# Proračun zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem

**Blagaić, Toni**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2017**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:076390

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-04-24**

*Repository / Repozitorij:*

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

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**

**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE**

# DIPLOMSKI RAD

**Toni Blagaić**

**Split, 2017.**

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

**Toni Blagaić**

# Proračun zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem

**Diplomski rad**

**Split, 2017.**

*Zahvaljujem se mentoru Prof. dr. sc. Borisu Trogrliću*
*na pomoći pri izradi ovog rada i ugodnoj suradnji.*
*Hvala roditeljima koji su mi bili potpora kroz*
*cijelo moje školovanje.*

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

| | |
|---|---|
| STUDIJ: | **DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA** |
| KANDIDAT: | **Toni Blagaić** |
| BROJ INDEKSA: | **598** |
| KATEDRA: | **Katedra za teoriju konstrukcija** |
| PREDMET: | **Zidane konstrukcije** |

# ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Proračun zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem

Opis zadatka: Izraditi projekt zidane konstrukcije s armirano-betonskim prizemljem. U radu:
- opisati koncept nosive konstrukcije,
- osnovna djelovanja i njihove kombinacije, vrstu i svojstva gradiva,
- podtake o tlu i načinu temeljenja,
- proračunati sve konstruktivne elemente te naprezanja u tlu,
- izraditi građevinske nacrte (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 zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem

***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, stupova 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 the building with structural system of reinforced concrete and masonry walls

***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 ..... 5
2.5. VRSTE ZIĐA ..... 7
2.5.1. Omeđeno ziđe ..... 8
2.6. MEHANIČKA SVOJSTVA ZIĐA ..... 8
2.6.1. Tlačna čvrstoća ziđa ($f_k$ ) ..... 8
2.6.2. Posmična čvrstoća ziđa ($f_v$ ) ..... 11
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 ..... 16
2.7.1. Modul elastičnosti E ..... 16
2.7.2. Modul posmika G ..... 17
3. TEHNIČKI OPIS ..... 18
3.1. OPĆENITO ..... 18
3.2. OPIS NOSIVE KONSTRUKCIJE ..... 19
3.2.1.Temelji ..... 19
3.2.2. Fleksibilno prizemlje ..... 19
3.2.3. Zidovi ..... 20
3.2.4. Međukatna konstrukcija ..... 21
3.2.5. Ostale konstrukcije ..... 21
3.3. KORIŠTENI MATERIJALI ..... 21
3.3.1. Blok opeka POROTHERM 30S PLUS ..... 21
3.3.2. Beton ..... 21
3.3.3. Armatura ..... 22
4. ANALIZA OPTEREĆENJA ..... 24
4.1. OPĆENITO ..... 24
4.2. DJELOVANJA NA KONSTRUKCIJU ..... 24
4.2.1. Stalno djelovanje ..... 25
4.2.2. Uporabno opterećenje ..... 26
4.2.3. Opterećenje vjetrom ..... 27
4.2.4. Opterećenje potresom ..... 31

4.3. KOEFICJENTI SIGURNOSTI I KOMBINACIJE OPTEREĆENJA ..... 37
4.3.1.Parcijalni koeficijenti sigurnosti za materijale ..... 37
4.3.2. Kombinacije opterećenja ..... 37
5. POJEDNOSTAVLJENI PRORAČUN ZIDOVA ..... 39
5.1. IZRAČUN UDJELA NOSIVIH ZIDOVA ..... 40
5.2. PRORAČUN ZIDOVA NA VERTIKALNA OPTEREĆENJA ..... 41
5.3. PRORAČUN ZIDOVA NA POTRESNA DJELOVANJA ..... 43
5.4. PRIKAZ NAPREZANJA ZIDOVA ..... 50
6. REZULTATI PRORAČUNA NA POTRES ..... 52
6.1. PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA ZGRADU S AB PRIZEMLJEM ..... 53
6.2. PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA ZGRADU NA STUPOVIMA ..... 56
6.3. PRORAČUN POMAKA KONSTRUKCIJE USLJED POTRESA ..... 59
7.PRORAČUN KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA ..... 61
7.1.Ploče ..... 61
7.1.1.Model ..... 61
7.1.2. Opterećenja ploče ..... 62
7.1.3.Prikaz rezultata ..... 63
7.2. GREDE ..... 73
7.2.1.Proračun potrebne armature u gredama ..... 73
7.3. ZIDOVI ..... 80
7.3.1. Zid u osi 10x /D-E –PLOŠNI ELEMENT ..... 82
7.4. STUPOVI ..... 90
7.4.1. Proračun potrebne armature u stupovima ..... 92
7.5.TEMELJI ..... 96
7.5.1. Općenito ..... 96
7.5.2.Temeljenje konstrukcije na trakastim temeljima ..... 97
7.5.3. Temeljenje konstrukcije na temeljnoj ploči ..... 101
8. ZAKLJUČAK ..... 106
9. PRILOZI ..... 107
10. LITERATURA ..... 108

# 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 zida koje je kao osnovni zidni element imalo punu opeku sušenu na suncu ili pečenu, suvremene opeke izrađuju se uglavnom ošupljene sa različitim uzorkom šupljina.

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

Cilj ovog rada je analiza 6-etažne stambene zidane zgrade, sa armirano-betonskim prizemljem i omeđenim zidem na ostalim etažama, na gravitacijsko i potresno djelovanje.

Uz armirano-betonsko prizemlje nosivu konstrukciju građevine čine omeđeni zidovi s armirano-betonskim vertikalnim i horizontalnim serklažama te međukatna armirano-betonska ploča. Prizemlje se sastoji od armirano-betonskih zidova, stupova i greda.

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. ekspandirana šljaka visokih peći, ekspandirana glina) i veziva, izvedeni u kalupima, vibrirani.
- **Porasti betonski zidni elementi (aerirani i autoklavirani):** proizvedeni od smjese finog silicijskog agregata, cementa, vapna i dodataka za stvaranje mjehurića. Izrađuje se autokalvama i oblikuje rezanjem.
- **Kameni zidni blokovi:** izrađeni od blokova kamena klesanih ili rezanih na određene dimenzije, te od lomljenog kamena nepravilnog oblika.

**Crtež 2.1**. Vrste zidnih elemenata

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

**Tablica 2.1.** Zahtjevi koje grupe zidnih elemenata moraju zadovoljiti

| | Grupe zidnih elemenata | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2a | 2b | 3 |
| Obujam šupljina (% bruto obujma) (vidi napomenu 1) | ≤ 25 | > 25-45 za opečne zidne elemente<br>> 25-50 za betonske zidne elemente | > 45-55 za opečne zidne elemente<br>> 50-60 za betonske zidne elemente (vidi napomenu 2) | ≤ 70 |
| Obujam bilo koje šupljine (% bruto obujma) | ≤ 12,5 | ≤ 12,5 za opečne zidne elemente<br>≤ 25 za betonske zidne elemente | ≤ 12,5 za opečne zidne elemente<br>≤ 25 za betonske zidne elemente | Ograničena ploštinom (vidi dolje) |
| Ploština bilo koje šupljine | Ograničena obujmom (vidi gore) | Ograničena obujmom (vidi gore) | Ograničena obujmom (vidi gore) | ≤ 2800 mm$^2$, osim za zidne elemente s jednom šupljinom kad je šupljina ≤18000 mm$^2$ |
| Kombinirana debljina (% ukupne širine) (vidi napomenu 3) | ≥ 37,5 | ≥ 30 | ≥ 20 | Nema zahtjeva |

NAPOMENE
1. Šupljine mogu biti vertikalne kroz zidni element, utori ili niše.
2. Ako iskustvo na razini države, utemeljeno na ispitivanjima, potvrđuje da sigurnost zida nije neprihvatljivo smanjena kad postoji veći postotak šupljina, ograničenje od 55% za opečne i 60% za betonske zidne elemente može se povećati za zidne elemente koji se rabe u zemlji koja ima takvo iskustvo.
3. Kombinirana debljina je debljina unutarnje i vanjske stjenke mjerena horizontalno na zidnom elementu pod pravim kutom na lice zida.

U ovom radu za nosive zidove 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

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Dimenzije:** | | | | | | EN 771-1:2011 |
| **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 | | | | |
| **Obujamska masa:** | | | | | | |
| **Bruto obujamska masa u suhom stanju** | kg/m³ | 710 | | | | |
| **Neto obujamska masa u suhom stanju** | kg/m³ | NPD | | | | |
| **razred** | razred / % | D1 | 10 | | | |
| **Oblik i izgled:** | | | | | | |
| **Skupina zidnog elementa** | - | 2 | | | *EN 1996 -1* | |
| **Postotak šupljina** | % | <55 | | | | |
| **Tlačna čvrstoća:** | | | | | | |
| **razred** | - | I | | | | |
| **Okomito na horizontalnu sljubnicu** | N/mm² | 10 | | | | |
| **Normalizirana na horizontalnu sljubnicu** | N/mm² | NPD | | | | |
| **Okomito na vertikalnu sljubnicu** | N/mm² | 2 | | | | |
| **Normalizirana na vertikalnu sljubnicu** | N/mm² | NPD | | | | |
| **Čvrstoća prijanjanja:** | N/mm² | 0,15/0,30 | | | | |
| **Toplinska provodljivost $\lambda_{10,dry,unit}$:** | W/m·K | 0,15 | | | *EN 1745 (λ termo malte =0,18 W/mK)* | |
| **Paropropusnost:** | - | μ = 5/10 | | | | |
| **Trajnost proizvoda:** | razred | F0 | | | | |
| **Vodoupojnost:** | % | NPD | | | | |
| **Početna vodoupojnost:** | kg/(m²·min) | NPD | | | | |
| **Sadržaj aktivnih topivih soli:** | razred | S0 | | | | |
| **Širenje vlage:** | mm/m | NPD | | | | |
| **Ponašanje pri požaru:** | razred | A1 | | | | |
| **Opasne tvari:** | - | NPD | | | | |

## 2.3. SVOJSTVA ZIDNIH ELEMENATA

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

### 2.3.1. Tlačna čvrstoća zidnih elemenata

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

**Tablica 2.3.** Faktor oblika δ za normaliziranje tlačne čvrstoće blokova

| Visina zidnog elementa(mm) | Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa (mm) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 50 | 100 | 150 | 200 | ≥250 |
| 50 | 0.85 | 0.75 | 0.70 | - | - |
| 65 | 0.95 | 0.85 | 0.75 | 0.70 | 0.65 |
| 100 | 1.15 | 1.00 | 0.90 | 0.80 | 0.75 |
| 150 | 1.30 | 1.20 | 1.10 | 1.00 | 0.95 |
| 200 | 1.45 | 1.35 | 1.25 | 1.15 | 1.10 |
| ≥250 | 1.55 | 1.45 | 1.35 | 1.25 | 1.15 |

Minimalna tlačna čvrstoća zidnog elementa :

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

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

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

Za odabranu blok opeku u proračunu, vrijednost tlačne čvrstoće okomito na horizontalnu sljubnicu iznosi 10 N/mm$^2$ ,a okomito na vertikalnu sljubnicu iznosi 2 N/mm$^2$ (Tablica 2.2. ).

## 2.4. MORT

Mort je vezivni materijal koji se sastoji od mješavine anorganskog veziva, agregata i vode, a može sadržavati i dodatke za povećanje čvrstoće, vodonepropusnosti i itd. Rabi se za povezivanje zidanih elemenata, odnosno služi za ostvarivanje čvrstoće zida. Vrsta morta ovisi

o njegovom sastavu. Prilikom gradnje omogućava izravnavanje geometrijskih odstupanja blokova i njihovo međusobno vezanje te ravnomjernu raspodjelu tlačnih napona.

Glavni sastojci morta:

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

Kemijski dodaci mortu služe za promjenu njegovih svojstava:

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

Vrste mortova:

- **cementni mort:** mort s određenim omjerom cementa i pijeska te dodataka po potrebi
- **cementno – vapneni mort:** mješavina određene količine cementa, vapna i pijeska (produžni mort)
- **hidraulični vapneni mort:** mješavina određene količine hidratiziranog vapna i pijeska
- **unaprijed pripremljeni mort:** doprema se na gradilište u vrećama u suhom stanju, ili već pripremljen za uporabu s usporivačem vezanja
- **tankoslojni mort:** to je unaprijed pripremljeni cementni mort s maksimalnim zrnom pijeska do 1,0 mm i s kemijskim dodacima. Debljina morta u horizontalnim sljubnicama je od 1 do 3 mm
- **lakoagregatni mort:** mort spravljen s lakim agregatom, čija je gustoća obično manja od 1000 kg/m$^3$. Agregat može biti: perlit, ekspandirana glina, plovučac

Mort se klasificira prema svojoj proračunskoj tlačnoj čvrstoći, a označava se slovom M nakon kojeg slijedi broj koji predstavlja tlačnu čvrstoću u N/mm$^2$. U većini propisa u svijetu odnos komponenata morta se određuje volumenski, odnosno sastavi morta dani su u volumenskim omjerima (Tablica 2.4.).

**Tablica 2.4.** Volumenski sastav morta

| Vrsta morta | Minimalna tlačna čvrstoća nakon 28 dana (N/mm$^2$) | Približni sastav | | |
|---|---|---|---|---|
| | | cement | hidratizirano vapno | pijesak |
| M20 | 20 | treba odrediti ispitivanjem | | |
| M15 | 15 | 1 | 0 - $^1/_4$ | 3 |
| M10 | 10 | 1 | $^1/_4$ - $^1/_2$ | 4 - 4$^1/_4$ |
| M5 | 5 | 1 | $^1/_2$ - 1$^1/_4$ | 5 - 6 |
| M2 | 2 | 1 | 1$^1/_4$ - 2$^1/_2$ | 8 - 9 |

Najslabiji mort koji je dopušten u nearmiranom zidu je *M1*, za armirano zide *M5*, i za tankoslojne i lakoagregatne mortove također *M5*. U slučaju kada je čvrstoća manja ili znatno veća od one u tablici mogu se mijenjati omjeri cementa, vapna i pijeska, kako bi se postigla zahtjevana čvrstoća. Uporabu drugačijih omjera sastojaka treba dokazati ispitivanjem.

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

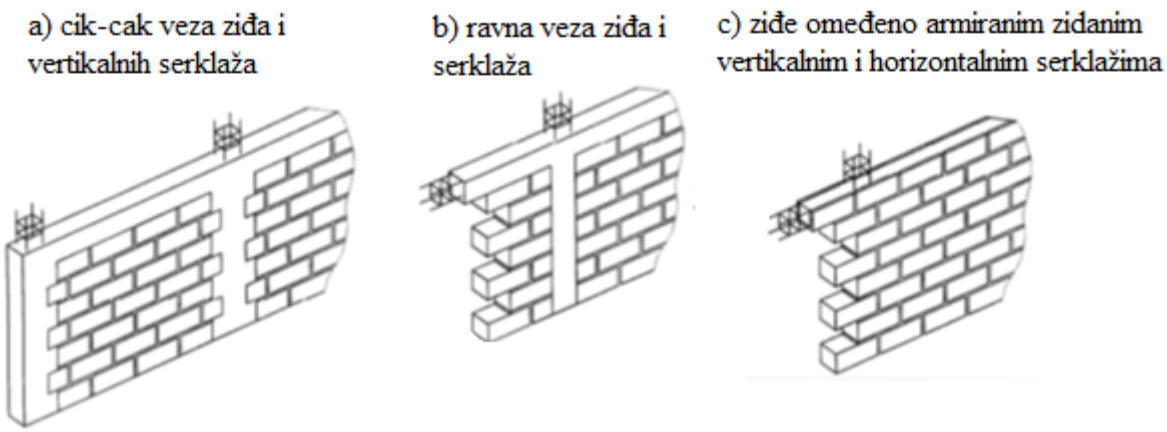
## 2.5. VRSTE ZIĐA

Zide se općenito svrstava u sljedeće konstruktivne kategorije:

- **Nearmirano zide**, ne sadrži nikakva prikladna ojačanja da bi se smatralo armiranim zidem
- **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 zidem i nisu samostalan okvir. Uloga serklaža je posebno značajna pri djelovanju potresa na zidane građevine. Serklaži povezuju i ukrućuju 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 ($f_k$ )

Zide 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 zide 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 zide. Rabi se mort koji treba pripremiti tako da mu se sastojci vežu, a odrede se na osnovi volumnih omjera suhog materijala koji odgovaraju određenoj vrsti morta. Ako se, kako je to uobičajeno, rabi vlažan pijesak, treba uzeti u obzir količinu vlage.

Rabe se najmanje 3 uzorka, visina uzorka zida treba biti barem tri puta veća od njegove širine, pet puta veća od visine zidanog elementa i veća od duljine uzorka. Zidovi se ispituju ili nakon 7 ili 28 dana starosti, ili kada je postignuta neka određena čvrstoća morta. Uzorak se postavi centrično da se uzdužna os uzorka i uzdužna os stroja za ispitivanje poklope. Opterećenje se nanosi jednoliko po cijeloj površini na vrhu i na dnu zida. Ono se neprekidno povećava tako da se slom dosegne nakon 15 do 30 minuta. S pomoću četiri elektronska uređaja, ekstenzometra, mjere se deformacije uzorka u vertikalnom smjeru. Ekstenzometri se postave po dva na svaku plohu zida, a kao relativna deformacija uzorka uzima se srednja vrijednost od sva četiri očitanja. Potrebno je izdvojiti vrijednosti izmjerene relativne deformacije, $\varepsilon_{1/3}$, pri sili jednakoj trećini maksimalne.

Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće se prikazuju pomoću izraza:

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

pri čemu je:

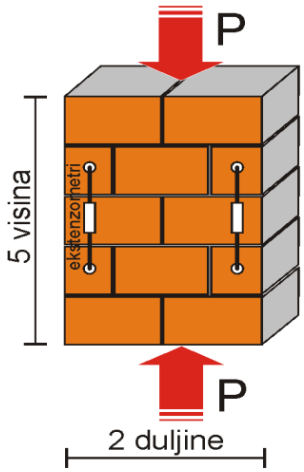
$f_k$ - karakteristična tlačna čvrstoća zida u N/mm$^2$

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

$\alpha, \beta$ - konstante

$f_m$ - tlačna čvrstoća morta u N/mm$^2$

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




**Crtež 2.3.** Ispitivanje tlačne čvrstoće 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 - $f_k = K \cdot f_b^{0,65} \cdot f_m^{0,25}$ $(\mathrm{N/mm^2})$
- tankoslojni mort - $f_k = 0,8 \cdot f_b^{0,85}$ $(\mathrm{N/mm^2})$
- lakoagregatni mort- $f_k = 0,8 \cdot f_b^{0,65}$ $(\mathrm{N/mm^2})$

gdje je:

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

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

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

Za predmetnu konstrukciju karakteristična tlačna čvrstoća zida iznosi:

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

### 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.

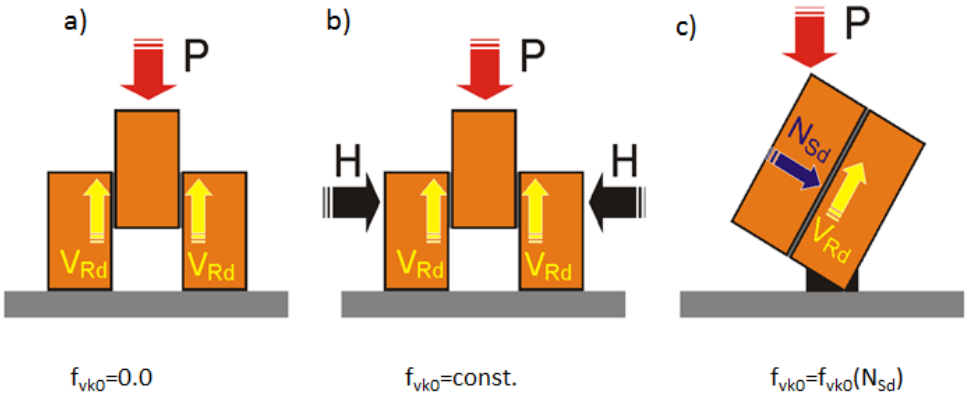
Karakteristična posmična čvrstoća zida, $f_{vk}$, jest ona čvrstoća ispod koje se ne očekuje da će pasti više od 5% rezultata ispitivanja te čvrstoće. Karakterističnu posmičnu čvrstoću moguće je dobiti eksperimentalno iz odgovarajućeg ispitivanja uzorka ili ispitivanjem na izvedenom zidu ili iz karakterističnih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

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

a) bez normalnog naprezanja

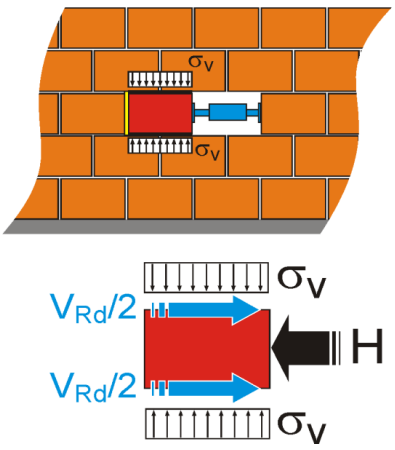
b) dodavanjem normalnog naprezanja

c) s uvijek prisutnim tlačnim naprezanjem




**Crtež 2.4.** Ispitivanje posmične čvrstoće ziđa

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




**Crtež 2.5.** Ispitivanje posmične čvrstoće ziđa – in situ

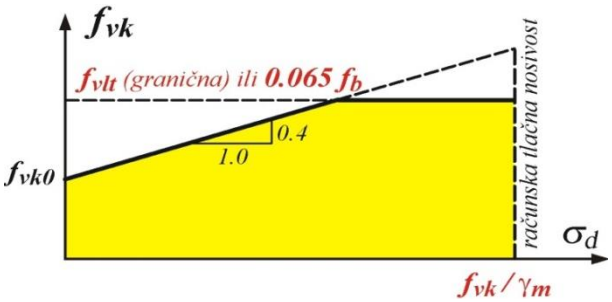
Računska karakteristična posmična čvrstoća nearmiranog ziđa $f_{vk}$, uz postojanje uvjeta da su horizontalne i vertikalne sljubnice potpuno ispunjene mortom, može se uzeti kao najmanja vrijednost od:

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

ili

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

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




**Crtež 2.6.** Ovisnost posmične čvrstoće i tlačnog naprezanja

gdje su:

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

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

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

**Tablica 2.6.** Vrijednost početne posmične čvrstoće $f_{vk0}$

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

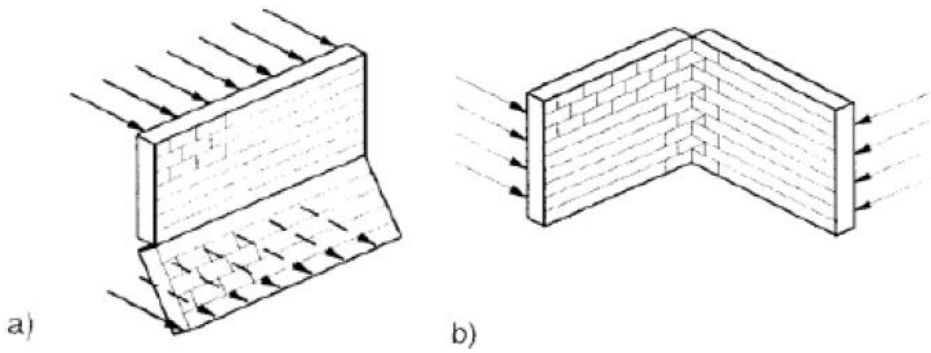
### 2.6.3. Karakteristična čvrstoća ziđa na savijanje ($f_{xk}$)

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

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

Čvrstoća ziđa na savijanje:

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




**Crtež 2.7.** Čvrstoća zida na savijanje

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

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

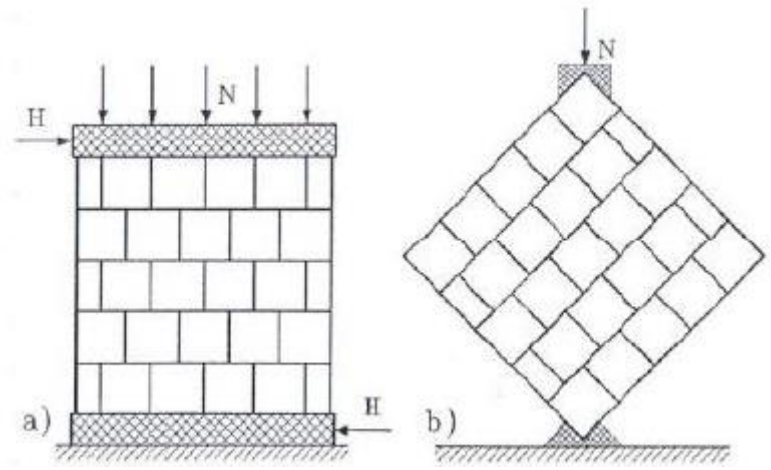
**Tablica 2.8.** Vrijednosti $f_{xk2}$, slomna ravnina okomita na horizontalne sljubnice

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

### 2.6.4. Referentna vlačna čvrstoća zida ($f_t$)

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

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




**Crtež 2.8.** Ispitivanje vlačne čvrstoće zida

## 2.7. Deformacijska svojstva zida

### 2.7.1. Modul elastičnosti E

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

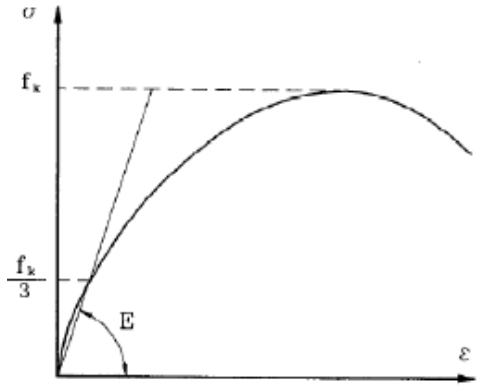
$$E = K_E \cdot f_k$$

gdje je:

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

Module elastičnosti za predmetnu konstrukciju iznosi:

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




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

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

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

### 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

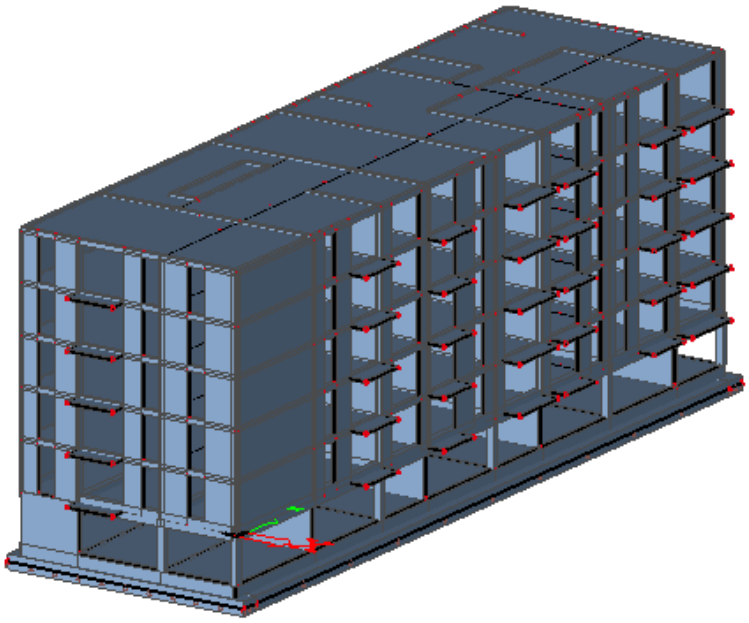
## 3.1. OPĆENITO

Predmet ovog diplomskog rada je proračun stambene zgrade s konstruktivnim sustavom od armirano-betonskih zidova i stupova te zidanih zidova. Predmetna građevina je šesterokatnica, pravilnog tlocrtnog oblika – pravokutnih dimenzija 46,85 x 13,90 m. Ukupna brutto površina građevine iznosi 651,22 $m^2$. Visina prve etaže je 3,70 m, ostale etaže su visine 2,90 m, što čini 18,20 m ukupne visine objekta mjereno od podne ploče prizemlja.

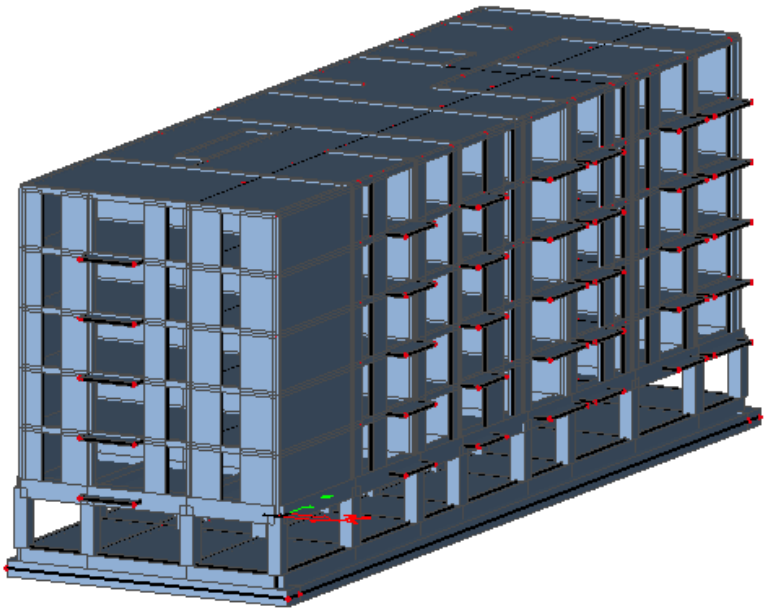
Nosivu konstrukciju ove stambene zgrade čine vertikalni konstrukcijski elementi izrađeni od ziđa i armiranog betona, te horizontalni konstrukcijski elementi izrađeni od armirano-betonskih međukatnih ploča debljine 20 cm i armirano-betonskih serklaža. Pokrov konstrukcije čini neprohodni ravni krov izveden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

Prizemlje se sastoji od armirano-betonskih zidova, stupova i greda.

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



**Crtež 3.1.** Prostorni prikaz modela konstrukcije s AB prizemljem



**Crtež 3.2.** Prostorni prikaz modela konstrukcije s prizemljem na AB stupovima

## 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 0,85 m, 1,00 x 0,85 m te 1,80 x 0,85 m . Nadtemeljni zid je dimenzija 0,40 x 1,00 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 0,65 m.

### 3.2.2. Fleksibilno prizemlje

Fleksibilno prizemlje konstruirano je kao niz armirano-betonskih okvira dimenzija zidova 3,60 x 0,40 m, 4,65 x 0,40 m, 6,90 x 0,30 m, 4,60 x 0,30 m, 3,55 x 0,40 m i 7,10 x 0,40 m, dimenzije stupova 0,40 x 0,40 m, i greda 0,40 x 0,80 m, 0,30 x 0,50 m. Elementi stupova i zidova su izrađeni od betona klase C40/50 a grede od betona klase C30/37. Svi elementi su armirani čelikom za armiranje B500B.

Također je u sklopu rada prikazana konstrukcija s prizemljem na isključivo stupovima i gredama (Crtež 3.2.). Dimenzije stupova su 0,70 x 0,70 m te 0,75 x 0,75 m, dok su dimenzije greda 0,70 x 0,80 m te 0,30 x 0,50 m.

### 3.2.3. Zidovi

Nosivi zidovi izgrađeni su od blok opeke POROTHERM 30S PLUS. Zidovi su debljine t=30 cm, a omeđeni su vertikalnim i horizontalnim serklažama. 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/mm² |
| Potrošnja opeke: | | 16,00 | kom/m² |
| | | 53,30 | kom/m³ |
| Potrošnja morta: | | 38,00 | l/m² |
| Težina za m² zida | | 2,22 | kN/m² |

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 energetskih 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 N/mm$^2$), kojemu odgovara sljedeći volumni sastav:

cement : hidratizirano vapno : pijesak = 1 : (¼ - ½) : (4 - 4¼)

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 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.) .

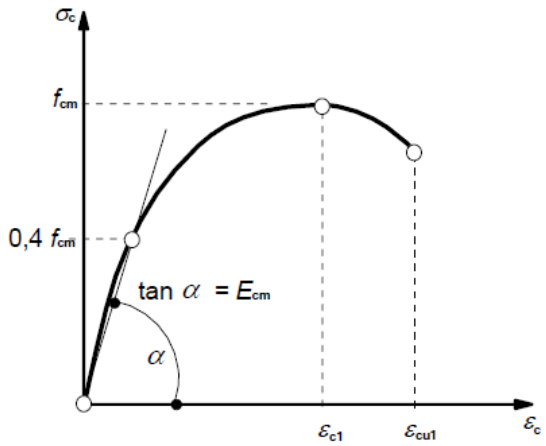
### 3.3.2. Beton

Armirano-betonski elementi fleksibilnog prizemlja izrađeni su od betona klase C30/37 i C40/50, dok su temelji i nadtemeljni zidovi izrađeni od betona klase C35/45, 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 | 037 | 0,41 |
| **Srednja vlačna čvrstoća $f_{ct,m}$ [MPa]** | 2,6 | 2,9 | 3,2 | 3,5 |
| **Modul elastičnosti *E* [MPa]** | 31500 | 32800 | 33500 | 35000 |
| **Modul posmika *G* [MPa]** | 13125 | 13667 | 14208 | 14667 |

Usvojen je parabolični radni dijagram betona zbog uključene materijalne nelinearnosti.



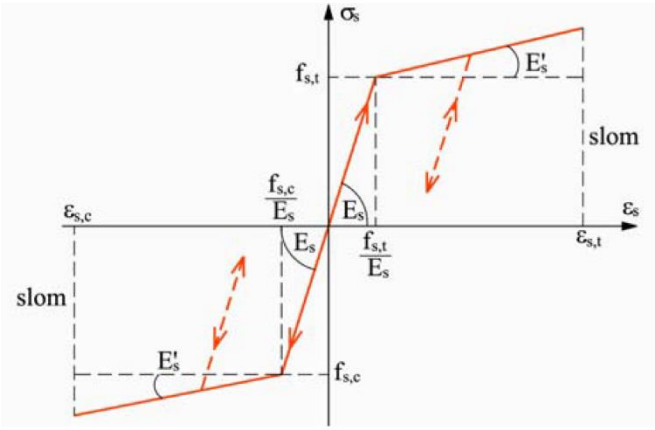

**Crtež 3.3.** Radni dijagram betona

### 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 500B** |
|---|---|
| **Karakteristična vlačna i tlačna čvrstoća** | $f_{yk}$ = 500 MPa |
| **Modul elastičnosti** | E = 21000 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 promjenljivosti tijekom vremena :

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

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

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

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

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

### 4.2.1. Stalno djelovanje

**1) Vlastita težina (G0)**

U računalnom modelu vlastita težina nosive konstrukcije zadana je automatski.

**2) Dodatno stalno opterećenje (G)**

a) Krovna ploča

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

ukupno: 2,25 kN/m$^2$

b) Međukatne ploče

pregradni zidovi ( gipskartonske ploče): 0,50 kN/m$^2$

završni sloj poda: 0,50 kN/m$^2$

izolacije, instalacije, žbuka: 0,20 kN/m$^2$

a-c estrih, d = 7 cm, γ = 22 kN/$m^3$ : 1,55 kN/m$^2$

ukupno: 2,70 kN/m$^2$

c) Balkoni

završni sloj poda: 0,50 kN/m$^2$

izolacije, instalacije, žbuka: 0,20 kN/m$^2$

a-c estrih, d < 5 cm, γ = 22 kN/$m^3$ : 1,10 kN/m$^2$

ukupno: 1,80 kN/m$^2$

### 4.2.2. Uporabno opterećenje (Q)

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$^2$] | $Q_k$ [kN] |
|---|---|---|
| **A** - općenito | 2,0 | 2,0 |
| - stubišta | 3,0 | 2,0 |
| - balkoni | 4,0 | 2,0 |

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

### 4.2.3. Opterećenje vjetrom (W)

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

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

gdje je:

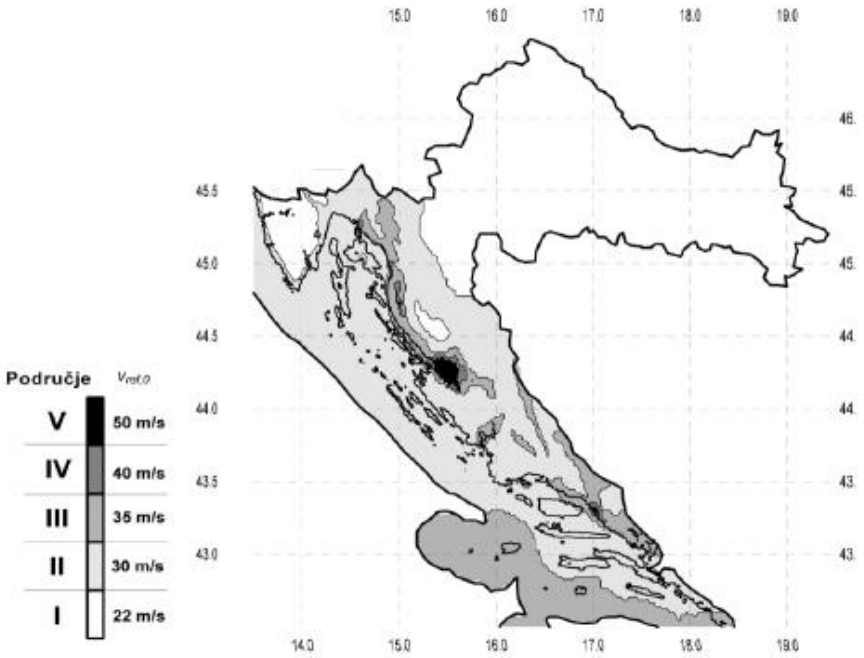
$q_{ref}$ - poredbeni tlak pri srednjoj brzini vjetra

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

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

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

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:

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

Pri čemu su:

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

Poredbena brzina vjetra:

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

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

$c_{DIR} = 1{,}0$ koeficijent smjera vjetra

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

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

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

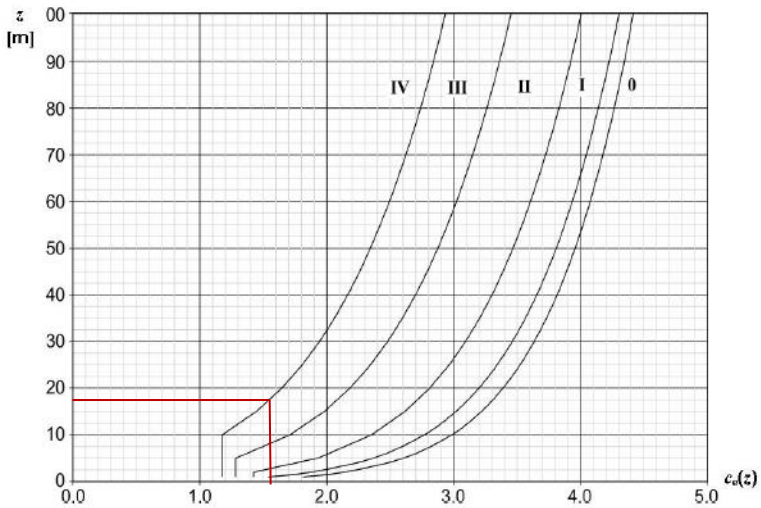
$$v_{ref} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.1 \cdot 30 = 33 \ m/s$$

visina objekta h = 18,2 m;

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

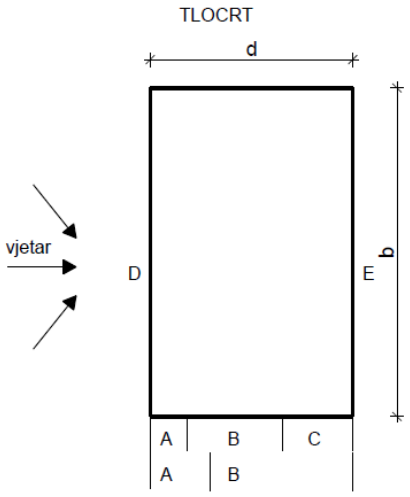
$$q_{ref} = \frac{\rho}{2} \cdot v_{ref}^2 = \frac{1.25}{2} \cdot 33^2 = 680 \, N/m^2 = 0.68 \, kN/m^2$$

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




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

Očitano na grafu: $c_e(z_e) = 1{,}58$




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

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

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

Koeficijenti vanjskog tlaka Cpe ( Tablica 4.3.) iznose:

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

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

Opterećenje vjetra na vanjsku površinu:

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

za područje D $w_e = 0{,}68 \cdot 1{,}58 \cdot 0{,}8 = 0{,}86\ kN/m^2$

za područje E $w_e = 0{,}68 \cdot 1{,}58 \cdot (-0{,}3) = -0{,}32\ kN/m^2$

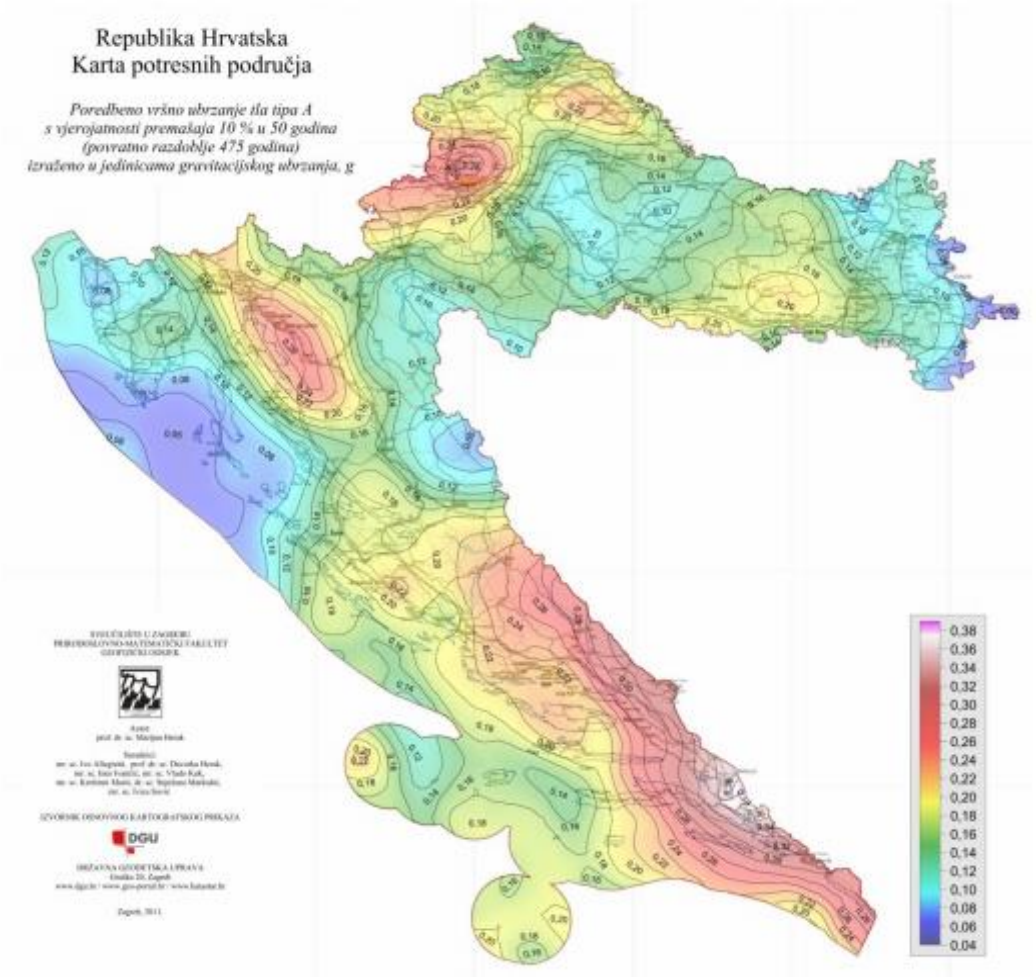
### 4.2.4. Opterećenje potresom (S)

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.

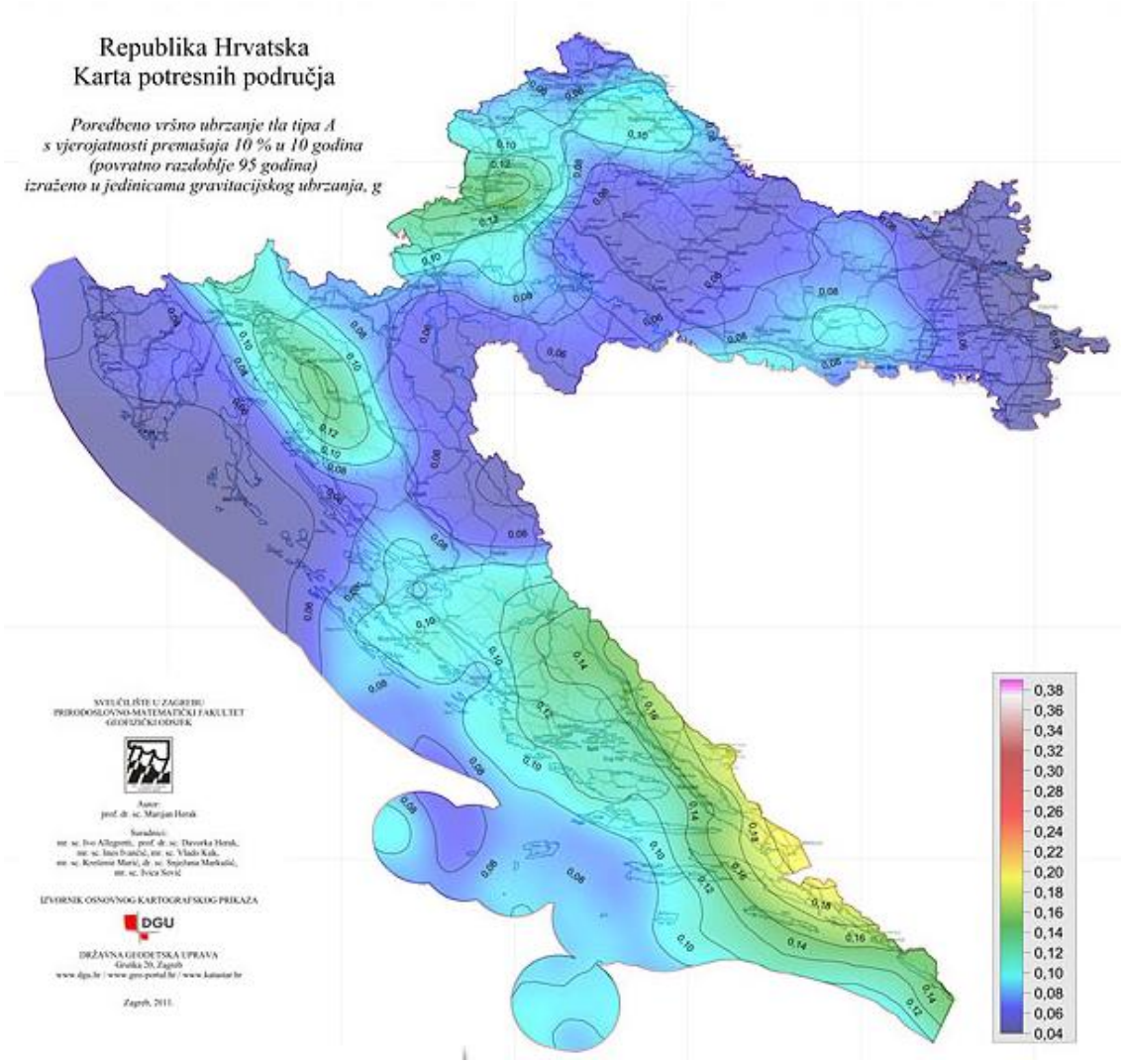
($T_{NCR}$ = 475 godina; 50 godina; $P_{NCR}$ = 10%): $a_{gr,GSN}$ = 0,22 g = 2,00 m/s$^2$




**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 g = 1,10 m/s$^2$



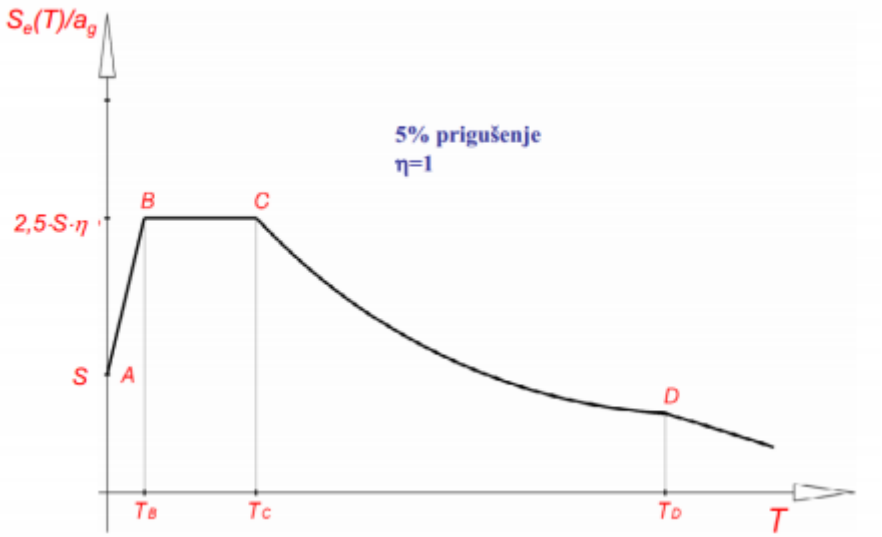

**Crtež 4.4.** Karta potresnih područja Hrvatske za poredbena vršna ubrzanja temeljnog tla $a_{gr}$ za temeljno tlo tipa A, za poredbeno povratno razdoblje potresa $T_{NCR}$ = 95 godina

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 translatacijskom smjeru.

Spektar odaziva podrazumjeva proračun odaziva konstrukcije. U slučaju gdje je proračunsko seizmičko opterećenje određeno na temelju spektra odzia 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 počeak područja spektra s konstantnim pomacima
- $\beta_0$ faktor spektralnog ubrzanja; $b_0$=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 vs ≥ 800 m/s

-pjeskovita i šljunkovita tla s vs ≥ 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.

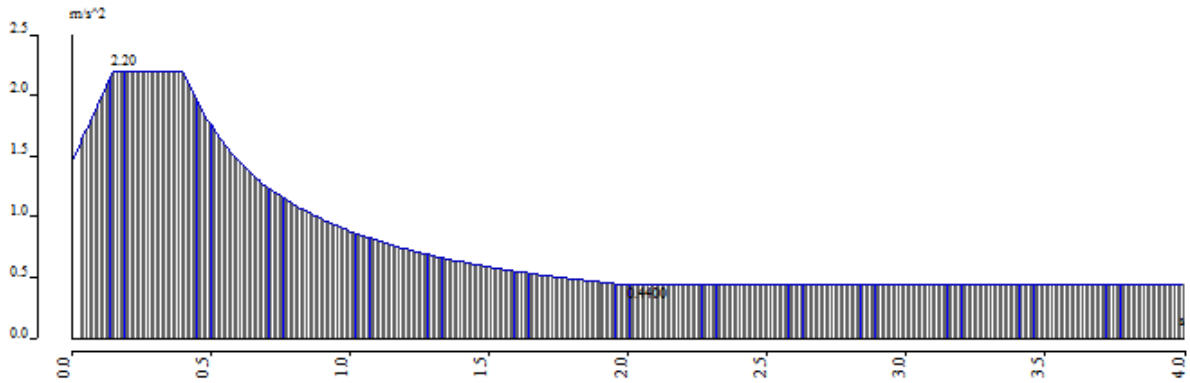
Faktor ponašanja (q) za ovakvu vrstu građevine sa armirano-betonskim prizemljem uzet je 2,5.

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

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

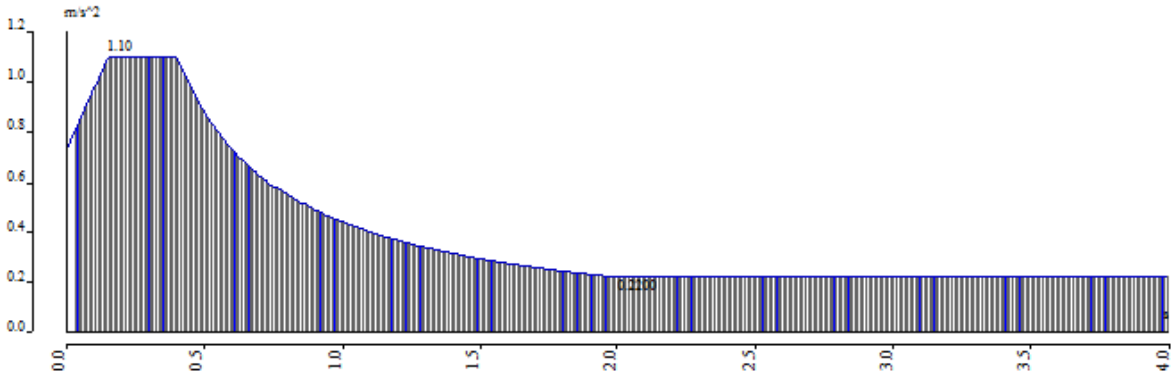
Faktor važnosti građevine $\gamma_1$ = 1,0 (obične zgrade, koje ne spadaju u ostale kategorije važnosti zgrada).

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 g = 2,00 m/s$^2$, q = 2,5, tlo A




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

$a_{gr,GSU}$ = 0,12 g = 1,10 m/s$^2$, q = 2,5, 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 smijeru za slučajnu ekcentričnost.

Slučajni ekscentricitet: e = ±0,05 L

e - slučajna ekscentričnost mase

L – dimenzija stropa okomito na smjer potresnog djelovanja

Opterećenje konstrukcije ekcentricitetom je izračunato i u programu postavljeno ručno tako da su potresne reakcije za pojedini smijer djelovanja potresa pomnožene s iznosom ekscentriciteta za pojedini smijer 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 zide 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:<br>1,0*(G0 +G) +0,5Q | progibi ploča i slijeganje temelja |
| GSU-2 | nazovistalna kombinacija<br>1,0*(G0 +G) +0,3Q | ograničenje tlačnog naprezanja u AB elementima; dugotrajni progib |

**2) Granično stanje nosivosti**

| | |
|---|---|
| GSN-1 | 1,35*(G0+G) + 1,5*Q |
| GSN-2 | 1,35*(G0+G) + 1,5*Q + 1,5*(0,6*WX) |
| GSN-3 | 1,35*(G0+G) + 1,5*Q – 1,5*(0,6*WX) |
| GSN-4 | 1,35*(G0+G) + 1,5*Q + 1,5*(0,6*WY) |
| GSN-5 | 1,35*(G0+G) + 1,5*Q – 1,5*(0,6*WY) |
| GSN-6 | 1,35*(G0+G) + 1,5*WX + 1,5*(0,6*Q) |
| GSN-7 | 1,35*(G0+G) – 1,5*WX + 1,5*(0,6*Q) |
| GSN-8 | 1,35*(G0+G) + 1,5*WY + 1,5*(0,6*Q) |
| GSN-9 | 1,35*(G0+G) – 1,5*WY + 1,5*(0,6*Q) |
| GSN-10 | 1,0*(G0+G) + 0,3*Q ± 1,0*SX + 0,3*SY + TX |
| GSN-11 | 1,0*(G0+G) + 0,3*Q ± 1,0*SX + 0,3*SY - TX |
| GSN-12 | 1,0*(G0+G) + 0,3*Q ± 1,0*SY + 0,3*SY + TY |
| GSN-13 | 1,0*(G0+G) + 0,3*Q ± 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

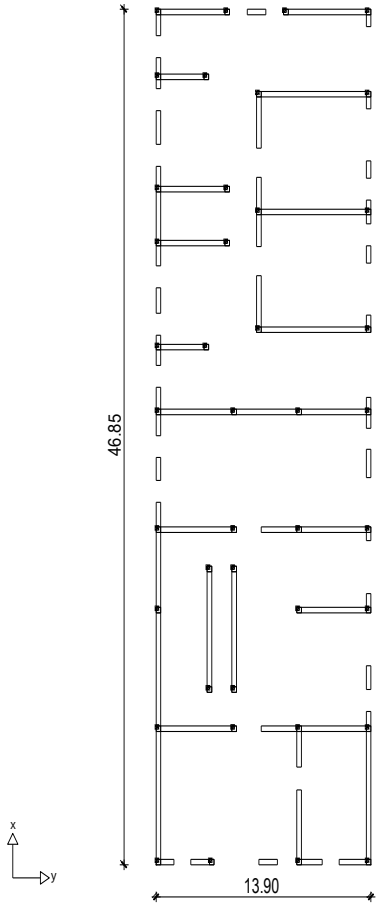
Zgrade koje zadovoljavaju sljedeće odredbe mogu se svrstati u "jednostavne zidane zgrade". Za takve zgrade izričita provjera sigurnosti nije obvezatna.

**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: 46,85 x 13,90 = 651,22 $m^2$




**Crtež 5.1.**Tlocrt karakteristične etaže

Smjer X

Ukupna duljina zidova: 106,55 m

Ukupna površina zidova: 106,55 x 0,3 = 31,97 $m^2$

Udio nosivih zidova: 31,97/651,22 = 0,049 = 4,9 %

Smjer Y

Ukupna duljina zidova: 82,10 m

Ukupna površina zidova: 82,10 x 0,3 = 24,63 $m^2$

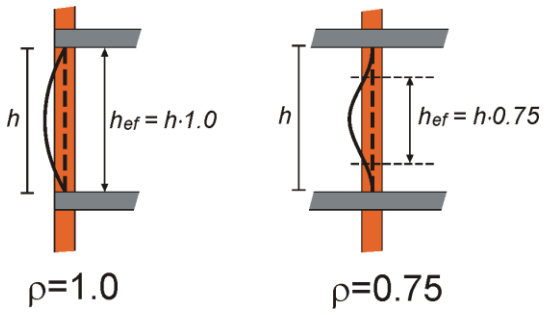
Udio nosivih zidova: 24,63/651,22 = 0,038 = 3,8 %

## 5.2. PRORAČUN ZIDOVA NA VERTIKALNA OPTEREĆENJA

Podaci za proračun zidova

- blok opeka, dimenzije: d x š x v = 25 x 30 x 23,8 cm
- srednja tlačna čvrstoća blok: $f_{ck,sred}$ = 10,0 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 zida: $f_k = K \times f_b^{0,65} \times f_m^{0,25}$ = 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
- računska uzdužna sila: $N_{Sd} = N_g*1{,}35+N_q*1{,}5$
- računska 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 računsko djelovanje manje od računske nosivosti:

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

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

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

h= 2,90 m = katna visina — $\gamma_M$= 2,20 = parcijalni faktor sigurnosti za zide

$f_k$= 4,78 MPa = tlačna čvrstoća zida — $\gamma_c$= 1,50 = parcijalni faktor sigurnosti za beton

$f_{c,k}$= 25,0 MPa = tlačna čvrstoća betona — n= 6 = broj etaža

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

| | dimenzije zida i otvora | | | | ploha utjecaja | | opt. međukatne k. | | opt. krov | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| zid / stup | debljina zida [m] | duljina zida L [m] | duljina otvora o [m] | netto pov. zida/stupa Ai [m2] | utjecajna duljina L' [m] | utjecajna širina B' [m] | stalno opter. g [kN/m2] | promj. opter. q [kN/m2] | stalno opter. g [kN/m2] | promj. opter. q [kN/m2] | vl. težina zida/stupa [kN/m3] | vertikalno djelovanje $N_g$ [kN] | vertikalno djelovanje $N_q$ [kN] | računsko vert.djel. $N_{Ed}$ [kN] | koef. vitkosti Φ | računska nosivost $N_{Rd}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd}$ [%] |
| Zx1/A-F | 0,30 | 13,90 | 6,30 | 2,28 | 13,90 | 2,50 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1919 | 382 | 3164 | 0,75 | 3715 | 85 |
| Zx2/A-F | 0,30 | 13,90 | 1,60 | 3,69 | 13,90 | 4,30 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 3260 | 657 | 5387 | 0,75 | 6013 | 90 |
| Zx3/D-F | 0,30 | 4,80 | 0,00 | 1,44 | 6,50 | 4,20 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1446 | 300 | 2403 | 0,80 | 2503 | 96 |
| Zx4/A-F | 0,30 | 13,90 | 1,60 | 3,69 | 13,90 | 3,70 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 2895 | 566 | 4756 | 0,80 | 6414 | 74 |
| Zx5/A-F | 0,30 | 13,90 | 0,00 | 4,17 | 13,90 | 5,10 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 3831 | 780 | 6341 | 0,80 | 7248 | 87 |
| Zx6/A-B | 0,30 | 3,40 | 0,00 | 1,02 | 4,40 | 3,80 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 910 | 184 | 1504 | 0,80 | 1773 | 85 |
| Zx7/D-F | 0,30 | 7,40 | 0,00 | 2,22 | 8,85 | 3,80 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1859 | 370 | 3065 | 0,80 | 3859 | 79 |
| Zx8/A-C | 0,30 | 4,75 | 0,00 | 1,43 | 5,50 | 3,50 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1091 | 212 | 1791 | 0,80 | 2477 | 72 |
| Zx9/D-F | 0,30 | 7,40 | 0,00 | 2,22 | 7,40 | 4,50 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1845 | 366 | 3040 | 0,80 | 3859 | 79 |
| Zx10/A-C | 0,30 | 4,75 | 0,00 | 1,43 | 5,50 | 3,50 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1091 | 212 | 1791 | 0,80 | 2477 | 72 |
| Zx11/D-F | 0,30 | 7,40 | 0,00 | 2,22 | 8,90 | 3,50 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1751 | 343 | 2877 | 0,80 | 3859 | 75 |
| Zx12/A-B | 0,30 | 3,40 | 0,00 | 1,02 | 4,50 | 2,40 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 651 | 119 | 1056 | 0,80 | 1773 | 60 |
| Zx13/A-F | 0,30 | 13,90 | 2,30 | 3,48 | 13,90 | 2,00 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1823 | 306 | 2920 | 0,80 | 6049 | 48 |

**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 zide

$f_k$= 4,78 MPa = tlačna čvrstoća zida — $\gamma_c$= 1,50 = parcijalni faktor sigurnosti za beton

$f_{c,k}$= 25,0 MPa = tlačna čvrstoća betona — n= 6 = broj etaža

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

| | dimenzije zida i otvora | | | | ploha utjecaja | | opt. međukatne k. | | opt. krov | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| zid / stup | debljina zida [m] | duljina zida L [m] | duljina otvora o [m] | netto pov. zida/stupa Ai [m2] | utjecajna duljina L' [m] | utjecajna širina B' [m] | stalno opter. g [kN/m2] | promj. opter. q [kN/m2] | stalno opter. g [kN/m2] | promj. opter. q [kN/m2] | vl. težina zida/stupa [kN/m3] | vertikalno djelovanje $N_g$ [kN] | vertikalno djelovanje $N_q$ [kN] | računsko vert.djel. $N_{Ed}$ [kN] | koef. vitkosti Φ | računska nosivost $N_{Rd}$ [kN] | $N_{Sd}/N_{Rd}$ [%] |
| ZyA/12-13 | 0,30 | 3,70 | 1,20 | 0,75 | 3,70 | 1,60 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 390 | 65 | 624 | 0,75 | 1222 | 51 |
| ZyA/10-12 | 0,30 | 6,15 | 2,40 | 1,13 | 6,10 | 1,80 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 677 | 121 | 1095 | 0,75 | 1833 | 60 |
| ZyA/8-10 | 0,30 | 2,95 | 0,00 | 0,89 | 2,90 | 2,20 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 433 | 70 | 690 | 0,75 | 1442 | 48 |
| ZyA/6-8 | 0,30 | 5,70 | 2,40 | 0,99 | 5,70 | 2,40 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 771 | 150 | 1267 | 0,75 | 1613 | 79 |
| ZyA/5-6 | 0,30 | 3,55 | 1,20 | 0,71 | 3,55 | 1,80 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 403 | 70 | 649 | 0,75 | 1149 | 56 |
| ZyA/4-5 | 0,30 | 6,45 | 2,40 | 1,22 | 6,45 | 2,60 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 946 | 184 | 1554 | 0,75 | 1980 | 78 |
| ZyA/2-4 | 0,30 | 10,90 | 0,00 | 3,27 | 10,90 | 2,20 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1619 | 264 | 2582 | 0,75 | 5329 | 48 |
| ZyA/1-2 | 0,30 | 7,45 | 0,00 | 2,24 | 7,45 | 3,80 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1629 | 311 | 2666 | 0,75 | 3642 | 73 |
| ZyB/2-4 | 0,30 | 6,90 | 0,00 | 2,07 | 7,50 | 2,00 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1017 | 165 | 1621 | 0,80 | 3598 | 45 |
| ZyC/2-4 | 0,30 | 6,90 | 0,00 | 2,07 | 7,50 | 3,00 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1346 | 248 | 2188 | 0,80 | 3598 | 61 |
| ZyD/9-11 | 0,30 | 6,45 | 1,60 | 1,46 | 6,00 | 4,40 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1409 | 290 | 2338 | 0,80 | 2529 | 92 |
| ZyD/7-9 | 0,30 | 6,45 | 1,60 | 1,46 | 6,20 | 4,40 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1448 | 300 | 2405 | 0,80 | 2529 | 95 |
| ZyE/1-2 | 0,30 | 7,00 | 1,25 | 1,73 | 7,00 | 4,40 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1649 | 339 | 2735 | 0,80 | 2998 | 91 |
| ZyF/1-2 | 0,30 | 7,60 | 0,00 | 2,28 | 7,60 | 3,80 | 7,3 | 2,0 | 7,3 | 1,0 | 10,0 | 1662 | 318 | 2720 | 0,80 | 3963 | 69 |

## 5.3. PRORAČUN ZIDOVA NA POTRESNA DJELOVANJA

Proračun ukupne potresne poprečne sile

- Zona seizmičnosti: VIII $\left(a_g = 0,2g\right)$
- Kategorija tla: A (stijena) → S=1,0 (faktor tla)
- Tip spektra: 1 (visoka seizmičnost)
- Broj katova: 5 + prizemlje
- Visina kata: h = 2,9 m
- Visina prizemlja AB prizemlja: h = 3,7 m

Ukupna poprečna potresna sila iznosi:

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

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

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

$H = 5 \cdot 2,9 + 3,7 = 18,2$ (m) - visina zgrade

$T_1 = 0,016 \cdot 18,2 = 0,29$

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 kategoriej tla A

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

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

$\beta_0 = 2,5$ - 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

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

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

$\lambda = 1,0$ - korekcijski faktor

Računska težina zgrade (W):

6. ETAŽA I POZ 600:

| | |
|---|---|
| POZ 600: (g+f*$y_{2i}$q) * A = (7,25+1,0*0,3*1,0)*651,22 = | 4916,71 kN |
| grede i serklaži 600: b*h'*$L_{uk}$*$\gamma_c$ = 0,3*0,3*355,05*25.0= | 798,86 kN |
| zidovi 6. etaže: $g_z$*$h_z$*$L_{uk}$=3,0*2,9*160,8= | 1398,96kN |
| | $W_6$= 7114,53 kN |

5. ETAŽA I POZ 500:

| | |
|---|---|
| POZ 500: (g+f*$y_{2i}$q) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)* 651,22 = | 5209,76kN |
| grede i serklaži 500: b*h'*$L_{uk}$*$\gamma_c$ = 0,3*0,3*355,05*25.0= | 798,86 kN |
| zidovi 5. etaže: $g_z$*$h_z$*$L_{uk}$=3,0*2,9*160,8= | 1398,96 kN |
| | $W_5$= 7407,58 kN |

4. ETAŽA I POZ 400:

| | |
|---|---|
| POZ 400: (g+f*$y_{2i}$q) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)* 651,22 = | 5209,76kN |
| grede i serklaži 400: b*h'*$L_{uk}$*$\gamma_c$ =0,3*0,3*355,05*25.0 = | 798,86 kN |
| zidovi 4. etaže: $g_z$*$h_z$*$L_{uk}$=3,0*2,9*160,8= | 1398,96 kN |
| | $W_4$= 7407,58 kN |

3. ETAŽA I POZ 300:

| | |
|---|---|
| POZ 300: (g+f*$y_{2i}$q) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)* 651,22 = | 5209,76kN |
| grede i serklaži 300: b*h'*$L_{uk}$*$\gamma_c$ = 0,3*0,3*355,05*25.0 = | 798,86 kN |
| zidovi 3. etaže: $g_z$*$h_z$*$L_{uk}$=3,0*2,9*160,8= | 1398,96 kN |
| | $W_3$= 7407,58 kN |

2. ETAŽA I POZ 200:

| | |
|---|---|
| POZ 200: $(g+f*y_{2i}q) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)* 651,22 =$ | 5209,76kN |
| grede i serklaži 200: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,3*0,3*355,05*25.0 =$ | 798,86 kN |
| zidovi 2. etaže: $g_z*h_z*L_{uk}=3,0*2,9*160,8=$ | 1398,96 kN |
| | $W_2$= 7407,58 kN |

1. ETAŽA I POZ 100:

| | |
|---|---|
| POZ 100: $(g+f*y_{2i}q) * A = (7,7+1,0*0,3*1,0)* 651,22 =$ | 5209,76kN |
| stupovi 100: $b*h'*L_{uk}*\gamma_c = 0,4*0,4*63,8*25.0=$ | 255,2kN |
| grede 100: $\gamma_c*h*b*L_{uk}* = 25*0,8*(0,4*234,8 + 0,3*10,15) =$ | 1939,3kN |
| zidovi 1. etaže: $\gamma_c *h_z*b_z*L_{uk}=25*3,7*(0,4*39,95 + 0,3*23)=$ | 2116,4 kN |
| | $W_1$= 9520,66 kN |

Izračun težina skoncentriranih u razini međukatnih konstrukcija:

$W_{600} = W_6/2 = 7114,53/2 = 3557,27$ kN
$W_{500} = (W_6+W_5)/2 = (7114,53+7407,58)/2 = 7261,06$ kN
$W_{400} = (W_5+W_4)/2 = (7407,58+7407,58)/2 = 7407,58$ kN
$W_{300} = (W_4+W_3)/2 = (7407,58+7407,58)/2 = 7407,58$ kN
$W_{200} = (W_3+W_2)/2 = (7407,58+7407,58)/2 = 7407,58$ kN
$W_{100} = (W_2+W_1)/2 = (7407,58+9520,66)/2 = 8464,12$ kN

Ukupna računska težina zgrade:

$W=\sum Wi = 3557,27 + 7261,06 + 3*(7407,58) + 8464,12 = 41505,19$ kN

$m = W/g = 41505,19$ kN / 9,81 m/s$^2$ = 4230,91 kNs/m

Ukupna potresna poprečna sila iznosi:

$F_b=S_d(T_1)*m*\lambda = 0,2 * 9,81 * 4230,91* 1,0 = 8301,05$ kN

Razdioba ukupne potresne sile po zidovima

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

$$F_{b,600} = 8301{,}05 * \left(\frac{3557{,}27 * 18{,}2}{8464{,}12 * 3{,}7 + 7407{,}58 * 6{,}6 + 7407{,}58 * 9{,}5 + 7407{,}58 * 12{,}4 + 7261{,}06 * 15{,}3 + 3557{,}27 * 18{,}2}\right)$$

$$= 1284{,}88\ kN$$

$$F_{b,500} = 8301{,}05 * \left(\frac{7261{,}06 * 15{,}3}{8464{,}12 * 3{,}7 + 7407{,}58 * 6{,}6 + 7407{,}58 * 9{,}5 + 7407{,}58 * 12{,}4 + 7261{,}06 * 15{,}3 + 3557{,}27 * 18{,}22}\right)$$

$$= 2204{,}79$$

$$F_{b,400} = 8301{,}05 * \left(\frac{7407{,}58 * 12{,}4}{8464{,}12 * 3{,}7 + 7407{,}58 * 6{,}6 + 7407{,}58 * 9{,}5 + 7407{,}58 * 12{,}4 + 7261{,}06 * 15{,}3 + 3557{,}27 * 18{,}22}\right)$$

$$= 1822{,}95\ kN$$

$$F_{b,300} = 8301{,}05 * \left(\frac{7407{,}58 * 9{,}5}{8464{,}12 * 3{,}7 + 7407{,}58 * 6{,}6 + 7407{,}58 * 9{,}5 + 7407{,}58 * 12{,}4 + 7261{,}06 * 15{,}3 + 3557{,}27 * 18{,}22}\right)$$

$$= 1396{,}61\ kN$$

$$F_{b,200} = 8301{,}05 * \left(\frac{7407{,}58 * 6{,}6}{8464{,}12 * 3{,}7 + 7407{,}58 * 6{,}6 + 7407{,}58 * 9{,}5 + 7407{,}58 * 12{,}4 + 7261{,}06 * 15{,}3 + 3557{,}27 * 18{,}2}\right)$$

$$= 970{,}98\ kN$$

$$F_{b,100} = 8301{,}05 * \left(\frac{8464{,}12 * 3{,}7}{8464{,}12 * 3{,}7 + 7407{,}58 * 6{,}6 + 7407{,}58 * 9{,}5 + 7407{,}58 * 12{,}4 + 7261{,}06 * 15{,}3 + 3557{,}27 * 18{,}2}\right)$$

$$= 621{,}53\ kN$$

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

$$\sum F_{b,i} = 1284{,}88 + 2204{,}79 + 1822{,}95 + 1396{,}61 + 970{,}98 + 621{,}53 = 8301{,}05$$

$$8301{,}05 = 8301{,}05$$

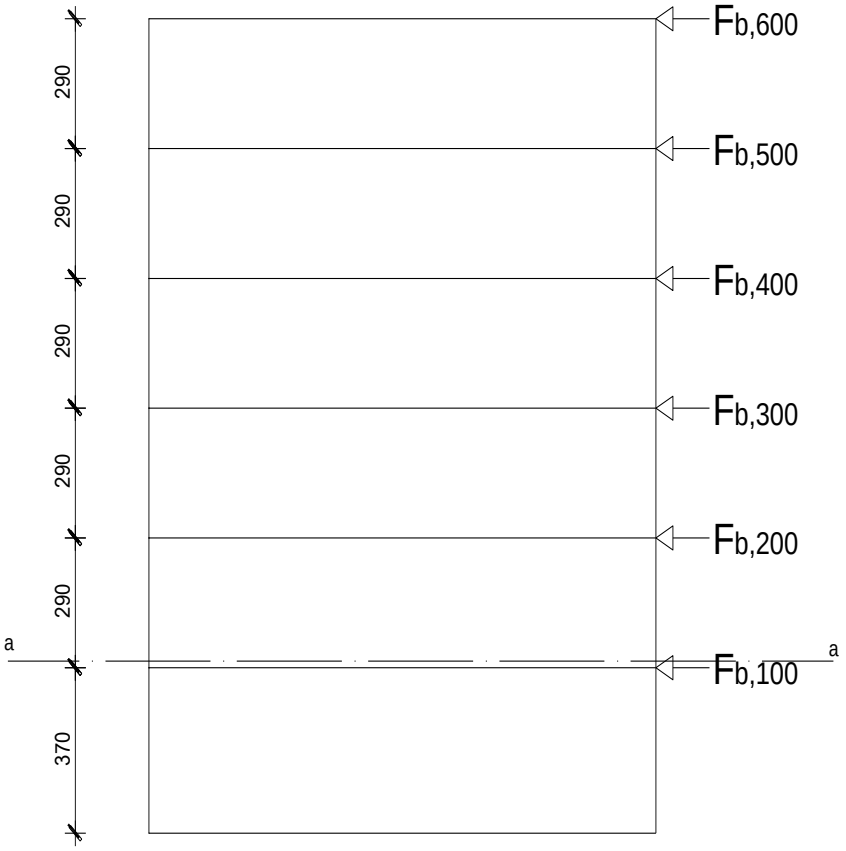
Ukupna poprečna sila uslijed potresa na promatranoj etaži iznosi:

$$V_{sd}{}^{a-a} = F_b - F_{b,100} = 8301{,}05 - 621{,}53 = 7679{,}52\ kN$$

Ukupan moment savijanja:

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

$$\mathrm{M_{Ed}}{}^{a-a} = 970{,}98 * (6{,}6 - 3{,}7) + 1396{,}61 * (9{,}5 - 3{,}7) + 1822{,}95 * (12{,}4 - 3{,}7) + 2204{,}79 * (15{,}3 - 3{,}7) + 1284{,}88 * (18{,}2 - 3{,}7) = 70982{,}17\ kN$$




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

**Tablica 5.3.** Proračun sila od potresa, smjer X

**Proračun sila od potresa - smjer X**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V_{Ed}$= | 7680 | kN | = ukupna poprečna sila od potresa |
| $M_{Ed}$= | **70982,2** | kNm | = ukupan moment od potresa |
| E= | 4784 | MPa | = modul elastičnosti |
| G= | 765,4 | MPa | = modul posmika |
| $f_k$= | 4,78 | MPa | = tlačna čvrstoća zida |
| $f_{vk}$= | 0,75 | MPa | = posmična čvrstoća zida |
| $\gamma_M$= | 1,50 | | = parcijalni faktor sigurnosti za zide |
| $\gamma_s$= | 1,00 | | = parcijalni faktor sigurnosti za armaturu |

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

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

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

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zid | debljina zida t [m] | duljina zida L [m] | površina zida A [m2] | Σ duljina otvora Li [m] | visina zida H [m] | k1 | početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m] | moment od potresa $M_{Sd}$ [kNm] | poprečna sila od pot. $V_{Sd}$ [kN] | stalno djelovanje $N_G$ [kN] | promjenjivo djelovanje $N_Q$ [kN] | **računska vert. sila $N_{Sd}$ [kN]** | krak unut. sila z [m] | **računsko djelovanje $F_{Sd,i}$ [kN]** | duljina tlačne zone xu [m] | **računska nosivost $V_{Rd}$ [kN]** | **računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]** | **$V_{Sd}/V_{Rd}$ [%]** | **$F_{Sd}/F_{Rd}$ [%]** | **Armat. As [cm2]** |
| Zx1/A-F | 0,30 | 13,90 | 4,17 | 6,30 | 14,50 | 0,47 | 54,2 | 8164 | 883 | 1919 | 382 | **1976,3** | 11,12 | **1722,3** | 5,56 | **1459,5** | **5315,4** | **60,5** | **32,4** | **-5,1** |
| Zx2/A-F | 0,30 | 13,90 | 4,17 | 1,60 | 14,50 | 0,86 | 100,4 | 15121 | 1636 | 3260 | 657 | **3358,6** | 11,12 | **3039,1** | 5,56 | **1459,5** | **5315,4** | **112,1** | **57,2** | **-6,4** |
| Zx3/D-F | 0,30 | 4,80 | 1,44 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 10,8 | 1628 | 176 | 1446 | 300 | **1491,0** | 3,84 | **1169,4** | 1,92 | **504,0** | **1835,5** | **34,9** | **63,7** | **-6,4** |
| Zx4/A-F | 0,30 | 13,90 | 4,17 | 1,60 | 14,50 | 0,86 | 100,4 | 15121 | 1636 | 2895 | 566 | **2979,9** | 11,12 | **2849,8** | 5,56 | **1459,5** | **5315,4** | **112,1** | **53,6** | **-2,6** |
| Zx5/A-F | 0,30 | 13,90 | 4,17 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 116,1 | 17490 | 1892 | 3831 | 780 | **3948,0** | 11,12 | **3546,8** | 5,56 | **1459,5** | **5315,4** | **129,6** | **66,7** | **-8,0** |
| Zx6/A-B | 0,30 | 3,40 | 1,02 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 4,2 | 632 | 68 | 910 | 184 | **937,6** | 2,72 | **701,2** | 1,36 | **357,0** | **1300,2** | **19,2** | **53,9** | **-4,7** |
| Zx7/D-F | 0,30 | 7,40 | 2,22 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 32,1 | 4830 | 523 | 1859 | 370 | **1914,5** | 5,92 | **1773,1** | 2,96 | **777,0** | **2829,8** | **67,2** | **62,7** | **-2,8** |
| Zx8/A-C | 0,30 | 4,75 | 1,43 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 10,5 | 1583 | 171 | 1091 | 212 | **1122,8** | 3,80 | **978,0** | 1,90 | **498,8** | **1816,4** | **34,3** | **53,8** | **-2,9** |
| Zx9/D-F | 0,30 | 7,40 | 2,22 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 32,1 | 4830 | 523 | 1845 | 366 | **1899,9** | 5,92 | **1765,8** | 2,96 | **777,0** | **2829,8** | **67,2** | **62,4** | **-2,7** |
| Zx10/A-C | 0,30 | 4,75 | 1,43 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 10,5 | 1583 | 171 | 1091 | 212 | **1122,8** | 3,80 | **978,0** | 1,90 | **498,8** | **1816,4** | **34,3** | **53,8** | **-2,9** |
| Zx11/D-F | 0,30 | 7,40 | 2,22 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 32,1 | 4830 | 523 | 1751,0 | 343,0 | **1802,5** | 5,92 | **1717,1** | 2,96 | **777,0** | **2829,8** | **67,2** | **60,7** | **-1,7** |
| Zx12/A-B | 0,30 | 3,40 | 1,02 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 4,2 | 632 | 68 | 651,0 | 119,0 | **668,9** | 2,72 | **566,9** | 1,36 | **357,0** | **1300,2** | **19,2** | **43,6** | **-2,0** |
| Zx13/A-F | 0,30 | 13,90 | 4,17 | 2,30 | 14,50 | 0,81 | 93,5 | 14085 | 1524 | 1823,0 | 306,0 | **1868,9** | 11,12 | **2201,1** | 5,56 | **1459,5** | **5315,4** | **104,4** | **41,4** | **6,6** |

**Tablica 5.4.** Proračun sila od potresa, smjer Y

**Proračun sila od potresa - smjer Y**

| | | | |
|---|---|---|---|
| $V_{Ed}$= | 7680 | kN | = ukupna poprečna sila od potresa |
| $M_{Ed}$= | **70982,2** | kNm | = ukupan moment od potresa |
| E= | 4784 | MPa | = modul elastičnosti |
| G= | 765,4 | MPa | = modul posmika |
| $f_k$= | 4,78 | MPa | = tlačna čvrstoća zida |
| $f_{vk}$= | 0,75 | MPa | = posmična čvrstoća zida |
| $\gamma_M$= | 1,50 | | = parcijalni faktor sigurnosti za zide |
| $\gamma_s$= | 1,00 | | = parcijalni faktor sigurnosti za armaturu |

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

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

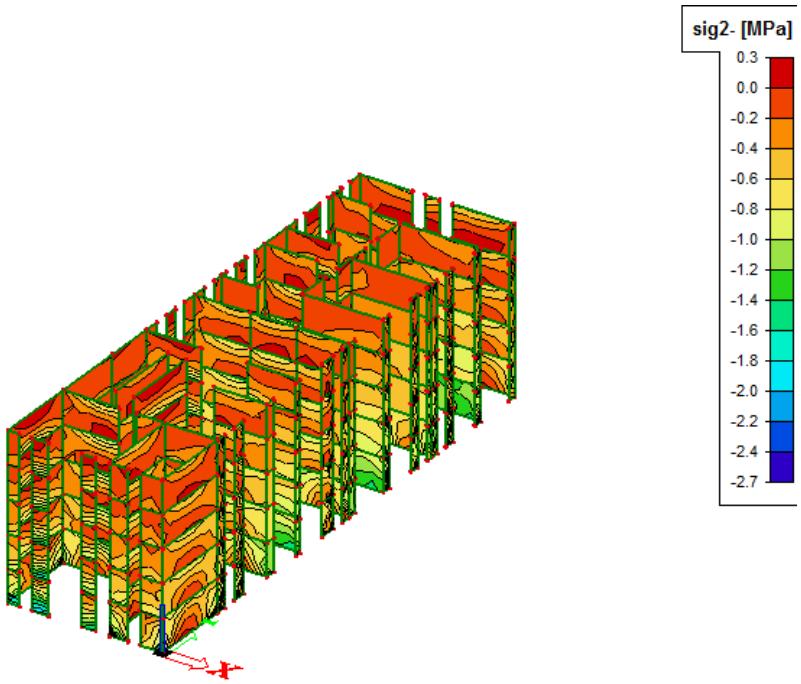
$$K_e = \frac{GA}{1.2h\left[1 + \alpha\frac{G}{E}\left(\frac{h}{L}\right)^2\right]}$$

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zid | debljina zida t [m] | duljina zida L [m] | površina zida A [m2] | Σ duljina otvora Li [m] | visina zida H [m] | k1 | početna krutost $K_{e,otv}$ [MN/m] | moment od potresa $M_{Sd}$ [kNm] | poprečna sila od pot. $V_{Sd}$ [kN] | stalno djelovanje $N_G$ [kN] | promjenjivo djelovanje $N_Q$ [kN] | **računska vert. sila $N_{Sd}$ [kN]** | krak unut. sila z [m] | **računsko djelovanje $F_{Sd,i}$ [kN]** | duljina tlačne zone xu [m] | **računska nosivost $V_{Rd}$ [kN]** | **računska nosivost $F_{m,Rd}$ [kN]** | **$V_{Sd}/V_{Rd}$ [%]** | **$F_{Sd}/F_{Rd}$ [%]** | **Armat. As [cm2]** |
| **ZyA/12-13** | 0,30 | 3,70 | 1,11 | 1,20 | 14,50 | 0,62 | 3,3 | 1197 | 129 | 390 | 65 | **399,8** | 2,96 | **604,2** | 1,48 | **388,5** | **1414,9** | **33,3** | **42,7** | **4,1** |
| **ZyA/10-12** | 0,30 | 6,15 | 1,85 | 2,40 | 14,50 | 0,54 | 11,1 | 4033 | 436 | 677 | 121 | **695,2** | 4,92 | **1167,2** | 2,46 | **645,8** | **2351,8** | **67,6** | **49,6** | **9,4** |
| **ZyA/8-10** | 0,30 | 2,95 | 0,89 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 2,8 | 1021 | 110 | 433 | 70 | **443,5** | 2,36 | **654,5** | 1,18 | **309,8** | **1128,1** | **35,7** | **58,0** | **4,2** |
| **ZyA/6-8** | 0,30 | 5,70 | 1,71 | 2,40 | 14,50 | 0,50 | 8,5 | 3106 | 336 | 771 | 150 | **793,5** | 4,56 | **1077,9** | 2,28 | **598,5** | **2179,7** | **56,1** | **49,5** | **5,7** |
| **ZyA/5-6** | 0,30 | 3,55 | 1,07 | 1,20 | 14,50 | 0,60 | 2,9 | 1039 | 112 | 403 | 70 | **413,5** | 2,84 | **572,4** | 1,42 | **372,8** | **1357,5** | **30,1** | **42,2** | **3,2** |
| **ZyA/4-5** | 0,30 | 6,45 | 1,94 | 2,40 | 14,50 | 0,56 | 13,0 | 4717 | 510 | 946 | 184 | **973,6** | 5,16 | **1400,9** | 2,58 | **677,3** | **2466,5** | **75,3** | **56,8** | **8,5** |
| **ZyA/2-4** | 0,30 | 10,90 | 3,27 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 74,0 | 26945 | 2915 | 1619 | 264 | **1658,6** | 8,72 | **3919,3** | 4,36 | **1144,5** | **4168,2** | **254,7** | **94,0** | **45,2** |
| **ZyA/1-2** | 0,30 | 7,45 | 2,24 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 32,6 | 11854 | 1283 | 1629 | 311 | **1675,7** | 5,96 | **2826,8** | 2,98 | **782,3** | **2848,9** | **164,0** | **99,2** | **23,0** |
| **ZyB/2-4** | 0,30 | 6,90 | 2,07 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 27,2 | 9884 | 1069 | 1017 | 165 | **1041,8** | 5,52 | **2311,4** | 2,76 | **724,5** | **2638,6** | **147,6** | **87,6** | **25,4** |
| **ZyC/2-4** | 0,30 | 6,90 | 2,07 | 1,60 | 14,50 | 0,73 | 19,7 | 7187 | 778 | 1346 | 248 | **1383,2** | 5,52 | **1993,7** | 2,76 | **724,5** | **2638,6** | **107,3** | **75,6** | **12,2** |
| **ZyD/9-11** | 0,30 | 6,45 | 1,94 | 1,60 | 14,50 | 0,71 | 16,3 | 5941 | 643 | 1409,0 | 290,0 | **1452,5** | 5,16 | **1877,6** | 2,58 | **677,3** | **2466,5** | **94,9** | **76,1** | **8,5** |
| **ZyD/7-9** | 0,30 | 6,60 | 1,98 | 1,60 | 14,50 | 0,71 | 17,4 | 6344 | 686 | 1918,0 | 416,0 | **1980,4** | 5,28 | **2191,7** | 2,64 | **693,0** | **2523,8** | **99,0** | **86,8** | **4,2** |
| **ZyE/1-2** | 0,30 | 7,00 | 2,10 | 1,25 | 14,50 | 0,79 | 22,2 | 8081 | 874 | 1649,0 | 339,0 | **1699,9** | 5,60 | **2293,0** | 2,80 | **735,0** | **2676,8** | **119,0** | **85,7** | **11,9** |
| **ZyF/1-2** | 0,30 | 7,60 | 2,28 | 0,00 | 14,50 | 1,00 | 34,1 | 12418 | 1343 | 1662,0 | 318,0 | **1709,7** | 6,08 | **2897,2** | 3,04 | **798,0** | **2906,2** | **168,4** | **99,7** | **23,8** |

## 5.4. PRIKAZ NAPREZANJA ZIDOVA

Prikaz naprezanja zidanih zidova konstrukcije sa AB prizemljem iz programskog modela za kombinaciju opterećenja GSN–1 (Crtež 5.4.) te za potresnu anvelopu opterećenja ANV 10-13 (Crtež 5.5.).

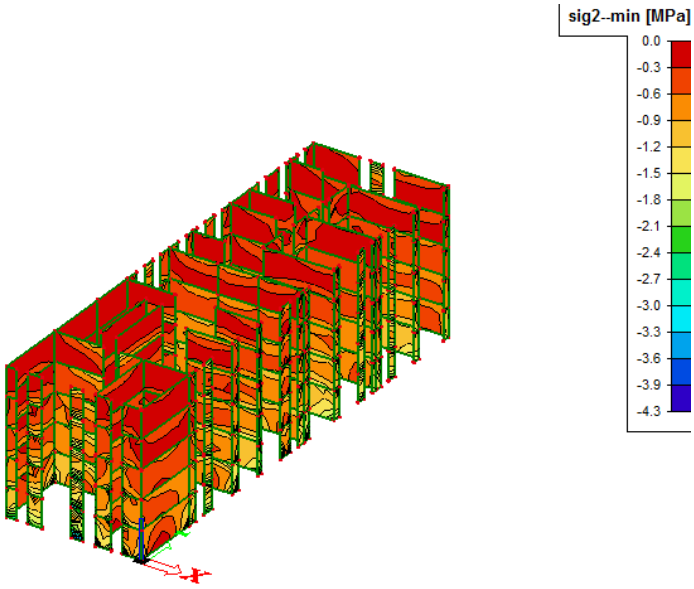
1) Osnovna kombinacija opterećenja




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

GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q

2) Anvelopa potresnog opterećenja




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

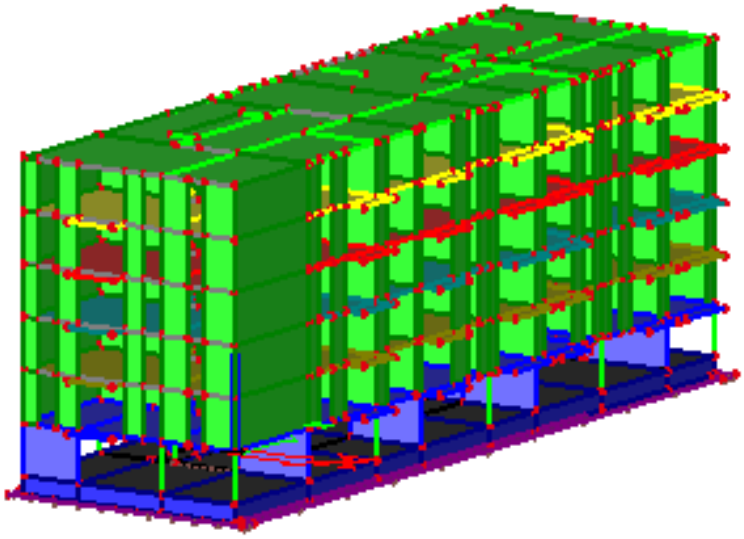
ANV 10-13

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

# 6. REZULTATI PRORAČUNA NA POTRES

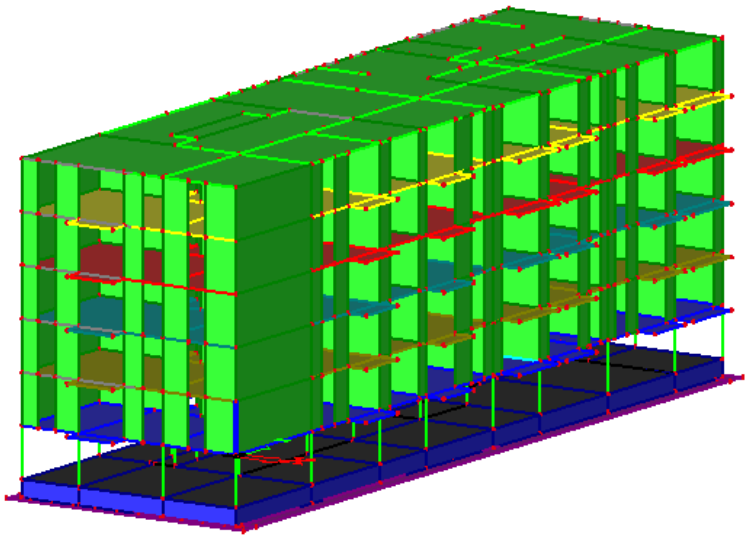
Proračun na potres je proveden u računalnom programu SCIA Engineer 16.1 u kojoj je napravljen model konstrukcije s armirano-betonskim prizemljem te model konstrukcije s prizemljem na stupovima. Oba analizirana modela temeljena su na trakastom tipu temelja.

1) Model konstrukcije sa AB prizemljem



**Crtež 6.1**. Prikaz modela zidane zgrade sa AB prizemljem

2) Model konstrukcije sa prizemljem na stupovima



**Crtež 6.2.** Prikaz modela zidane zgrade sa prizemljem na stupovima

## 6.1. PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA ZGRADU S AB PRIZEMLJEM

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 | 16.9854 | 0.3699 | 2.7033 | 0.2035 | 0.2261 | 0.0001 | 0.0372 | 0.1172 | 0.1925 |
| 2 | 18.6211 | 0.3374 | 2.9636 | 0.3973 | 0.1821 | 0.0000 | 0.0266 | 0.2349 | 0.0430 |
| 3 | 23.4307 | 0.2682 | 3.7291 | 0.0113 | 0.2539 | 0.0000 | 0.0428 | 0.0072 | 0.3992 |
| 4 | 47.6398 | 0.1319 | 7.5821 | 0.0000 | 0.0074 | 0.6004 | 0.2200 | 0.0002 | 0.0000 |
| 5 | 50.7921 | 0.1237 | 8.0838 | 0.0012 | 0.0125 | 0.3248 | 0.4675 | 0.0021 | 0.0010 |
| 6 | 55.9538 | 0.1123 | 8.9053 | 0.0012 | 0.0071 | 0.0005 | 0.0483 | 0.0012 | 0.0016 |
| 7 | 58.6757 | 0.1071 | 9.3385 | 0.0093 | 0.0870 | 0.0034 | 0.0222 | 0.0212 | 0.0457 |
| 8 | 60.8092 | 0.1033 | 9.6781 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 9 | 62.8737 | 0.0999 | 10.0067 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0002 |
| 10 | 64.5947 | 0.0973 | 10.2806 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0005 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0003 |
| 11 | 64.8154 | 0.0969 | 10.3157 | 0.0011 | 0.0024 | 0.0095 | 0.0019 | 0.1718 | 0.0374 |
| 12 | 65.9768 | 0.0952 | 10.5005 | 0.0574 | 0.0385 | 0.0025 | 0.0145 | 0.1622 | 0.0045 |
| 13 | 69.2974 | 0.0907 | 11.0290 | 0.0127 | 0.0000 | 0.0016 | 0.0058 | 0.0199 | 0.0023 |
| 14 | 70.1310 | 0.0896 | 11.1617 | 0.0493 | 0.0005 | 0.0011 | 0.0027 | 0.0315 | 0.0021 |
| 15 | 71.7051 | 0.0876 | 11.4122 | 0.0266 | 0.0001 | 0.0009 | 0.0168 | 0.0164 | 0.0141 |
| 16 | 72.2564 | 0.0870 | 11.5000 | 0.0177 | 0.0268 | 0.0097 | 0.0064 | 0.0666 | 0.1126 |
| 17 | 79.2686 | 0.0793 | 12.6160 | 0.0017 | 0.0001 | 0.0046 | 0.0061 | 0.0000 | 0.0005 |
| 18 | 79.3274 | 0.0792 | 12.6254 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0000 |
| 19 | 81.2076 | 0.0774 | 12.9246 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 |
| 20 | 82.2153 | 0.0764 | 13.0850 | 0.0015 | 0.0009 | 0.0006 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0045 |
| 21 | 83.0275 | 0.0757 | 13.2142 | 0.0129 | 0.0058 | 0.0017 | 0.0038 | 0.0051 | 0.0264 |
| 22 | 84.9381 | 0.0740 | 13.5183 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0000 | 0.0005 |
| 23 | 87.2874 | 0.0720 | 13.8922 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 24 | 88.6624 | 0.0709 | 14.1111 | 0.0029 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0006 | 0.0003 | 0.0023 |
| 25 | 89.4635 | 0.0702 | 14.2386 | 0.0014 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0002 |
| 26 | 89.7377 | 0.0700 | 14.2822 | 0.0007 | 0.0016 | 0.0005 | 0.0022 | 0.0011 | 0.0007 |
| 27 | 89.7790 | 0.0700 | 14.2888 | 0.0014 | 0.0005 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0004 |
| 28 | 90.9298 | 0.0691 | 14.4719 | 0.0009 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0023 |
| 29 | 91.6443 | 0.0686 | 14.5856 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0002 |
| 30 | 93.7333 | 0.0670 | 14.9181 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0073 | 0.0008 | 0.0008 | 0.0005 |
| 31 | 94.9088 | 0.0662 | 15.1052 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 32 | 96.8187 | 0.0649 | 15.4092 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 33 | 97.3572 | 0.0645 | 15.4949 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0005 |
| 34 | 98.4295 | 0.0638 | 15.6655 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0002 |
| 35 | 99.6633 | 0.0630 | 15.8619 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 36 | 100.1539 | 0.0627 | 15.9400 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0006 |
| 37 | 101.3755 | 0.0620 | 16.1344 | 0.0007 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0007 | 0.0010 | 0.0001 |
| 38 | 102.1649 | 0.0615 | 16.2600 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 39 | 104.0444 | 0.0604 | 16.5592 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0002 |
| 40 | 105.4374 | 0.0596 | 16.7809 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 41 | 105.7564 | 0.0594 | 16.8316 | 0.0010 | 0.0015 | 0.0017 | 0.0018 | 0.0029 | 0.0003 |
| 42 | 106.8694 | 0.0588 | 17.0088 | 0.0053 | 0.0490 | 0.0001 | 0.0171 | 0.0050 | 0.0178 |
| 43 | 107.4469 | 0.0585 | 17.1007 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0001 |
| 44 | 107.6069 | 0.0584 | 17.1262 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0006 |
| 45 | 108.3886 | 0.0580 | 17.2506 | 0.0000 | 0.0014 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0001 | 0.0005 |
| 46 | 110.1859 | 0.0570 | 17.5366 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0013 |
| 47 | 110.5467 | 0.0568 | 17.5940 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0000 |
| 48 | 110.9552 | 0.0566 | 17.6591 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 49 | 112.3788 | 0.0559 | 17.8856 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0000 |
| 50 | 112.6944 | 0.0558 | 17.9359 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0001 | 0.0000 |
| | | | | 0.9122 | 0.9104 | 0.9760 | 0.9541 | 0.8727 | 0.9176 |

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 91,22 %

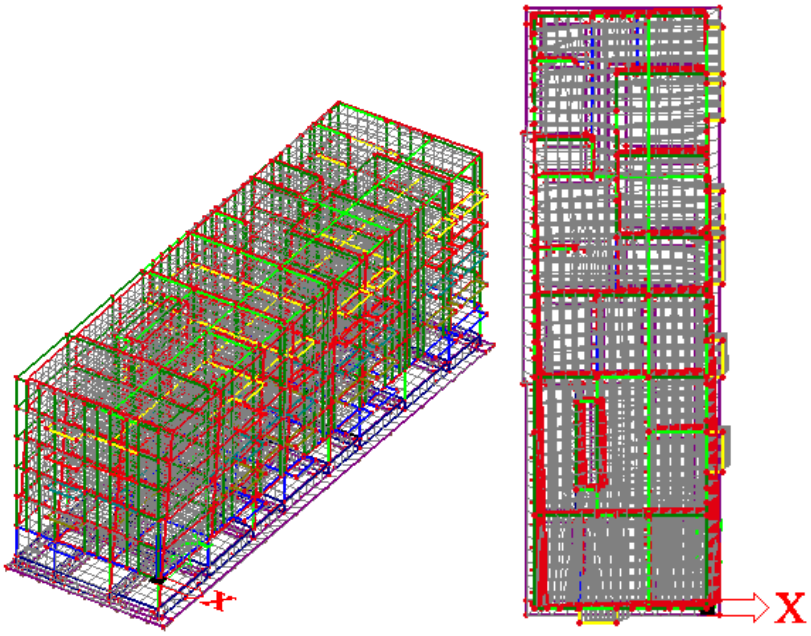
- za Y smjer 91,04 %

- za Z smjer 97,60 %

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

a) Prvi vlastiti vektor

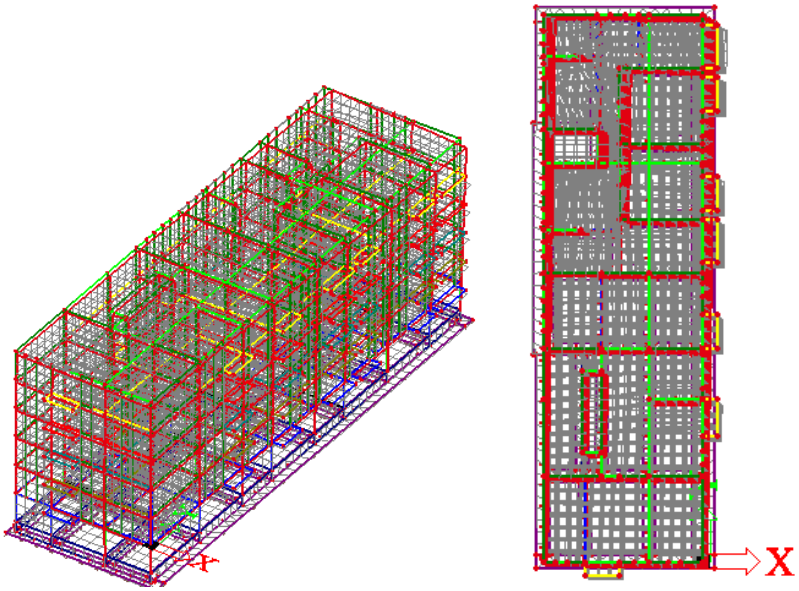
- period 0,3699 s
- aktivirano mase u X smjeru 20,35 %
- aktivirano mase u Y smjeru 22,61 %




**Crtež 6.3**. Mod 1

b) Drugi vlastiti vektor

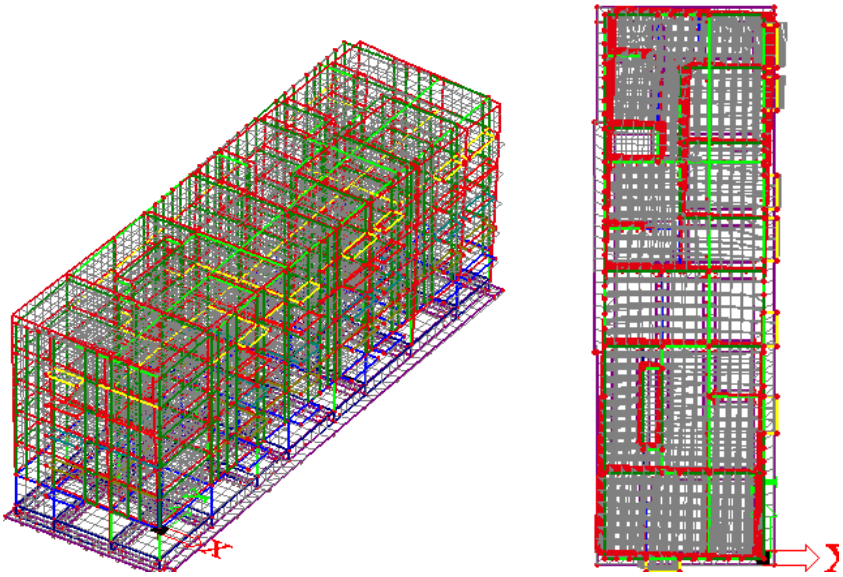
- period 0,3374 s
- aktivirano mase u X smjeru 39,7 %
- aktivirano mase u Y smjeru 18,21 %




**Crtež 6.4.** Mod 2

c) Treći vlastiti vektor

- period 0,2682 s
- aktivirano mase u X smjeru 1,13 %
- aktivirano mase u Y smjeru 25,39 %



**Crtež 6.5.** Mod 3

## 6.2. PRIKAZ GLAVNIH VEKTORA ZA ZGRADU NA STUPOVIMA

Spektralnom analizom obuhvaćeno je prvih 70 modova konstrukcije.

**Tablica 6.2**. 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 | 17.5413 | 0.3582 | 2.7918 | 0.4619 | 0.0593 | 0.0000 | 0.0115 | 0.2507 | 0.1017 |
| 2 | 18.9094 | 0.3323 | 3.0095 | 0.1629 | 0.2794 | 0.0000 | 0.0491 | 0.0848 | 0.1810 |
| 3 | 23.0836 | 0.2722 | 3.6739 | 0.0067 | 0.3113 | 0.0000 | 0.0549 | 0.0035 | 0.3645 |
| 4 | 47.9522 | 0.1310 | 7.6318 | 0.0001 | 0.0043 | 0.7386 | 0.1290 | 0.0005 | 0.0000 |
| 5 | 50.1584 | 0.1253 | 7.9830 | 0.0014 | 0.0216 | 0.1952 | 0.5805 | 0.0029 | 0.0017 |
| 6 | 54.3547 | 0.1156 | 8.6508 | 0.0097 | 0.0835 | 0.0008 | 0.0017 | 0.0173 | 0.0374 |
| 7 | 56.7961 | 0.1106 | 9.0394 | 0.0345 | 0.0196 | 0.0020 | 0.0359 | 0.0734 | 0.0430 |
| 8 | 58.4755 | 0.1074 | 9.3067 | 0.1642 | 0.0382 | 0.0022 | 0.0259 | 0.3350 | 0.0005 |
| 9 | 60.8244 | 0.1033 | 9.6805 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 10 | 62.8990 | 0.0999 | 10.0107 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0012 | 0.0015 |
| 11 | 63.3179 | 0.0992 | 10.0774 | 0.0186 | 0.0066 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0523 | 0.1020 |
| 12 | 64.6186 | 0.0972 | 10.2844 | 0.0002 | 0.0005 | 0.0008 | 0.0009 | 0.0004 | 0.0005 |
| 13 | 66.0893 | 0.0951 | 10.5184 | 0.0024 | 0.0253 | 0.0151 | 0.0067 | 0.0028 | 0.0268 |
| 14 | 69.5057 | 0.0904 | 11.0622 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0026 | 0.0003 | 0.0013 |
| 15 | 70.0491 | 0.0897 | 11.1487 | 0.0016 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0011 | 0.0122 | 0.0007 |
| 16 | 72.0026 | 0.0873 | 11.4596 | 0.0000 | 0.0005 | 0.0037 | 0.0228 | 0.0045 | 0.0000 |
| 17 | 79.3248 | 0.0792 | 12.6249 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 18 | 79.7376 | 0.0788 | 12.6906 | 0.0010 | 0.0000 | 0.0074 | 0.0013 | 0.0023 | 0.0007 |
| 19 | 81.1522 | 0.0774 | 12.9158 | 0.0003 | 0.0009 | 0.0005 | 0.0021 | 0.0000 | 0.0009 |
| 20 | 81.5110 | 0.0771 | 12.9729 | 0.0009 | 0.0026 | 0.0012 | 0.0060 | 0.0000 | 0.0029 |
| 21 | 82.4375 | 0.0762 | 13.1203 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0004 |
| 22 | 85.7116 | 0.0733 | 13.6414 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0011 | 0.0001 | 0.0000 |
| 23 | 87.3083 | 0.0720 | 13.8956 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 24 | 88.1112 | 0.0713 | 14.0233 | 0.0007 | 0.0005 | 0.0008 | 0.0000 | 0.0019 | 0.0005 |
| 25 | 89.1745 | 0.0705 | 14.1926 | 0.0001 | 0.0010 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0009 | 0.0000 |
| 26 | 89.7669 | 0.0700 | 14.2868 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 27 | 90.5649 | 0.0694 | 14.4139 | 0.0002 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0011 |
| 28 | 91.6447 | 0.0686 | 14.5857 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 |
| 29 | 92.2960 | 0.0681 | 14.6894 | 0.0000 | 0.0015 | 0.0006 | 0.0047 | 0.0001 | 0.0013 |
| 30 | 93.9940 | 0.0668 | 14.9596 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0076 | 0.0047 | 0.0000 | 0.0001 |
| 31 | 94.9223 | 0.0662 | 15.1074 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 32 | 96.8291 | 0.0649 | 15.4108 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 33 | 97.3839 | 0.0645 | 15.4991 | 0.0002 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 |
| 34 | 98.9120 | 0.0635 | 15.7423 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0002 |
| 35 | 99.6828 | 0.0630 | 15.8650 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 36 | 100.6451 | 0.0624 | 16.0182 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0001 |
| 37 | 102.1610 | 0.0615 | 16.2594 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 38 | 103.2053 | 0.0609 | 16.4256 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0011 | 0.0006 | 0.0003 |
| 39 | 103.4870 | 0.0607 | 16.4705 | 0.0027 | 0.0445 | 0.0000 | 0.0128 | 0.0025 | 0.0114 |
| 40 | 104.2824 | 0.0603 | 16.5971 | 0.0005 | 0.0080 | 0.0000 | 0.0025 | 0.0004 | 0.0016 |
| 41 | 105.4618 | 0.0596 | 16.7848 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 42 | 107.2551 | 0.0586 | 17.0702 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 43 | 107.5090 | 0.0584 | 17.1106 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 44 | 108.3773 | 0.0580 | 17.2488 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0000 |
| 45 | 109.6037 | 0.0573 | 17.4440 | 0.0006 | 0.0009 | 0.0004 | 0.0000 | 0.0018 | 0.0003 |
| 46 | 110.9500 | 0.0566 | 17.6582 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 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 / Spectrai |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 47 | 111.2481 | 0.0565 | 17.7057 | 0.0001 | 0.0002 | 0.0001 | 0.0009 | 0.0000 | 0.0000 |
| 48 | 112.3652 | 0.0559 | 17.8835 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0004 | 0.0001 | 0.0007 | 0.0002 |
| 49 | 112.6715 | 0.0558 | 17.9322 | 0.0004 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0005 |
| 50 | 112.8365 | 0.0557 | 17.9585 | 0.0005 | 0.0006 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0009 |
| 51 | 114.3149 | 0.0550 | 18.1938 | 0.0079 | 0.0059 | 0.0004 | 0.0020 | 0.0072 | 0.0008 |
| 52 | 116.3854 | 0.0540 | 18.5233 | 0.0503 | 0.0084 | 0.0005 | 0.0031 | 0.0616 | 0.0217 |
| 53 | 117.5322 | 0.0535 | 18.7058 | 0.0008 | 0.0006 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0015 |
| 54 | 119.1922 | 0.0527 | 18.9700 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0001 | 0.0000 |
| 55 | 120.0810 | 0.0523 | 19.1115 | 0.0001 | 0.0005 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0004 | 0.0002 |
| 56 | 121.5757 | 0.0517 | 19.3494 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0017 | 0.0016 | 0.0005 | 0.0001 |
| 57 | 122.2448 | 0.0514 | 19.4559 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0002 |
| 58 | 122.7634 | 0.0512 | 19.5384 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0003 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 |
| 59 | 123.9801 | 0.0507 | 19.7320 | 0.0177 | 0.0032 | 0.0003 | 0.0020 | 0.0216 | 0.0200 |
| 60 | 125.1865 | 0.0502 | 19.9240 | 0.0018 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0017 | 0.0020 |
| 61 | 125.8581 | 0.0499 | 20.0309 | 0.0235 | 0.0022 | 0.0000 | 0.0007 | 0.0235 | 0.0291 |
| 62 | 126.5107 | 0.0497 | 20.1348 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0002 |
| 63 | 127.3551 | 0.0493 | 20.2692 | 0.0000 | 0.0020 | 0.0003 | 0.0008 | 0.0002 | 0.0012 |
| 64 | 128.2330 | 0.0490 | 20.4089 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0003 | 0.0001 |
| 65 | 130.6607 | 0.0481 | 20.7953 | 0.0000 | 0.0029 | 0.0000 | 0.0008 | 0.0001 | 0.0000 |
| 66 | 131.7279 | 0.0477 | 20.9652 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 |
| 67 | 132.6093 | 0.0474 | 21.1054 | 0.0001 | 0.0130 | 0.0010 | 0.0037 | 0.0001 | 0.0038 |
| 68 | 133.0634 | 0.0472 | 21.1777 | 0.0011 | 0.0338 | 0.0000 | 0.0067 | 0.0008 | 0.0088 |
| 69 | 134.2449 | 0.0468 | 21.3657 | 0.0000 | 0.0001 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| 70 | 134.7548 | 0.0466 | 21.4469 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0002 | 0.0000 |
| | | | | 0.9775 | 0.9884 | 0.9848 | 0.9848 | 0.9740 | 0.9765 |

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.

Spektralnom analizom je obuhvaćeno prvih 70 modova konstrukcije.

Ukupna aktivirana masa po smjerovima iznosi:

- za X smjer 97,75 %

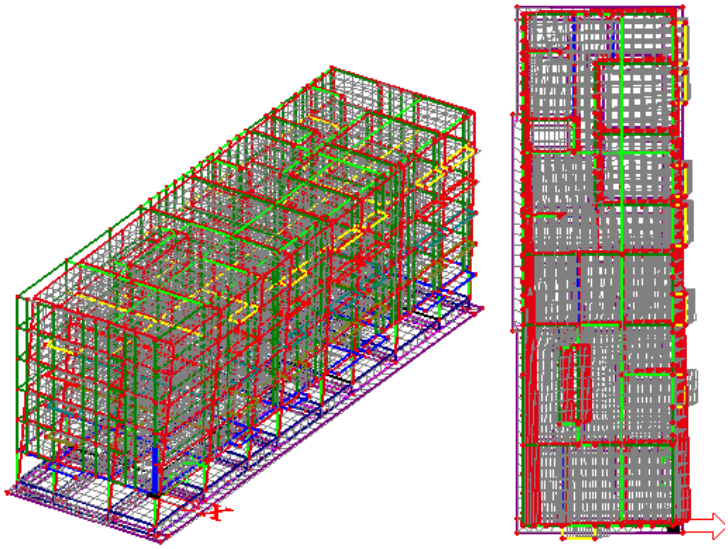
- za Y smjer 98,84 %

- za Z smjer 98,48 %

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

a) Prvi vlastiti vektor

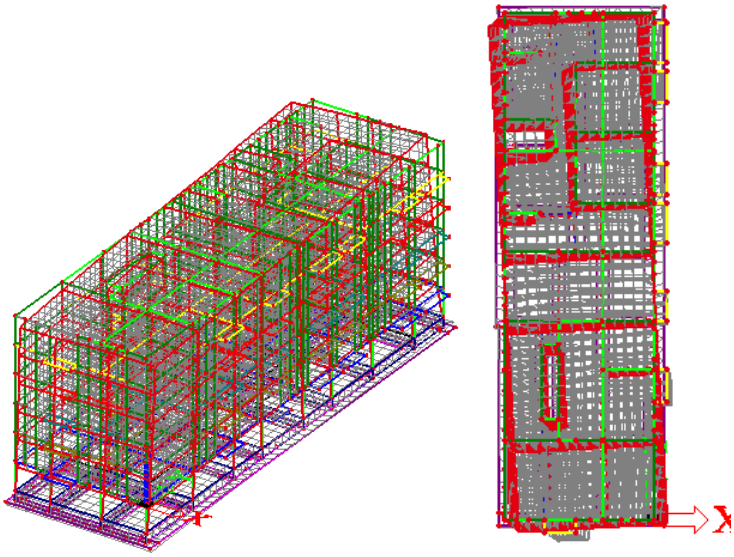
- period 0,3582 s
- aktivirano mase u X smjeru 46,19 %
- aktivirano mase u Y smjeru 5,93 %



**Crtež 6.6**. Mod 1

b) Drugi vlastiti vektor

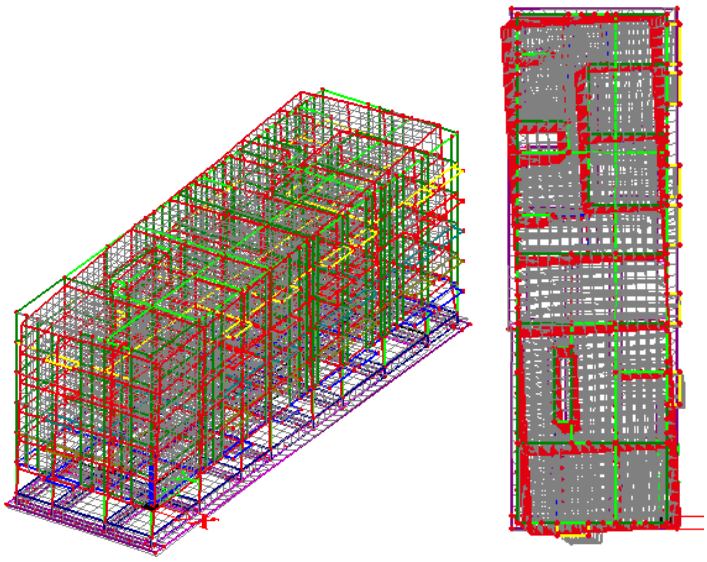
- period 0,3323 s
- aktivirano mase u X smjeru 16,29 %
- aktivirano mase u Y smjeru 27,94 %



**Crtež 6.7**. Mod 2

c) Treći vlastiti vektor

- period 0,2722 s
- aktivirano mase u X smjeru 0,67 %
- aktivirano mase u Y smjeru 31,13 %



**Crtež 6.8**. 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.

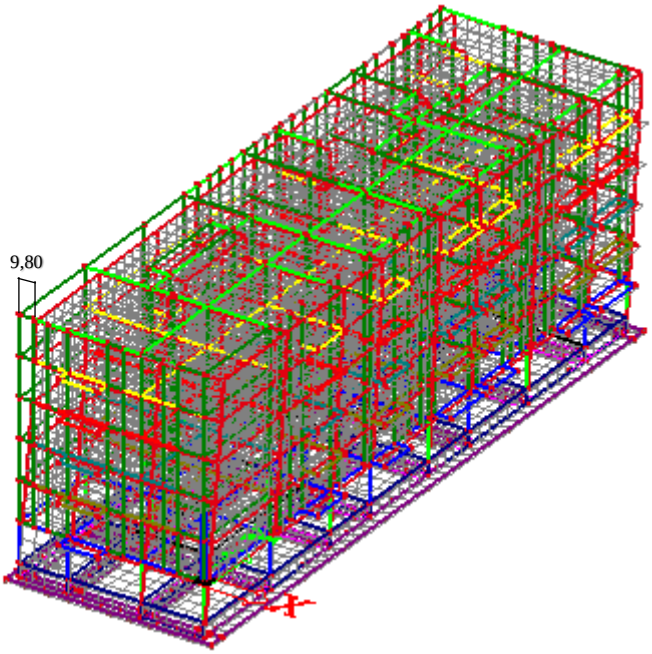
Računsko ubrzanje tla: ($T_{NCR}$ =95 godina; 10 godina; $P_{NCR}$=10%): $a_{gr,GSU}$ = 0,12 g = 1,10 m/s$^2$

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

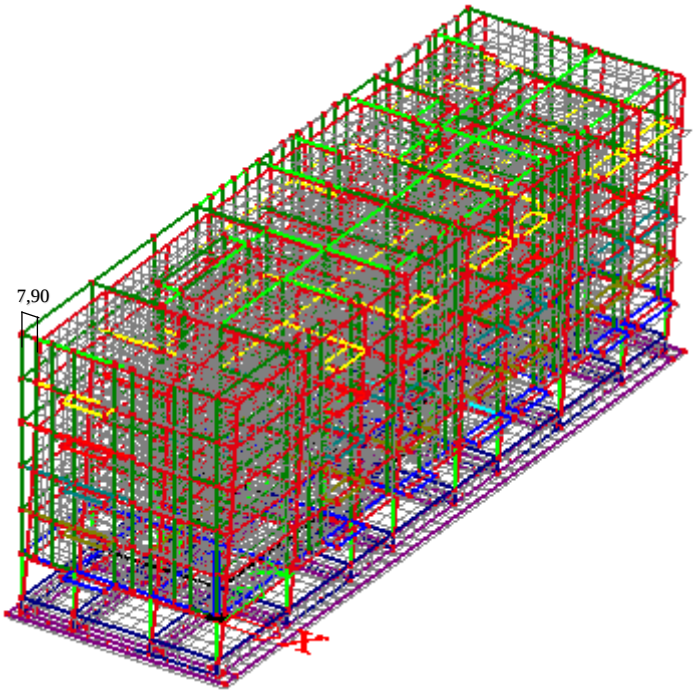
Vrijednost faktora ν za proračun graničnog stanja ograničenog oštećenja je ν =1,0.

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

Na oba prikazana modela konstrukcije u x i u y smijeru 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 s AB prizemljem za opterećenje kombinacijom GSN-11




**Crtež 6.10.** Deformacija konstrukcije s prizemljem na stupovima za opterećenje kombinacijom GSN-11

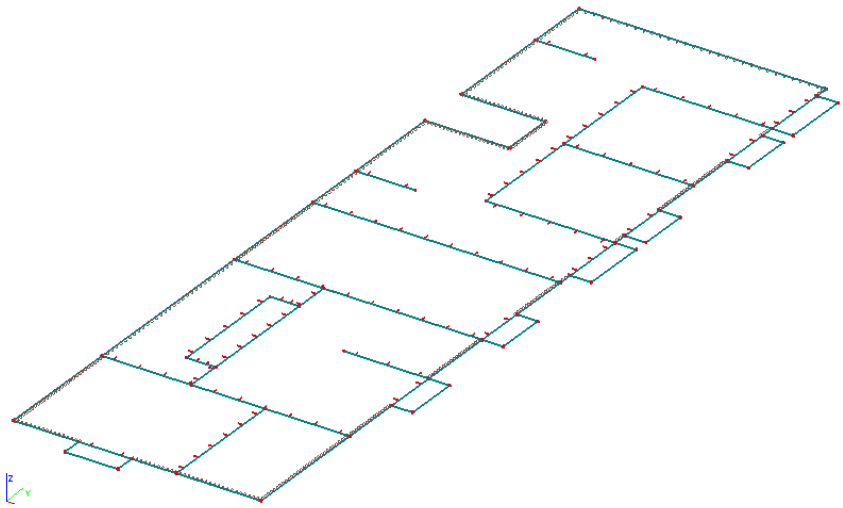
# 7.PRORAČUN KONSTRUKTIVNIH ELEMENATA

## 7.1.Ploče

### 7.1.1.Model

Model je napravljen u programskom paketu SCIA Engineer 16.1. Sve ploče izrađene su od betona klase C25/30 uz uvažavanje nelinearnog ponašanja betona preko paraboličnog radnog dijagrama te armirane čelikom za armiranje B500B. Debljina međuetažne AB ploče iznosi 20 cm. Određeni su momenti savijanja, progib i potrebna količina armature ploče za linearno stanje, progib uz uključenu materijalnu nelinearnost i puzanje.

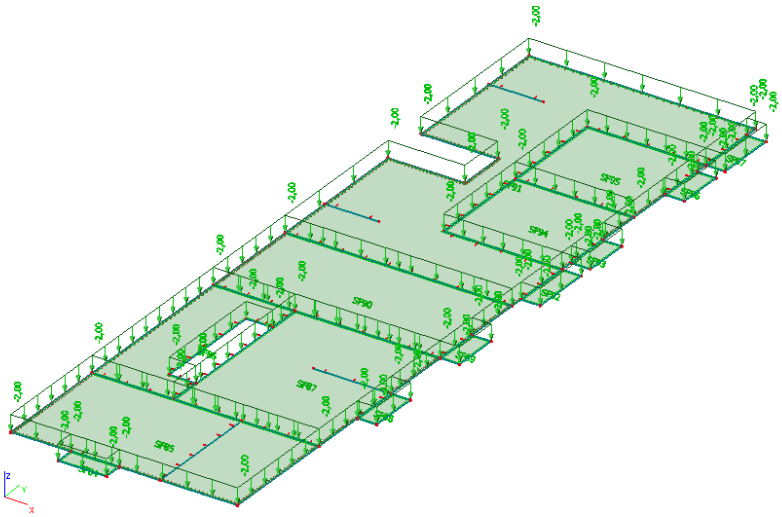
Max dopušteni progib ploča iznosi 7300 / 500 = 14,6 mm.



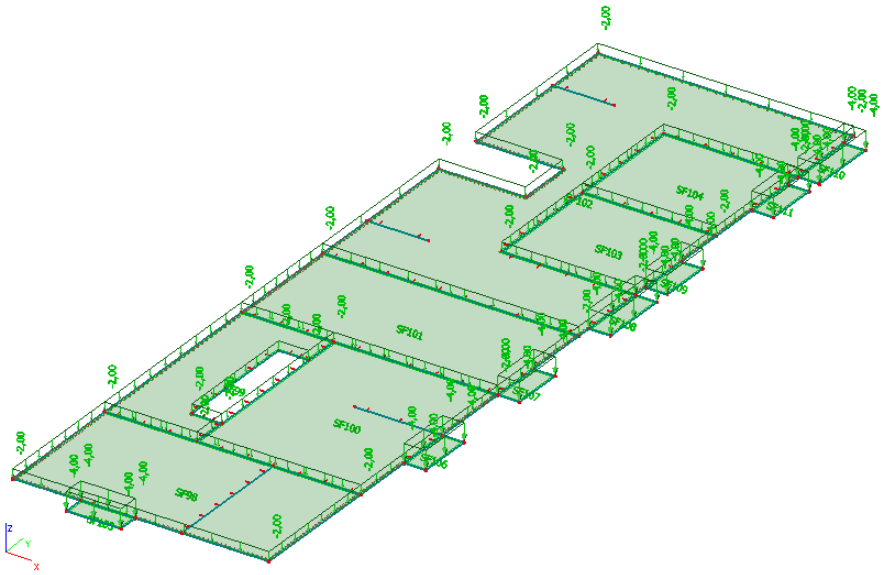
**Crtež 7.1.** Prikaz modela

### 7.1.2. Opterećenja ploče

Opterećenje ploče dijeli se na stalno i promjenjivo. U stalno opterećenje spada vlastita težina G0 i dodatno stalno opterećenje G. Promjenjivo opterećenje Q predstavlja uporabno opterećenje i utjecaj pokretne opreme.Vlastita težina zadana je automatski.



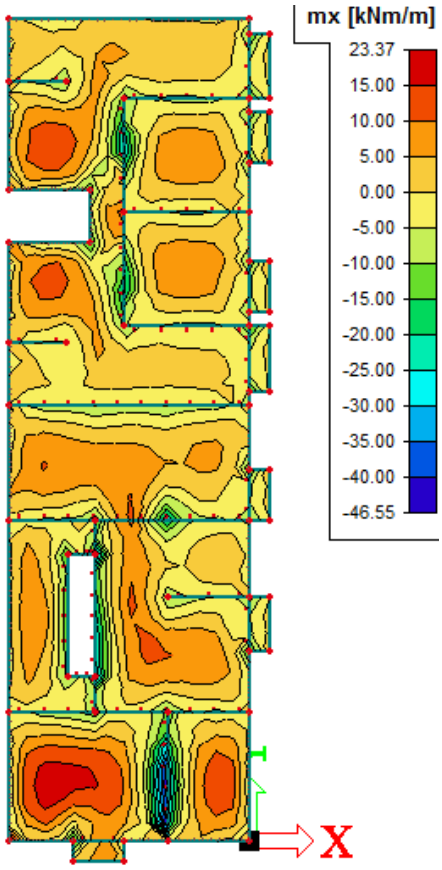
**Crtež 7.2**. Dodatno stalno opterećenje G [kN/m$^2$]



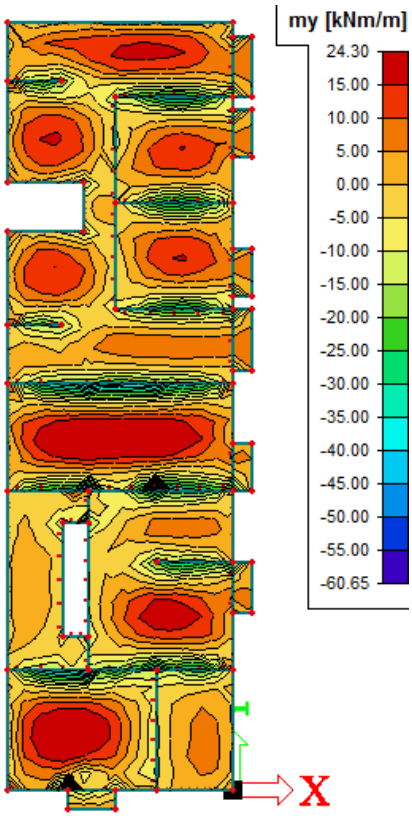
**Crtež 7.3**. Uporabno opterećenje Q [kN/m$^2$]

### 7.1.3.Prikaz rezultata

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




**Crtež 7.4.** Prikaz momenata savijanja $m_x$ [kNm/m] na pločama za osnovnu kombinaciju GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q




**Crtež 7.5.** Prikaz momenata savijanja $m_y$ [kNm/m] na pločama za osnovnu kombinaciju GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q

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

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

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

Maksimalni moment savijanja koji se javlja na ploči iznosi $M_x$ = 60,65 kNm što je manje od graničnog momenta nosivosti.

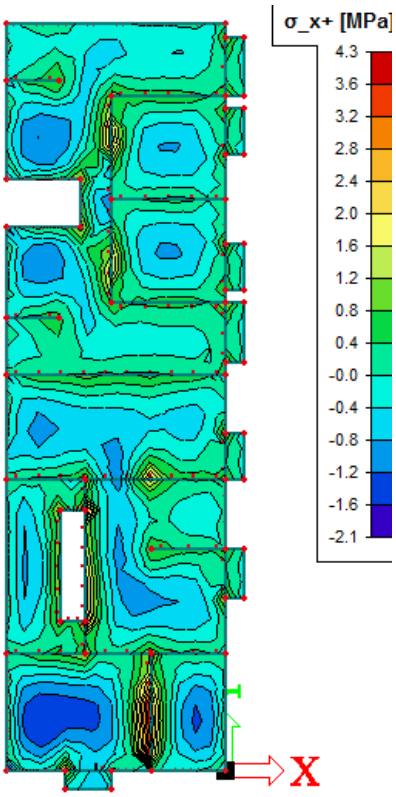
2) Provjera naprezanja u betonu

Naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju opterećenja

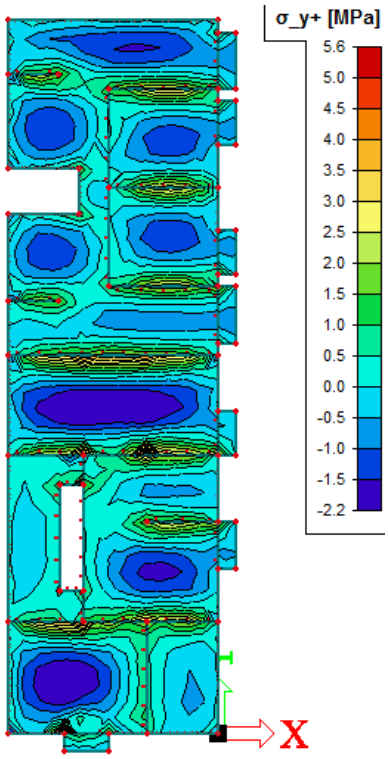
Tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

$\sigma_c \leq 0{,}45*f_{ck} = 0{,}45*25 = 11{,}25$ MPa

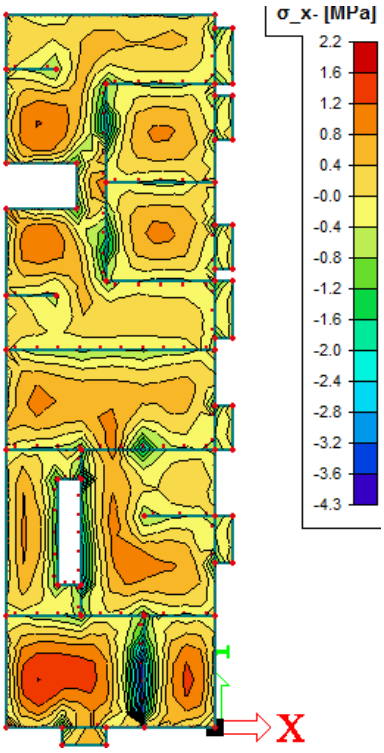
Na sljedećim crtežima (Crteži 7.6; 7.7; 7.8; 7.9) prikazana su naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju opterećenja.



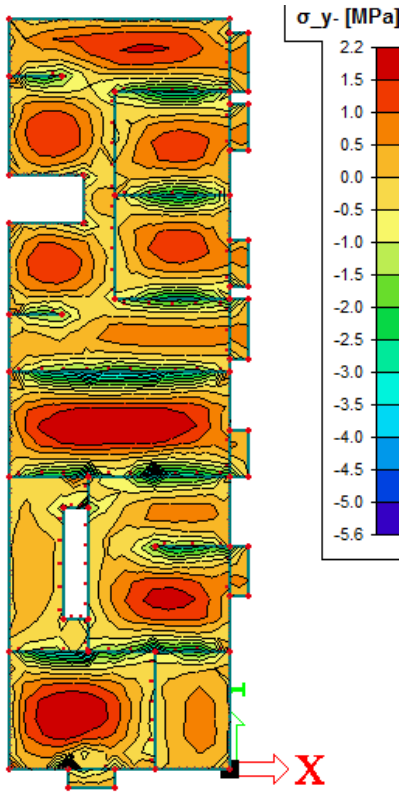

**Crtež 7.6**. Tlačna naprezanja u betonu na gornjoj plohi ploče $\sigma_{c,x,+}$ [MPa] u smjeru X za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1,0*(G0+G) + 0,3Q




**Crtež 7.7**. Tlačna naprezanja u betonu na gornjoj plohi ploče $\sigma_{c,y,+}$ [MPa] u smjeru Y za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1,0*(G0+G) + 0,3Q




**Crtež 7.8.** Tlačna naprezanja u betonu na donjoj plohi ploče $\sigma_{c,x,-}$ [MPa] u smjeru X za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1,0*(G0+G) + 0,3Q




**Crtež 7.9.** Tlačna naprezanja u betonu na donjoj plohi ploče $\sigma_{c,y,-}$ [MPa] u smjeru Y za nazovistalnu kombinaciju GSU-2: 1,0*(G0+G) + 0,3Q

Maksimalno tlačno naprezanje u betonu iznosi manje od dopuštenog.

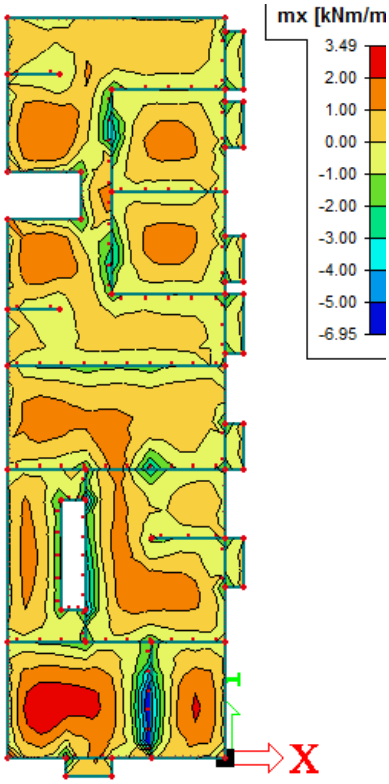
$\sigma_{c,max}$ = 5,6 MPa < 11,25 MPa

3) Prikaz potrebne armature

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

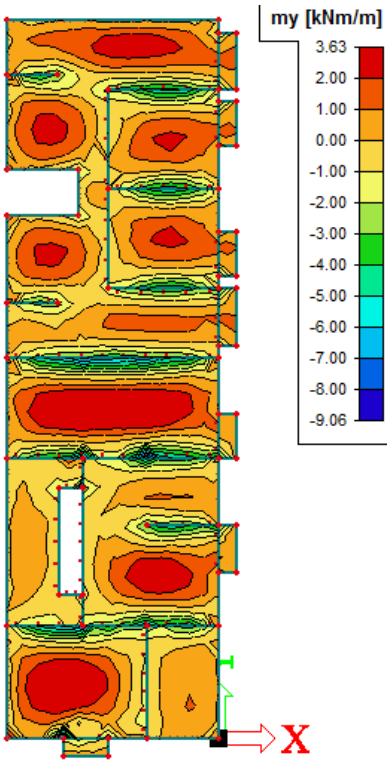
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0.9 \times 17{,}5 \times 43{,}48} = 0{,}15 \times M_{sd}$$

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




**Crtež 7.10**. Potrebna armatura [$cm^2/m$] u X smjeru

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




**Crtež 7.11**. Potrebna armatura [$cm^2/m$] u Y smjeru

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

Konačno, odabrane su sljedeće mreže prema prikazanoj shemi (Crtež 7.11. i Crtež 7.12.)

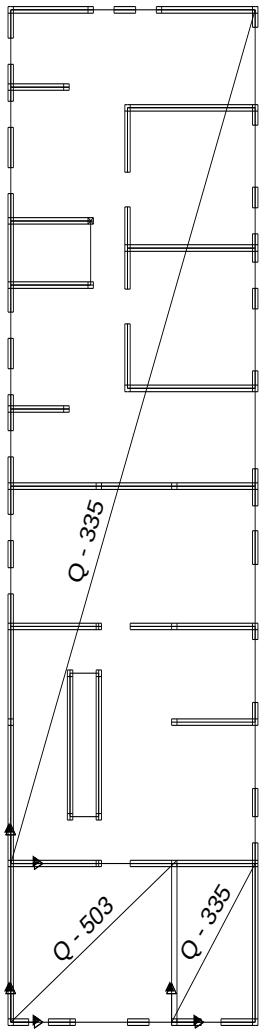
Q503 – donja zona u poljima

Q335 – donja zona u poljima

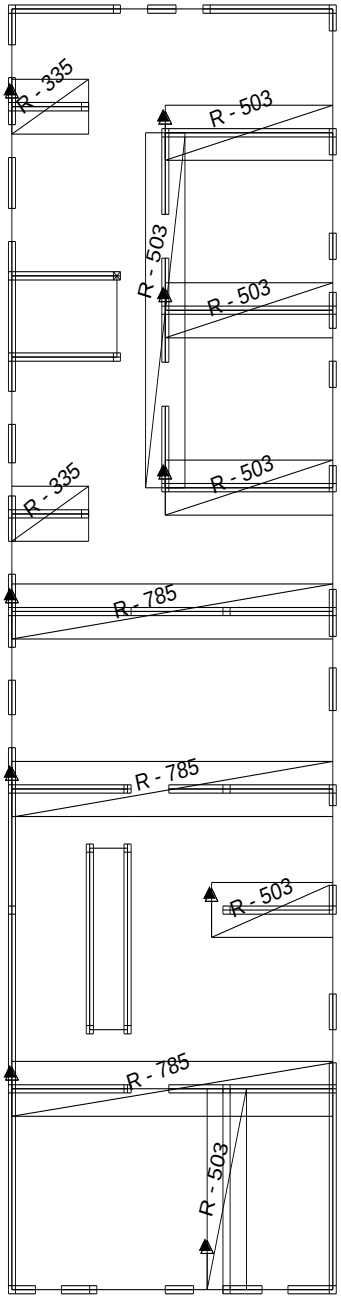
R335 – gornja zona nad ležajevima

R503 – gornja zona nad ležajevima

R785– gornja zona nad ležajevima



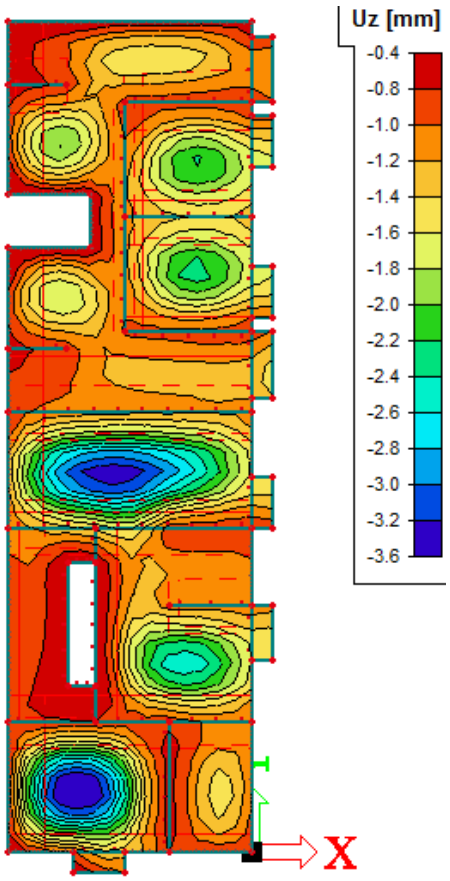

**Crtež 7.11.** Shema armature donje zone




**Crtež 7.12.** Shema armature gornje zone

4) Progib ploče

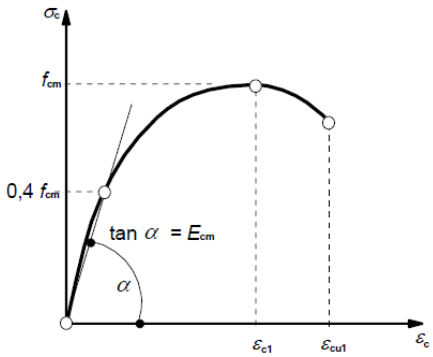
Progib za linearno stanje




**Crtež 7.13.** Prikaz progiba Uz[mm] za kombinaciju GSU-2: 1.0*(G0+G) + 0.3Q

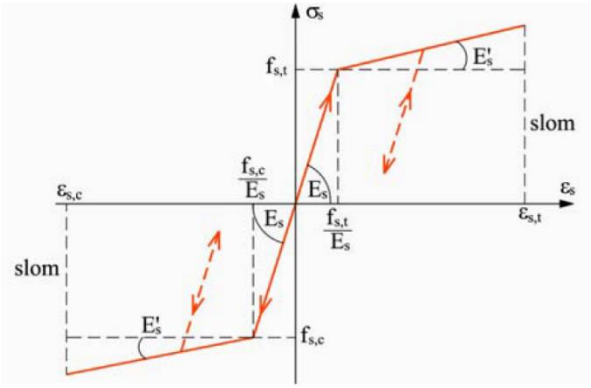
Progibi uz uključenu materijalnu nelinearnost

Radni dijagram betona:



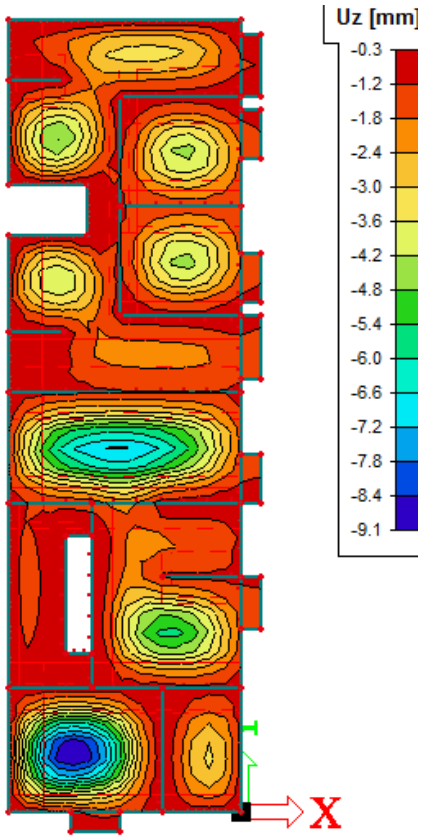

**Crtež 7.14.** Radni dijagram betona

Radni dijagram čelika:




**Crtež 7.15.** Radni dijagram čelika

Progibi uz uključenu materijalnu nelinearnost i puzanje




**Crtež 7.16**. Prikaz progiba Uz [mm]za kombinaciju GSU-2: 1.0*(G0+G) +0.3Q

Maksimalni progib ploča iznosi 9,1 mm dok je dopušteni progib

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

## 7.2. GREDE

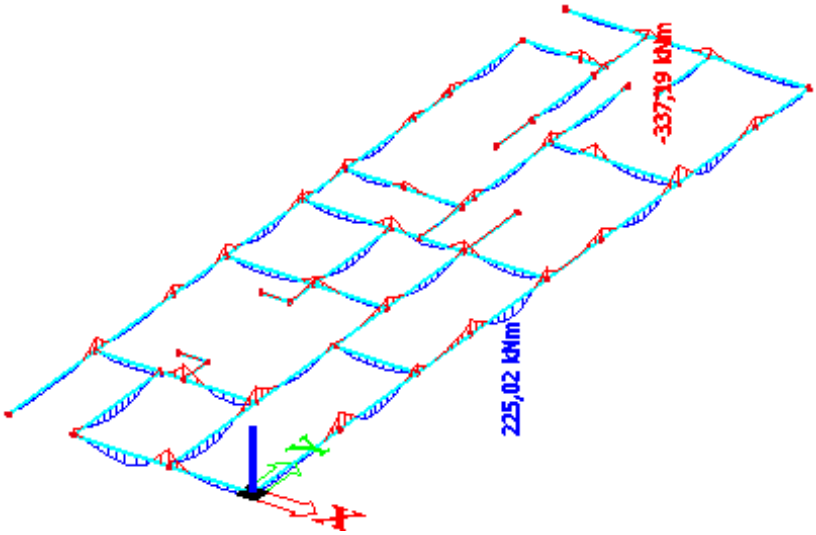
- Granični moment nosivosti Mrd,lim

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:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \times b \times d^2 \times f_{cd} = 0{,}159 \times 40 \times 75^2 \times 2{,}0 = 715{,}50 \text{ kNm}$$

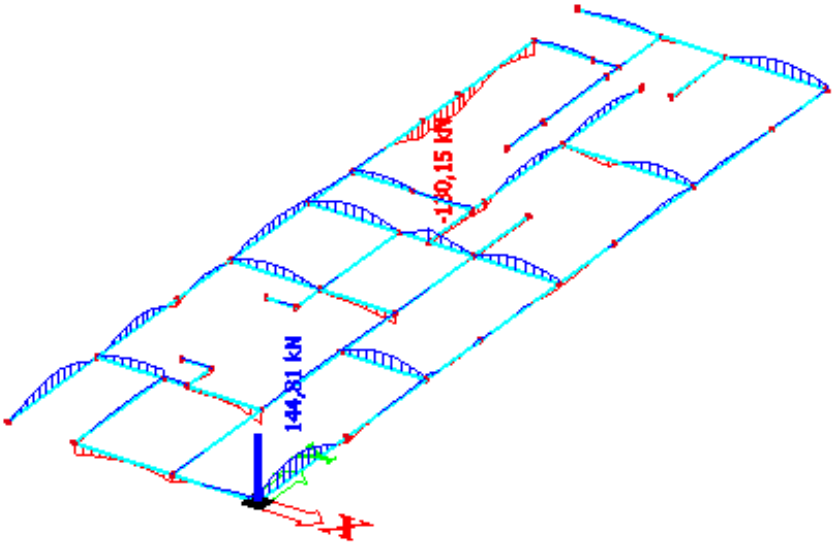
### 7.2.1.Proračun potrebne armature u gredama

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



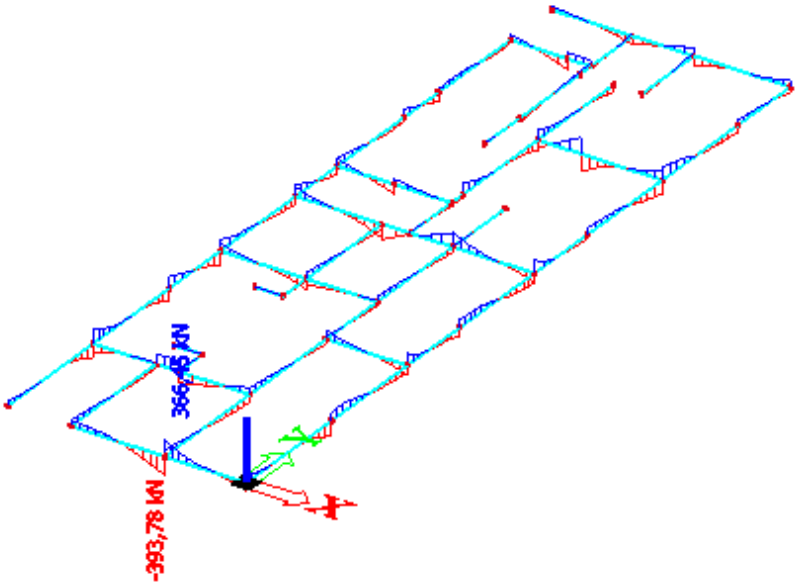

**Crtež 7.17.** Momenti savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm] na gredama za kombinaciju

GSN-4: 1,35*(G0+G) + 1,5*Q + 1,5*(0,6*WY)



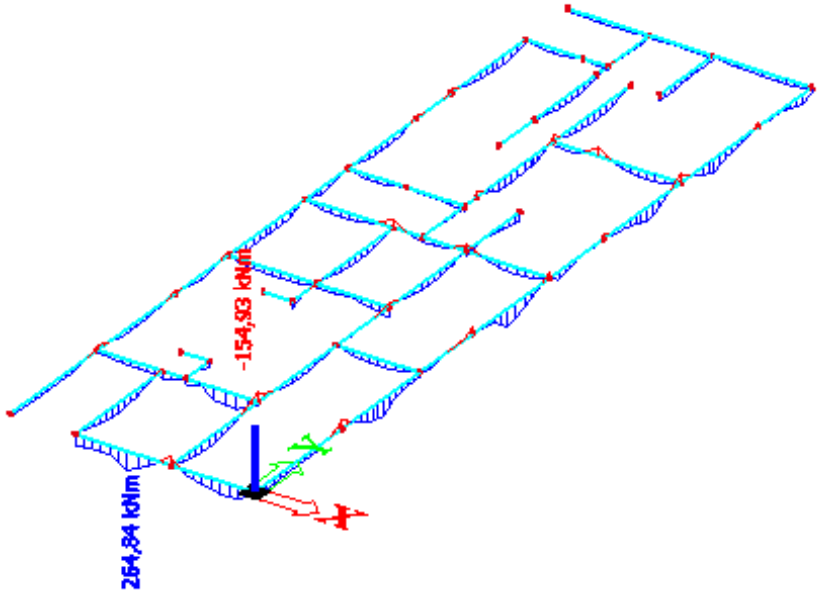

**Crtež 7.18**. Uzdužne sile $N_{Sd}$ [kN] na gredama za kombinaciju

GSN-4: 1,35*(G0+G) + 1,5*Q + 1,5*(0,6*WY)



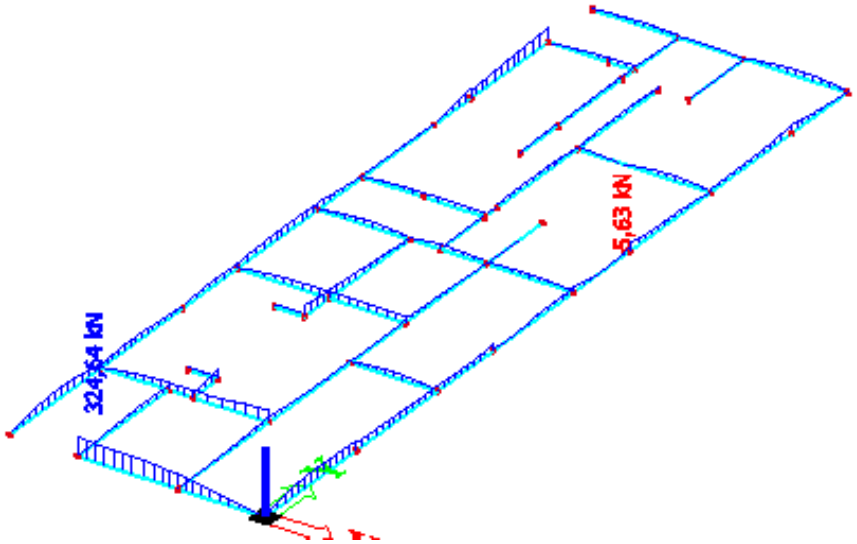

**Crtež 7.19**. Poprečne sile $V_{Sd,z}$ [kN] na gredama za kombinaciju

GSN-4: 1,35*(G0+G) + 1,5*Q + 1,5*(0,6*WY)



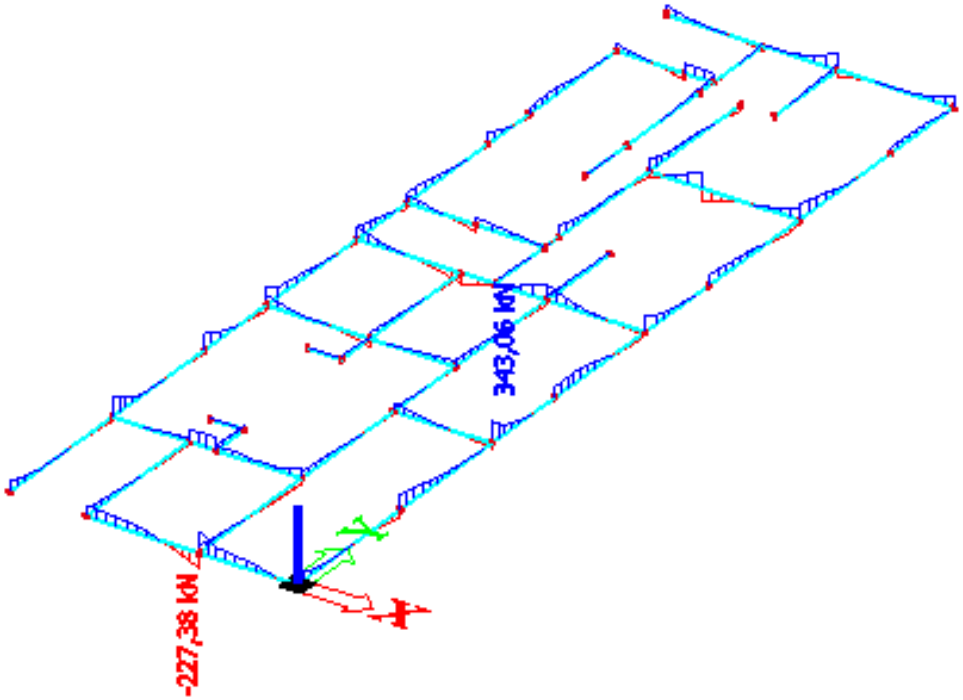

**Crtež 7.20.** Momenti savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm] na gredama za potresnu kombinaciju

GSN-11: 1,0*(G0+G) + 0,3*Q ± 1*SX + 0,3*SY - TY




**Crtež 7.21.** Uzdužne sile $N_{Sd}$ [kN] na gredama za potresnu kombinaciju

GSN-11: 1,0*(G0+G) + 0,3*Q ± 1*SX + 0,3*SY - TY




**Crtež 7.22.** Poprečne sile $V_{Sd,z}$ [kN] na gredama za potresnu kombinaciju

GSN-11: 1,0*(G0+G) + 0,3*Q ± 1*SX + 0,3*SY - TY

Mjerodavne rezne sile u gredama iznose:

$M_{Sd,polje}$ = 264,84 kNm (pripadajuća uzdužna sila $N_{Sd}$ = +289,67 kN)

$M_{Sd,ležaj}$ = 337,19 kNm (pripadajuća uzdužna sila $N_{Sd}$ = + 27,48 kN)

$V_{Sd}$ = 393,78 kN (pripadajuća uzdužna sila $N_{Sd}$ = - 58,53 kN)

**Polje:**

Utjecajna širina: $b_{eff} = b_0 + \frac{L_0}{10} \leq e \Rightarrow b_{eff} = 40 + \frac{0,85 \cdot 535}{10} = 85,50\ cm$

$M_{Sd}$ = 264,84 kNm

$N_{Sd}$ = 289,67 kN (vlak)

$$M_{sds} = M_{sd} - N_{sd} \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) = 264,84 - 289,67 \cdot \left( 0,75 - \frac{0,80}{2} \right) = 163,46 kNm$$

$$M_{Rd,\lim} = \mu_{Rd,\lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 85,5 \cdot 75^2 \cdot 2,0 = 1529,38 \text{ kNm} > \text{M}_{\text{sds}} = 163,46 kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{16346}{85,5 \cdot 75^2 \cdot 2,0} = 0,017$$

Očitano: $\varepsilon_{s1}$= 10 ‰ $\varepsilon_{c2}$= 0,7 ‰ $\xi$ = 0,065 $\zeta$ = 0,977

$$A_{s1} = \frac{M_{sds}}{\varsigma \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{16346}{0,977 \cdot 75 \cdot 43,48} + \frac{289,67}{43,48} = 5,13 + 6,6 = 11,73 \text{cm}^2$$

Odabrano: **4Ø20** ($A_s$ = 12,57 cm$^2$)

**Ležaj:**

$M_{Sd}$ = 337,19 kNm

$N_{Sd}$ = 27,48 kN (vlak)

$$M_{sds} = M_{sd} - N_{sd} \cdot \left( d - \frac{h}{2} \right) = 337,19 - 27,48 \cdot \left( 0,75 - \frac{0,80}{2} \right) = 327,57 kNm$$

$$M_{Rd,\lim} = \mu_{Rd,\lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,159 \cdot 40 \cdot 75^2 \cdot 2,0 = 715,50 \text{ kNm} > \text{M}_{\text{sds}} = 327,57 kNm$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sds}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{32757}{40 \cdot 75^2 \cdot 2,0} = 0,073$$

Očitano: $\varepsilon_{s1}$ = 10 ‰ $\varepsilon_{c2}$ = 1,8 ‰ $\xi$ = 0,153 $\zeta$ = 0,944

$$A_{s1} = \frac{M_{sds}}{\varsigma \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{N_{sd}}{f_{yd}} = \frac{32757}{0,944 \cdot 75 \cdot 43,48} + \frac{27,48}{43,48} = 10,64 + 0,63 = 11,27\,\text{cm}^2$$

Odabrano: **4Ø20** ($A_s$ = 12,57 cm$^2$)

**<u>Proračun na poprečnu silu:</u>**

$V_{Sd}$ = 393,78 kN

$N_{Sd}$ = 58,53 Kn

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1.0 + \sqrt{\frac{200}{750}} = 1,52 < 2,0 \quad \Rightarrow \quad k = 1,52$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \frac{58,53}{80 \cdot 40} = 0,0183$$

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{4\varphi 20}{80 \cdot 40} = 0,003928$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,52 \cdot (100 \cdot 0,003928 \cdot 30)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,0183 \right] \cdot 400 \cdot 750 = 125344,81N = 125,34kN$$

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

$$k = 1,52$$

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

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = 0,0183$$

$V_{Rd,c} \geq [0,359 + 1,52 \cdot 0,0183] \cdot 400 \cdot 750$=116044,8 N=116,04 kN

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

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

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

$$V_{Rd,\max} = 0,5 \cdot 0,528 \cdot 20 \cdot 400 \cdot 750 = 1584000N = 1584kN$$

Maksimalna poprečna sila: $V_{Ed,\max} = V_{Ed,a} = 393,78kN$

$$V_{Ed,\max} / V_{Rd,\max} = 393,78 / 1584 = 0,25 \quad \Rightarrow \quad V_{Ed,\max} = 0,25 V_{Rd,\max}$$

Maksimalni razmak spona:

$$s_{w,\max} = \min\{0,75 \cdot d; 30,0cm\} = \min\{0,75 \cdot 75 = 56,25; 30,0\} \quad \Rightarrow \quad s_{w,\max} = 30,0cm$$

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

usvojeno $s_w = 20,0cm$

$$A_{sw,\min} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_w}{m} = \frac{0,0011 \cdot 20,0 \cdot 40}{2} = 0,44cm^2$$

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

$$s_{w,pot} \le \frac{m \cdot A_{sw,\min}}{\rho_{\min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0,79}{0,0011 \cdot 40} = 35,91cm$$

Odabrane spone **∅10/25**, m = 2

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

$$V_{Rd,s} = \frac{0,79}{25} \cdot (0,9 \cdot 75) \cdot 43,48 \cdot 2 = 185,49kN$$

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

Kontroliramo nosivost betona:

$$s_{w,pot} \le \frac{m \cdot A_{sw,\min} \cdot f_{yw,d} \cdot z}{V_{ed}} = \frac{2 \cdot 0,79 \cdot 43,48 \cdot (0,9 \cdot 75)}{393,78} = 11,77\ cm$$

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

## 7.3. ZIDOVI

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

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidovima za nazovistalnu kombinaciju

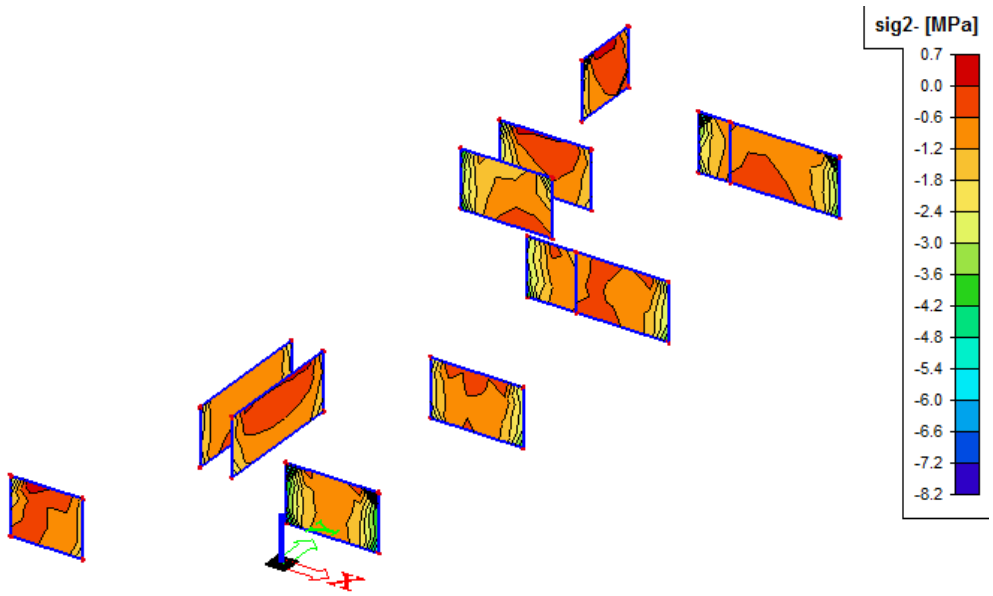
$$GSU\text{-}2 = 1{,}0*(G0 + G) + 0{,}3Q$$

Tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

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

Na Crtežu 7.23. su prikazana rubna naprezanja u zidovima gdje vidimo da maksimalno naprezanje iznosi:

$$\sigma_{c,max} = 8{,}4\ \text{MPa} < 14{,}0\ \text{Mpa}$$

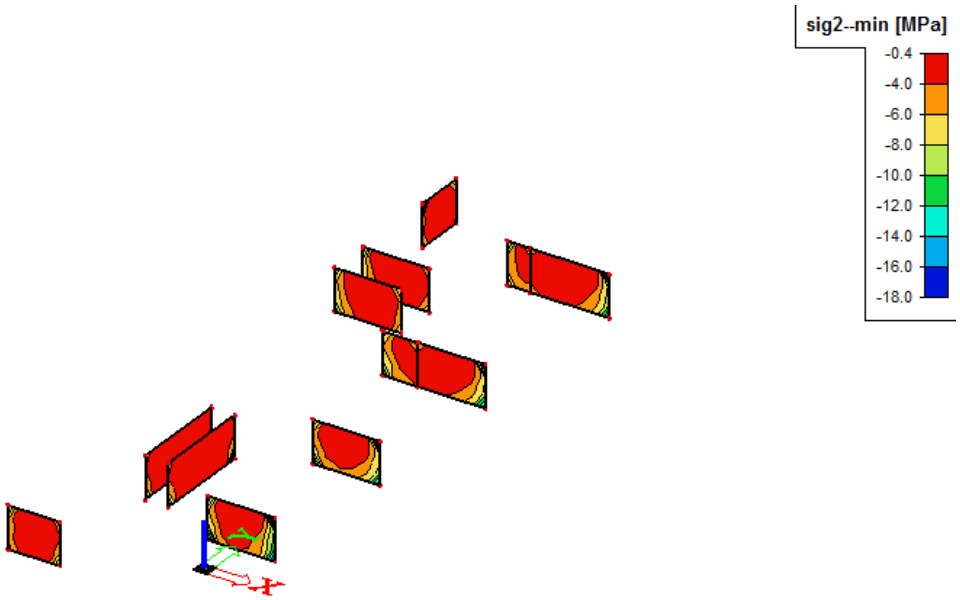



**Crtež 7.23.** Naprezanja u zidu σc, GSU-2: 1,0*(G0+G) + 0,3Q

- 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 7.24.** 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.

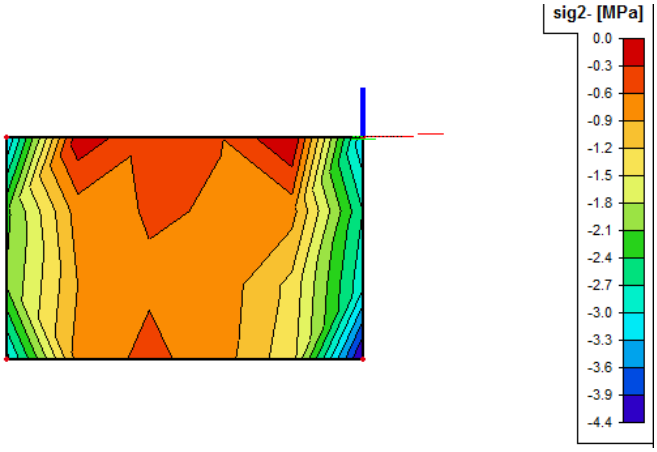
### 7.3.1. Zid u osi 10x /D-E –PLOŠNI ELEMENT

- Kontrola tlačnih naprezanja u zidu za nazovistalnu kombinaciju

GSU-2 = 1,0*(G0+G) + 0,3Q

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

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

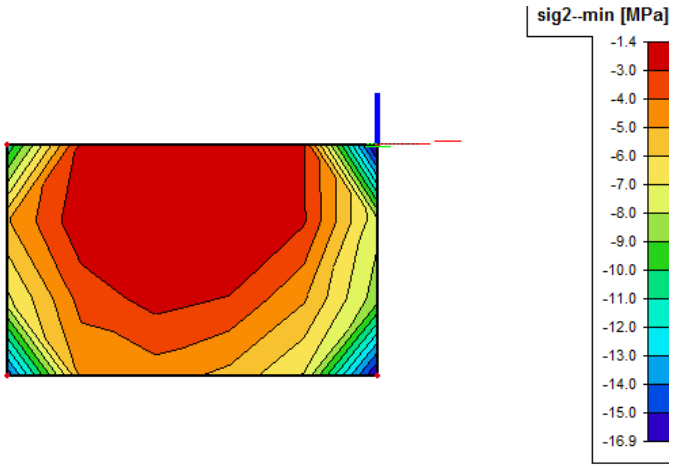



**Crtež 7.25**. Naprezanja u zidu σc,GSU-2: 1,0*(G0+G) +0,3Q

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

$\sigma_{c,max} =$ 4,4 MPa < 14,0 Mpa

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




Slika Naprezanja u zidu $\sigma_{c,Rd}$ , ANV 10-13

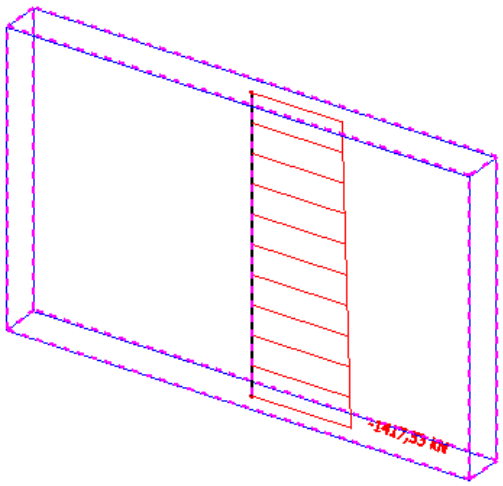
Srednja tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju ne smiju prijeći:

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

- Unutarnje sile u zidu u osi 4x /E-F

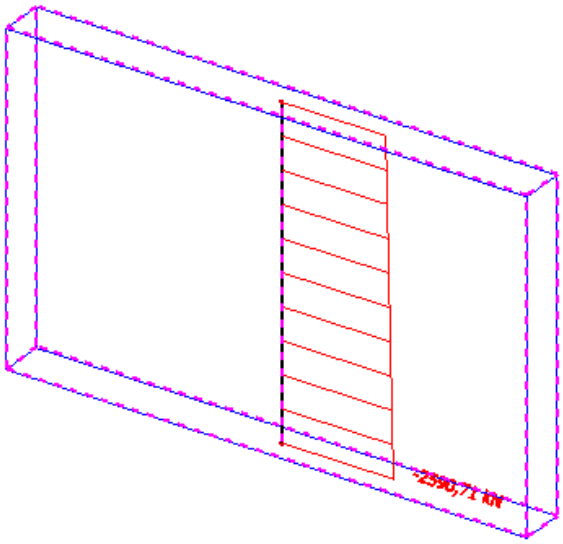
Uzdužne sile $N_{Sd}$ [MN] za za nazovistalnu kombinaciju

GSU-2=1,0*(G0+G) +0,3*Q



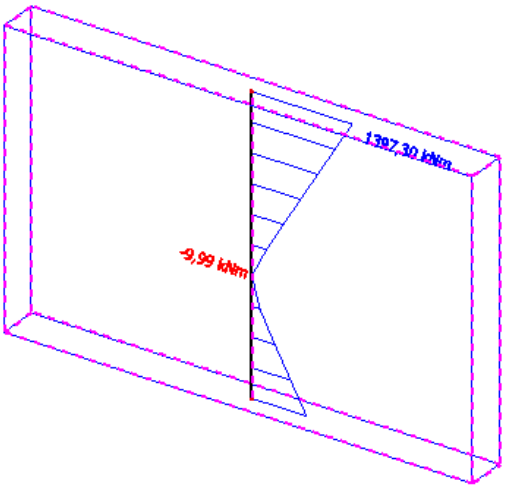

Uzdužne sile $N_{Ed}$ [MN] za

Anvelopu potresna ANV 10-13

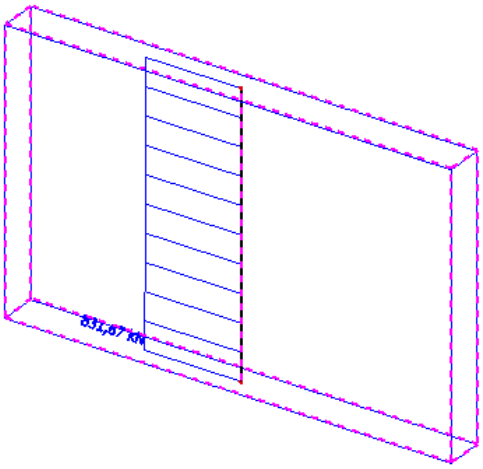



Dijagram momenata savijanja $M_{z,Ed}$ [MNm] za

Anvelopu potresna ANV 10-13




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



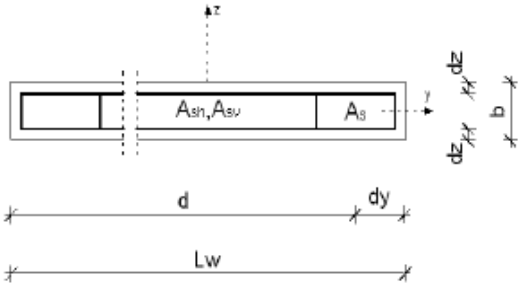

**Crtež 7.26.** Unutarnje sile u zidu u osi 10x / E-F

Visina zida: $H_w$ = 370 cm

Duljina: $L_w$ = 485 cm

$$\frac{l_w}{H_w} = \frac{485}{370} = 1,31 < 2 - \text{kratki zidovi}$$

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 7.26**. Poprečni presjek zida

Geometrijske karakteristike zida:

- Duljina: $L_w$ = 485 cm
- Širina: b = 40 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):

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

$$\sigma_{c,Sd} = \frac{1417,53}{0,4 \cdot 4,85} = 730,68 \text{kN/m}^2 = 0,73 MPa < 15,75 MPa$$

2) Srednje tlačno naprezanje u zidu za seizmičku kombinaciju:

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

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{2590,71}{0,4 \cdot 4,85} = 1335,41/\text{m}^2 = 1,34 MPa < 9,33 MPa$$

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

- Računski moment savijanja:

$$M_{Sds} = M_{sd} + N_{sd,GSU-2}\left(d - \frac{h}{2}\right) = 1397{,}30 + 1417{,}53\left(4{,}65 - \frac{3{,}7}{2}\right) = 5366{,}38[\mathrm{kNm}]$$

- Bezdimenzionalna vrijednost momenta savijanja:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{Rd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0{,}159 \cdot 0{,}4 \cdot 4{,}65^2 \cdot 23333 = 32087{,}33[\mathrm{kNm}] > Msds$$

- Potrebna površina uzdužne vlačne armature:

$$A_1 = \frac{M_{Sds}}{0{,}8 \cdot d \cdot f_{yd}} - \frac{N_{sd,GSU-2}}{f_{yd}} = \frac{5082{,}87 \cdot 100}{0{,}8 \cdot 465 \cdot 43{,}48} - \frac{1417{,}53}{43{,}48} = -1{,}51[\mathrm{cm}^2]$$

Minimalna površina vlačne armature u polju:

$$A_{1,min} = 0{,}005 \cdot b \cdot d = 0{,}005 \cdot 40 \cdot 465 = 93[\mathrm{cm}^2]$$

Na svaku stranu po:

$$\frac{A_{1,min}}{2} = \frac{93}{2} = 46{,}5\left[\frac{\mathrm{cm2}}{\mathrm{m'}}\right] \Longrightarrow \text{ODABRANO } 10\emptyset 25(A_s = 49{,}09[\mathrm{cm2/m'}])$$

4) Minimalna debljina hrpta

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

$$b_{w0} \geq max\left\{0{,}15m\ ; \frac{3{,}50}{20} = 0{,}175\right\}$$

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

5) Visina kritičnog područja

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

$$h_{cr} \geq max\left\{485\ ; \frac{370}{6} = 61{,}7\right\} \rightarrow h_{cr,max} = 485\ cm$$

$$h_{cr} \leq min\{2L_w\ ; h_s\} = min\{2 \cdot 485 = 970\ ; 350\} \rightarrow h_{cr} = 350\ cm$$

6) Minimalna armatura

1. Na krajevima zida (u kritičnoj zoni):

a) <u>vertikalno:</u>

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

$L_c$= max {0,15 · 485; 1.5 · 40} = max {72,75; 60}

$$A_{s,min} = \frac{0,5}{100} \cdot 72,75 \cdot 40 = 14,55 \text{ [cm2]}$$

b) spone:

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

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

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

$b_0$=400-2·35=330 (mm)

$$s_w \leq \min\left\{8 \cdot 25 = 200; \frac{330}{2} = 165; 175\,mm\right\} \Rightarrow \text{ ODABRANO: } \Phi10/15\text{, m=2}$$

7) Provjera graničnog stanja nosivosti

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

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

a) Izvan kritičnog područja**:**

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

$$\nu_1 = 0,6\left(1 - \frac{f_{ck}}{200}\right) = 0,6\left(1 - \frac{35}{200}\right) = 0,5 \geq 0,5$$

$$V_{Rd,\max} = \frac{1 \cdot 40 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot 0,5 \cdot 2,33}{1+1} = 8667,6kN > V_{sd} = 831,67kN$$

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

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

$$V_{sd} \le V_{Rd,\max} = 0,3 \cdot (1 - 35/250) \cdot 2 \cdot 40 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot \sin 90 = 7678,08kN > V_{sd} = 831,67kN$$

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

a) Horizontalna armature

$$\alpha_s = \frac{M_{sd}}{V_{sd} \cdot l_w} = \frac{1397,30}{831,67 \cdot 4,85} = 0,35 < 2$$

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

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

Odabrano $ctg\theta = 1$

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

$$\rho_h = \frac{V_{Rd,s}}{b_{w0} \cdot 0,8 \cdot l_w \cdot \alpha_s \cdot f_{yhd}} = \frac{831,67}{40 \cdot 0,8 \cdot 465 \cdot 43,48} = 0,00128 = 0,13\%$$

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

Armaturna mreža:

$$\rho_h = \frac{A_h}{b_{w0} \cdot s_h} \implies A_h = \rho_h \cdot b_{w0} \cdot s_h = 0,002 \cdot 40 \cdot 100 = 8\ [cm2/m']$$

Na svaku stranu po:

$$\frac{A_h}{2} = \frac{8}{2} = 4\left[\frac{cm2}{m'}\right] \implies \text{ODABRANO Q424}(A_s = 4,24[cm2/m'])$$

b) Vertikalna armature

$\rho_v$ izvlačimo iz izraza:

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

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

$$\rho_v \geq \frac{0{,}00128 \cdot 43{,}48 \cdot 40 \cdot 0{,}8 \cdot 485 - 2412{,}12}{43{,}48 \cdot 40 \cdot 0{,}8 \cdot 485} = -0{,}00229 = 0{,}23\%$$

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

Armaturna mreža:

$$\rho_v = \frac{A_v}{b_{w0} \cdot s_v} \Longrightarrow A_v = \rho_v \cdot b_{w0} \cdot s_v = 0{,}002 \cdot 40 \cdot 100 = 8{,}0\ [cm2/m']$$

Na svaku stanu po:

$$\frac{A_v}{2} = 4{,}0 \left[\frac{cm2}{m'}\right] \Longrightarrow \text{ODABRANO: Q424 } (A_s = 4{,}24\ [cm2/m'])$$

c) Spone: min 4Φ6/m$^2$

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

- bezdimenzionalna vrijednost uzdužne sile

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

$$\nu_d = \frac{N_{sd,ANV10-13}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2590{,}71}{40 \cdot 485 \cdot 2{,}33} = 0{,}0573 < 0{,}4$$

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

$$\omega_w = \frac{\rho_v \cdot f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0{,}00424 \cdot 43{,}48}{2{,}33} = 0{,}0791$$

$$\omega_{wd} = \frac{\text{volumen vilica}}{\text{volumen betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0{,}79 \times (2 \times 60 + 2 \times 34) \times \frac{370}{15}}{60 \times 33{,}0 \times 370} \times \frac{43{,}48}{2{,}33} = 0{,}1 \geq 0{,}08$$

$\mu_\phi = 5$ za DCM

$\nu_d = 0{,}0573$

$b_c = 40(cm)$

$b_0 = 33,0(cm)$

$h_0 = l_c = 60(cm)$

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

$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s$

$\alpha_n = 1 - \sum b_i^2 / (6 \cdot b_0 \cdot h_0) = 1 - \left[ \left( (16,67 \cdot 3)^2 \cdot 2 + (12,75 \cdot 2)^2 \cdot 2 \right) / \left( 6 \cdot 33 \cdot 60 \right) \right] = 0,469$

$\alpha_s = \left(1 - s / 2b_0\right) \cdot \left(1 - s / 2h_0\right) = \left(1 - 15 / 2 \cdot 33,0\right) \cdot \left(1 - 15 / 2 \cdot 60\right) = 0,676$

n = 10 -broj šipki

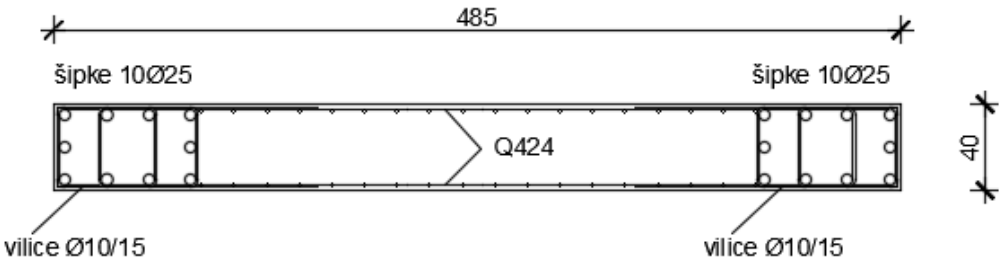
$\alpha = 0,469 \cdot 0,676 = 0,317$

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

$$0,317 \cdot 0,1 \geq 30 \cdot 5 \cdot \left(0,0573 + 0,0791\right) \cdot 0,001 \cdot \frac{40}{33} - 0,035$$

0,0317 $\geq$ -0,0102- odabrana armatura zadovoljava!

Odabrana armatura: Q-424 ($A_s$=4,24 cm$^2$/m) -obostrano, 10∅25 ($A_s$=49,09 cm$^2$)




**Crtež 7.27**. Plan armature zida

## 7.4. STUPOVI

- Provjera naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju

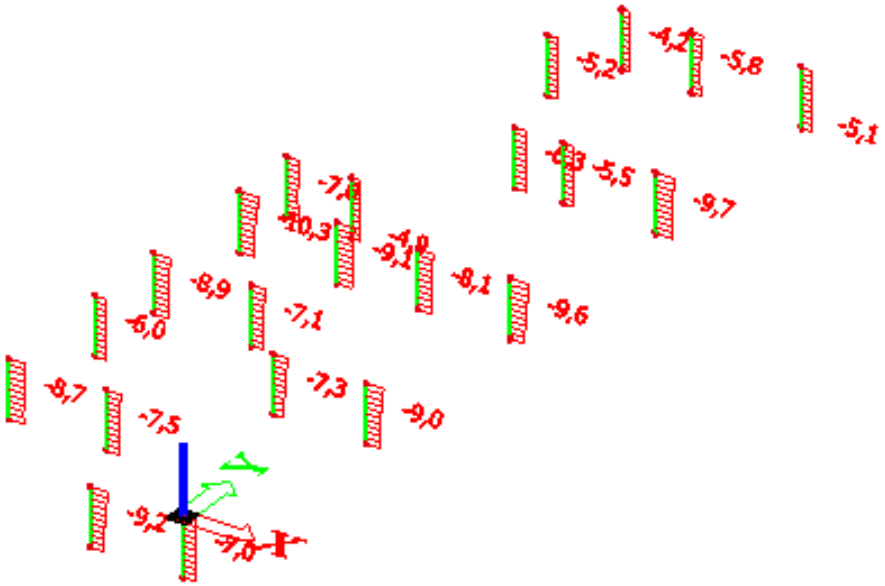
Srednja tlačna naprezanja u betonu za nazovistalnu kombinaciju

GSU-2: 1,0*(G0+G) + 0,3Q ne smiju prijeći:

$$\sigma_c \leq 0{,}45 \cdot f_{ck} = 0{,}45 \cdot 40 = 18 \text{ MPa}$$

Na Crtežu 7.28. su prikazana rubna naprezanja u stupovima za nazovi stalnu kombinaciju GSU-2 djelovanja, gdje vidimo da maksimalno naprezanje iznosi:

$$\sigma_{c,max} = 10{,}3 \text{ MPa} < 18 \text{ MPa}$$




**Crtež 7.28.** Naprezanja u stupovima $\sigma_{c,max}$ [MPa] za nazovi stalnu kombinaciju djelovanja GSU-2: 1,0*(G0+G) + 0,3Q

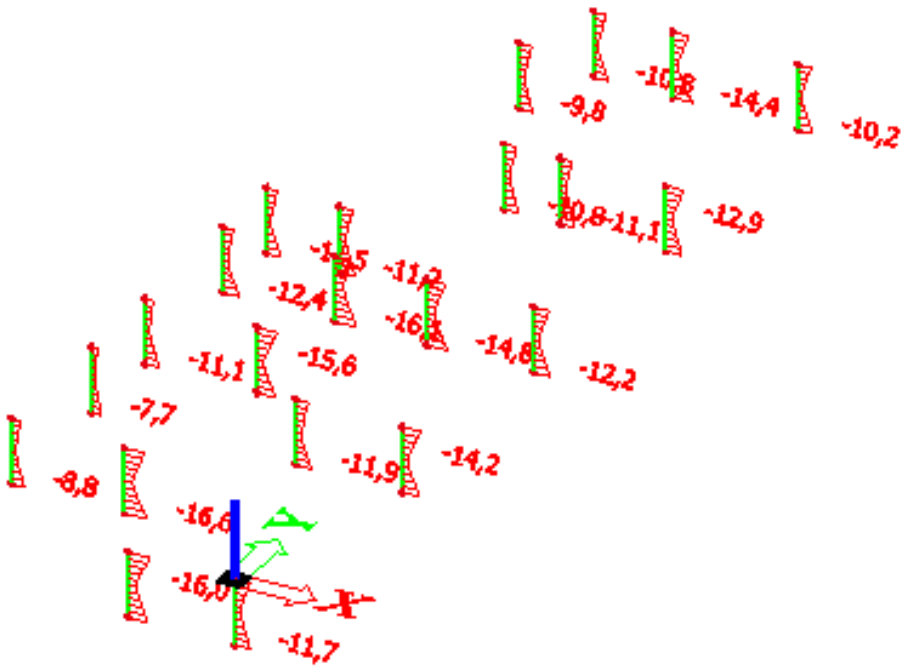
- Provjera naprezanja u betonu za anvelopu potresnog opterećenja

Srednja tlačna naprezanja u betonu za anvelopu potresnog djelovanja ANV 10-13 ne smiju prijeći:

$$\sigma_c \leq 0{,}65 \cdot f_{cd} = 0{,}65 \cdot (40/1{,}5) = 17{,}3 \text{ MPa}$$

Na Crtežu 7.29. su prikazana rubna naprezanja u stupovima za anvelopu potresnog djelovanja ANV 10-13, gdje vidimo da maksimalno naprezanje iznosi:

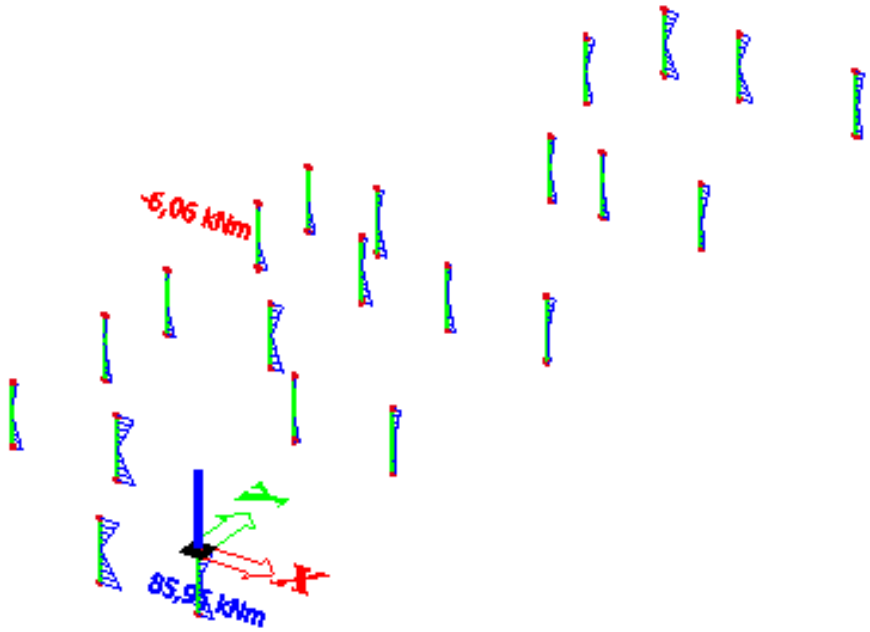
$$\sigma_{c,max} = 16{,}6 \text{ MPa} < 17{,}3 \text{ MPa}$$



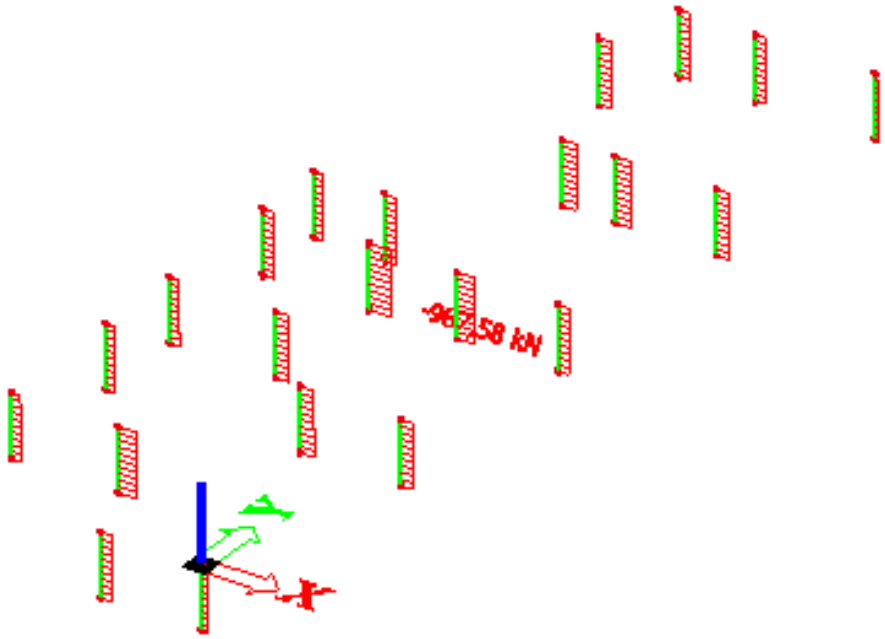

**Crtež 7.29.** Naprezanja u stupovima $\sigma_{c,max}$ [MPa] za anvelopu potresnog djelovanja ANV 10-13

### 7.4.1. Proračun potrebne armature u stupovima

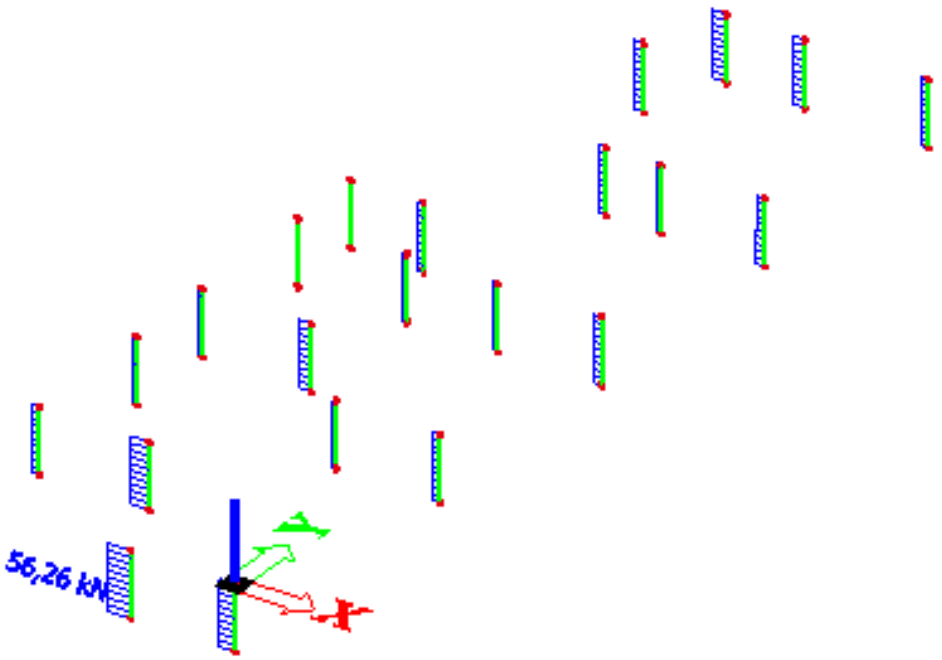
Rezne sile u stupovima za mjerodavnu anvelopu potresog djelovanja ANV 10-13 prikazane su na sljedećim crtežima (Crteži 7.31; 7.32; 7.33) :




**Crtež 7.30**. Momenti savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm] na stupovima za anvelopu potresnog djelovanja ANV 10-13




**Crtež 7.31.** Uzdužne sile $N_{Sd}$ [kN] na stupovima za anvelopu potresnog djelovanja ANV 10-13




**Crtež 7.32.** Poprečne sile $V_{Sd,z}$[kN] na stupovima za anvelopu potresnog djelovanja ANV 10-13

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

$M_{Sd}$ = 85,95 kNm

$N_{Sd}$ = -543,26 kN

$V_{Sd}$ = 52,26 kN

Proračun na savijanje

Proračun je izvršen pomoću dijagrama interakcije:

$$\alpha = \frac{A_{s2}}{A_{s1}} = 1{,}0$$

$$\beta = \frac{d_1}{h} = \frac{d_2}{h} = \frac{4{,}0}{40{,}0} = 0{,}1$$

$$M_{sd,s} = \psi \times M_{sd}$$

$C_m = 1{,}0$ $\gamma = 1{,}5$

E=32800MPa $I = \frac{b^4}{12} = \frac{0{,}4^4}{12} = 0{,}002133\ m^4$

$l_i = 1{,}0 \times h_{stup} = 1{,}0 \times 2{,}9 = 2{,}9$ m

$$N_e = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I}{l_i^2} = \pi^2 \cdot \frac{32800000 \cdot 0{,}002133}{2{,}9^2} = 82104{,}78\text{kN}$$

$$\psi = \frac{C_m}{1 - \frac{\gamma \cdot N_{sd}}{N_e}} = \frac{1{,}0}{1 - \frac{1{,}5 \cdot 543{,}26}{82104{,}78}} = 1{,}01$$

$$M_{sd,s} = \psi \cdot M_{sd} = 1{,}01 \cdot 85{,}95 = 86{,}81 \text{ kNm}$$

$$\nu_{sd} = \frac{N_{sd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-543{,}26}{40 \cdot 40 \cdot 2{,}67} = -0{,}13$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd,s}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{86{,}81 \cdot 100}{40 \cdot 40^2 \cdot 2{,}67} = 0{,}051$$

Iz dijagrama interakcije iščitano je w = 0,05, pa je potrebna armatura:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0{,}05 \cdot 40 \cdot 40 \cdot \frac{2{,}67}{43{,}5} = 4{,}91\ cm^2$$

Odabrano: 4Ø18 ($A_s$ = 10,18 $cm^2$)

Odabrano je **4Φ18** ($A_{s1}$=$A_{s2}$= 10,18 $cm^2$) na svakoj strani stupa, odnosno ukupno **8Φ18** ($A_s$=20,36 $m^2$).

Proračun na poprečnu silu:

$V_{Sd}$ = 52,26 kN

$N_{Sd}$ = 543,26 kN

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

$$k = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1,0 + \sqrt{\frac{200}{360}} = 1,8 < 2,0 \quad \Rightarrow \quad k = 1,8$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = \frac{543,26}{40 \cdot 40} = 0,339$$

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

$$\rho_l = \frac{\sum A_s}{A_c} = \frac{4\varphi 14 + 4\varphi 14 = 12,32}{40 \cdot 40} = 0,0077$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,12 \cdot 1,8 \cdot \left(100 \cdot 0,0077 \cdot 40\right)^{1/3} + 0,15 \cdot 0,339 \right] \cdot 400 \cdot 360 = 104821,32 N = 104,82 kN \geq V_{sd,\max}$$

-Računska armatura za prihvaćanje poprečnih sila nije potrebna jer je $V_{Rd,c} \geq V_{sd,max,}$ali je ipak potrebno postaviti minimalnu $\left(\text{konstruktivnu}\right)$ armaturu:

$$V_{Rd,2} = 0,5 \cdot \nu \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d$$

$$\nu = 0,6\left[1,0 - \frac{f_{ck}}{250}\right] = 0,6\left[1,0 - \frac{40}{250}\right] = 0,504$$

$$V_{Rd,2} = 0,5 \cdot 0,504 \cdot 400 \cdot 360 \cdot 26,67 = 967800,9 N = 967,8 kN > V_{sd,\max}$$

$V_{sd,max}$<0,3$V_{Rd,2}$=290,34 kN

$$s_{w,\max} = \min\left\{0,75 \cdot d; 30,0\, cm\right\} = \min\left\{0,75 \cdot 36 = 27; 30,0\right\} \quad \Rightarrow \quad s_{w,\max} = 27\, cm$$

$$\rho_{\min} = 0,0013 \quad \left(C\,40/50\right)$$

Odabrani $s_w = 20\, cm$

$$A_{Sw} = \frac{\rho_{\min} \cdot s_w \cdot b_{\min}}{m} = \frac{0,0013 \cdot 20 \cdot 40}{2} = 0,52\, cm^2$$

Odabrane spone**: Φ10/20**(cm), ($A_{sw}$ = 0,79 $cm^2$).

## 7.5.TEMELJI

### 7.5.1. 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

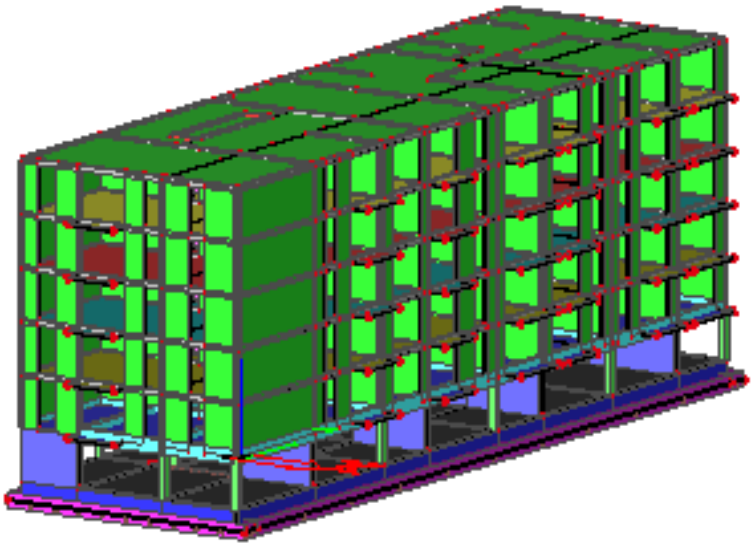
Temelji su modelirani kao 2D elementi koji predstavljaju temeljnu traku na kojoj se nalazi nadtemeljni zid. Izvedeni su od betona C35/45 i armirani s B500B. Ovisno o opterećenju koji preuzimaju pojedini temelji i kontaktnim naprezanjima koja se javljaju u tlu određena je potrebna širina i armatura temelja.

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 $MN/m^3$ .

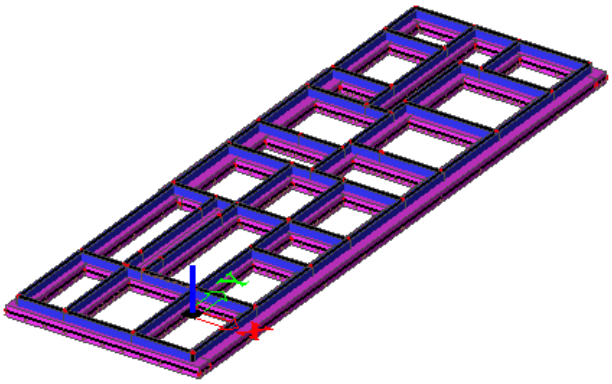
Model temelja kao i model cijele građevine napravljen je u programskom paketu SCIA Engineer 16.1.

Napomena: u radu je prikazano samo temeljenje zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem.

### 7.5.2.Temeljenje konstrukcije na trakastim temeljima

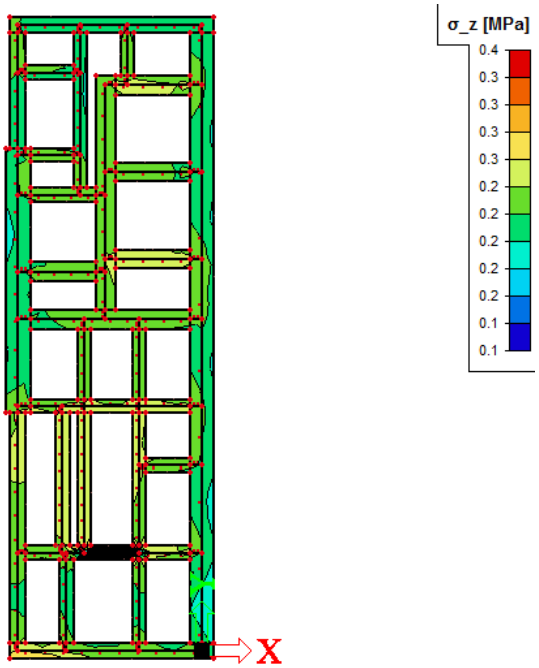


**Crtež 7.33**. Model konstrukcije s armirano-betonskim prizemljem



**Crtež 7.34.** Model temelja – trakasti tip

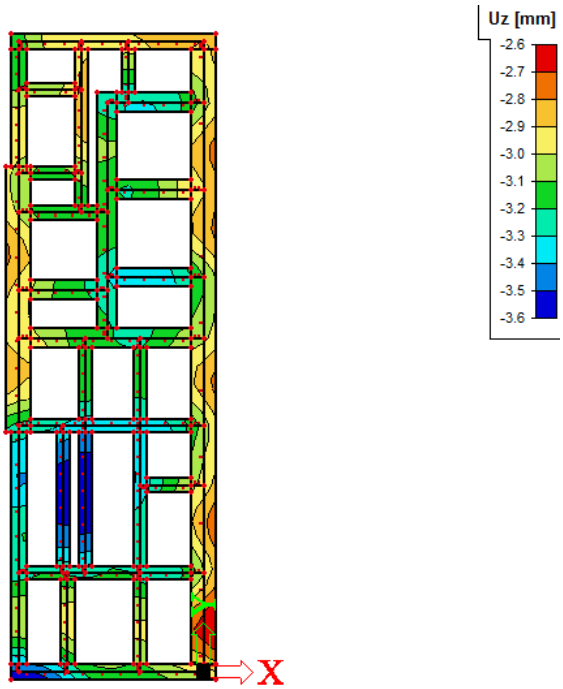
**Rezultati proračuna**



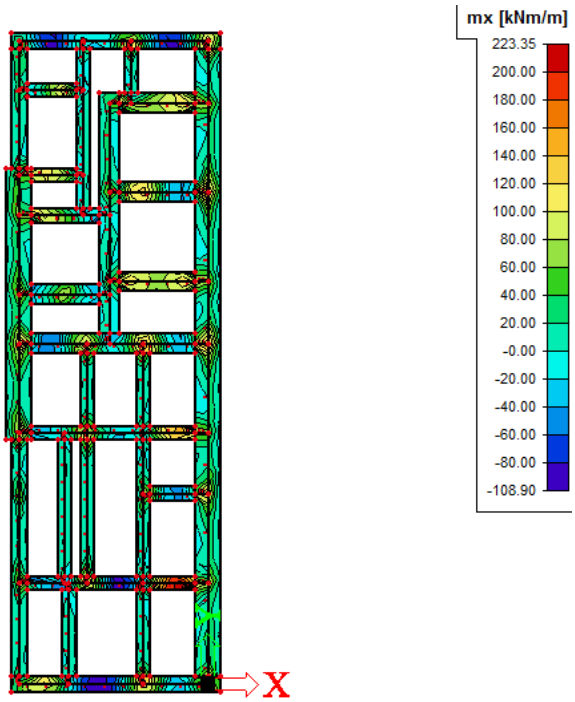

**Crtež 7.35.** Naprezanja [kPa] na kontaktu temeljnih stopa/tlo za kombinaciju

GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q

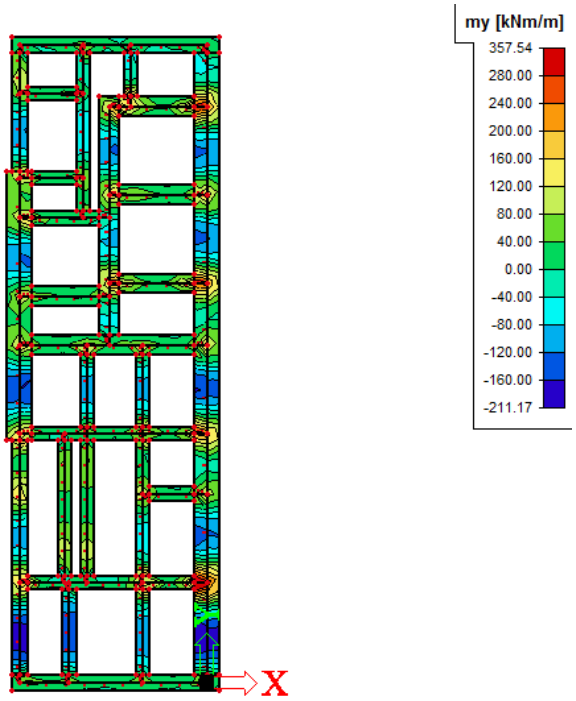
Kontaktna naprezanja $\sigma_{Sd}$ manja su od računske nosivosti $\sigma_{sd}$=450 kPa.




**Crtež 7.36.** Slijeganje temeljnih stopa Uz [mm] za kombinaciju GSU-1: 1,0*(G0+G) + 0,5Q




**Crtež 7.37.** Moment savijanja $M_{Sd,x}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q




**Crtež 7.38.** Moment savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q

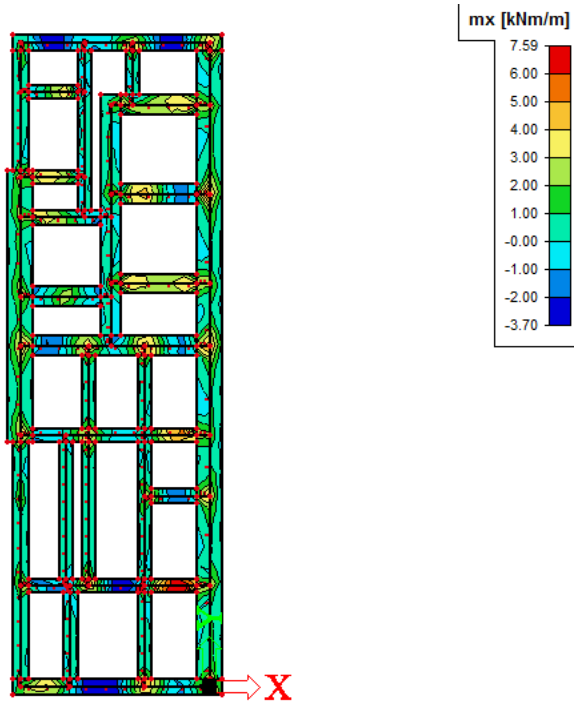
**Prikaz potrebne armature**

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

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

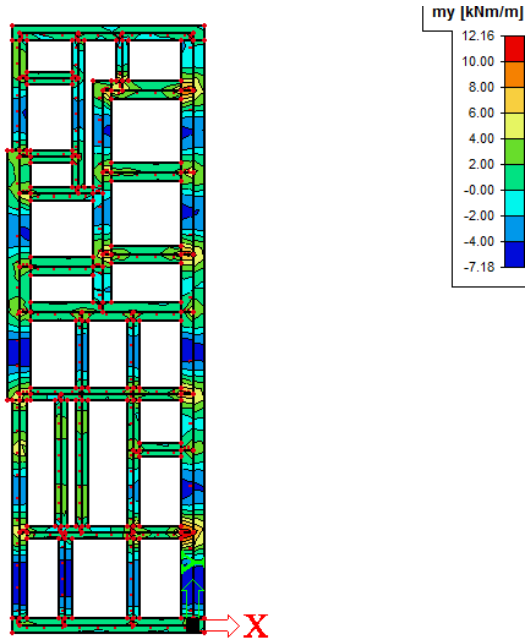
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0{,}9 \times 80 \times 43{,}48} = 0{,}0319 \times M_{sd}$$

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



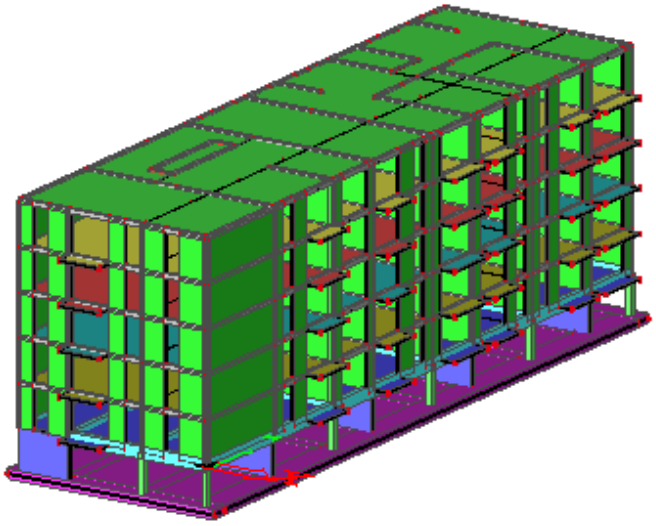

**Crtež 7.39.** Potrebna armatura [$cm^2/m$] u X smjeru

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

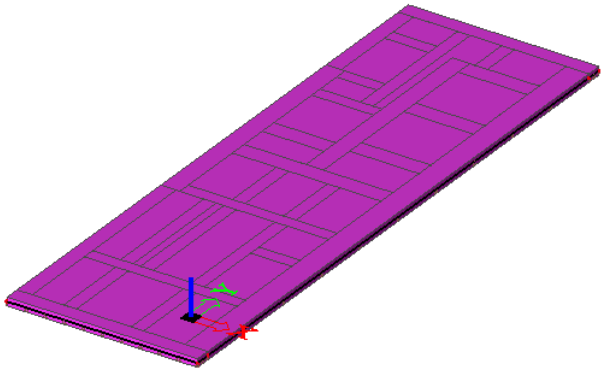



**Crtež 7.40.** Potrebna armatura [$cm^2/m$] u Y smjeru

### 7.5.3. Temeljenje konstrukcije na temeljnoj ploči

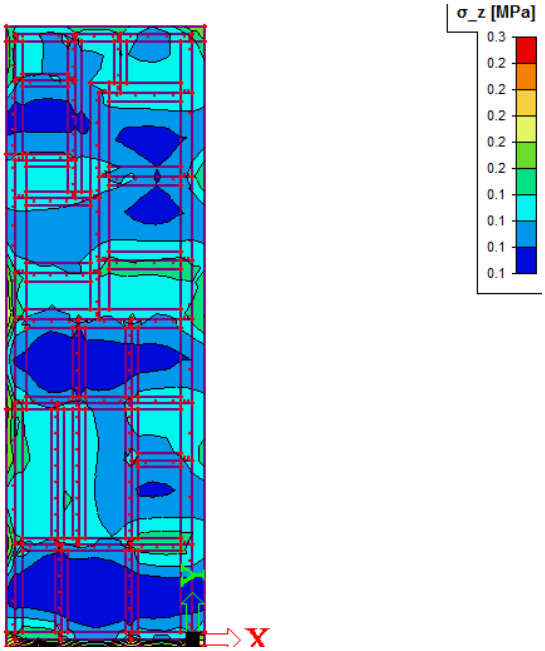


**Crtež 7.41.** Model konstrukcije s armirano-betonskim prizemljem na temeljnoj ploči



**Crtež 7.41.** Model temelja

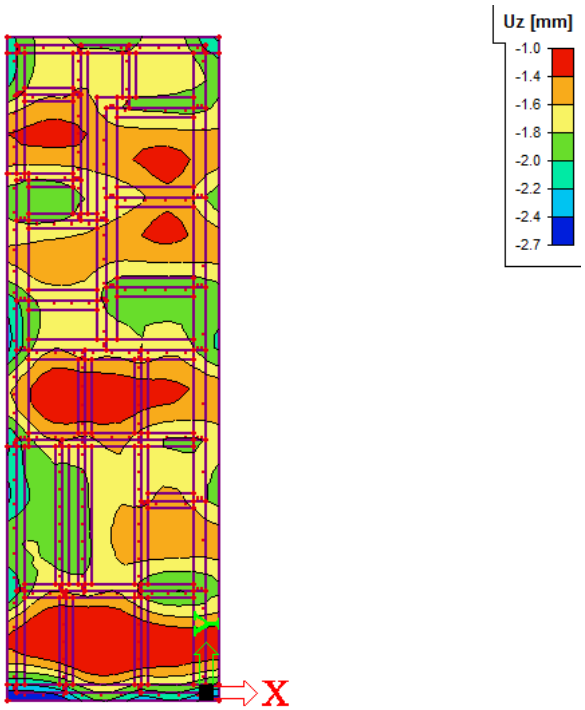
**Rezultati proračuna**



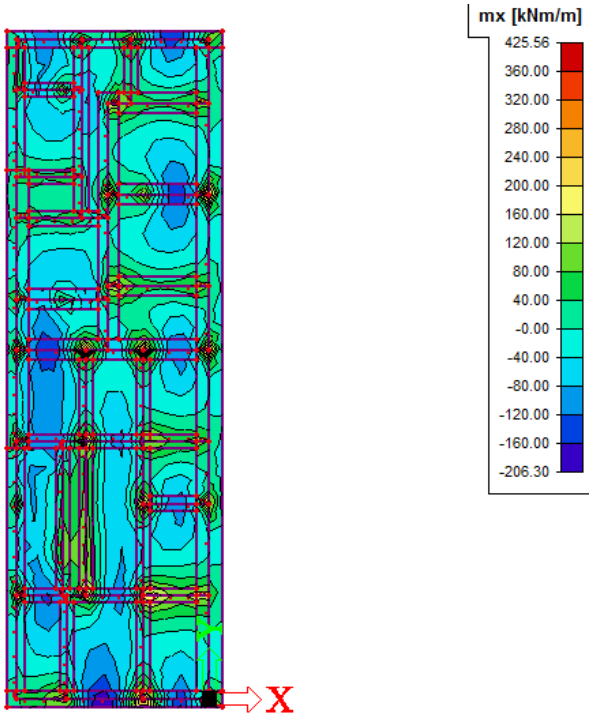

**Crtež 7.42.** Naprezanja [kPa] na kontaktu temeljnih stopa/tlo za kombinaciju

GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q

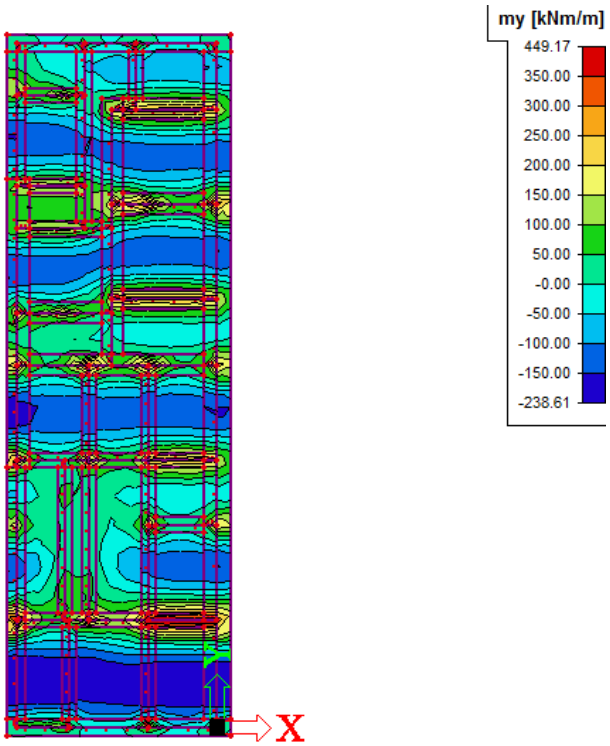
Kontaktna naprezanja $\sigma_{Sd}$ manja su od računske nosivosti $\sigma_{sd}$ = 450 kPa.




**Crtež 7.43.** Slijeganje temeljnih stopa Uz [mm] za kombinaciju GSU-1: 1,0*(G0+G) + 0,5Q




**Crtež 7.44.** Moment savijanja $M_{Sd,x}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q




**Crtež 7.45.** Moment savijanja $M_{Sd,y}$ [kNm/m], za kombinaciju GSN-1: 1,35*(G0+G) + 1,5Q

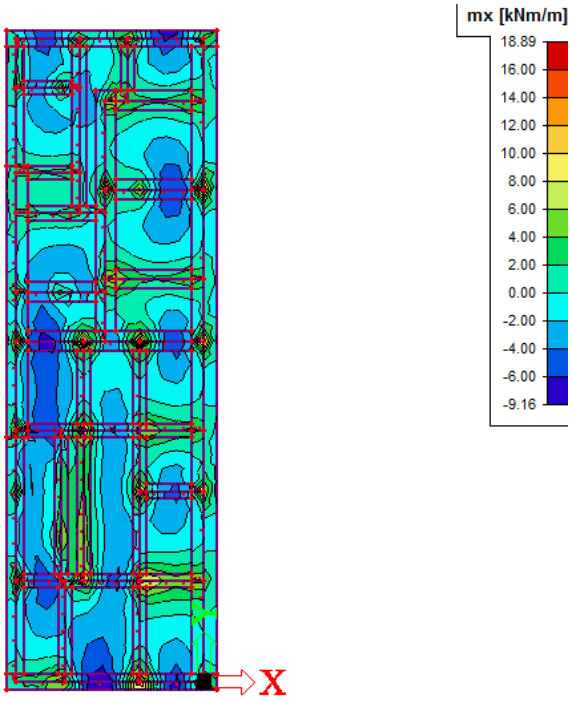
**Prikaz potrebne armature**

Potrebna armatura proračunata je prema izrazu:

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

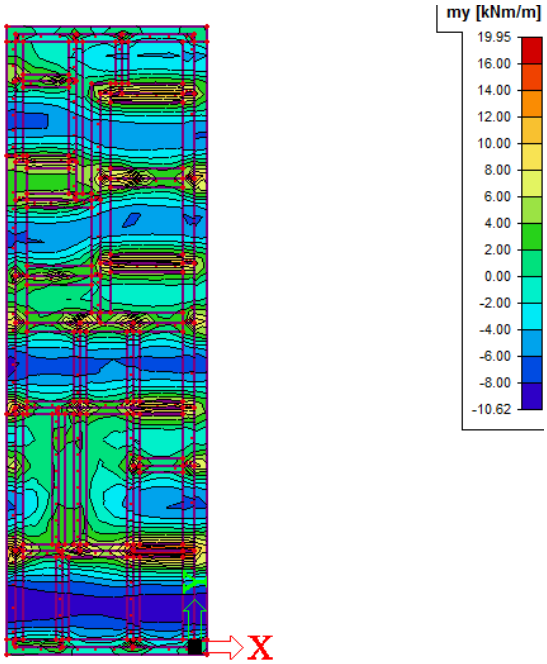
$$A_s = \frac{M_{sd}}{\varsigma \times d \times f_{yd}} = \frac{M_{sd} \times 100}{0{,}9 \times 60 \times 43{,}48} = 0{,}0425 \times M_{sd}$$

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




**Crtež 7.46.** Potrebna armatura [$cm^2/m$] u X smjeru

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




**Crtež 7.47.** Potrebna armatura [$cm^2/m$] u Y smjeru

# 8. ZAKLJUČAK

Za predmetnu zidanu zgradu s armirano-betonskim prizemljem 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 uporabjivosti. U računalnom programu proveden je proračun i za zidanu konstrukciju s armirano-betonskim prizemljem (stupovi i zidovi) i za zidanu konstrukciju s prizemljem samo na stupovima. Iz usporedbe ta dva modela vidljivo je da se dodavanjem armirano-betonskih zidova u prizemlju mnogo umanjuju naprezanja u stupovima tj. potrebne dimenzije stupova dodavanjem zidova se samnjuju . Također je bitno da su okviri upeti pri vrhu da bi se osigurala određena rezerva nosivosti. Posebnu pažnju treba obratiti na pravilno armiranje stupova da ne dođe do pojave plastificiranja zglobova usljed kojih može nastati mehanizam što dovodi do urušavanja konstrukcije.

Također su u računalnom programu na modelu zgrade s armirano-betonskim prizemljem proračunati temelji trakostog tipa i pločastog tipa. Iz rezultata sljeganja tla ispod temelja se može zaključiti da su povoljniji traksti temelji. Sljeganje tla ispod trakastih temelja se može podešavati prilagođavanjem širine temeljne trake dok kod pločastog tipa temelja to nije moguće.

Progibi međukatne kontrukcije su izračunati za linearno stanje naprezanja, ali i za nelinearno stanje naprezanja s uključenim puzanjem. Također je u proračun uključena armatura u obje zone međukatne konstrukcije i dobiveni su najveći progibi za nelinearno stanje naprezanja s uključenim puzanjem koji su manji od dopuštenih progiba.

# 9. PRILOZI

Prilog 1: Tlocrt temelja, M 1:100

Prilog 2: Tlocrt prizemlja, M 1:100

Prilog 3: Tlocrt tipične etaže, M 1:100

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

Prilog 5: Južno i zapadno pročelje, M 1:100

Prilog 6: Sjeverno i istočno pročelje, M 1:100

Prilog 7: Detalj spoja horizontalnog i vertikalnog serklaža, M 1:10

Prilog 8: Armatura karakterističnog okvira, M 1:50

# 10. 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.

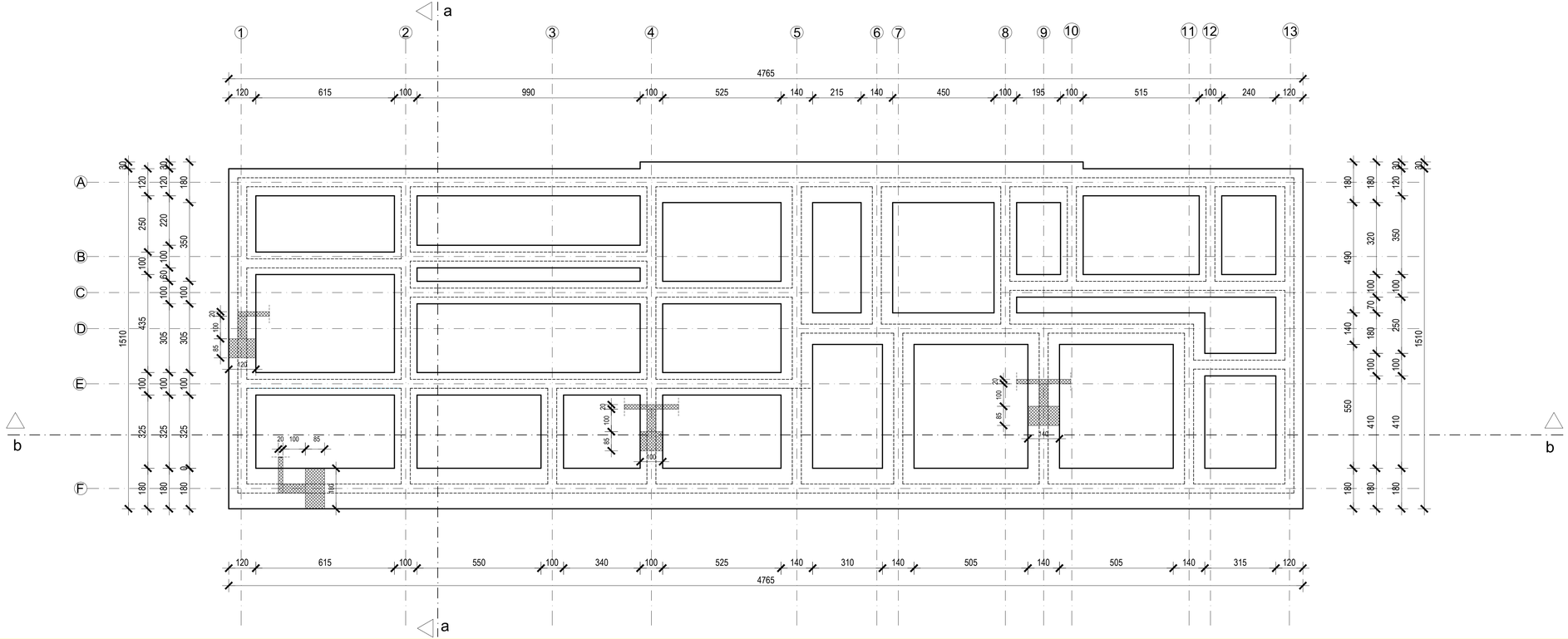
[6] Europska norma EN 1992, CEN, Brussels, Belgium,2004.

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

[8] Wienerberger katalog proizvoda

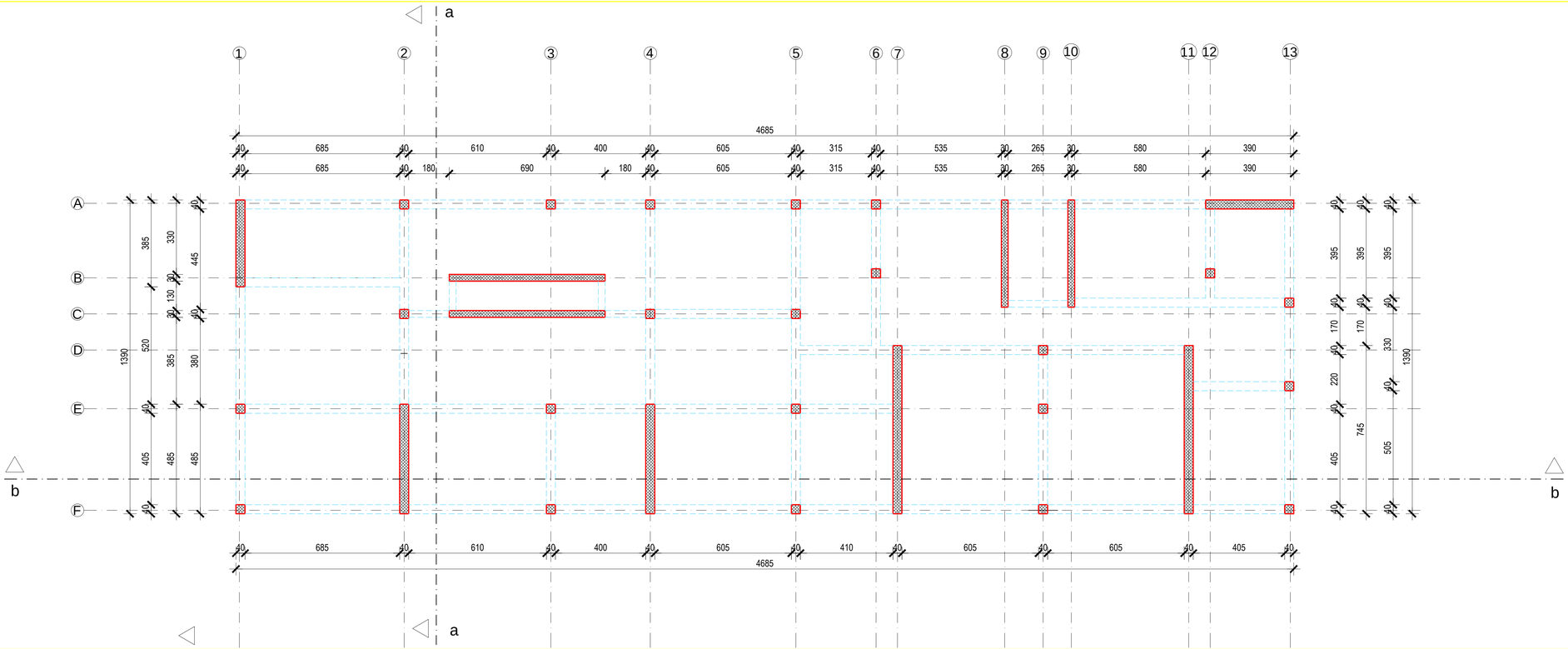
http://www.wienerberger.hr/zidni-sistem/porotherm

# TLOCRT TEMELJA
M 1:100



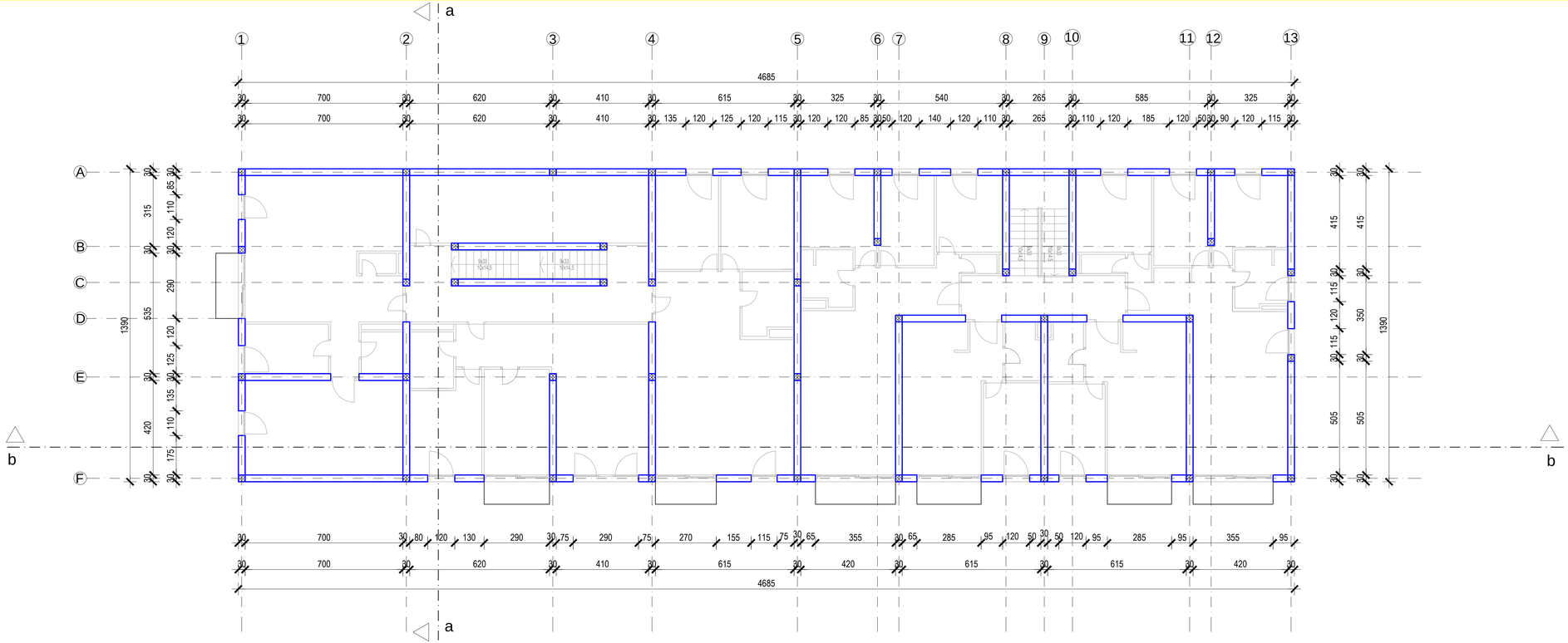

| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | Tema: | Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | |
| | Student: | Tovi Blagaić | |
| | Sadržaj: Tlocrt temelja | Mjerilo: 1:100 | Broj priloga: 1 |
| | Datum: Ljetni 2017. | | |

# TLOCRT PRIZEMLJA
M 1:100




| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | Tema: | Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | |
| | Student: | Tovi Blagaić | |
| | Sadržaj: Tlocrt prizemlja | Mjerilo: 1:100 | Broj priloga: 2 |
| | Datum: Ljeto 2017. | | |

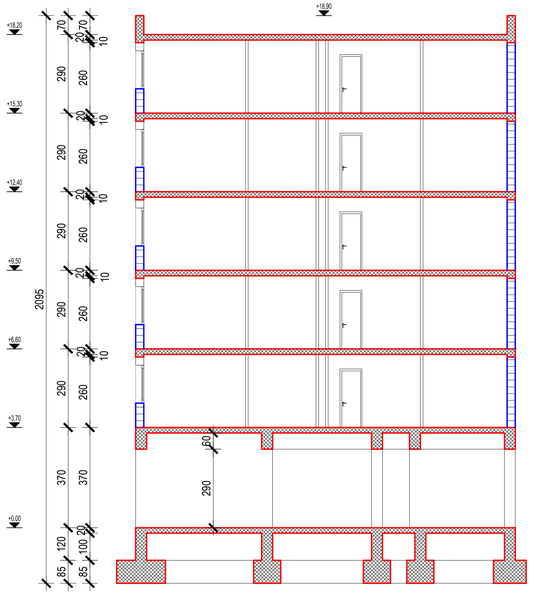
# TLOCRT
# KARAKTERISTIČNE ETAŽE
# M 1:100



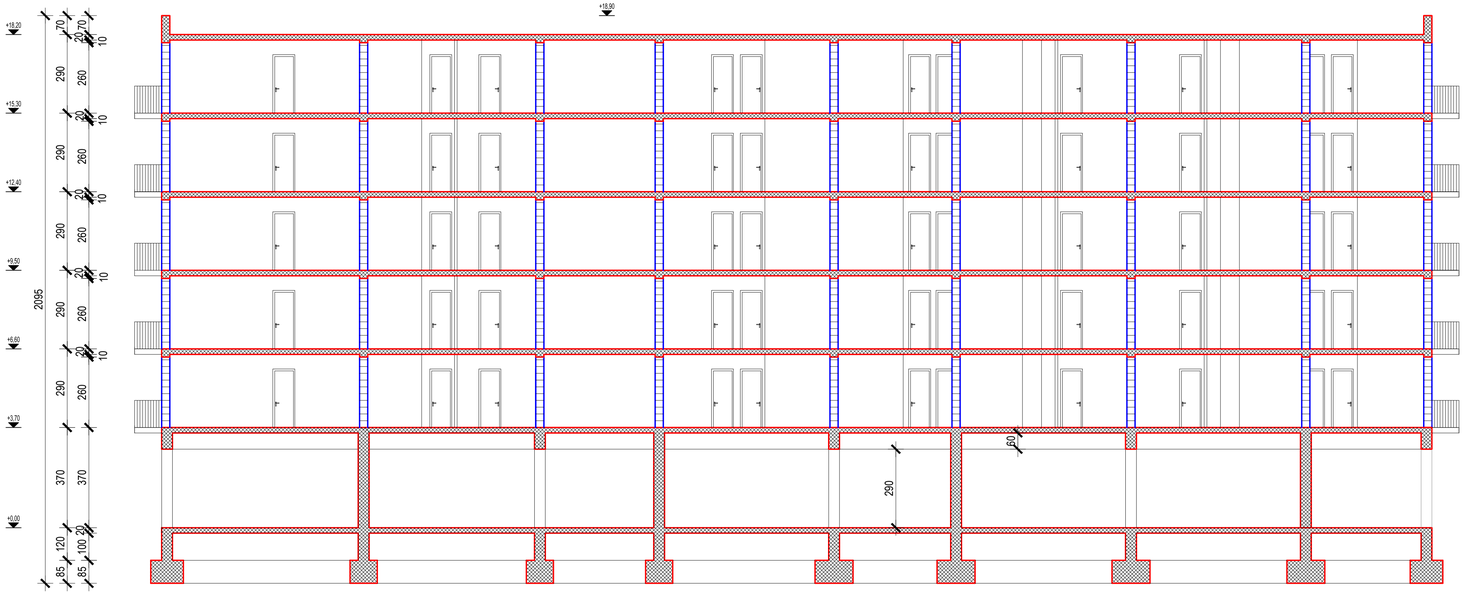

| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | Tema: | Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | |
| | Student: | Tovi Blagaić | |
| | Sadržaj: Tlocrt karakteristične etaže | Mjerilo: 1:100 | Broj priloga: 3 |
| | Datum: Ljeto 2017. | | |

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

## Presjek a-a



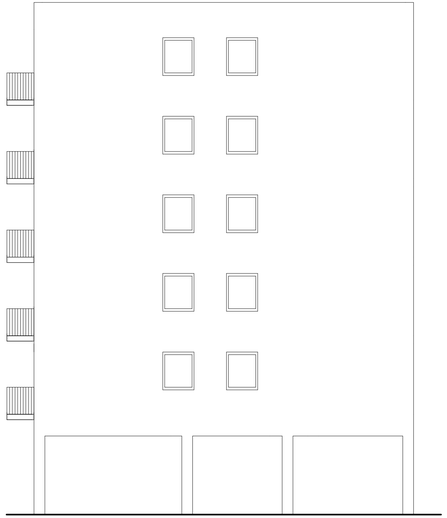

## Presjek b-b




| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATIĆE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | Tema: | Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | |
| | Student: | Tovi Blagaić | |
| | Sadržaj: Presjeci a-a i b-b | Mjerilo: 1:100 | Broj priloga: 4 |
| | Datum: Ljeto 2017. | | |

# JUŽNO I ZAPADNO PROČELJE
M 1:100

ZAPADNO PROČELJE

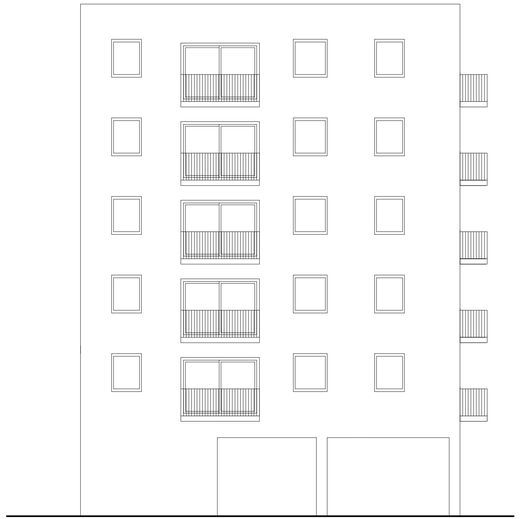


JUŽNO PROČELJE

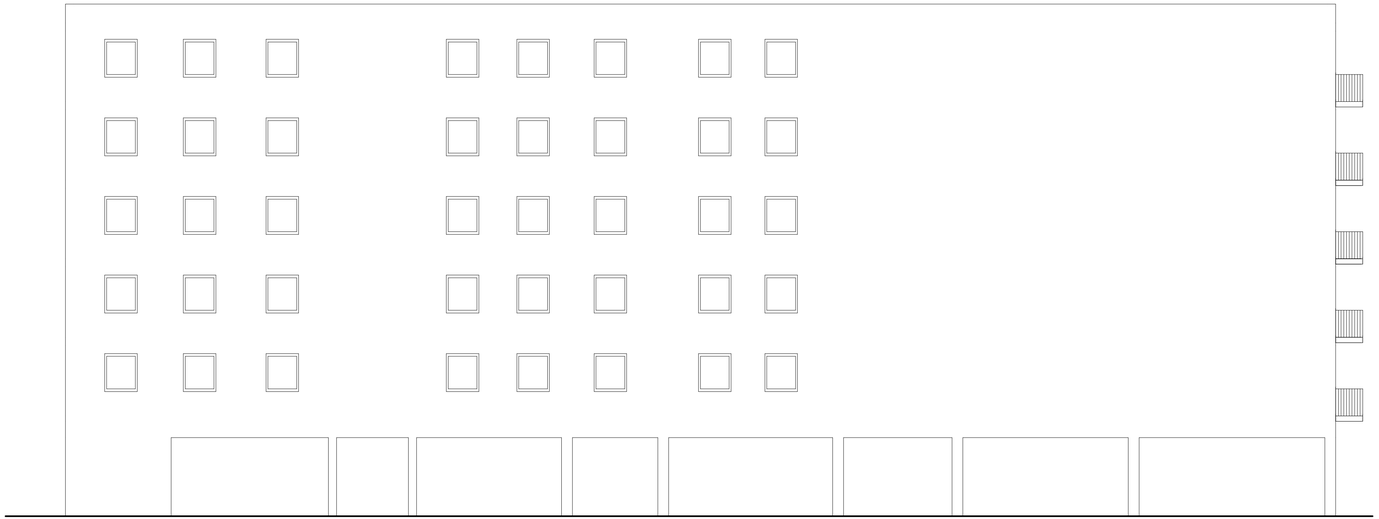
| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | Tema: | Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | |
| | Student: | Tovi Blagaić | |
| | Sadržaj: Južno i zapadno pročelje | Mjerilo: 1:100 | Broj priloga: 5 |
| | Datum: Lipanj 2017. | | |

# SJEVERNO I ISTOČNO PROČELJE
M 1:100

ISTOČNO PROČELJE



SJEVERNO PROČELJE

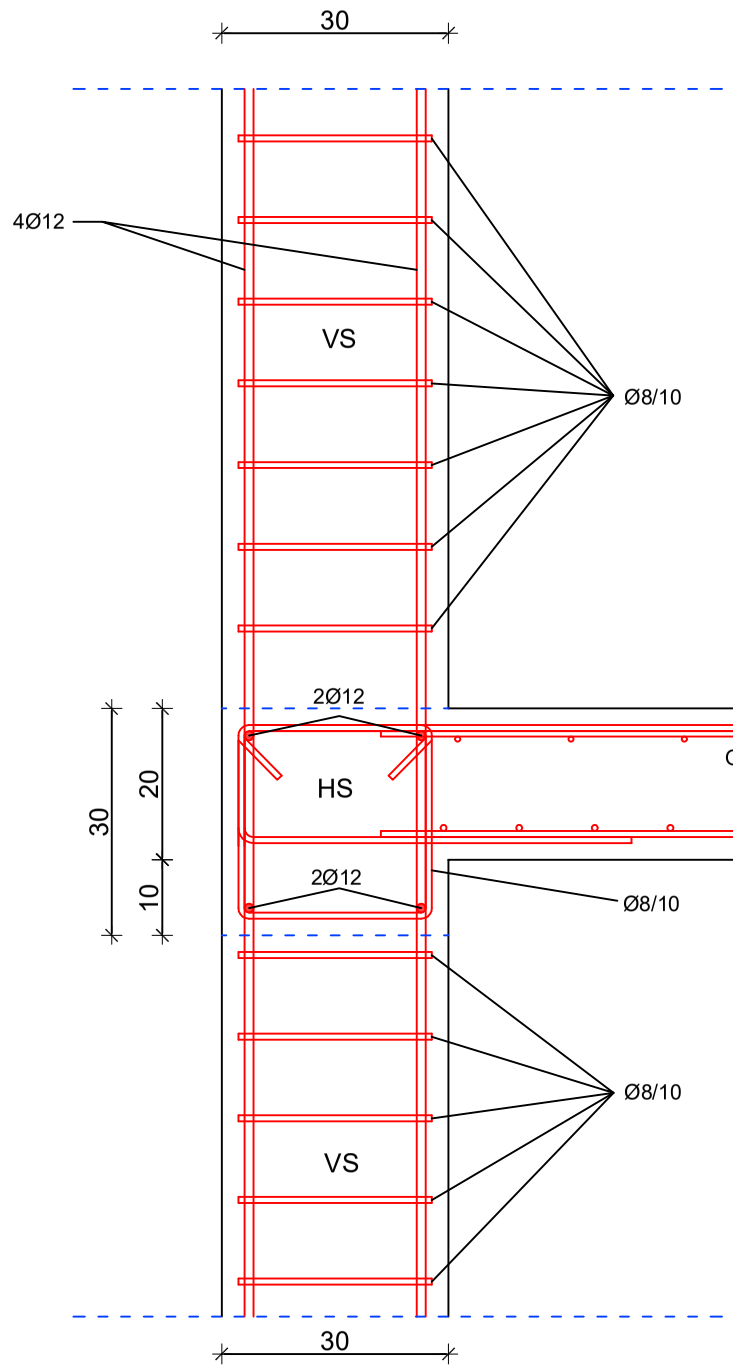


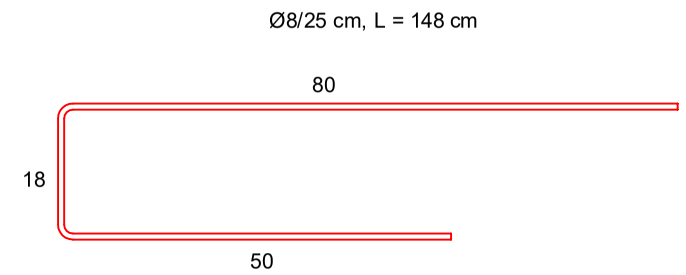
| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | Tema: | Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | |
| | Student: | Tovi Blagaić | |
| | Sadržaj: Sjeverno i istočno pročelje | Mjerilo: 1:100 | Broj priloga: 6 |
| | Datum: Ljetni 2017. | | |

# DETALJ SPOJA HORIZONTALNOG I VERTIKALNOG SERKLAŽA M 1:10

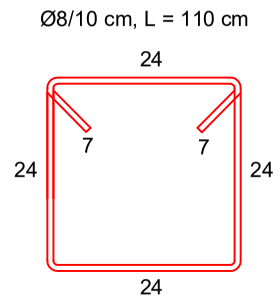
HS - Horizontalni serklaž

VS - Vertikalni serklaž

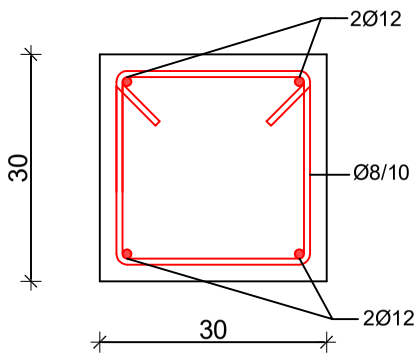


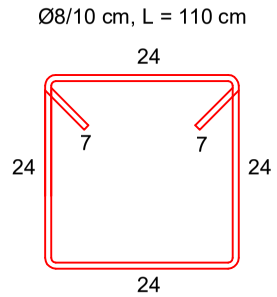




HS 30/30 cm




VS 30/30 cm





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


| DIPLOMSKI RAD | | | |
|---|---|---|---|
| Tema: | Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | | |
| Student: | Toni Blagaić | | |
| Sadržaj: | Detalj spoja serklaža | Mjerilo: | Broj priloga: 7 |
| Datum: | Lipanj 2017. | 1:10 | |

# ARMATURA KARAKTERISTIČNOG OKVIRA U OSI 13
1:50

## GREDA

Gornja zona

- ③ Ø20, kom.2, L= 762 cm — 697 + 60 + 697
- ④ Ø20, kom.2, L= 160 cm — 120
- ⑤ Ø20, kom.2, L= 180 cm — 180
- ⑤ Ø20, kom.2, L= 180 cm — 180
- ④ Ø20, kom.2, L= 160 cm — 120

Konstruktivna armatura

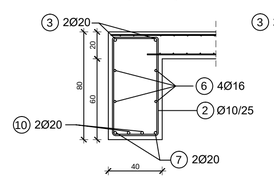
- ⑥ Ø16, kom.2, L= 700 cm — 700 + 60 + 700

Donja zona

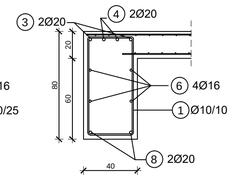
- ⑧ Ø20, kom.2, L= 500cm — 435
- 120
- ⑦ Ø20, kom.2, L= 660 cm — 660
- 120
- ⑧ Ø20, kom.2, L= 500cm — 435
- ⑨ Ø20, kom.2, L= 300cm — 300
- ⑩ Ø20, kom.2, L= 240cm — 240
- ⑨ Ø20, kom.2, L= 300cm — 300

## GREDA 1:25

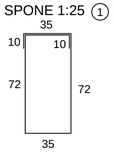
polje, presjek 3-3



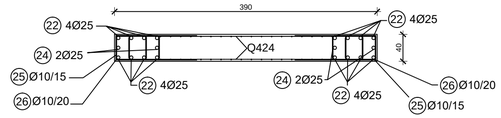

ležaj, presjek 4-4



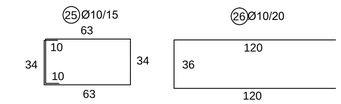

SPONE 1:25 ① ②



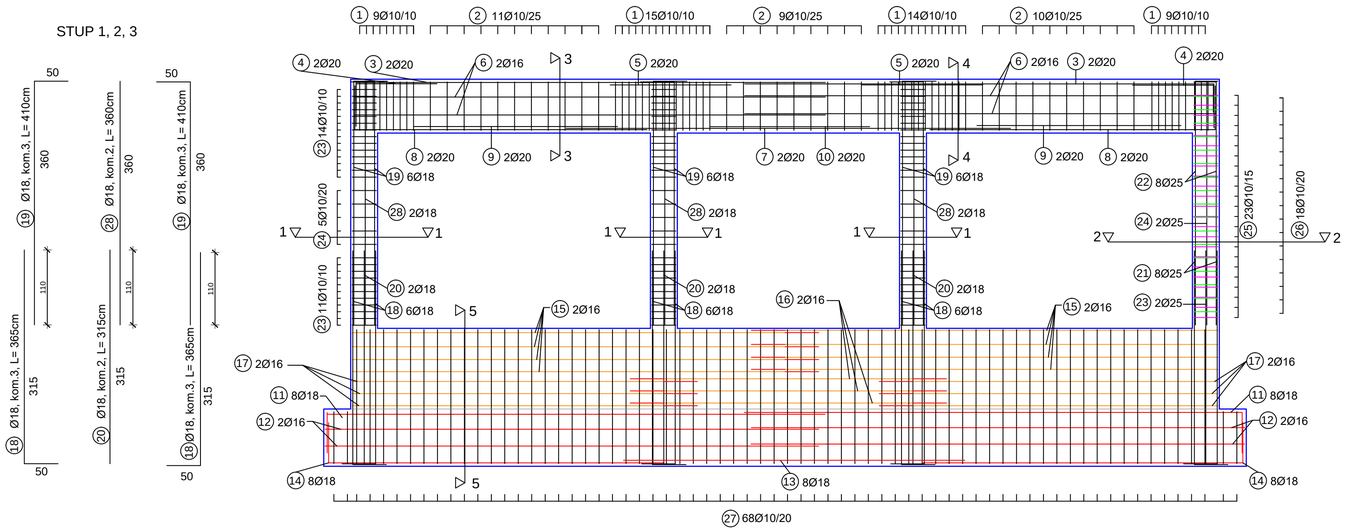

## ZID presjek 2-2



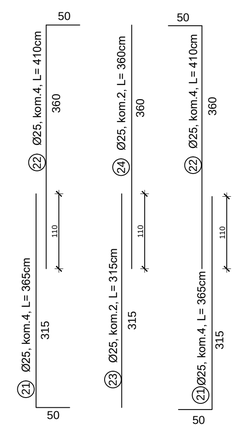

SPONE 1:25



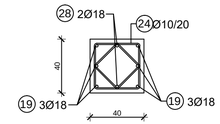

## STUP 1, 2, 3



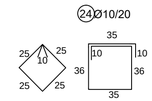

## ZID



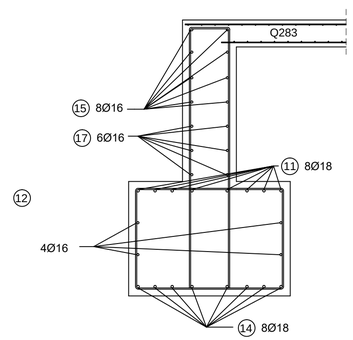

STUP 1:25 presjek 1 -1



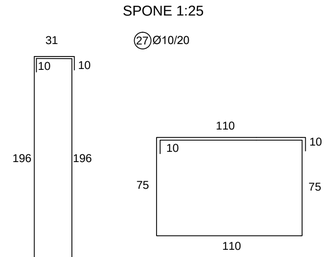

SPONE 1:25




## TEMELJNA TRAKA 1:25, prejsje 5-5




SPONE 1:25




## NADTEMELJNI ZID

Gornja zona

- ⑮ Ø16, kom.2, L= 695cm — 695 + 100 + 695

Donja zona

- ⑰ Ø16, kom.2, L= 515cm — 515
- 100
- ⑯ Ø16, kom.2, L= 490cm — 490
- 100
- ⑰ Ø16, kom.2, L= 515cm — 515

## TEMELJNA TRAKA

Gornja zona

- ⑪ Ø18, kom.8, L= 800cm — 740 + 120 + 740 (60)

Konstruktivna armatura

- ⑫ Ø16, kom.2, L= 735cm — 735 + 100 + 735

Donja zona

- ⑭ Ø18, kom.8, L= 620cm — 560
- 120
- ⑬ Ø18, kom.8, L= 505cm — 505
- 120
- ⑭ Ø18, kom.8, L= 620cm — 560 (60)

| | | | |
|---|---|---|---|
| SVEUČILIŠTE U SPLITU<br>FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE<br>21 000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15 | DIPLOMSKI RAD | | |
| | Tema: Proračun zidane zgrade s ab prizemljem | | |
| | Student: Toni Blagaić | | |
| | Sadržaj: Armatura karak. okvira | Mjerilo: 1:50 1:25 | Broj priloga: 8 |
| | Datum: Lipanj 2017. | | |