

# Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava

---

**Bosnić, Julija**

**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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:258839>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-18**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Julija Bosnić**

**Split, 2017.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

**Julija Bosnić**

**Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava**

**Diplomski rad**

**Split, 2017.**

*Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Borisu Trogrliću  
na pomoći pri izradi ovog rada i ugodnoj suradnji.*

*Hvala obitelji, bratu Vinku, sestri Ani,  
a posebno roditeljima koji su mi bili potpora kroz  
cijelo moje školovanje.*

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

STUDIJ: **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**  
KANDIDAT: **Julija Bosnić**  
BROJ INDEKSA: **604**  
KATEDRA: **Katedra za teoriju konstrukcija**  
PREDMET: **Zidane konstrukcije**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava

Opis zadatka: Izraditi projekt konstrukcije mješovitog nosivog sustava  
. 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 nacрте (temelji, tlocrti, presjeci, pročelja, detalje).

Zadano:

- Tlocrt tipične etaže,
- Blok opeka, srednja tlačna čvrstoća  $f_{b,sr} = 10,0$  MPa, Mort: M10,
- 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 konstrukcije mješovitog nosivog sustava**

### ***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 i metodom spektralne analize. 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 building with mixed support system**

### ***Abstract:***

This paper presents a calculation of the building with structural system of reinforced concrete elements and masonry walls. Seismic resistance is determined by the simplified calculation, according to the rules for simple masonry buildings, and also by spectral analysis method. The calculation of the plates, foundations, beams, columns and walls is made due to vertical load. Internal forces in the construction elements were calculated, which were 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 .....	4
2.3.1. Tlačna čvrstoća zidnih elemenata .....	5
2.4. MORT .....	6
2.5. VRSTE ZIDA .....	7
2.5.1. Omeđeno ziđe .....	8
2.6. MEHANIČKA SVOJSTVA ZIDA .....	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 ( $f_{xk}$ ) .....	14
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 .....	21
3.2.1. Temelji .....	21
3.2.2. Zidovi .....	21
3.2.4. Međukatna konstrukcija .....	22
3.2.5. Ostale konstrukcije .....	22
3.3. KORIŠTENI MATERIJALI .....	22
3.3.1. Blok opeka POROTHERM 30S PLUS .....	22
3.3.2. Beton .....	23
3.3.3. Armatura .....	24
4. ANALIZA OPTEREĆENJA .....	25
4.1. OPĆENITO .....	25
4.2. DJELOVANJA NA KONSTRUKCIJU .....	25
4.2.1. Stalno djelovanje .....	26
4.2.2. Uporabno opterećenje (Q) .....	27
4.2.3. Opterećenje vjetrom (W) .....	28
4.2.4. Opterećenje potresom (S) .....	32
4.3. KOEFICJENTI SIGURNOSTI I KOMBINACIJE OPTEREĆENJA .....	38

4.3.1. Parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale .....	38
4.3.2. Kombinacije opterećenja .....	38
1) Granično stanje uporabljivosti .....	38
2) Granično stanje nosivosti .....	39
Anvelopa kombinacija .....	39
5. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN ZIDOVA .....	40
5.1. IZRAČUN UDJELA NOSIVIH ZIDOVA .....	41
5.2. PRORAČUN ZIDOVA NA VERTIKALNA OPTEREĆENJA .....	41
5.3. PRORAČUN ZIDOVA NA POTRESNA DJELOVANJA .....	43
Razdioba ukupne potresne sile po zidovima .....	46
5.4. PRIKAZ NAPREZANJA ZIDOVA .....	52
6. REZULTATI PRORAČUNA NA POTRES .....	54
6.1. PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA ZGRADU S AB PRIZEMLJEM .....	55
6.3. PRORAČUN POMAKA KONSTRUKCIJE USLJED POTRESA .....	59
7. METODA NAGURAVANJA .....	61
7.1. OPĆENITO O METODI NAGURAVANJA .....	61
7.2. PRETPOSTAVKE METODE NAGURAVANJA IZ EN 1998-1 .....	62
7.3. POSTUPAK PROVEDBE PUSHOVER ANALIZE .....	64
7.3. Proračunski model .....	69
Model .....	69
7.4. Rezultati proračuna postupnog naguravanja .....	70
8. PRORAČUN KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA .....	73
8.1. PLOČE .....	73
8.1.1. Model .....	73
8.1.2. Opterećenja ploče .....	74
8.1.3. Prikaz rezultata .....	75
8.2. GREDE .....	81
8.2.1. Proračun potrebne armature u gredama .....	81
8.3. ZIDOVI .....	88
8.3.1. Zid u osi Gy /1-2 –Plošni element .....	90
8.5. TEMELJI .....	98
8.5.1. Općenito .....	98
8.5.2. Temeljenje konstrukcije na trakastim temeljima .....	99
8.5.3. Temeljenje konstrukcije na temeljnoj ploči .....	103
9. ZAKLJUČAK .....	107
10. PRILOZI .....	108
11. LITERATURA .....	109



## **1. UVOD**

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 ziđa 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 8-etažne stambene zidane zgrade, sa armirano-betonskim zidovima i omeđenim zidom na svim etažama, na gravitacijsko i potresno djelovanje.

Nosivu konstrukciju građevine čine armirano-betonski zidovi i omeđeni zidovi s armirano-betonskim vertikalnim i horizontalnim serklažama te međukatna armirano-betonska ploča.

Proračun je proveden na dva načina, pojednostavljeno poštujući pravila za jednostavne zidane zgrade prema EC-u te računalno u programskom paketu SCIA Engineer 16.1.

## 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. ekspanzirana šljaka visokih peći, ekspanzirana 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 <sup>2</sup> , osim za zidne elemente s jednom šupljinom kad je šupljina ≤ 18000 mm <sup>2</sup>
Kombinirana debljina (% ukupne širine) (vidi napomenu 3)	≥ 37,5	≥ 30	≥ 20	Nema zahtjeva
<b>NAPOMENE</b> 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 stijenke mjerena horizontalno na zidnom elementu pod pravim kutom na lice zida.				

U ovom radu za nosive zidove odabrana je blok opeka POROTHERM 30S PLUS, Prema tlačnoj čvrstoći koju posjeduje spada u kategoriju I, a prema postotku šupljina spada u skupinu zidnog elementa 2, što se može vidjeti u Izjavi o svojstvima (Tablica 2.2.).

**Tablica 2.2.** Izjava o svojstvima za opeku POROTHERM 30S PLUS

<b>Dimenzije:</b>			
duljina	mm	250	± 6
širina	mm	300	± 7
visina	mm	238	± 6
dopušteno odstupanje	razred	T1	
dopušteno pdstupanje	razred	R1	
Ravnost horizontalnih sljubnica:	mm	NPD	
Paralelnost ploha:	mm	NPD	
<b>Obujamska masa:</b>			
Bruto obujamska masa u suhom stanju	kg/m <sup>3</sup>	710	
Neto obujamska masa u suhom stanju	kg/m <sup>3</sup>	NPD	
razred	razred / %	D1	10
<b>Oblik i izgled:</b>			
Skupina zidnog elementa	-	2	EN 1996 -1
Postotak šupljina	%	<55	
<b>Tlačna čvrstoća:</b>			
razred	-	I	
Okomito na horizontalnu sljubnicu	N/mm <sup>2</sup>	10	
Normalizirana na horizontalnu sljubnicu	N/mm <sup>2</sup>	NPD	
Okomito na vertikalnu sljubnicu	N/mm <sup>2</sup>	2	
Normalizirana na vertikalnu sljubnicu	N/mm <sup>2</sup>	NPD	
Čvrstoća prijanjanja:	N/mm <sup>2</sup>	0,15/0,30	
Toplinska provodljivost $\lambda_{10,dry,unit}^*$	W/m·K	0,15	EN 1745 ( $\lambda$ termo malte =0,18 W/mK)
Paropropusnost:	-	$\mu = 5/10$	
Trajnost proizvoda:	razred	F0	
Vodoupojnost:	%	NPD	
Početna vodoupojnost:	kg/(m <sup>2</sup> ·min)	NPD	
Sadržaj aktivnih topivih soli:	razred	S0	
Širenje vlage:	mm/m	NPD	
Ponašanje pri požaru:	razred	A1	
Opasne tvari:	-	NPD	

EN 771-1:2011

### 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 zidu. 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  $\delta$  (Tablica 2.3.):

**Tablica 2.3.** Faktor oblika  $\delta$  za normaliziranje tlačne čvrstoće blokova

Visina zidnog elementa(mm)	Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa (mm)				
	50	100	150	200	$\geq 250$
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
$\geq 250$	1.55	1.45	1.35	1.25	1.15

Minimalna tlačna čvrstoća zidnog elementa :

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

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

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

Za odabranu blok opeku u proračunu, vrijednost tlačne čvrstoće okomito na horizontalnu sljubnicu iznosi  $10 \text{ N/mm}^2$ , a okomito na vertikalnu sljubnicu iznosi  $2 \text{ N/mm}^2$  (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 znom 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  $1000 \text{ kg/m}^3$ . Agregat može biti: perlit, ekspanzirana glina, plovučac

Mort se klasificira prema svojoj proračunskoj tlačnoj čvrstoći, a označava se slovom M nakon kojeg slijedi broj koji predstavlja tlačnu čvrstoću u  $\text{N/mm}^2$ . 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 ( $\text{N/mm}^2$ )	Približni sastav		
		cement	hidratizirano vapno	pijesak
M20	20	treba odrediti ispitivanjem		
M15	15	1	$0 - \frac{1}{4}$	3
M10	10	1	$\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$	$4 - 4\frac{1}{4}$
M5	5	1	$\frac{1}{2} - 1\frac{1}{4}$	5 - 6
M2	2	1	$1\frac{1}{4} - 2\frac{1}{2}$	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 mort M10 ( $f_m=10,0 \text{ MPa}$ ).

## 2.5. VRSTE ZIDA

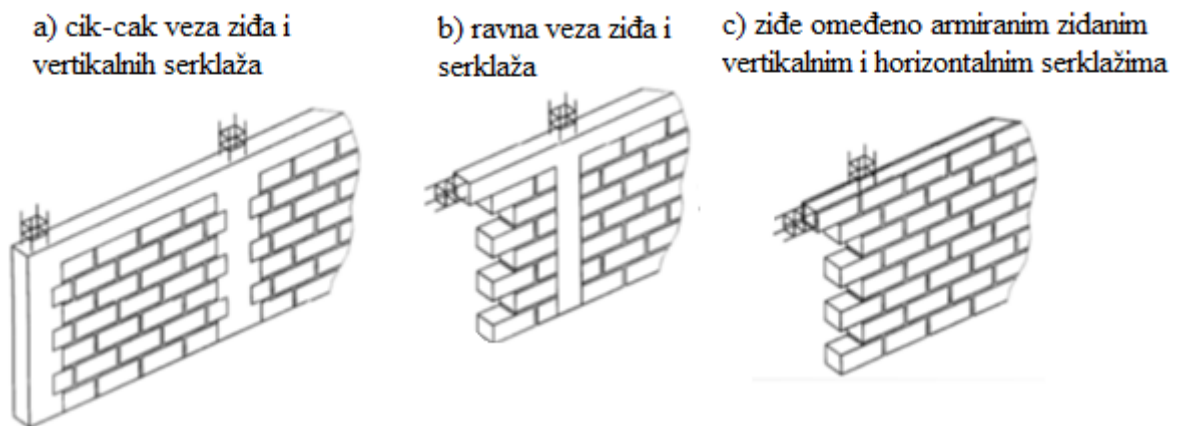
Zide se općenito svrstava u sljedeće konstruktivne kategorije:

- **Nearmirano zide**, ne sadrži nikakva prikladna ojačanja da bi se smatralo armiranim zidom
- **Omeđeno zide**, zide osigurano armirano-betonskim elementima-serklažima ili samo armiranim zidnim elementima u vertikalnom i horizontalnom smjeru

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

### 2.5.1. Omeđeno zide

Omeđeno zide prožeto je AB ili zidanim vertikalnim i horizontalnim serklažima. Vertikalni i horizontalni serklaži djeluju zajedno sa zidom i nisu samostalan okvir. Uloga serklaža je posebno značajna pri djelovanju potresa na zidane građevine. Serklaži povezuju i ukružuju zide. Znatno pridonose nosivosti zida 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 zidu i smanjuju deformacije zida. Vertikalni AB serklaži dominantno prenose vlačna naprezanja, dok horizontalni serklaži preraspodjeljuju vertikalna opterećenja na zide, posebno koncentrirane sile.



Crtež 2.2. Primjeri omeđenog zida



## 2.6. MEHANIČKA SVOJSTVA ZIDA

### 2.6.1. Tlačna čvrstoća zida ( $f_k$ )

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 zida u tlaku je manja nego nominalna tlačna čvrstoća bloka, od kojeg je ziđe izvedeno. S druge strane, čvrstoća zida može značajno prekoračiti slomnu čvrstoću kocke morta.

Opća svojstva:

- sekundarno vlačno naprezanje, koje prouzročuje pukotinski slom zida, posljedica je spriječenih deformacija morta u sljubnicama zida
- prividna tlačna čvrstoća bloka u standardnim ispitivanjima na tlak nije prava mjera čvrstoće bloka u zidu, jer je način sloma različit
- mort može podnijeti povećana tlačna naprezanja u fugama zbog višeosnog stanja naprezanja

Karakteristična tlačna čvrstoća zida,  $f_k$ , može biti određena ili iz granične čvrstoće zida visine kata ispitanog do sloma ili iz tlačne čvrstoće manjih uzoraka zida. 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 očitavanja. 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:

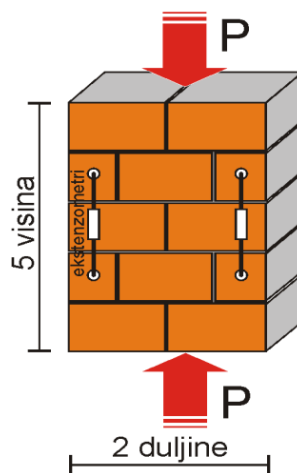
$f_k$  - karakteristična tlačna čvrstoća zida u  $\text{N/mm}^2$

$K$  - faktor ovisan o razredu bloka i tipu morta

$\alpha, \beta$  - konstante

$f_m$  - tlačna čvrstoća morta u  $\text{N/mm}^2$

$f_b$  - normalizirana srednja tlačna čvrstoća zidnog elementa u smjeru primijenjene sile u  $\text{N/mm}^2$



**Crtež 2.3.** Ispitivanje tlačne čvrstoće zida

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 zida, karakteristična tlačna čvrstoća zida ovisno o vrsti morta može se odrediti na temelju sljedećih jednadžbi:

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

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

**Tablica 2.4.** Konstanta K za mort opće namjene, tankoslojni mort i lagani mort

Zidni elementi		Mort opće namjene	Tankoslojni mort (horiz. sljubnica $\geq 0,5$ mm i $\leq 3$ mm)	Lagani mort obujamske mase	
				$600 \leq \rho_d \leq 800$ kg/m <sup>3</sup>	$800 < \rho_d \leq 1300$ kg/m <sup>3</sup>
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:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25} = 0,55 \cdot 11,5^{0,65} \cdot 10^{0,25} = 4,784 \text{ N / mm}^2$$

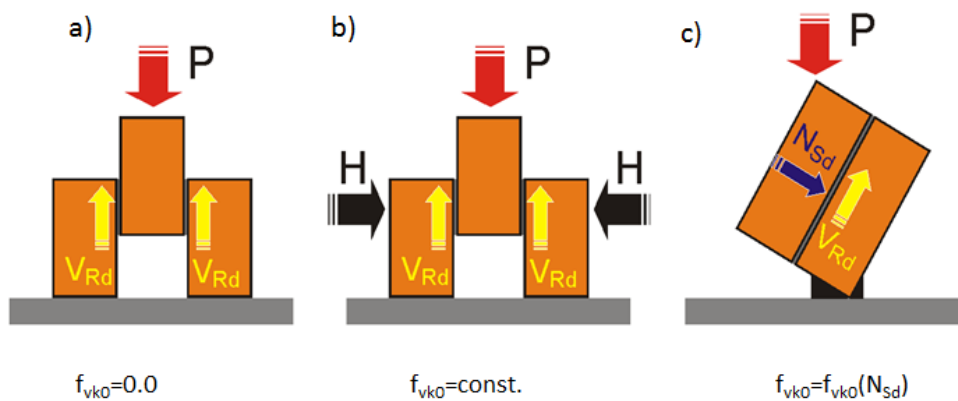
## 2.6.2. Posmična čvrstoća zida ( $f_v$ )

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.

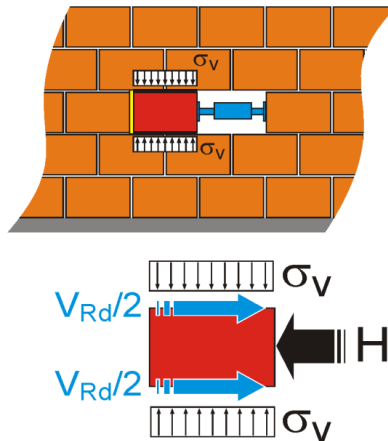
Eksperimentalno određivanje posmične čvrstoće,  $f_{vk}$ , vrši se na uzorcima (Crtež 2.4.)

- bez normalnog naprezanja
- dodavanjem normalnog naprezanja
- s uvijek prisutnim tlačnim naprežanjem



**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 зида – in situ

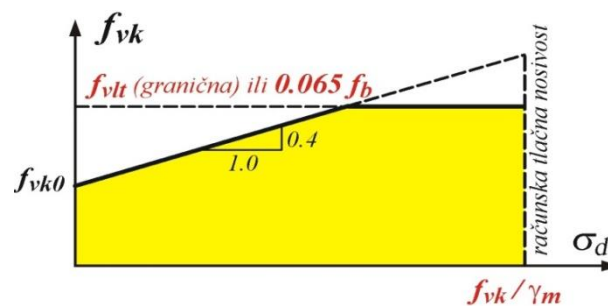
Računska karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog зида  $f_{vk}$ , uz postojanje uvjeta da su horizontalne i vertikalne sljubnice potpuno ispunjene mortom, može se uzeti kao najmanja vrijednost od:

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

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 vrijednosti  $f_{vko}$ , treba uzeti  $f_{vko} = 0,1 \text{ N/mm}^2$
- $f_{vlt}$  - limitirajuća vrijednost od  $f_{vk}$

- $\sigma_d$  - 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:

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

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  $f_{vko}$

Zidni element	$f_{vko}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
	Mort opće namjene		Tankoslojni mort (debljine horizontalnih sljubnica $\geq 0,5$ mm i $\leq 3,0$ 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		

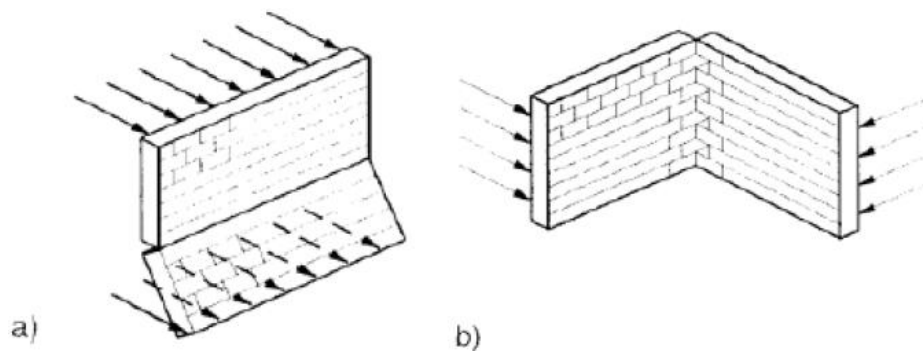
### 2.6.3. Karakteristična čvrstoća zida na savijanje ( $f_{xk}$ )

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

Karakteristične vrijednosti čvrstoće zida 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 zide 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 zida na savijanje:

- ravnina sloma paralelna horizontalnim sljubnicama morta,  $f_{xk1}$
- ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice morta,  $f_{xk2}$



Crtež 2.7. Čvrstoća zida na savijanje

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

Zidni element	$f_{xk1}$ (N/mm <sup>2</sup> )			
	Mort opće namjene		Tankoslojni mort	Lagani mort
	$f_m < 5$ N/mm <sup>2</sup>	$f_m \geq 5$ N/mm <sup>2</sup>		
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
Obradjeni prirodni kamen	0,05	0,10	0,15	Ne koristi se

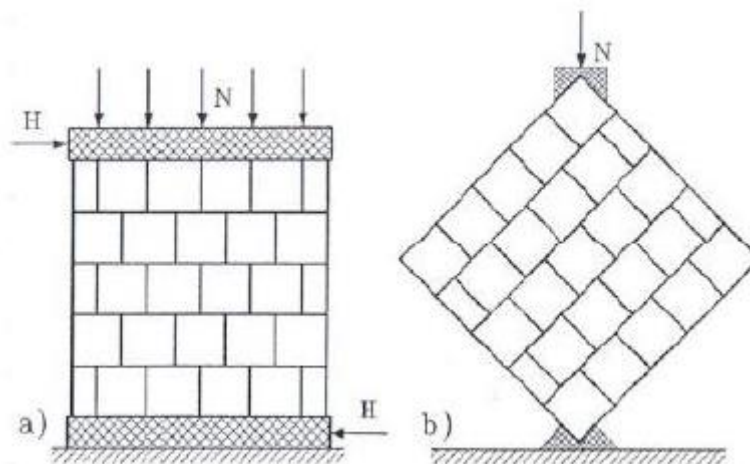
**Tablica 2.8.** Vrijednosti  $f_{xk2}$ , slomna ravnina okomita na horizontalne sljubnice

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

#### 2.6.4. Referentna vlačna čvrstoća zida (ft)

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:

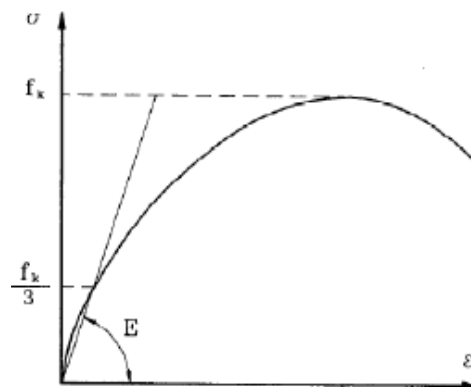
$$E = K_E \cdot f_k$$

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 iznosi:

$$E = K_E \cdot f_k = 1000 \cdot 4,784 = 4784 \text{ MPa}$$



**Crtež 2.9.** Dijagram naprezanja – relativna deformacija

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

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

**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:

$$G = 0,4 \cdot E = 0,4 \cdot 4784 = 1913,6 MPa$$

Za potresno djelovanje modul posmika iznosi:

$$G = 0,167 \cdot E = 0,167 \cdot 4784 = 798,93 MPa$$

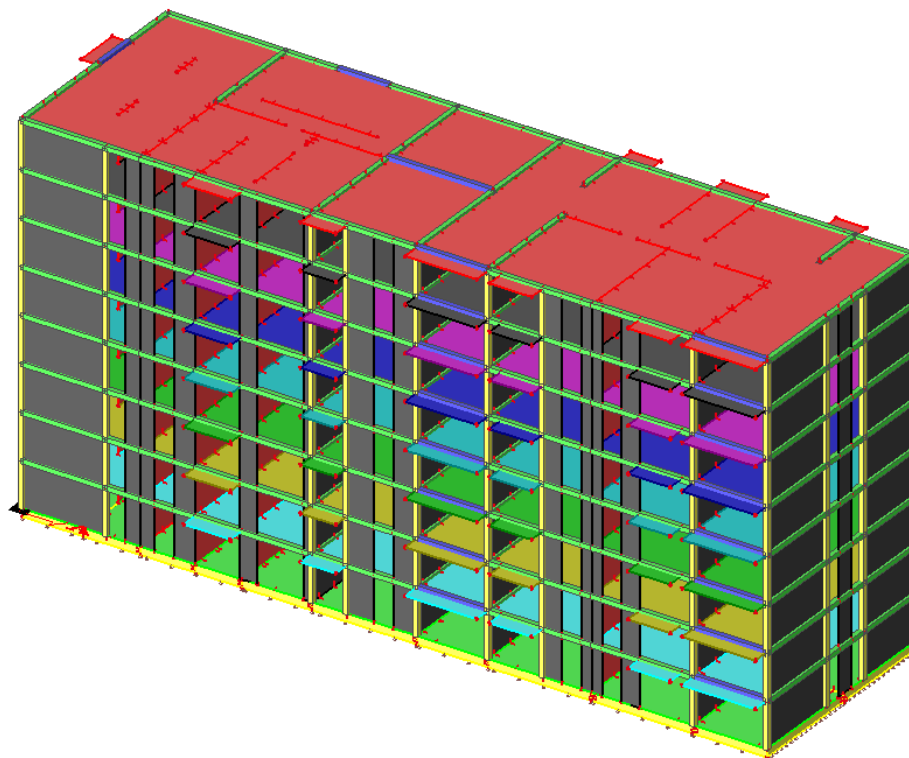
### **3. TEHNIČKI OPIS**

#### **3.1. OPĆENITO**

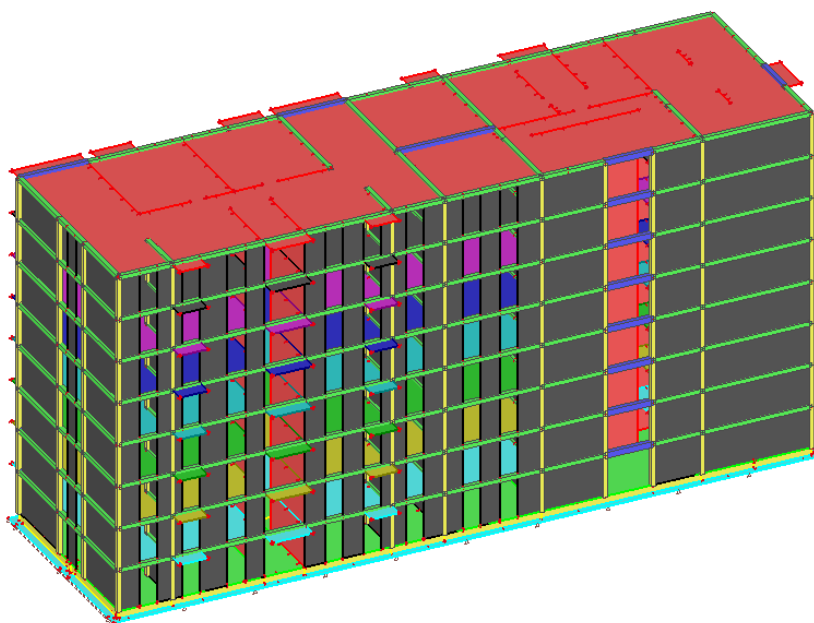
Predmet ovog diplomskog rada je proračun stambene zgrade s konstruktivnim sustavom od armirano-betonskih zidova i zidanih zidova. Predmetna građevina je osmerokatnica, pravilnog tlocrtnog oblika – pravokutnih dimenzija 46,60 x 13,70 m. Ukupna brutto površina građevine iznosi 638,42 m<sup>2</sup>. Visina svih etaža je 2,90 m, što čini 23,20 m ukupnu visinu 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



Crtež 3.2. 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 1,20 x 0,60 m, 1,00 x 0,60 m, 0,80 x 0,60 m te 1,80 x 0,60 m . Nadtemeljni zid je dimenzija 0,30 x 0,5 m. Podna ploča je debljine 20 cm. Svi elementi temelja izrađeni su od betona klase C35/45 i armirani čelikom za armiranje B500B.

Također je u radu prikazano temeljenje konstrukcije ne pločastom modelu temelja debljine 0,80 m.

### 3.2.2. Zidovi

Veći dio nosivih zidova izgrađen je od blok opeke POROTHERM 30S PLUS, a ostali dio nosivih zidova od armiranog betona marke C35/45.

Zidani zidovi su debljine  $t=30$  cm, a omeđeni su vertikalnim i horizontalnim serklažama, armirano betonski zidovi su također debljine  $t=30$  cm. Karakteristike blok opeke POROTHERM 30S PLUS prikazane su u Tablici 3.1.

**Tablica 3.1.** Karakteristike blok opeke nosivih zidova

Dimenzije:		25x30x23,8 cm
Masa cca.:	m	11,90 kg
Tlačna čvrstoća:		10,00 N/mm <sup>2</sup>
Potrošnja opeke:		16,00 kom/m <sup>2</sup>
		53,30 kom/m <sup>3</sup>
Potrošnja morta:		38,00 l/m <sup>2</sup>
Težina za m <sup>2</sup> zida		2,22 kN/m <sup>2</sup>

POROTHERM opeka izrađuje se samo od prirodnih materijala (glina, pijesak i piljevina), bez ikakvih sintetskih dodataka. Na taj način se dobiva s građevinsko-biološkog stanovišta idealan proizvod. Suvremena tehnologija proizvodnje osigurava minimalu emisiju štetnih čestica i smanjuje potrošnju energije u proizvodnom procesu. Pogodna je za gradnju nisko energetske objekata s vrhunskom termoizolacijom, znatno se smanjuju troškovi

grijanja i hlađenja, nije potrebno dodatno toplinski izolirati objekt. Zbog sposobnosti akumulacije topline zidovi se zimi polako hlade, a ljeti sporo zagrijavaju. POROTHERM S proizvodima u usporedbi sa klasičnom opekom postižete se 50% veća brzina gradnje, 30 % bolja toplinska izolacija, 30 % bolja seizmička svojstva te 25 % uštede na mortu.

Za zidanje rabljen je produžni mort marke M10 ( $f_m=10,0 \text{ N/mm}^2$ ), kojemu odgovara sljedeći volumni sastav:

$$\text{cement : hidratizirano vapno : pijesak} = 1 : (\frac{1}{4} - \frac{1}{2}) : (4 - 4\frac{1}{4})$$

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

### 3.2.4. Međukatna konstrukcija

Međukatna konstrukcija iznad etaža izvedena je kao armiranobetonska ploča debljine 20 cm, od betona C25/30 i armirana s B500B. Horizontalni serklaži ( $b/h=30/30 \text{ cm}$ ) izvedeni su zajedno s pločom, od betona C25/30 i armirani čelikom za armiranje B500B.

### 3.2.5. Ostale konstrukcije

Vertikalni serklaži su postavljeni prema pravilima struke. Dimenzije serklaža su 30x30 cm. Vertikalni serklaži izrađeni su od betona marke C25/30 i armirani čelikom za armiranje B500B.

## 3.3. KORIŠTENI MATERIJALI

### 3.3.1. Blok opeka POROTHERM 30S PLUS

U ovom radu za nosive zidove odabrana je blok opeka POROTHERM 30S PLUS, Prema tlačnoj čvrstoći koju posjeduje spada u kategoriju I, a prema postotku šupljina spada u skupinu zidnog elementa 2, što se može vidjeti u Izjavi o svojstvima (Tablica 2.2.) .

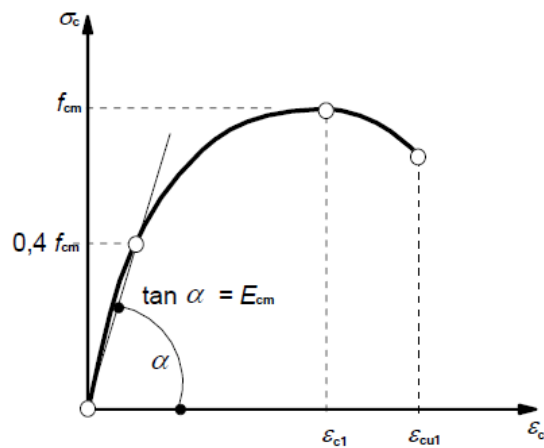
### 3.3.2. Beton

Armirano-betonski zidovi izrađeni su od betona klase C35/45 isto kao i temelji i nadtemeljni zidovi, dok su vertikalni i horizontalni serklaži i ploče izrađeni od betona klase C25/30.

Tablica 3.2. 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 $\tau_{Rd}$ [MPa]	0,30	0,34	0,37	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.



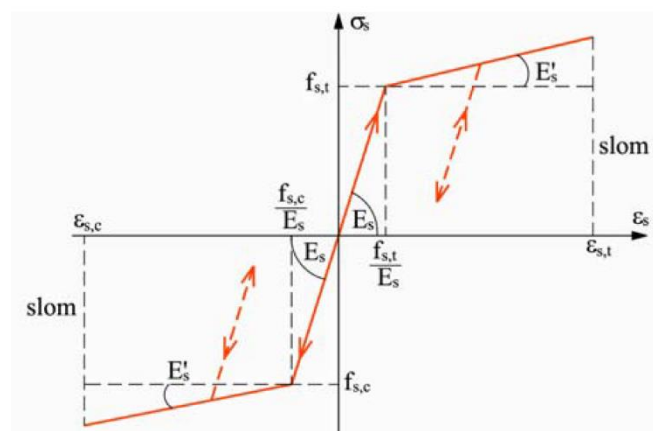
Crtež 3.3. Radni dijagram betona

### 3.3.3. Armatura

Svi armirano-betonski elementi armirani su čelikom za armiranje B500B, čiji je radni dijagram prikazan na Crtežu 3.4.

**Tablica 3.3.** Parametri čelika za armiranje

	<b>B 500B</b>
<b>Karakteristična vlačna i tlačna čvrstoća</b>	$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
<b>Modul elastičnosti</b>	$E = 21000 \text{ MPa}$



**Crtež 3.4.** 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 promjenjivosti tijekom vremena :

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

- promjenjiva 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 <sup>2</sup>
izolacije, instalacije, žbuka:	0,20 kN/m <sup>2</sup>
a-c estrih, d = 7 cm, $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ :	1,55 kN/m <sup>2</sup>
ukupno: 2,25 kN/m <sup>2</sup>	

## b) Međukatne ploče

pregradni zidovi ( gipskartonske ploče):	0,50 kN/m <sup>2</sup>
završni sloj poda:	0,50 kN/m <sup>2</sup>
izolacije, instalacije, žbuka:	0,20 kN/m <sup>2</sup>
a-c estrih, d = 7 cm, $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ :	1,55 kN/m <sup>2</sup>
ukupno: 2,70 kN/m <sup>2</sup>	

## c) Balkoni

završni sloj poda:	0,50 kN/m <sup>2</sup>
izolacije, instalacije, žbuka:	0,20 kN/m <sup>2</sup>
a-c estrih, d < 5 cm, $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ :	1,10 kN/m <sup>2</sup>
ukupno: 1,80 kN/m <sup>2</sup>	

**4.2.2. Uporabno opterećenje (Q)**

Prostorije u zgradama, ovisno o namjeni, svrstane su u pet osnovnih razreda i neke podrazrede s odgovarajućim karakterističnim opterećenjem. Tako za osnovni razred A (stambene prostorije, hotelske sobe itd.), vrijedi:

**Tablica 4.1.** Uporabno opterećenje za razred A

Opterećene	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
<b>A</b> - općenito	2,0	2,0
- stubišta	3,0	2,0
- balkoni	4,0	2,0

Uporabno opterećenje za krov je 1,0 kN/m<sup>2</sup>

### 4.2.3. Opterećenje vjetrom (W)

Opterećenje vjetrom (okomito na površinu) proračunava se prema izrazu:

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

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

gdje je:

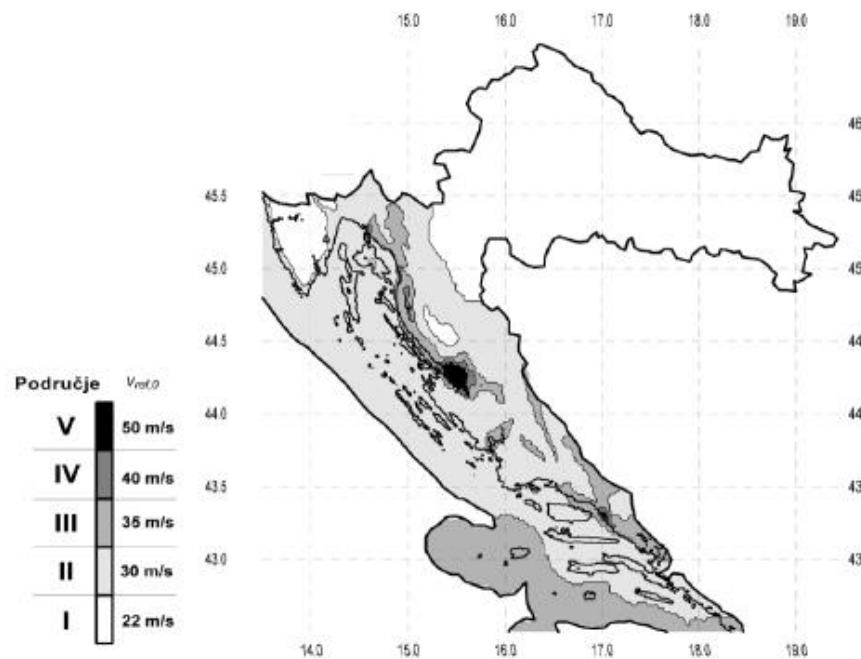
$q_{ref}$  - poredbeni tlak pri srednjoj brzini vjetra

$c_e(z_e); c_e(z_i)$  - 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

Poredbenu brzinu vjetra određujemo iz osnovne vrijednosti poredbene brzine vjetra  $v_{ref,0}$ , koja je prikazana na zemljovidu Hrvatske za područja opterećenja vjetrom. Hrvatska je podjeljena u deset regija, a svakoj pripada određeno opterećenje vjetrom.



Crtež 4.1. Vjetrovna karta Hrvatske

Prema vjetrovnoj karti 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:

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

Pri čemu su:

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

Poredbena brzina vjetra:

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

$$V_{\text{ref},0} = 30 \text{ [m/s]}$$

osnovna poredbena brzina vjetra

$$c_{\text{DIR}} = 1,0$$

koeficijent smjera vjetra

$$c_{\text{TEM}} = 1,0$$

koeficijent ovisan o godišnjem dobu

$$c_{\text{ALT}} = 1,0 + 0,001 a_s$$

koeficijent nadmorske visine,  $a_s = 100 \text{ m}$

$$c_{\text{ALT}} = 1,0 + 0,001 \cdot 100 = 1,1$$

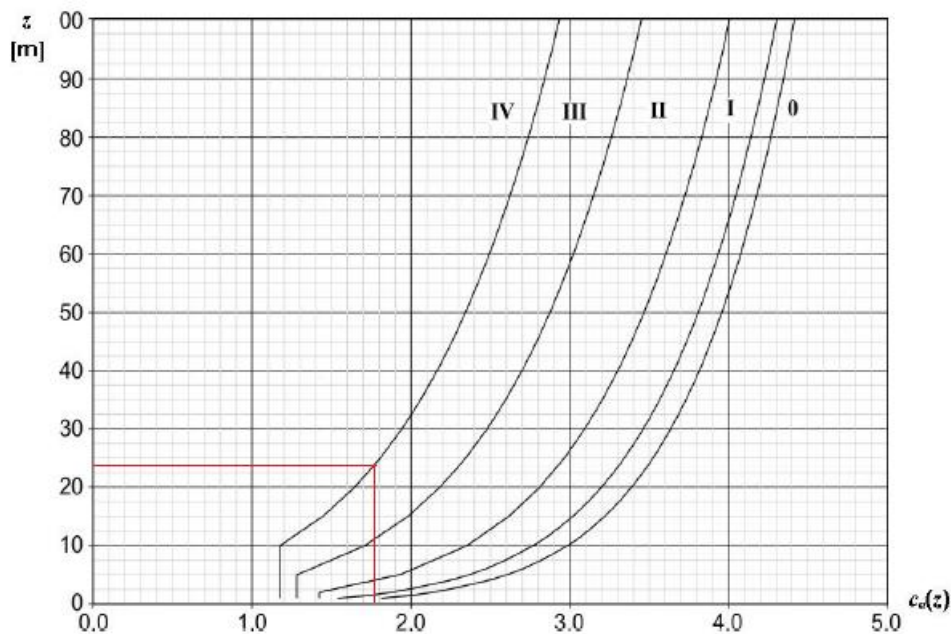
$$V_{\text{ref}} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 30 = 33 \text{ m/s}$$

visina objekta  $h = 23,2 \text{ m}$ ;

$$V_{\text{ref}} = 33 \text{ [m/s]}; \rho = 1,25 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

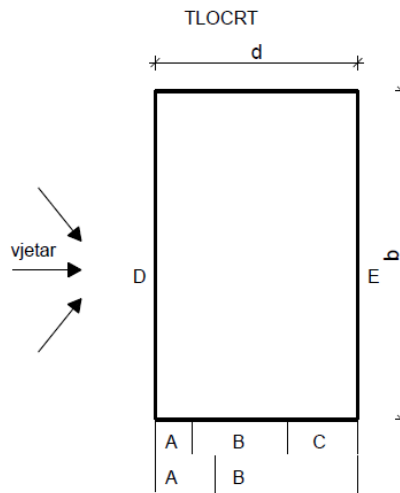
$$q_{\text{ref}} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{\text{ref}}^2 = \frac{1,25}{2} \cdot 33^2 = 680 \text{ N/m}^2 = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

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



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

Očitano na grafu:  $c_e(z_e) = 1,78$



**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	
$d/h$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
$\leq 1$	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-0,5	-0,5	+0,8	+1,0	-0,3	-0,3
$\geq 4$	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-0,5	-0,5	+0,6	+1,0	-0,3	-0,3

Koeficijenti vanjskog tlaka  $C_{pe}$  ( 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:

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

$$\text{za područje D } w_e = 0,68 \cdot 1,78 \cdot 0,8 = 0,97 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{za područje E } w_e = 0,68 \cdot 1,78 \cdot (-0,3) = -0,36 \text{ kN/m}^2$$

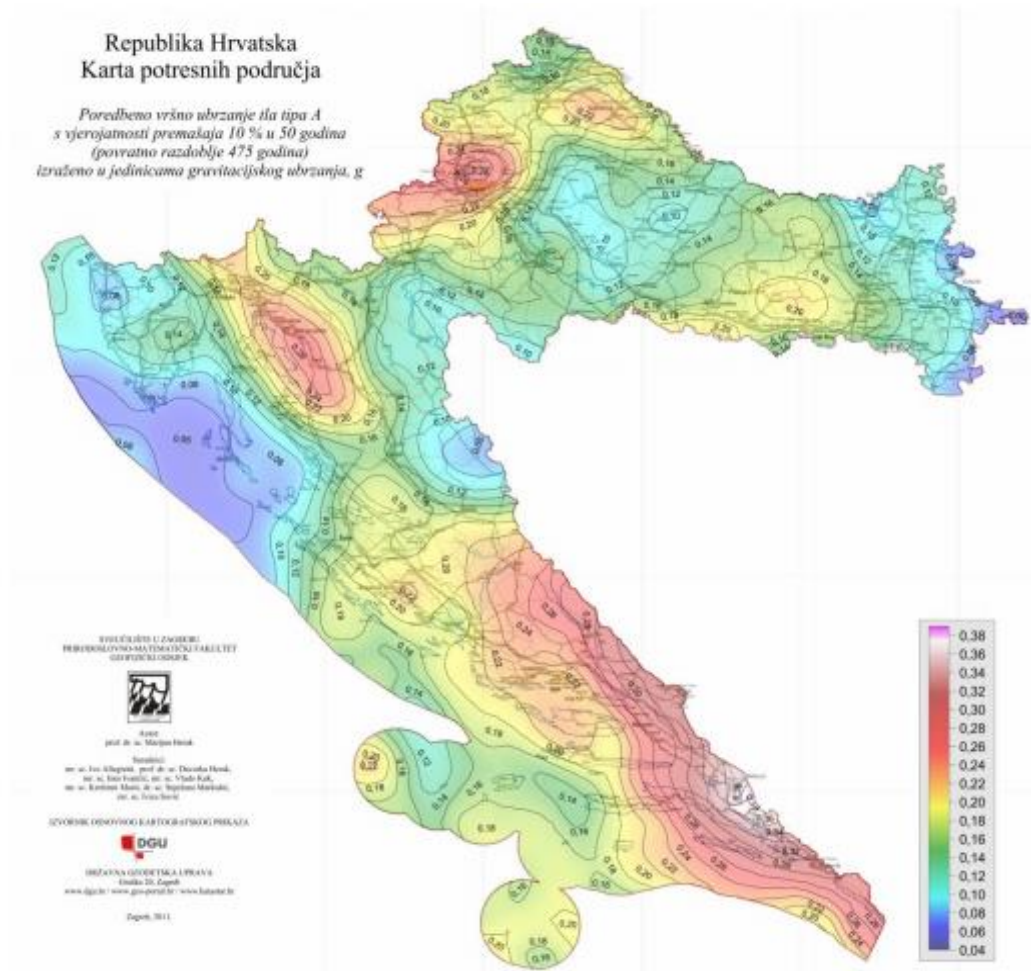
#### 4.2.4. Opterećenje potresom (S)

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.

Računsko ubrzanje tla za područje Splita iznosi :

-za granično stanje nosivosti očitano sa Crteža 4.4.

( $T_{NCR} = 475$  godina; 50 godina;  $P_{NCR} = 10\%$ ):  $a_{gr,GSN} = 0,22 \text{ g} = 2,00 \text{ m/s}^2$

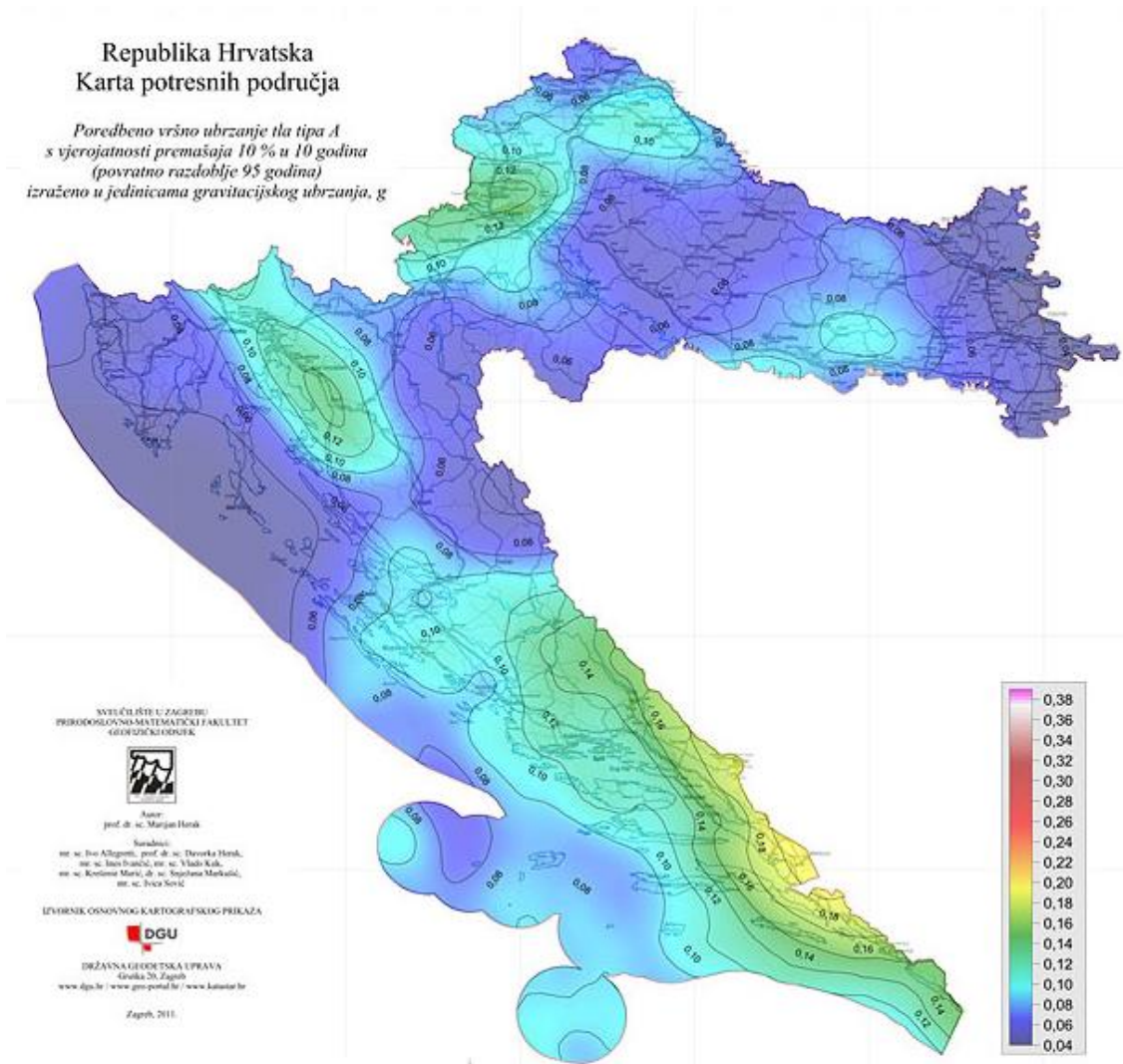


**Crtež 4.4.** Karta potresnih područja Hrvatske za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla  $a_{gr}$  za temeljno tlo tipa A, za poredbeno povratno razdoblje potresa  $T_{NCR} = 475$  godina



-za granično stanje uporabljivosti očitano sa Crteža 4.5.

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



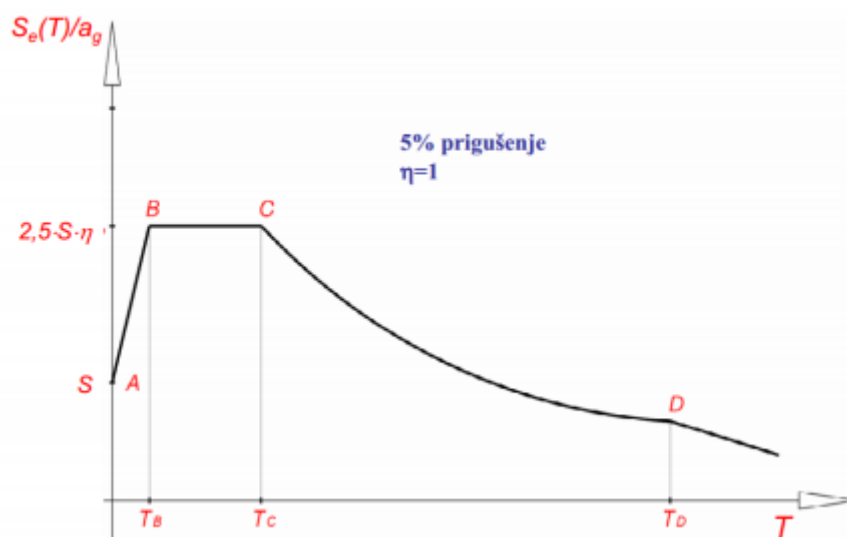
**Crtež 4.5.** Karta potresnih područja Hrvatske za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla  $a_{gr}$  za temeljno tlo tipa A, za poredbeno povratno razdoblje potresa  $T_{NCR} = 95$  godina

Računsko ubrzanje tla  $a_g$  ovisi o stupnju seizmičkog rizika i određuje se na temelju odgovarajućih seizmoloških ispitivanja lokacije građevine ili prema usvojenim vrijednostima za seizmička područja državnog teritorija.

Seizmičko djelovanje obično se predstavlja sa tri komponente (gibanje točke opisuje s dvije horizontalne i jednom vertikalnom komponentom). Za određivanje jedne komponente seizmičkog djelovanja obično se koristi spektar seizmičkog ubrzanja tla u jednom translacijskom smjeru.

Spektar odaziva podrazumjeva proračun odziva konstrukcije. U slučaju gdje je proračunsko seizmičko opterećenje određeno na temelju spektra odziva potrebno je proračunati samo učinke djelovanja.

Elastični spektar odgovora (ubrzanja) definira se analitički i kvalitativno.



Crtež 4.5. Elastični spektar odgovora za horizontalno seizmičko djelovanje

Izrazi za elastični spektar odgovora:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_e(T) = a_g S ((1+T/T_B)(\eta\beta_0-1))$$

$$T_B \leq T \leq T_C \quad S_e(T) = a_g \eta S \beta_0$$

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \eta S \beta_0 (T_C/T)^{k1}$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \eta S \beta_0 (T_C/T)^{k1} (T_D/T)^{k2}$$

Pri čemu su:

- $S_e(t)$  ordinata spektra odgovora u jedinici ubrzanja tla
- $a_g$  osnovno računsko ubrzanje tla
- $S$  modificirani faktor tla
- $T$  osnovni period osciliranja linearnog sustava
- $T_B, T_C$  granice intervala konstantnog spektra ubrzanja
- $T_D$  granica koja definira početak područja spektra s konstantnim pomacima
- $\beta_0$  faktor spektralnog ubrzanja;  $\beta_0=2.5$
- $k_1, k_2$  eksponenti koji utječu na olik spektra odgovora za  $T \geq T_C$
- $\eta$  korekcijski faktor prigušenja (iznosi 1 za viskozno prigušenje 5%)

Utjecaj potresa na konstrukciju ovisi i o vrsti tla na kojem se konstrukcija gradi.

Proračunska konstrukcija spada u razred tla A za koji vrijedi:

-stjenovita tla s brzinom širenja poprečnih valova  $v_s \geq 800$  m/s

-pjeskovita i šljunkovita tla s  $v_s \geq 800$  m/s, na dubini od 10 m

Za odgovarajući spektar ubrzanja uzimamo iduće parametre:

**Tablica 4.4.** Potresni parametri koji opisuju elastični spektar titranja za pojedine razrede tla

Kategorija tla	S	$\beta_0$	$k_1$	$k_2$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A	1,0	2,5	1,0	2,0	0,1	0,4	3,0

Da izbjegnemo opsežnu nelinearnu analizu sustava, uzimamo u obzir mogućnost disipacije energije konstrukcije preko duktilnosti njenih elemenata (i drugih nelinearnih efekata) te koristimo linearnu analizu koja se zasniva na računskom spektru odgovora koji je reduciran u odnosu na elastični spektar. Računski spektar odgovora dobiva se iz elastičnog tako da mu se vrijednost zamjeni recipročnom vrijednošću faktora ponašanja  $q$ .

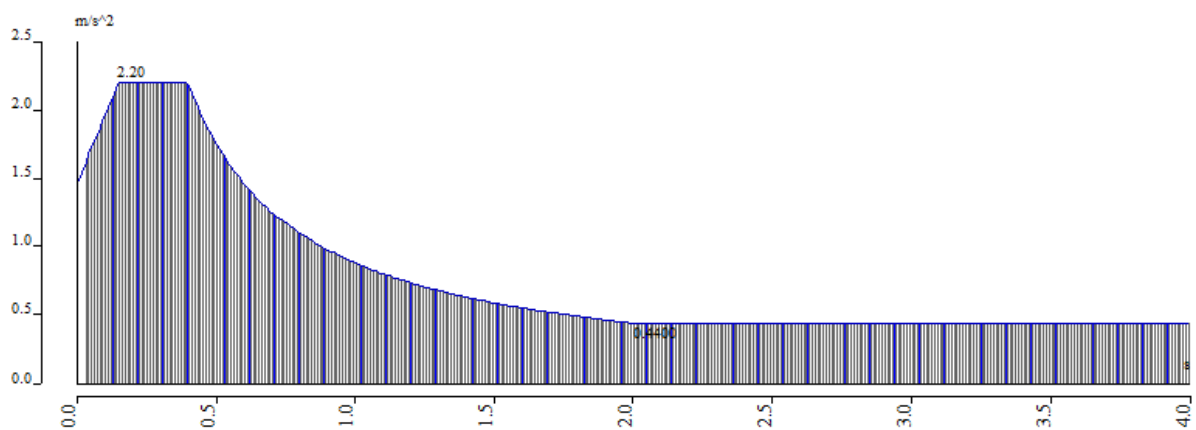
Faktor ponašanja ( $q$ ) za ovakvu vrstu građevine uzet je 2,5.

**Tablica 4.5.** Tipovi gradnje i faktor ponašanja

Tipovi gradnje	Faktor ponašanja $q$	
	EN 1998-1	NA <sup>1)</sup>
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

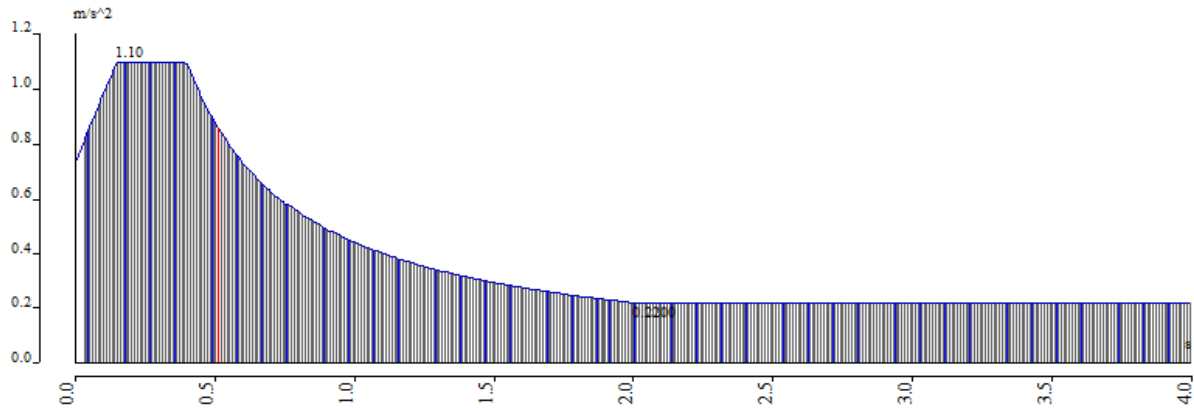
Faktor važnosti građevine  $\gamma_1 = 1,0$  (obične zgrade, koje ne spadaju u ostale kategorije važnosti zgrada).

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

$$a_{gr,GSN} = 0,22 \text{ g} = 2,00 \text{ m/s}^2, q = 2,5, \text{ tlo A}$$



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

$$a_{gr,GSU} = 0,12 g = 1,10 \text{ m/s}^2, q = 2,5, \text{ tlo A}$$

### Slučajni torzijski učinci (T)

Kako bi se uzele u obzir uzele nesigurnosti u položaju masa i prostorne promjene potresnog gibanja, smatra se da je proračunato središte masa na svakom stropu i pomaknuto iz svog nazivnog položaja u svakom smjeru za slučajnu ekscentričnost.

Slučajni ekscentricitet:  $e = \pm 0,05 L$

$e$  - slučajna ekscentričnost mase

$L$  – dimenzija stropa okomito na smjer potresnog djelovanja

Opterećenje konstrukcije ekscentricitetom je izračunato i u programu postavljeno ručno tako da su potresne reakcije za pojedini smjer djelovanja potresa pomnožene s iznosom ekscentriciteta za pojedini smjer te je potom dobiveni moment djelovanja raspodjeljen na 6 etaža konstrukcije.

### 4.3. KOEFICJENTI SIGURNOSTI I KOMBINACIJE OPTEREĆENJA

#### 4.3.1. Parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale

Beton  $\gamma_c = 1,5$

Čelik za armiranje,  $\gamma_s = 1,15$

Za ziđe je usvojeno  $\gamma_M = 2,20$

#### 4.3.2. Kombinacije opterećenja

##### 1) Granično stanje uporabljivosti

Oznaka kombinacije	Opis kombinacije i faktoriranje	Kontrola:
GSU-1	česta kombinacija: $1,0*(G_0 + G) + 0,5Q$	progibi ploča i slijeganje temelja
GSU-2	nazovistalna kombinacija $1,0*(G_0 + G) + 0,3Q$	ograničenje tlačnog naprezanja u AB elementima; dugotrajni progib

## 2) Granično stanje nosivosti

GSN-1	$1,35*(G_0+G) + 1,5*Q$
GSN-2	$1,35*(G_0+G) + 1,5*Q + 1,5*(0,6*WX)$
GSN-3	$1,35*(G_0+G) + 1,5*Q - 1,5*(0,6*WX)$
GSN-4	$1,35*(G_0+G) + 1,5*Q + 1,5*(0,6*WY)$
GSN-5	$1,35*(G_0+G) + 1,5*Q - 1,5*(0,6*WY)$
GSN-6	$1,35*(G_0+G) + 1,5*WX + 1,5*(0,6*Q)$
GSN-7	$1,35*(G_0+G) - 1,5*WX + 1,5*(0,6*Q)$
GSN-8	$1,35*(G_0+G) + 1,5*WY + 1,5*(0,6*Q)$
GSN-9	$1,35*(G_0+G) - 1,5*WY + 1,5*(0,6*Q)$
GSN-10	$1,0*(G_0+G) + 0,3*Q \pm 1,0*SX + 0,3*SY + TX$
GSN-11	$1,0*(G_0+G) + 0,3*Q \pm 1,0*SX + 0,3*SY - TX$
GSN-12	$1,0*(G_0+G) + 0,3*Q \pm 1,0*SY + 0,3*SY + TY$
GSN-13	$1,0*(G_0+G) + 0,3*Q \pm 1,0*SY + 0,3*SY - TY$

## Anvelopa kombinacija

ANV2-9	Anvelopa kombinacija - (GSN-2, ... GSN-9)
ANV10-13	Anvelopa kombinacija - potres (GSN-10, ... GSN-13)

## 5. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN ZIDOVA

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

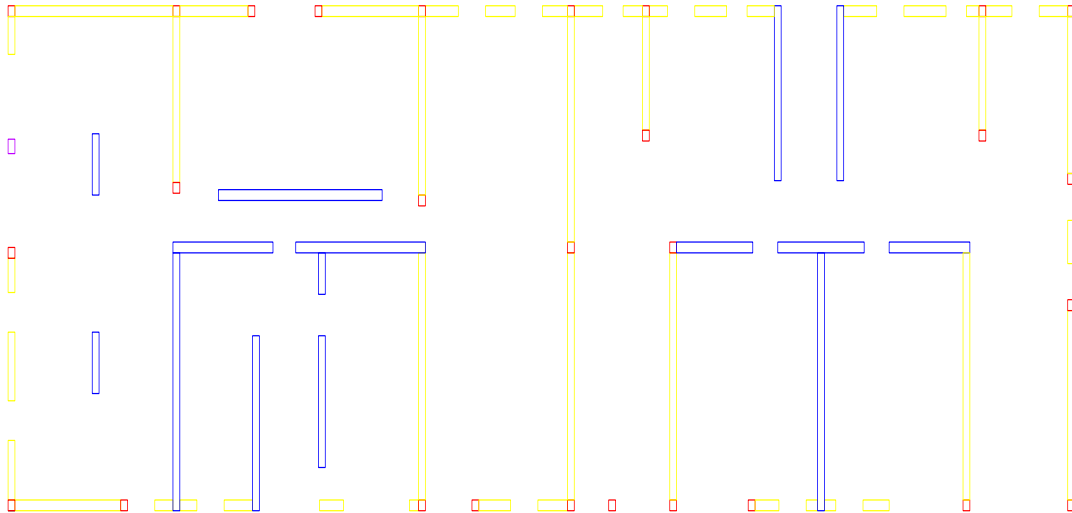
### Pravila za jednostavne zidane zgrade

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 ziđe zgrade treba ispuniti sljedeće uvjete:
  - a) zgrada treba imat nosivo ziđe 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:  $46,60 \times 13,70 = 638,42 \text{ m}^2$



Crtež 5.1. Tlocrt karakteristične etaže

### Smjer X

Ukupna duljina zidova: 45,05 m

Ukupna površina zidova:  $45,05 \times 0,3 = 13,52 \text{ m}^2$

Udio nosivih zidova:  $13,52/638,42 = 0,021 = 2,1 \%$

### Smjer Y

Ukupna duljina zidova: 65,85 m

Ukupna površina zidova:  $65,85 \times 0,3 = 19,76 \text{ m}^2$

Udio nosivih zidova:  $19,76/638,42 = 0,031 = 3,1 \%$

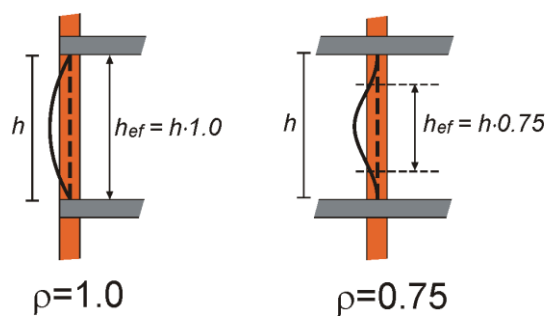
## 5.2. PRORAČUN ZIDOVA NA VERTIKALNA OPTEREĆENJA

### Podaci za proračun zidova

- blok opeka, dimenzije:  $d \times š \times v = 25 \times 30 \times 23,8 \text{ cm}$
- srednja tlačna čvrstoća blok:  $f_{ck,sred} = 10,0 \text{ MPa}$

- normalizirana tlačna čvrstoća bloka:  $f_b = 10,0 * 1,15 = 11,50$  MPa
- grupa zidnih blokova: 2a ( $K = 0,55$ )
- mort: M10 ( $f_m = 10,0$  MPa)
- tlačna čvrstoća зида:  $f_k = K \times f_b^{0,65} \times f_m^{0,25} = 0,55 * 11,50^{0,65} * 10,0^{0,25} = 4,784$  MPa
- faktor smanjenja za vitkost i ekscentričnost ( $\Phi_s$ ) 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:  $\gamma_M = 2,2$  (B kategorija kontrole izvedbe, 2. kategorija kontrole proizvodnje).
- debljina nosivih zidova:  $t = 30$  cm
- računski uzdužna sila:  $N_{Sd} = N_g * 1,35 + N_q * 1,5$
- računski nosivost na uzdužnu silu:  $N_{Rd} = \Phi_s * A * f_k / \gamma_M$

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 računski djelovanje manje od računski 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  $\gamma_M= 2,20$  = parcijalni faktor sigurnosti za žiđe  
 $f_k= 4,78$  MPa = tlačna čvrstoća žiđe  $\gamma_c= 1,50$  = parcijalni faktor sigurnosti za beton  
 $f_{c,k}= 25,0$  MPa = tlačna čvrstoća betona n= 8 = broj etaža

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

zid / stup	dimenzije zida i otvora				ploha utjecaja		opt. međukatne k.		opt. krov		vi. težina zida/stupa $N_g$ [kN]	vertikalno djelovanje $N_d$ [kN]	vertikalno djelovanje $N_d$ [kN]	računsko vert.djel. $N_{Ed}$ [kN]	koef. vitkosti $\Phi$	računska nosivost $N_{Rd}$ [kN]	$N_{Ed}/N_{Rd}$ [%]
	debljina zida [m]	dužina zida [m]	dužina otvora [m]	netto pov. zida/stupa $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	uđejajna dužina $L'$ [m]	uđejajna širina $B'$ [m]	stalno opter. g [kN/m <sup>2</sup> ]	promj. opter. q [kN/m <sup>2</sup> ]	stalno opter. g [kN/m <sup>2</sup> ]	promj. opter. q [kN/m <sup>2</sup> ]							
Zx1/A-B	0,30	7,25	0,00	2,18	6,80	2,10	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	1417	228	2255	0,75	3544	64
Zx1/B-C	0,30	10,80	2,65	2,45	9,10	1,80	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	1611	262	2568	0,75	3984	64
Zx1/C-D	0,30	6,55	2,40	1,25	4,50	1,20	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	653	86	1012	0,75	2029	50
Zx1/D-E	0,30	3,30	1,20	0,63	2,20	1,20	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	325	42	503	0,75	1027	49
Zx1/E-G	0,30	5,80	2,40	1,02	4,10	1,30	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	587	85	920	0,75	1662	55
Zx1/H-I	0,30	5,55	2,40	0,95	4,90	0,95	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	527	74	824	0,75	1540	53
Zx1/I-K	0,30	4,60	1,20	1,02	3,30	1,10	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	490	58	749	0,75	1662	45
Zx3/A-B	0,30	7,25	1,20	1,82	6,80	2,10	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	1316	228	2120	0,75	2958	72
Zx3/B-C	0,30	10,80	6,75	1,22	8,10	1,30	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	936	168	1517	0,75	1980	77
Zx3/C-D	0,30	6,55	3,25	0,99	4,50	1,05	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	544	76	848	0,75	1613	53
Zx3/F-G	0,30	4,60	3,55	0,32	1,60	0,85	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	165	22	255	0,75	513	50
Zx3/G-H	0,30	2,75	1,75	0,30	1,50	1,50	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	211	36	339	0,75	489	69
Zx3/H-I	0,30	5,55	4,40	0,35	2,80	1,00	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	255	45	412	0,75	562	73

**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  $\gamma_M= 2,20$  = parcijalni faktor sigurnosti za žiđe  
 $f_k= 4,78$  MPa = tlačna čvrstoća žiđe  $\gamma_c= 1,50$  = parcijalni faktor sigurnosti za beton  
 $f_{c,k}= 25,0$  MPa = tlačna čvrstoća betona n= 8 = broj etaža

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

zid / stup	dimenzije zida i otvora				ploha utjecaja		opt. međukatne k.		opt. krov		vi. težina zida/stupa $N_g$ [kN]	vertikalno djelovanje $N_d$ [kN]	vertikalno djelovanje $N_d$ [kN]	računsko vert.djel. $N_{Ed}$ [kN]	koef. vitkosti $\Phi$	računska nosivost $N_{Rd}$ [kN]	$N_{Ed}/N_{Rd}$ [%]
	debljina zida [m]	dužina zida [m]	dužina otvora [m]	netto pov. zida/stupa $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	uđejajna dužina $L'$ [m]	uđejajna širina $B'$ [m]	stalno opter. g [kN/m <sup>2</sup> ]	promj. opter. q [kN/m <sup>2</sup> ]	stalno opter. g [kN/m <sup>2</sup> ]	promj. opter. q [kN/m <sup>2</sup> ]							
ZyA/1-2	0,30	6,55	5,35	0,36	3,60	1,00	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	305	58	498	0,75	587	85
ZyA/2-3	0,30	7,15	2,20	1,49	7,15	1,70	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	1104	194	1782	0,75	2420	74
ZyC/1-6	0,30	13,70	1,11	3,78	13,35	2,80	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	3175	598	5183	0,80	6565	79
ZyD/1-6	0,30	13,70	0,00	4,11	13,35	2,80	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	3267	598	5308	0,80	7144	74
ZyB/1-2	0,30	4,60	0,00	1,38	3,85	1,30	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	668	80	1023	0,80	2399	43
ZyF/2-3	0,30	5,95	0,00	1,79	5,95	2,60	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	1376	248	2228	0,80	3103	72
ZyI/2-3	0,30	5,95	0,00	1,79	5,95	2,60	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	1376	248	2228	0,80	3103	72
ZyJ/1-2	0,30	3,15	0,00	0,95	2,80	1,50	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	502	67	778	0,80	1643	47
ZyK/1-6	0,30	13,70	2,00	3,51	13,70	1,35	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	2028	296	3181	0,75	5720	56
ZyE/1-2	0,30	3,15	0,00	0,95	2,80	1,50	7,1	2,0	7,1	2,0	12,0	502	67	778	0,80	1643	47

**5.3. PRORAČUN ZIDOVA NA POTRESNA DJELOVANJA**

Proračun ukupne potresne poprečne sile

- Zona seizmičnosti: VIII ( $a_g = 0,2g$ )
- Kategorija tla: A (stijena)  $\rightarrow S=1,0$  (faktor tla)
- Tip spektra: 1 (visoka seizmičnost)
- Broj katova: 8

- 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)

$H = 8 \cdot 2,9 = 23,2$  (m) - visina zgrade

$$T_1 = 0,016 \cdot 23,2 = 0,37$$

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

**Tablica 5.2.** Vrijednosti horizontalnog elastičnog spektra odgovora kategorije tla A

<i>IIP ILA</i>	<i>S</i>	<i>T<sub>B</sub> (s)</i>	<i>T<sub>C</sub> (s)</i>	<i>T<sub>D</sub> (s)</i>
<i>A</i>	<b>1,0</b>	<b>0,15</b>	<b>0,4</b>	<b>2,0</b>

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

$\beta_0 = 2,5$  - faktor povećanja spektralnog ubrzanja pri viskoznom prigušenju  $\xi = 5\%$

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

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

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

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

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

$\lambda = 1,0$  - korekcijski faktor

Računska težina zgrade (W):

8. ETAŽA I POZ 800:

POZ 800: $(g+f*y_{2iq}) * A = (7,25+1,0*0,3*1,0)*638,42 =$	4835,624kN
grede i serklaži 600: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0=$	392,4 kN
zidovi 8. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180=$	1566kN
<hr/>	
	$W_8= 6794,02 \text{ kN}$

7. ETAŽA I POZ 700:

POZ 700: $(g+f*y_{2iq}) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)*638,42 =$	5123,84kN
grede i serklaži 700: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0=$	392,4 kN
zidovi 7. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180=$	1566kN
<hr/>	
	$W_7= 7082,24 \text{ kN}$

6. ETAŽA I POZ 600:

POZ 600: $(g+f*y_{2iq}) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)*638,42 =$	5123,84kN
grede i serklaži 600: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0=$	392,4 kN
zidovi 6. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180=$	1566kN
<hr/>	
	$W_6= 7082,24 \text{ kN}$

5. ETAŽA I POZ 500:

POZ 500: $(g+f*y_{2iq}) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)*638,42 =$	5123,84kN
grede i serklaži 500: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0=$	392,4 kN
zidovi 5. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180=$	1566kN
<hr/>	
	$W_5= 7082,24 \text{ kN}$

4. ETAŽA I POZ 400:

POZ 400: $(g+f*y_{2iq}) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)*638,42 =$	5123,84kN
grede i serklaži 400: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0=$	392,4 kN
zidovi 4. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180=$	1566kN
<hr/>	
	$W_4= 7082,24 \text{ kN}$

3. ETAŽA I POZ 300:

POZ 300: $(g+f*y_{2iq}) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)*638,42 =$	5123,84kN
grede i serklaži 300: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0=$	392,4 kN
zidovi 3. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180=$	1566kN
<hr/>	
	$W_3= 7082,24 \text{ kN}$

## 2. ETAŽA I POZ 200:

$$\text{POZ 200: } (g+f*y_{2iq}) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)*638,42 = 5123,84\text{kN}$$

$$\text{grede i serklaži 200: } b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0 = 392,4 \text{ kN}$$

$$\text{zidovi 2. etaže: } g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180 = 1566\text{kN}$$

---


$$W_2 = 7082,24 \text{ kN}$$

## 1. ETAŽA I POZ 100:

$$\text{POZ 100: } (g+f*y_{2iq}) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)*638,42 = 5123,84\text{kN}$$

$$\text{grede i serklaži 100: } b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*174,4*25,0 = 392,4 \text{ kN}$$

$$\text{zidovi 1. etaže: } g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*180 = 1566\text{kN}$$

---


$$W_1 = 7082,24 \text{ kN}$$

Izračun težina skoncentriranih u razini međukatnih konstrukcija:

$$W_{800} = W_8/2 = 6794,02/2 = 3397,01 \text{ kN}$$

$$W_{700} = (W_8+W_7)/2 = (6794,02+7082,24)/2 = 6938,13 \text{ kN}$$

$$W_{600} = (W_7+W_6)/2 = (7082,24+7082,24)/2 = 7082,24 \text{ kN}$$

$$W_{500} = (W_6+W_5)/2 = (7082,24+7082,24)/2 = 7082,24 \text{ kN}$$

$$W_{400} = (W_5+W_4)/2 = (7082,24+7082,24)/2 = 7082,24 \text{ kN}$$

$$W_{300} = (W_4+W_3)/2 = (7082,24+7082,24)/2 = 7082,24 \text{ kN}$$

$$W_{200} = (W_3+W_2)/2 = (7082,24+7082,24)/2 = 7082,24 \text{ kN}$$

$$W_{100} = (W_2+W_1)/2 = (7082,24+7082,24)/2 = 7082,24 \text{ kN}$$

Ukupna računaska težina zgrade:

$$W = \sum W_i = 3397,01 + 6938,13 + 6*(7082,24) = 52828,58 \text{ kN}$$

$$m = W/g = 52828,58 \text{ kN} / 9,81 \text{ m/s}^2 = 5385,18 \text{ kNs/m}$$

Ukupna potresna poprečna sila iznosi:

$$F_b = S_d(T_1)*m*\lambda = 0,2 * 9,81 * 5385,18 * 1,0 = 10565,72 \text{ kN}$$

Razdioba ukupne potresne sile po zidovima

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

$$F_{b,800} = 10565,72 * \left( \frac{3397,01 * 23,2}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 1432,46 kN$$

$$F_{b,700} = 10565,72 * \left( \frac{6938,13 * 20,3}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 2559,97 kN$$

$$F_{b,600} = 10565,72 * \left( \frac{7082,24 * 17,4}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 2239,84 kN$$

$$F_{b,500} = 10565,72 * \left( \frac{7082,24 * 14,5}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 1866,53 kN$$

$$F_{b,400} = 10565,72 * \left( \frac{7082,24 * 11,6}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 1493,23 kN$$

$$F_{b,300} = 10565,72 * \left( \frac{7082,24 * 8,7}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 1119,92 kN$$

$$F_{b,200} = 10565,72 * \left( \frac{7082,24 * 5,8}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 746,61 \text{ kN}$$

$$F_{b,100} = 10565,72 * \left( \frac{7082,24 * 2,9}{7082,24 * 2,9 + 7082,24 * 5,8 + 7082,24 * 8,7 + 7082,24 * 11,6 + 7082,24 * 14,5 + 7082,24 * 17,4 + 6938,13 * 20,3 + 3397,01 * 23,2} \right)$$

$$= 373,31 \text{ kN}$$

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

$$\sum F_{b,i} = 1280,5 + 2288,41 + 2002,24 + 1668,53 + 1334,83 + 1001,12 + 674,42 + 333,71$$

$$= 10565,72$$

$$10565,72 = 10565,72$$

Ukupna poprečna sila uslijed potresa na promatranjoj etaži iznosi:

$$V_{sd}^{a-a} = F_b - F_{b,100} = 10565,72 - 333,71 = 10232,01 \text{ kN}$$

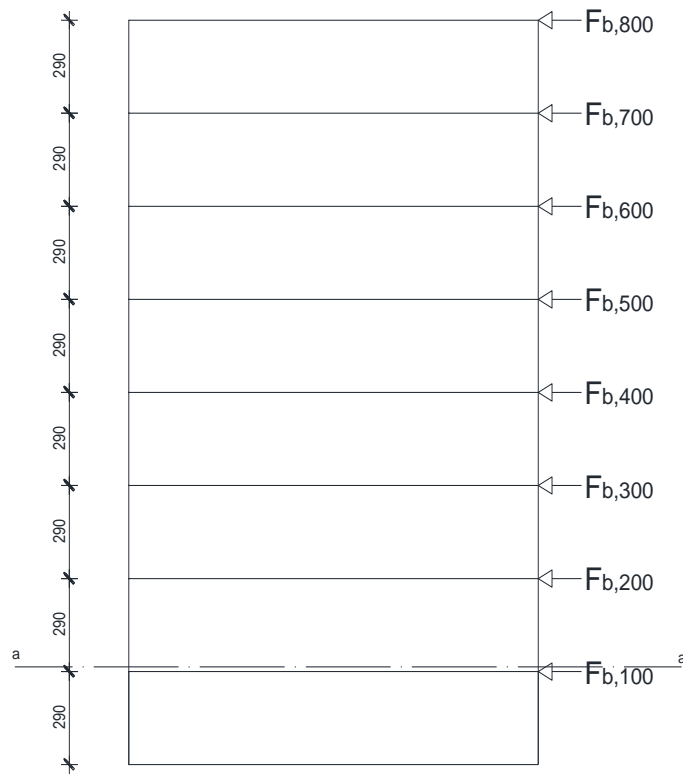
Ukupan moment savijanja:

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

$$M_{Ed}^{a-a} = 674,42 * (5,8 - 2,9) + 1001,12 * (8,7 - 2,9) + 1334,83 * (11,6 - 2,9) + 1668,53 * (14,5 - 2,9) + 2002,24 * (17,4 - 2,9) + 2288,41 * (20,3 - 2,9) + 1280,5 * (23,2 - 2,9) =$$

$$133575,25 \text{ kN}$$





**Crtež 5.3.** Raspodjela potresne sile po etažama [kN]



Tablica 5.4. Proračun sila od potresa, smjer Y

Proračun sila od potresa

- $V_{ed}$  = 10232 kN = ukupna poprečna sila od potresa
- $M_{ed}$  = 133575 kNm = ukupan moment od potresa
- $E$  = 4780.0 MPa = modul elastičnosti
- $G$  = 796.7 MPa = modul posmika
- $f_k$  = 4.78 MPa = tlačna čvrstoća zida
- $f_{yk}$  = 0.75 MPa = posmična čvrstoća zida
- $\gamma_m$  = 1.50 = parcijalni faktor sigurnosti za zide
- $\gamma_s$  = 1.00 = parcijalni faktor sigurnosti za armaturu

$$K_e \cdot \alpha_{ov} = K_e \cdot k_l$$

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

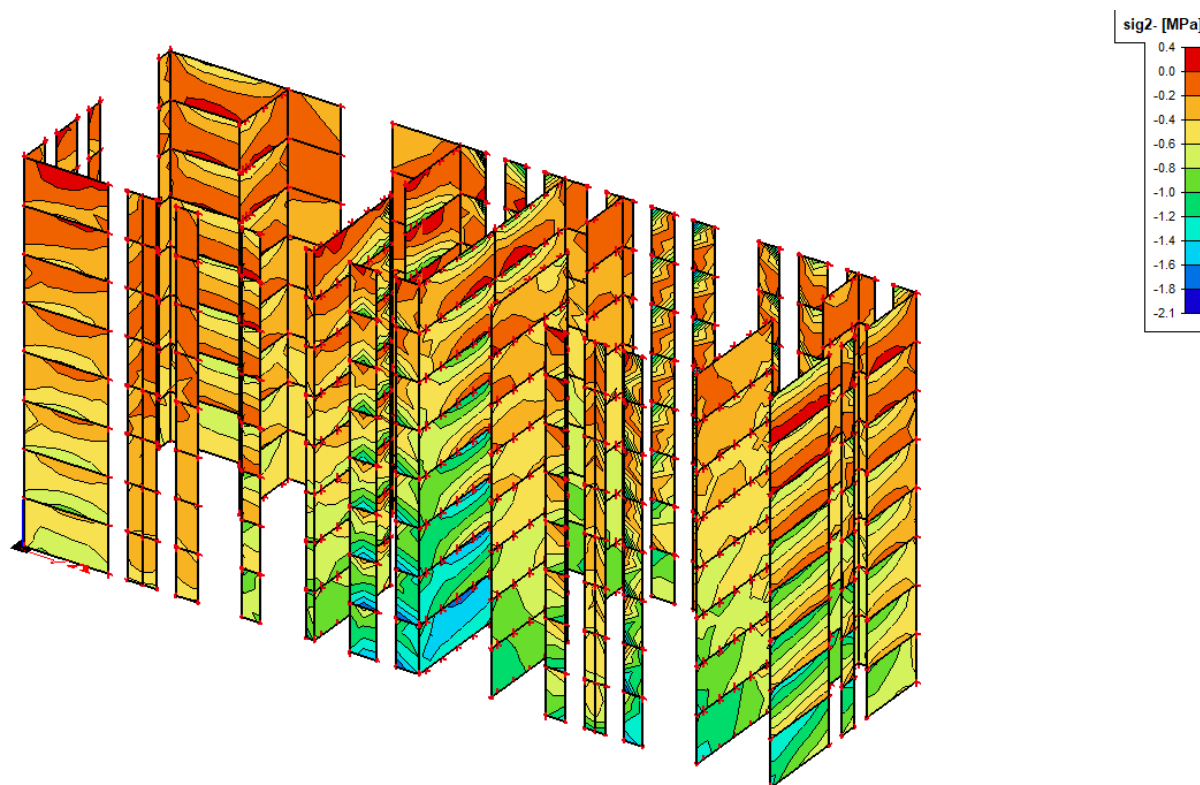
$$K_e = \frac{GA}{1.2 h \left[ 1 + \alpha \left( \frac{h}{L} \right)^2 \right]}$$

Zid	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
	debljina zida t [m]	dujina zida L [m]	površina zida A [m <sup>2</sup> ]	Σ dujina otvora Li [m]	visina zida H [m]	k1	početna krutost $K_{e,ov}$ [MN/m]	moment od potresa $M_{ed}$ [kNm]	poprečna sila od pot. $V_{ed}$ [kN]	stalno djelovanje $N_G$ [kN]	promjenjivo djelovanje $N_Q$ [kN]	vert. sila $N_{ed}$ [kN]	računska stat visina d [m]	krak unut. sila z [m]	racunsko djelovanje $F_{s,d1}$ [kN]	dujina tlačne zone xu [m]	računska nosivost $V_{rd}$ [kN]	računska nosivost $F_{m,rd}$ [kN]	$V_{s,d}/N_{rd}$ [%]	$F_{s,d1}/F_{rd}$ [%]	Armat. As [cm <sup>2</sup> ]
ZyA/1-2	0,30	6,55	1,97	5,35	23,20	0,04	1,1	14290	385	305	68	322,0	6,4	5,12	983,3	2,56	982,5	3671,0	39,2	26,8	3,8
ZyA/2-3	0,30	7,15	2,15	2,20	23,20	0,64	1,5	18363	495	1104	194	1162,2	7,0	5,60	2573,4	2,80	1072,5	4015,2	46,1	64,1	12,2
ZyC/1-6	0,30	13,70	4,11	1,11	23,20	0,90	8,6	108609	1596	3175	598	3354,1	13,6	10,84	3898,8	5,42	2055,0	7772,3	77,7	50,2	17,5
ZyD/1-6	0,30	13,70	4,11	0,00	23,20	1,00	8,6	133575	1596	3287	598	3446,8	13,6	10,84	4682,0	5,42	2055,0	7772,3	77,7	60,2	18,3
ZyB/1-2	0,30	4,60	1,38	0,00	23,20	1,00	0,4	5102	275	668	80	692,5	4,5	3,56	1779,3	1,78	690,0	2552,5	39,8	69,7	15,2
ZyF/2-3	0,30	5,95	1,79	0,00	23,20	1,00	0,9	10818	829	1376	248	1449,9	5,8	4,64	3056,4	2,32	892,5	3326,9	92,8	91,9	22,6
Zy/2-3	0,30	5,95	1,79	0,00	23,20	1,00	0,9	10818	829	1376	248	1449,9	5,8	4,64	3056,4	2,32	892,5	3326,9	92,8	91,9	22,6
ZyJ/1-2	0,30	3,15	0,95	0,00	23,20	1,00	0,1	1665	128	502	67	521,8	3,0	2,40	477,4	1,20	472,5	1720,8	27,0	27,7	3,3
ZyK/1-6	0,30	13,70	4,11	2,00	23,20	0,83	8,6	108609	1596	2028	296	2116,5	13,6	10,84	6923,5	5,42	2055,0	7772,3	77,7	89,1	20,1
ZyE/1-2	0,30	3,15	0,95	0,00	23,20	1,00	0,1	1665	128	502	67	521,8	3,0	2,40	954,8	1,20	472,5	1720,8	27,0	95,6	5,7

## 5.4. PRIKAZ NAPREZANJA ZIDOVA

Prikaz napreznja zidanih zidova konstrukcije sa AB zidovima i zidanim zidovima iz programskog modela za kombinaciju opterećenja GSN-1 (Crtež 5.4.) te za potresnu anvelopu opterećenja ANV 10-13 (Crtež 5.5.).

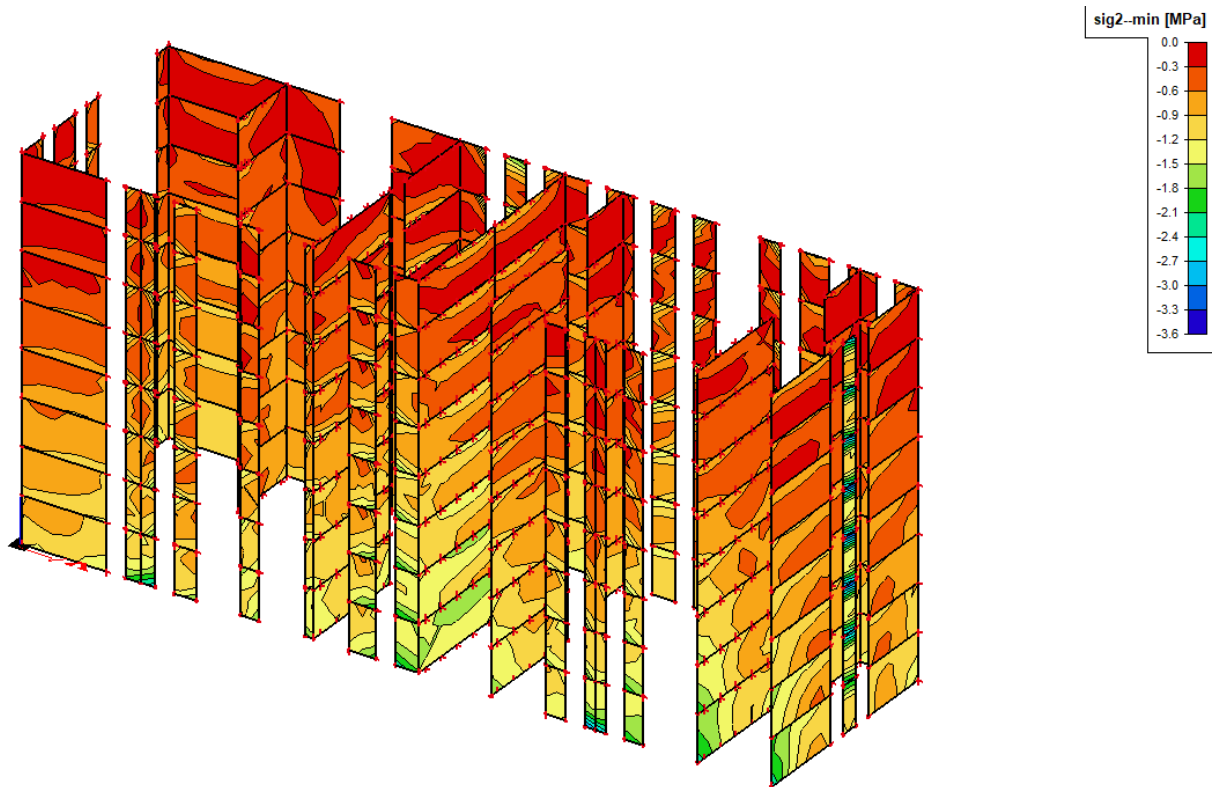
### 1) Osnovna kombinacija opterećenja



**Slika 5.4.** Prikaz glavnih tlačnih napreznja [MPa] u osi zida za osnovnu kombinaciju

$$\text{GSN-1: } 1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5Q$$

## 2) Anvelopa potresnog opterećenja



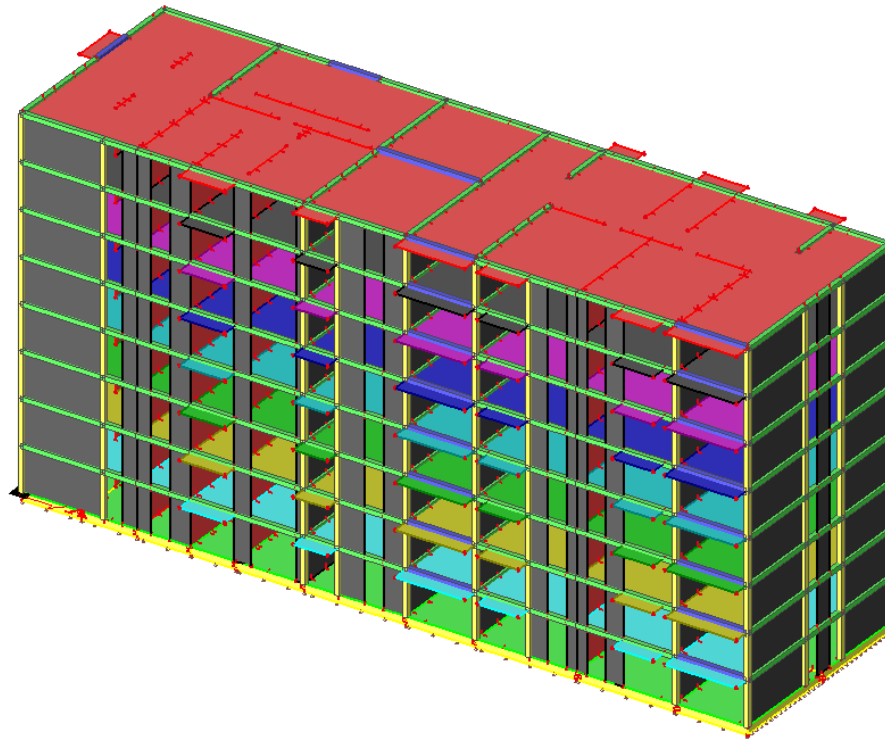
**Slika 5.5.** Prikaz glavnih tlačnih naprezanja [MPa] u osi zida za anvelopu potresa

ANV 10-13

Ni za jednu kombinaciju opterećenja maksimalno naprezanje u zidanim zidovima ne prelazi čvrstoću zida  $f_k = 4,784$  MPa.

## 6. REZULTATI PRORAČUNA NA POTRES

Proračun na potres je proveden u računalnom programu SCIA Engineer 16.1 u kojoj je napravljen model konstrukcije s armirano-betonskim i zidanim zidovima



Crtež 6.1. Prikaz modela konstrukcije mješovitog nosivog sustava

## 6.1. PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA KONSTRUKCIJU MJEŠOVITOG NOSIVOG SUSTAVA

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	20.0851	0.3128	3.1966	0.4577	0.0257	0.0000	0.0102	0.0476	0.2040
2	23.9876	0.2619	3.8177	0.0000	0.5873	0.0009	0.2652	0.0004	0.0729
3	24.9913	0.2514	3.9775	0.2402	0.0493	0.0001	0.0186	0.0299	0.3951
4	69.0586	0.0910	10.9910	0.1084	0.0078	0.0015	0.0105	0.0877	0.0320
5	80.3233	0.0782	12.7838	0.0114	0.1351	0.0591	0.2457	0.0001	0.0004
6	81.7728	0.0768	13.0145	0.0171	0.0003	0.1572	0.0000	0.1023	0.0963
7	88.3644	0.0711	14.0636	0.0036	0.0176	0.4016	0.0608	0.0053	0.0284
8	96.7182	0.0650	15.3932	0.0023	0.0032	0.0074	0.0073	0.4028	0.0068
9	111.0066	0.0566	17.6673	0.0001	0.0002	0.0024	0.0000	0.0001	0.0000
10	112.0638	0.0561	17.8355	0.0001	0.0018	0.0006	0.0012	0.0003	0.0002
11	112.3275	0.0559	17.8775	0.0001	0.0079	0.0047	0.0103	0.0058	0.0014
12	114.0792	0.0551	18.1563	0.0000	0.0000	0.0015	0.0002	0.0002	0.0000
13	116.5963	0.0539	18.5553	0.0001	0.0001	0.0028	0.0002	0.0000	0.0000
14	119.8998	0.0524	19.0826	0.0004	0.0002	0.0005	0.0009	0.0000	0.0006
15	121.8775	0.0516	19.3974	0.0060	0.0056	0.0020	0.0143	0.0018	0.0097
16	123.8144	0.0507	19.7057	0.0003	0.0003	0.0098	0.0010	0.0000	0.0030
17	129.6631	0.0485	20.6365	0.0002	0.0001	0.0436	0.0000	0.0012	0.0002
18	132.8053	0.0473	21.1366	0.0357	0.0027	0.0001	0.0043	0.0206	0.0000
19	139.4111	0.0451	22.1880	0.0003	0.0020	0.0005	0.0108	0.0011	0.0001
20	144.4853	0.0435	22.9955	0.0000	0.0001	0.0000	0.0003	0.0001	0.0000
21	146.2404	0.0430	23.2749	0.0000	0.0002	0.0001	0.0018	0.0011	0.0000
22	148.2805	0.0424	23.5996	0.0000	0.0007	0.0000	0.0027	0.0020	0.0005
23	150.1104	0.0419	23.8908	0.0001	0.0008	0.0002	0.0076	0.0073	0.0013
24	151.6772	0.0414	24.1402	0.0000	0.0001	0.0000	0.0004	0.0005	0.0012
25	153.9248	0.0408	24.4979	0.0000	0.0002	0.0010	0.0022	0.0048	0.0006
26	155.9784	0.0403	24.8247	0.0000	0.0000	0.0003	0.0015	0.0043	0.0000
27	159.2346	0.0395	25.3430	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0000
28	159.5244	0.0394	25.3891	0.0005	0.0077	0.0001	0.0133	0.0013	0.0041
29	161.8764	0.0388	25.7634	0.0000	0.0000	0.0001	0.0002	0.0019	0.0000
30	164.9269	0.0381	26.2489	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0011	0.0001
31	167.9284	0.0374	26.7266	0.0001	0.0006	0.0001	0.0001	0.0129	0.0014
32	169.1358	0.0371	26.9188	0.0004	0.0034	0.0000	0.0036	0.0001	0.0079
33	171.2464	0.0367	27.2547	0.0008	0.0086	0.0000	0.0220	0.0067	0.0132
34	173.0884	0.0363	27.5479	0.0001	0.0020	0.0000	0.0004	0.0128	0.0038
35	184.7756	0.0340	29.4080	0.0204	0.0005	0.0000	0.0009	0.0092	0.0001
36	187.2069	0.0336	29.7949	0.0000	0.0000	0.0126	0.0010	0.0033	0.0000
37	207.0660	0.0303	32.9556	0.0001	0.0014	0.0044	0.0048	0.0098	0.0009
38	210.0903	0.0299	33.4369	0.0002	0.0044	0.0022	0.0024	0.0006	0.0028
39	230.6951	0.0272	36.7163	0.0096	0.0007	0.0000	0.0011	0.0041	0.0001
40	239.0689	0.0263	38.0490	0.0002	0.0001	0.0045	0.0000	0.0143	0.0008
41	239.5542	0.0262	38.1262	0.0008	0.0062	0.0000	0.0100	0.0001	0.0112
42	261.7657	0.0240	41.6613	0.0028	0.0024	0.0000	0.0039	0.0013	0.0020
43	272.4111	0.0231	43.3556	0.0027	0.0039	0.0000	0.0067	0.0016	0.0011
44	294.8312	0.0213	46.9238	0.0023	0.0001	0.0000	0.0002	0.0012	0.0003
45	300.5083	0.0209	47.8274	0.0004	0.0033	0.0000	0.0064	0.0002	0.0053
46	316.2755	0.0199	50.3289	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000

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
47	323.7113	0.0194	51.5203	0.0001	0.0038	0.0000	0.0066	0.0001	0.0015
48	350.3085	0.0179	55.7533	0.0002	0.0018	0.0000	0.0031	0.0001	0.0027
49	360.4229	0.0174	57.3631	0.0000	0.0017	0.0000	0.0029	0.0000	0.0004
50	389.4164	0.0161	61.9775	0.0001	0.0008	0.0000	0.0017	0.0000	0.0014
				0.9268	0.9025	0.7221	0.7746	0.8011	0.9158

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.

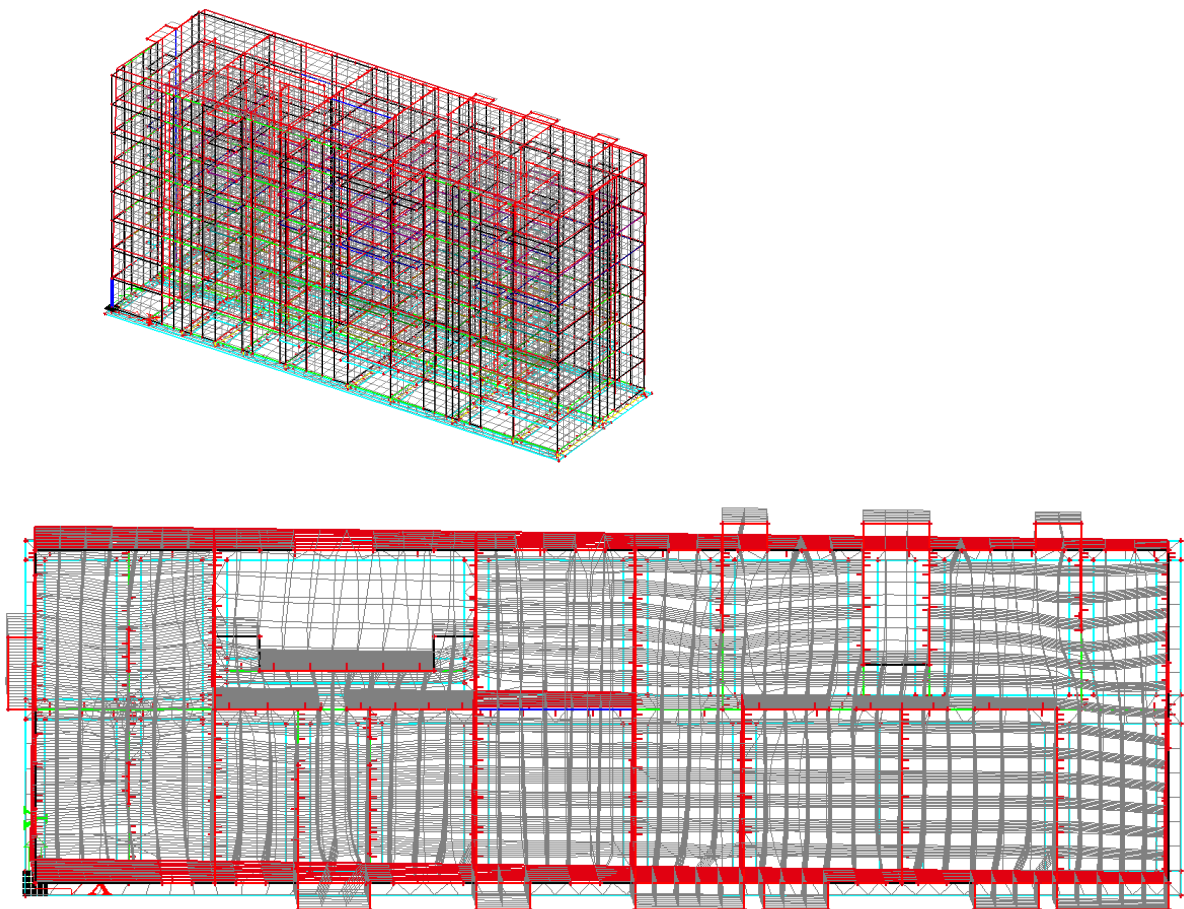
Ukupna aktivirana masa po smjerovima iznosi:

- za X smjer 92,68 %
- za Y smjer 90,25 %
- za Z smjer 72,21 %

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

a) Prvi vlastiti vektor

- period 0,3128 s
- aktivirano mase u X smjeru 45,77 %
- aktivirano mase u Y smjeru 2,6 %

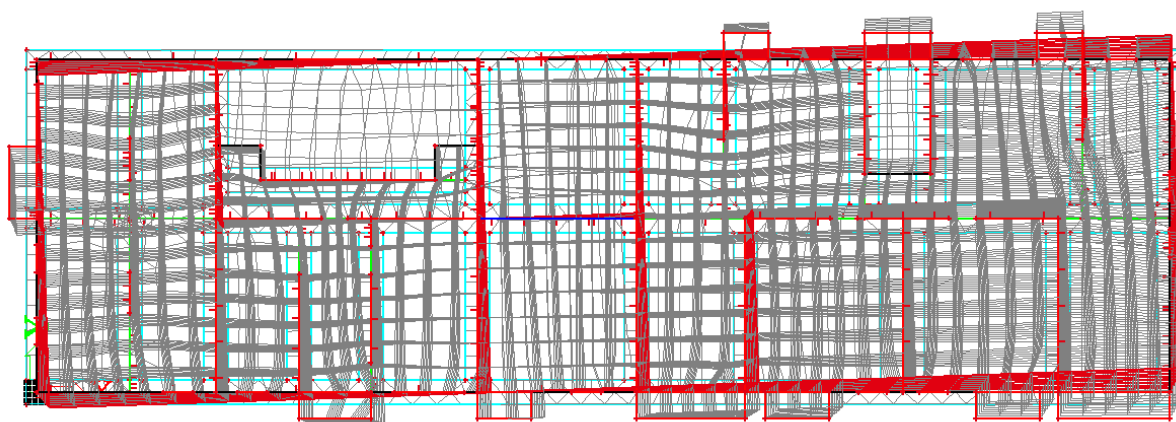
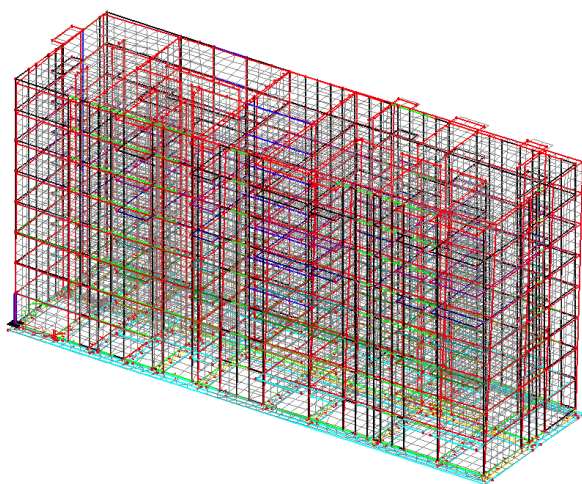




**Crtež 6.3. Mod 1**

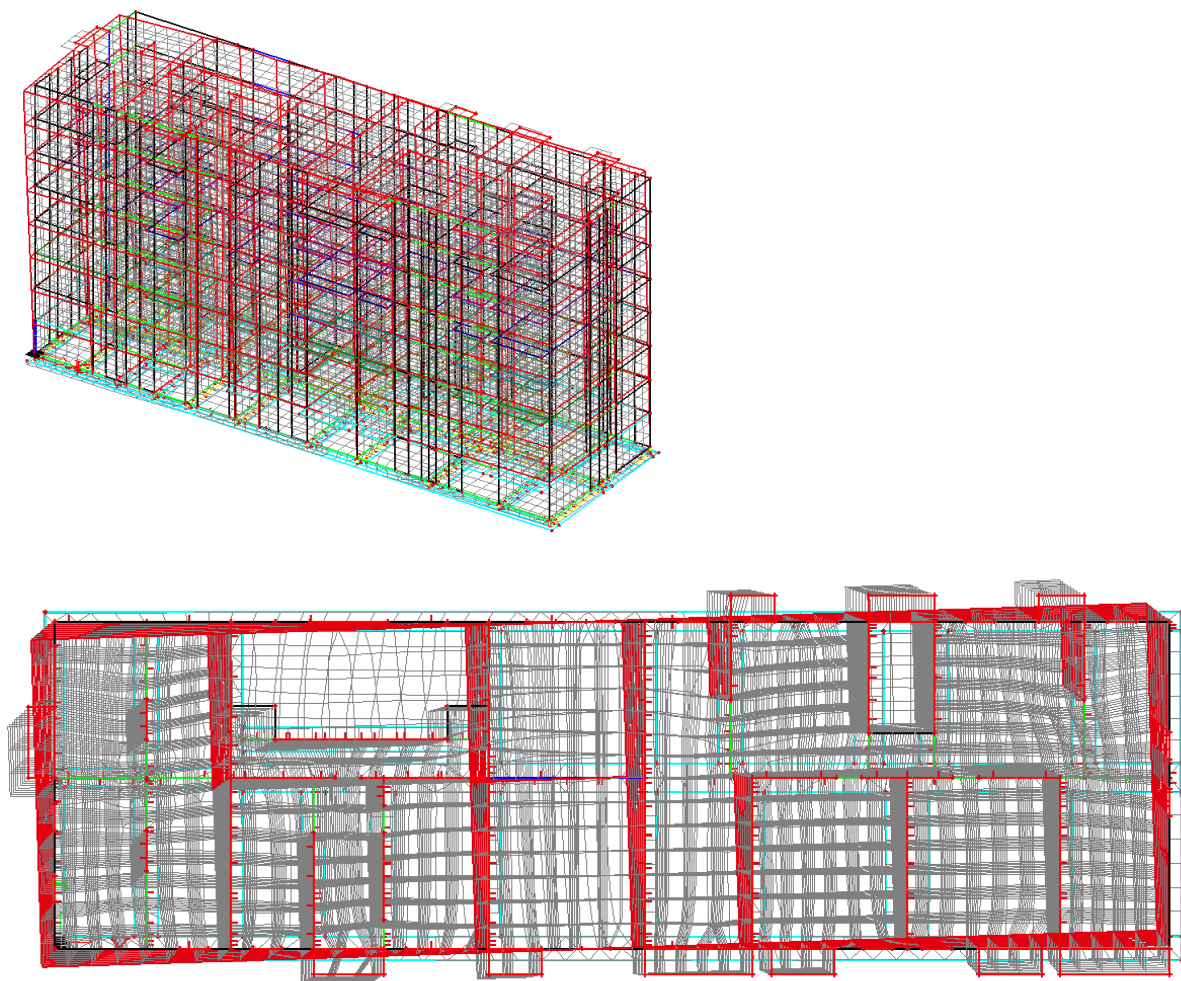
b) Drugi vlastiti vektor

- period 0,2619 s
- aktivirano mase u X smjeru 1,62 %
- aktivirano mase u Y smjeru 58,73 %

**Crtež 6.4. Mod 2**

c) Treći vlastiti vektor

- period 0,2514 s
- aktivirano mase u X smjeru 24,02 %
- aktivirano mase u Y smjeru 4,93 %



Crtež 6.5. Mod 3

### 6.3. PRORAČUN POMAKA KONSTRUKCIJE USLJED POTRESA

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

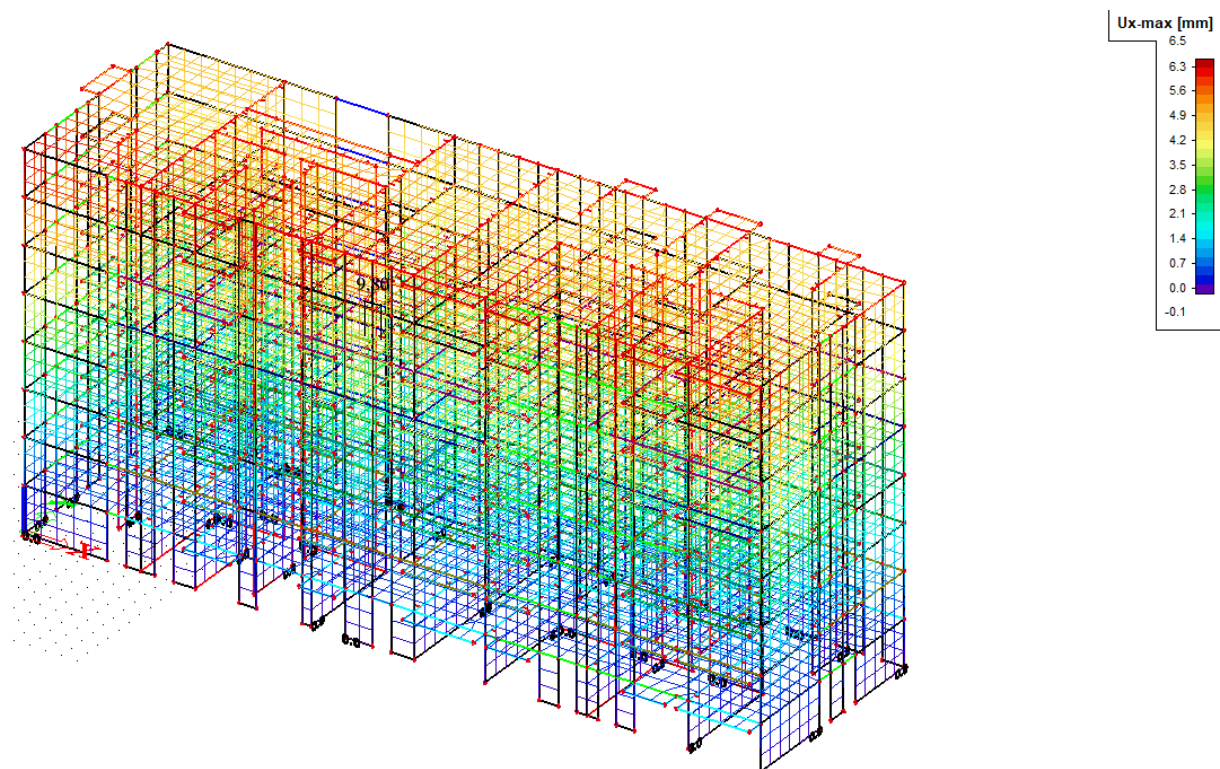
Računsko ubrzanje tla: ( $T_{NCR}=95$  godina; 10 godina;  $P_{NCR}=10\%$ ):  $a_{gr,GSU} = 0,12 g = 1,10 m/s^2$

Ograničenje međukatnog pomaka iznosi:  $d_r v \leq 0,005 h$ ;  $d_r \leq 0,005 h$

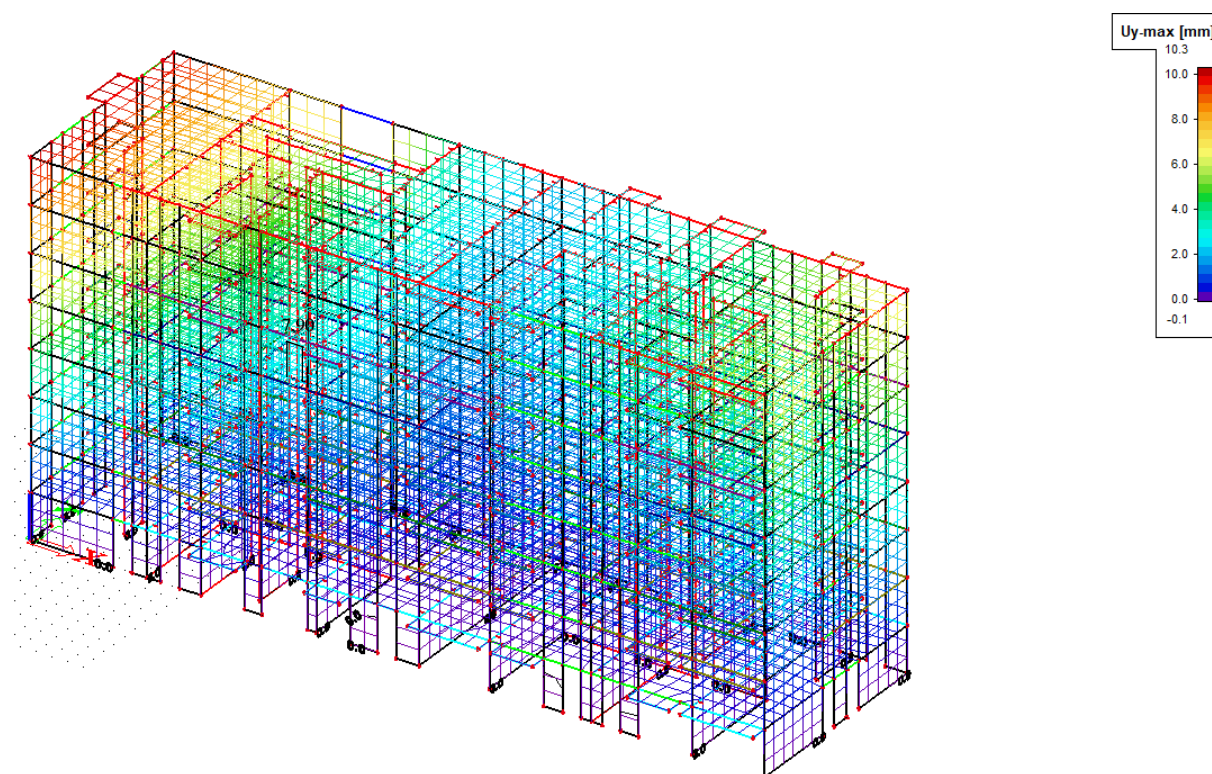
Vrijednost faktora  $v$  za proračun graničnog stanja ograničenog oštećenja je  $v = 1,0$ .

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

Na oba prikazana modela 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 6.9.i Crtežu 6.10.).



**Crtež 6.9.** Deformacija konstrukcije konstrukcije u smjeru osi  $x$   
anvelopa kombinacija opterećenja



**Crtež 6.10.** Deformacija konstrukcije u smjeru osi y  
anvelopa kombinacija opterećenja

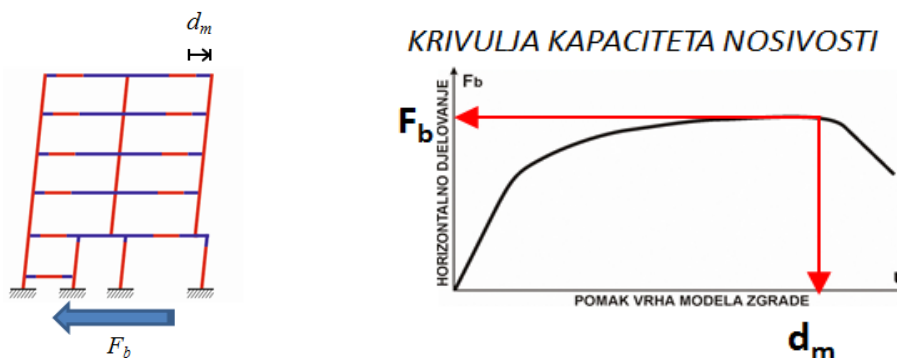
## 7. METODA NAGURAVANJA

### 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  $d_m$  (Slika 6.1.). 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 ziđa i armiranog betona se uzima  $\frac{1}{2}$  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*

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

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 jednostupnjavnog sustava. Vidjeti EN 1998-1 Annex B
- Krivulja kapaciteta se može koristiti da bi se odredio:

Faktor ponašanja  $\alpha_u / \alpha_i$ , gdje je:

$\alpha_u$  - pomak pri otkazivanju sustava

$\alpha_i$  - pomak pri pojavi plastičnog mehanizma

### 7.3. POSTUPAK PROVEDBE PUSHOVER ANALIZE

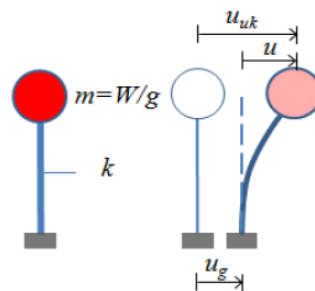
Metoda naguravanja se provodi po sljedećim koracima:

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

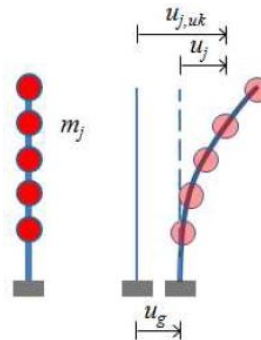
$u_g$  - pomaci tla pri seizmičkom djelovanju,

$u$  - 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,

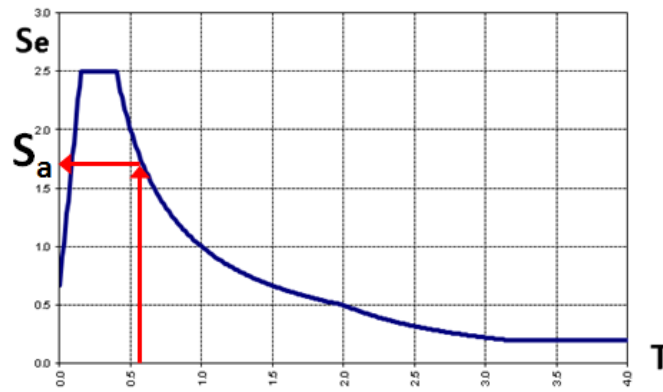
$u_{j,uk}$  - ukupni pomaci.

Svaki JS je određen trima fizikalnim karakteristikama – **svojom masom  $m$ , krutošću  $k$  i prigušenjem**. Iz tih veličina može se odrediti 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 ( $S_d$ ):

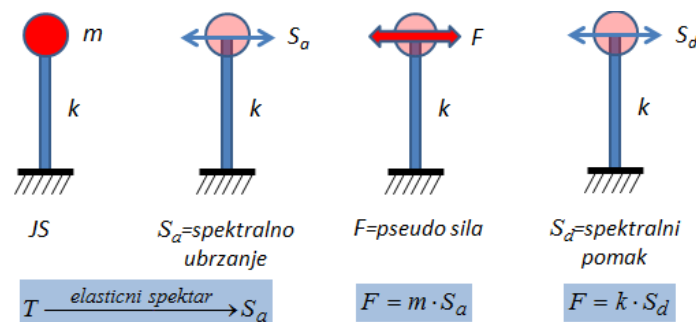
$$F = k \cdot S_d$$

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:

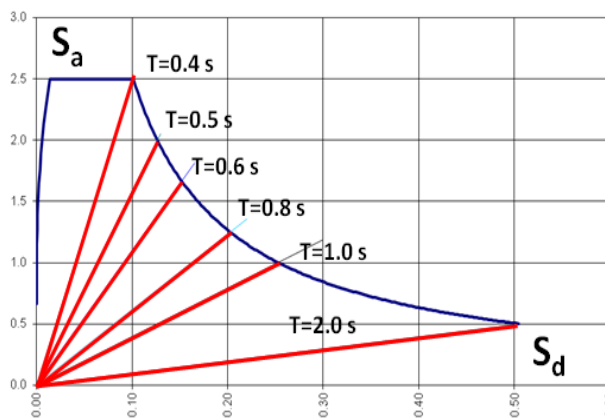
$$S_d = \frac{F}{k} = m S_a \frac{T^2}{4\pi^2 m} = \frac{S_a T^2}{4\pi^2}$$



**Crtež 7.5.** Shematski prikaz određivanja spektralnog pomaka

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

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



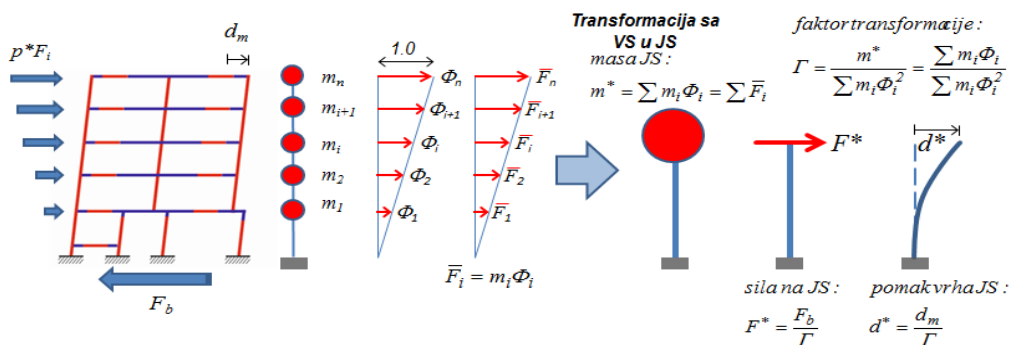
Crtež 7.6. Različiti periodi su predstavljeni pravcima

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.

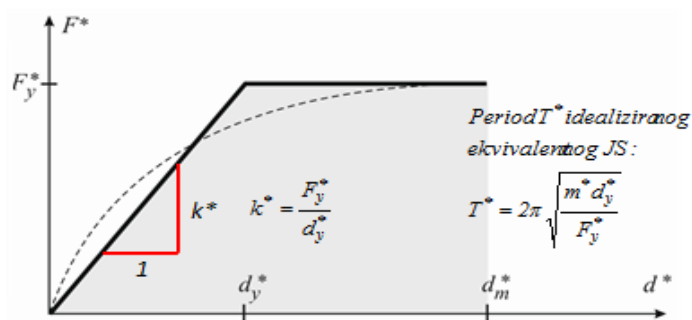
Ukratko, radi se o nizu transformacija prema određenim izrazima u kojima figurira transformacijski faktor  $\Gamma$  koji dovodi u vezu silu  $F$  i pomak  $d^*$  kontrolnog čvora VS-a i ekvivalentnog JS-a.

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 jednostupnjevskog sustava jednaka omjeru sile tečenja  $F_y^*$  i pomaka plastifikacije idealiziranog jednostupnjevskog sustava  $d_y^*$ . Na *Crtežu 7.8.* prikazana je početna krutost idealiziranog jednostupnjevskog sustava i period idealiziranog ekvivalentnog JS-a.



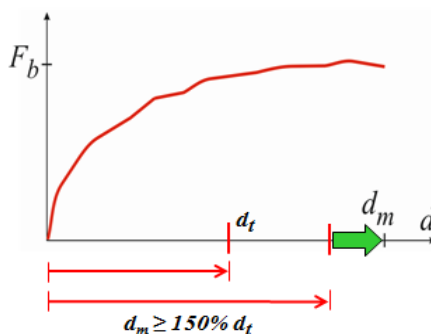
**Crtež 7.8.** Prikaz početne krutosti idealiziranog jednostupnjevskog sustava

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 ( $d_t$ ) višestupnjevskog sustava. Određuje se kao produkt ciljanog pomaka idealiziranog ekvivalentnog jednostupnjevskog sustava ( $d_t^*$ ) i faktora transformacije ( $\Gamma$ ):

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

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.



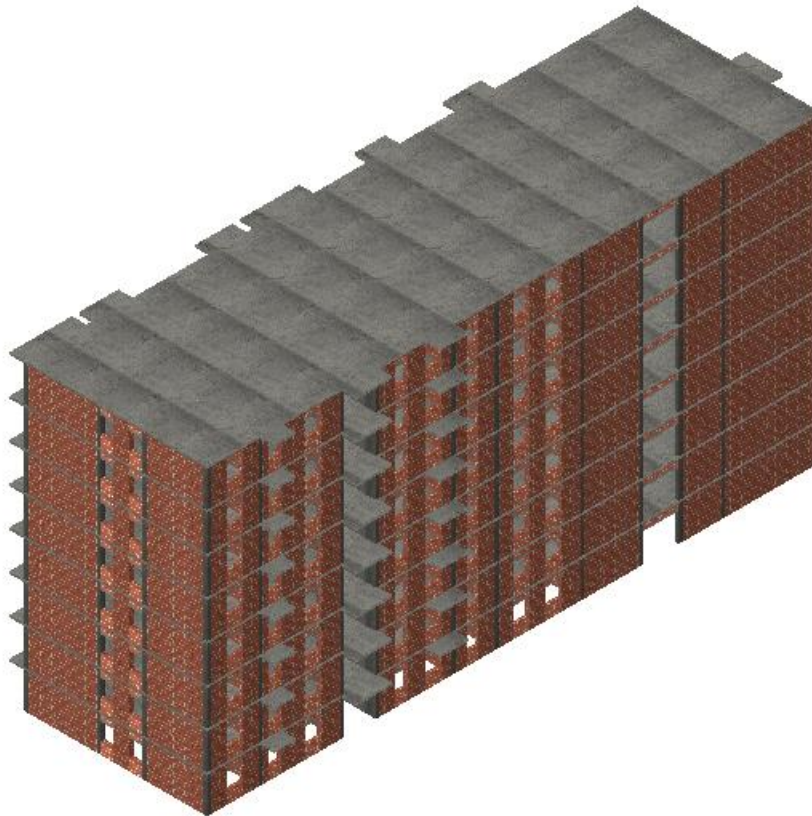
**Crtež 7.9.** Grafički prikaz rezerve nosivosti izražene kroz ciljani pomak

### 7.3. Proračunski model

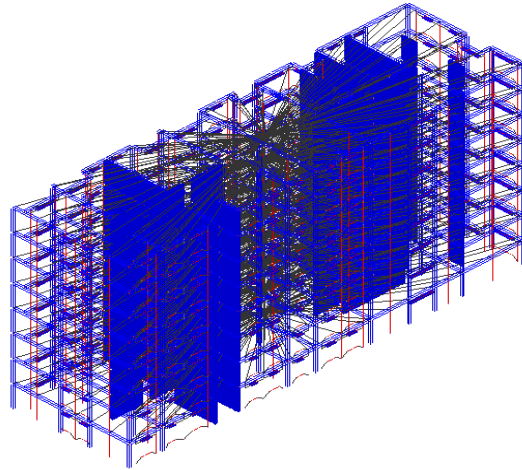
Proračun metodom naguravanja napravljen je u programu AmQuake koji kombinirajući metodu ekvivalentnog okvira i metodu naguravanja provodi dokaz potresne otpornosti za zidane konstrukcije.

#### Model

Napravljen je model za predmetnu stambenu zgradu (*Slika 6.10.*), 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.



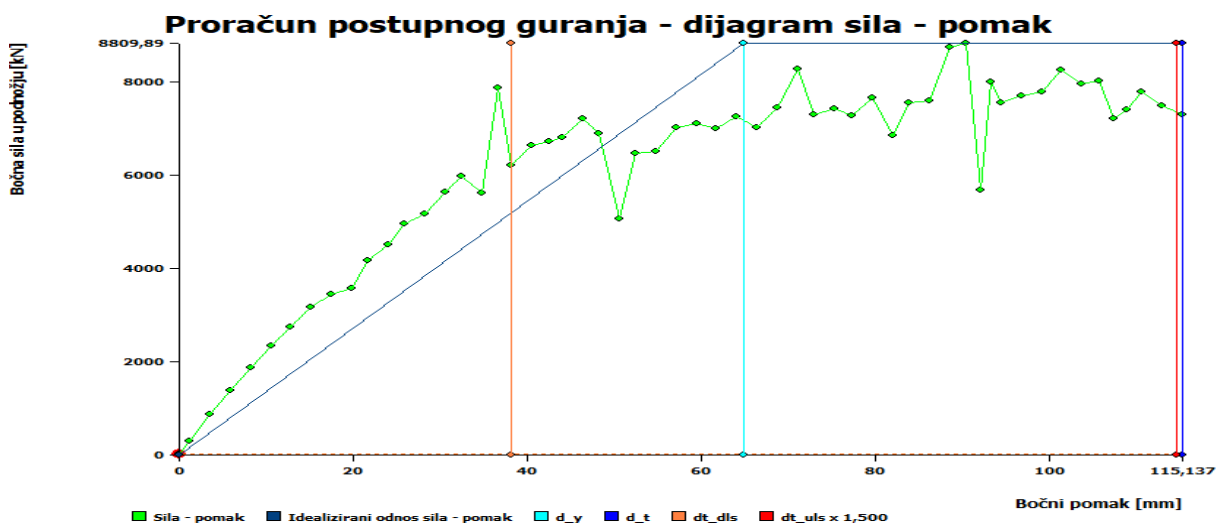
**Crtež 7.10.** Prikaz proračunskog modela



Crtež 7.11. Prikaz mreže konačnih elemenata za proračunsku konstrukciju

### 7.4. Rezultati proračuna postupnog naguravanja

#### a) Jednoliko raspodjeljeno opterećenje - smjer X



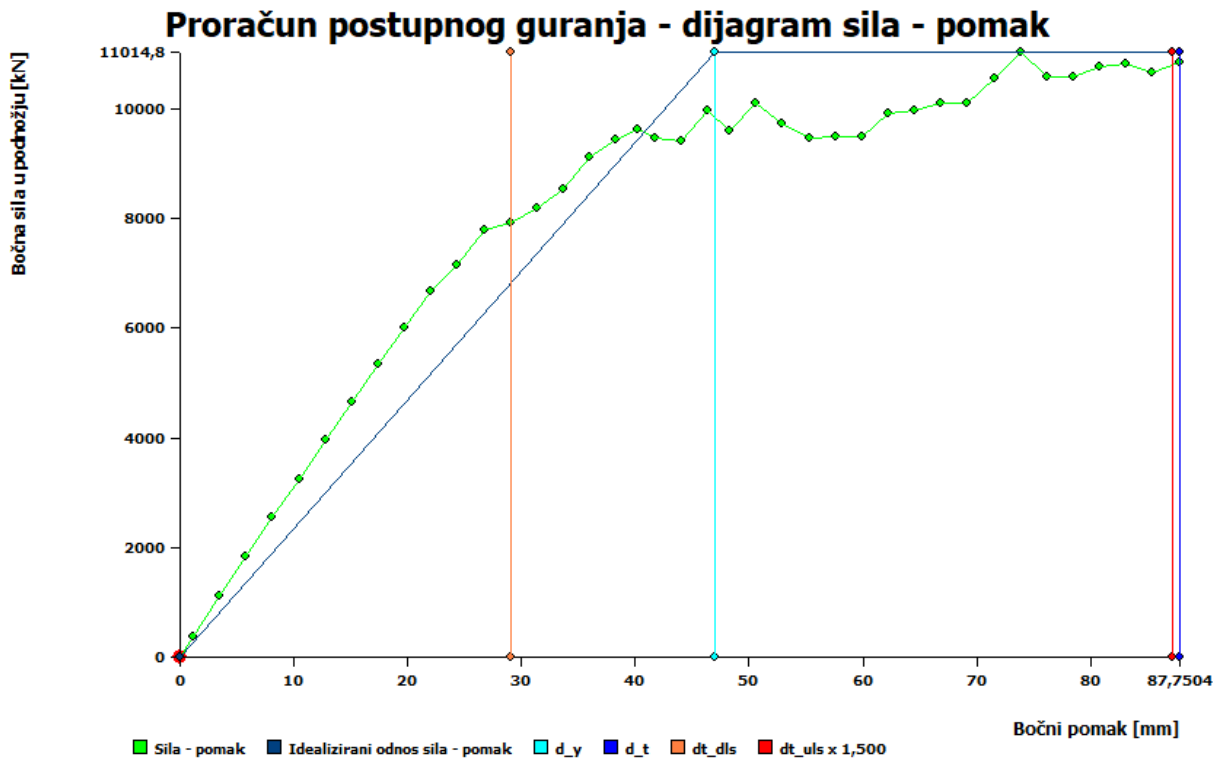
(2) X+, exc. pos, tri	
Ciljani pomak za GSU [mm]:	38,157
Kapacitet za GSU [mm]:	103,689
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	114,472
Kapacitet za GSN [mm]:	115,137
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Crtež 7.12. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer X

Iz dobivenih rezultata se vidi da ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (GSU) iznosi 38,157 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 103,689 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabljivosti.

Ciljani pomak pomnožen s faktorom 1,50 za granično stanje nosivosti (GSN) iznosi 114,472 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 115,137 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]:	29,051
Kapacitet za GSU [mm]:	87,750
Granično stanje uporabljivosti	Ispravno
Ciljani pomak za GSN x 1,50	87,152
Kapacitet za GSN [mm]:	87,750
Granično stanje nosivosti:	Ispravno

Crtež 7.13. Rezultati proračuna, jednoliko opterećenje, smjer Y

Za smjer Y ciljani pomak za granično stanje uporabljivosti (GSU) iznosi 29,051 mm, dok kapacitet za GSU iznosi 87,75 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava granično stanje uporabljivosti.

Ciljani pomak pomnožen s faktorom 1,50 za granično stanje nosivosti (GSN) iznosi 87,152 mm, dok kapacitet za GSN iznosi 87,75 mm što znači da proračunska konstrukcija zadovoljava i granično stanje nosivosti.



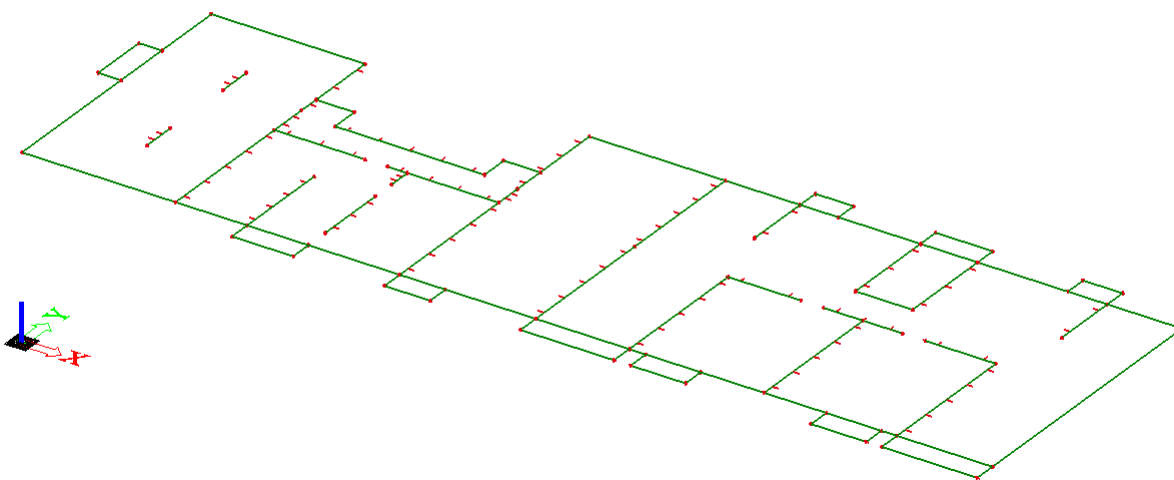
## 8. PRORAČUN KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA

### 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 uvažavanje nelinearnog ponašanja betona preko paraboličnog radnog dijagrama te armirane čelikom za armiranje B500B. Debljina međуетажne AB ploče iznosi 20 cm. Određeni su momenti savijanja, progib i potrebna količina armature ploče za linearno stanje, progib uz uključenu materijalnu nelinearnost i puzanje.

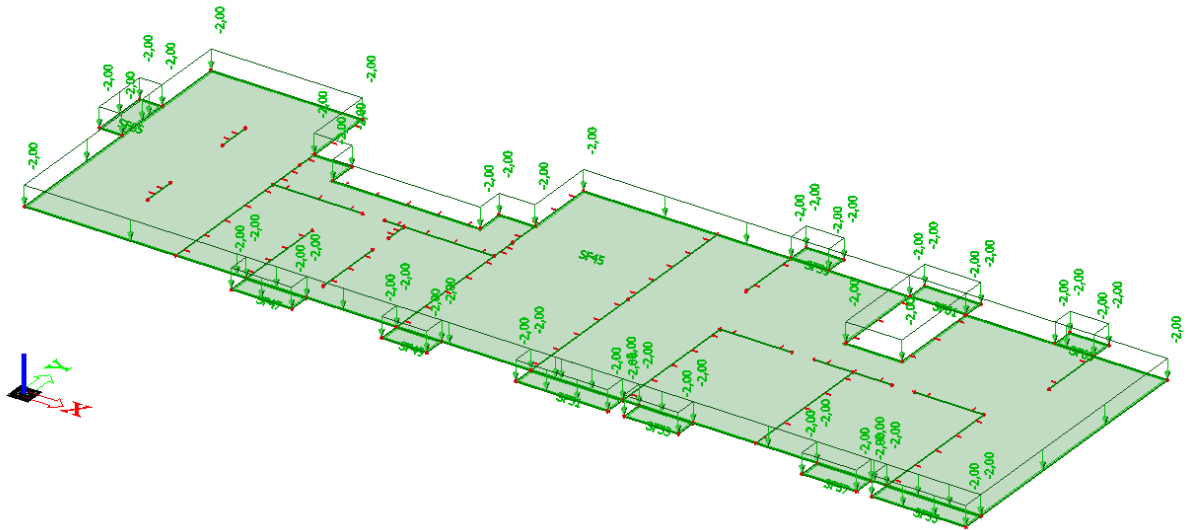
Max dopušteni progib ploča iznosi  $7300 / 500 = 14,6$  mm.



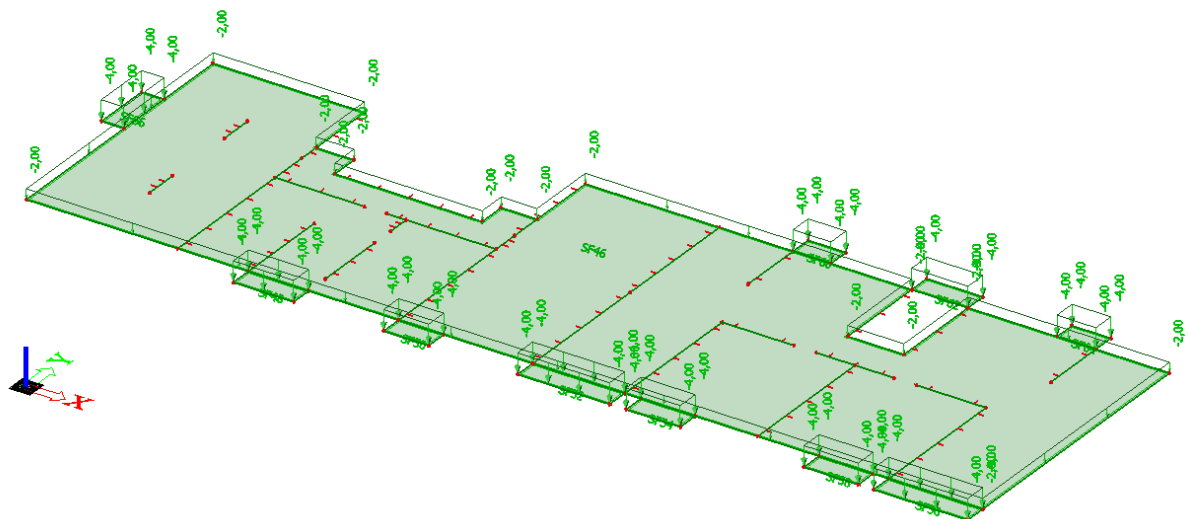
Crtež 8.1. Prikaz modela

### 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.



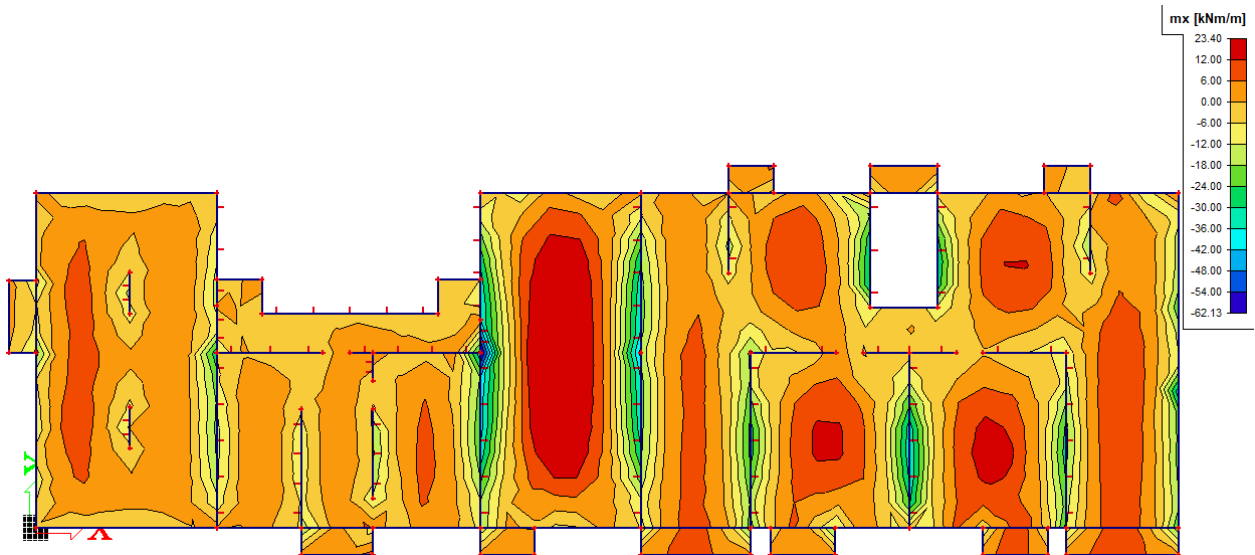
Crtež 8.2. Dodatno stalno opterećenje  $G$  [ $\text{kN/m}^2$ ]



Crtež 8.3. Uporabno opterećenje  $Q$  [ $\text{kN/m}^2$ ]

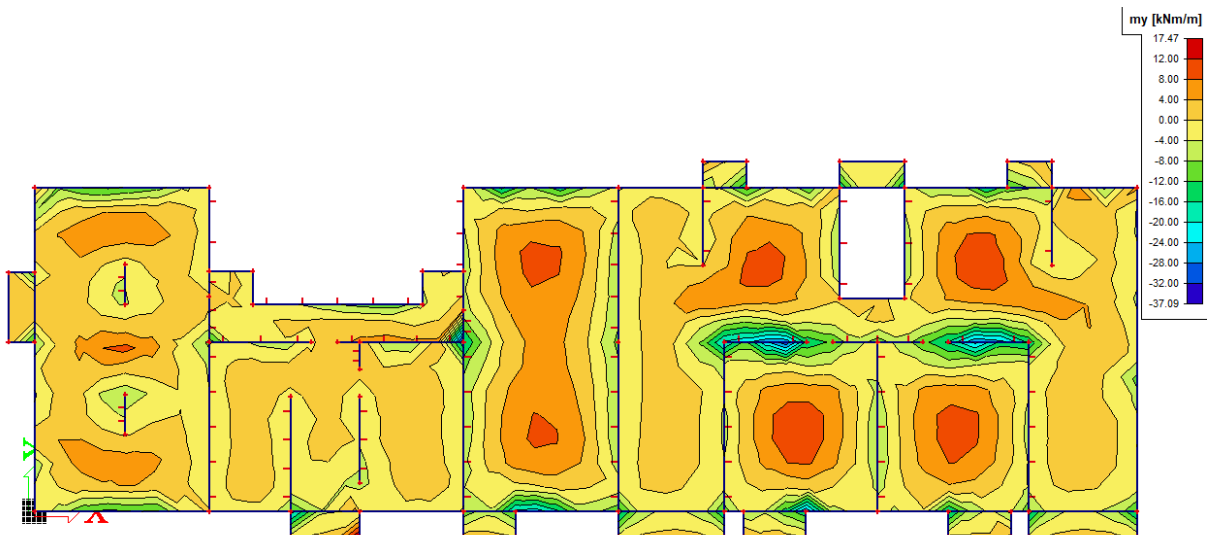
### 8.1.3. Prikaz rezultata

1) Na sljedećim crtežima (Crteži 7.4 i 7.5.) prikazani su momenti savijanja ploča



Crtež 8.4. Prikaz momenata savijanja  $m_x$  [kNm/m] na pločama za osnovnu kombinaciju

$$\text{GSN-1: } 1,35*(G_0+G) + 1,5Q$$



Crtež 8.5. Prikaz momenata savijanja  $m_y$  [kNm/m] na pločama za osnovnu kombinaciju

$$\text{GSN-1: } 1,35*(G_0+G) + 1,5Q$$

Potrebno je provjeriti dolazi li, zbog velikih momenata savijanja nad ležajevima, do prekoračenja dopuštenih tlačnih napreznja 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:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \times b \times d^2 \times f_{cd} = 0,159 \times 100 \times 17,5^2 \times 1,67 = 81,32 \text{ kNm}$$

Maksimalni moment savijanja koji se javlja na ploči iznosi  $M_x = 62,13 \text{ kNm}$  što je manje od graničnog momenta nosivosti.

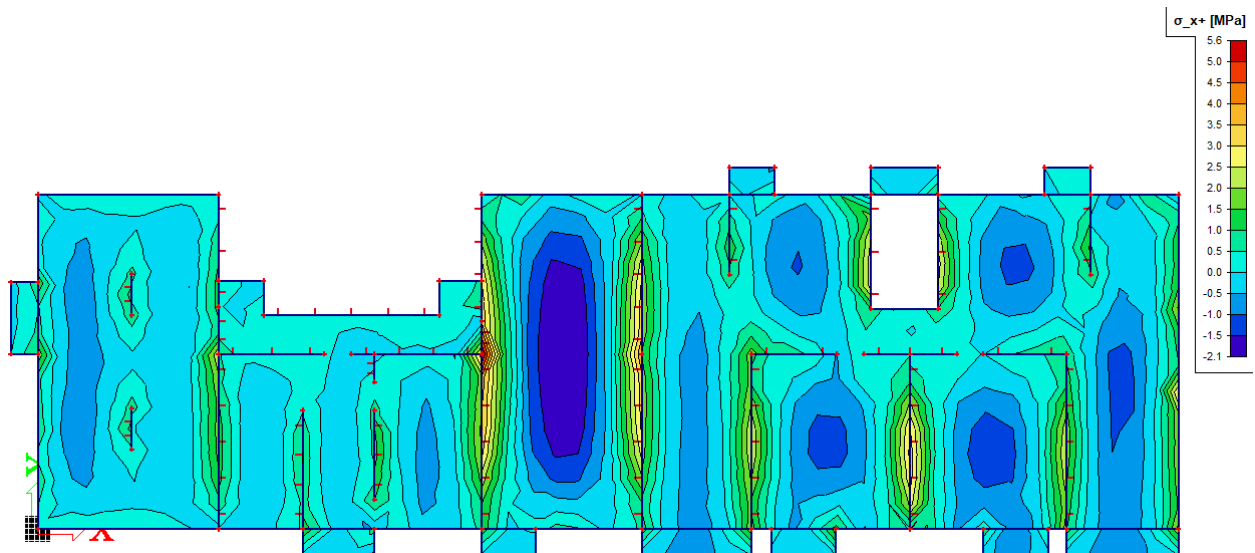
## 2) Provjera napreznja u betonu

Napreznja u betonu za nazovistalnu kombinaciju opterećenja

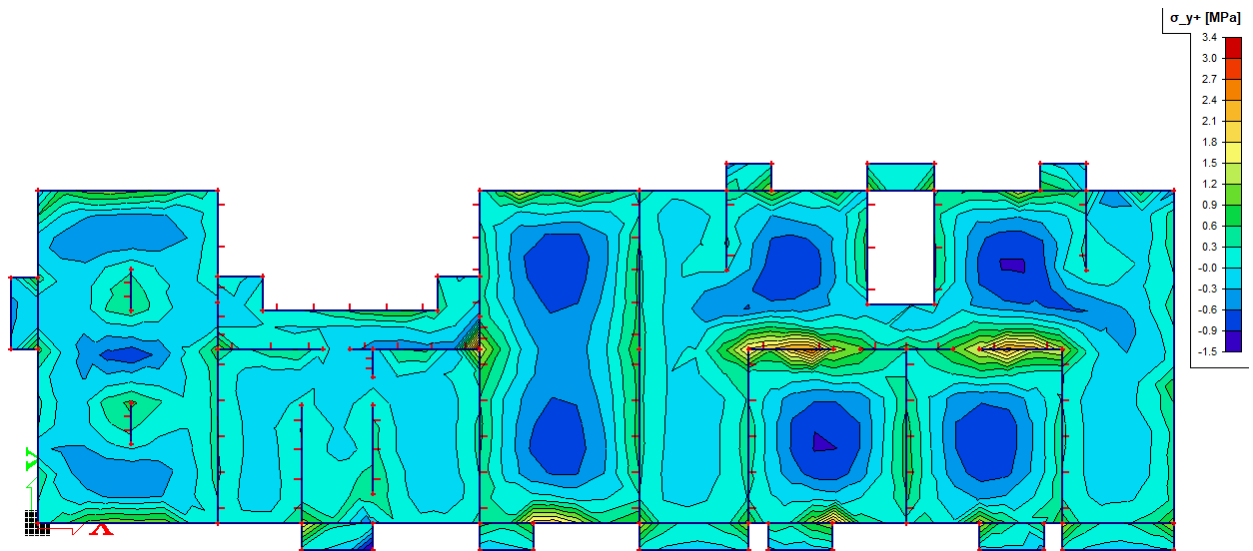
Tlačna napreznja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

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

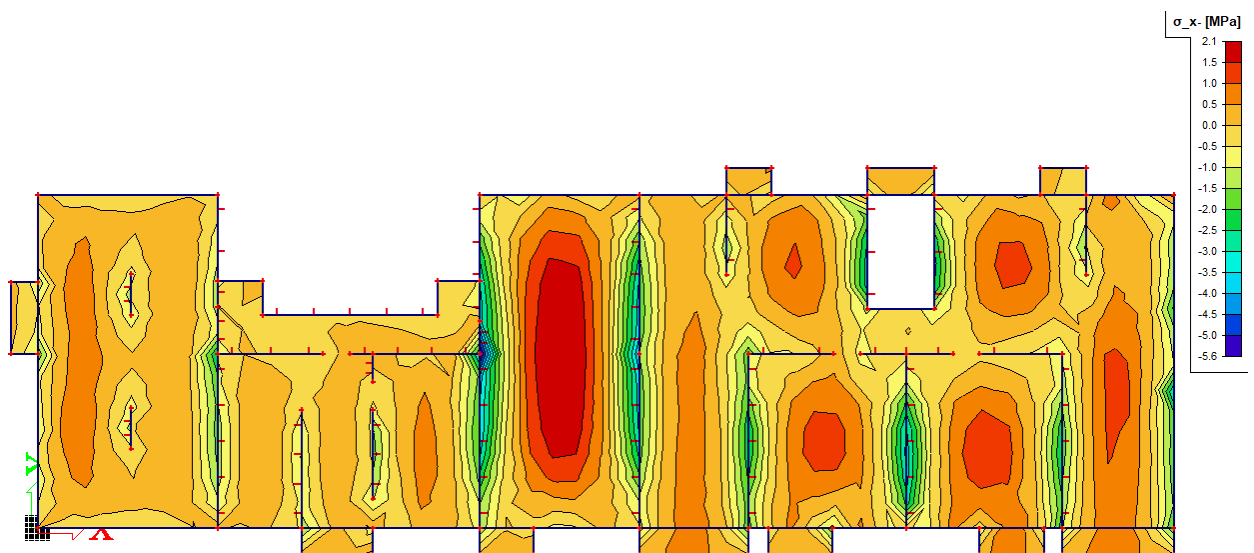
Na sljedećim crtežima (Crteži 7.6; 7.7; 7.8; 7.9) prikazana su napreznja u betonu za nazovistalnu kombinaciju opterećenja.



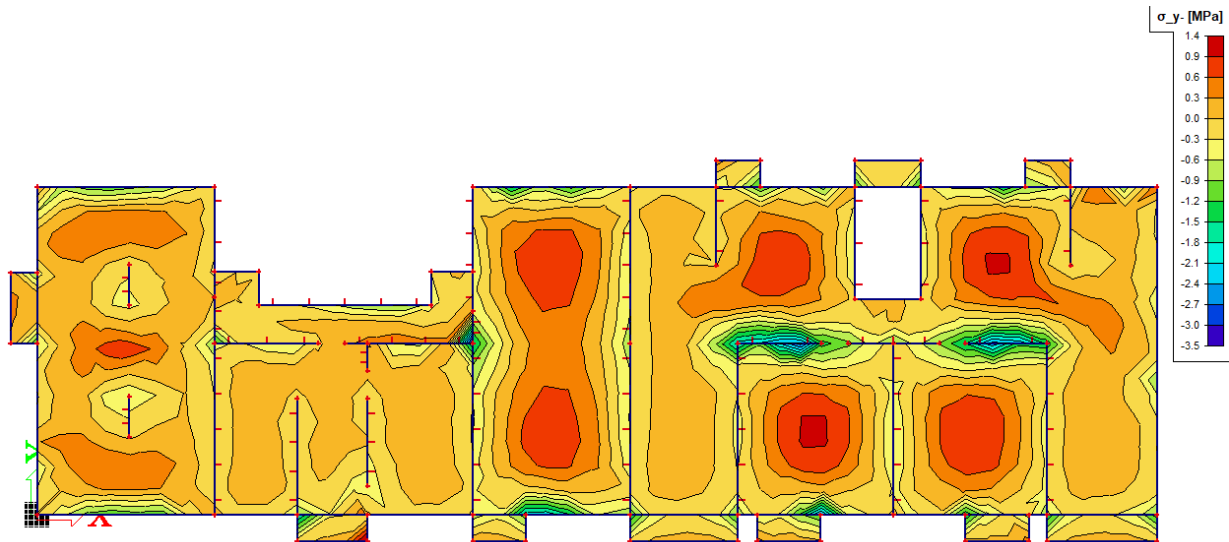
**Crtež 8.6.** Tlačna napreznja u betonu na gornjoj plohi ploče  $\sigma_{c,x,+}$  [MPa] u smjeru X za nazovistalnu kombinaciju GSU-2:  $1,0 \times (G_0 + G) + 0,3Q$



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 naprežanja 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 naprežanje u betonu iznosi manje od dopuštenog.

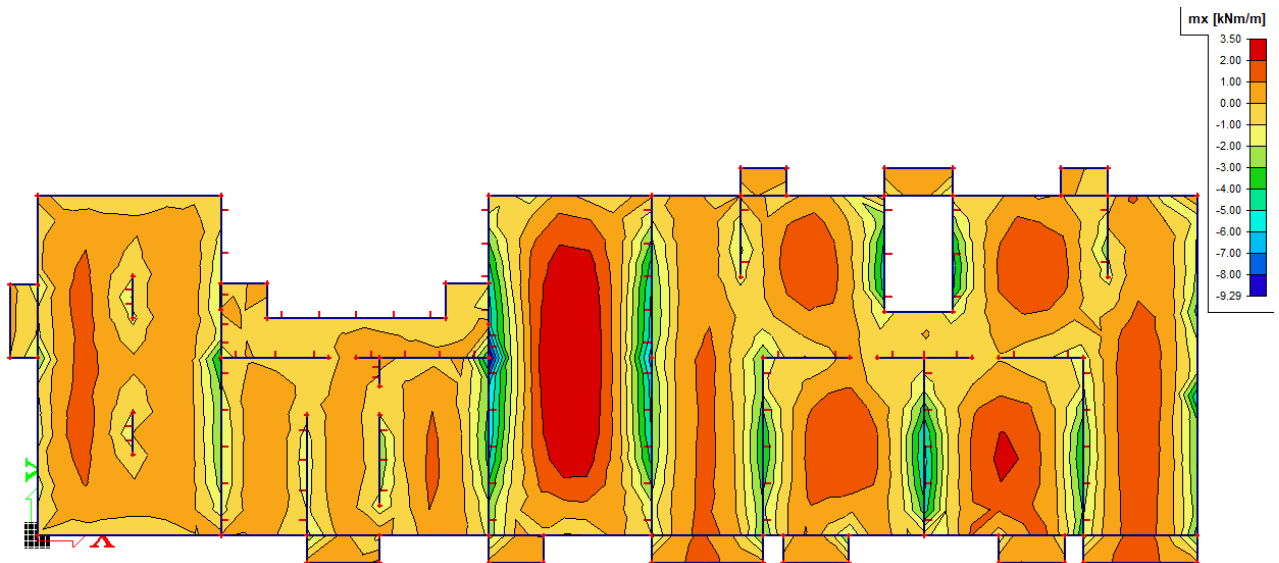
$$\sigma_{c,max} = 5,6 \text{ MPa} < 11,25 \text{ MPa}$$

#### 1) Prikaz potrebne armature

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

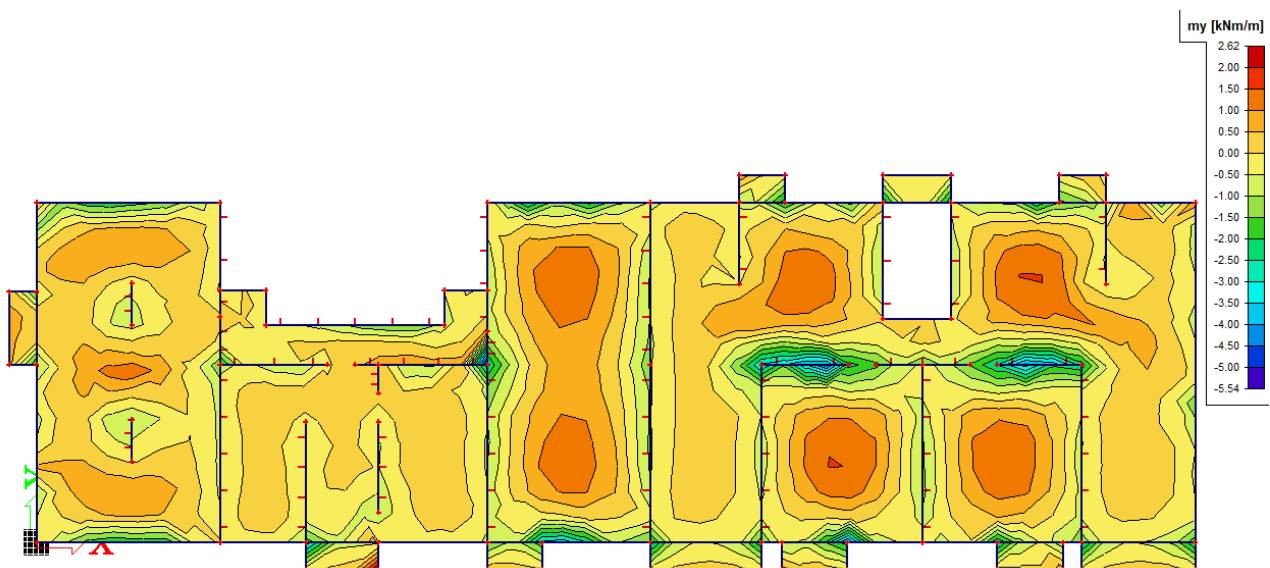
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0,9 \times 17,5 \times 43,48} = 0,15 \times M_{sd}$$

Potrebna armatura u X smjeru ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )



Crtež 8.10. Potrebna armatura [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ] u X smjeru

Potrebna armatura u Y smjeru ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )

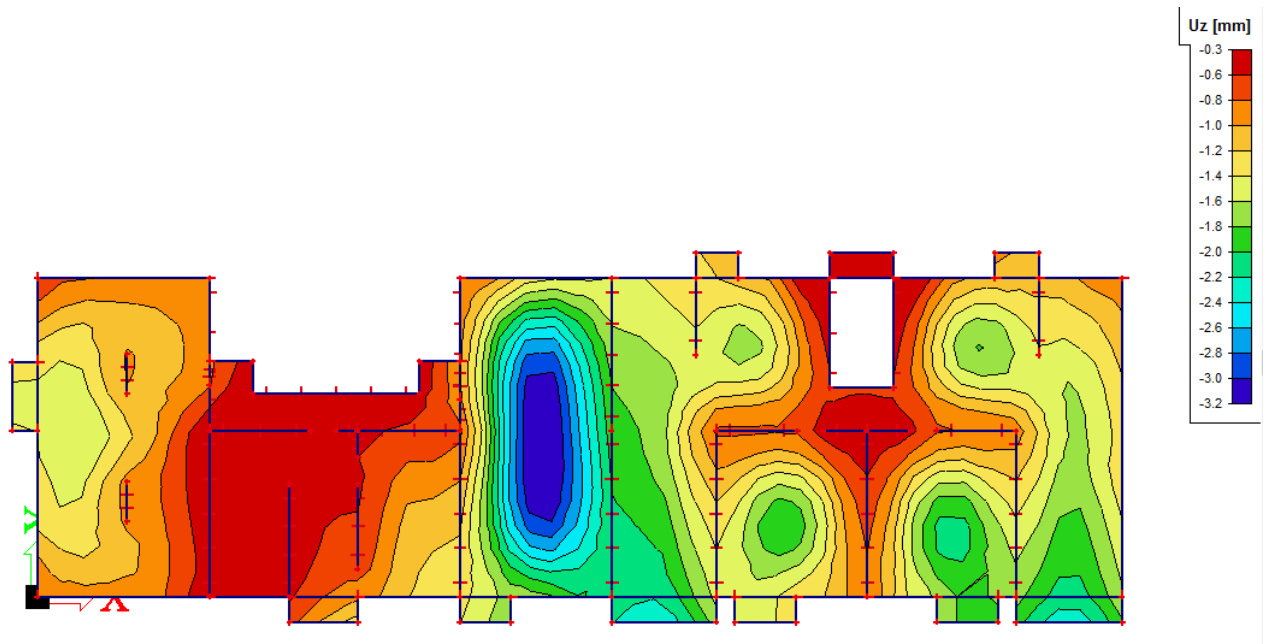


Crtež 8.11. Potrebna armatura [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ] u Y smjeru

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



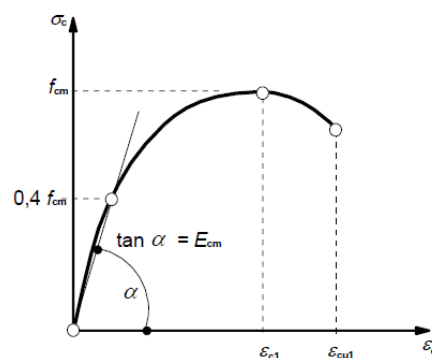
**Crtež 8.13.** Prikaz progiba  $U_z$ [mm] za kombinaciju GSU-2:  $1.0 \cdot (G_0 + G) + 0.3Q$

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

$3,2$  mm <  $14,6$  mm Progibi ploča zadovoljavaju.

Progibi uz uključenu materijalnu nelinearnost

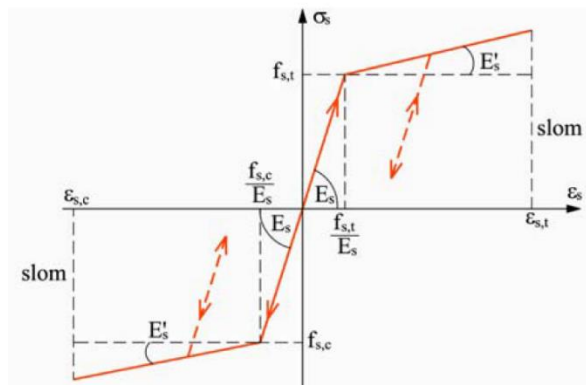
Radni dijagram betona:



**Crtež 8.14.** Radni dijagram betona



Radni dijagram čelika:



Crtež 8.15. Radni dijagram čelika

Možemo promatrati progibe ploče uz uključenu materijalnu nelinearnost i puzanje. U tom slučaju imamo stroži uvjet dopuštenog progiba koji iznosi  $L/2000$ .

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

$3,2 \text{ mm} < 3,65 \text{ mm}$  Progibi ploča zadovoljavaju.

## 8.2. GREDE

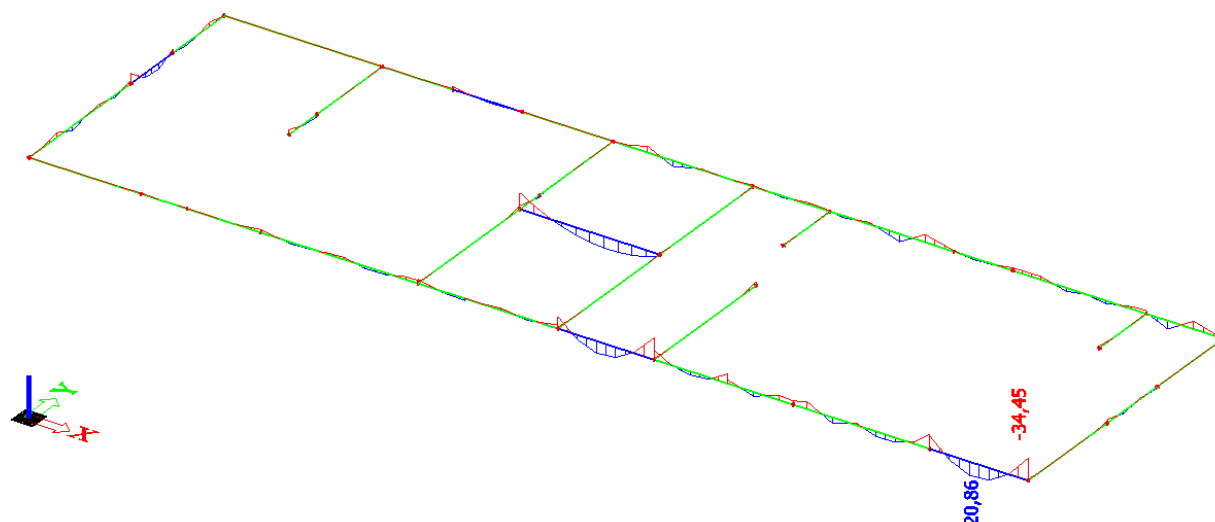
- Granični moment nosivosti  $M_{rd,lim}$

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:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \times b \times d^2 \times f_{cd} = 0,159 \times 30 \times 50^2 \times 2,0 = 238,50 \text{ kNm}$$

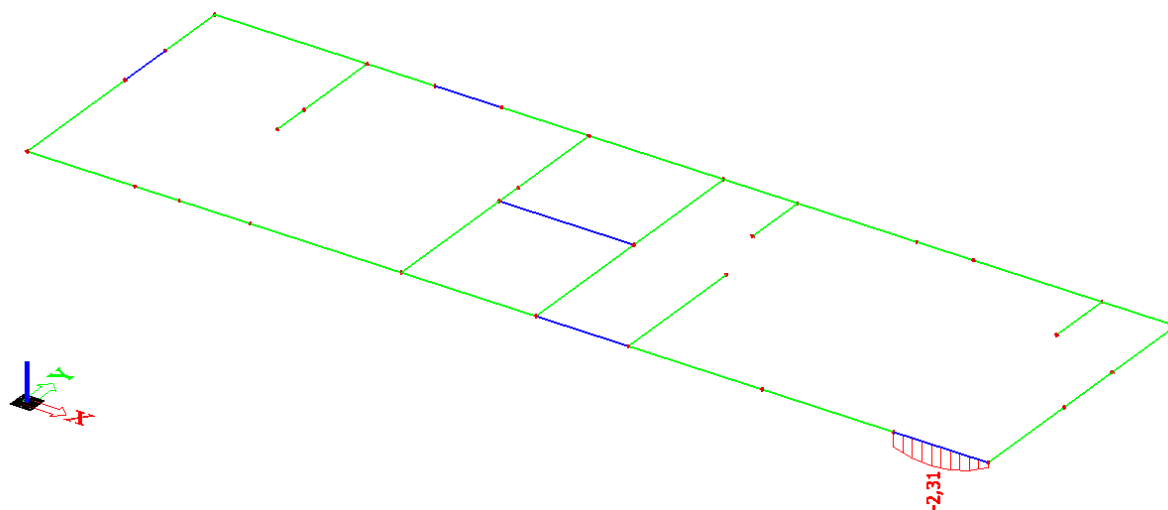
### 8.2.1. Proračun potrebne armature u gredama

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



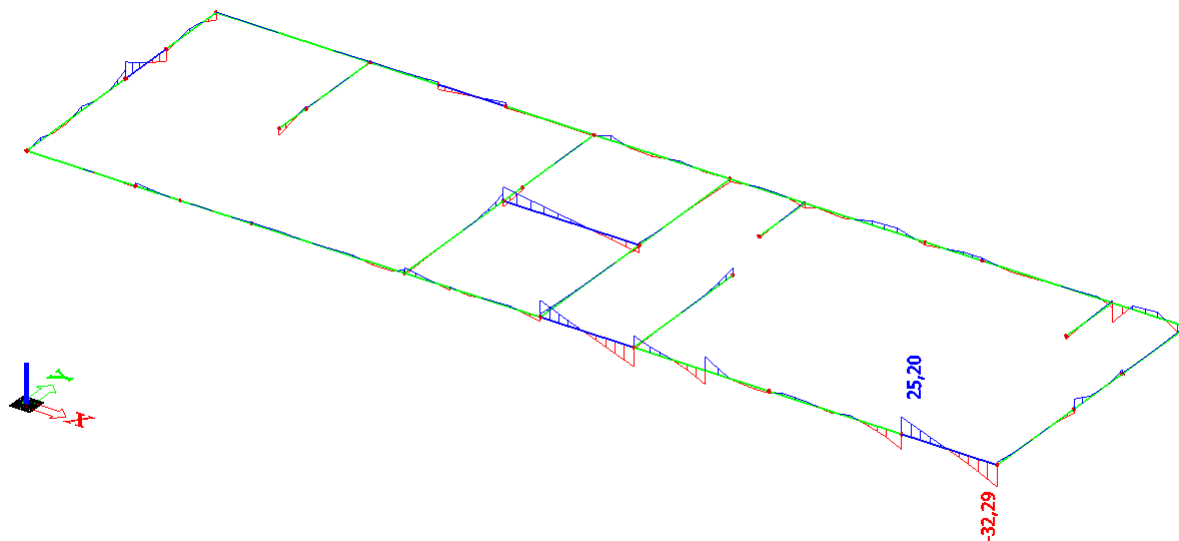
**Crtež 8.17.** Momenti savijanja  $M_{Sd,y}$  [kNm] na gredama za kombinaciju

$$\text{GSN-1: } 1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot (0,6 \cdot WX)$$



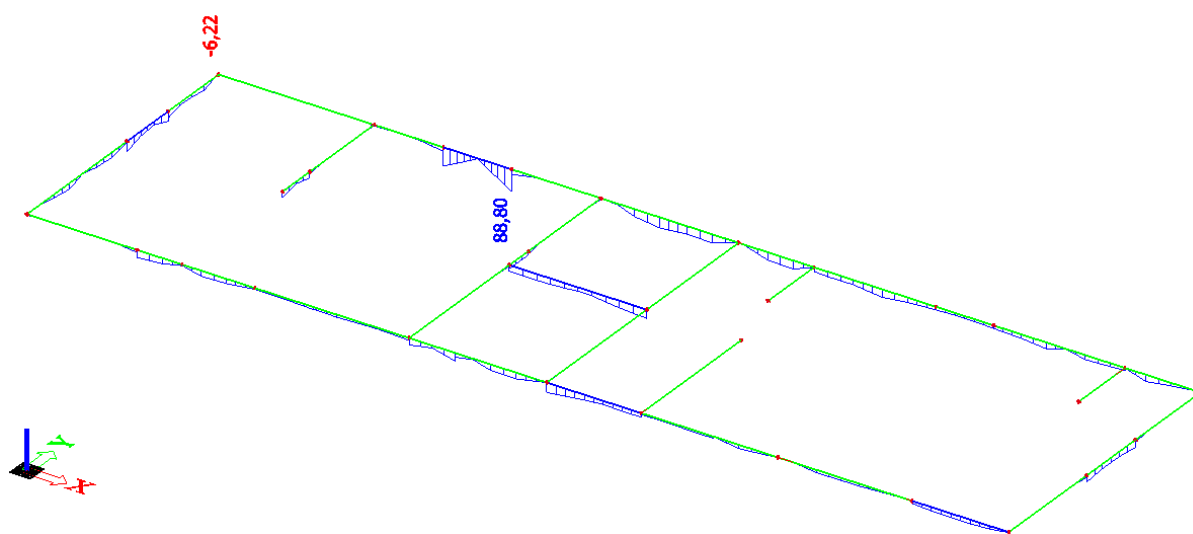
**Crtež 8.18.** Uzdužne sile  $N_{Sd}$  [kN] na gredama za kombinaciju

$$\text{GSN-1: } 1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot (0,6 \cdot WX)$$



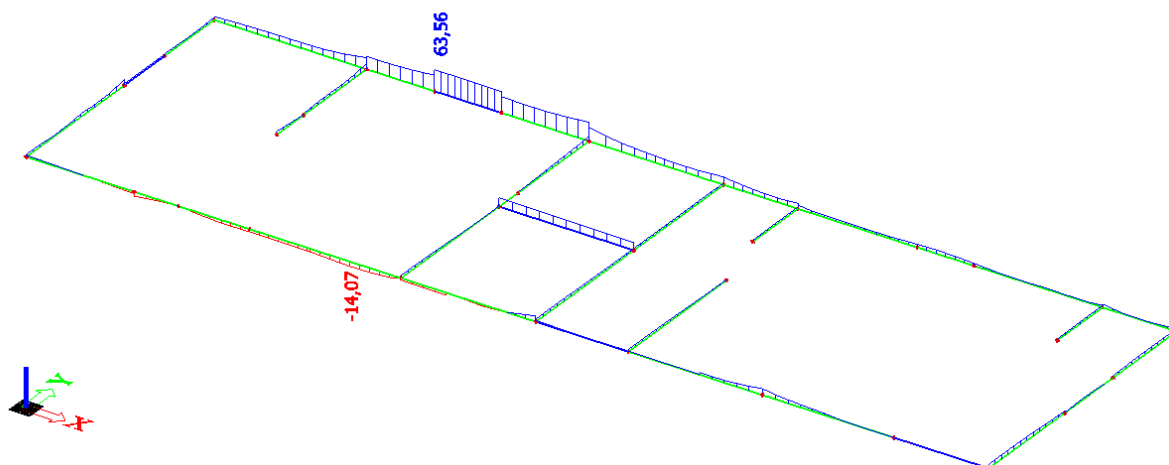
Crtež 8.19. Poprečne sile  $V_{Sd,z}$  [kN] na gredama za kombinaciju

$$\text{GSN-1: } 1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5 \cdot Q + 1,5 \cdot (0,6 \cdot WX)$$



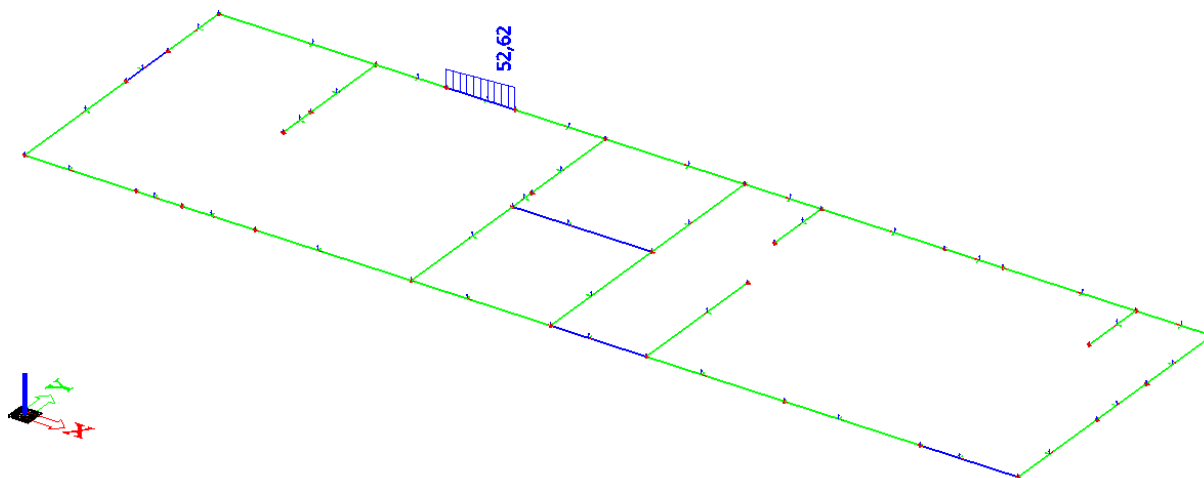
Crtež 8.20. Momenti savijanja  $M_{Sd,y}$  [kNm] na gredama za potresnu kombinaciju

$$\text{GSN-9: } 1,0 \cdot (G_0 + G) + 0,3 \cdot Q + 1 \cdot SX + 0,3 \cdot SY + TX$$



Crtež 8.21. Uzdužne sile  $N_{sd}$  [kN] na gredama za potresnu kombinaciju

$$\text{GSN-9: } 1,0 \cdot (G_0 + G) + 0,3 \cdot Q + 1 \cdot S_X + 0,3 \cdot S_Y + T_X$$



Crtež 8.22. Poprečne sile  $V_{sd,z}$  [kN] na gredama za potresnu kombinaciju

$$\text{GSN-9: } 1,0 \cdot (G_0 + G) + 0,3 \cdot Q + 1 \cdot S_X + 0,3 \cdot S_Y + T_X$$

Mjerodavne rezne sile u gredama iznose:

$$M_{Sd,polje} = 20,86 \text{ kNm (pripadajuća uzdužna sila } N_{Sd} = -2,31 \text{ kN)}$$

$$M_{Sd,ležaj} = 88,80 \text{ kNm (pripadajuća uzdužna sila } N_{Sd} = + 63,56 \text{ kN)}$$

$$V_{Sd} = 52,62 \text{ kN (pripadajuća uzdužna sila } N_{Sd} = + 63,56 \text{ kN)}$$

### Polje:

$$\text{Utjecajna širina: } b_{eff} = b_0 + \frac{L_0}{10} \leq e \Rightarrow b_{eff} = 30 + \frac{0,85 \cdot 460}{10} = 69,1 \text{ cm}$$

$$M_{Sd} = 20,86 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = -2,31 \text{ kN (tlak)}$$

$$M_{sds} = M_{sd} - N_{sd} \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) = 20,86 + 2,31 \cdot \left( 0,75 - \frac{0,50}{2} \right) = 22,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 69,1 \cdot 45^2 \cdot 2,0 = 444,97 \text{ kNm} > M_{sds} = 20,86 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2086}{69,1 \cdot 45^2 \cdot 2,0} = 0,0075$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 0,5 \text{ ‰} \quad \xi = 0,048 \quad \zeta = 0,984$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{2086}{0,984 \cdot 45 \cdot 43,48} - \frac{231}{43,48} = 1,08 + 5,31 = 6,39 \text{ cm}^2$$

Odabrano: **4Ø16** ( $A_s = 8,04 \text{ cm}^2$ )

### Ležaj:

$$M_{Sd} = 88,80 \text{ kNm}$$

$$N_{Sd} = 63,56 \text{ kN (vlak)}$$

$$M_{sds} = M_{sd} - N_{sd} \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) = 88,80 - 63,56 \cdot \left( 0,75 - \frac{0,50}{2} \right) = 57,02 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 30 \cdot 45^2 \cdot 2,0 = 193,19 \text{ kNm} > M_{sds} = 88,80 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5702}{30 \cdot 45^2 \cdot 2,0} = 0,047$$

$$\text{Očitano: } \varepsilon_{s1} = 10 \text{ ‰} \quad \varepsilon_{c2} = 1,3 \text{ ‰} \quad \xi = 0,115 \quad \zeta = 0,959$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sds}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{5702}{0,959 \cdot 45 \cdot 43,48} + \frac{63,56}{43,48} = 3,04 + 1,46 = 4,5 \text{ cm}^2$$

$$\text{Odabrano: } 4\phi 14 \text{ (} A_s = 6,16 \text{ cm}^2 \text{)}$$

### Proračun na poprečnu silu:

$$V_{Sd} = 52,62 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 63,56 \text{ Kn}$$

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{750}} = 1,52 < 2,0 \Rightarrow k = 1,52$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \frac{63,56}{50 \cdot 30} = 0,042$$

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{4\phi 14}{50 \cdot 30} = 0,0041067$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,52 \cdot (100 \cdot 0,0041067 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,042 \right] \cdot 300 \cdot 450 = 57722,26 \text{ N} = 57,72 \text{ kN}$$

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

$$k = 1,52$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,52^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,359 \text{ kN / m}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,042$$

$$V_{Rd,c} \geq [0,359 + 1,52 \cdot 0,042] \cdot 300 \cdot 450 = 57083,4 \text{ N} = 57,08 \text{ kN}$$

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

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

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

$$V_{Rd,max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 300 \cdot 450 = 712800 \text{ N} = 712,8 \text{ kN}$$

Maksimalna poprečna sila:  $V_{Ed,max} = V_{Ed,a} = 52,62 \text{ kN}$

$$V_{Ed,max} / V_{Rd,max} = 52,62 / 712,8 = 0,074 \Rightarrow V_{Ed,max} = 0,074 V_{Rd,max}$$

Maksimalni razmak spona:

$$s_{w,max} = \min \{ 0,75 \cdot d; 30,0 \text{ cm} \} = \min \{ 0,75 \cdot 45 = 33,75; 30,0 \} \Rightarrow s_{w,max} = 30,0 \text{ cm}$$

$$\rho_{min} = 0,0011 \quad (C 30/37)$$

usvojeno  $s_w = 20,0 \text{ cm}$

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

Odabrane spona  $\varnothing 10$  ( $A_{sw} = 0,79 \text{ cm}^2$ )

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

Odabrane spona  $\varnothing 10/25$ ,  $m = 2$

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79}{25} \cdot (0,9 \cdot 45) \cdot 43,48 \cdot 2 = 111,29 \text{ kN}$$

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

### 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 napreznja u zidovima za nazovistalnu kombinaciju

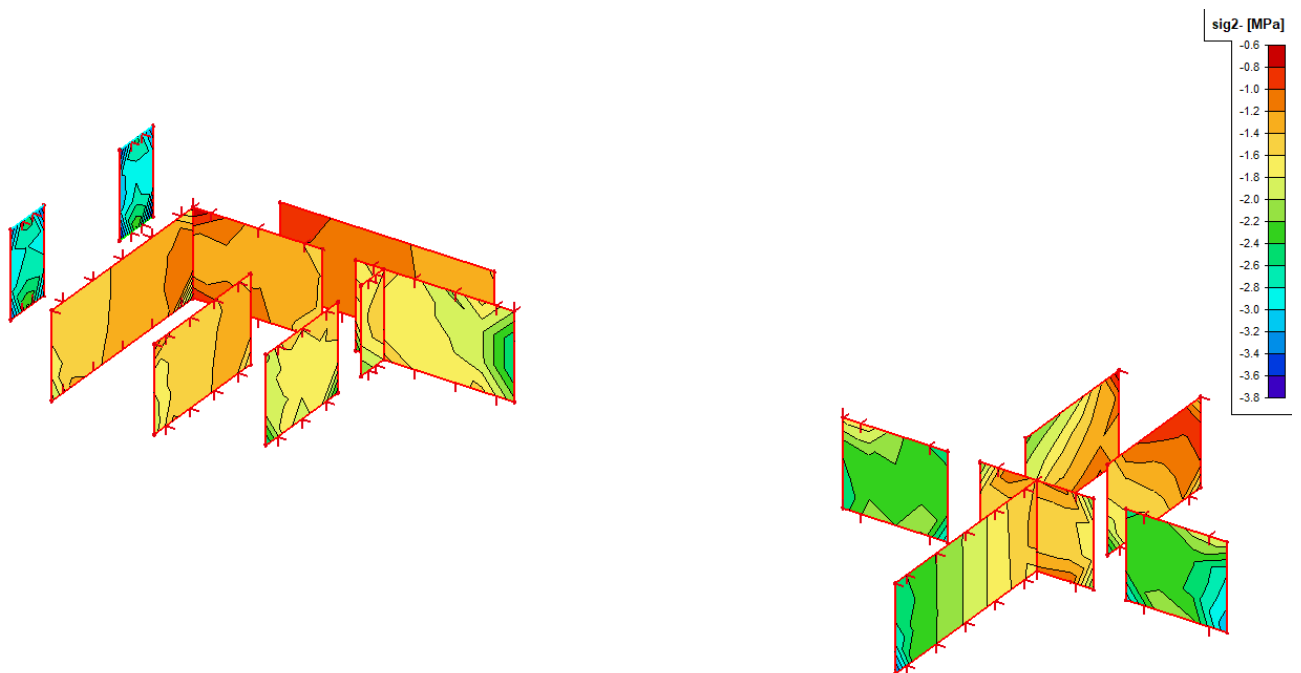
$$GSU-2 = 1,0*(G_0 + G) + 0,3Q$$

Tlačna napreznja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

$$\sigma_{c,GSU2} \leq 0,40 f_{ck} = 0,40*35 = 14,00 \text{ MPa}$$

Na Crtežu 7.23. su prikazana rubna napreznja u zidovima gdje vidimo da maksimalno napreznje iznosi:

$$\sigma_{c,max} = 3,8 \text{ MPa} < 14,0 \text{ Mpa}$$



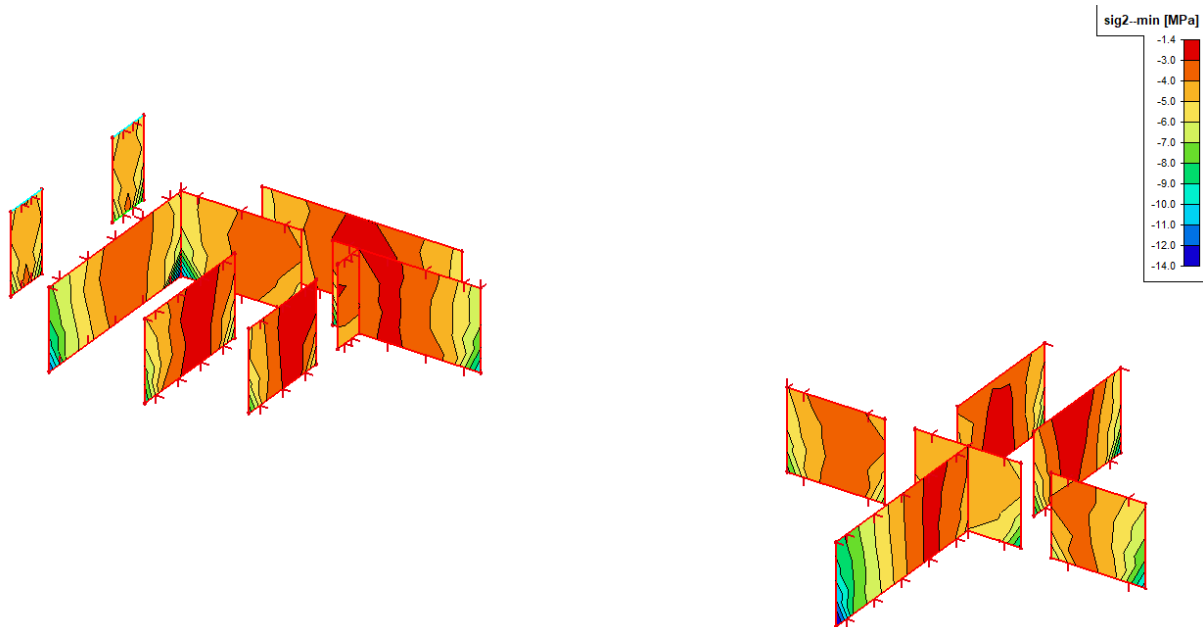
Crtež 8.23. Napreznja u zidu  $\sigma_c$ , GSU-2:  $1,0*(G_0+G) + 0,3Q$



- Kontrola tlačnih naprezanja u zidu za anvelopu potresa ANV 10-13

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

$$\sigma_{c,Rd} \leq 0,40 f_{cd} = 0,40 * (35/1,5) = 9,33 \text{ MPa}$$



Crtež 8.24. Naprezanja u zidu  $\sigma_{c,Rd}$ , ANV 10-13

U rubovima zidova (na mjestu vezivanja sa drugim elementima) javlja se veća koncentracija naprezanja pa je potrebno postaviti odgovarajuće U-vilice. Uzima se u obzir da je to numerička pogreška pri modeliranju konstrukcije.

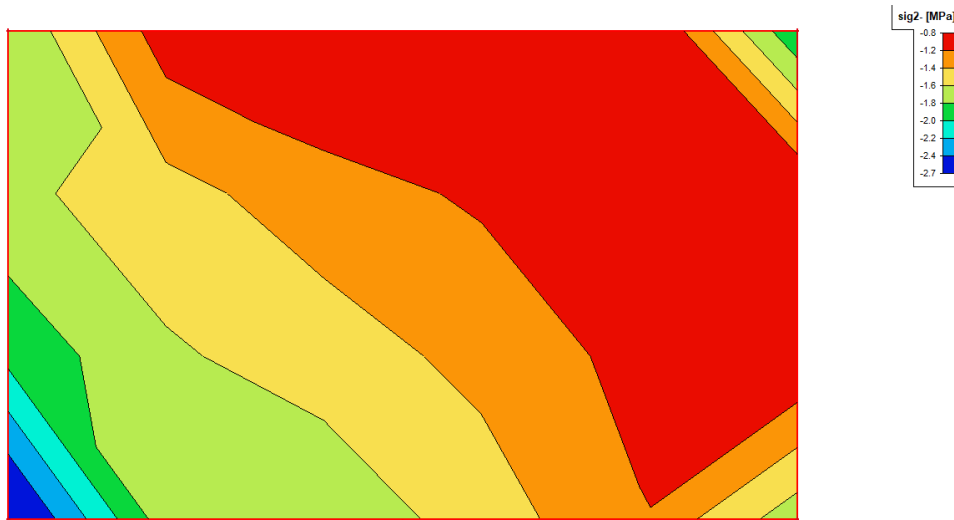
### 8.3.1. Zid u osi Gy /1-2 –Plošni element

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidu za nazovistalnu kombinaciju

$$GSU-2 = 1,0*(G_0+G) + 0,3Q$$

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

$$\sigma_{c,GSU2} \leq 0,40 f_{ck} = 0,40*35 = 14,00 \text{ MPa}$$

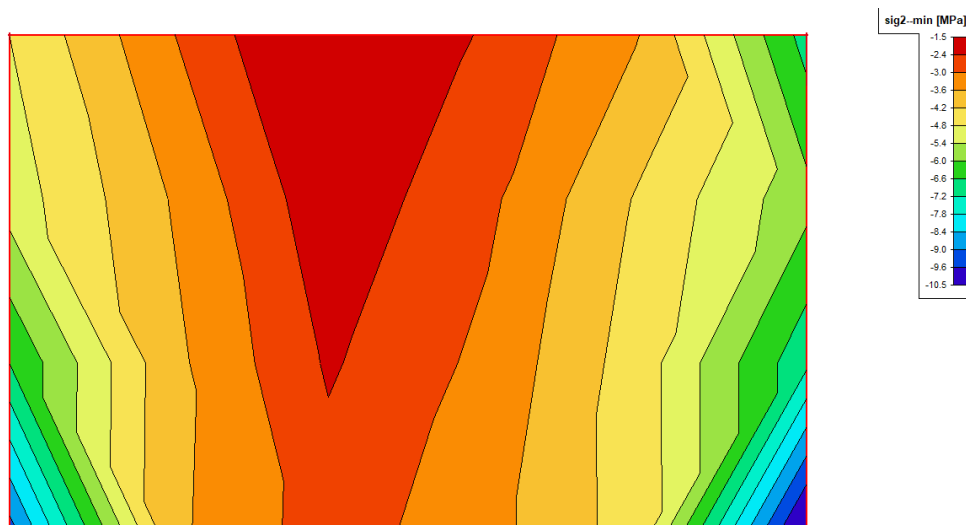


Crtež 8.25. Naprezanja u zidu  $\sigma_{c,GSU-2}: 1,0*(G_0+G) + 0,3Q$

Na Crtežu 7.25. su prikazana rubna naprezanja u zidu gdje vidimo da maksimalno naprezanje iznosi:

$$\sigma_{c,max} = 3,8 \text{ MPa} < 14,0 \text{ Mpa}$$

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidu za anvelopu potresa ANV 10-13



Crtež 8.26. Naprezanja u zidu  $\sigma_{c,Rd}$ , ANV 10-13

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

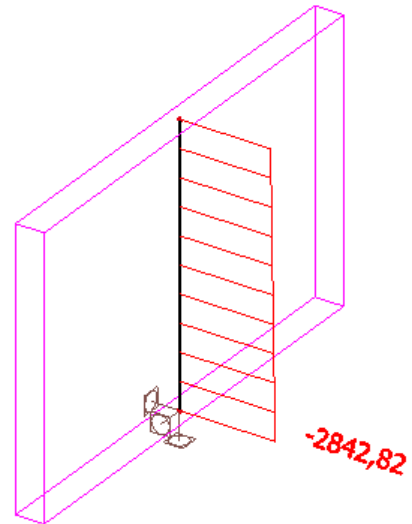
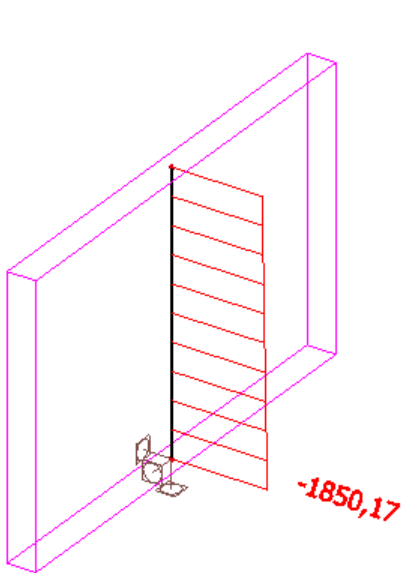
$$\sigma_{c,Rd} \leq 0,40 f_{cd} = 0,40 * (35/1,5) = 9,33 \text{ Mpa}$$

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

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

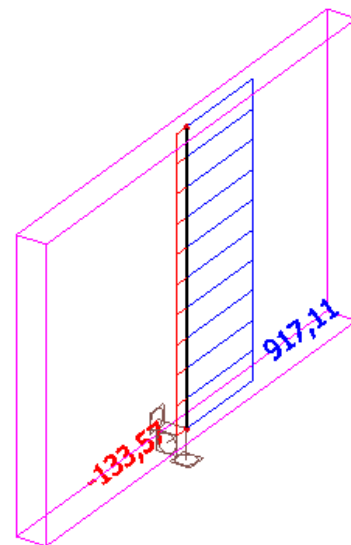
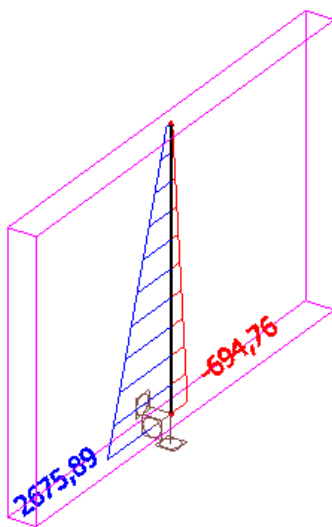
$$GSU-2 = 1,0 * (G_0 + G) + 0,3 * Q$$

Uzdužne sile  $N_{Ed}$  [MN] za Anvelopu potresna ANV 10-13



Dijagram momenata savijanja  $M_{z,Ed}$  [MNm] za Anvelopu potresna ANV 10-13

Dijagram poprečnih sila  $V_{y,Ed}$  [MN] za Anvelopu potresna ANV 10-13



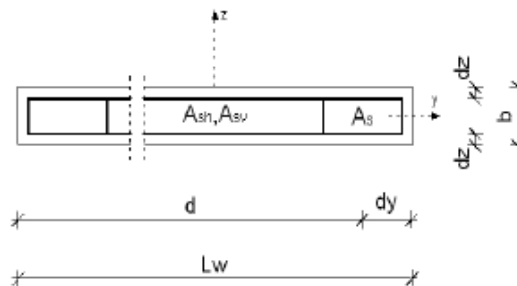
Crtež 8.26. Unutarnje sile u zidu u osi Hy / 1-2

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 8.27.** 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):

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{N_{Sd,GSU-2}}{b \cdot L_w} \leq 0,45 f_{ck} = 0,45 \cdot 35 = 15,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{1850,17}{0,3 \cdot 4,85} = 1271,6 \text{ kN/m}^2 = 1,27 \text{ MPa} < 15,75 \text{ MPa}$$

2) Srednje tlačno naprezanje u zidu za seizmičku kombinaciju:

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{N_{Sd,ANV10-13}}{b \cdot L_w} \leq 0,40 f_{cd} = 0,40 \cdot \left(\frac{35}{1,5}\right) = 9,33 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{2842,82}{0,3 \cdot 4,85} = 1953,83 \text{ kN/m}^2 = 1,95 \text{ MPa} < 9,33 \text{ MPa}$$

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

- Računski moment savijanja:

$$M_{Sds} = M_{sd} + N_{sd,GSU-2} \left( d - \frac{h}{2} \right) = 2675,89 + 1850,17 \left( 4,65 - \frac{2,9}{2} \right) = 8596,43 [\text{kNm}]$$

- Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$M_{RD,lim} = \mu_{RD,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 0,3 \cdot 4,65^2 \cdot 23333 = 32087,33 [\text{kNm}] > M_{sds}$$

- Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$A_1 = \frac{M_{Sds}}{0,8 \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{sd,GSU-2}}{f_{yd}} = \frac{8596,43 \cdot 100}{0,8 \cdot 465 \cdot 43,48} - \frac{1850,17}{43,48} = 10,6 [\text{cm}^2]$$

Minimalna površina vlačne armature u polju:

$$A_{1,min} = 0,005 \cdot b \cdot d = 0,005 \cdot 30 \cdot 465 = 69,75 [\text{cm}^2]$$

Na svaku stranu po:

$$\frac{A_{1,min}}{2} = \frac{69,75}{2} = 34,9 \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}'} \right] \Rightarrow \text{ODABRANO } 10\emptyset 22 (A_s = 38,01 [\text{cm}^2/\text{m}'])$$

4) Minimalna debljina hrpta

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

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

$$b_{w0} = 0,15 [\text{m}] \dots \text{Zadovoljeno.}$$

5) Visina kritičnog područja

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

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

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

## 6) Minimalna armatura

1. Na krajevima zida (u kritičnoj zoni):

a) vertikalno:

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

$$L_c = \max \{0,15 \cdot 485; 1,5 \cdot 30\} = \max \{72,75; 45\}$$

$$A_{s,\min} = \frac{0,5}{100} \cdot 72,75 \cdot 30 = 10,91 \text{ [cm}^2\text{]}$$

b) spone:

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

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

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

$$b_0 = 300 - 2 \cdot 35 = 230 \text{ (mm)}$$

$$s_w \leq \min \left\{ 8 \cdot 25 = 200; \frac{230}{2} = 115; 175 \text{ mm} \right\} \Rightarrow \text{ODABRANO: } \Phi 10/15, m=2$$

## 7) Provjera graničnog stanja nosivosti

1) Dijagonalni tlačni slom hrpta zbog posmika:

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

a) Izvan kritičnog područja:

$$V_{Rd,\max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_{w0} \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}; \alpha_{cw} \text{ - za konstrukcije koje nisu prednapete; } ctg\theta = 1; tg\theta = 1$$

$$v_1 = 0,6 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{200} \right) = 0,6 \left( 1 - \frac{35}{200} \right) = 0,5 \geq 0,5$$

$$V_{Rd,\max} = \frac{1 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot 0,5 \cdot 2,33}{1+1} = 6500,7 \text{ kN} > V_{sd} = 917,11 \text{ kN}$$

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

$$V_{sd} \leq V_{Rd,max} = 0,3 \cdot (1 - f_{ck} / 250) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \sin 2\theta, \text{ gdje je } 1 \leq \cot \theta \leq 2,5$$

$$V_{sd} \leq V_{Rd,max} = 0,3 \cdot (1 - 35 / 250) \cdot 2 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot \sin 90 = 5758,56 \text{ kN} > V_{sd} = 917,11 \text{ kN}$$

2) Dijagonalni vlačni slom hrpta zbog posmika:

a) Horizontalna armature

$$\alpha_s = \frac{M_{sd}}{V_{sd} \cdot l_w} = \frac{2675,89}{917,11 \cdot 4,85} = 0,6 < 2$$

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

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

Odabrano  $\cot \theta = 1$

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

$$\rho_h = \frac{V_{Rd,s}}{b_{w0} \cdot 0,8 \cdot l_w \cdot \alpha_s \cdot f_{yhd}} = \frac{917,11}{30 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot 43,48} = 0,00189 = 0,19\%$$

$$\rho_{h,min} = 0,2\%$$

Armatura mreža:

$$\rho_h = \frac{A_h}{b_{w0} \cdot s_h} \Rightarrow A_h = \rho_h \cdot b_{w0} \cdot s_h = 0,002 \cdot 30 \cdot 100 = 6 \text{ [cm}^2/\text{m}'\text{]}$$

Na svaku stranu po:

$$\frac{A_h}{2} = \frac{6}{2} = 3 \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}'} \right] \Rightarrow \text{ODABRANO Q385} (A_s = 3,85 \text{ [cm}^2/\text{m}'\text{)])}$$

b) Vertikalna armature

$\rho_v$  izvlačimo iz izraza:

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

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

$$\rho_v \geq \frac{0,00189 \cdot 43,48 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 485 - 1850,17}{43,48 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 485} = -0,00177 = 0,18\%$$

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

Armaturna mreža:

$$\rho_v = \frac{A_v}{b_{w0} \cdot s_v} \Rightarrow A_v = \rho_v \cdot b_{w0} \cdot s_v = 0,002 \cdot 30 \cdot 100 = 6,0 \text{ [cm}^2\text{/m}'\text{]}$$

Na svaku stanu po:

$$\frac{A_v}{z} = 3,0 \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{m}' } \right] \Rightarrow \text{ODABRANO: Q385 (} A_s = 3,85 \text{ [cm}^2\text{/m}'\text{])}$$

c) Spone: min  $4\Phi 6/\text{m}^2$

8) Izračun ovojne armature za karakterističan zid:

- bezdimenzionalna vrijednost uzdužne sile

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

$$v_d = \frac{N_{sd,ANV10-13}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2842,82}{30 \cdot 485 \cdot 2,33} = 0,0839 < 0,4$$

- mehanički obujamski omjer zahtijevane ovijene armature  $\omega_{wd}$  rubnog elementa

$$\omega_w = \frac{\rho_v \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,00385 \cdot 43,48}{2,33} = 0,0718$$

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volumen vilica}}{\text{volumen betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,79 \times (2 \times 60 + 2 \times 34) \times \frac{290}{15}}{60 \times 33,0 \times 290} \times \frac{43,48}{2,33} = 0,095 \geq 0,08$$

$$\mu_\phi = 5 \text{ za DCM}$$

$$v_d = 0,0839$$

$$b_c = 30(\text{cm})$$

$$b_0 = 23,0(\text{cm})$$

$$h_0 = l_c = 60(\text{cm})$$



$$\varepsilon_{sy,d} = 0,1\% = 0,001$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$$

$$\alpha_n = 1 - \sum b_i^2 / (6 \cdot b_0 \cdot h_0) = 1 - \left[ \left( (16,67 \cdot 3)^2 \cdot 2 + (12,75 \cdot 2)^2 \cdot 2 \right) / (6 \cdot 23 \cdot 60) \right] = 0,541$$

$$\alpha_s = (1 - s / 2b_0) \cdot (1 - s / 2h_0) = (1 - 15 / 2 \cdot 23,0) \cdot (1 - 15 / 2 \cdot 60) = 0,549$$

n = 10 - broj šipki

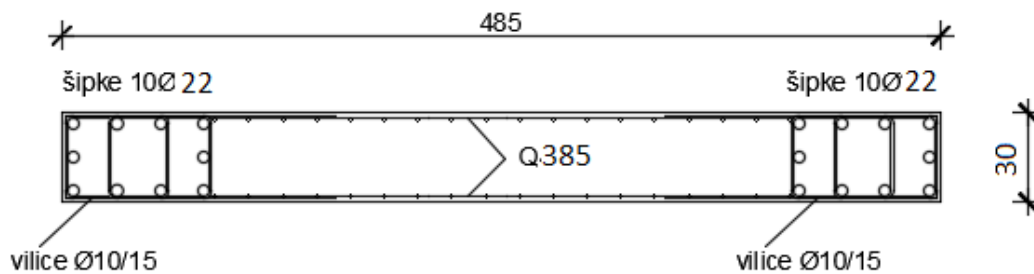
$$\alpha = 0,541 \cdot 0,549 = 0,297$$

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

$$0,297 \cdot 0,1 \geq 30 \cdot 5 \cdot (0,0839 + 0,0791) \cdot 0,001 \cdot \frac{30}{23} - 0,035$$

0,0297  $\geq$  -0,0031- odabrana armatura zadovoljava!

Odabrana armatura: Q-38 ( $A_s=3,85 \text{ cm}^2/\text{m}$ ) -obostrano, 10 $\varnothing$ 2 ( $A_s=38,01 \text{ cm}^2$ )



Crtež 8.28. Plan armature zida

## 8.5. TEMELJI

### 8.5.1. 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.

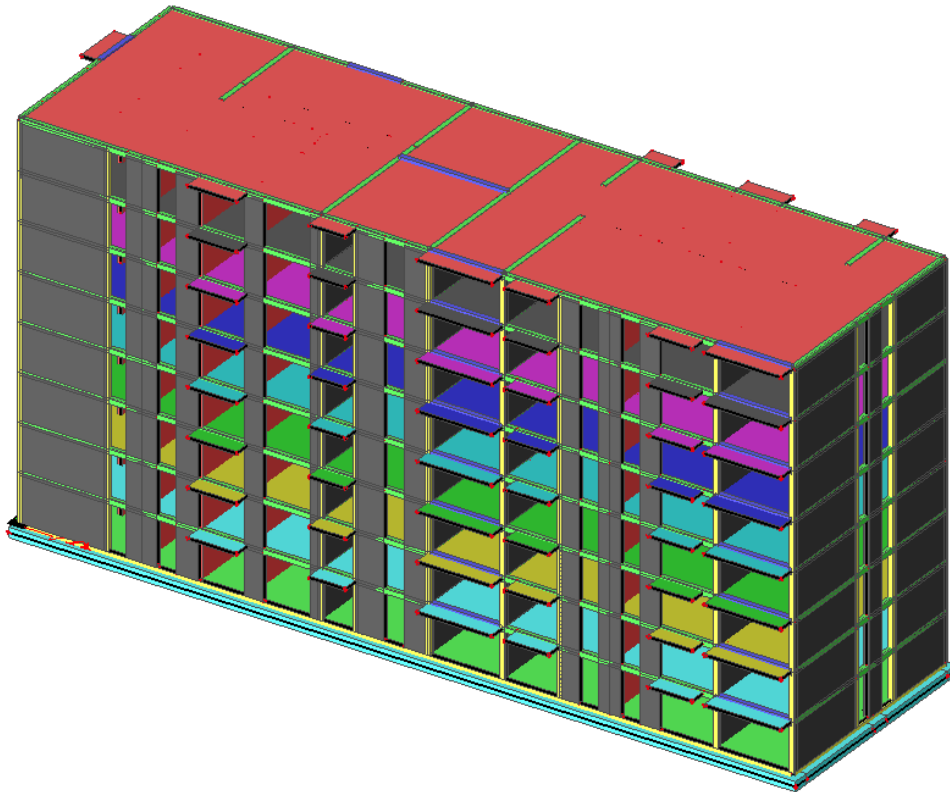
- Modeliranje temelja na elastičnoj podlozi

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.

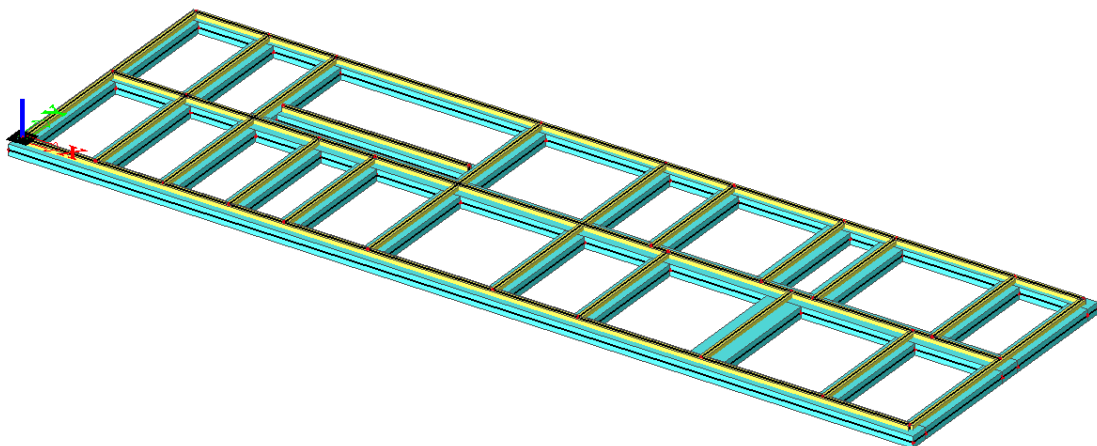
U ovom radu temelji su modelirani na elastičnoj podlozi (Winklerov model tla) tj. tlo je zamijenjeno skupom nezavisnih opruga konstantne krutosti  $k$ . Zadani su elastični ležajevi sa danim karakteristikama tla razreda A i modelom elastičnosti podloge od  $50 \text{ MN/m}^3$ .

Model temelja kao i model cijele građevine napravljen je u programskom paketu SCIA Engineer 16.1.

### 8.5.2. Temeljenje konstrukcije na trakastim temeljima

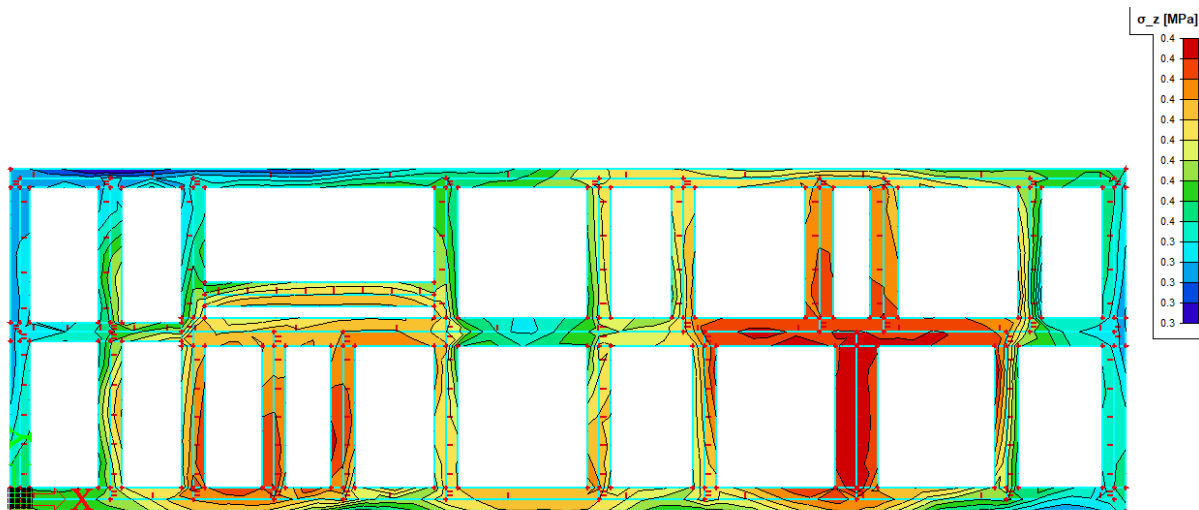


Crtež 8.33. Model konstrukcije mješovitog nosivog sustava temeljen na trakastim temeljima



Crtež 8.34. Model temelja – trakasti tip

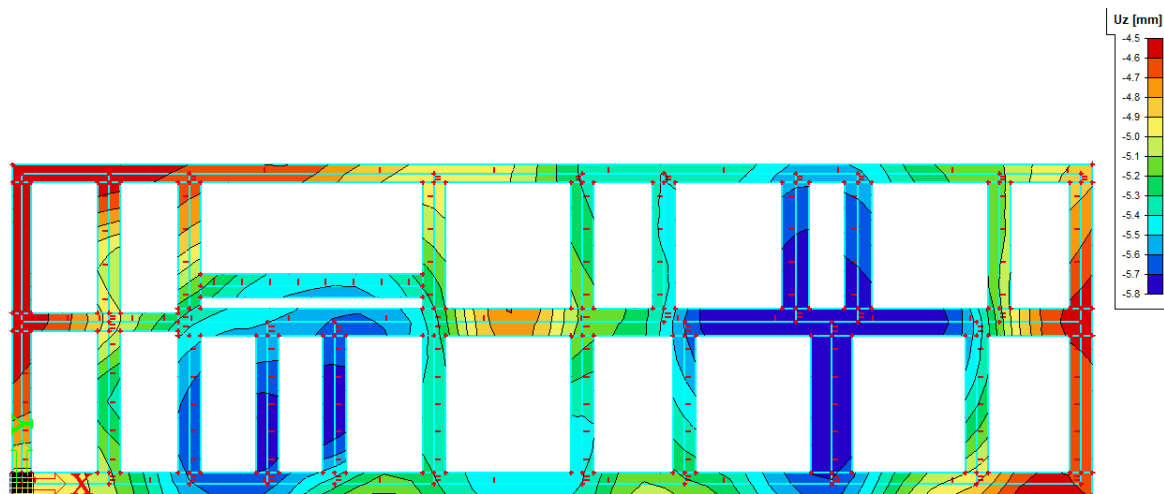
## Rezultati proračuna



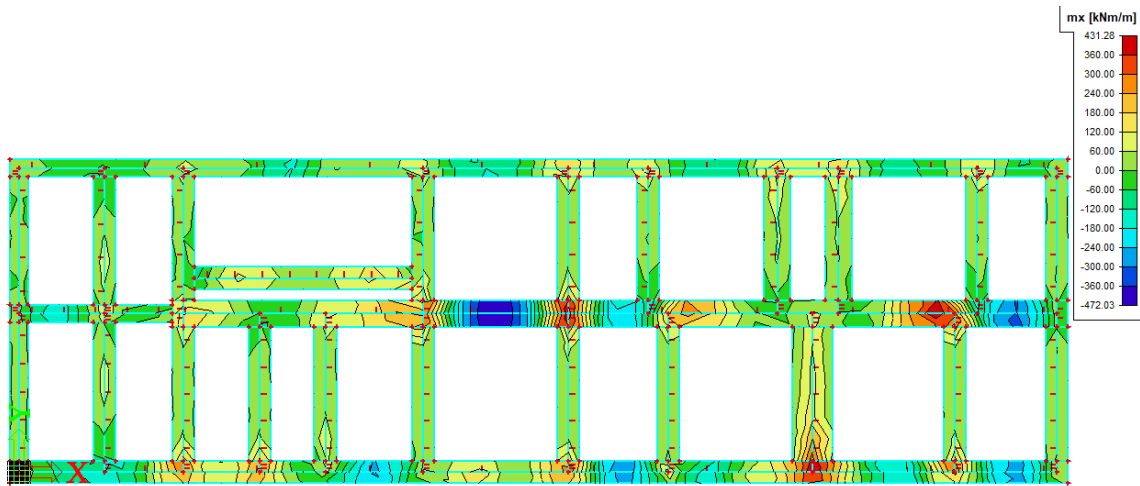
Crtež 8.35. Naprezanja [kPa] na kontaktu temeljnih stopa/tlo za kombinaciju

$$\text{GSN-1: } 1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5Q$$

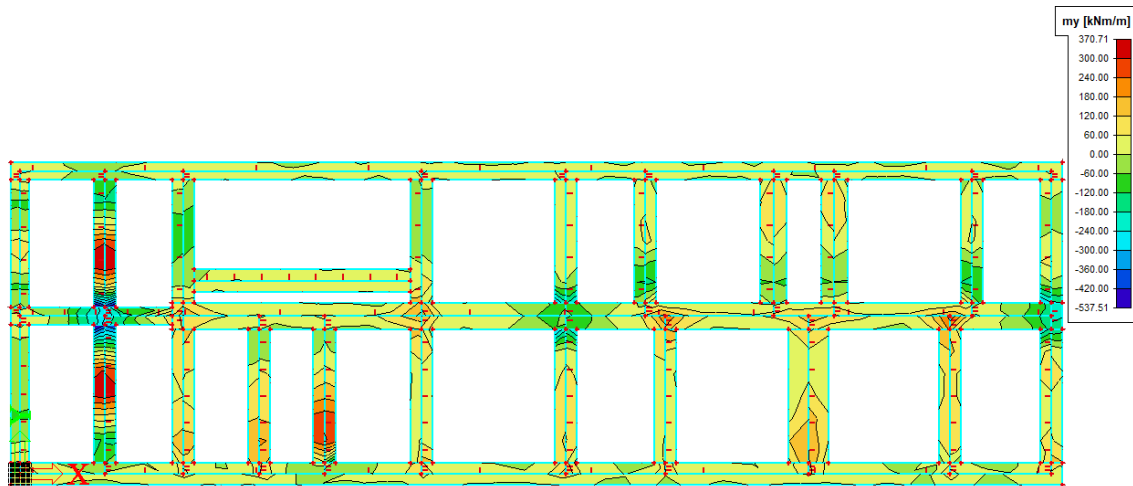
Kontaktne naprezanja  $\sigma_{sd}$  manja su od računске nosivosti  $\sigma_{sd} = 450$  kPa.



Crtež 8.36. Slijeganje temeljnih stopa  $U_z$  [mm] za kombinaciju GSU-1:  $1,0 \cdot (G_0 + G) + 0,5Q$



Crtež 8.37. Moment savijanja  $M_{Sd,x}$  [kNm/m], za kombinaciju GSN-1:  $1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5Q$



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

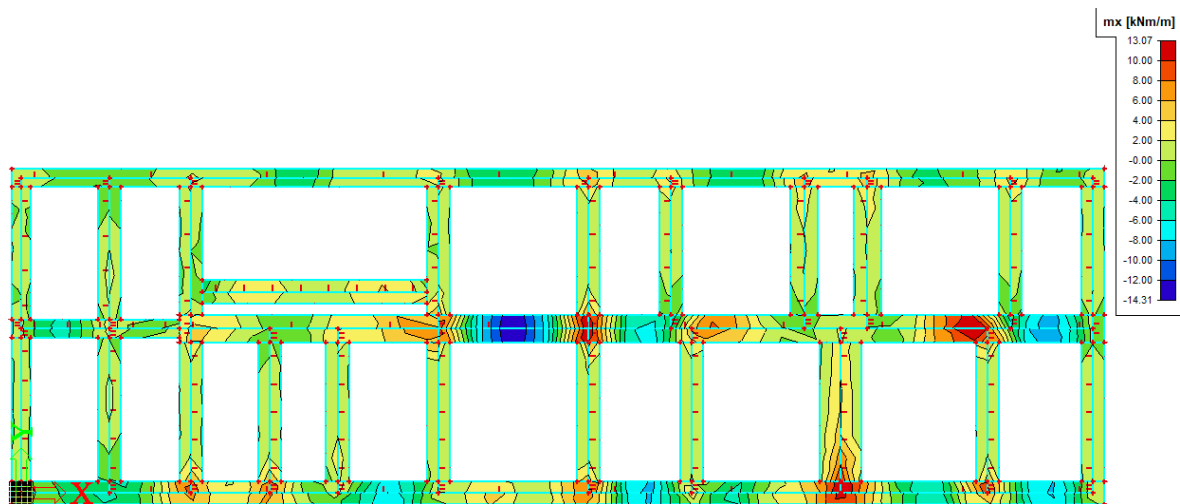
### Prikaz potrebne armature

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

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

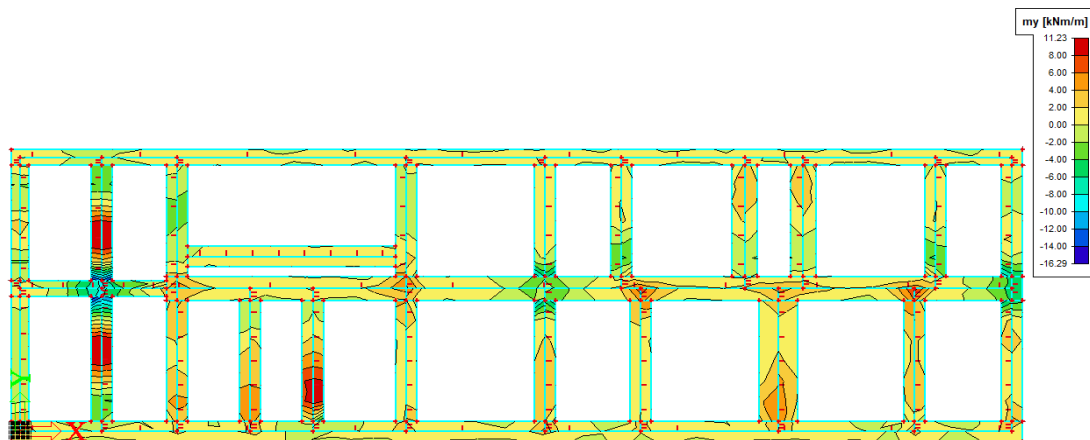
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0,9 \times 60 \times 43,48} = 0,043 \times M_{sd}$$

Potrebna armatura u X smjeru ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )



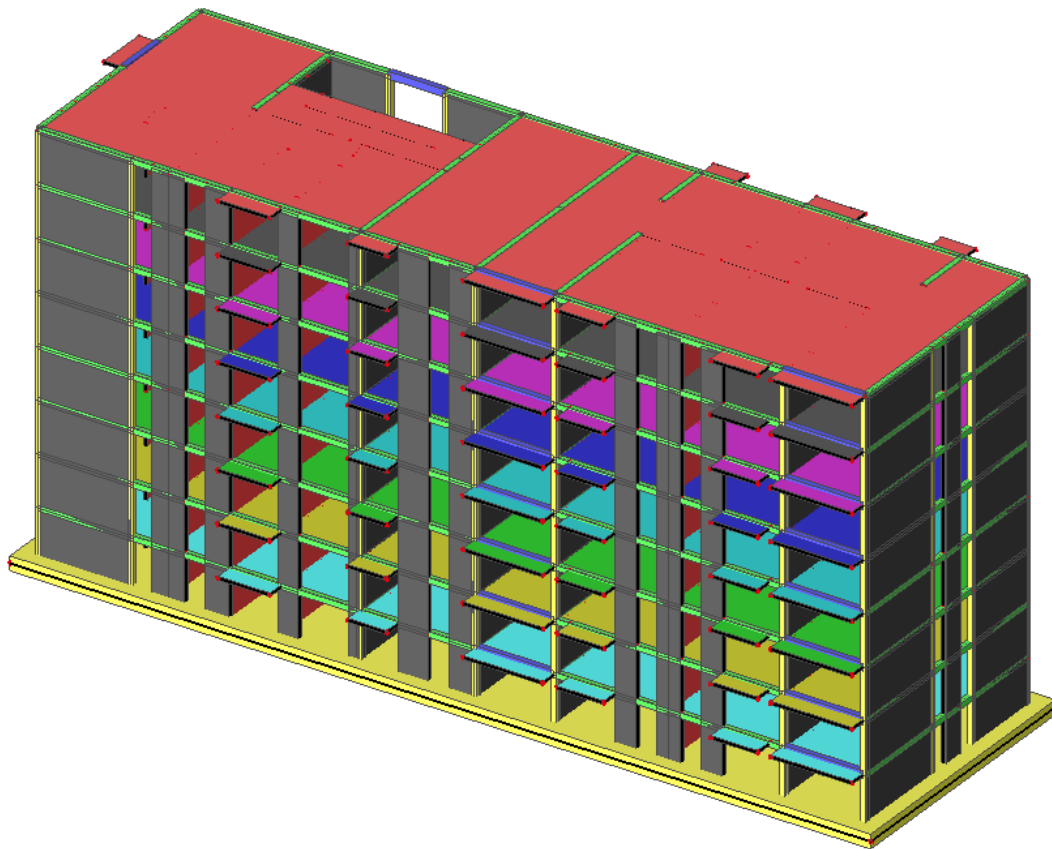
Crtež 8.39. Potrebna armatura [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ] u X smjeru

Potrebna armatura u Y smjeru ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )

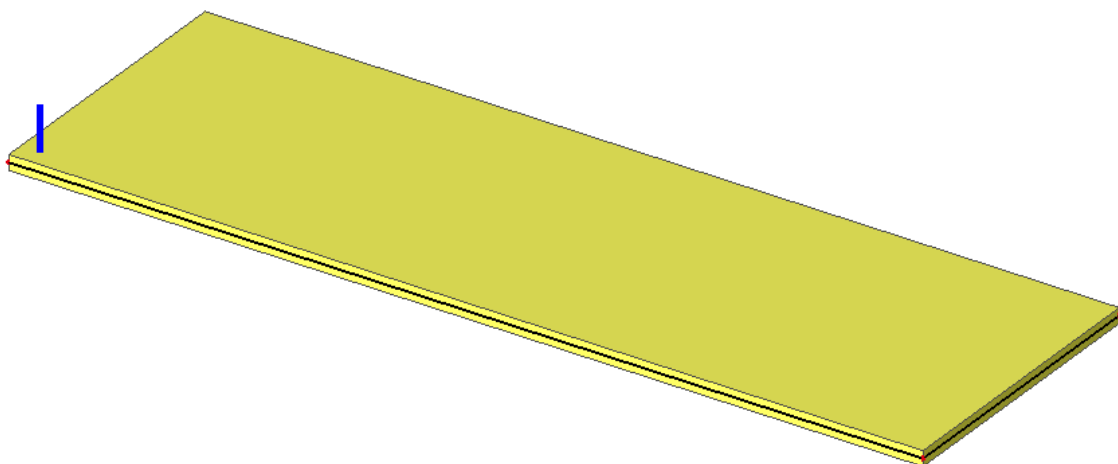


Crtež 8.40. Potrebna armatura [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ] u Y smjeru

### 8.5.3. Temeljenje konstrukcije na temeljnoj ploči

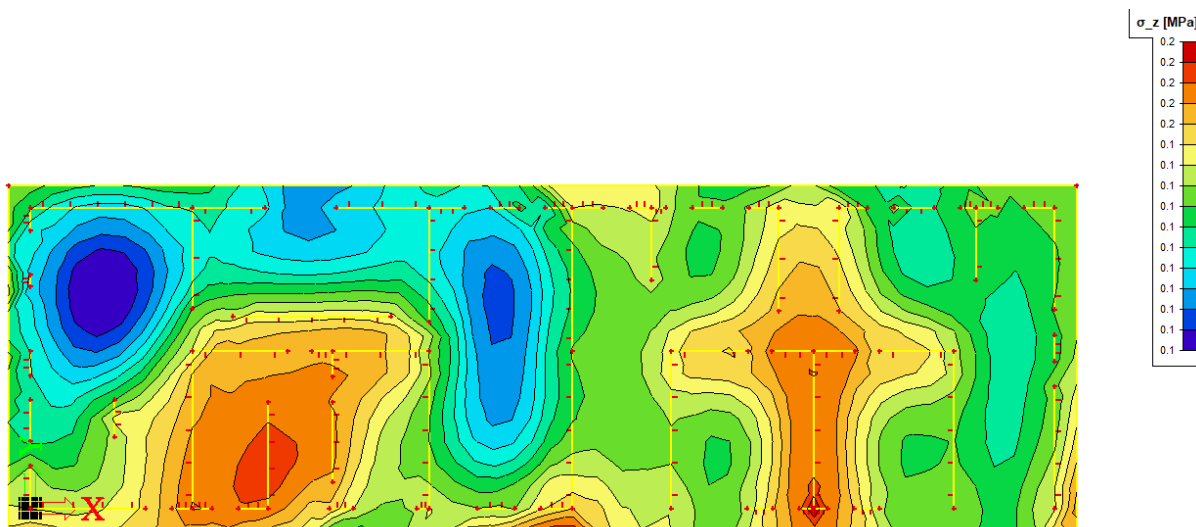


Crtež 8.41. Model konstrukcije mješovitog nosivog sustava na temeljnoj ploči



Crtež 8.41. Model temelja

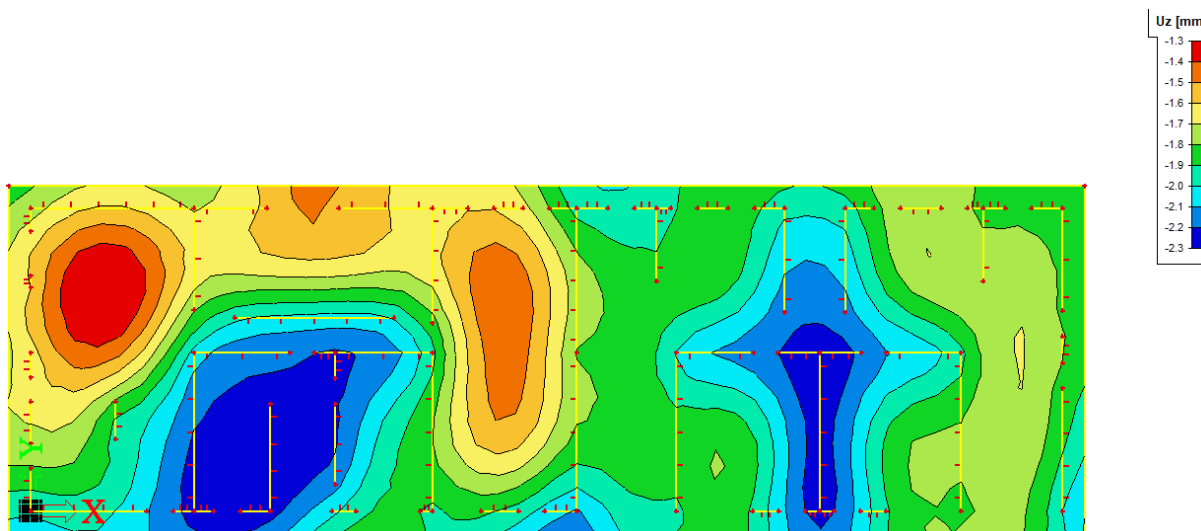
## Rezultati proračuna



Crtež 8.42. Naprezanja [kPa] na kontaktu temeljnih stopa/tlo za kombinaciju

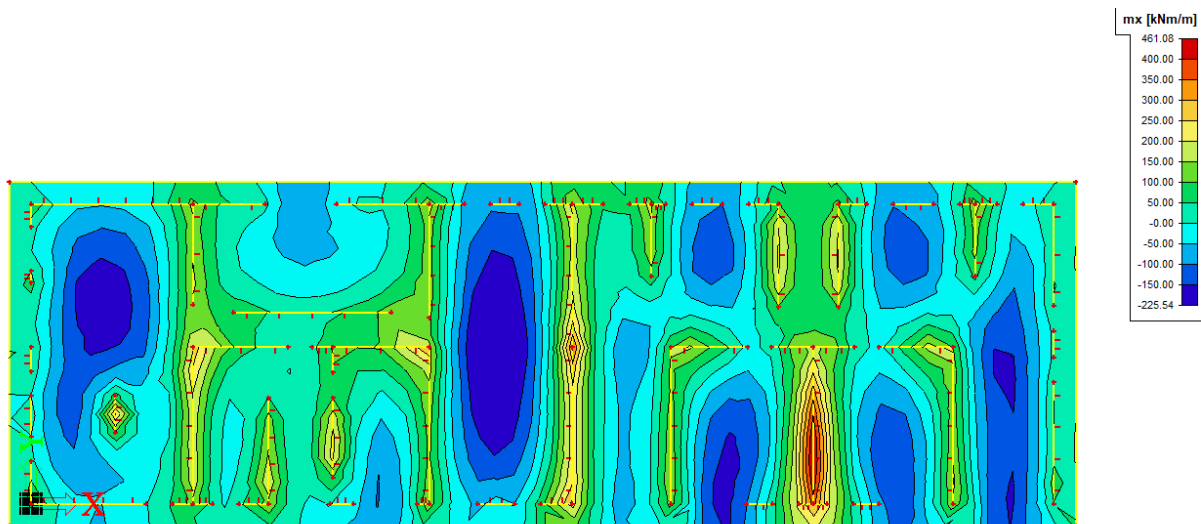
$$\text{GSN-1: } 1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5Q$$

Kontaktne naprezanja  $\sigma_{sd}$  manja su od računске nosivosti  $\sigma_{sd} = 450$  kPa.

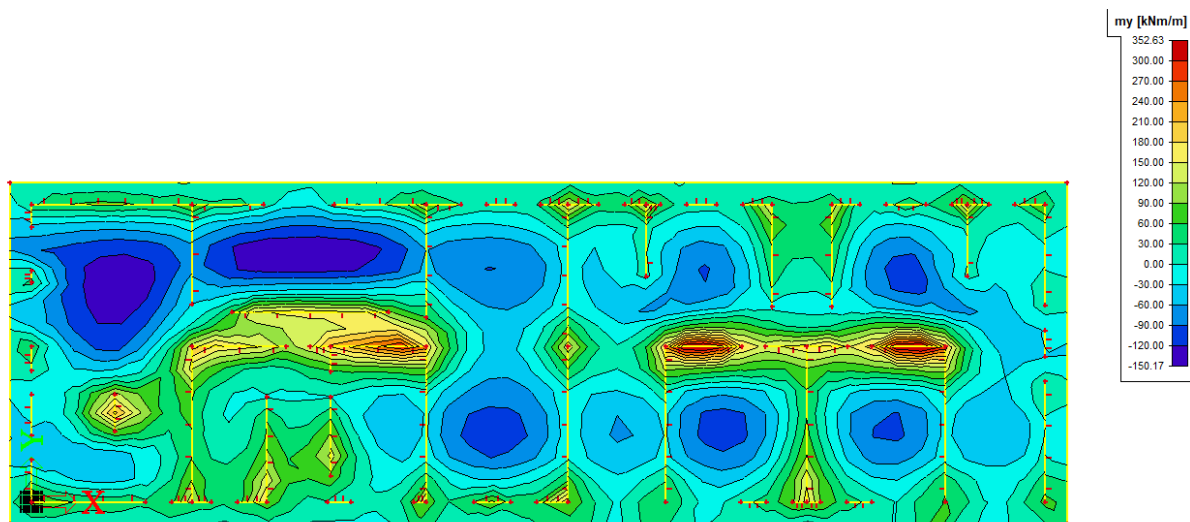


Crtež 8.43. Slijeganje temeljnih stopa  $U_z$  [mm] za kombinaciju GSU-1:  $1,0 \cdot (G_0 + G) + 0,5Q$





Crtež 8.44. Moment savijanja  $M_{Sd,x}$  [kNm/m], za kombinaciju GSN-1:  $1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5Q$



Crtež 8.45. Moment savijanja  $M_{Sd,y}$  [kNm/m], za kombinaciju GSN-1:  $1,35 \cdot (G_0 + G) + 1,5Q$

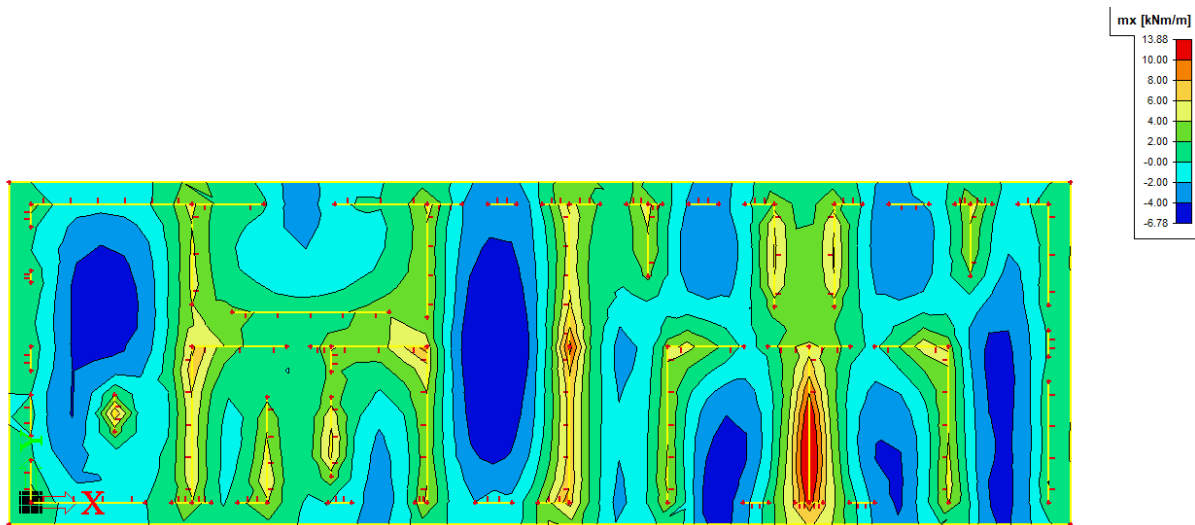
### Prikaz potrebne armature

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

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

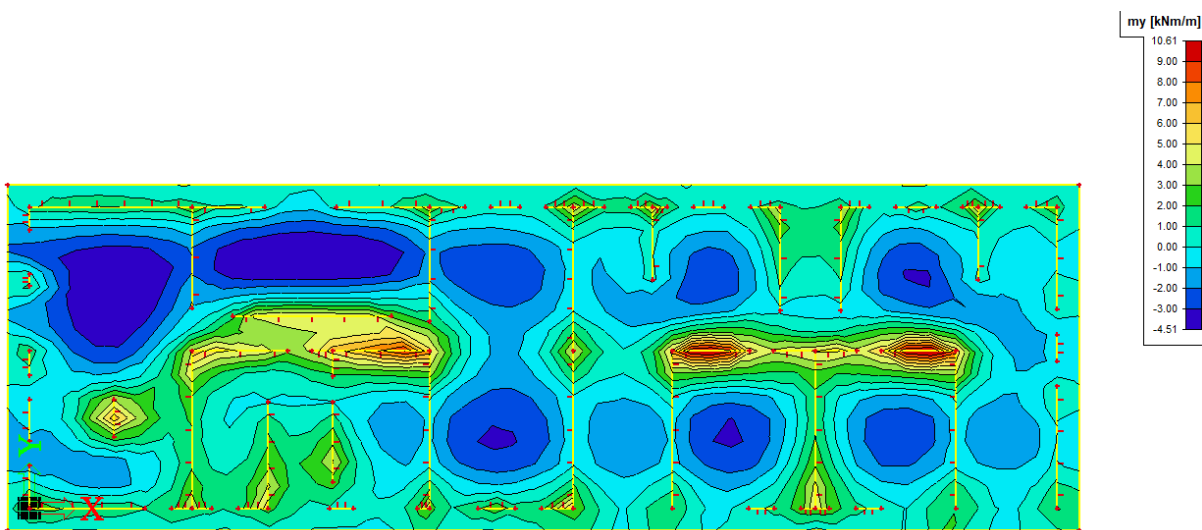
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0,9 \times 80 \times 43,48} = 0,0319 \times M_{sd}$$

Potrebna armatura u X smjeru ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )



Crtež 8.46. Potrebna armatura [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ] u X smjeru

Potrebna armatura u Y smjeru ( $\text{cm}^2/\text{m}$ )



Crtež 8.47. Potrebna armatura [ $\text{cm}^2/\text{m}$ ] u Y smjeru

## 9. ZAKLJUČAK

Za predmetnu stambenu zgradu s zidanim i armirano-betonskim zidovima provedena su dva proračuna. Prvo je proveden pojednostavljeni proračun koristeći pravila za jednostavne zgrade, a potom proračun u računalnom programu SCIA Engineer 16.1.

Na temelju oba proračuna možemo vidjeti da konstrukcija zadovoljava s gledišta nosivosti i uporabljivosti.

. Kod proračuna na potresno djelovanje korišten je linearni statički proračun primjenom ekvivalentnog statičkog djelovanja tj. *metode bočnih sila*, te nelinearna statička metoda postupnog guranja (*Pushover Analiza*).

Gledajući rezultate dobivene pojednostavljenim proračunom možemo vidjeti da konstrukcija zadovoljavaju s gledišta nosivosti na vertikalno i potresno djelovanje, zahvaljujući pravilnom i gotovo simetričnom tlocrtu te dovoljnom udjelu nosivih zidova u dva ortogonalna smjera.

U radu su napravljena dva načina temeljenja. Proračunati su temelji trakastog tipa i pločastog tipa. Temeljne trake su modelirane kao plošni elementi na elastičnoj podlozi, međusobno su povezane u dva ortogonalna smjera tvoreći temeljni roštilj koji omogućava što pravilnije slijeganje konstrukcije. Kontaktna naprezanja između temelja i tla su manja od dopuštenih, što je vidljivo u prikazanim rezultatima iz računalnog paketa Scia Engineer 16.1.

Međukatna konstrukcija (AB ploča) je također analizirana u softveru Scia Engineer 16.1. za različite kombinacije opterećenja. Prikazani su momenti i progibi za linearno stanje naprezanja.

Proveden je i proračun armiranobetonskih zidova u potresnom području, čija primjena omogućuje prihvaćanje horizontalnog potresnog djelovanja na ekonomičan način, uz manji utrošak materijala, omogućujući pri tome povoljno ponašanje zgrada u potresu.

## **10. PRILOZI**

Prilog 1: Tlocrt temelja, M 1:100

Prilog 2: Tlocrt tipične etaže, M 1:100

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

Prilog 4: Presjek B-B, M 1:100

Prilog 5: Južno pročelje, M 1:200

Prilog 6: Sjeverno pročelje, M 1:200

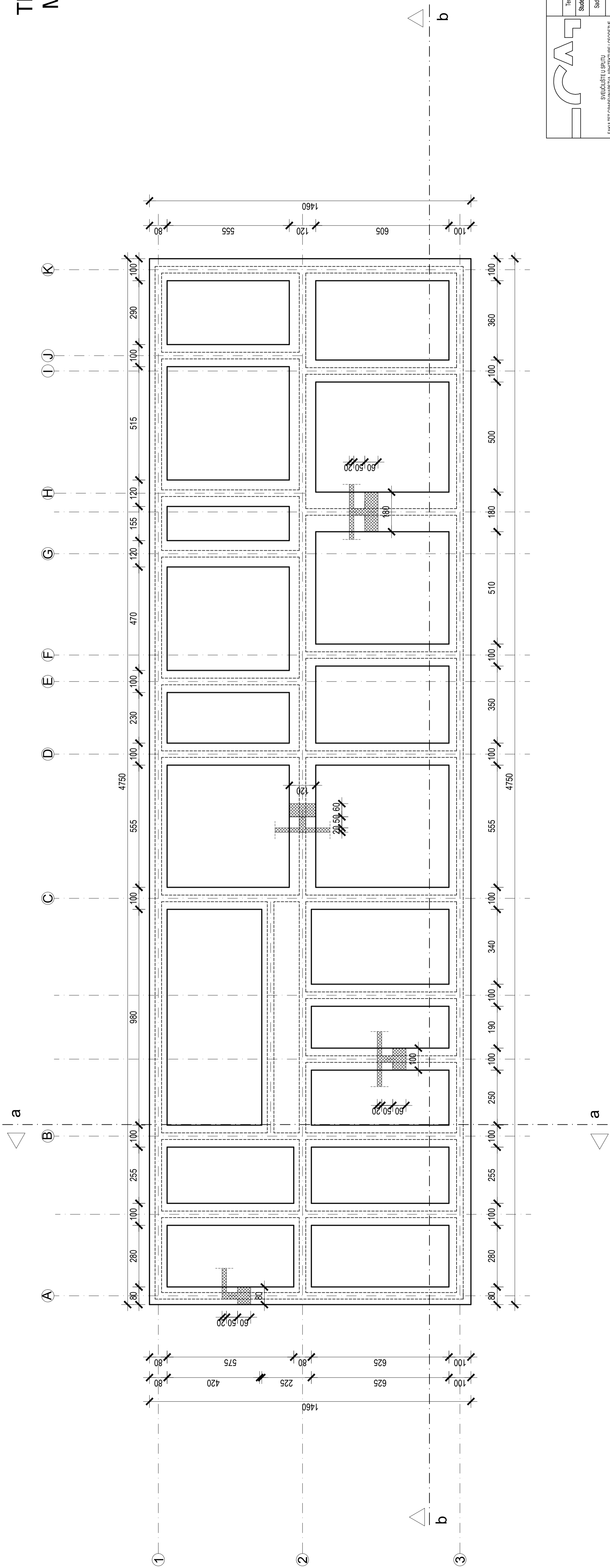
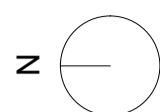
Prilog 7: Istočno i zapadno pročelje, M 1:200

## 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] Wienerberger katalog proizvoda

<http://www.wienerberger.hr/zidni-sistem/porotherm>

# TLOCRT TEMELJA M 1:100

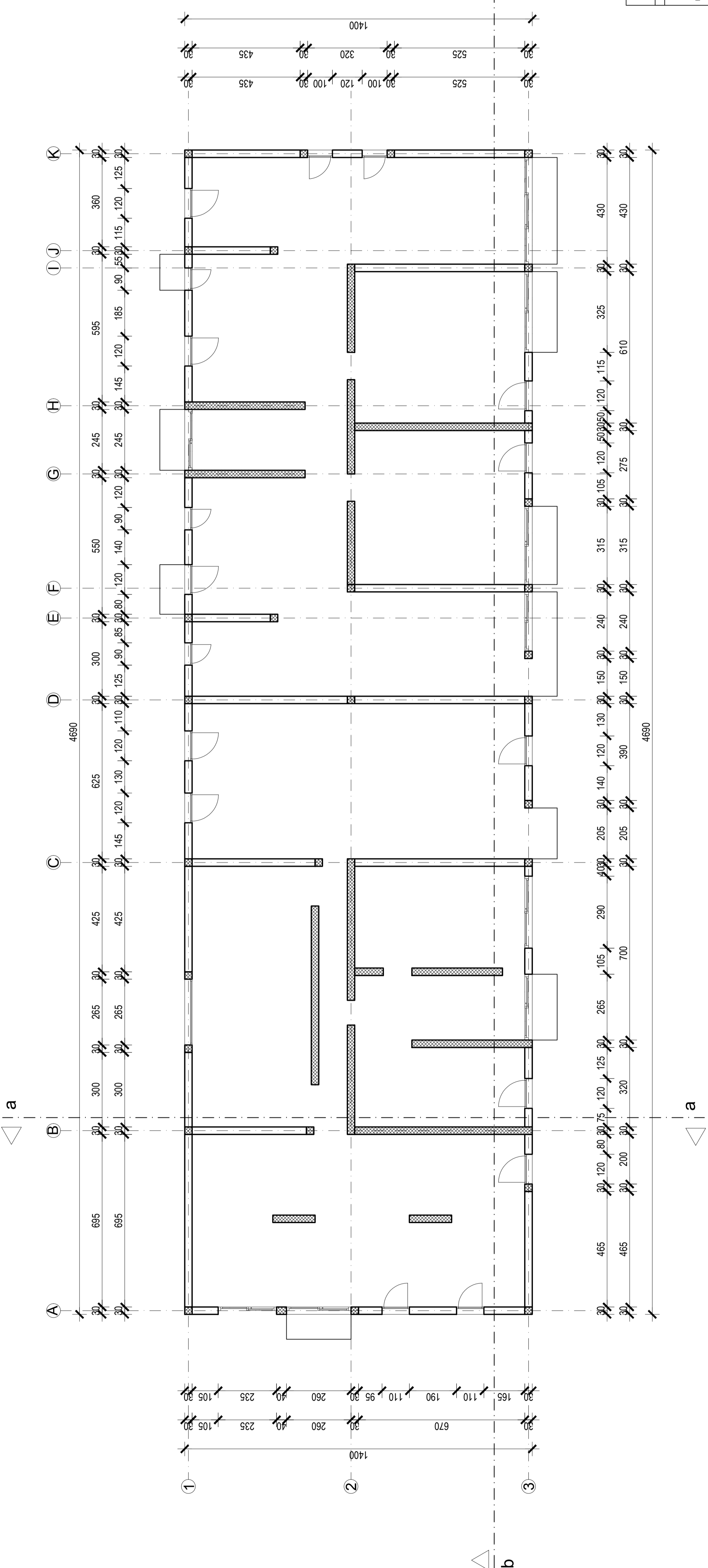
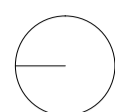


		<b>DIPLOMSKI RAD</b>	
		Tema:	Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava
		Studentica:	Julija Basić
		Sadržaj:	Tlocrt temelja
		Datum:	Rujan 2017.
		Mjerilo:	1:100
		Bij. prilož. 1	

# TLOCRT KARAKTERISTIČNE ETAŽE

M 1:100

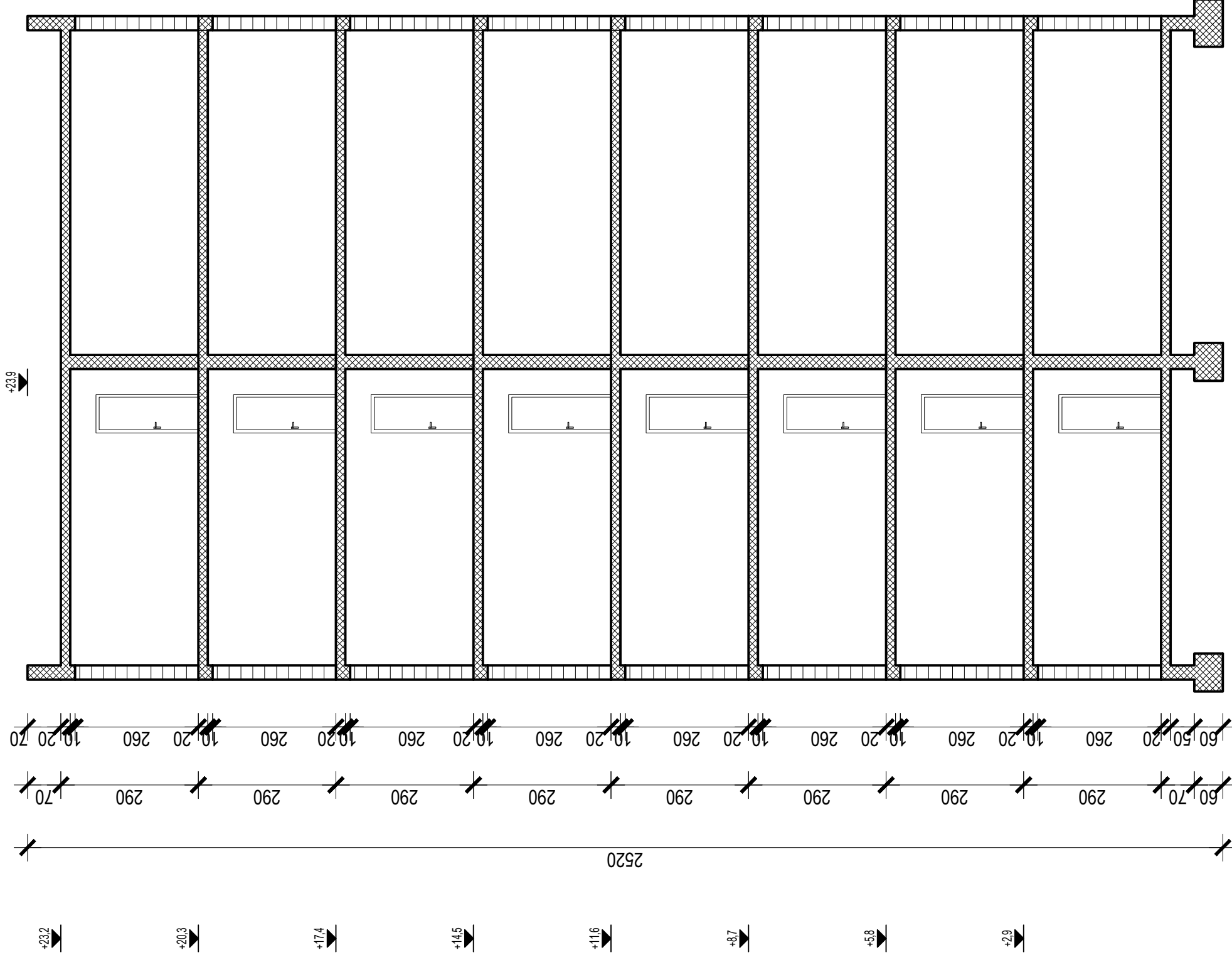
N



	DIPLOMSKI RAD	
	Temat: Proračun konstrukcije njezinog nosivog sustava	Studentica: Julija Babić
Svrha: Tlocrt karakteristične etaže		Mjerilo: 1:100
Datum: Rujan 2017.		Bioj priloga: 2

Presjek a-a

PRESJEK a-a  
M 1:100



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

DIPLOMSKI RAD

Tema: Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava

Studentica: Julija Bosnić

Sadržaj: Presjek a-a

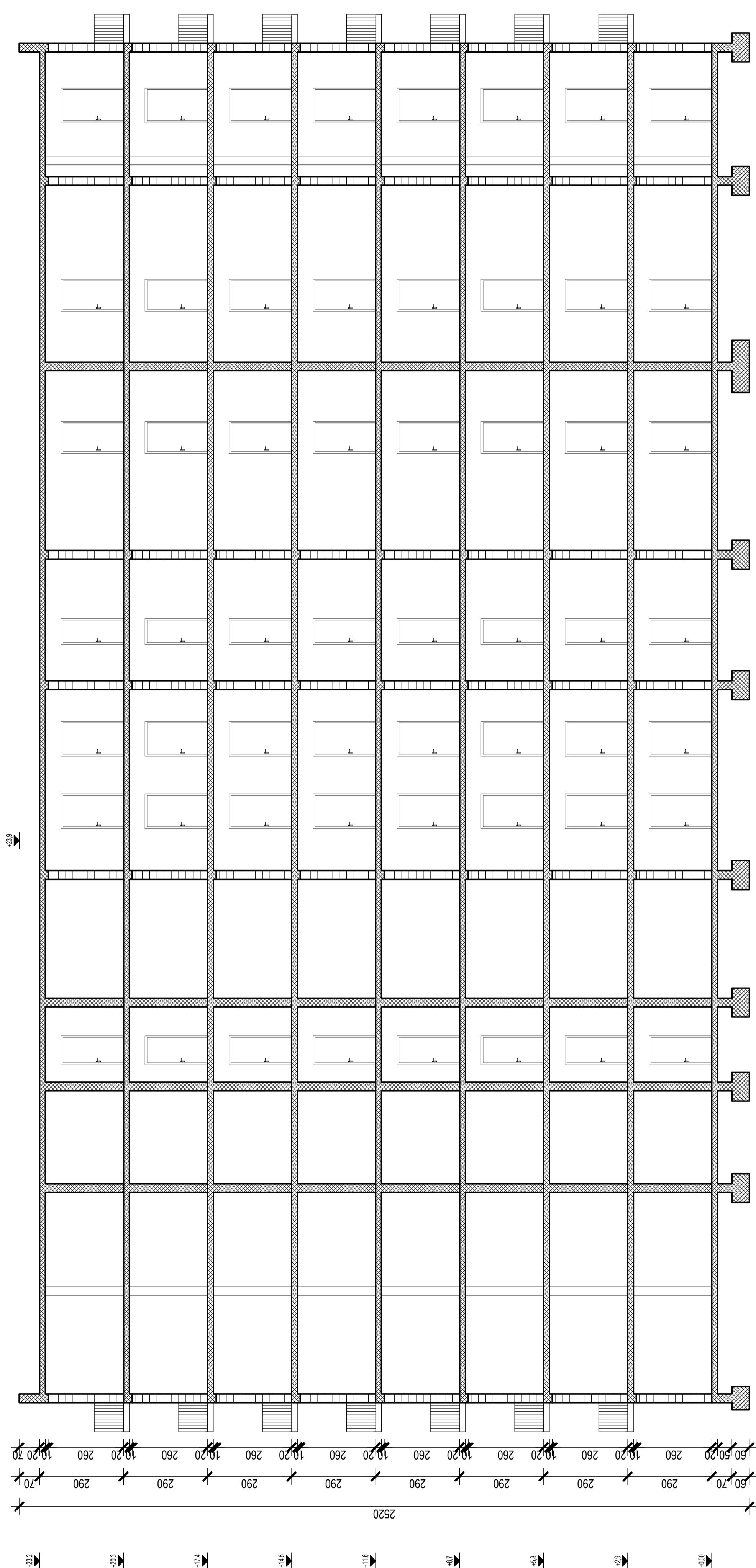
Datum: Rujan 2017.

Mjerilo: 1:100

Broj priloga: 3

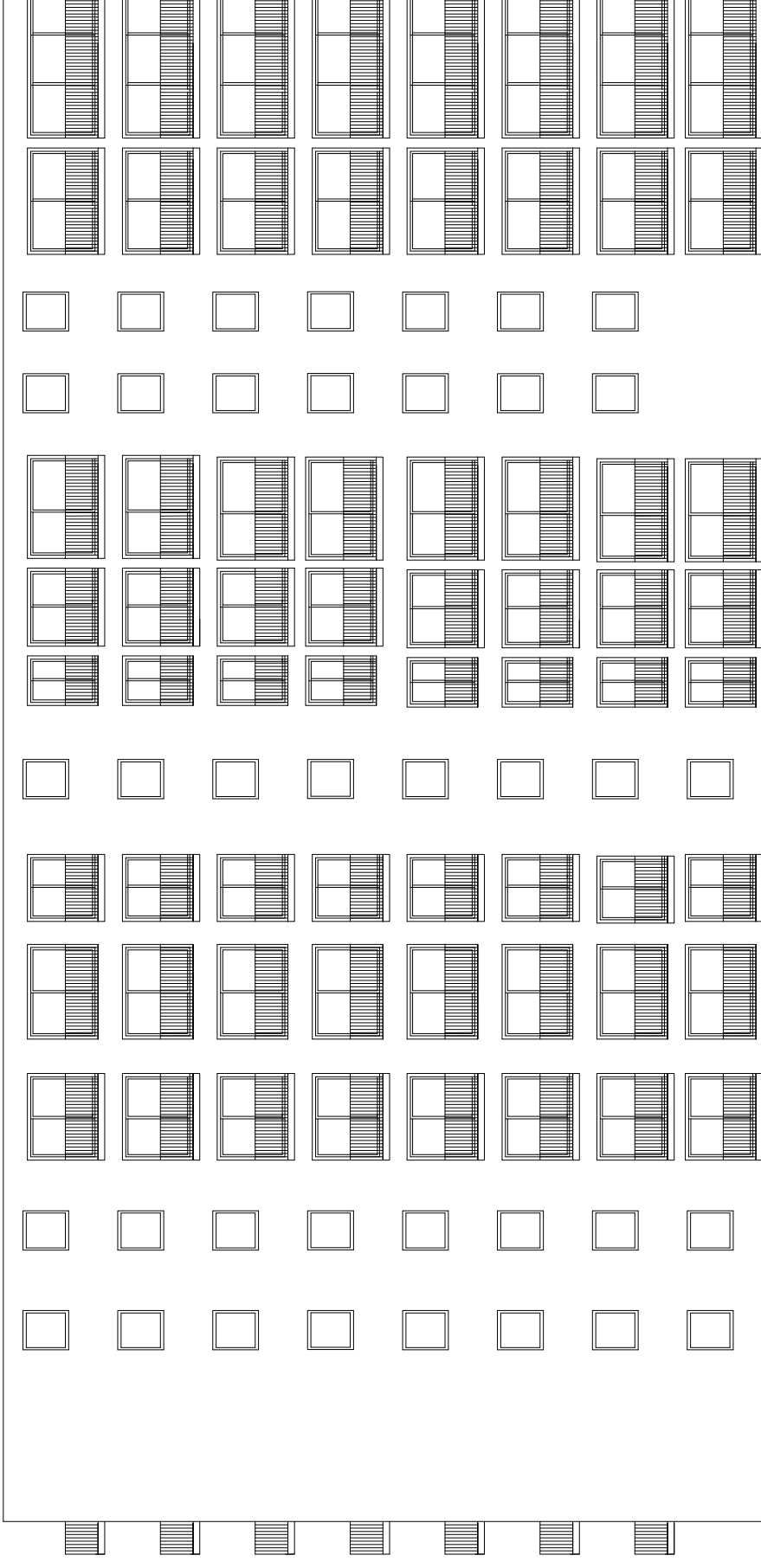


# PRESJEK b-b M 1:100



		DIPLOMSKI RAD	
		Proračun konstrukcije nježnoleg nosivog sustava	
Tema:		Julija Basić	
Studentica:		Presjek b-b	
Sadržaj:		Lipanj 2017.	
Datum:		Mjerilo: 1:100	
SVEUČILIŠTE SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA I ARHITEKTURE I GEODEZIJE 21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15		Bijeli prilozi: 4	

# JUŽNO PROČELJE M 1:200



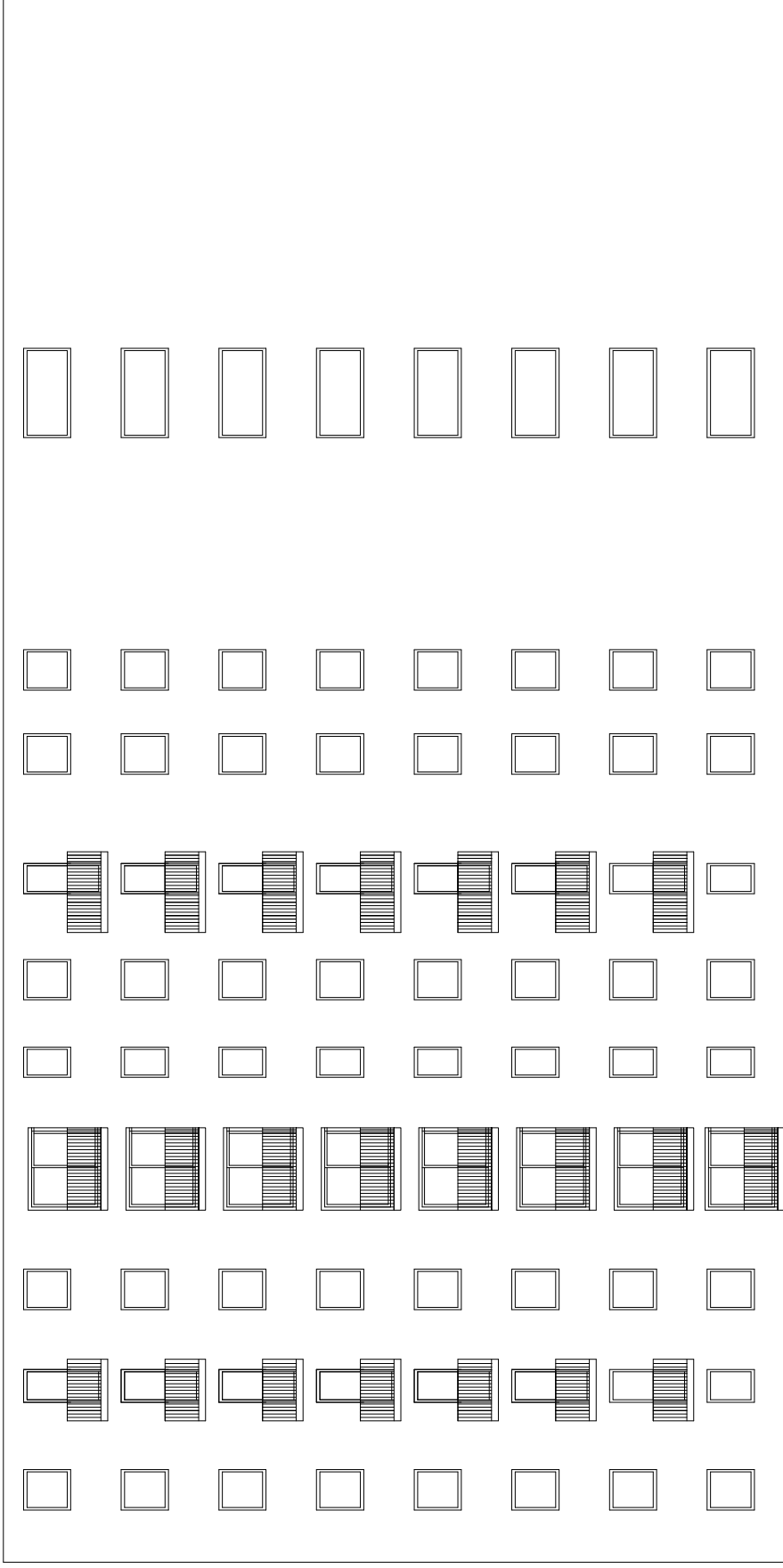
SVEUČILIŠTE U SPLITU  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE  
21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

## DIPLOMSKI RAD

Tema:	Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava		
Studentica:	Julija Bosnić		
Sadržaj:	Južno pročelje	Mjerilo:	1:200
Datum:	Lipanj 2017.	Broj priloga: 5	

# SJEVERNO PROČELJE

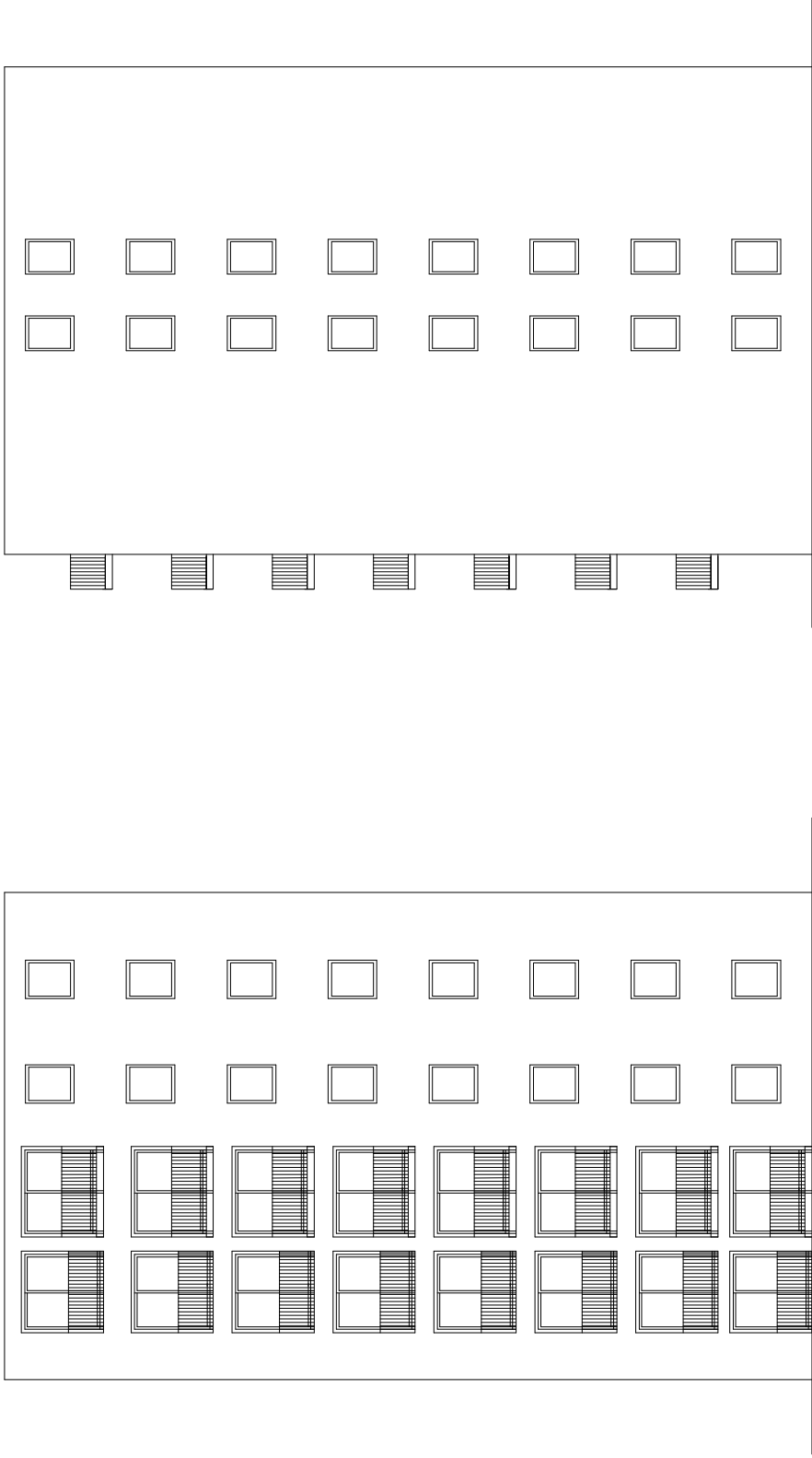
## M 1:200



DIPLOMSKI RAD			
Tema:	Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava		
Studentica:	Julija Bosnić		
Sadržaj:	Sjeverno pročelje	Mjerilo:	1:200
Datum:	Lipanj 2017.	Broj priloga: 6	

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

# ISTOČNO I ZAPADNO PROČELJE M 1:200



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

## DIPLOMSKI RAD

Tema:	Proračun konstrukcije mješovitog nosivog sustava		
Studentica:	Julija Bosnić		
Sadržaj:	istočno i zapadno pročelje	Mjerilo:	1:200
Datum:	Lipanj 2017.	Broj prijoga: 7	