centrično da se uzdužna os uzorka i uzdužna os stroja za ispitivanje poklope.

Opterećenje se nanosi jednoliko po cijeloj površini na vrhu i na dnu zida. Ono se neprekidno povećava tako da se slom dosegne nakon 15 do 30 minuta. S pomoću četiri elektronska uređaja, ekstenzometra, mjere se deformacije uzorka u vertikalnom smjeru. Ekstenzometri se postave po dva na svaku plohu zida, a kao relativna deformacija uzorka uzima se srednja vrijednost od sva četiri očitanja. Potrebno je izdvojiti vrijednosti izmjerene relativne deformacije, $\varepsilon_{1/3}$, pri sili jednakoj trećini maksimalne.

Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće se prikazuju pomoću izraza:

$$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$$

pri čemu je:

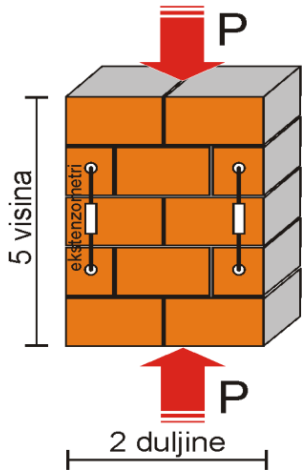
f_k - karakteristična tlačna čvrstoća ziđa u N/mm^2

K - faktor ovisan o razredu bloka i tipu morta

α, β - konstante

f_m - tlačna čvrstoća morta u N/mm^2

f_b - normalizirana srednja tlačna čvrstoća zidnog elementa u smjeru primijenjene sile u N/mm^2



Crtež 2.3. Ispitivanje tlačne čvrstoće ziđa

Tlačna čvrstoća je jedno aksijalno opterećenje probnog uzorka (kocke ili valjka) po jedinici površine, kod kojeg nastaje razorna deformacija i njegov lom.

Ako se ne raspolaže eksperimentalno dobivenim podacima o tlačnoj čvrstoći ziđa, karakteristična tlačna čvrstoća ziđa ovisno o vrsti morta može se odrediti na temelju sljedećih jednadžbi:

- mort opće namjene - $f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$ $(\mathrm{N/mm^2})$
- tankoslojni mort - $f_k = 0,8 \cdot f_b^{0,85}$ $(\mathrm{N/mm^2})$
- lakoagregatni mort- $f_k = 0,8 \cdot f_b^{0,65}$ $(\mathrm{N/mm^2})$

gdje je:

- K - konstanta koja za mort opće namjene ovisi o grupi zidnih elemenata, dok za lakoagregatni mort ovisi o vrsti morta (Tablica 2.4.)
- f_b - normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa $(\mathrm{N/mm^2})$
- f_m - nazivna tlačna čvrstoća morta $(\mathrm{N/mm^2})$

Tablica 2.5. Konstanta K za mort opće namjene, tankoslojni mort i lagani mort

Zidni elementi		Mort opće namjene	Tankoslojni mort (horiz. sljubnica ≥ 0,5 mm i ≤ 3 mm)	Lagani mort obujamske mase	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m^3	$800 < \rho_d \leq 1300$ kg/m^3
Opečni	Skupina 1	0,55	0,75	0,30	0,40
	Skupina 2	0,45	0,70	0,25	0,30
	Skupina 3	0,35	0,50	0,20	0,25
	Skupina 4	0,35	0,35	0,20	0,25
Vapnenosilikatni	Skupina 1	0,55	0,80	‡	‡
	Skupina 2	0,45	0,65	‡	‡
Betonski	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
	Skupina 2	0,45	0,65	0,45	0,45
	Skupina 3	0,40	0,50	‡	‡
	Skupina 4	0,35	‡	‡	‡
Porasti beton	Skupina 1	0,55	0,80	0,45	0,45
Umjetni kamen	Skupina 1	0,45	0,75	‡	‡
Obrađeni prirodni kamen	Skupina 1	0,45	‡	‡	‡
‡ Kombinacija morta i zidnih elemenata koja se obilno ne upotrebljava pa vrijednosti nisu dane.					

Za predmetnu konstrukciju karakteristična tlačna čvrstoća zida iznosi:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,85} = 0,8 \cdot 4,4^{0,85} = 2,82 \ \mathrm{N/mm^2}$$

2.6.2 Posmična čvrstoća zida (f_v)

Zidane konstrukcije su često podvrgnute posmičnom djelovanju, istovremeno s tlačnim opterećenjem. Poznato je da posmična čvrstoća pada s povećanjem visine zida, dok raste s porastom debljine. Također, dokazano je da stupanj zasićenosti vodom punih glinenih blokova za vrijeme zidanja ima utjecaj na početnu posmičnu čvrstoću.

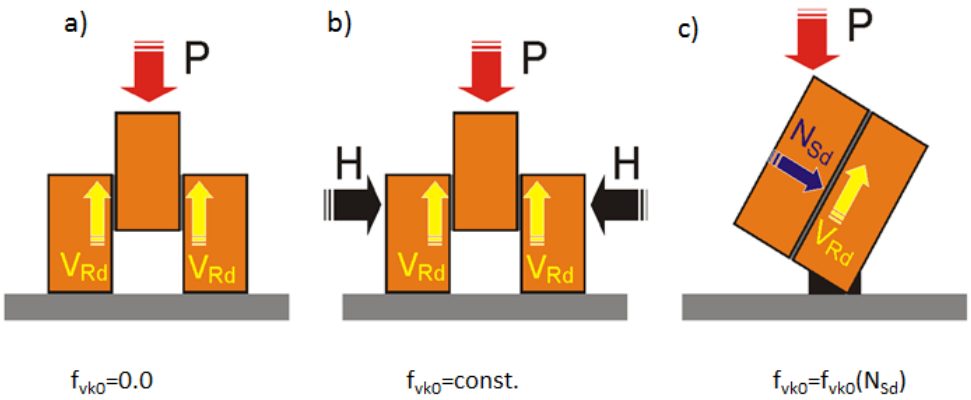
Karakteristična posmična čvrstoća zida, f_{vk}, jest ona čvrstoća ispod koje se ne očekuje da će pasti više od 5% rezultata ispitivanja te čvrstoće. Karakterističnu posmičnu čvrstoću moguće je dobiti eksperimentalno iz odgovarajućeg ispitivanja uzorka ili ispitivanjem na izvedenom zidu ili iz karakterističnih čvrstoća.

Eksperimentalno određivanje posmične čvrstoće, f_{vk} , vrši se na uzorcima (Crtež 2.4.)

a) bez normalnog naprezanja

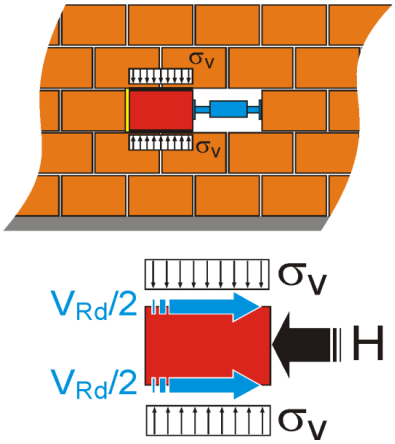
b) dodavanjem normalnog naprezanja

c) s uvijek prisutnim tlačnim naprezanjem



Crtež 2.4. Ispitivanje posmične čvrstoće zida

Za određivanje posmične čvrstoće zida neke postojeće građevine treba se iz zida odstraniti barem jedan element i zatim na njegovo mjesto postaviti uređaj za nanošenje sile. Zidnom elementu na koji se nanosi sila, i koji će se pomaknuti, odstranjuju se vertikalne sljubnice morta, ispred i iza. Sila se postupno povećava do posmičnog sloma. Naprezanja na horizontalnu sljubnicu morta treba izračunati (Crtež 2.5.).



Crtež 2.5. Ispitivanje posmične čvrstoće ziđa – in situ

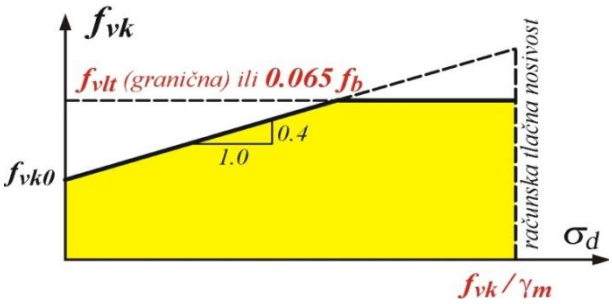
Računska karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog ziđa f_{vk}, uz postojanje uvjeta da su horizontalne i vertikalne sljubnice potpuno ispunjene mortom, može se uzeti kao najmanja vrijednost od:

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4\sigma_d$$

ili

$$f_{vk} = 0,065 \cdot f_b$$

ali ne manja od f_{vko}, i ne veća od granične vrijednosti f_{vlt}.



Crtež 2.6. Ovisnost posmične čvrstoće i tlačnog naprezanja

gdje su:

- f_{vko} - posmična čvrstoća bez tlačnog naprezanja okomito na sljubnice za obične mortove bez aditiva (Tablica 2.6.). Ako ne postoje eksperimentalno dobiveni podaci o vrijednost f_{vko}, treba uzeti f_{vko} = 0,1 N/mm^2
- f_{vlt} - limitirajuća vrijednost od f_{vk}

- σ_d - računsko tlačno naprezanje okomito na posmik u zidu na razini na kojoj se promatra, uzimajući u obzir odgovarajuću kombinaciju opterećenja koja se bazira na jednolikoj raspodjeli naprezanja u tlačnom dijelu zida koji pruža posmičnu nosivost
- f_b - normalizirana tlačna čvrstoća zidnih elemenata

Proračunska karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog zida, f_{vk}, ako vertikalne sljubnice nisu ispunjene mortom, ali su susjedne plohe zidnih elemenata postavljene jedna uz drugu, može se uzeti kao najmanja vrijednost od:

$$f_{vk} = 0,5 f_{vko} + 0,4\sigma_d$$

ali ne više od $0,045 \cdot f_b$ ili f_{vlt}, ali ne manje od f_{vko}.

Tablica 2.6. Vrijednost početne posmične čvrstoće f_{vk0}

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

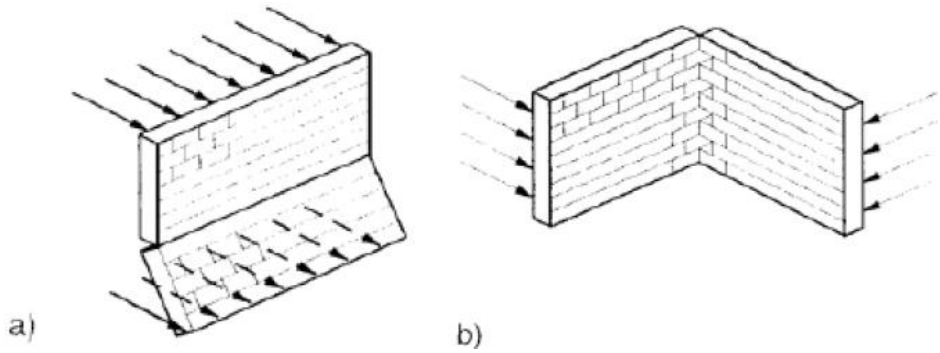
2.6.3 Karakteristična čvrstoća ziđa na savijanje (f_{xk})

Karakteristična čvrstoća na savijanje nearmiranog ziđa f_{xk} je ona čvrstoća ispod koje ne pada više od 5% rezultata.

Karakteristične vrijednosti čvrstoće ziđa na savijanje određuju se na uzorcima koji daju ravninu sloma paralelnu s horizontalnim sljubnicama morta f_{xk1} i onih koji daju ravninu sloma okomito na horizontalne sljubnice morta f_{xk2} kako je prikazano na Crtežu 2.7. U slučaju kada ispitni podaci za ziđe izrađeno od morta opće namjene, tankoslojnog i laganog morta nisu dostupni, čvrstoća na savijanje se može uzeti iz Tablica 2.7. i 2.8., uz uvjet da su tankoslojni mort i lagani mort M5 ili više.

Čvrstoća ziđa na savijanje:

a) ravnina sloma paralelna horizontalnim sljubnicama morta, f_{xk1}
b) ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice morta, f_{xk2}



Crtež 2.7. Čvrstoća ziđa na savijanje

Tablica 2.7. Vrijednosti f_{xk1}, slomna ravnina paralelna horizontalnim sljubnicama

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

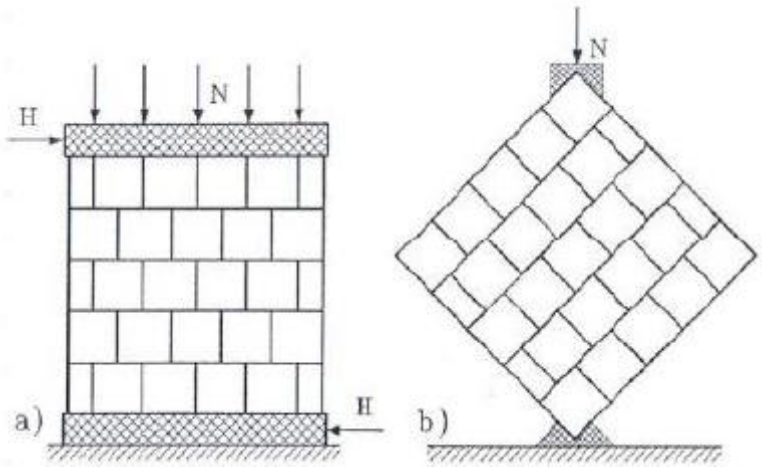
Tablica 2.8. Vrijednosti f_{xk2}, slomna ravnina okomita na horizontalne sljubnice

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

2.6.4 Referentna vlačna čvrstoća zida (f_t)

Referentna vlačna čvrstoća zida je ona kod koje dolazi do vlačnog otkazivanja kad je zid opterećen istodobno vertikalnim i horizontalnim opterećenjem. Vertikalno je opterećenje stalno prisutno, a horizontalno je povremeno, uzrokovano vjetrom ili potresom.

Referentnu vlačnu čvrstoću može se odrediti ispitivanjem zida opterećenog nepromjenljivim vertikalnim opterećenjem, silom N, i postupno rastućom horizontalnom silom H do dijagonalnog sloma (Crtež 2.8.) ili pomoću propisanih tablica.



Crtež 2.8. Ispitivanje vlačne čvrstoće zida

2.7 Deformacijska svojstva zida

2.7.1 Modul elastičnosti E

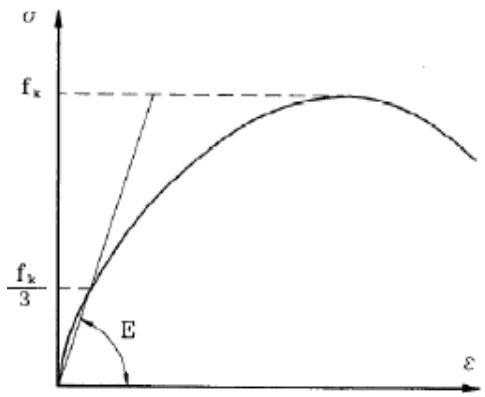
Modul elastičnosti u slučajevima kada se ne proučavaju dugotrajni efekti se određuje ispitivanjem. U nedostatku eksperimentalnih ispitivanja, sekantni modul elastičnosti pod opterećenjem (do 1/3 slomnog opterećenja, Crtež 2.9.) za sve vrste zida uzima se kao:

$$E = K_E \cdot f_k$$

gdje je:

- K_E - koeficijent čija je preporučena vrijednost 1000, osim ako nije posebno definirano u nacionalnom dodatku
- f_k – karakteristična tlačna čvrstoća zida

Module elastičnosti za predmetnu konstrukciju dan je tablično i iznosi 1570 N/mm^2:



Crtež 2.9. Dijagram naprezanja – relativna deformacija

Dugotrajni modul elastičnosti se bazira na kratkotrajnom sekantnom modulu elastičnosti, reduciranom tako da zadovolji utjecaje puzanja:

$$E_{dugotrajno} = \frac{E}{1+\phi_\infty}; \quad \phi_\infty - \textit{konačni koeficijent puzanja}$$

2.7.2 Modul posmika G

Modul posmika G se uzima kao 40% vrijednosti modula elastičnosti E: G = 0,4 E

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

Modul posmika za predmetnu konstrukciju iznosi:

$$G = 0,4 \cdot E = 0,4 \cdot 1570 = 628 MPa$$

Za potresno djelovanje modul posmika iznosi:

$$G = 0,167 \cdot E = 0,167 \cdot 1570 = 262,2 MPa$$

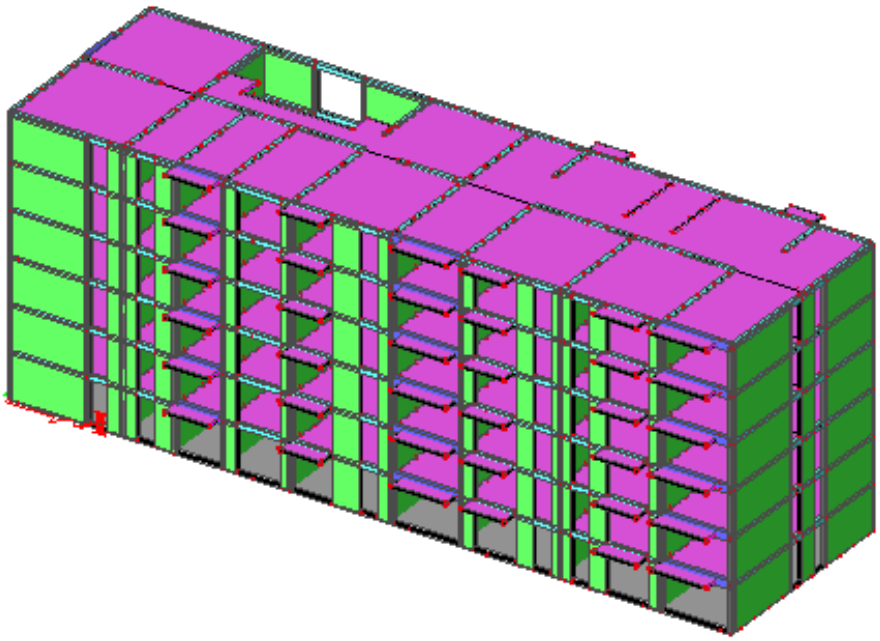
3. TEHNIČKI OPIS

3.1 OPĆENITO

Predmet ovog diplomskog rada je proračun stambene zgrade s konstruktivnim sustavom od omeđenog ziđa. Predmetna građevina je šesterokatnica, pravilnog tlocrtnog oblika – pravokutnih dimenzija 46,50 x 13,55 m. Ukupna brutto površina građevine iznosi 630,08 m^2. Visina svih etaža je 2,90 m, što čini 17,40 m ukupne visine objekta mjereno od podne ploče prizemlja.

Nosivu konstrukciju ove stambene zgrade čine vertikalni konstrukcijski elementi izrađeni od ziđa i armiranog betona, te horizontalni konstrukcijski elementi izrađeni od armirano-betonskih međukatnih ploča debljine 20 cm i armirano-betonskih serklaža. Pokrov konstrukcije čini neprohodni ravni krov izveden od armirano-betonske ploče također debljine 20 cm.

Konstrukcija temelja je armirano-betonska, a sastoji se od: temeljnih traka, nadtemeljnih zidova i podne ploče.



Crtež 3.1. Prostorni prikaz modela konstrukcije

3.2 OPIS NOSIVE KONSTRUKCIJE

3.2.1 Temelji

Temeljenje je izvršeno na stjenovitom tlu tipa A. Temelji su trakasti, dimenzija širine 1,10 x 0,75 m, 0,70 x 0,75 m te 0,50 x 0,75 m . Nadtemeljni zid je dimenzija 0,30 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.

Također je u radu prikazano temeljenje konstrukcije na pločastom modelu temelja debljine 0,40 m.

3.2.2 Zidovi

Nosivi zidovi izgrađeni su od porobetonskih YTONG zidnih elemenata. Zidovi su debljine t=30 cm, a omeđeni su vertikalnim i horizontalnim serklažama. Karakteristike zidnih elemenata prikazane su u Tablici 2.2.

YTONG je građevinski materijal od porobetona i podrazumjeva asortiman elemenata za zidanje različitih dimenzija. Materijal odlikuju razne karakteristike kao što su vrhunska toplinska izolacija, iznimna nosivost, požarna otpornost, protupotresnost te višenamjenska upotreba. Jednostavan je za obradu te omogućuje veoma brzu gradnju.

Ytong proizvodi kontroliraju se sukladno građevinskim propisima i imaju sva svojstva navedena u pripadajućim izjavama o svojstvima (DOP).

Za zidanje rabljen je tankoslojni mort M10 (f_m=10,0 N/mm^2).

Obvezno je popunjavanje mortom horizontalnih i uspravnih sljubnica između zidnih blokova. Po procjeni nadzornog inženjera utvrditi će se potreba za ispitivanjem tlačne čvrstoće morta.

3.2.3 Međukatna konstrukcija

Međukatna konstrukcija iznad etaža izvedena je kao armiranobetonska ploča debljine 20 cm, od betona C30/37 i armirana s B500B. Horizontalni serklaži (b/h=30/30 cm) izvedeni su zajedno s pločom, od betona C30/37 i armirani čelikom za armiranje B500B.

3.2.4 Ostale konstrukcije

Vertikalni serklaži su postavljeni prema pravilima struke. Dimenzije serklaža su 30x30 cm. Vertikalni serklaži izrađeni su od betona marke C30/37 i armirani čelikom za armiranje B500B.

3.3 KORIŠTENI MATERIJALI

3.3.1 YTONG zidni elementi

U ovom radu za nosive zidove odabrani su Ytong zidni elementi koji spadaju u kategoriju I zidnih elemenata, a sva svojstva mogu se vidjeti u Izjavi o svojstvima (Tablica 2.2.) .

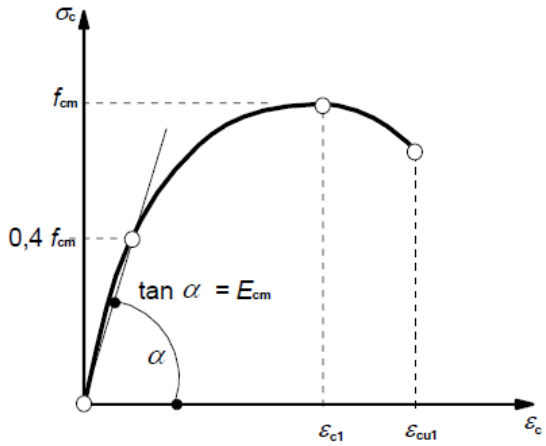
3.3.2 Beton

Armirano-betonski elementi izrađeni su od betona klase C30/37 , dok su temelji i nadtemeljni zidovi izrađeni od betona klase C25/30, vertikalni i horizontalni serklaži i ploče izrađeni od betona klase C30/37.

Tablica 3.1. Parametri betona

	C25/30	**C30/37**	**C35/45**	**C40/50**
Karakteristična tlačna čvrstoća f_{ck}[MPa]	25,0	30,0	35,0	40,0
Posmična čvrstoća τ_{Rd} [MPa]	0,30	0,34	037	0,41
Srednja vlačna čvrstoća $f_{ct,m}$ [MPa]	2,6	2,9	3,2	3,5
Modul elastičnosti *E* [MPa]	31500	32800	33500	35000
Modul posmika *G* [MPa]	13125	13667	14208	14667

Usvojen je parabolični radni dijagram betona zbog uključene materijalne nelinearnosti.



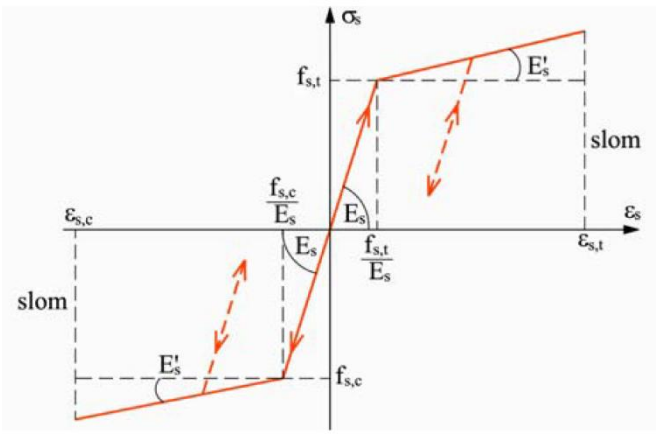
Crtež 3.2. Radni dijagram betona

3.3.3 Armatura

Svi armirano-betonski elementi armirani su čelikom za armiranje B500B, čiji je radni dijagram prikazan na Crtežu 3.3.

Tablica 3.2. Parametri čelika za armiranje

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



Crtež 3.3. Radni dijagram čelika za armiranje

4. ANALIZA OPTEREĆENJA

4.1 OPĆENITO

Konstrukcija treba biti planirana, projektirana i izvedena na način da izdrži sva opterećenja i ostala djelovanja za vrijeme izvedbe i uporabe, da funkcionira u skladu s namjenom za koju se gradi te da ima potrebnu trajnost i umjerene troškove održavanja.

Proračunske situacije prikazuju slučajeve u kojima konstrukcija ispunjava svoju ulogu a moraju obuhvatiti 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.

Sigurnost 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 prikazati na sljedeći način:

$$R>S$$

Zona sigurnosti 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 i uporabljivosti.

4.2 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.

4.2.1 Stalno djelovanje

1) Vlastita težina (G0)

U računalnom modelu vlastita težina nosive konstrukcije zadana je automatski.

2) Dodatno stalno opterećenje (G)

a) Krovna ploča

završni sloj poda:	0,50 kN/m^2
izolacije, instalacije, žbuka:	0,20 kN/m^2
a-c estrih, d = 7 cm, γ = 22 kN/m^3 :	1,55 kN/m^2

ukupno: 2,25 kN/m^2

b) Međukatne ploče

pregradni zidovi (gipskartonske ploče):	0,50 kN/m^2
završni sloj poda:	0,50 kN/m^2
izolacije, instalacije, žbuka:	0,20 kN/m^2
a-c estrih, d = 7 cm, γ = 22 kN/m^3 :	1,55 kN/m^2

ukupno: 2,70 kN/m^2

c) Balkoni

završni sloj poda:	0,50 kN/m^2
izolacije, instalacije, žbuka:	0,20 kN/m^2
a-c estrih, d < 5 cm, γ = 22 kN/m^3 :	1,10 kN/m^2

ukupno: 1,80 kN/m^2

4.2.2 Uporabno opterećenje (Q)

Uporabno opterećenje je ono koje proizlazi iz samog korištenja zgrade. Europska norma EN 1991 uporabna opterećenja u zgradama razvrstava u 5 kategorija A,B,C,D,E, u ovinosti o namjeni zgrade. Tako za stambene prostore vrijedi:

Tablica 4.1. Uporabno opterećenje za razred A

Opterećene	q_k [kN/m^2]	Q_k [kN]
A - općenito	2,0	2,0
- stubišta	3,0	2,0
- balkoni	4,0	2,0

Uporabno opterećenje za krov je 1,0 kN/m^2

4.2.3 Opterećenje vjetrom (W)

Opterećenje vjetrom na građevinu ovisi o geografskom području u kojem se predmetna građevina nalazi, te o visini i izloženosti građevine.

Tlak vjetra na vanjske i unutanje površine proračunava se prema izrazima:

- pritisak vjetra na vanjske površine: $w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \left[kN/m^2 \right]$
- pritisak vjetra na unutarnje površine: $w_i = q_{ref} \cdot c_e(z_i) \cdot c_{pi} \left[kN/m^2 \right]$

gdje je:

q_{ref} - poredbeni tlak pri srednjoj brzini vjetra

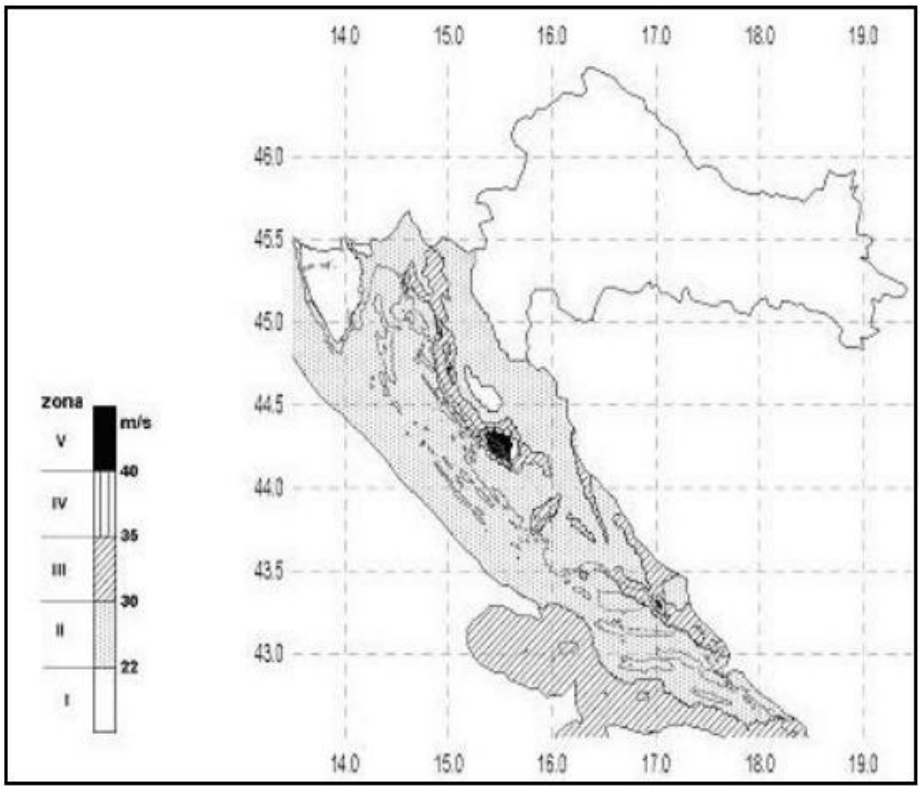
$c_e(z_e); c_e(z_i)$ - koeficijenti izloženosti koji uzimaju u obzir neravnine terena

$z_e; z_i$ - poredbena visina za lokalni ili unutarnji tlak

$c_{pe}; c_{pi}$ - vanjski i unutarnji koeficijent pritiska

Neto pritisak na površinu je algebarski zbroj unutrašnjeg i vanjskog pritiska.

Poredbena brzina vjetra određuje se prema osnovnoj vrijednosti poredbene brzine vjetra $v_{ref,0}$ koja je prikazana u zemljovidu Hrvatske za područja opterećenja vjetrom.



Crtež 4.1. Karta osnovne brzine vjetra

Iz karte osnovne brzine vjetra vidi se da je Hrvatska podijeljena na pet područja opterećenja vjetrom (I-V) koja su dodatno podijeljena na deset regija (P1-P10).

Tablica 4.2. Kategorizacija zemljišta ovisno o geografskom položaju

Kategorija zemljišta	
I	Otvoreno more, jezera s najmanje 5 km otvorene površine u smjeru vjetra ili ravnica bez prepreka
II	Ograđeno poljoprivredno zemljište, gospodarske zgrade (salaši), kuće i drveće
III	Predgrađa gradova ili industrijske površine i obrtničke površine; šume
IV	Gradska područja u kojima je najmanje 15 % površine izgrađeno i čija prosječna visina prelazi 15 m.

Predmetna konstrukcija nalazi se:

- zona Split
- II. vjetrovno područje
- IV. kategorija zemljišta
- regija P9 – južno jadransko priobalje,

Poredbeni tlak pri srednjoj brzini vjetra:

$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 \left[kN / m^2 \right]$$

Pri čemu su:

- v_{ref} poredbena brzina vjetra
- ρ gustoća zraka (ρ = 1,25 kg/m^3)

Poredbena brzina vjetra:

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0}$$

$v_{ref,0} = 30 \left[m / s \right]$ osnovna poredbena brzina vjetra

c_{DIR}= 1,0 koeficijent smjera vjetra

c_{TEM}= 1,0 koeficijent ovisan o godišnjem dobu

c_{ALT}= 1,0 + 0,001a_s koeficijent nadmorske visine, a_s=100 m

$$c_{ALT} = 1.0 + 0.001 \cdot 100 = 1.1$$

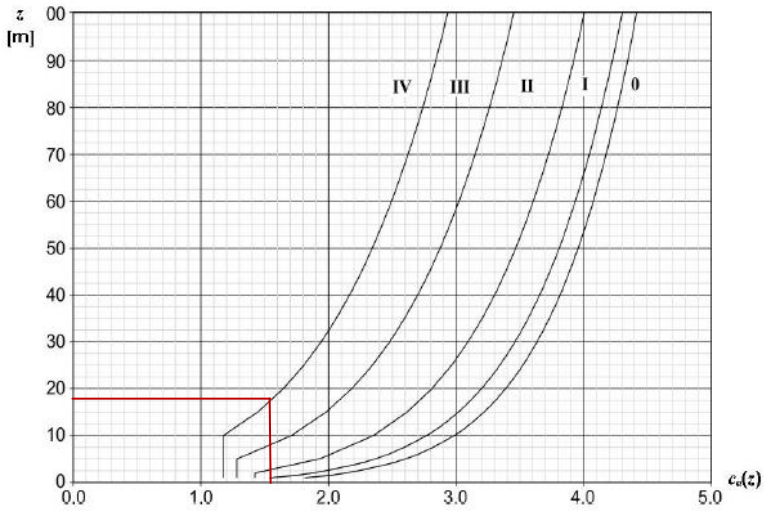
$$v_{ref} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.1 \cdot 30 = 33 \ m/s$$

visina objekta h = 17,4 m;

$$v_{ref} = 33 \left[m / s \right]; \ \rho = 1.25 \left[kg / m^3 \right]$$

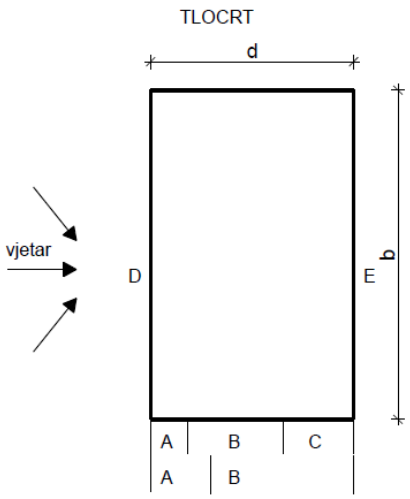
$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1.25}{2} \cdot 33^2 = 680 \, N/m^2 = 0.68 \, kN/m^2$$

$c_e(z)$ je koeficijent izloženosti kojim se uzimaju u obzir neravnine terena i očitavamo ga sa sljedećeg grafa (Crtež 4.2.):



Crtež 4.2. Koeficijet položaja u ovisnosti o visini objekta iznad terena i kategoriji zemljišta

Očitano na grafu: $c_e(z_e) = 1{,}48$



Crtež 4.3. Tlocrtni prikaz krova s podjelom na područja A-E

Tablica 4.3. Koeficijenti vanjskog tlaka za vertikalne zidove građevina pravokutnog tlocrta

	Područje									
	A		B		C		D		E	
d/h	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≤ 1	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,3	-0,3
≥ 4	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-0,5	-0,5	+0,6	+1,0	-0,3	-0,3

Koeficijenti vanjskog tlaka Cpe (Tablica 4.3.) iznose:

Za područje D: $c_{pe,10} = +0,8$ površina direktno opterećena vjetrom

Za područje E: $c_{pe,10} = -0,3$ površina koja je u zavjetrini

Opterećenje vjetra na vanjsku površinu:

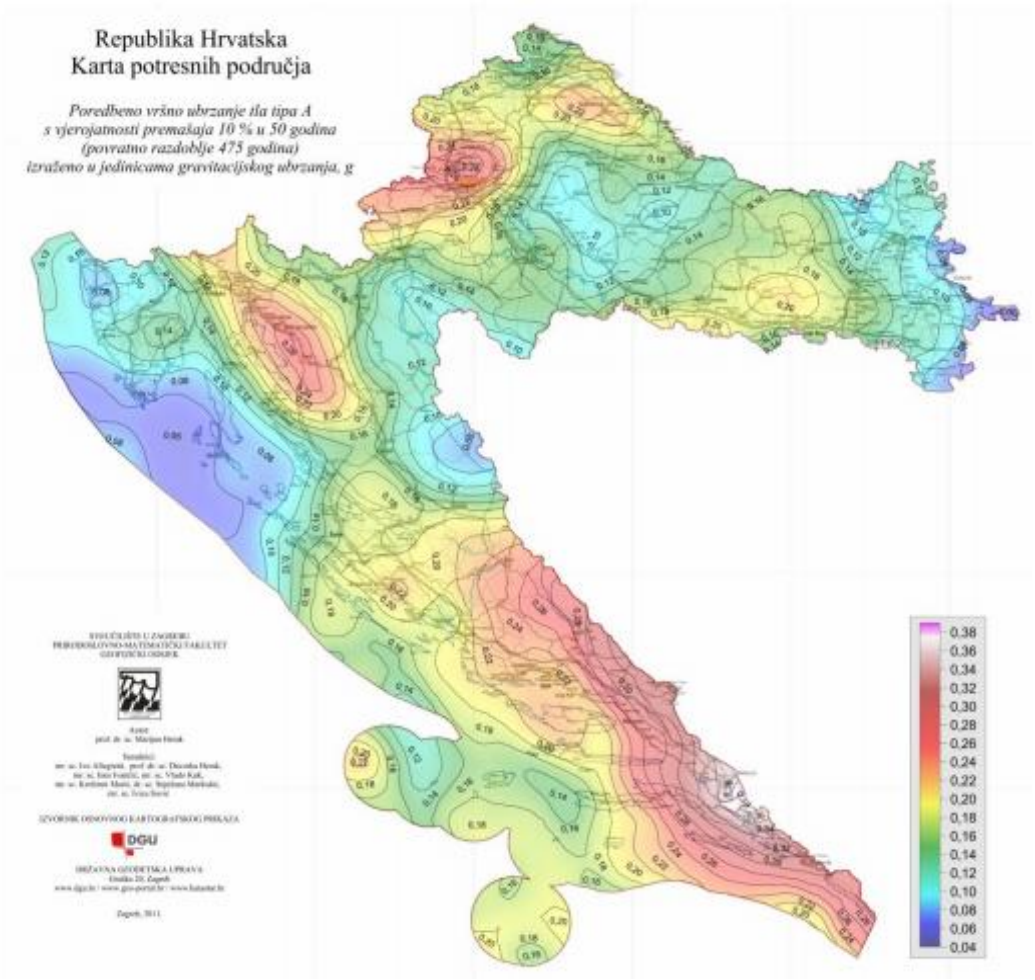
$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe} \left[kN/m^2 \right]$$

za područje D $w_e = 0,68 \cdot 1,48 \cdot 0,8 = 0,81\ kN/m^2$

za područje E $w_e = 0,68 \cdot 1,48 \cdot (-0,3) = -0,30\ kN/m^2$

4.2.4 Opterećenje potresom (S)

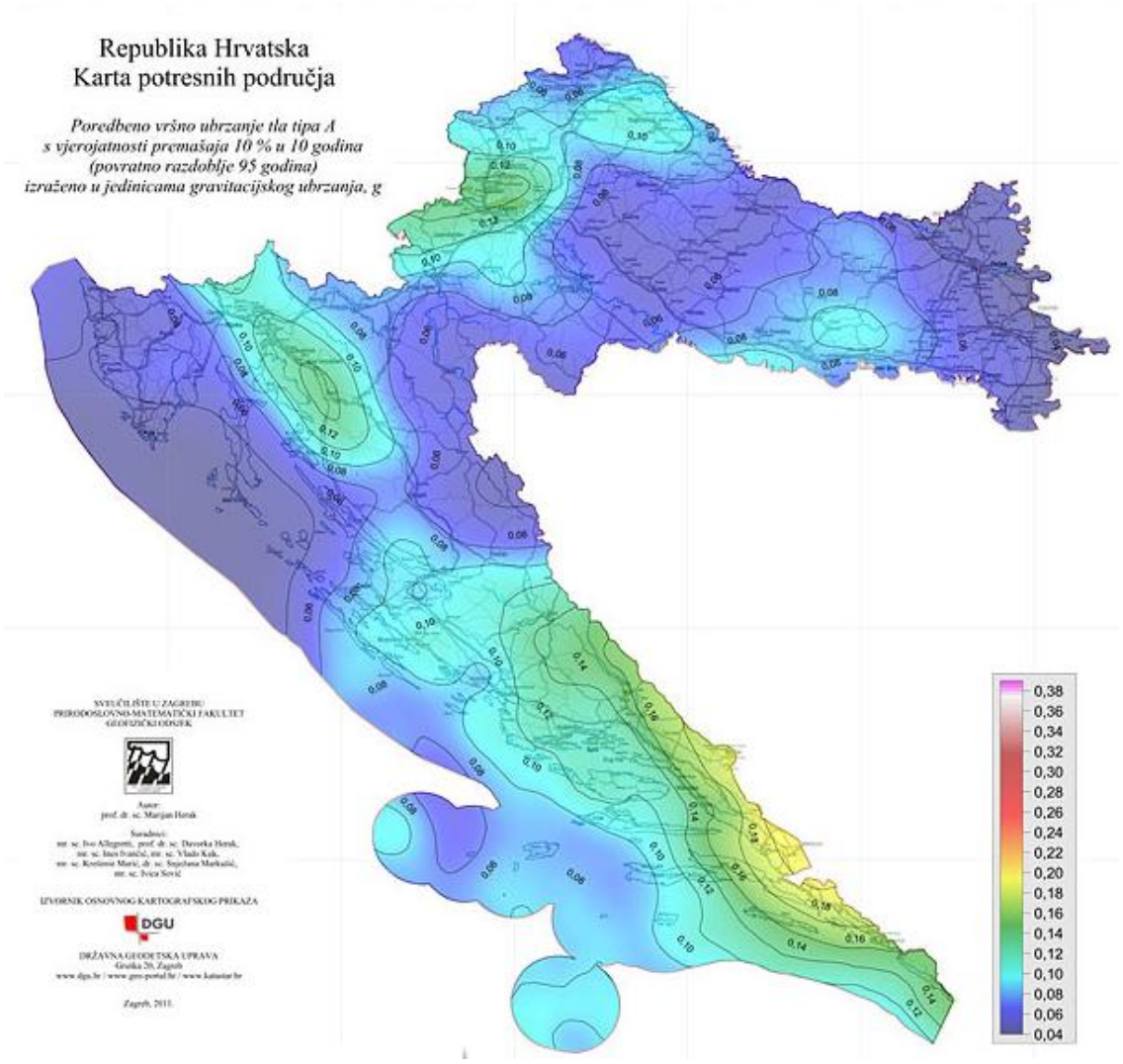
Potresne sile proračunate su postupkom spektralne analize prema EC-8. Potresno djelovanje za određeno područje određuje se koristeći proračunsko ubrzanje tla a_g koje odgovara povratnom periodu potresa od 475 godina za granično stanje nosivosti te povratnom periodu potresa od 95 godina za granično stanje uporabljivosti.



Crtež 4.4. Karta potresnih područja Hrvatske za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gr} za temeljno tlo tipa A, za poredbeno povratno razdoblje potresa T_{NCR} = 475 godina

Računsko ubrzanje tla za područje Splita za povratno razdoblje 475 godina iznosi. (*Crtež 4.4.)* :

(T_{NCR} = 475 godina; 50 godina; P_{NCR} = 10%): $a_{gr,GSN}$ = 0,22 g = 2,16 m/s^2



Crtež 4.5. Karta potresnih područja Hrvatske za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla a_{gr} za temeljno tlo tipa A, za poredbeno povratno razdoblje potresa T_{NCR} = 95 godina

Računsko ubrzanje tla za područje Splita za povratno razdoblje 95 godina iznosi (*Crtež 4.5.)* :

(T_{NCR} = 95 godina; 10 godina; P_{NCR} = 10%): $a_{gr,GSU}$ = 0,12 g = 1,18 m/s^2

Seizmičko djelovanje obično se predstavlja s tri komponente (dvije horizontalne i jednom vertikalnom). Primjenom metode spektralnog odgovora, građevina se može analizirati odvojeno za oscilacije u uzdužnom poprečnom i vertikalnom smjeru. Površinsko seizmičko gibanje promatrane točke tla može se predstaviti pomoću spektra odaziva.

Za određivanje jedne komponente seizmičkog djelovanja obično se koristi spektar seizmičkog ubrzanja tla u jednom translacijskom smjeru. Elastični spektar odgovora definira se analitički i kvalitativno.

Da bi se izbjegla opsežna nelinearna analiza sustava, uzima se u obzir mogućnost disipacije energije konstrukcije preko duktilnosti njenih elemenata te se koristi linearna analiza koja se zasniva na računskom spektru odgovora koji je reduciran u odnosu na elastični spektar. Dakle, računski spektar odgovora dobiva se iz elastičnog spektra njegovom redukcijom uz pomoć faktora ponašanja q u kombinaciji s modificiranim eksponentima k_{d1} i k_{d2}.

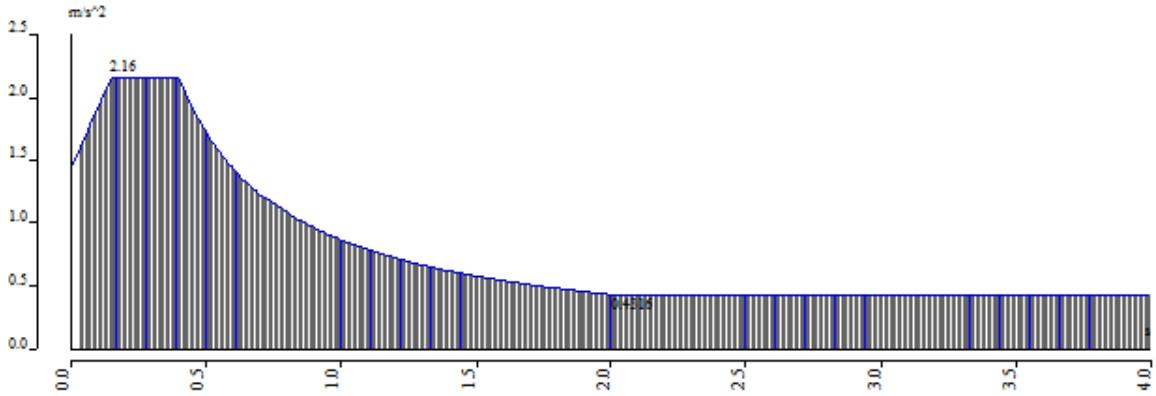
Za odgovarajući spektar ubrzanja uzimamo iduće parametre:

- Kategorija tla: A
- Faktor ponašanja (q) za predmetnu građevinu: 2,5. (*Tablica 4.4.)*

Tablica 4.4. Tipovi gradnje i faktor ponašanja

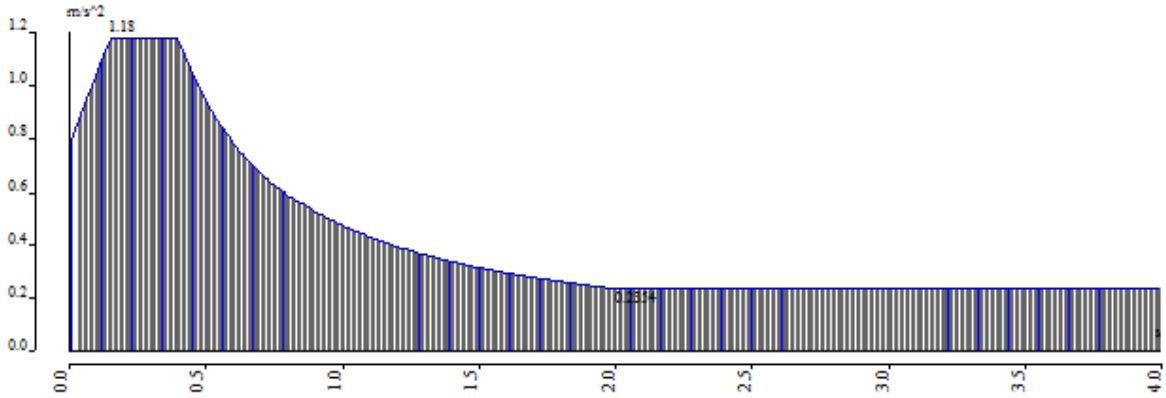
Tipovi gradnje	Faktor ponašanja *q*	
	EN 1998-1	NA[1)]
Nearmirano zide – samo EN 1996 (preporuka: mala seizmičnost)	1,5	
Nearmirano zide – EN 1996 i EN 1998-1	1,5 – 2,5	2,0
Omeđeno zide	2,0 – 3,0	2,5
Armirano zide	2,5 - 3,0	2,5

- Faktor važnosti građevine γ_1 = 1,0 (obične zgrade, koje ne spadaju u ostale kategorije važnosti zgrada)
- Klasa duktilnosti DC ”M” (konstrukcije posebno otporne na potres, ne dolazi do krhkog loma pod cikličkim djelovanjem sila potresa u području plastičnih zglobova)



Crtež 4.6. Računski spektar odgovora za oba smjera (X, Y) za T_{NCR}=475 godina

$a_{gr,GSN}$ = 0,22 g = 2,16 m/s^2, q = 2,5, tlo A



Crtež 4.7. Računski spektar odgovora za oba smjera (X, Y) za T_{NCR}=95 godina

$a_{gr,GSU}$ = 0,12 g = 1,18 m/s^2, q = 2,5, tlo A

4.2.5 Slučajni torzijski učinci (T)

Torzija koja može nastati zbog svih neregistriranih nesimetrija u konstrukciji naziva se slučajnom torzijom. Efekt slučajne torzije uzima se u obzir zadavanjem slučajnog ekscentriciteta:

Slučajni ekscentricitet: e = ±0.05 L

L – iznos tlocrtne dimenzije građevine mjerene okomito na smjer horizontalnog potresnog djelovanja

Najveći doprinos slučajnom ekscentricitetu proizlazi iz nedovoljno točnih podataka o stvarnoj razdiobi mase, o čemu ovisi određivanje centra mase, kao i o netočnosti položaja centra krutosti. Za ovakvu vrstu konstrukcije propisi nalažu primjenu metode višemodalnog spektralnog odaziva na prostornom modelu.

Torzijski momenti određuju se tako da se horizontalne seizmičke sile koje su određene spektralnim proračunom u nivou svakog kata pomaknu iz centra mase za iznos slučajnog ekscentriciteta:

Torzijski moment: $M_{ai} = e_{ai} \cdot F_i$

- Za smjer Y: e = ±0.05 L_x, L_x = 46.50 m

Suma svih reakcija od potresne sile: $S_y = R_y$ = 6 608.08 *kN*

Moment usljed ekscentriciteta:

M_y = 6 608.08 kN · 0.05 · 46.50 m = 15 363.79 *kNm* / 6 *etaža* = 2 560.63 *kNm*

$$M_y = F \cdot \frac{2 \cdot L_x}{3} \Rightarrow T_y = \frac{2560.63 \cdot 3}{2 \cdot 46.50} = 82.6\ kN$$

- Za smjer X: e = ±0.05 L_y, L_y = 13.55 m

Suma svih reakcija od potresne sile: $S_x = R_x$ = 5 206.46 *kN*

Moment usljed ekscentriciteta:

M_x = 5 206.46 *kN* · 0,05 · 13,55 m = 3 527.38 *kNm* / 6 *etaža* = 587.89 *kNm*

$$M_x = F \cdot \frac{2 \cdot L_y}{3} \Rightarrow T_x = \frac{587.89 \cdot 3}{2 \cdot 13.55} = 65.1\ kN$$

4.3 KOEFICJENTI SIGURNOSTI I KOMBINACIJE OPTEREĆENJA

4.3.1 Parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale

Beton	$\gamma_c = 1{,}5$
Čelik za armiranje	$\gamma_s = 1{,}15$
zide	$\gamma_M = 2{,}20$

4.3.2 Kombinacije opterećenja

4.3.2.1 Granično stanje uporabljivosti

GSU_1 (*česta kombinacija*)	$1.0 \cdot (G_0 + G) + 0.5 \cdot Q$
GSU_2 (*nazovistalna kombinacija*)	$1.0 \cdot (G_0 + G) + 0.3 \cdot Q$

4.3.2.2 Granično stanje nosivosti

GSN_1	$1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5 \cdot Q$
GSN_2	$1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5 \cdot Q + 1.5 \cdot (0.6 \cdot W_X)$
GSN_3	$1{,}35 \cdot (G_0+G) + 1.5 \cdot Q - 1.5 \cdot (0.6 \cdot W_X)$
GSN_4	$1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5 \cdot Q + 1.5 \cdot (0.6 \cdot W_Y)$
GSN_5	$1{,}35 \cdot (G_0+G) + 1.5 \cdot Q - 1.5 \cdot (0.6 \cdot W_Y)$
GSN_6	$1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5 \cdot W_X + 1.5 \cdot (0.6 \cdot Q)$
GSN_7	$1.35 \cdot (G_0+G) - 1.5 \cdot W_X + 1.5 \cdot (0.6 \cdot Q)$
GSN_8	$1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5 \cdot W_Y + 1.5 \cdot (0.6 \cdot Q)$
GSN_9	$1.35 \cdot (G_0+G) - 1.5 \cdot W_Y + 1.5 \cdot (0.6 \cdot Q)$
GSN_{10}	$1.0 \cdot (G_0+G) + 0.3 \cdot Q \pm 1.0 \cdot S_X + 0.3 \cdot S_Y + T_X$
GSN_{11}	$1.0 \cdot (G_0+G) + 0.3 \cdot Q \pm 1.0 \cdot S_X + 0.3 \cdot S_Y - T_X$
GSN_{12}	$1.0 \cdot (G_0+G) + 0.3 \cdot Q \pm 1.0 \cdot S_Y + 0.3 \cdot S_X + T_Y$
GSN_{13}	$1.0 \cdot (G_0+G) + 0.3 \cdot Q \pm 1.0 \cdot S_Y + 0.3 \cdot S_X - T_Y$

5. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN ZIDOVA

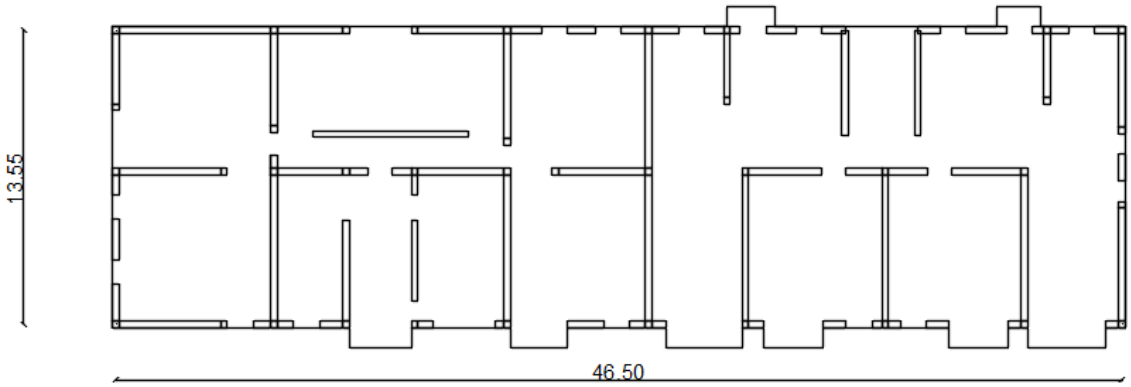
Zgrade koje zadovoljavaju sljedeće odredbe mogu se svrstati u "jednostavne zidane zgrade". Za takve zgrade izričita provjera sigurnosti nije obvezatna.

Pravila za jednostavne zidane zgrade

1. Ovisno o umnošku a_{gS}, za lokaciju i tip gradnje ograničuje se dopušteni broj katova iznad temeljnog tla, n, a u oba ortogonalna smjera treba predvidjeti zidove čija je najmanja ploština presjeka u svakom smjeru A_{min}. Najmanja ploština presjeka zidova izražena je kao najmanji postotak $p_{A,min}$ ukupne ploštine stropa po katu.
2. Tlocrt zgrade treba zadovoljiti sljedeće uvjete:
   a) tlocrt treba biti približno pravokutan
   b) omjer između duljine kraće i dulje stranice ne treba biti manji od najmanje vrijednosti $\lambda_{min} = 0{,}25$
   c) projekcija istaka u odnosu na pravokutni oblik ne treba biti veća od $p_{max} = 15\%$ duljine stranice usporedno sa smjerom projekcije
3. Nosivo zide zgrade treba ispuniti sljedeće uvjete:
   a) zgrada treba imat nosivo zide raspoređeno gotovo simetrično u tlocrtu u dva okomita smjera
   b) treba postaviti najmanje po dva usporedna zida u dva okomita smjera, pri čemu duljina svakog zida treba biti veća od 30% duljine zgrade u promatranom smjeru.
   c) razmak između tih zidova treba biti veći od 75% duljine zgrade u drugom smjeru
   d) nosivi zidovi trebaju nositi najmanje 75% vertikalnog opterećenja
   e) nosivi zidovi trebaju biti neprekinuti od temelja do vrha zgrade
4. U oba horizontalna smjera razlika masa i razlika ploština presjeka nosivih zidova susjednih katova treba biti ograničena maksimalnim vrijednostima $\Delta_{mass,max} = 20\%$ i $\Delta_{A,max} = 20\ \%$.

5.1 IZRAČUN UDJELA NOSIVIH ZIDOVA

- Debljina zidova: 0,3 m
- Tlocrtna površina etaže: 46.50 x 13.55 = 630.08 m^2



Crtež 5.1. Tlocrt karakteristične etaže

Smjer X

Ukupna duljina zidova: 97,70 m

Ukupna površina zidova: 97,70 x 0,3 = 29,31 m^2

Udio nosivih zidova: 29,31/630,08 = 0,047 = 4,7 %

Smjer Y

Ukupna duljina zidova: 104,70 m

Ukupna površina zidova: 104,70 x 0,3 = 31,41 m^2

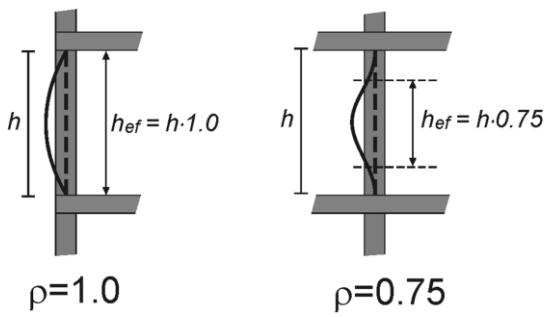
Udio nosivih zidova: 31,41/630,08 = 0,050 = 5,0 %

5.2 PRORAČUN ZIDOVA NA VERTIKALNA OPTEREĆENJA

Podaci za proračun zidova

- porobetonski blokovi, dimenzije: d x š x v = 62.5 x 30 x 20,0 cm
- normalizirana tlačna čvrstoća bloka: f_b = 4.40 MPa
- grupa zidnih blokova: 1, tankoslojni mort (K = 0,80)
- tlačna čvrstoća zida: $f_k = K \times f_b^{0,85} = 0.80 \cdot 4.40^{0,85} = 2.82$ MPa
- faktor smanjenja za vitkost i ekscentričnost(Φ_s) računa se po sljedećoj formuli:

$$\Phi_s = 0{,}85 - 0{,}0011\left(\frac{h_{ef}}{t_{ef}}\right)^2$$



Crtež 5.2. Efektivna visina zida

- parcijalni koef. sigurnosti za materijale: γ_M = 2,2 (B kategorija kontrole izvedbe, 2. kategorija kontrole proizvodnje).
- debljina nosivih zidova: t = 30 cm
- računska uzdužna sila: $N_{Sd} = N_g \cdot 1.35 + N_q \cdot 1.5$
- računska nosivost na uzdužnu silu: $N_{Rd} = \Phi_s \cdot A \cdot f_k / \gamma_M$

U nastavku je prikazan pojednostavljeni tablični proračun kojim je napravljena provjera nosivosti na vertikalna djelovanja u dva međusobno okomita smjera (smjer X i Y).

Proračunom se dokazuje da je računsko djelovanje manje od računske nosivosti:

$$N_{Sd} < N_{Rd}$$

Tablica 5.1. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalno djelovanje, smjer X

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

h= 2,90 m = katna visina γ_M= 2,20 = parcijalni faktor sigurnosti za zide

f_k= 2,82 MPa = tlačna čvrstoća zida γ_c= 1,50 = parcijalni faktor sigurnosti za beton

$f_{c,k}$= 30,0 MPa = tlačna čvrstoća betona n= 6 = broj etaža

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

zid / stup	dimenzije zida i otvora: debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	neto pov. zida/stupa Ai [m2]	ploha utjecaja: utjecajna duljina L' [m]	utjecajna širina B' [m]	opt. međukatne k.: stalno opter. g [kN/m2]	promj. opter. q [kN/m2]	opt. Krov: 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} [%]
Zx1/A-B	0,30	7,00		2,10	7,00	1,75	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	789	135	1267	0,70	1884	67
Zx1/B-E	0,30	10,50	2,85	2,30	10,50	1,15	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	803	133	1283	0,70	2059	62
Zx1/E-F	0,30	6,20	2,40	1,14	6,20	1,55	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	561	106	916	0,70	1023	90
Zx1/F-G	0,30	3,35	1,20	0,65	3,35	0,85	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	201	31	318	0,70	579	55
Zx1/G-I	0,30	5,30	2,40	0,87	5,30	1,10	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	361	64	583	0,70	781	75
Zx3/A-B	0,30	5,00	2,00	0,90	6,00	1,60	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	534	106	879	0,80	923	95
Zx3/B-E	0,30	10,50	1,11	2,82	10,50	1,80	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	1169	208	1890	0,80	2889	65
Zx3/E-F	0,30	4,30	1,90	0,72	6,20	3,00	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	918	205	1547	1,80	1661	93
Zx3/H-J	0,30	6,15	1,11	1,51	6,75	2,00	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	779	149	1274	0,80	1550	82
Zx3/J-L	0,30	6,15	1,11	1,51	6,75	2,00	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	779	149	1274	0,70	1357	94
Zx4/A-B	0,30	7,00	1,20	1,74	7,00	1,75	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	748	135	1212	0,70	1561	78
Zx4/B-C	0,30	3,05	1,20	0,56	3,05	0,80	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	173	27	273	0,70	498	55
Zx4/D-E	0,30	4,00	2,50	0,45	4,00	0,80	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	195	35	316	0,70	404	78
Zx4/E-F	0,30	6,20	3,00	0,96	6,20	1,15	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	429	78	697	0,70	861	81
Zx4/H-J	0,30	6,50	3,00	1,05	6,50	1,15	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	455	82	738	0,70	942	78
Zx4/J-K	0,30	6,50	3,00	1,05	6,50	1,15	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	455	82	738	0,70	942	78

Tablica 5.2. Dokaz mehaničke otpornosti zidova na vertikalno djelovanje, smjer Y

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

h=	2,90 m	= katna visina	γ_M=	2,20	= parcijalni faktor sigurnosti za zide
f_k=	2,82 MPa	= tlačna čvrstoća zida	γ_c=	1,50	= parcijalni faktor sigurnosti za beton
$f_{c,k}$=	30,0 MPa	= tlačna čvrstoća betona	n=	6	= broj etaža

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

	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} [%]
ZyA/1-3	0,30	6,25	2,70	1,07	6,25	1,50	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	542	103	887	0,70	956	93
ZyA/3-4	0,30	6,80	2,20	1,38	6,80	1,50	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	615	112	999	0,70	1238	81
ZyB/1-3	0,30	6,25	1,11	1,54	6,25	2,50	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	878	172	1442	0,80	1581	91
ZyB/3-4	0,30	6,25	1,11	1,54	6,25	2,50	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	878	172	1442	0,80	1581	91
ZyC/3-4	0,30	6,80	2,15	1,40	6,80	2,15	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	816	161	1342	0,80	1431	94
ZyD/3-4	0,30	6,80	2,05	1,43	6,80	2,30	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	865	172	1426	0,80	1461	98
ZyE/1-2	0,30	4,90		1,47	5,20	3,10	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	892	177	1470	0,80	1507	97
ZyE/3-4	0,30	6,80		2,04	7,40	3,05	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	1246	248	2055	0,80	2092	98
ZyF/1-4	0,30	13,55		4,07	13,55	3,05	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	2319	455	3813	0,80	4168	91
ZyG/1-2	0,30	3,30		0,99	4,70	2,35	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	609	121	1004	0,80	1015	99
ZyM/1-2	0,30	3,30		0,99	4,70	2,35	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	609	121	1004	0,80	1015	99
ZyH/3-4	0,30	6,80		2,04	6,80	3,25	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	1225	243	2019	0,80	2092	96
ZyJ/3-4	0,30	6,80		2,04	6,80	3,25	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	1225	243	2019	0,80	2092	96
ZyL/3-4	0,30	6,80		2,04	6,80	3,25	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	1225	243	2019	0,80	2092	96
ZyN/1-2	0,30	4,35		1,31	4,35	1,10	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	363	53	569	0,70	1171	49
ZyN/2-4	0,30	8,95	2,00	2,09	8,95	1,10	7,5	2,0	7,5	1,0	6,5	679	108	1079	0,70	1871	58

5.3 PRORAČUN ZIDOVA NA POTRESNA DJELOVANJA

Proračun ukupne potresne poprečne sile

- Zona seizmičnosti: VIII $\left(a_g = 0,22g\right)$
- Kategorija tla: A (stijena) → S=1,0 (faktor tla)
- Tip spektra: 1 (visoka seizmičnost)
- Broj katova: 5 + prizemlje
- Visina kata: h = 2,9 m

Ukupna poprečna potresna sila iznosi:

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

$S_d(T_1)$ = ordinata računskog spektra za period T_1

$T_1 = 0,016 \cdot H$ – osnovni period vibracija zgrade (s)

$H = 6 \cdot 2.9 = 17.4$ (m) - ukupna visina zgrade

$T_1 = 0.016 \cdot 17.4 = 0.28$

Ordinata računskog spektra nalazi se u području horizontalnog dijela spektra između točaka B i C jer je $T_B < T_1 < T_c$:

Tablica 5.3. Vrijednosti horizontalnog elastičnog spektra odgovora kategorije tla A

TIP TLA	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0

$T_B \le T_1 \le T_C$; $\rightarrow S_d\left(T_1\right) = (a_g \cdot S \cdot \beta_0)/q$

β_0=2,5 - faktor povećanja spektralnog ubrzanja pri viskoznom prigušenju ξ=5 %

$q = 2,5$- faktor ponašanja za omeđeno zide

a_g – računsko ubrzanje tla za određeni povratni period potresa : $a_g = a_{gR}\gamma_I$

γ_I – faktor važnosti građevine; razredu važnosti II. (obične zgrade) odgovara faktor važnosti γ_I=1,0

$$S_d\left(T_1\right) = (a_g \cdot S \cdot \beta_0)/q = (0,22g \cdot 1,0 \cdot 2,5)/2,5 = 0,22g$$

$m = W/g$ – ukupna masa ; W - računska težina zgrade

$\lambda = 1,0$ - korekcijski faktor

Računska težina zgrade (W):

6. ETAŽA I POZ 600:

POZ 600: $(g+\varphi \cdot \psi_{2i}q) \cdot A = (7.5+1.0 \cdot 0.3 \cdot 1.0) \cdot 630.08 =$	4914.62 *kN*
grede i serklaži 600: $b \cdot h' \cdot L_{uk} \cdot \gamma_c = 0.3 \cdot 0.3 \cdot 265.50 \cdot 25.0=$	597.38 *kN*
zidovi 6. etaže: $g_z \cdot h_z \cdot L_{uk}=1.95 \cdot 2.9 \cdot 202.4=$	1144.57*kN*
	W_6= 6656.57 *kN*

5. ETAŽA I POZ 500:

POZ 600: $(g+\varphi \cdot \psi_{2i}q) \cdot A = (7.5+1.0 \cdot 0.3 \cdot 2.0) \cdot 630.08 =$	5103.65 *kN*
grede i serklaži 600: $b \cdot h' \cdot L_{uk} \cdot \gamma_c = 0.3 \cdot 0.3 \cdot 265.50 \cdot 25.0=$	597.38 *kN*
zidovi 6. etaže: $g_z \cdot h_z \cdot L_{uk}=1.95 \cdot 2.9 \cdot 202.4=$	1144.57*kN*
	W_5= 6845.60 *kN*

4. ETAŽA I POZ 400:

POZ 600: $(g+\varphi \cdot \psi_{2i}q) \cdot A = (7.5+1.0 \cdot 0.3 \cdot 2.0) \cdot 630.08 =$	5103.65 *kN*
grede i serklaži 600: $b \cdot h' \cdot L_{uk} \cdot \gamma_c = 0.3 \cdot 0.3 \cdot 265.50 \cdot 25.0=$	597.38 *kN*
zidovi 6. etaže: $g_z \cdot h_z \cdot L_{uk}=1.95 \cdot 2.9 \cdot 202.4=$	1144.57*kN*
	W_4= 6845.60 *kN*

3. ETAŽA I POZ 300:

POZ 600: $(g+\varphi \cdot \psi_{2i}q) \cdot A = (7.5+1.0 \cdot 0.3 \cdot 2.0) \cdot 630.08 =$ 5103.65 *kN*

grede i serklaži 600: $b \cdot h' \cdot L_{uk} \cdot \gamma_c = 0.3 \cdot 0.3 \cdot 265.50 \cdot 25.0=$ 597.38 *kN*

zidovi 6. etaže: $g_z \cdot h_z \cdot L_{uk}=1.95 \cdot 2.9 \cdot 202.4=$ 1144.57*kN*

W_3= 6845.60 *kN*

2. ETAŽA I POZ 200:

POZ 600: $(g+\varphi \cdot \psi_{2i}q) \cdot A = (7.5+1.0 \cdot 0.3 \cdot 2.0) \cdot 630.08 =$ 5103.65 *kN*

grede i serklaži 600: $b \cdot h' \cdot L_{uk} \cdot \gamma_c = 0.3 \cdot 0.3 \cdot 265.50 \cdot 25.0=$ 597.38 *kN*

zidovi 6. etaže: $g_z \cdot h_z \cdot L_{uk}=1.95 \cdot 2.9 \cdot 202.4=$ 1144.57*kN*

W_2= 6845.60 *kN*

1. ETAŽA I POZ 100:

POZ 600: $(g+\varphi \cdot \psi_{2i}q) \cdot A = (7.5+1.0 \cdot 0.3 \cdot 2.0) \cdot 630.08 =$ 5103.65 *kN*

grede i serklaži 600: $b \cdot h' \cdot L_{uk} \cdot \gamma_c = 0.3 \cdot 0.3 \cdot 265.50 \cdot 25.0=$ 597.38 *kN*

zidovi 6. etaže: $g_z \cdot h_z \cdot L_{uk}=1.95 \cdot 2.9 \cdot 202.4=$ 1144.57*kN*

W_1= 6845.60 *kN*

Izračun težina skoncentriranih u razini međukatnih konstrukcija:

$W_{600} = W_6/2 = 6656.57 /2 = 3328.29$ kN
$W_{500} = (W_6+W_5)/2 = (6656.57 +6845.60)/2 = 6751.09$ *kN*
$W_{400} = (W_5+W_4)/2 = (6845.60+6845.60) /2 = 6845.60$ *kN*
$W_{300} = (W_4+W_3)/2 = (6845.60 +6845.60)/2 = 6845.60$ *kN*
$W_{200} = (W_3+W_2)/2 = (6845.60 +6845.60)/2 = 6845.60$ *kN*
$W_{100} = (W_2+W_1)/2 = (6845.60 +6845.60)/2 = 6845.60$ *kN*

Ukupna računska težina zgrade:

$W=\sum Wi = 3328.29 + 6751.09 + 4 \cdot 6845.60 = 37\ 461.78$ *k*N

$m = W/g = 37\ 461.78$ *kN* / 9,81 m/s^2 = 3818.73 *kNs/m*

Ukupna potresna poprečna sila iznosi:

$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = 0{,}22 \cdot 9{,}81 \cdot 3818.73 \cdot 1{,}0 = 8241.59\ kN$

Razdioba ukupne potresne sile po zidovima

$$F_{b,i} = F_b * \left(\frac{W_i * z_i}{\sum(W_i * z_i)}\right)$$

$$F_{b,600} = 8241.59 \cdot \left(\frac{3328.29 \cdot 17.4}{6845.60 \cdot 2.9 + 6845.60 \cdot 5.8 + 6845.60 \cdot 8.7 + 6845.60 \cdot 11.6 + 6751.09 \cdot 14.5 + 3328.29 \cdot 17.4}\right)$$

$$= 1347.04\ kN$$

$$F_{b,500} = 8241.59 \cdot \left(\frac{6751.09 \cdot 14.5}{6845.60 \cdot 2.9 + 6845.60 \cdot 5.8 + 6845.60 \cdot 8.7 + 6845.60 \cdot 11.6 + 6751.09 \cdot 14.5 + 3328.29 \cdot 17.4}\right)$$

$$= 2276.93\ kN$$

$$F_{b,400} = 8241.59 \cdot \left(\frac{6845.60 \cdot 11.6}{6845.60 \cdot 2.9 + 6845.60 \cdot 5.8 + 6845.60 \cdot 8.7 + 6845.60 \cdot 11.6 + 6751.09 \cdot 14.5 + 3328.29 \cdot 17.4}\right)$$

$$= 1847.05\ kN$$

$$F_{b,300} = 8241.59 \cdot \left(\frac{6845.60 \cdot 8.7}{6845.60 \cdot 2.9 + 6845.60 \cdot 5.8 + 6845.60 \cdot 8.7 + 6845.60 \cdot 11.6 + 6751.09 \cdot 14.5 + 3328.29 \cdot 17.4}\right)$$

$$= 1385.29\ kN$$

$$F_{b,200} = 8241.59 \cdot \left(\frac{6845.60 \cdot 5.8}{6845.60 \cdot 2.9 + 6845.60 \cdot 5.8 + 6845.60 \cdot 8.7 + 6845.60 \cdot 11.6 + 6751.09 \cdot 14.5 + 3328.29 \cdot 17.4}\right)$$

$$= 923.52\ kN$$

$$F_{b,100} = 8241.59 \cdot \left(\frac{6845.60 \cdot 2.9}{6845.60 \cdot 2.9 + 6845.60 \cdot 5.8 + 6845.60 \cdot 8.7 + 6845.60 \cdot 11.6 + 6751.09 \cdot 14.5 + 3328.29 \cdot 17.4}\right)$$

$$= 461.76\ kN$$

Kontrola: $\sum F_{b,i} = F_b$

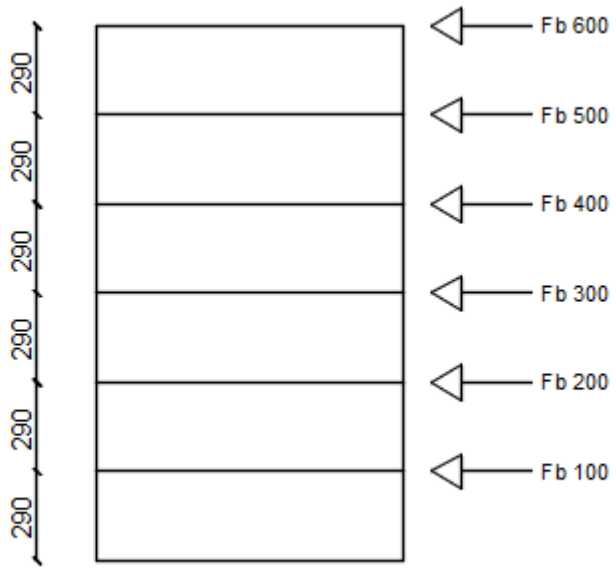
$$\sum F_{b,i} = 1347.04 + 2276.93 + 1847.05 + 1385.29 + 923.52 + 461.76 = 8301{,}05$$

$$8241.59 = 8241.59$$

Ukupan moment savijanja:

$$M_{Ed} = F_{200} * h_{200} + F_{300} * h_{300} + F_{400} * h_{400} + F_{500} * h_{500} + F_{600} * h_{600}$$

$$M_{Ed} = 461.76 \cdot 2.9 + 923.52 \cdot 5.8 + 1385.29 \cdot 8.7 + 1847.05 \cdot 11.6 + 2276.93 \cdot 14.5 + 1347.04 \cdot 17.4 = 96\,627.16\ kN$$



Crtež 5.3. Raspodjela potresne sile po etažama [kN]

Tablica 5.4. Proračun sila od potresa, smjer X

V_{ed} = 8242 kN = ukupna poprečna sila od potresa
M_{ed} = 96627 kNm = ukupan moment od potresa
E = 1570 MPa = modul elastičnosti
G = 628,0 MPa = modul posmika
f_k = 2,82 MPa = tlačna čvrstoća zida
f_{vk} = 0,65 MPa = posmična čvrstoća zida
γ_M = 2,20 = parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s = 1,15 = 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	21
	debljina	duljina	površina	Σ duljina	visina		početna	moment	poprečna	stalno	promjenjivo	**računska**	**stat**	krak unut.	**računsko**	duljina	**računska**	**računska**			**Armat.**
Zid	zida	zida	zida	otvora	zida	k1	krutost	od potresa	sila od pot.	djelovanje	djelovanje	**vert. sila**	**visina**	sila	**djelovanje**	tlačne zone	**nosivost**	**nosivost**	V_{Sd}/V_{Rd}	F_{Sd}/F_{Rd}	**As**
	t [m]	L [m]	A [m2]	Li [m]	H [m]		$K_{e,otv}$ [MN/m]	M_{Sd} [kNm]	V_{Sd} [kN]	N_G [kN]	N_Q [kN]	**N_{Sd} [kN]**	**d [m]**	z [m]	**$F_{Sd,i}$ [kN]**	xu [m]	**V_{Rd} [kN]**	**$F_{m,Rd}$ [kN]**	**[%]**	**[%]**	**[cm2]**
Zx1/A-B	0,30	7,00	2,10		17,40	1,00	1,1	6813	581	789	135	**829,5**	**6,9**	5,48	**1657,9**	2,74	**620,5**	**2318,0**	**93,7**	**71,5**	**19,0**
Zx1/B-E	0,30	10,50	3,15	2,85	17,40	0,68	3,4	21605	1843	803	133	**842,9**	**10,4**	8,28	**3030,7**	4,14	**930,7**	**3502,4**	**79,2**	**86,5**	**18,1**
Zx1/E-F	0,30	6,20	1,86	2,40	17,40	0,54	0,8	4787	408	561	106	**592,8**	**6,1**	4,84	**1285,4**	2,42	**549,5**	**2047,3**	**74,3**	**62,8**	**15,9**
Zx1/F-G	0,30	3,35	1,01	1,20	17,40	0,58	0,1	778	66	201	31	**210,3**	**3,2**	2,56	**408,9**	1,28	**296,9**	**1082,9**	**22,3**	**37,8**	**4,6**
Zx1/G-I	0,30	5,30	1,59	2,40	17,40	0,47	0,5	3023	258	361	64	**380,2**	**5,2**	4,12	**923,9**	2,06	**469,8**	**1742,8**	**54,9**	**53,0**	**12,5**
Zx3/A-B	0,30	5,00	1,50	2,00	17,40	0,53	0,4	2547	217	534	106	**565,8**	**4,9**	3,88	**939,3**	1,94	**443,2**	**1641,2**	**49,0**	**57,2**	**8,6**
Zx3/B-E	0,30	10,50	3,15	1,11	17,40	0,88	3,4	21605	1843	1169	208	**1231,4**	**10,4**	8,28	**3225,0**	4,14	**930,7**	**3502,4**	**79,2**	**92,1**	**13,6**
Zx3/E-F	0,30	4,30	1,29	1,90	17,40	0,48	0,3	1631	139	918	205	**979,5**	**4,2**	3,32	**981,1**	1,66	**381,1**	**1404,4**	**36,5**	**69,9**	**0,0**
Zx3/H-J	0,30	6,15	1,85	1,11	17,40	0,79	0,7	4675	399	779	149	**823,7**	**6,0**	4,80	**1385,8**	2,40	**545,1**	**2030,4**	**73,1**	**68,3**	**12,9**
Zx3/J-L	0,30	6,15	1,85	1,11	17,40	0,79	0,7	4675	399	779	149	**823,7**	**6,0**	4,80	**1385,8**	2,40	**545,1**	**2030,4**	**73,1**	**68,3**	**12,9**
Zx4/A-B	0,30	7,00	2,10	1,20	17,40	0,80	1,1	6813	581	748	135	**788,5**	**6,9**	5,48	**1637,4**	2,74	**620,5**	**2318,0**	**93,7**	**70,6**	**19,5**
Zx4/B-C	0,30	3,05	0,92	1,20	17,40	0,54	0,1	588	50	173	27	**181,1**	**2,9**	2,32	**344,0**	1,16	**270,3**	**981,4**	**18,6**	**35,1**	**3,7**
Zx4/D-E	0,30	4,00	1,20	2,50	17,40	0,26	0,2	1317	112	195	35	**205,5**	**3,9**	3,08	**530,3**	1,54	**354,5**	**1302,8**	**31,7**	**40,7**	**7,5**
Zx4/E-F	0,30	6,20	1,86	3,00	17,40	0,43	0,8	4787	408	429	78	**452,4**	**6,1**	4,84	**1215,2**	2,42	**549,5**	**2047,3**	**74,3**	**59,4**	**17,5**
Zx4/H-J	0,30	6,50	1,95	3,00	17,40	0,46	0,9	5493	469	455	82	**479,6**	**6,4**	5,08	**1321,2**	2,54	**576,1**	**2148,8**	**81,3**	**61,5**	**19,3**
Zx4/J-K	0,30	6,50	1,95	3,00	17,40	0,46	0,9	5493	469	455	82	**479,6**	**6,4**	5,08	**1321,2**	2,54	**576,1**	**2148,8**	**81,3**	**61,5**	**19,3**
							15,3	96627,2	8241,6												

Tablica 5.5. Proračun sila od potresa, smjer Y

V_{sd} = 8242 kN = ukupna poprečna sila od potresa
M_{sd} = 96627 kNm = ukupan moment od potresa
E = 1570 MPa = modul elastičnosti
G = 628,0 MPa = modul posmika
f_k = 2,82 MPa = tlačna čvrstoća zida
f_{vk} = 0,65 MPa = posmična čvrstoća zida
γ_M = 2,20 = parcijalni faktor sigurnosti za zide
γ_s = 1,15 = parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

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

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

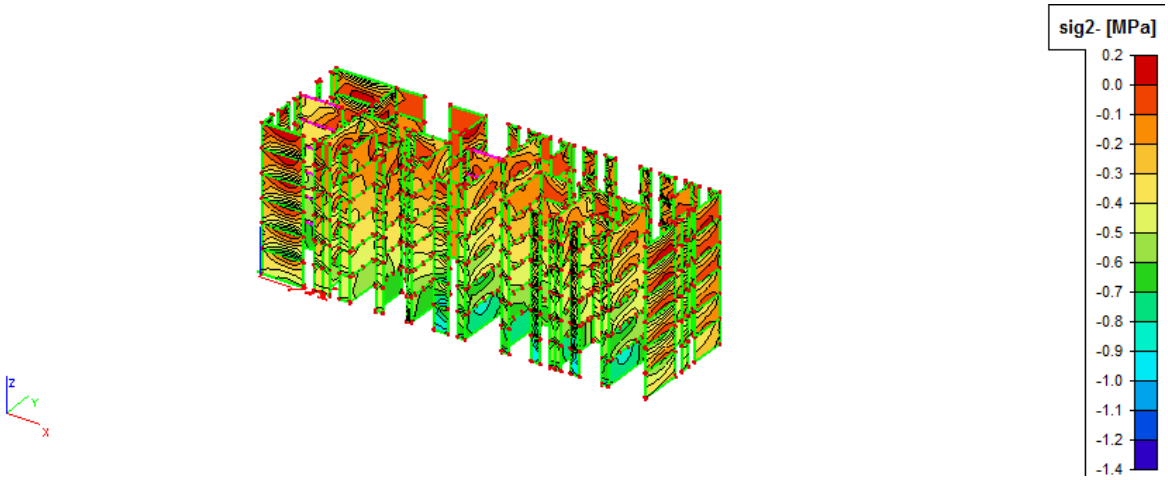
$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha\frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	debljina	duljina	površina	Σ duljina	visina		početna	moment	poprečna	stalno	promjenjivo	**računska**	**stat**	krak unut.	**računsko**	duljina	**računska**	**računska**			**Armat.**
Zid	zida	zida	zida	otvora	zida	k1	krutost	od potresa	sila od pot.	djelovanje	djelovanje	**vert. sila**	**visina**	sila	**djelovanje**	tlačne zone	**nosivost**	**nosivost**	V_{Sd}/V_{Rd}	F_{Sd}/F_{Rd}	**As**
	t [m]	L [m]	A [m2]	Li [m]	H [m]		$K_{e,otv}$ [MN/m]	M_{Sd} [kNm]	V_{Sd} [kN]	N_G [kN]	N_Q [kN]	**N_{Sd} [kN]**	**d [m]**	z [m]	**$F_{Sd,I}$ [kN]**	xu [m]	**V_{Rd} [kN]**	**$F_{m,Rd}$ [kN]**	**[%]**	**[%]**	**[cm2]**
ZyA/1-3	0,30	6,25	1,88	2,70	17,40	0,49	0,8	3906	333	789	**524**	**103**	**6,1**	4,88	**852,0**	2,44	**554,0**	**2064,2**	**60,1**	**41,3**	**17,2**
ZyA/3-4	0,30	6,80	2,04	2,20	17,40	0,62	1,0	4993	426	803	**615**	**112**	**6,7**	5,32	**994,6**	2,66	**602,7**	**2250,4**	**70,7**	**44,2**	**20,3**
ZyB/1-3	0,30	6,25	1,88	1,11	17,40	0,79	0,8	3906	333	561	**878**	**172**	**6,1**	4,88	**886,5**	2,44	**554,0**	**2064,2**	**60,1**	**42,9**	**16,4**
ZyB/3-4	0,30	6,25	1,88	1,11	17,40	0,79	0,8	3906	333	201	**878**	**172**	**6,1**	4,88	**886,5**	2,44	**554,0**	**2064,2**	**60,1**	**42,9**	**16,4**
ZyC/3-4	0,30	6,80	2,04	2,15	17,40	0,63	1,0	4993	426	361	**816**	**161**	**6,7**	5,32	**1019,1**	2,66	**602,7**	**2250,4**	**70,7**	**45,3**	**19,7**
ZyD/3-4	0,30	6,80	2,04	2,05	17,40	0,65	1,0	4993	426	534	**865**	**172**	**6,7**	5,32	**1024,6**	2,66	**602,7**	**2250,4**	**70,7**	**45,5**	**19,6**
ZyE/1-2	0,30	4,90	1,47		17,40	1,00	0,4	1913	163	1169	**892**	**177**	**4,8**	3,80	**591,9**	1,90	**434,3**	**1607,4**	**15,0**	**36,8**	**9,5**
ZyE/3-4	0,30	6,80	2,04		17,40	1,00	1,0	4993	426	918	**1246**	**248**	**6,7**	5,32	**1062,6**	2,66	**602,7**	**2250,4**	**70,7**	**47,2**	**18,7**
ZyF/1-4	0,30	13,55	4,07		17,40	1,00	6,9	34519	2944	779	**2319**	**455**	**13,4**	10,72	**3447,6**	5,36	**1201,0**	**4534,6**	**245,1**	**76,0**	**68,8**
ZyG/1-2	0,30	3,30	0,99		17,40	1,00	0,1	593	51	779	**609**	**121**	**3,2**	2,52	**295,7**	1,26	**292,5**	**1066,0**	**17,3**	**27,7**	**4,0**
ZyM/1-2	0,30	3,30	0,99		17,40	1,00	0,1	593	51	748	**609**	**121**	**3,2**	2,52	**295,7**	1,26	**292,5**	**1066,0**	**17,3**	**27,7**	**4,0**
ZyH/3-4	0,30	6,80	2,04		17,40	1,00	1,0	4993	426	173	**1225**	**243**	**6,7**	5,32	**1060,1**	2,66	**602,7**	**2250,4**	**70,7**	**47,1**	**18,8**
ZyJ/3-4	0,30	6,80	2,04		17,40	1,00	1,0	4993	426	195	**1225**	**243**	**6,7**	5,32	**1060,1**	2,66	**602,7**	**2250,4**	**70,7**	**47,1**	**18,8**
ZyL/3-4	0,30	6,80	2,04		17,40	1,00	1,0	4993	426	429	**1225**	**243**	**6,7**	5,32	**1060,1**	2,66	**602,7**	**2250,4**	**70,7**	**47,1**	**18,8**
ZyN/1-2	0,30	4,35	1,31		17,40	1,00	0,3	1346	115	455	**363**	**53**	**4,2**	3,36	**427,0**	1,68	**385,6**	**1421,3**	**29,8**	**30,0**	**8,6**
ZyN/2-4	0,30	8,95	2,69	2,00	17,40	0,74	2,2	10993	938	455	**679**	**108**	**8,8**	7,04	**1615,5**	3,52	**793,3**	**2977,9**	**118,2**	**54,2**	**34,7**
							19,2	96627,2	8241,6												

5.4 PRIKAZ NAPREZANJA ZIDOVA

Prikaz naprezanja zidanih zidova konstrukcije iz programskog modela za kombinaciju opterećenja GSN–1 (Crtež 5.4.) te za potresnu anvelopu opterećenja (Crtež 5.5.).

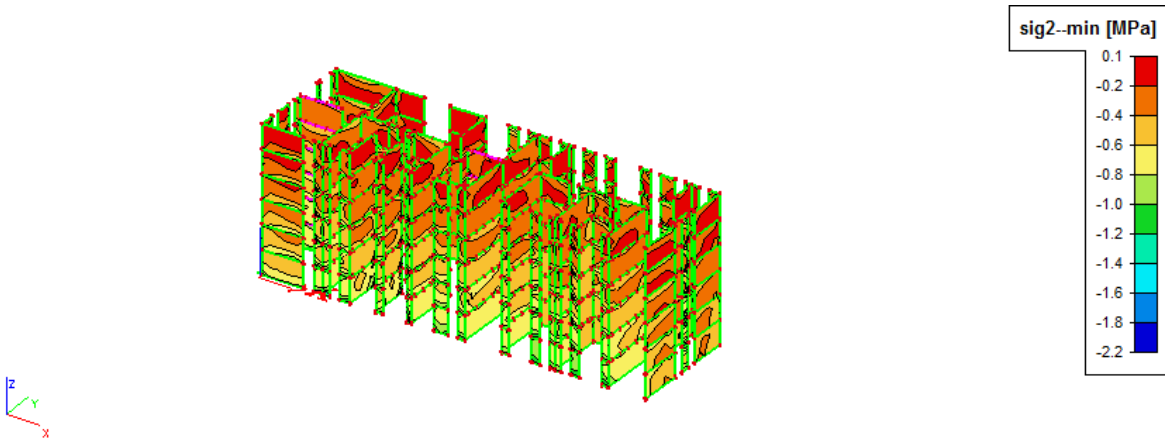
1) Osnovna kombinacija opterećenja



Crtež 5.4. Prikaz glavnih tlačnih naprezanja [MPa] u osi zida za osnovnu kombinaciju

$$GSN\text{-}1: 1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5Q$$

2) Anvelopa potresnog opterećenja

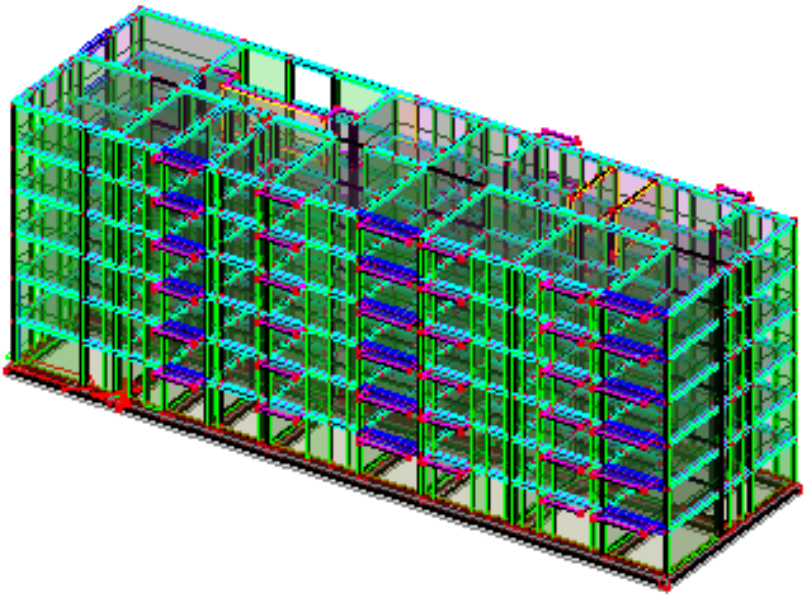


Slika 5.5. Prikaz glavnih tlačnih naprezanja [MPa] u osi zida za anvelopu potresa

Ni za jednu kombinaciju opterećenja maksimalno naprezanje u zidanim zidovima ne prelazi čvrstoću zida f_k = 2,82 MPa.

6. REZULTATI PRORAČUNA NA POTRES

Proračun na potres je proveden u računalnom programu SCIA Engineer 15.3 u kojoj je napravljen 3D model konstrukcije kao šesterokatnice zidane blokovima od porobetona temeljene na trakastom tipu temelja.



Crtež 6.1. Prikaz modela zidane zgrade

6.1 PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA ZIDANU ZGRADU

Spektralnom analizom obuhvaćeno je prvih 50 modova konstrukcije.

Tablica 6.1. Prikaz vlastitih vektora

Mode	Omega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	Wxi / Wxtot	Wyi / Wytot	Wzi / Wztot	Wxi_R / Wxtot_R	Wyi_R / Wytot_R	Wzi_R / Spectral
1	12.7855	0.4914	2.0349	0.0472	0.4870	0.0001	0.2068	0.0050	0.1563
2	13.5960	0.4621	2.1639	0.1963	0.1917	0.0000	0.0929	0.0223	0.3075
3	16.0420	0.3917	2.5532	0.4773	0.0035	0.0000	0.0030	0.0683	0.2388
4	25.3240	0.2481	4.0304	0.0001	0.0000	0.0771	0.0001	0.0012	0.0000
5	27.5233	0.2283	4.3805	0.0002	0.0000	0.0012	0.0000	0.0477	0.0000
6	31.6139	0.1987	5.0315	0.0001	0.0000	0.0240	0.0000	0.0004	0.0000
7	37.5921	0.1671	5.9830	0.0045	0.0000	0.0027	0.0000	0.1312	0.0002
8	39.1026	0.1607	6.2234	0.0002	0.0016	0.8282	0.0018	0.0130	0.0002
9	41.0056	0.1532	6.5262	0.0133	0.0000	0.0255	0.0014	0.5979	0.0020
10	41.9483	0.1498	6.6763	0.0004	0.0006	0.0014	0.0031	0.0047	0.0002
11	44.7455	0.1404	7.1215	0.0048	0.0013	0.0023	0.0020	0.0043	0.0006
12	46.7071	0.1345	7.4337	0.0114	0.0122	0.0046	0.0265	0.0088	0.0143
13	47.2709	0.1329	7.5234	0.0073	0.0407	0.0002	0.1028	0.0013	0.0411
14	49.9761	0.1257	7.9540	0.0510	0.0009	0.0012	0.0010	0.0187	0.0073
15	51.6612	0.1216	8.2221	0.0037	0.0411	0.0018	0.1149	0.0028	0.0175
16	54.4968	0.1153	8.6734	0.0111	0.1053	0.0022	0.2794	0.0053	0.0541
17	56.2398	0.1117	8.9508	0.0542	0.0019	0.0003	0.0083	0.0040	0.0377
18	57.4429	0.1094	9.1423	0.0101	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0043
19	58.9326	0.1066	9.3794	0.0041	0.0072	0.0047	0.0086	0.0041	0.0037
20	60.6190	0.1037	9.6478	0.0013	0.0025	0.0001	0.0005	0.0022	0.0033
21	63.2812	0.0993	10.0715	0.0046	0.0007	0.0001	0.0051	0.0032	0.0074
22	66.0209	0.0952	10.5076	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006
23	66.4255	0.0946	10.5719	0.0000	0.0018	0.0018	0.0009	0.0000	0.0002
24	68.9063	0.0912	10.9668	0.0008	0.0122	0.0000	0.0067	0.0004	0.0099
25	69.5317	0.0904	11.0663	0.0001	0.0029	0.0001	0.0013	0.0002	0.0026
26	70.1209	0.0896	11.1601	0.0000	0.0002	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
27	73.1810	0.0859	11.6471	0.0002	0.0093	0.0008	0.0020	0.0001	0.0046
28	74.2755	0.0846	11.8213	0.0000	0.0000	0.0006	0.0000	0.0005	0.0001
29	76.4420	0.0822	12.1661	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0002
30	78.1904	0.0804	12.4444	0.0007	0.0000	0.0001	0.0002	0.0004	0.0005
31	80.7867	0.0778	12.8576	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0010	0.0002
32	81.8511	0.0768	13.0270	0.0001	0.0000	0.0005	0.0001	0.0001	0.0001
33	82.4018	0.0763	13.1147	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
34	83.4989	0.0752	13.2893	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001
35	84.0269	0.0748	13.3733	0.0000	0.0001	0.0006	0.0002	0.0004	0.0001
36	84.1788	0.0746	13.3975	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001
37	84.7599	0.0741	13.4900	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0003	0.0000
38	85.4605	0.0735	13.6015	0.0009	0.0010	0.0000	0.0015	0.0005	0.0016
39	86.0954	0.0730	13.7025	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	0.0000
40	86.4606	0.0727	13.7606	0.0017	0.0004	0.0001	0.0011	0.0008	0.0004
41	87.1816	0.0721	13.8754	0.0148	0.0082	0.0001	0.0105	0.0031	0.0179
42	89.1559	0.0705	14.1896	0.0018	0.0010	0.0004	0.0031	0.0024	0.0024
43	89.4945	0.0702	14.2435	0.0000	0.0000	0.0002	0.0003	0.0002	0.0001
44	90.2075	0.0697	14.3570	0.0004	0.0004	0.0000	0.0015	0.0010	0.0008
45	91.9726	0.0683	14.6379	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
46	92.4713	0.0679	14.7173	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
47	92.6499	0.0678	14.7457	0.0002	0.0001	0.0002	0.0001	0.0009	0.0003
48	93.3184	0.0673	14.8521	0.0005	0.0007	0.0001	0.0016	0.0001	0.0004
49	93.4552	0.0672	14.8739	0.0014	0.0018	0.0002	0.0041	0.0004	0.0011
50	93.5793	0.0671	14.8936	0.0002	0.0004	0.0000	0.0008	0.0000	0.0002
				0.9273	0.9390	0.9842	0.8954	0.9601	0.9409

Prema EC-8, zadovoljen je uvjet da suma svih upotrebljenih vlastitih oblika u proračunu moraju aktivirati najmanje 90% ukupne mase, kao i svi vlastiti oblici sa minimalno 5% aktivirane mase.

Ukupna aktivirana masa po smjerovima iznosi:

- za X smjer 92,73 %

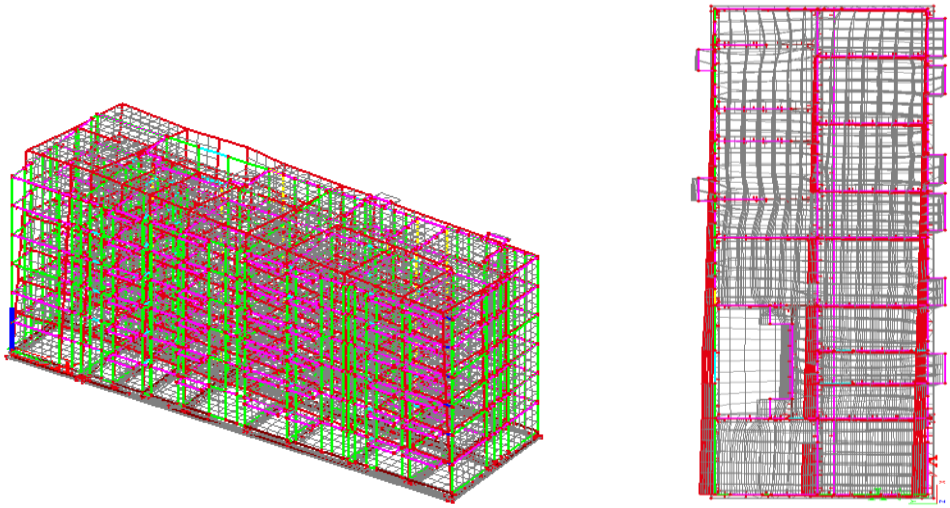
- za Y smjer 93,90 %

- za Z smjer 98,42 %

Prikazani su modovi konstrukcije koji aktiviraju najviše mase, i to na kompletnoj konstrukciji.

a) Prvi vlastiti vektor

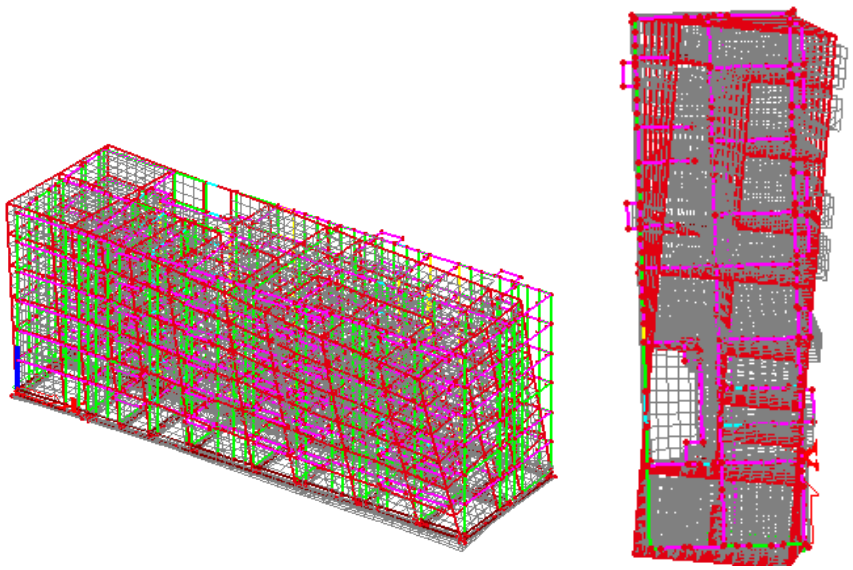
- period 0,4914 s
- aktivirano mase u X smjeru 4,72 %
- aktivirano mase u Y smjeru 48,70 %



Crtež 6.2. Mod 1

b) Drugi vlastiti vektor

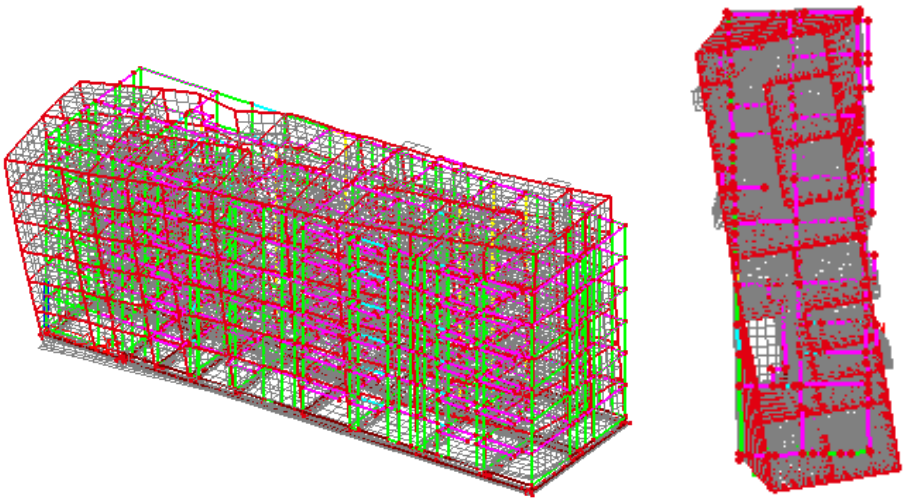
- period 0,4621 s
- aktivirano mase u X smjeru 19,63 %
- aktivirano mase u Y smjeru 19,17 %



Crtež 6.3. Mod 2

c) Treći vlastiti vektor

- period 0,3918 s
- aktivirano mase u X smjeru 47,73 %
- aktivirano mase u Y smjeru 0,35 %



Crtež 6.4. Mod 3

6.2 PRORAČUN POMAKA KONSTRUKCIJE USLJED POTRESA

Proračun pomaka konstrukcije usljed djelovanja potresa proveden je na parametre potresa za granično stanje uporabljivosti.

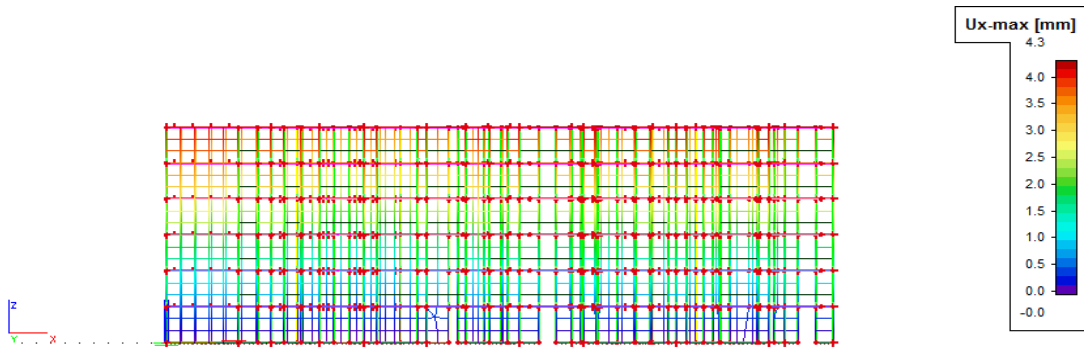
Računsko ubrzanje tla: (T_{NCR} =95 godina; 10 godina; P_{NCR}=10%): $a_{gr,GSU}$ = 0,12 g = 1,18 m/s^2

Ograničenje međukatnog pomaka iznosi: $d_r\ \nu \leq 0{,}005$ h; $d_r \leq 0{,}005$ h

Vrijednost faktora ν za proračun graničnog stanja ograničenog oštećenja je ν =1,0.

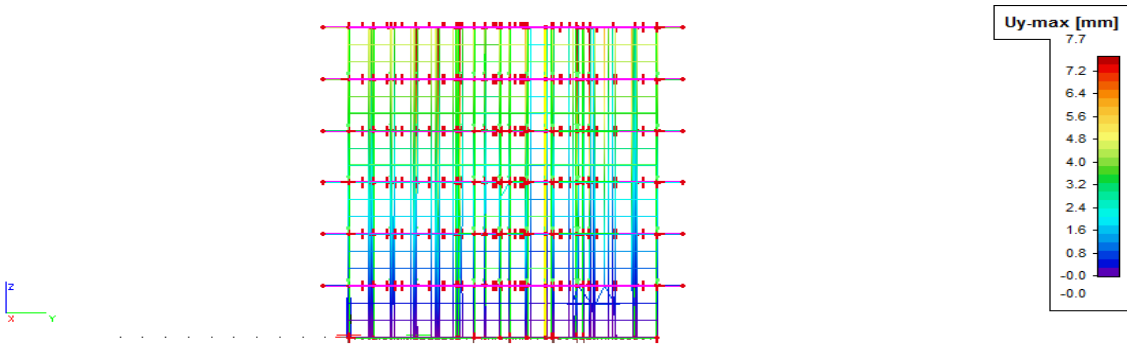
Dozvoljeni međukatni pomak iznosi $d_r \leq 0{,}005$ h tj. $d_r \leq 0{,}005*2900 = 14{,}5$ mm

Na prikazanom modelu konstrukcije u x i u y smjeru maksimalni tj. apsolutni pomak vrha konstrukcije ne prelazi iznos dopuštenog međukatnog pomaka, dakle pomaci konstrukcije su manji od dozvoljenih (pomaci su prikazani na Crtežu 6.5.i Crtežu 6.6.).



Crtež 6.5. Deformacija konstrukcije u smjeru osi x

anvelopa kombinacija opterećenja



Crtež 6.6. Deformacija konstrukcije u smjeru osi y

anvelopa kombinacija opterećenja

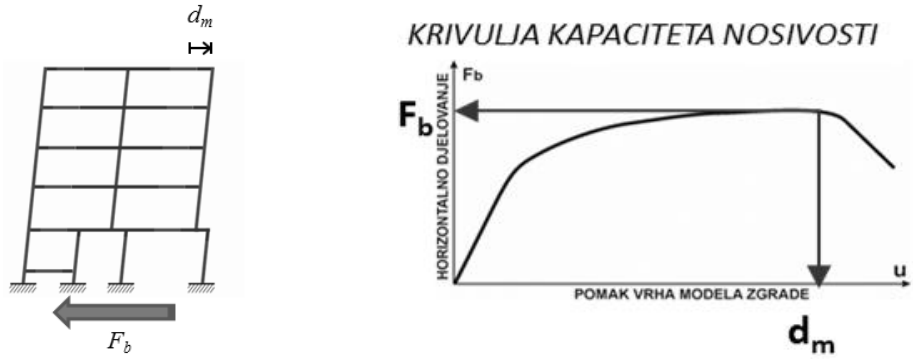
7. METODA NAGURAVANJA

7.1 Općenito o metodi naguravanja

Ukupni kapacitet neke konstrukcije ovisi o tzv. kapacitetima nosivosti i deformabilnosti. Za uobičajeno opterećenje konstrukcije ostaju u linearno-elastičnom području rada materijala i odnos između nosivosti i deformacije je jednostavan. Opterećenje potresom, ovisno o njegovoj jačini, uzrokuje prelazak dijelova nosivog sistema u nelinearno područje rada materijala. Zbog toga je za inženjere veoma zanimljivo pretpostaviti ponašanje konstrukcije pošto njezini pojedini elementi prekorače svoju granicu linearno-elastičnog ponašanja. U tu svrhu razvijena je metoda postupnog guranja poznata kao *Pushover Analiza.*

Metoda naguravanja predstavlja efikasan postupak za nelinearnu analizu potresne otpornosti. U kombinaciji sa spektrom odgovora sustava s jednim stupnjem slobode metodom se dobiva ocjena kapaciteta nosivosti i deformacija konstrukcije uslijed djelovanja potresa.

Metoda postupnog guranja provodi se tako da se konstrukcija podvrgne monotono rastućem bočnom opterećenju uz konstantno vertikalno opterećenje. Takvo opterećenje predstavlja inercijske sile koje nastaju kao posljedica ubrzanja temeljnog tla. Postupnim povećavanjem bočnog opterećenja dolazi do progresivnog popuštanja elemenata konstrukcije, što dovodi do smanjenja njezine krutosti. Metoda postupnog guranja daje karakterističnu nelinearnu krivulju odnosa sile i pomaka, a najčešće se prikazuje kao odnos ukupne poprečne sile F_b u razini temelja i pomaka vrha zgrade d_m (*Crtež 7.1.*). Takav je prikaz vrlo zanimljiv jer istodobno daje podatke o nosivosti, duktilnosti i krutosti konstrukcije.



Crtež 7.1. Prikaz višestupnjevnog sustava sa poprečnom silom u razini temelja i krivulja kapaciteta nosivosti

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

7.2 Pretpostavke metode naguravanja iz EN 1998-1

- Vrijednost savojne i poprečne krutosti zida i armiranog betona se uzima ½ od stvarne kako bi se simuliralo raspucavanje presjeka (*EN 1998-1, 4.3.1(7)*)
- Treba se koristiti minimalno bi-linearni odnos sila-deformacija na razini elementa (EN 1998-1, 4.3.3.4.1(2))
- Nulta krutost se može pretpostaviti nakon granice popuštanja (EN 1998-1, 4.3.3.4.1(3))
- Trebaju se koristiti srednje vrijednosti za svojstva materijala (EN 1998-1, 4.3.3.4.1(4))
- Uzdužne sile uslijed gravitacijskog opterećenja se trebaju uzeti u obzir prilikom proračuna (EN 1998-1, 4.3.3.4.1(5)).
- Za zgrade nepravilnog oblika je potrebno napraviti prostorni model, te dva različita proračuna za dva smjera, pri čemu nije potrebno u pojedinom proračunu uzimati u obzir horizontalna djelovanja iz dva različita smjera
- Potrebno je provesti proračun za dvije vrste raspodjele horizontalnog opterećenja:

jednolika – proporcionalna masi sustava i neovisna o visini

modalna – prema *EN 1998-1, 4.3.3.2; 4.3.3.3* ako je :

zadovoljena tlocrtna pravilnost prema *EN 1998-1, 4.2.3.3*

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

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

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

gdje je : z_i - katna visina

m_i - katna masa prema *EN 1998-1, 3.2.4*

F_b - ukupna poprečna sila

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

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

gdje je:

L_i - dimenzija kata okomita na djelovanje potresa

- Vertikalne komponente seizmičkog djelovanja se mogu zanemariti (EN 1996-1, 4.3.3.5.2)
- Krivulja kapaciteta je odnos između ukupne poprečne sile F_b, te pomaka čvora koji se prati, tj. pomaka kontrolnog čvora d_m
- Krivulja kapaciteta bi trebala iznositi maksimalno 150% vrijednosti ciljanog pomaka
- Ciljani pomak se određuje na osnovu seizmičkih zahtjeva elastičnog spektra u odnosu na pomak ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava. Vidjeti EN 1998-1 Annex B
- Krivulja kapaciteta se može koristiti da bi se odredio:

Faktor ponašanja α_u / α_i, gdje je:

α_u - pomak pri otkazivanju sustava

α_i - pomak pri pojavi plastičnog mehanizma

7.3 Postupak provedbe Pushover analize

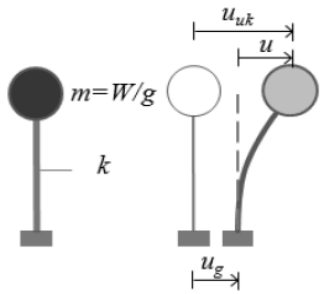
Metoda naguravanja se provodi po sljedećim koracima:

- 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.

Sustave možemo podijeliti na dvije vrste:

a) jednostupnjevne
b) višestupnjevne sustave.

a) Jednostupnjevni model – jednostupnjevni sustav:



Crtež 7.2. Jednostupnjevni model - jednostupnjevni sustav

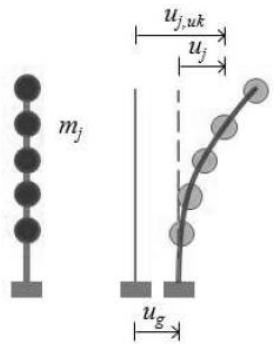
gdje su :

u_g - pomaci tla pri seizmičkom djelovanju,

u - relativni pomaci,

u_{uk} - ukupni pomaci.

b) Višestupnjevni model – višestupnjevni sustav:



Crtež 7.3. Višestupnjevni model - višestupnjevni sustav

gdje su :

u_g - pomaci tla pri seizmičkom djelovanju,

u_j - relativni pomaci,

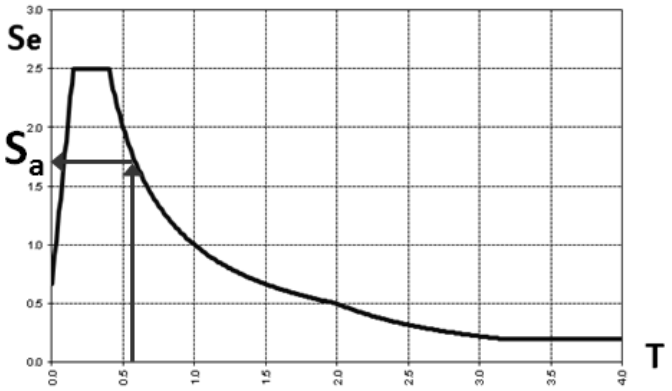
$u_{j,uk}$ - ukupni pomaci.

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

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

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \text{ - vlastiti period}$$

Iz ovih izraza može se zaključiti da je vlastiti period sustava fizikalna karakteristika sustava koja je određena masom i krutošću sustava. Ovisno o vlastitom periodu sustava razlikuju se pomaci i ubrzanja koja će JS doživjeti pod utjecajem ubrzanja tla u_g. To se može vidjeti iz elastičnog spektra odgovora gdje je prikazana ovisnost ubrzanja JS-a u odnosu na vlastiti period T. Iz poznatog vlastitog perioda sustava lako se može odrediti spektralno ubrzanje, kao što se može vidjeti na *Crtežu 7.4.*



Crtež 7.4. Određivanje spektralnog ubrzanja na temelju poznatog vlastitog perioda

Iz poznatog spektralnog ubrzanja može se odrediti pseudosila F, koja je jednaka umnošku mase (m) JS-a i spektralnog ubrzanja (S_a):

$$F = m \cdot S_a$$

Pseudo sila se može izraziti i kao produkt krutosti (k) JS-a i spektralnog pomaka (S_d):

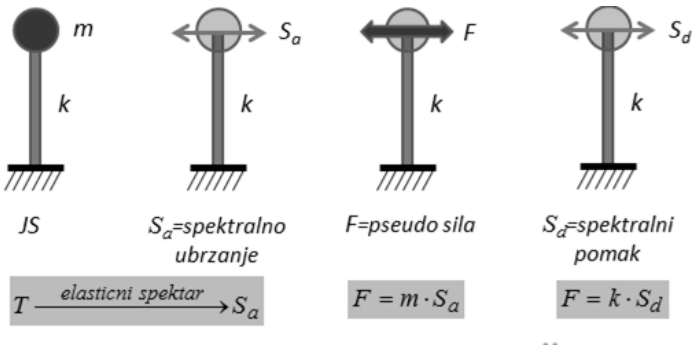
$$F = k \cdot S_d$$

Na temelju navedenog izraza za pseudosilu F i relacije:

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

Određuje se odnos između spektralnog ubrzanja i spektralnog pomaka pomoću sljedećeg izraza:

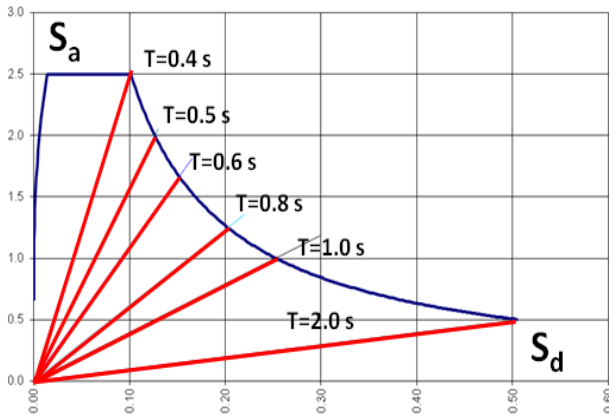
$$S_d = \frac{F}{k} = mS_a \frac{T^2}{4\pi^2 m} = \frac{S_a T^2}{4\pi^2}$$



Crtež 7.5. Shematski prikaz određivanja spektralnog pomaka

Svaki period je predstavljen pravcem koji počinje u ishodištu koordinatnog sustava i čiji je nagib jednak:

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



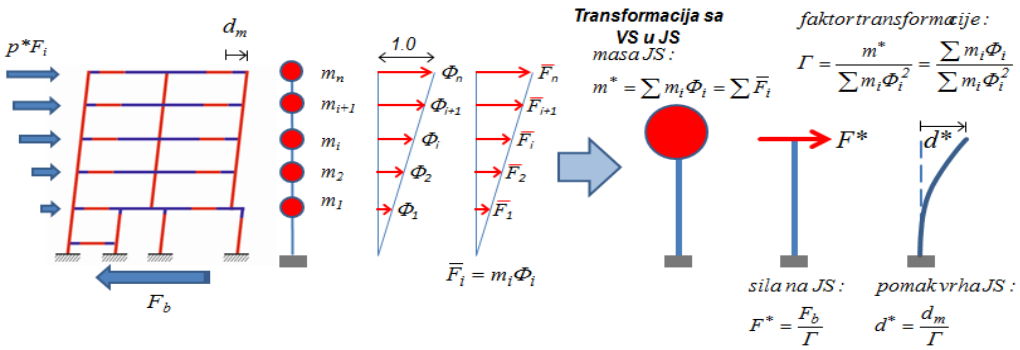
Crtež 7.6. Različiti periodi su predstavljeni pravcima

Za određivanje ciljanog pomaka potrebno je za kontrolni čvor sustava konstruirati krivulju putanje uslijed inkrementalnog povećanja horizontalnog opterećenja. Kao što je već spomenuto, na osnovi putanje kontrolnog čvora konstruira 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 na ekvivalentne jednostupnjevne sustave.

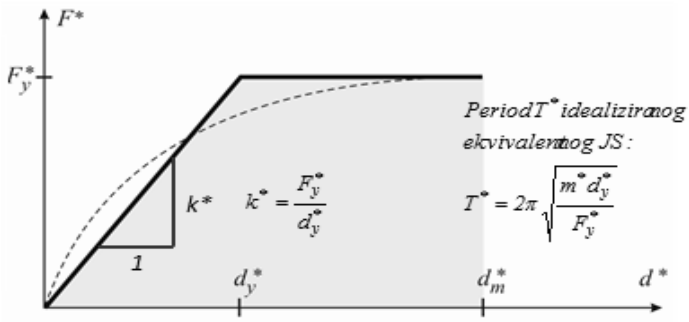
Ukratko, radi se o nizu transformacija prema određenim izrazima u kojima figurira transformacijski faktor Γ koji dovodi u vezu silu F i pomak d^* kontrolnog čvora VS-a i ekvivalentnog JS-a.

Transformacija se vrši na sljedeći način:



Crtež 7.7. Shematski prikaz transformacije višestupnjevnog sustava u ekvivalentni jednostupnjevni

Početna krutost idealiziranog sustava određuje se na način da su površine ispod stvarne i idealizirane „sila – pomak“ krivulje budu jednake, tj. pod pretpostavkom očuvanja ukupne energije sustava. Stoga je početna krutost idealiziranog jednostupnjevnog sustava jednaka omjeru sile tečenja F_y^* i pomaka plastifikacije idealiziranog jednostupnjevnog sustava d_y^*. Na *Crtežu 7.8.* prikazana je početna krutost idealiziranog jednostupnjevnog sustava i period idealiziranog ekvivalentnog JS-a.



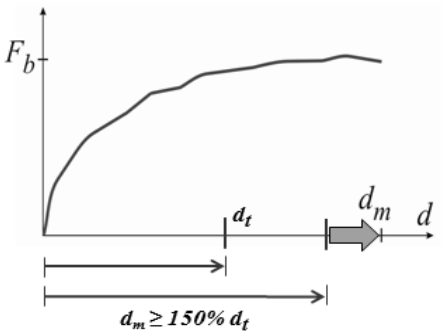
Crtež 7.8. Prikaz početne krutosti idealiziranog jednostupnjevnog sustava

Nakon što se odredio period T^* idealiziranog ekvivalentnog JS-a, trebamo odrediti njegov ciljani pomak, d_t^*, ovisno nalazi li se konstrukcija u području malih ili srednjih i velikih perioda.

Potrebno je još odrediti ciljani pomak (d_t) višestupnjevnog sustava. Određuje se kao produkt ciljanog pomaka idealiziranog ekvivalentnog jednostupnjevnog sustava (d_t^*) i faktora transformacije (Γ):

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

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



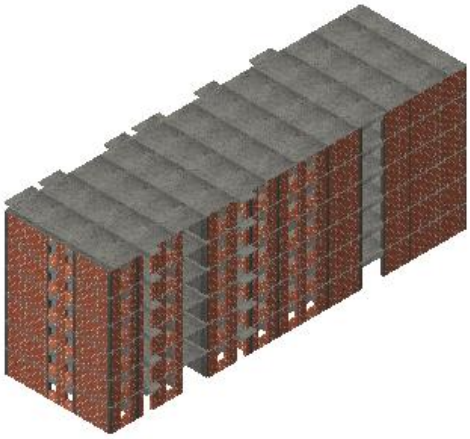
Crtež 7.9. Grafički prikaz rezerve nosivosti izražene kroz ciljani pomak

7.3.1 Proračunski model

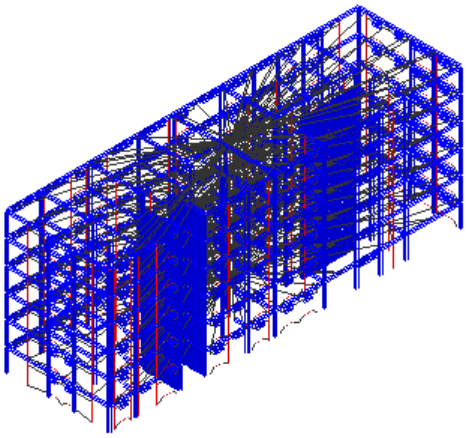
Proračun metodom naguravanja napravljen je u programu AmQuake koji kombinirajući metodu ekvivalentnog okvira i metodu naguravanja provodi dokaz potresne otpornosti za zidane konstrukcije.

7.3.2 Model

Napravljen je model za predmetnu stambenu zgradu (*Crtež 7.10.*), sa šest etaža tlocrtnih dimenzija 13,55 x 46,50 m. Svijetla visina svake etaže iznosi 2,70 m, a debljina međukatne AB ploče 0,20 m, što daje ukupnu visinu svake etaže od 2,90 m. Ukupna visina objekta je 17,40 m.



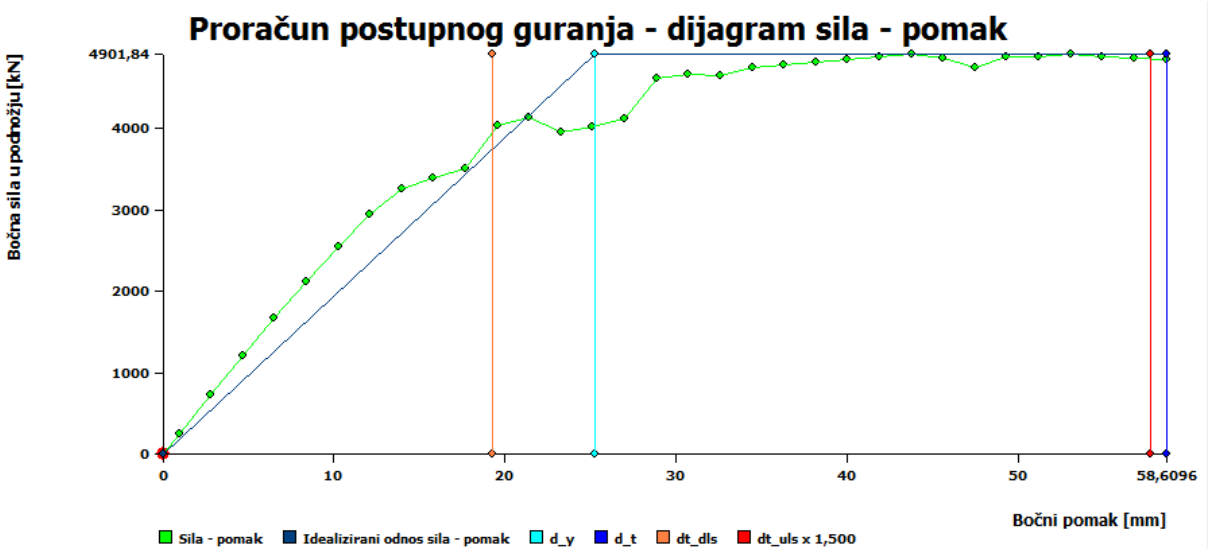
Crtež 7.10. Prikaz proračunskog modela



Crtež 7.11. Prikaz mreže konačnih elemenata za proračunsku konstrukciju

7.3.3 Rezultati proračuna postupnog naguravanja

a) Jednoliko raspodjeljeno opterećenje - smjer X



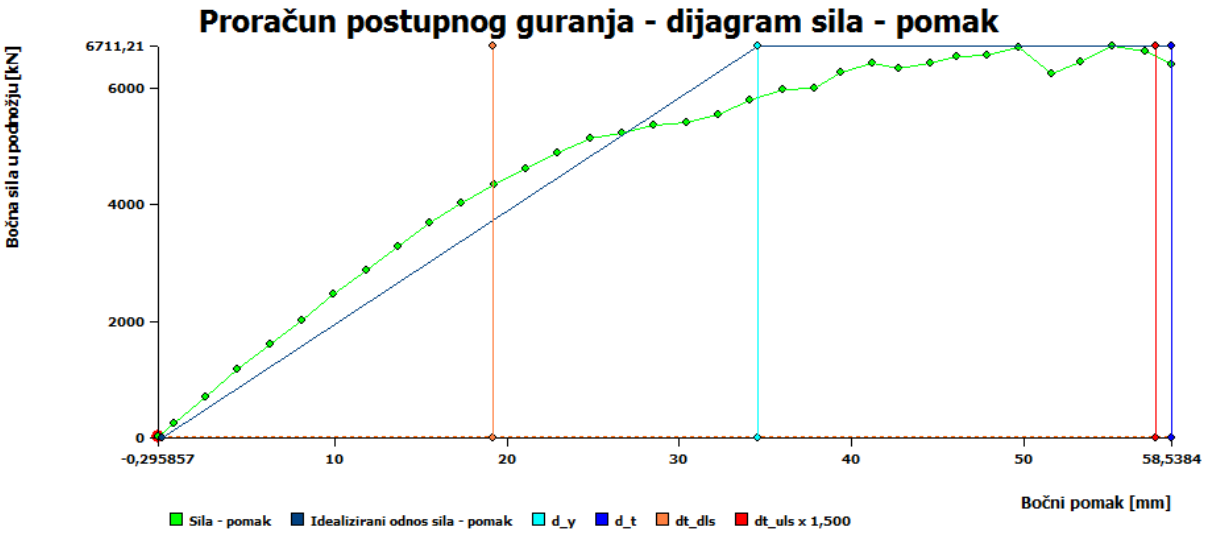
(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	19,234
Kapacitet za GSU [mm]:	58,610
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	57,702
Kapacitet za GSN [mm]:	58,610
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Crtež 7.12. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer X

Iz dobivenih rezultata se vidi da ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (GSU) iznosi 19,234 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 58,610 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabljivosti.

Ciljani pomak pomnožen s faktorom 1,50 za granično stanje nosivosti (GSN) iznosi 57,702 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 58,610 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava i granično stanje nosivosti.

b) Jednoliko raspodjeljeno opterećenje - smjer Y



(10) Y+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	19,213
Kapacitet za GSU [mm]:	58,538
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	57,640
Kapacitet za GSN [mm]:	58,538
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Crtež 7.13. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer Y

Za smjer Y ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (GSU) iznosi 19,213 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 58,538 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabljivosti.

Ciljani pomak pomnožen s faktorom 1,50 za granično stanje nosivosti (GSN) iznosi 57,640 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 58,538 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava i granično stanje nosivosti.

8. PRORAČUN KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA

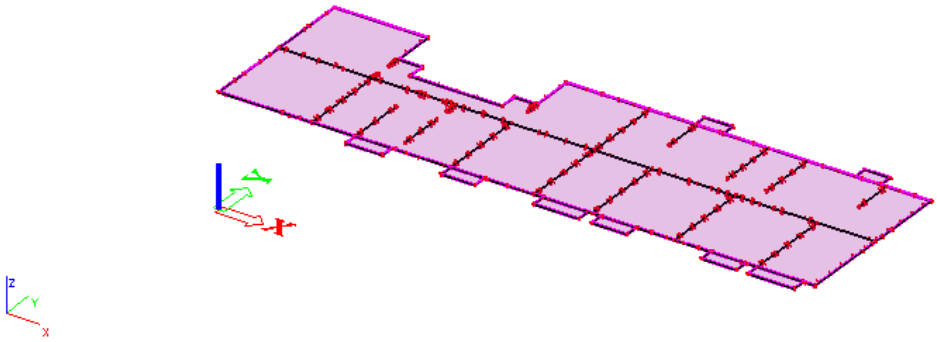
8.1 Ploče

8.1.1 Model

Model je napravljen u programskom paketu SCIA Engineer 16.1. Sve ploče izrađene su od betona klase C30/37 uz te armirane čelikom za armiranje B500B. Debljina međuetažne AB ploče iznosi 20 cm. Određeni su momenti savijanja, progib i potrebna količina armature ploče za linearno stanje.

Kao karakteristična ploča na kojoj prikazujemo rezultate uzeta je međukatna konstrukcija trećega kata.

Max dopušteni progib ploča iznosi 7300 / 500 = 14,6 mm.

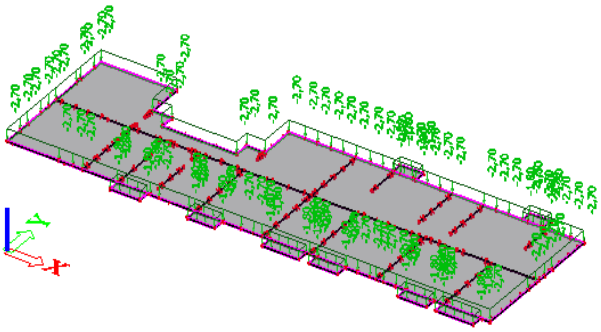


Crtež 8.1. Prikaz modela

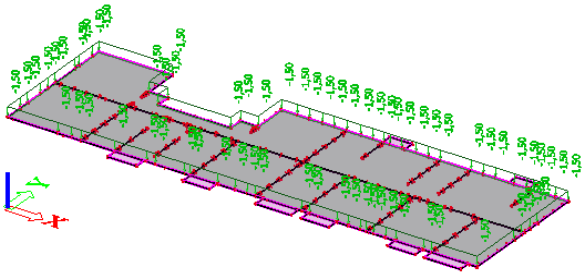
8.1.2 Opterećenja ploče

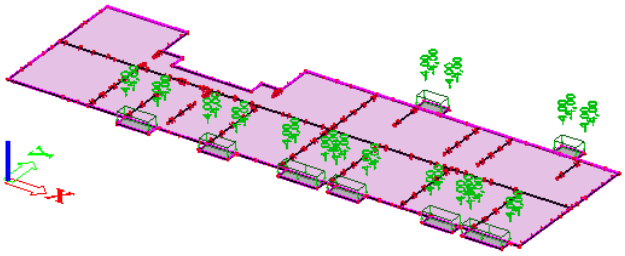
Opterećenje ploče dijeli se na stalno i promjenjivo. U stalno opterećenje spada vlastita težina G_0 i dodatno stalno opterećenje G. Promjenjivo opterećenje Q predstavlja uporabno opterećenje i utjecaj pokretne opreme.Vlastita težina zadana je automatski.

Crtež 8.2. Dodatno stalno opterećenje G [kN/m^2]



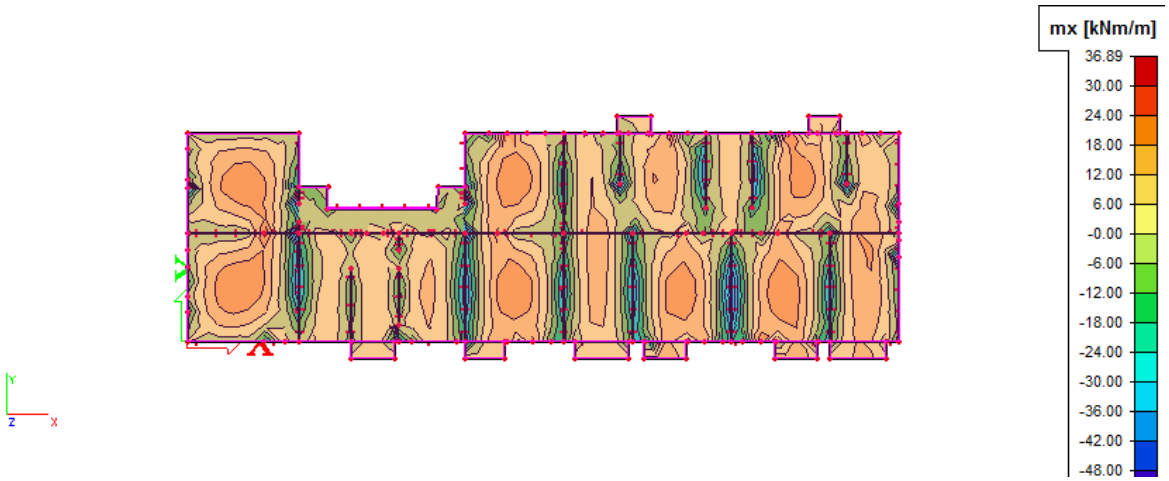
Crtež 8.3. Uporabno opterećenje međukatne konstrukcije Q_m i balkona Q_b [kN/m^2]



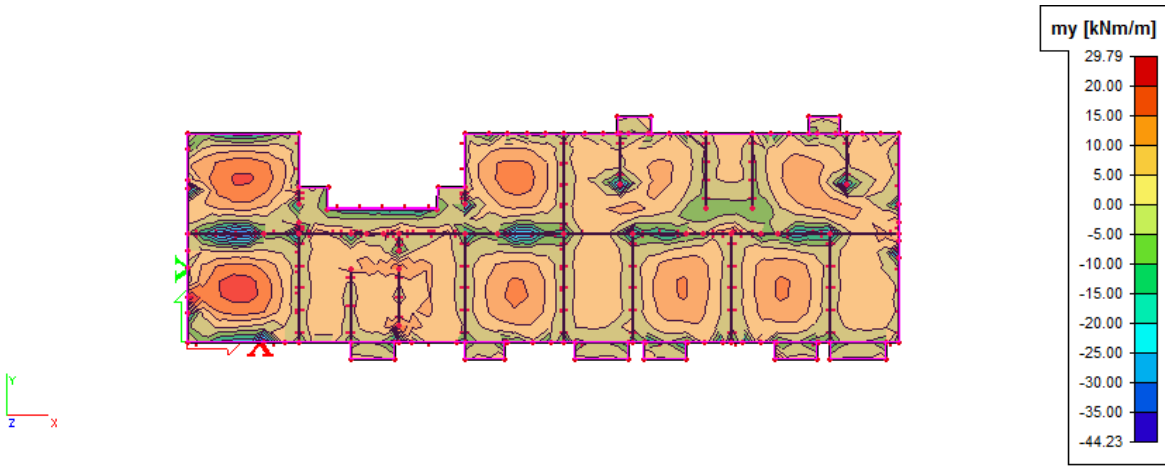


8.1.3 Prikaz rezultata

1) Na sljedećim crtežima (Crteži 8.4 i 8.5.) prikazani su momenti savijanja ploča



Crtež 8.4. Prikaz momenata savijanja m_x [kNm/m] na pločama za osnovnu kombinaciju GSN-1: $1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5Q$



Crtež 8.5. Prikaz momenata savijanja m_y [kNm/m] na pločama za osnovnu kombinaciju GSN-1: $1.35 \cdot (G_0+G) + 1.5Q$

Potrebno je provjeriti dolazi li, zbog velikih momenata savijanja nad ležajevima, do prekoračenja dopuštenih tlačnih naprezanja u betonu.

Ukoliko moment savijanja prekoračuje vrijednost graničnog momenta nosivosti $M_{Rd,lim}$ dolazi do drobljenja betona, te je potrebno dvostruko armiranje. U tom slučaju dolazi do

preraspodjele te se mogu očekivati veći progibi. Granični moment nosivosti računa se prema sljedećem izrazu:

$$M_{Rd,\lim} = \mu_{Rd,\lim} \times b \times d^2 \times f_{cd} = 0{,}159 \times 100 \times 17{,}5^2 \times 2{,}00 = 97{,}38\ kNm$$

Maksimalni moment savijanja koji se javlja na ploči iznosi M_x = 48,00 kNm što je manje od graničnog momenta nosivosti.

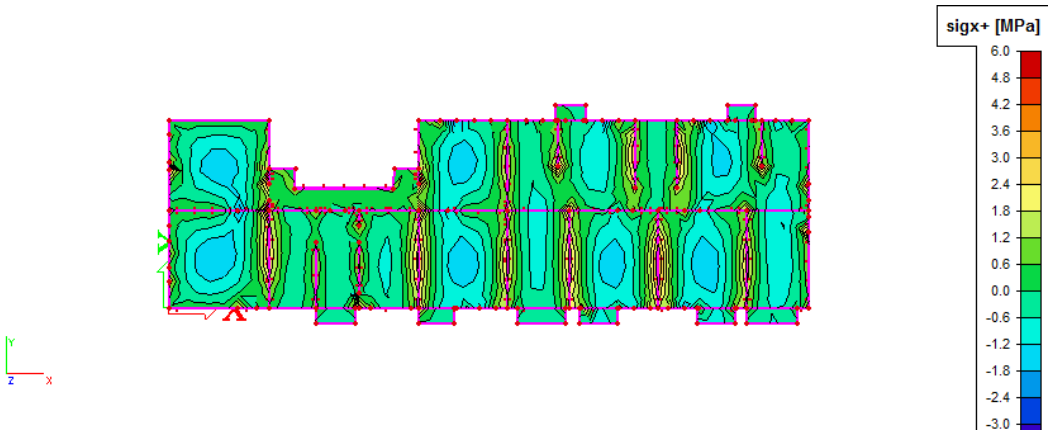
2) Provjera naprezanja u betonu

Naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju opterećenja

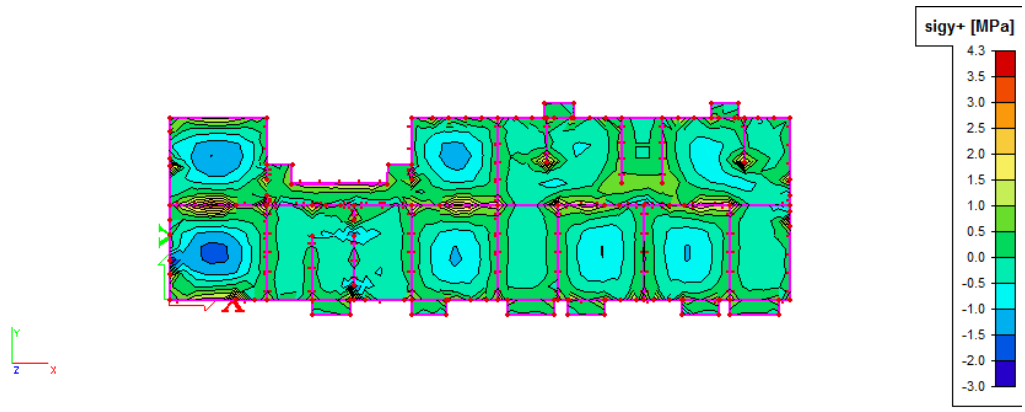
Tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

$\sigma_c \leq 0{,}45 * f_{ck} = 0{,}45 * 30 = 13{,}5$ MPa

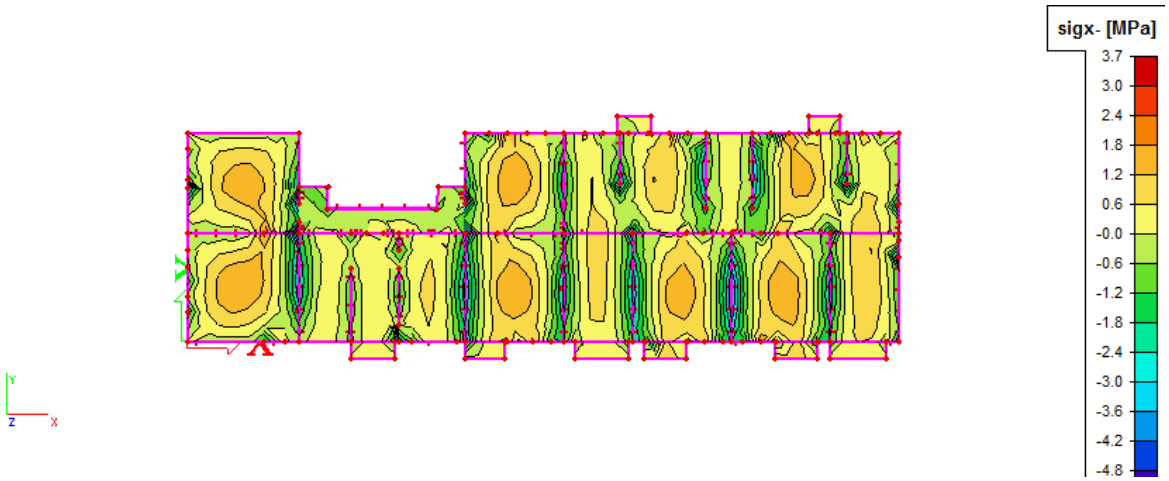
Na sljedećim crtežima (Crteži 8.6; 8.7; 8.8; 8.9) prikazana su naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju opterećenja.



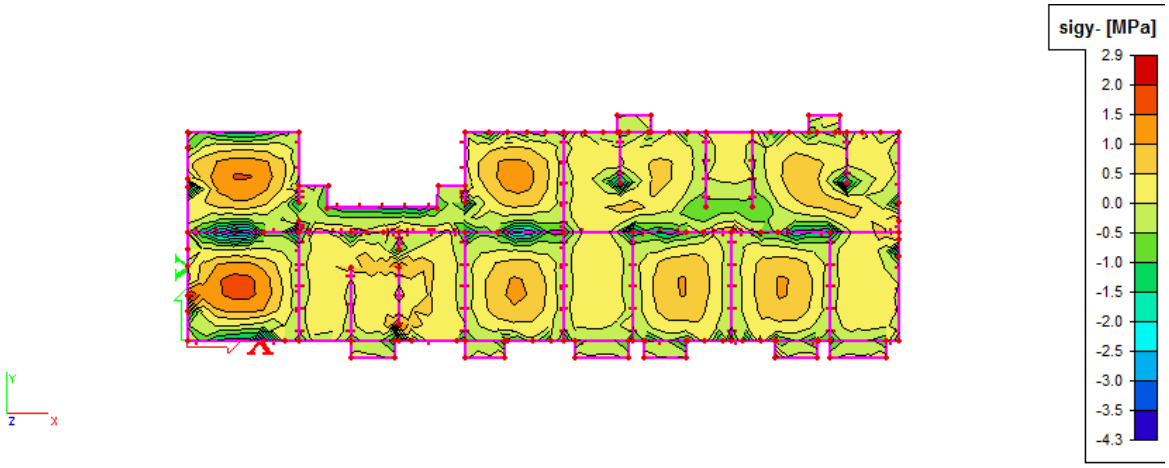
Crtež 8.6. Tlačna naprezanja u betonu na gornjoj plohi ploče $\sigma_{c,x,+}$ [MPa] u smjeru X za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1.0 · (G_0+G) + 0.3Q



Crtež 8.7. Tlačna naprezanja u betonu na gornjoj plohi ploče $\sigma_{c,y,+}$ [MPa] u smjeru Y za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1.0 · (G_0+G) + 0.3Q



Crtež 8.8. Tlačna naprezanja u betonu na donjoj plohi ploče $\sigma_{c,x,-}$ [MPa] u smjeru X za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1.0 · (G_0+G) + 0.3Q



Crtež 8.9. Tlačna naprezanja u betonu na donjoj plohi ploče $\sigma_{c,y,-}$ [MPa] u smjeru Y za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1.0 · (G_0+G) + 0.3Q

Maksimalno tlačno naprezanje u betonu iznosi manje od dopuštenog.

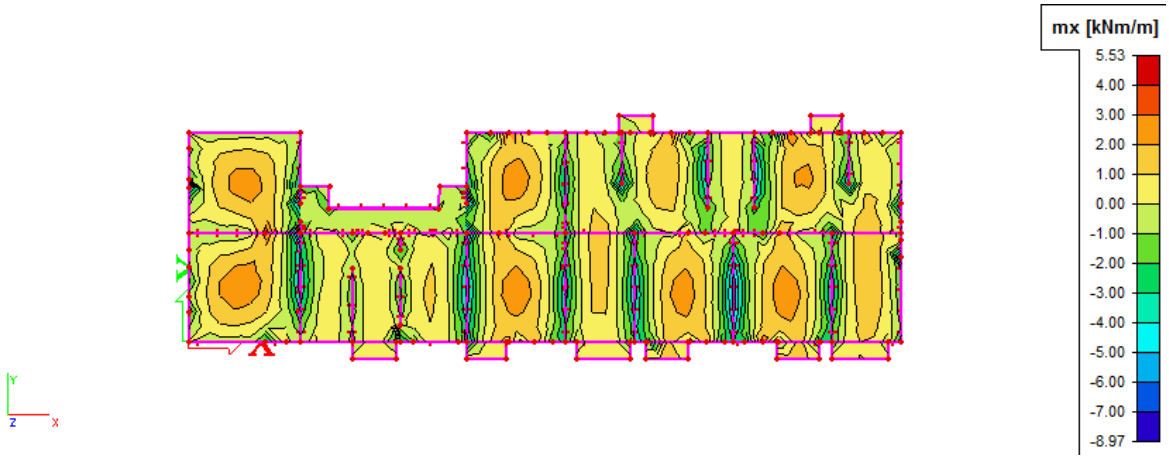
$\sigma_{c,max}$ = 4,8 MPa < 13,5 MPa

1) Prikaz potrebne armature

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

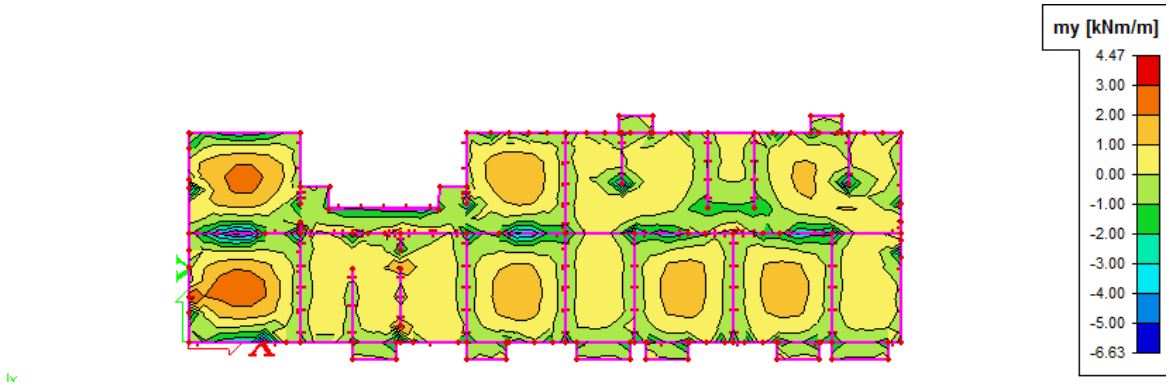
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0.9 \times 17,5 \times 43,48} = 0,15 \times M_{sd}$$

Potrebna armatura u X smjeru (cm^2/m)



Crtež 8.10. Potrebna armatura [cm^2/m] u X smjeru

Potrebna armatura u Y smjeru (cm^2/m)

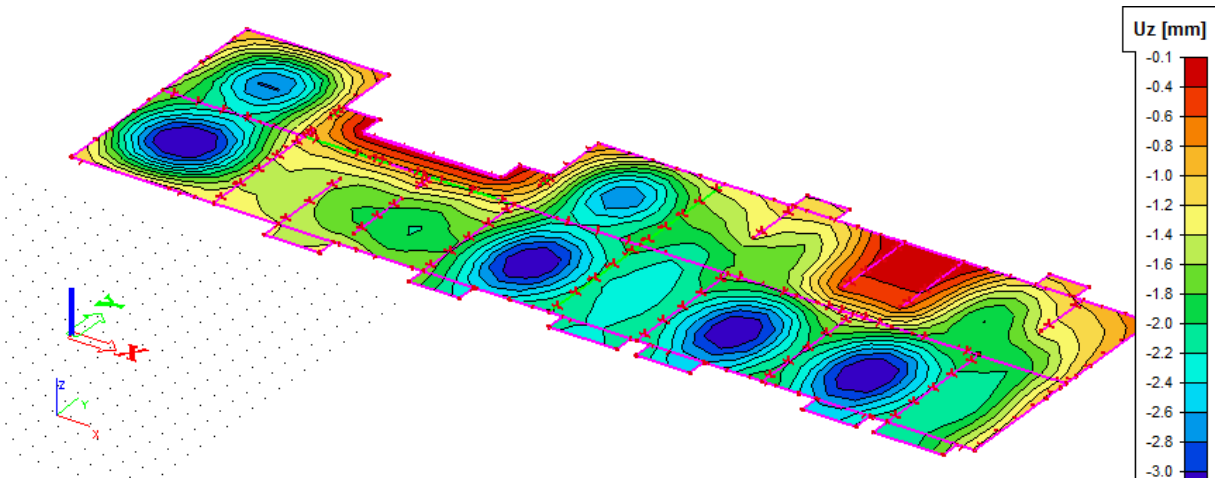


Crtež 8.11. Potrebna armatura [cm^2/m] u Y smjeru

Proračunata armatura odnosi se na egzaktne vrijednosti momenata savijanja u pločama za osnovnu kombinaciju. Međutim, radi preraspodjele potrebno je izračunatu armaturu u polju povećati za 30%, odnosno smanjiti na ležaju za 10%.

2) Progib ploče

Progib za linearno stanje



Crtež 8.12. Prikaz progiba Uz[mm] za kombinaciju GSU-2: 1.0 · (G_0+G) + 0.3Q

Maksimalni progib ploča iznosi 3,0 mm dok je dopušteni progib

$\delta_{EL} \leq L/500$ = 7300/500 = 14,6 mm.

Ako povećamo kriterije radi uključivanja utjecaja nelinearnosti i puzanja, dozvoljeni progibi su

$\delta_{EL} \leq L/500$ = 7300/2000 = 3,65 mm.

Maksimalni progib ploča i dalje je manji od dozvoljenog.

8.2 GREDE

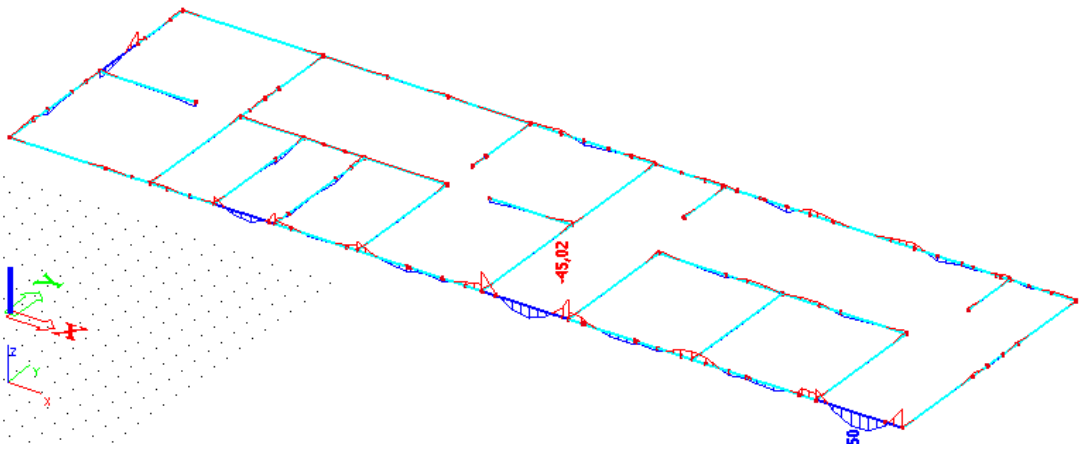
- Granični moment nosivosti $M_{rd,lim}$

Ukoliko moment savijanja prekoračuje vrijednost graničnog momenta nosivosti $M_{Rd,lim}$ dolazi do drobljenja betona, te je potrebno dvostruko armiranje. Granični moment nosivosti računa se prema sljedećem izrazu:

$$M_{Rd,\lim} = \mu_{Rd,\lim} \times b \times d^2 \times f_{cd} = 0{,}159 \times 30 \times 47^2 \times 2{,}0 = 210{,}74\ kNm$$

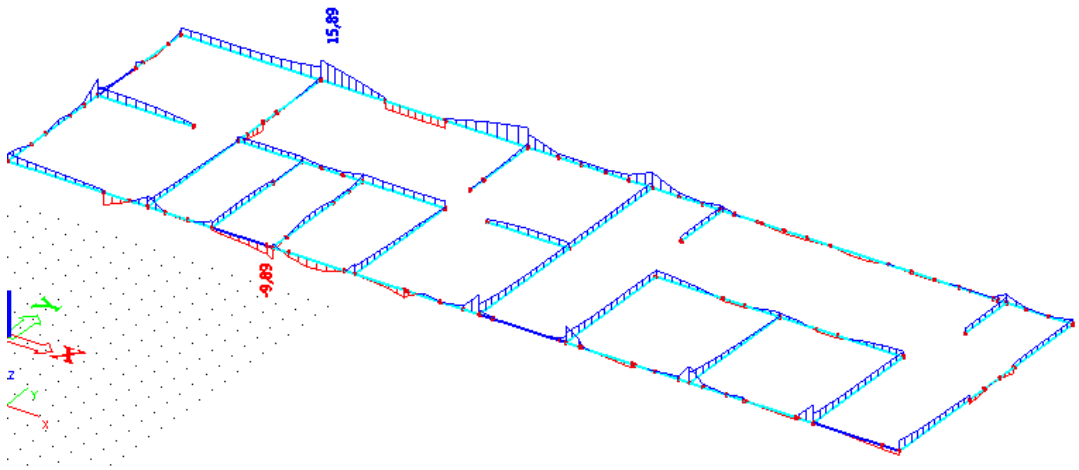
8.2.1 Proračun potrebne armature u gredama

Rezne sile u gredama za osnovnu i potresnu kombinaciju prikazane su na sljedećim crtežima:



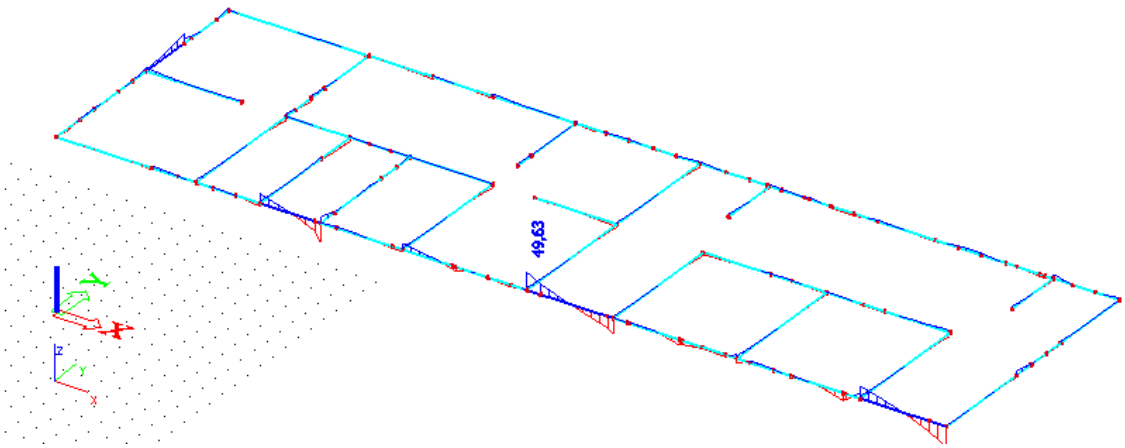
Crtež 8.13. Momenti savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm] na gredama za kombinaciju

GSN-4: $1.35 \cdot (G_0+G) + 1{,}5 \cdot Q + 1.5 \cdot (0.6 \cdot W_Y)$



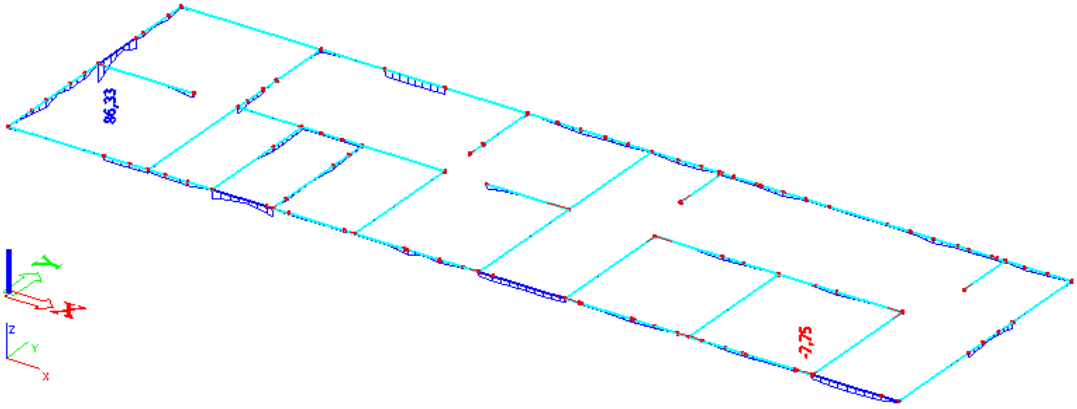
Crtež 8.14. Uzdužne sile N_{Sd} [kN] na gredama za kombinaciju

GSN-4: $1.35 \cdot (G_0+G) + 1,5 \cdot Q + 1.5 \cdot (0.6 \cdot W_Y)$



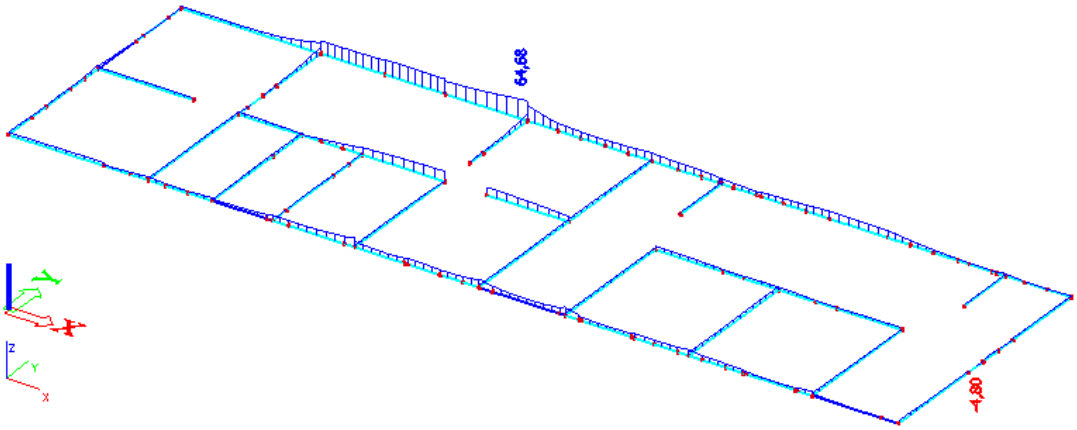
Crtež 8.15. Poprečne sile $V_{Sd,z}$ [kN] na gredama za kombinaciju

GSN-4: $1.35 \cdot (G_0+G) + 1,5 \cdot Q + 1.5 \cdot (0.6 \cdot W_Y)$



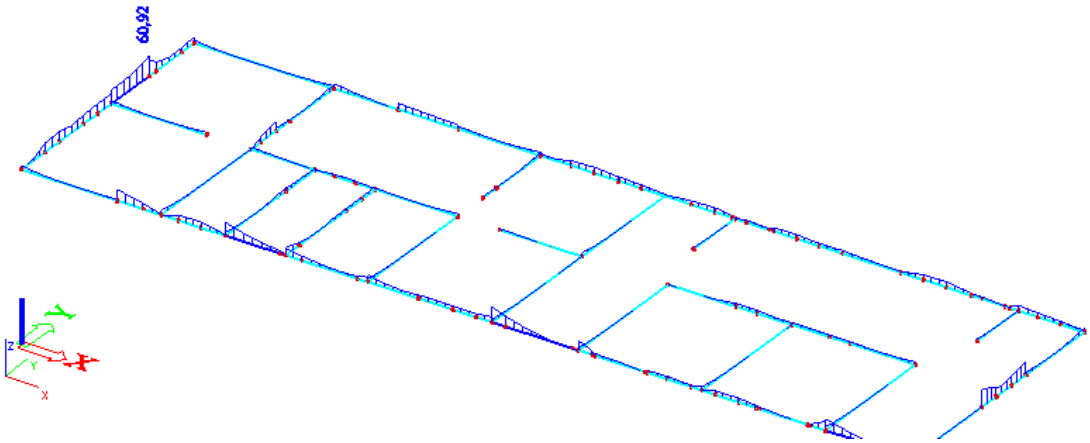
Crtež 8.16. Momenti savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm] na gredama za potresnu kombinaciju

GSN-11: $1.0 \cdot (G_0+G) + 0.3 \cdot Q \pm 1 \cdot S_X + 0.3 \cdot S_Y - T_Y$



Crtež 8.17. Uzdužne sile N_{Sd} [kN] na gredama za potresnu kombinaciju

GSN-11: $1.0 \cdot (G_0+G) + 0.3 \cdot Q \pm 1 \cdot S_X + 0.3 \cdot S_Y - T_Y$



Crtež 8.18. Poprečne sile $V_{Sd,z}$ [kN] na gredama za potresnu kombinaciju

GSN-11: $1.0 \cdot (G_0+G) + 0.3 \cdot Q \pm 1 \cdot S_X + 0.3 \cdot S_Y - T_Y$

Mjerodavne rezne sile u gredama iznose:

$M_{Sd,polje}$ = 86,33,84 kNm (pripadajuća uzdužna sila N_{Sd} = +9,46 kN)

$M_{Sd,ležaj}$ = 46,61 kNm (pripadajuća uzdužna sila N_{Sd} = + 3,50 kN)

V_{Sd} = 60,92 kN (pripadajuća uzdužna sila N_{Sd} = + 9,46 kN)

Polje:

Utjecajna širina: $b_{eff} = b_0 + \frac{L_0}{10} \leq e \Rightarrow b_{eff} = 30 + \frac{0,85 \cdot 730}{10} = 92,05\ cm$

M_{Sd} = 86,33 kNm

N_{Sd} = 9,46 kN (tlak)

$$M_{sds} = M_{sd} + N_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) = 86,33 + 9,46 \cdot \left(0,47 - \frac{0,50}{2} \right) = 88,41 kNm$$

$$M_{Rd,\lim} = \mu_{Rd,\lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 92,05 \cdot 47^2 \cdot 2,0 = 646,62 \text{ kNm} > \text{M}_{\text{sds}} = 88,41 kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{8841}{92,05 \cdot 47^2 \cdot 2,0} = 0,022$$

Očitano: ε_{s1}= 10 ‰ ε_{c2}= 0,9 ‰ ξ = 0,083 ζ = 0,971

$$A_{s1} = \frac{M_{sds}}{\varsigma \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{8841}{0,971 \cdot 47 \cdot 43,48} - \frac{9,46}{43,48} = 4,46 - 0,22 = 4,24 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **4Ø14** (A_s = 6,16 cm^2)

Ležaj:

M_{Sd} = 46,61 kNm

N_{Sd} = 3,50 kN (vlak)

$$M_{sds} = M_{sd} - N_{sd} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) = 46,61 - 3,50 \cdot \left(0,47 - \frac{0,50}{2} \right) = 45,84 kNm$$

$$M_{Rd,\lim} = \mu_{Rd,\lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 30 \cdot 47^2 \cdot 2,0 = 210,74 \text{ kNm} > \text{M}_{\text{sds}} = 45,84 kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4584}{30 \cdot 47^2 \cdot 2,0} = 0,034$$

Očitano: ε_{s1} = 10 ‰ ε_{c2} = 1,1 ‰ ξ = 0,099 ζ = 0,965

$$A_{s1} = \frac{M_{sds}}{\varsigma \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{4584}{0,965 \cdot 47 \cdot 43,48} + \frac{3,50}{43,48} = 2,32 + 0,08 = 2,4\,\text{cm}^2$$

Odabrano: **4Ø14** (A_s = 6,16 cm^2)

Proračun na poprečnu silu:

V_{Sd} = 60,92 kN

N_{Sd} = 9,46 Kn

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{470}} = 1,65 < 2,0 \quad \Rightarrow \quad k = 1,65$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \frac{9,46}{50 \cdot 30} = 0,006$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{4\varphi 14}{50 \cdot 30} = 0,00411$$

$$V_{Rd,c} = \left[0,12 \cdot 1,65 \cdot \left(100 \cdot 0,00411 \cdot 30\right)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,006 \right] \cdot 300 \cdot 470 = 64623,77N = 64,62kN$$

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

$$k = 1,65$$

$$v_{\min} = 0.035 \times k^{\frac{2}{3}} \times f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.035 \times 1.65^{\frac{2}{3}} \times 30.0^{\frac{1}{2}} = 0.268\ kN/m$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,006$$

$V_{Rd,c} \geq [0,268 + 1,65 \cdot 0,006] \cdot 300 \cdot 470$=39183,9 N=38,18 kN

Maksimalna poprečna sila koju se ne smije prijeći (dio poprečne sile koju mogu preuzeti tlačne dijagonale):

$$V_{Rd,\max} = 0,5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\nu = 0,6\left[1.0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6\left[1,0 - \frac{30}{250}\right] = 0,528$$

$$V_{Rd,\max} = 0.5 \cdot 0.528 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 470 = 744480 N = 744.48 kN$$

Maksimalna poprečna sila:

$$V_{ed,\max} = V_{ed,a} = 60,92\ kN$$

$$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 60,92 / 744,48 = 0,082 \quad \Rightarrow \quad V_{Ed,\max} = 0,082 V_{Rd,\max}$$

Maksimalni razmak spona:

$$s_{w,\max} = \min\{0,75 \cdot d; 30,0\,cm\} = \min\{0,75 \cdot 47 = 35,25; 30,0\} \quad \Rightarrow \quad s_{w,\max} = 30,0 cm$$

$$\rho_{\min} = 0,0011 \quad (C30/37)$$

usvojeno $s_w = 20,0 cm$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 20,0 \cdot 30}{2} = 0,33\ cm^2$$

Odabrane spone ∅10 (A_{sw} = 0,79 cm^2)

$$s_{w,pot} \le \frac{m \cdot A_{sw,\min}}{\rho_{\min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,79}{0,0011 \cdot 30} = 47,88\ cm$$

Odabrane spone **∅10/25**, m = 2

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79}{25} \cdot (0,9 \cdot 47) \cdot 43,48 \cdot 2 = 116,24\ kN$$

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

8.3 ZIDOVI

Zidovi su modelirani plošnim elementima na kojima se naprezanja prikazuju u donjoj i gornjoj plohi (gledajući prema lokalnim osima zida). Ovdje se prikazuju naprezanja na nepovoljnije opterećenoj plohi.

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidovima za nazovistalnu kombinaciju

$$GSU\text{-}2 = 1{,}0*(G0 + G) + 0{,}3Q$$

Tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

$$\sigma_{c,GSU2} \leq 0{,}40\ f_{ck} = 0{,}40*30 = 12{,}00\ MPa$$

Na Crtežu 8.19. su prikazana rubna naprezanja u zidovima gdje vidimo da maksimalno naprezanje iznosi:

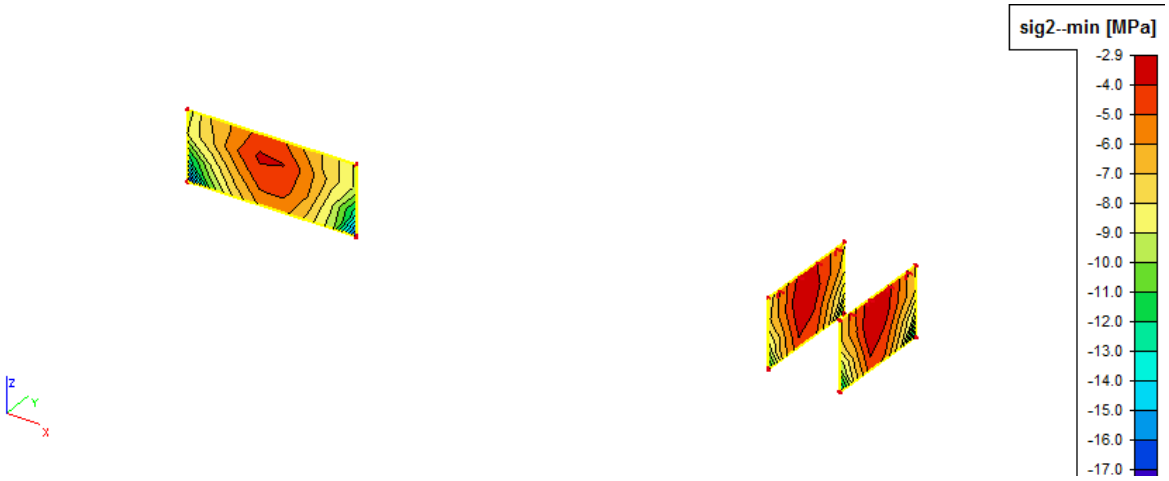
$$\sigma_{c,max} = 3{,}0\ MPa < 14{,}0\ Mpa$$

Crtež 8.19. Naprezanja u zidu σc, GSU-2: $1{,}0 \cdot (G_0+G) + 0{,}3Q$

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidu za anvelopu potresnih kombinacija

Srednja tlačna naprezanja u betonu za potresnu kombinaciju ne smiju prijeći:

$$\sigma_{c,Rd} \leq 0{,}40\ f_{cd} = 0{,}40 \cdot (30/1{,}5) = 8{,}00\ \text{MPa}$$



Crtež 8.20. Naprezanja u zidu $\sigma_{c,Rd,}$ anvelopa

U rubovima zidova (na mjestu vezivanja sa drugim elementima) javlja se veća koncentracija naprezanja pa je potrebno postaviti odgovarajuće U-vilice.

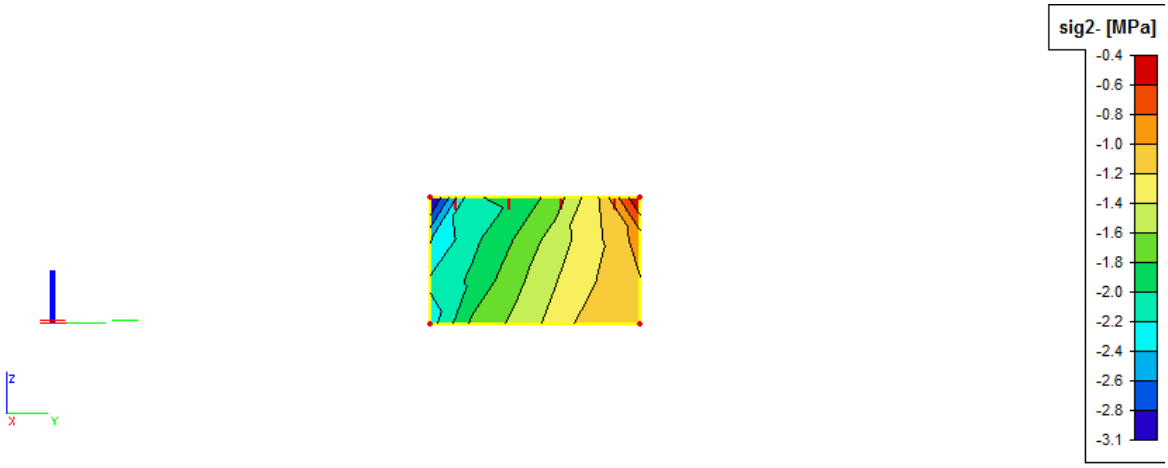
8.3.1 Zid u osi Iy /1-2 –PLOŠNI ELEMENT

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidu za nazovistalnu kombinaciju

$$GSU\text{-}2 = 1{,}0 \cdot (G_0+G) + 0{,}3Q$$

Srednja tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

$$\sigma_{c,GSU2} \leq 0{,}40\ f_{ck} = 0{,}40 \cdot 30 = 12{,}00\ \text{MPa}$$

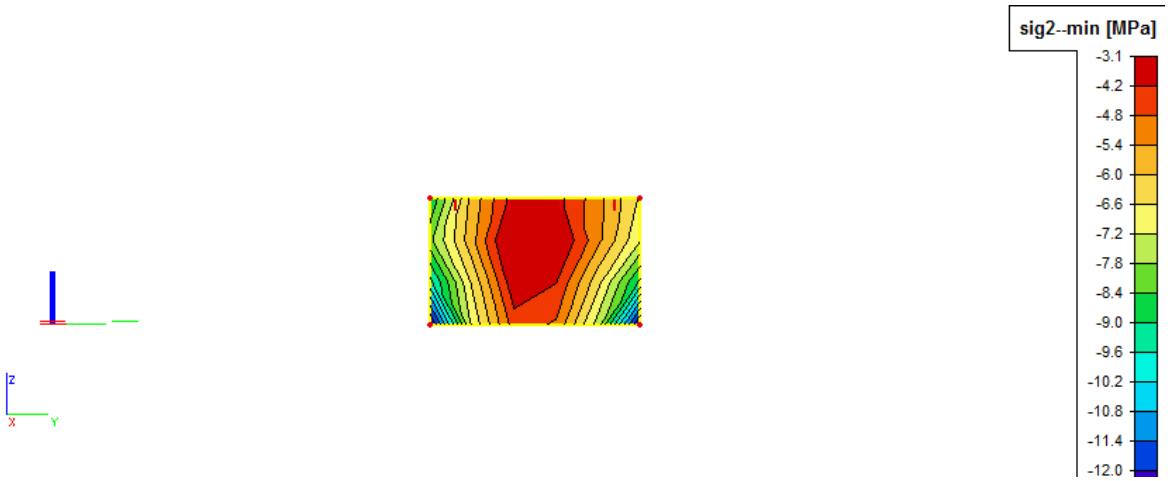


Crtež 8.21. Naprezanja u zidu σc,GSU-2: 1,0 · (G_0+G) +0,3Q

Na Crtežu 8.21. su prikazana rubna naprezanja u zidu gdje vidimo da maksimalno naprezanje iznosi:

$\sigma_{c,max}$ = 3,1 MPa < 12,0 Mpa

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidu za anvelopu potresnih kombinacija



Crtež 8.22. Naprezanja u zidu $\sigma_{c,Rd}$, anvelopa

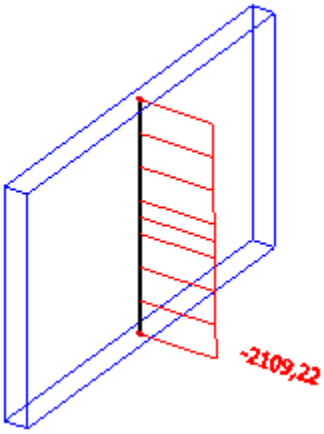
Srednja tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

$$\sigma_{c,Rd} \leq 0{,}40\ f_{cd} = 0{,}40*(30/1{,}5) = 8{,}00 \text{ Mpa}$$

- Unutarnje sile u zidu u osi Iy /1-2

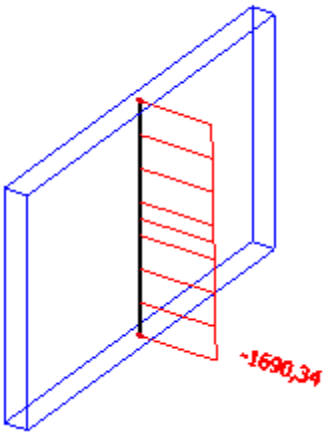
Uzdužne sile N_{Sd} [MN] za za nazovistalnu kombinaciju

GSU-2=1,0 · (G0+G) +0,3*Q



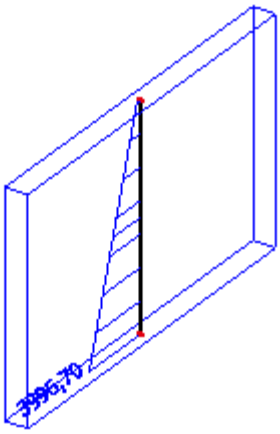
Uzdužne sile N_{Ed} [MN] za

Anvelopu potresnih kombinacija

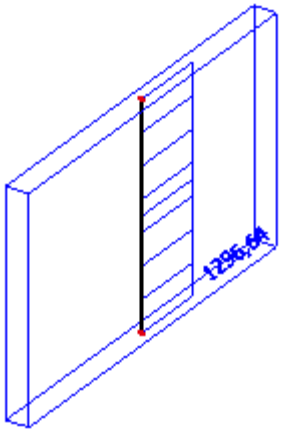


Dijagram momenata savijanja $Mz,_{Ed}$ [MNm] za

Anvelopu potresnih kombinacija



Dijagram poprečnih sila $Vz,_{Ed}$ [MN] za Anvelopu potresnih kombinacija



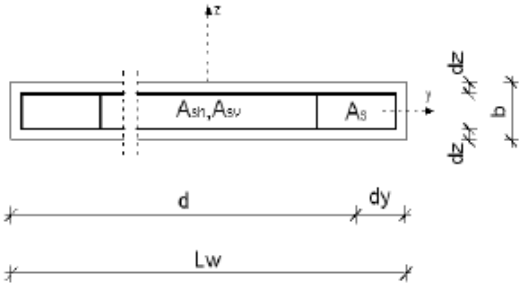
Crtež 8.23. Unutarnje sile u zidu u osi Iy / 1-2

Visina zida: H_w = 290 cm

Duljina: L_w = 485 cm

$$\frac{l_w}{H_w} = \frac{485}{290} = 1,67 < 2 - \text{kratki zidovi}$$

Kod kratkih zidova nije potrebno prilagođavati momente savijanja određene proračunom konstrukcije na djelovanja uključena u potresnu proračunsku situaciju. Također nije potrebno povećavati poprečne sile zbog dinamičkih učinaka.



Crtež 8.24. Poprečni presjek zida

Geometrijske karakteristike zida:

- Duljina: L_w = 485 cm
- Širina: b = 30 cm
- $d_y \approx$ 20 cm
- d = L_w - d_y = 485-20 = 465 cm

1) Srednje tlačno naprezanje u zidu za nazovistalnu kombinaciju (GSU-2):

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{N_{Sd,GSU-2}}{b \cdot L_w} \leq 0,45 f_{ck} = 0,45 \cdot 30 = 13,5 MPa$$

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{2109,22}{0,3 \cdot 4,85} = 1449,64 \text{kN/m}^2 = 1,45 MPa < 13,5 MPa$$

2) Srednje tlačno naprezanje u zidu za seizmičku kombinaciju:

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{N_{Sd,ANV10-13}}{b \cdot L_w} \leq 0,40 f_{cd} = 0,40 \cdot (\frac{30}{1,5}) = 8,00 MPa$$

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{1690,34}{0,3 \cdot 4,85} = 1161,75/\text{m}^2 = 1,16 MPa < 8,00 MPa$$

3) Armatura na krajevima zida (za seizmičku kombinaciju):

- Računski moment savijanja:

$$M_{Sds} = M_{sd} + N_{sd,GSU-2}\left(d - \frac{h}{2}\right) = 3996{,}70 + 1690{,}34\left(4{,}65 - \frac{2{,}9}{2}\right) = 9405{,}79[\text{kNm}]$$

- Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0{,}159 \cdot 0{,}3 \cdot 4{,}65^2 \cdot 20000 = 20627{,}87[\text{kNm}] > Msds$$

- Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$A_1 = \frac{M_{Sds}}{0{,}8 \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{sd,GSU-2}}{f_{yd}} = \frac{9405{,}79 \cdot 100}{0{,}8 \cdot 465 \cdot 43{,}48} - \frac{1690{,}34}{43{,}48} = 19{,}28[\text{cm}^2]$$

Minimalna površina vlačne armature u polju:

$$A_{1,min} = 0{,}005 \cdot b \cdot d = 0{,}005 \cdot 30 \cdot 465 = 70[\text{cm}^2]$$

Na svaku stranu po:

$$\frac{A_{1,min}}{2} = \frac{70}{2} = 35\left[\frac{\text{cm2}}{\text{m}'}\right] \Longrightarrow \text{ODABRANO } 10\emptyset 25(A_s = 49{,}09[\text{cm2/m}'])$$

4) Minimalna debljina hrpta

$b_{w0} \geq max\{0{,}15m\ ;\ h_s/20\}$, h_s – svijetla visina kata

$$b_{w0} \geq max\left\{0{,}15m\ ; \frac{2{,}70}{20} = 0{,}135\right\}$$

$b_{w0} = 0{,}175\ [m]$ ... Zadovoljeno.

5) Visina kritičnog područja

$h_{cr} \geq max\left\{L_w\ ; \frac{h_w}{6}\right\}$, $L_w - duljina\ zida, h_w - ukupna\ visina\ zida$

$$h_{cr} \geq max\left\{485\ ; \frac{290}{6} = 48{,}33\right\} \rightarrow h_{cr,max} = 485\ cm$$

$$h_{cr} \leq min\{2L_w\ ; h_s\} = min\{2 \cdot 485 = 970\ ; 270\} \rightarrow h_{cr} = 270\ cm$$

6) Minimalna armatura

1. Na krajevima zida (u kritičnoj zoni):

a) <u>vertikalno:</u>

ρ_{min}=0.5% od površine $A_c=L_c \cdot b_w$ (L_c= max {0,15 L_w; 1,5 b_w})

L_c= max {0,15 · 485; 1.5 · 30} = max {72,75; 45}

$$A_{s,min} = \frac{0,5}{100} \cdot 72,75 \cdot 30 = 10,91 \text{ [cm2]}$$

b) spone:

$$\Phi \geq \left\{ 6 \text{ mm} ; \frac{d_{bL}}{4} = \frac{25}{4} \right\} \qquad \text{-DCM}$$

$$\Phi_{min} \geq \{6 \text{ mm} ; 6,25 \text{ mm}\} \rightarrow \text{ odabrano } \Phi = 10\text{mm}$$

Razmak: $s_w \leq \min\left\{8 \cdot d_{bl}; \frac{b_0}{2}; 175\,mm\right\}$

b_0=300-2·35=230 (mm)

$$s_w \leq \min\left\{8 \cdot 25 = 200; \frac{230}{2} = 115; 175\,mm\right\} \Rightarrow \text{ ODABRANO: } \Phi10/15\text{, m=2}$$

7) Provjera graničnog stanja nosivosti

1) <u>Dijagonalni tlačni slom hrpta zbog posmika:</u>

$$V_{sd} < V_{Rd}$$

a) Izvan kritičnog područja**:**

$$V_{Rd,\max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_{w0} \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}; \alpha_{cw} - \text{za konstrukcije koje nisu prednapete; } ctg\theta = 1; tg\theta = 1$$

$$\nu_1 = 0,6\left(1 - \frac{f_{ck}}{200}\right) = 0,6\left(1 - \frac{30}{200}\right) = 0,5 \geq 0,5$$

$$V_{Rd,\max} = \frac{1 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot 0,5 \cdot 2,00}{1+1} = 5580,0kN > V_{sd} = 1296,64kN$$

b) Unutar kritičnog područja (za klasu DCM, kao u EC2) :

$V_{sd} \le V_{Rd,\max} = 0,3 \cdot (1 - f_{ck} / 250) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \sin 2\theta$, gdje je $1 \le ctg\theta \le 2.5$

$$V_{sd} \le V_{Rd,\max} = 0,3 \cdot (1 - 30/250) \cdot 2 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot \sin 90 = 5892,8kN > V_{sd} = 1296,64kN$$

2) <u>Dijagonalni vlačni slom hrpta zbog posmika:</u>

a) Horizontalna armature

$$\alpha_s = \frac{M_{sd}}{V_{sd} \cdot l_w} = \frac{3996,7}{1296,64 \cdot 4,85} = 0,64 < 2$$

$\alpha_s < 2 \implies \rho_h$ izvlačimo iz izraza:

$$V_{Rd,s} = b_{w0} \cdot (0,8 \cdot l_w) \cdot \rho_h \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta, \quad 1 \le \cot\theta \le 2,5 - DCM$$

Odabrano $ctg\theta = 1$

ρ_h omjer armiranja hrpta horizontalnim šipkama ($\rho_h = A_h / (b_{w0}\, s_h)$)
$f_{yd,h}$ proračunska vrijednost granice popuštanja horizontalne armature hrpta

$$\rho_h = \frac{V_{Rd,s}}{b_{w0} \cdot 0,8 \cdot l_w \cdot \alpha_s \cdot f_{yhd}} = \frac{1296,64}{30 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot 43,48} = 0,00267 = 0,27\%$$

$\rho_{h,min} = 0,3\%$

Armaturna mreža:

$$\rho_h = \frac{A_h}{b_{w0} \cdot s_h} \implies A_h = \rho_h \cdot b_{w0} \cdot s_h = 0,003 \cdot 30 \cdot 100 = 9\ [cm2/m']$$

Na svaku stranu po:

$$\frac{A_h}{2} = \frac{9}{2} = 4,5 \left[\frac{cm2}{m'}\right] \implies \text{ODABRANO Q503}(A_s = 5,03[cm2/m'])$$

b) Vertikalna armature

ρ_v izvlačimo iz izraza:

$$\rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_{w0} \cdot z \leq \rho_v \cdot f_{yd,v} \cdot b_{w0} \cdot z + \min N_{Ed}$$

$$\rho_v \geq \frac{\rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_{w0} \cdot z - \min N_{Ed}}{f_{yd,v} \cdot b_{w0} \cdot z}$$

$$\rho_v \geq \frac{0{,}00267 \cdot 43{,}48 \cdot 30 \cdot 0{,}8 \cdot 485 - 1690{,}34}{43{,}48 \cdot 30 \cdot 0{,}8 \cdot 485} = -0{,}0007 = 0{,}07\%$$

$$\rho_{v,MIN} = 0{,}2\ \%$$

Armaturna mreža:

$$\rho_v = \frac{A_v}{b_{w0} \cdot s_v} \Longrightarrow A_v = \rho_v \cdot b_{w0} \cdot s_v = 0{,}002 \cdot 30 \cdot 100 = 6{,}0\ [cm2/m']$$

Na svaku stanu po:

$$\frac{A_v}{2} = 3{,}0 \left[\frac{cm\,2}{m'}\right] \Longrightarrow \text{ODABRANO: Q335 } (A_s = 3{,}55\ [cm2/m'])$$

c) Spone: min 4Φ6/m^2

8) Izračun ovojne armature za karakterističan zid**:**

- bezdimenzionalna vrijednost uzdužne sile

$$\nu_d = \frac{N_{sd,ANV10-13}}{A_c \cdot f_{cd}} < 0{,}4 - DCM$$

$$\nu_d = \frac{N_{sd,ANV10-13}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1690{,}34}{30 \cdot 485 \cdot 2{,}00} = 0{,}058 < 0{,}4$$

- mehanički obujamski omjer zahtijevane ovijene armature ω_{wd} rubnog elementa

$$\omega_w = \frac{\rho_v \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0{,}00424 \cdot 43{,}48}{2{,}00} = 0{,}0923$$

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volumen vilica}}{\text{volumen betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0{,}79 \times (2 \times 60 + 2 \times 24) \times \frac{290}{15}}{60 \times 23{,}0 \times 290} \times \frac{43{,}48}{2{,}00} = 0{,}1 \geq 0{,}08$$

$\mu_\phi = 5$ za DCM

$\nu_d = 0{,}058$

$$b_c = 30(cm)$$
$$b_0 = 23,0(cm)$$
$$h_0 = l_c = 60(cm)$$
$$\varepsilon_{sy,d} = 0,1\% = 0,001$$
$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$$
$$\alpha_n = 1 - \sum b_i^2 / (6 \cdot b_0 \cdot h_0) = 1 - \left[\left((16,67 \cdot 3)^2 \cdot 2 + (12,75 \cdot 2)^2 \cdot 2 \right) / \left(6 \cdot 23 \cdot 60 \right) \right] = 0,459$$
$$\alpha_s = \left(1 - s / 2b_0\right) \cdot \left(1 - s / 2h_0\right) = \left(1 - 15 / 2 \cdot 23,0\right) \cdot \left(1 - 15 / 2 \cdot 60\right) = 0,59$$

n = 10 -broj šipki

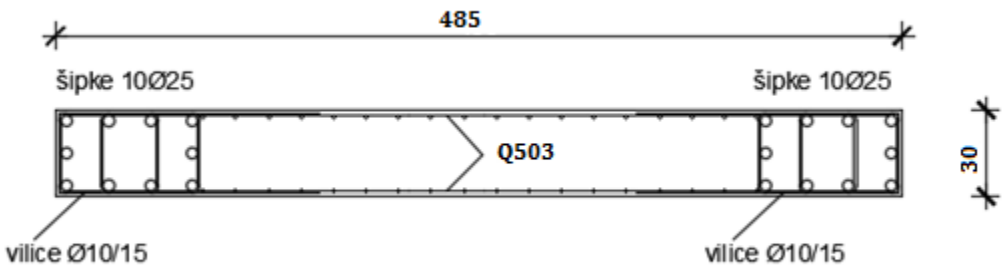
$$\alpha = 0,459 \cdot 0,59 = 0,271$$

$$\alpha \cdot \omega_{vd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot \left(\nu_d + \omega_v\right) \cdot \varepsilon_{yd} \cdot \frac{b_c}{b_0} - 0,035$$

$$0,271 \cdot 0,1 \geq 30 \cdot 5 \cdot \left(0,0573 + 0,0791\right) \cdot 0,001 \cdot \frac{40}{33} - 0,035$$

0,0271 $\geq$ -0,0102- odabrana armatura zadovoljava!

Odabrana armatura: Q-503 (A_s=5,03 cm^2/m) -obostrano, 10∅25 (A_s=49,09 cm^2)



Crtež 8.25. Plan armature zida

8.4 TEMELJI

8.4.1 Općenito

Temelj je dio konstrukcije koji omogućuje da se opterećenje sa "ležajeva" konstrukcije raspodjeli na toliku površinu tla, kolika je potrebna kako bi se postigla potrebna sigurnost od sloma tla, a da pri tom deformacije (slijeganje tla) omogućuju funkcionalnost građevine.

Temelji se dijele na :

- plitke temelje
- duboke temelje
- kombinirani temelji (npr. ploča s pilotima)

Plitki temelji prenose opterećenje od objekta na tlo samo preko donje dodirne površine temelja i tla. Oni se dijele na: temelje samce, temeljne trake, temeljne nosače, temeljni roštilj i temeljnje ploče.

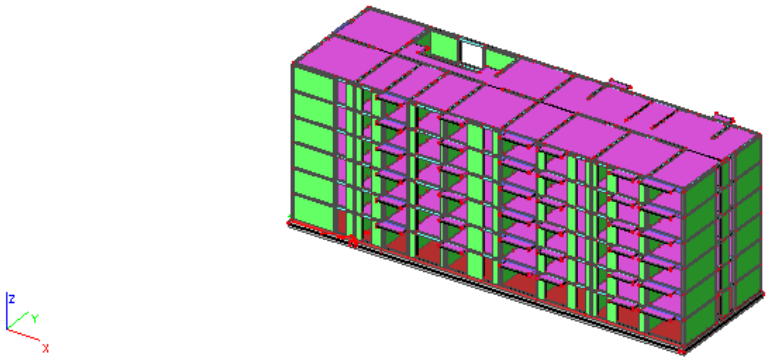
- Modeliranje temelja na elastičnoj podlozi

Temelji su modelirani kao 2D elementi koji predstavljaju temeljnu traku na kojoj se nalazi nadtemeljni zid. Izvedeni su od betona C35/45 i armirani s B500B. Ovisno o opterećenju koji preuzimaju pojedini temelji i kontaktnim naprezanjima koja se javljaju u tlu određena je potrebna širina i armatura temelja.

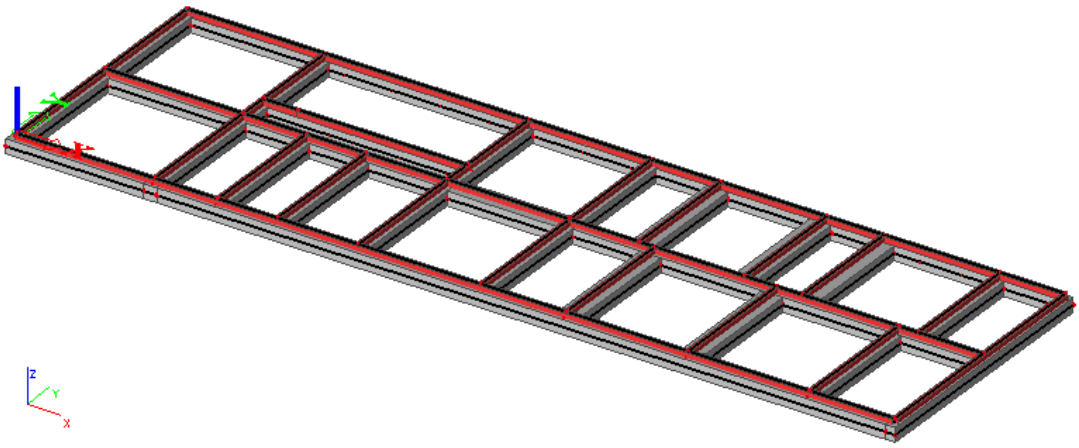
U ovom radu temelji su modelirani na elastičnoj podlozi (Winklerov model tla) tj. tlo je zamijenjeno skupom nezavisnih opruga konstantne krutosti k. Zadani su elastični ležajevi sa danim karakteristikama tla razreda A i modelom elastičnosti podloge od 50 MN/m^3.

Model temelja kao i model cijele građevine napravljen je u programskom paketu SCIA Engineer 15.3.

8.4.2 Temeljenje konstrukcije na trakastim temeljima

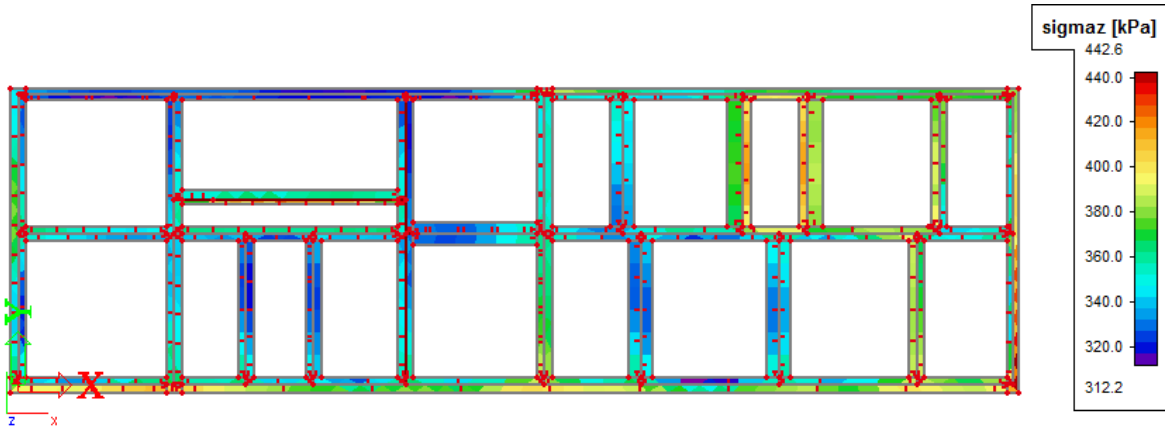


Crtež 8.26. Model konstrukcije na trakastim temeljima



Crtež 8.27. Model temelja – trakasti tip

Rezultati proračuna

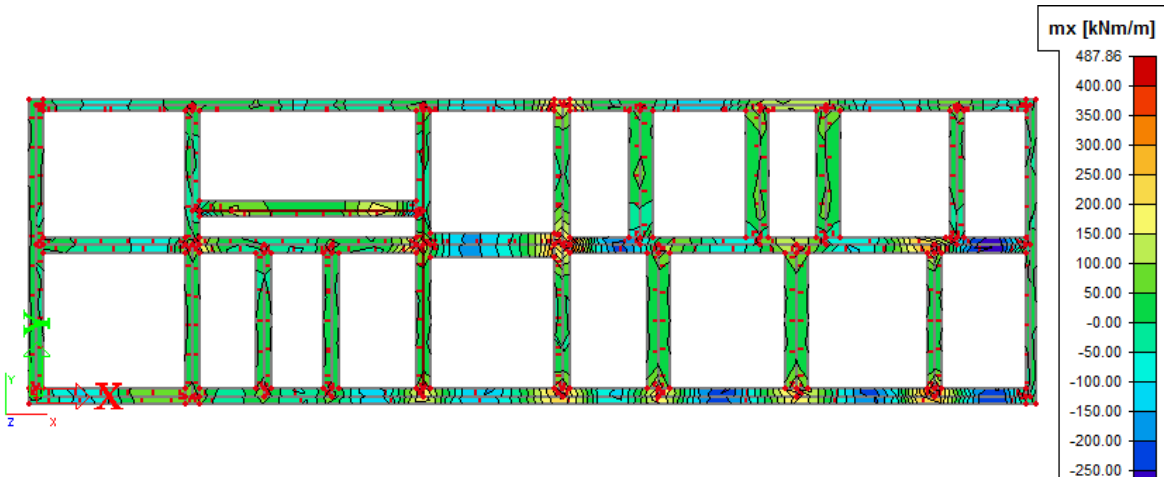


Crtež 8.28. Naprezanja [kPa] na kontaktu temeljnih stopa/tlo za kombinaciju

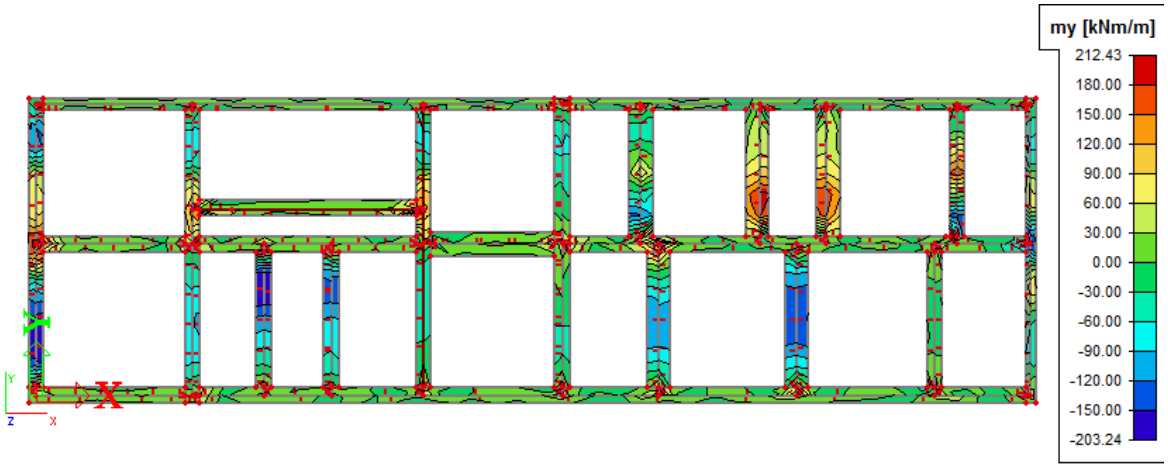
GSN-1: 1,35 · (G_0+G) + 1,5Q

Kontaktna naprezanja σ_{Sd} manja su od računske nosivosti σ_{sd}=450 kPa.

Crtež 8.29. Slijeganje temeljnih stopa Uz [mm] za kombinaciju GSU-1: 1,0 · (G_0+G) + 0,5Q



Crtež 8.30. Moment savijanja $M_{Sd,x}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35 · (G_0+G) + 1,5Q



Crtež 8.31. Moment savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35 · (G_0+G) + 1,5Q

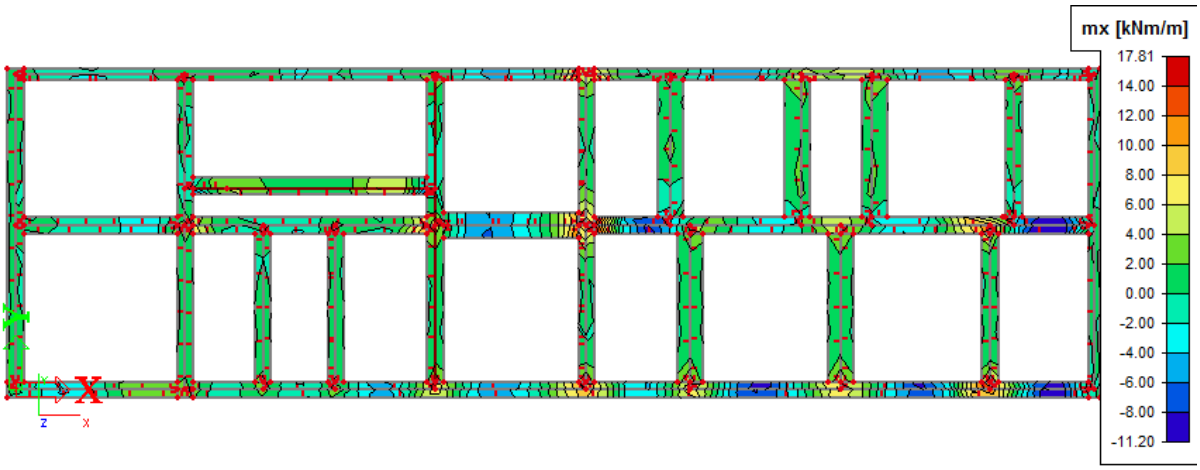
Prikaz potrebne armature

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}}; \; d = h - 5 \text{ cm}; \; h = \text{visina temeljne stope}$$

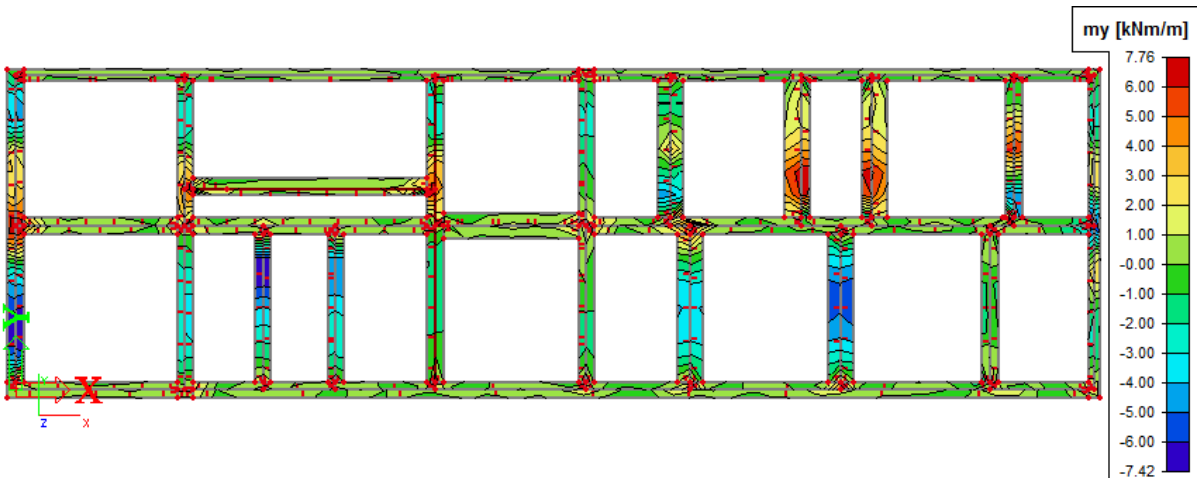
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0{,}9 \times 70 \times 43{,}48} = 0{,}0365 \times M_{sd}$$

Potrebna armatura u X smjeru (cm^2/m)



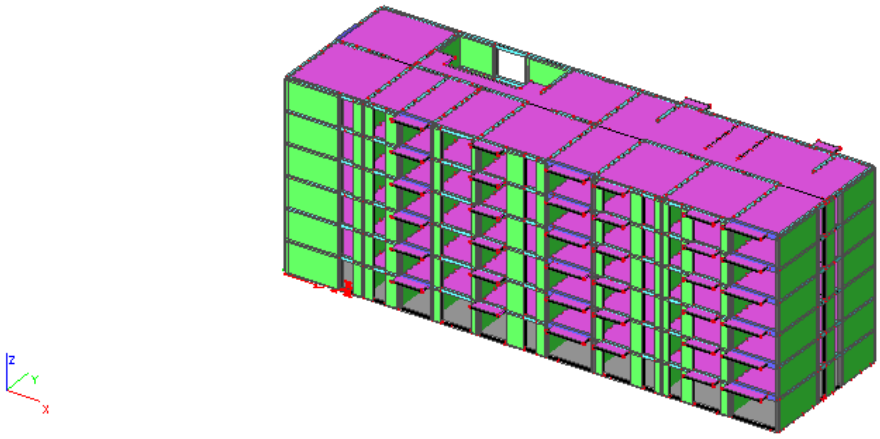
Crtež 8.32. Potrebna armatura [cm^2/m] u X smjeru

Potrebna armatura u Y smjeru (cm^2/m)

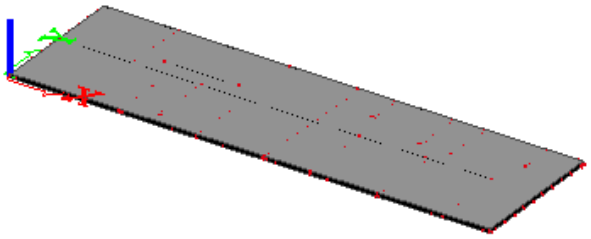


Crtež 8.33. Potrebna armatura [cm^2/m] u Y smjeru

8.4.3 Temeljenje konstrukcije na temeljnoj ploči

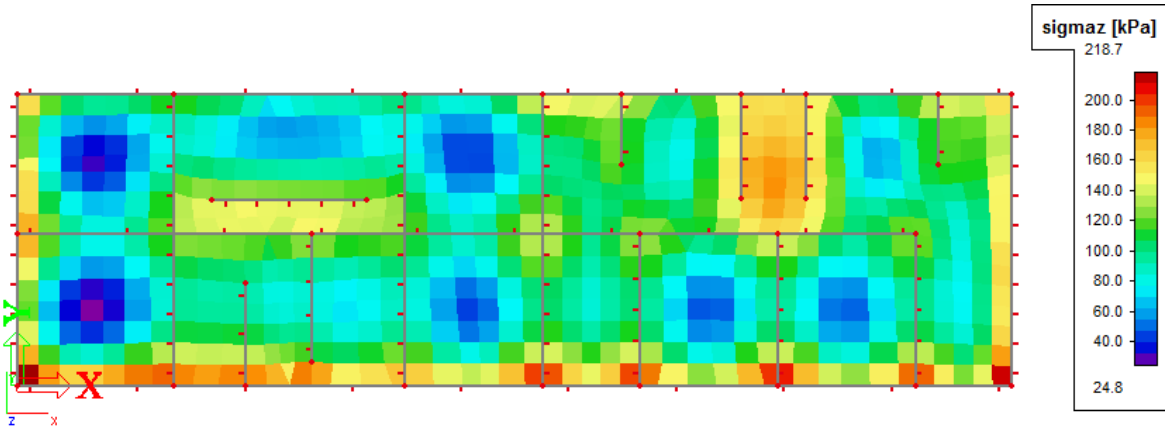


Crtež 8.34. Model konstrukcije na temeljnoj ploči



Crtež 8.35. Model temelja

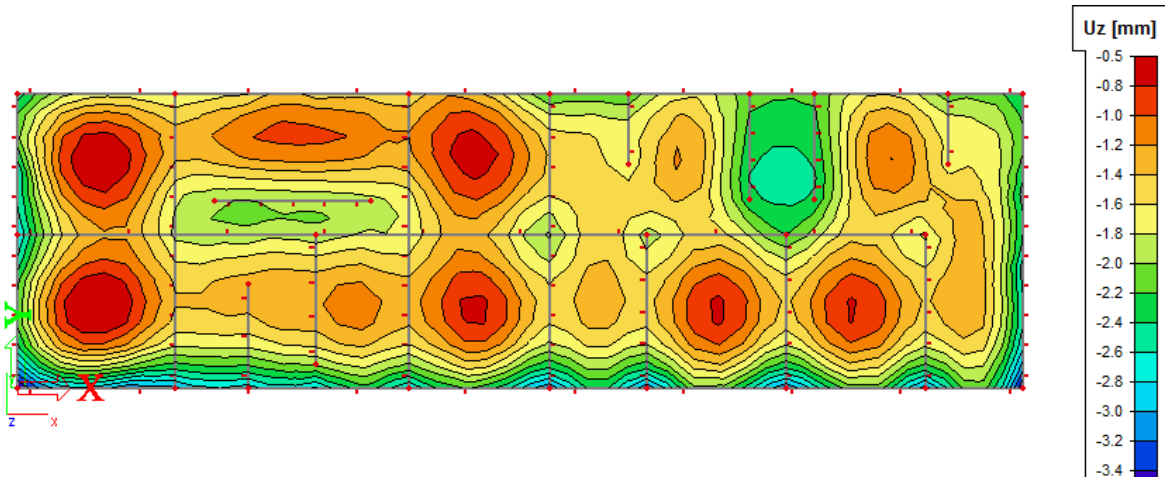
Rezultati proračuna



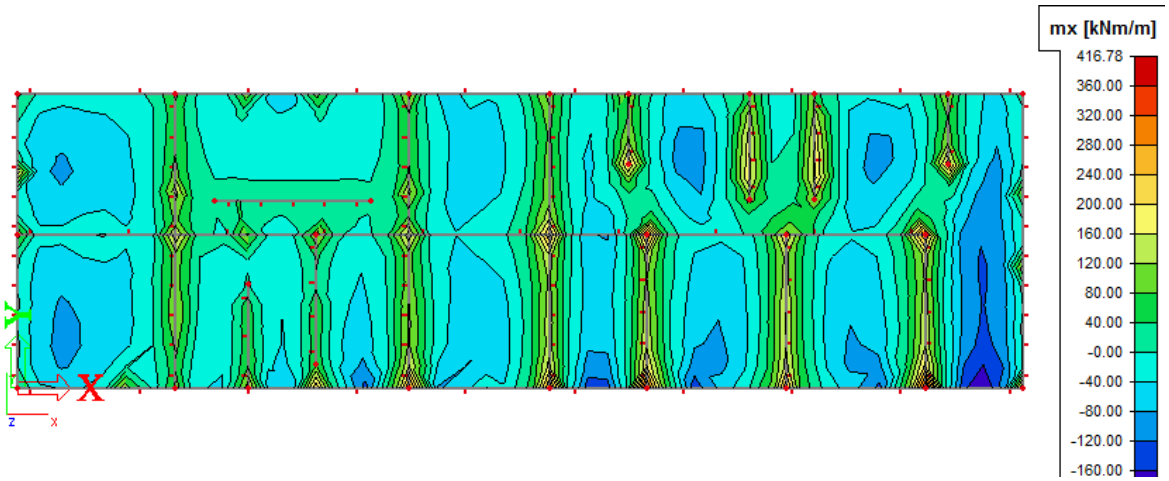
Crtež 8.36. Naprezanja [kPa] na kontaktu temeljne ploče/tlo za kombinaciju

GSN-1: 1,35 · (G_0+G) + 1,5Q

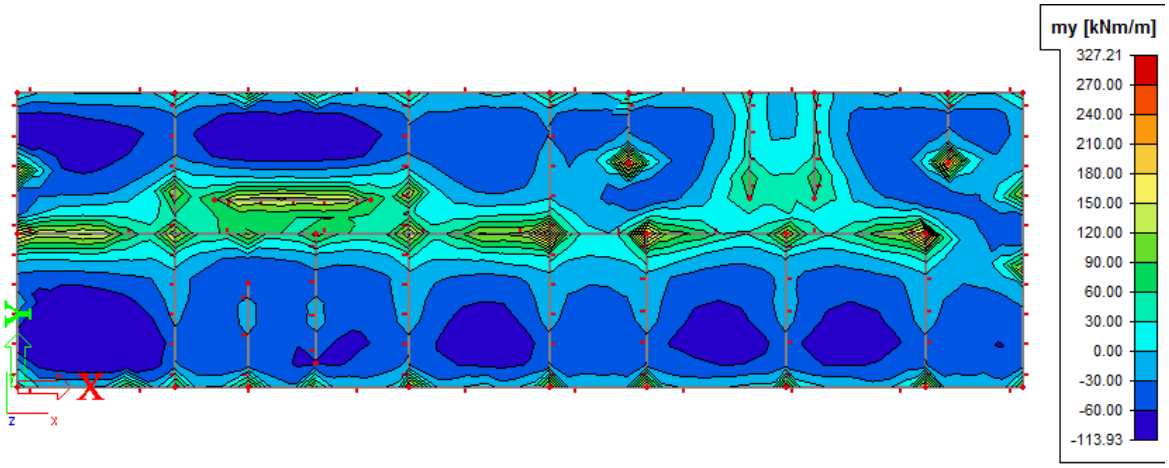
Kontaktna naprezanja σ_{Sd} manja su od računske nosivosti σ_{sd} = 450 kPa.



Crtež 8.37. Slijeganje temeljnih stopa Uz [mm] za kombinaciju GSU-1: 1,0 · (G_0+G) + 0,5Q



Crtež 8.38. Moment savijanja $M_{Sd,x}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35 · (G_0+G) + 1,5Q



Crtež 8.39. Moment savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35 · (G_0+G) + 1,5Q

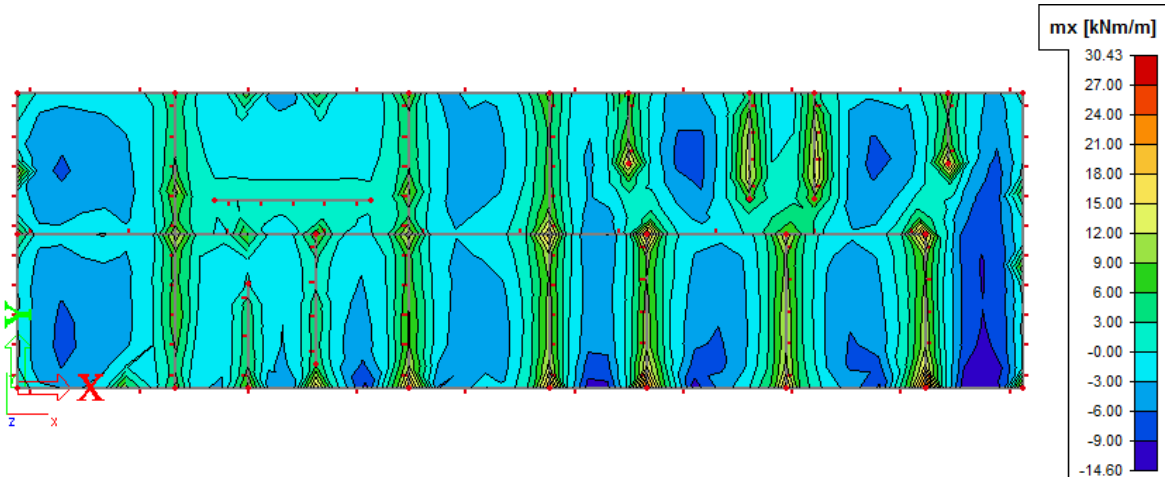
Prikaz potrebne armature

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}}; \; d = h - 5 \text{ cm}; \; h = \text{visina temeljne stope}$$

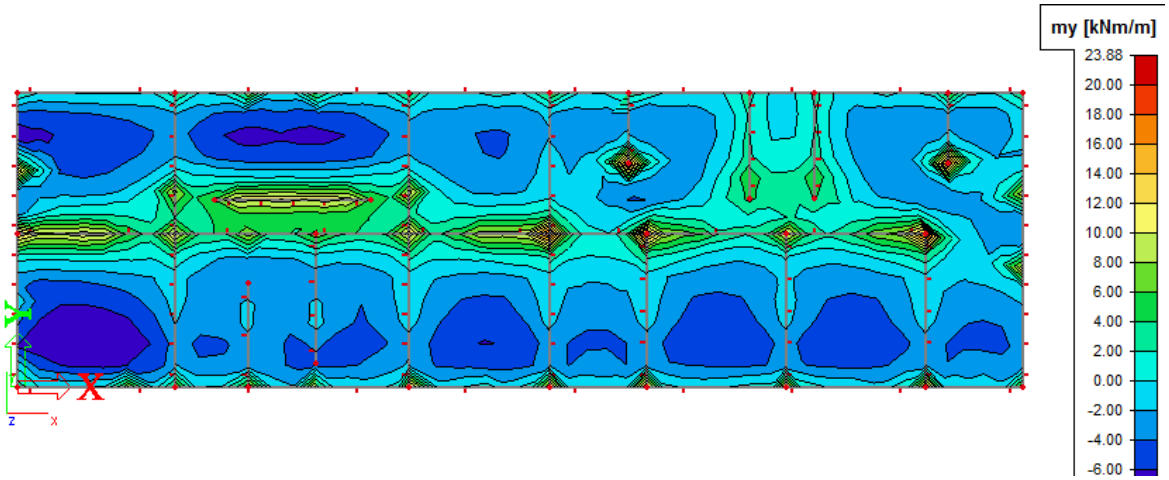
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0{,}9 \times 35 \times 43{,}48} = 0{,}073 \times M_{sd}$$

Potrebna armatura u X smjeru (cm^2/m)



Crtež 8.40. Potrebna armatura [cm^2/m] u X smjeru

Potrebna armatura u Y smjeru (cm^2/m)



Crtež 8.41. Potrebna armatura [cm^2/m] u Y smjeru

9. ZAKLJUČAK

Za predmetnu zidanu zgradu od porobetona provedena su tri proračuna. Prvi, pojednostavljeni proračun, proveden je koristeći pravila za jednostavne zidane zgrade, a potom proračun u računalnom programu SCIA Engineer 15.3, te konačno proračun u računalnom programu AmQuake.

U pojednostavljeni proračun ušli smo s preliminarnim dimenzijama nosivih zidova, te ih provjerili na vertikalno i potresno djelovanje. Na temelju rezultata pojednostavljenog proračuna, preliminarne dimenzije su usvojene, te se s njima krenilo u proračun nosivosti i uporabljivosti u računalnom programu SCIA Engineer 15.3. U tom programu, metodom spektralne analize provjerena je nosivost sustava na potresna opterećenja, te globalni pomak konstrukcije.

Na temelju rezultata dobivenih pojednostavljenim proračunom možemo vidjeti da konstrukcija zadovoljava s gledišta nosivosti na vertikalno i potresno djelovanje, zahvaljujući pravilnom i gotovo simetričnom tlocrtu te dovoljnom udjelu nosivih zidova u dva ortogonalna smjera. Sličan zaključak donose nam i rezultati iz računalnog programa jer pokazuje da je maksimalni pomak konstrukcije znatno manji od najvećeg dopuštenog.

Kod računalnog programa AmQuake dolazimo do manjih odstupanja od rezultata dobivenih pojednostavljenim proračunom, ali konstrukcija se i dalje pokazuje kao stabilan sustav s dovoljnom rezervom krutosti gledano prema najvećem dopuštenom pomaku konstrukcije.

Također su u računalnom programu proračunati temelji trakastog tipa i pločastog tipa. Iz rezultata sljeganja tla ispod temelja se može zaključiti da su ujednačenija naprezanja ispod temelja pločastog tipa, ali smo u konačnosti kao mjerodavne uzeli trakaste temelje radi boljeg iskorištenja materijala . Sljeganje tla ispod trakastih temelja podešavali smo prilagođavanjem širine temeljne trake.

10. PRILOZI

Prilog 1: Tlocrt temelja, M 1:100

Prilog 2: Tlocrt karakteristične etaže, M 1:100

Prilog 3: Presjek A-A i Presjek B-B, M 1:100

Prilog 4: Južno i zapadno pročelje, M 1:200

Prilog 5: Sjeverno i istočno pročelje, M 1:200

11. LITERATURA

[1] A. Mihanović, Dinamika konstrukcija, Udžbenici Sveučilišta u Splitu, Split, 1995.

[2] B. Trogrlić: Zidane konstrukcije (zapsi s predavanja), Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, 2016.

[3] D. Aničić; T. Franko; S. Lu, I. Par Koričić, M. Zupčić: Zidane konstrukcije: Priručnik za investitore, projektante, nadzorne inženjere i izvođače, Karlovac, Wienerberger Ilovac d.d., 2009.

[4] Europska norma EN 1998, CEN, Brussels, Belgium, 2004.

[5] Europska norma EN 1996, CEN, Brussels, Belgium,2004.

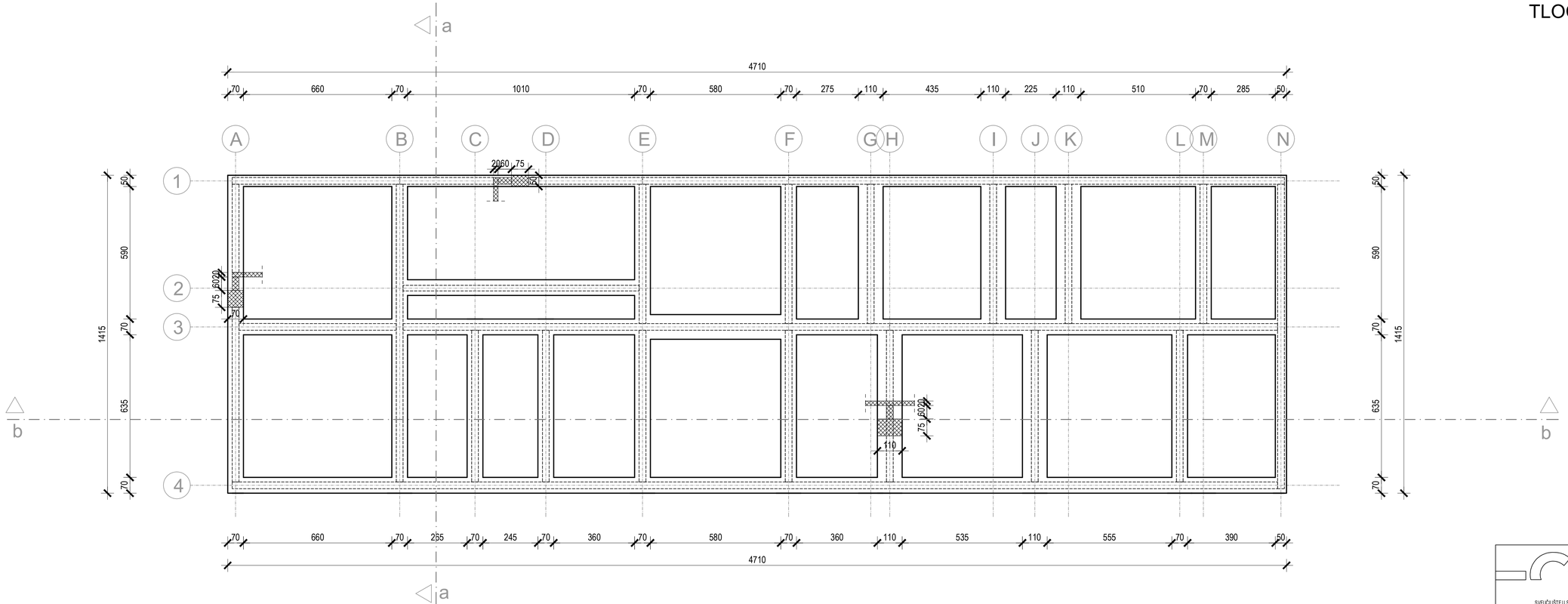
[6] Europska norma EN 1992, CEN, Brussels, Belgium,2004.

[7] Z. Sorić: Zidane konstrukcije , Udžbenici Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2016.

[8] V. Radma, M. Nikolić; Izvorni znanstveni rad: Utjecaj slučajne torzije na seizmički odaziv simetričnih konstrukcija

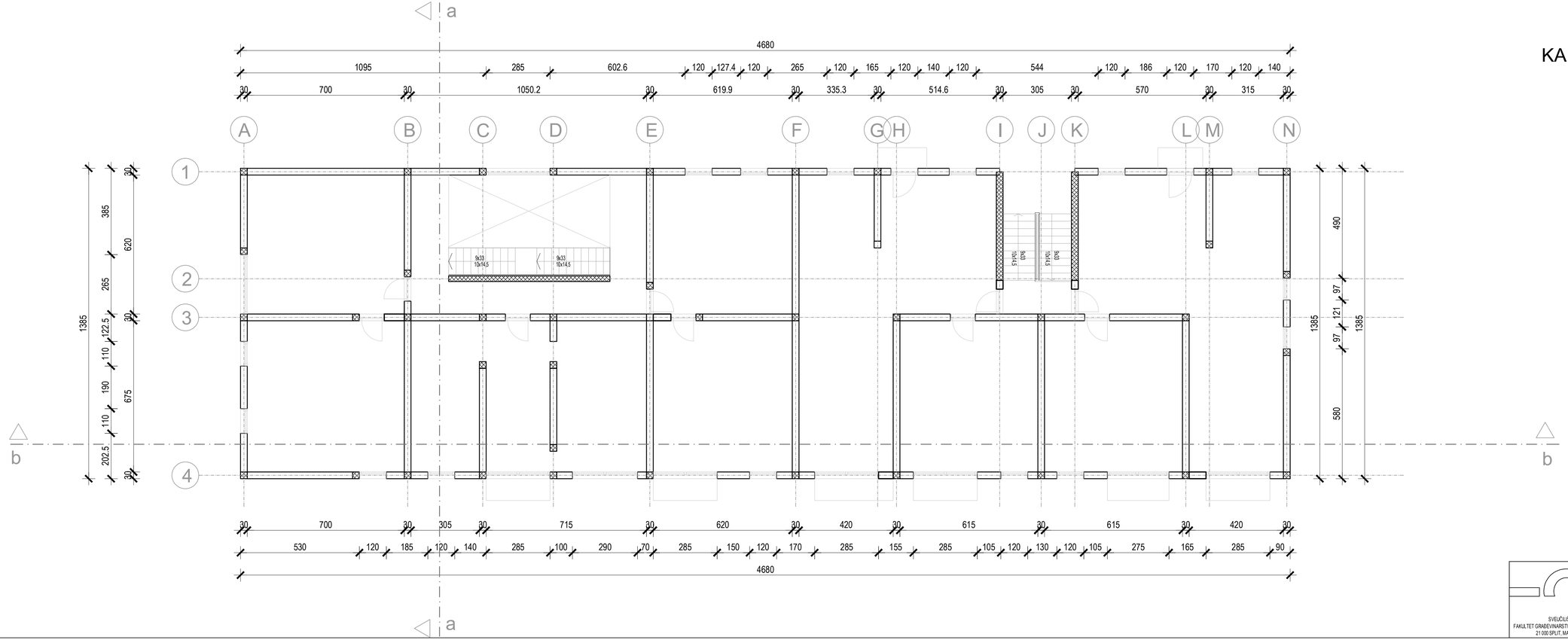
https://www.ytong.hr/

TLOCRT TEMELJA
M 1:100



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD		
	Tema:	Proračun stambene zgrade od armiranobetona	
	Student:	Kristina Popović	
	Sadržaj:	Tlocrt temelja	Mjerilo: 1:100
	Datum:	Lipanj 2017.	Broj priloga: 1

TLOCRT
KARAKTERISTIČNE ETAŽE
M 1:100

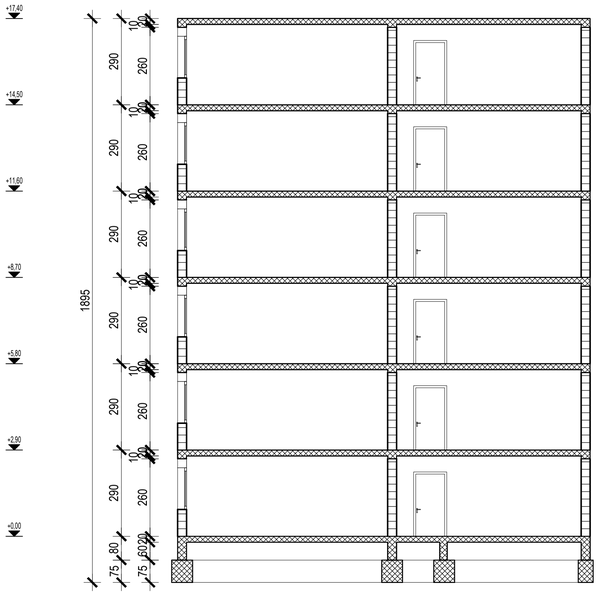


N

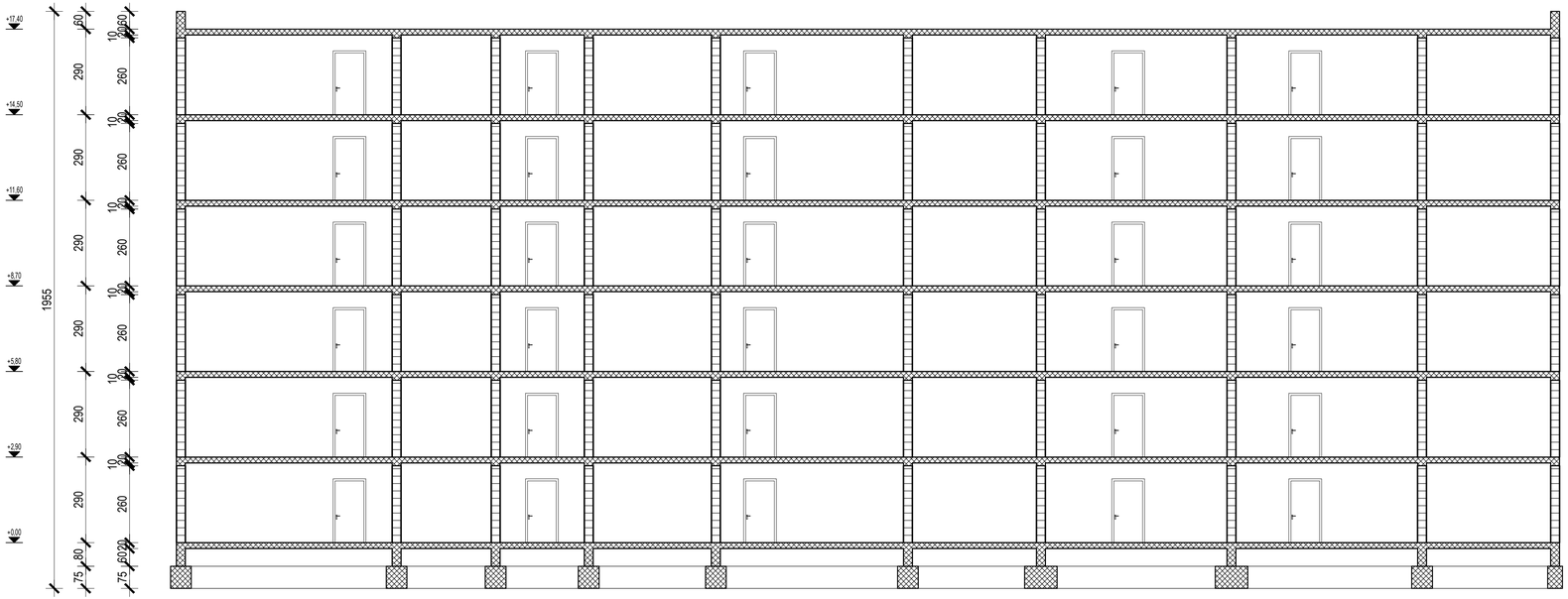
SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEOODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD		
	Tema:	Proračun stambene zgrade od armobetona	
	Student:	Kristina Popović	
	Sadržaj:	Tlocrt karakteristične etaže	Mjerilo: 1:100
	Datum:	Lipanj 2017.	Broj priloga: 2

PRESJECI a-a i b-b
M 1:100

Presjek a-a



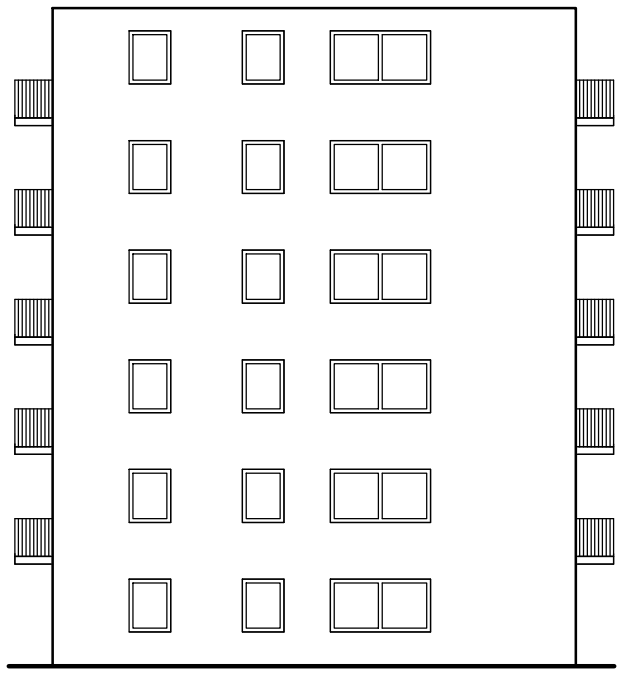
Presjek b-b



SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEOODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	**DIPLOMSKI RAD**		
	Tema:	Proračun stambene zgrade od armiranobetona	
	Student:	Kristina Popović	
	Sadržaj:	Presjek a-a i Presjek b-b	Mjerilo: 1:100
	Datum:	Lipanj 2017.	Broj priloga: 3

JUŽNO I ZAPADNO PROČELJE
M 1:200

ZAPADNO PROČELJE



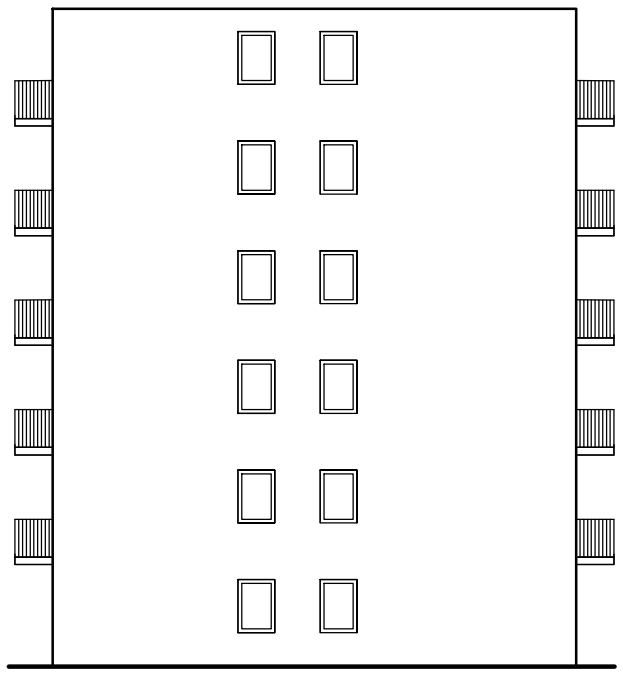
JUŽNO PROČELJE

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

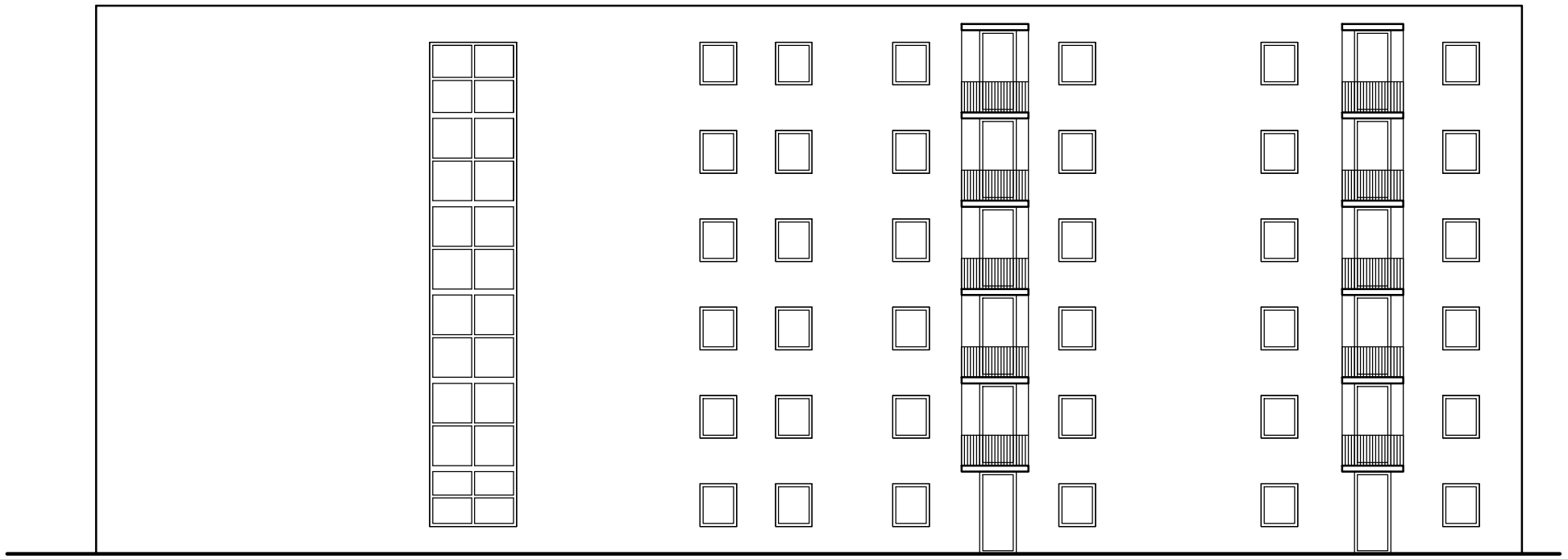
DIPLOMSKI RAD			
Tema:	Proračun stambene zgrade od porobetona		
Student:	Kristina Popović		
Sadržaj:	Južno i zapadno pročelje	Mjerilo:	Broj priloga: 4
Datum:	Lipanj 2017.	1:200	

SJEVERNO I ISTOČNO PROČELJE
M 1:200

ISTOČNO PROČELJE



SJEVERNO PROČELJE



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD			
Tema:	Proračun stambene zgrade od porobetona		
Student:	Kristina Popović		
Sadržaj:	Sjeverno i istočno pročelje	Mjerilo:	Broj priloga: 5
Datum:	Lipanj 2017.	1:100	