

Proračun zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem metodom naguravanja

Ivanac, Antonio

Master's thesis / Diplomski rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:

University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:721630>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-26**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Antonio Ivanac

Split, 2022.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Antonio Ivanac

**Proračun zidane zgrade s armirano-betonskim
prizemljem metodom naguravanja**

Diplomski rad

Split, 2022.

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

STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA
KANDIDAT: Antonio Ivanac
KATEDRA: Katedra za teoriju konstrukcija
PREDMET: Zidane konstrukcije

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Proračun zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem metodom naguravanja

Opis zadatka: Izraditi projekt zidane konstrukcije s armirano-betonskim podrumom. U radu:

- opisati koncept nosive konstrukcije
- osnovna djelovanja i njihove kombinacije, vrstu i svojstva gradiva
- podatke o tlu i načinu temeljenja
- proračunati sve konstruktivne elemente
- izraditi građevinske nacрте (temelji, tlocrti, presjeci, pročelja, detalje).
- odraditi pushover metodu i vremensku analizu na potres

Zadano:

- Tlocrt tipične etaže
- Blok opeka, srednja tlačna čvrstoća $f_{b,sr} = 10,0$ MPa, Mort: M10
- Razred betona ovisno o konstruktivnom elementu, armatura B500
- Područje izgradnje objekta Makarska
- Računska nosivost tla $\sigma_{Rd} = 500,0$ kPa

Proračun provesti u skladu s tehničkim propisima i normama.

U Splitu, 10.03.2022

Voditelj Diplomskog rada:

Prof. dr. sc. Boris Trogrlić

Predsjednik povjerenstva

za završne i diplomske ispite:

Izv. prof. Ivo Andrić

Proračun zidane zgrade s armirano-betonskim prizemljem metodom naguravanja

Sažetak:

U radu je prikazan proračun stambene zgrade s konstruktivnim sustavom od armirano-betonskih elemenata i zidanih zidova. Potresna otpornost konstrukcije određena je metodom spektralne analize, pa poslje provedena kroz nelinearnu statičku i dinamičku analizu. Analiziralo se ponašanje konstrukcije pri slomu i kod djelovanja potresa. 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:

Pushover analiza, vremenska analiza, zidana konstrukcija

Structural analysis of a masonry building with a reinforced concrete basement using the pushover method

Abstract:

The paper presents the structural analysis of a residential building with a structural system of reinforced concrete elements and masonry walls. The seismic resistance of the structure was determined using the spectral analysis method, and then we performed a non-linear static and dynamic analysis. The behavior of the structure at the time of collapse and during a earthquake was observed. Calculation of slabs, foundations, beams, columns and walls due to vertical action was also carried out. Cutting forces in structural elements which are accordingly reinforced were obtained by calculation.

Keywords:

Pushover analysis, time history analysis, masonry structure

SADRŽAJ:

1	UVOD.....	3
2	TEHNIČKI OPIS.....	4
2.1	Općenito.....	4
2.2	Temelji.....	4
2.3	Zidovi.....	4
2.4	Međukatne konstrukcije.....	5
2.5	Vertikalni i horizontalni serklaži.....	5
3	GRAĐEVINSKI NACRTI I PLANOVI POZICIJA.....	6
3.1	Tlocrti.....	6
3.1.1	Podrum.....	6
3.1.2	Prizemlje.....	7
3.1.3	1-3.Kat.....	8
3.1.4	Temelj.....	9
4	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	10
4.1	Osnovna djelovanja na konstrukciju.....	10
4.1.1	Djelovanja na AB pločama:.....	10
4.1.2	Podjela opterećenja.....	11
4.2	Kombinacije djelovanja.....	12
4.3	Modeli proračuna.....	13
4.3.1	Svojstva materijala.....	13
4.4	Rezultati proračuna na vertikalna djelovanja.....	14
4.4.1	Zidovi.....	14
4.4.2	Ploče.....	15
4.4.3	Grede.....	16
4.4.4	Stupovi.....	19
4.4.5	Temelji.....	20
5	PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA VERTIKALNA DJELOVANJA.....	22
5.1	Proračun zidova i stupova.....	22
5.2	Proračun ploča.....	24
5.3	Proračun greda.....	26
5.3.1	Dimenzioniranje grede G1 - Polje.....	26
5.3.2	Dimenzioniranje grede G1 - Ležaj.....	27
5.3.3	Dimenzioniranje spona grede G1.....	28
5.3.4	Dimenzioniranje grede G2 - Polje.....	30

5.3.5	Dimenzioniranje grede G2 - Ležaj.....	31
5.3.6	Dimenzioniranje spona grede G2.....	32
5.3.7	Dimenzioniranje grede G3.....	33
5.4	Proračun temelja	34
5.4.1	Lokalni proračun temelja	34
5.4.2	Globalni proračun temelja.....	36
6	POTRESNI MODELI I ANALIZA.....	37
6.1	Uvod.....	37
6.1.1	Geometrijska nelinearnost.....	37
6.1.2	Nelinearnost materijala	38
6.1.3	Način modeliranja elemenata.....	39
6.2	Modalna analiza.....	41
6.2.1	Rezultati zidova.....	43
6.2.2	Rezultati vertikalnih serklaža.....	45
6.2.3	Rezultati stupova.....	47
6.3	Proračun zidova i stupova na potresno opterećenje	49
6.3.1	Proračun karakterističnog zida.....	49
6.3.2	Proračun karakterističnog vertikalnog serklaža	54
6.3.3	Proračun karakterističnog stupa	55
6.4	Pushover analiza	56
6.4.1	Uvod.....	56
6.4.2	Rezultati pushover analize	58
6.5	Time-history analiza	64
6.5.1	Uvod.....	64
6.5.2	Rezultati nelinearne analize u vremenu	66
6.6	Zaključak nelinearne statičke i dinamičke analize.....	75
7	PRILOZI.....	76
8	LITERATURA	77

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. Danas zidane konstrukcije dominiraju u stanogradnji u kombinaciji sa armiranobetonskim konstruktivnim elementima.

Suvremeni tehnički standardi uvjetovali su razvoj novih građevinskih materijala pa za razliku od tradicionalnog ziđa koje je kao osnovni zidni element imalo punu opeku sušenu na suncu ili pečenu, suvremene opeke izrađuju se uglavnom ošupljene sa različitim uzorkom šupljina. Zidane građevine su veoma otporne na vertikalna opterećenja, ali ne i na horizontalna djelovanja. Osjetljivost na horizontalna djelovanja posebno dolazi do izražaja pri potresu, ponajviše zbog prisutnosti sljubnica između blokova, koje mogu, a i ne moraju biti ispunjene mortom.

Cilj ovog rada je analiza zidane zgrade sa 3-etažne + prizemlje i podrum na gravitacijsko i potresno djelovanje. Podrum je armirano-betonski a ostatak zidova su omeđeno ziđe. Ploče i grede su sve armirano-betonske.

Proračun se radi pomoću dva software-a. SCIA Engineer 21.1 će nam služiti za proračun svih unutarnjih sila na sva vertikalna opterećenja. SeismoStruct 2022 će nam služiti za određivanje unutarnjih sila izazvane od potresa, također ćemo jos provest kroz njega i pushover analizu i vremensku analizu.

Za sve dodatne ručne kalkulacije se rješavaju pomoću Mathcad 15, Python i Excel. Svi crteži se rade s kombinacijom Python-a i Autocad-a.

2 TEHNIČKI OPIS

2.1 Općenito

Građevina se nalazi u Makarskoj, te se sastoji od podruma, prizemlja i 3 kata. Dimenzija **12.10x15.50m**. Ukupna brutto površina građevine iznosi **937.75 m²**, a ukupna visina **12.10 m**, mjereno od podne ploče prizemlja. Računsko ubrzanje tla iznosi **$a_g=0.22 \cdot g$ m/s²**, II.području opterećenja vjetrom i području D opterećenja snijegom. Međukatne konstrukcije su armirano-betonske ploče. Konstrukcija temelja je armirano-betonska, a sastoji se od: temeljnih traka, nadtemeljnih zidova i podne ploče. Podrumski zidovi su rađeni od armiranog betona, svi zidovi iznad tla su rađeni od ziđa.

2.2 Temelji

Računska nosivost tla iznosi **$\sigma_{R,d}=500$ kPa**. Temeljne trake (visine **h=50 cm**) izvesti od betona C30/37, armirati s B-500. Nadtemeljne zidove (**d=20 cm**) i podnu ploču (**d=16 cm**) izvesti od betona C30/37, armirati s B-500.

2.3 Zidovi

Nosive zidove zidati od blok opeke u vapneno-cementnom mortu (mort opće namjene). Vanjski zidovi su debljine **t=25 cm**, a omeđeni su vertikalnim i horizontalnim serklažima.

Svojstva blok opeke i morta:

- Grupa zidnih elemenata: 2a
- Srednja tlačna čvrstoća bloka: **$f_{b,min}=10.0$ N/mm²**
- Razred izvedbe: B; razred kontrole proizvodnje: I.

Za zidanje rabiti produžni mort marke **M10 ($f_m=10.0$ N/mm²)**, kojemu odgovara slijedeći volumni sastav:

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

2.4 Međukatne konstrukcije

Međukatnu konstrukcije su izvedene kao a-b ploče debljine **16 cm**, od betona C30/37 i armirati s B-500. Horizontalne serklaže izvesti zajedno s pločom, od betona C30/37 i armirati s B-500.

2.5 Vertikalni i horizontalni serklaži

Vertikalne i horizontalne serklaže izvesti od betona C25/30 i armirati s B-500.

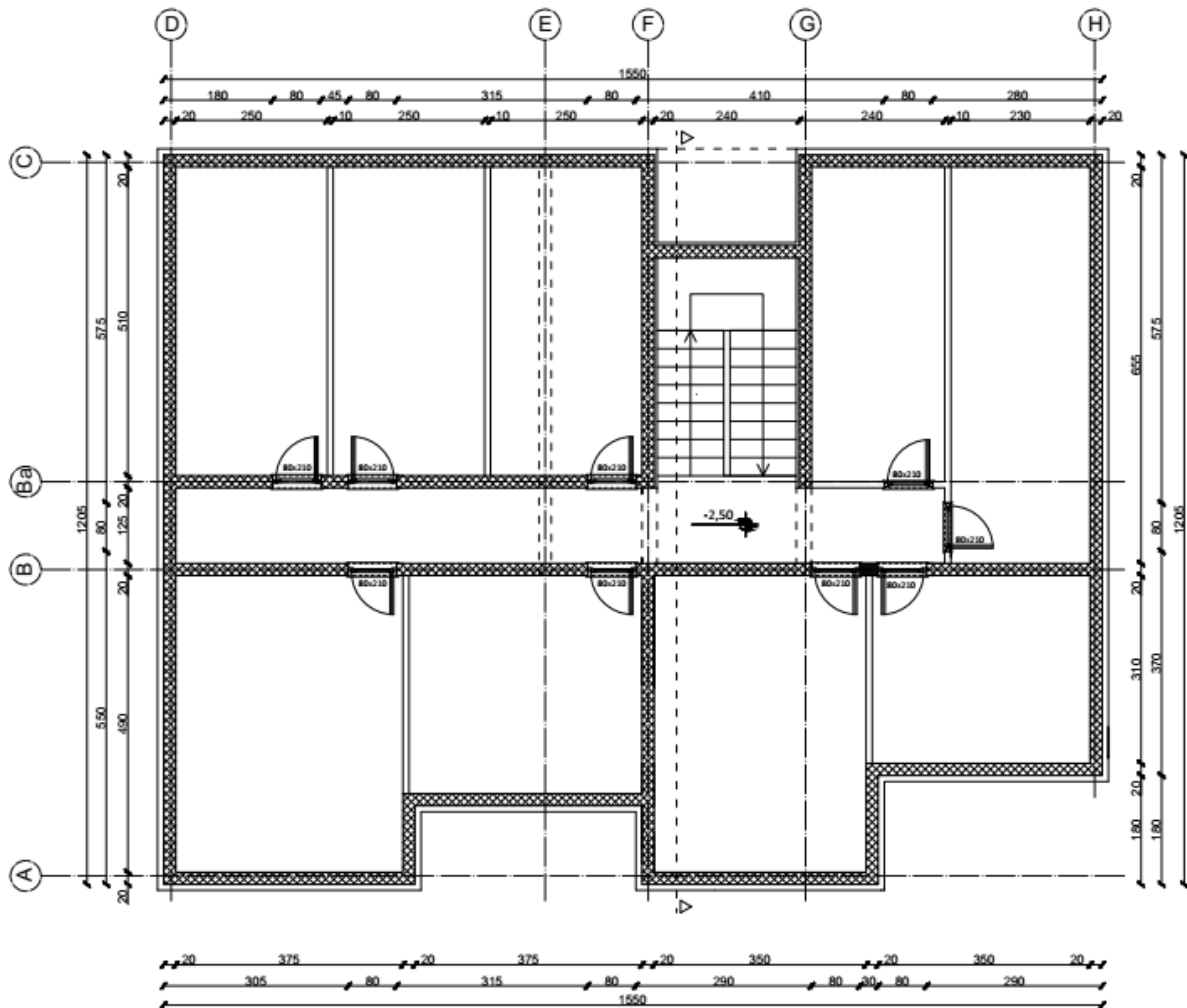
Sve vertikalne serklaže izbetonirati nakon zidanja ziđa. Moguće je ugraditi posebne blokove koji oblikuju oplatu serklaža. Horizontalne serklaže izvesti u razini međukatnih konstrukcija od betona C25/30 i armirati s B-500.

3 GRAĐEVINSKI NACRTI I PLANOVI POZICIJA

3.1 Tlocrti

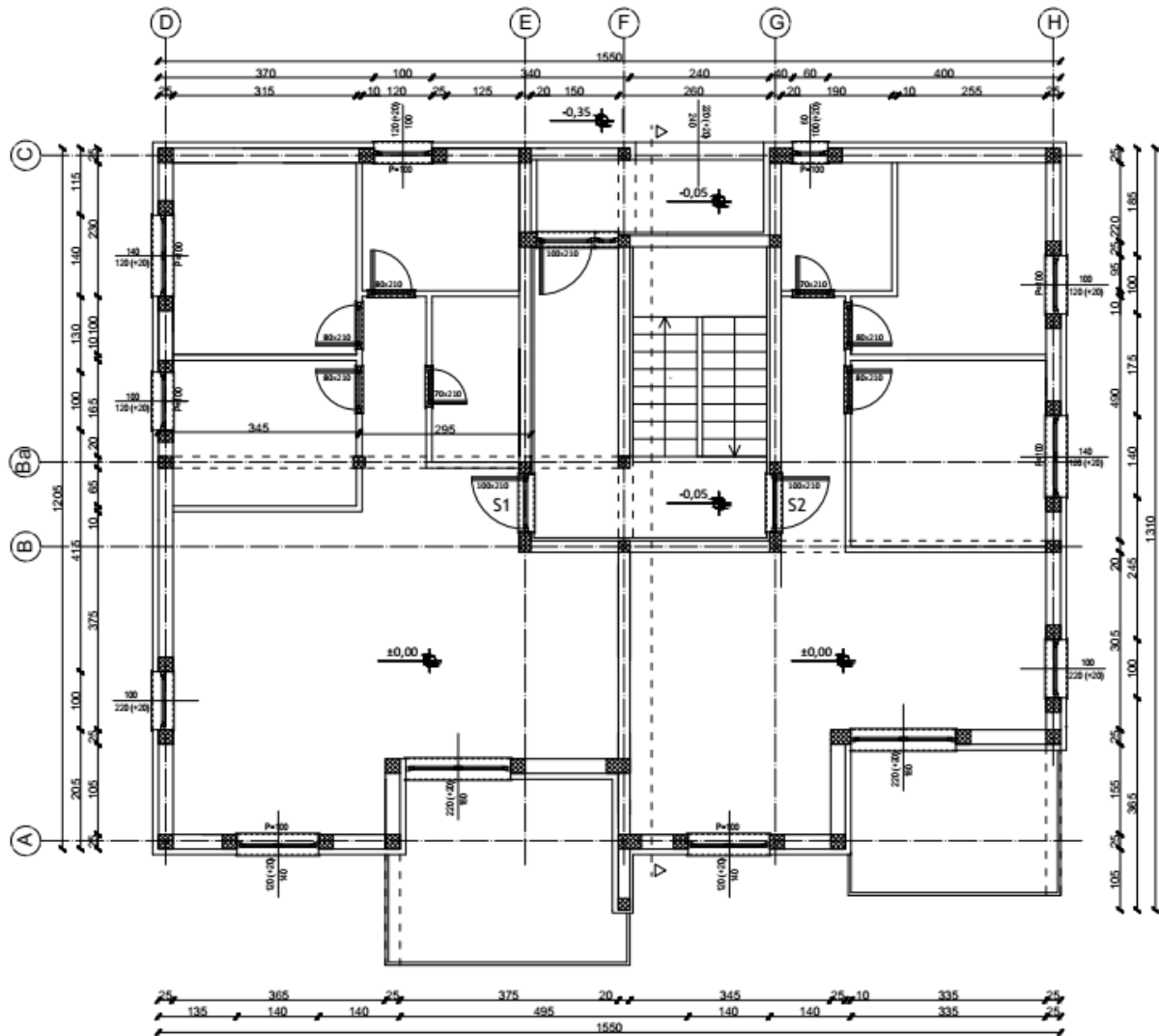
Prikaz tlocrta zgrade za svaki njezin kat.

3.1.1 Podrum



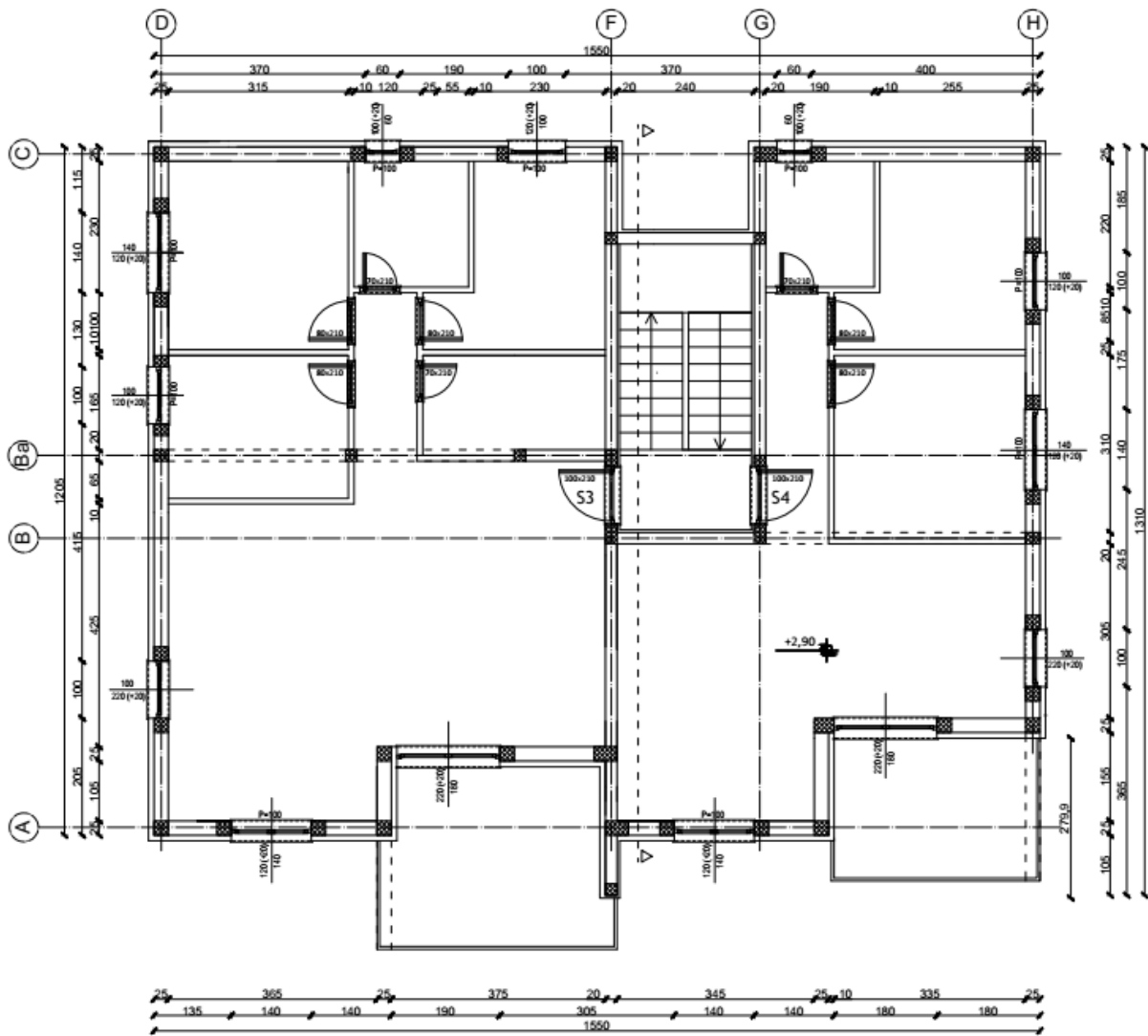
Slika 1: Tlocrt podruma

3.1.2 Prizemlje



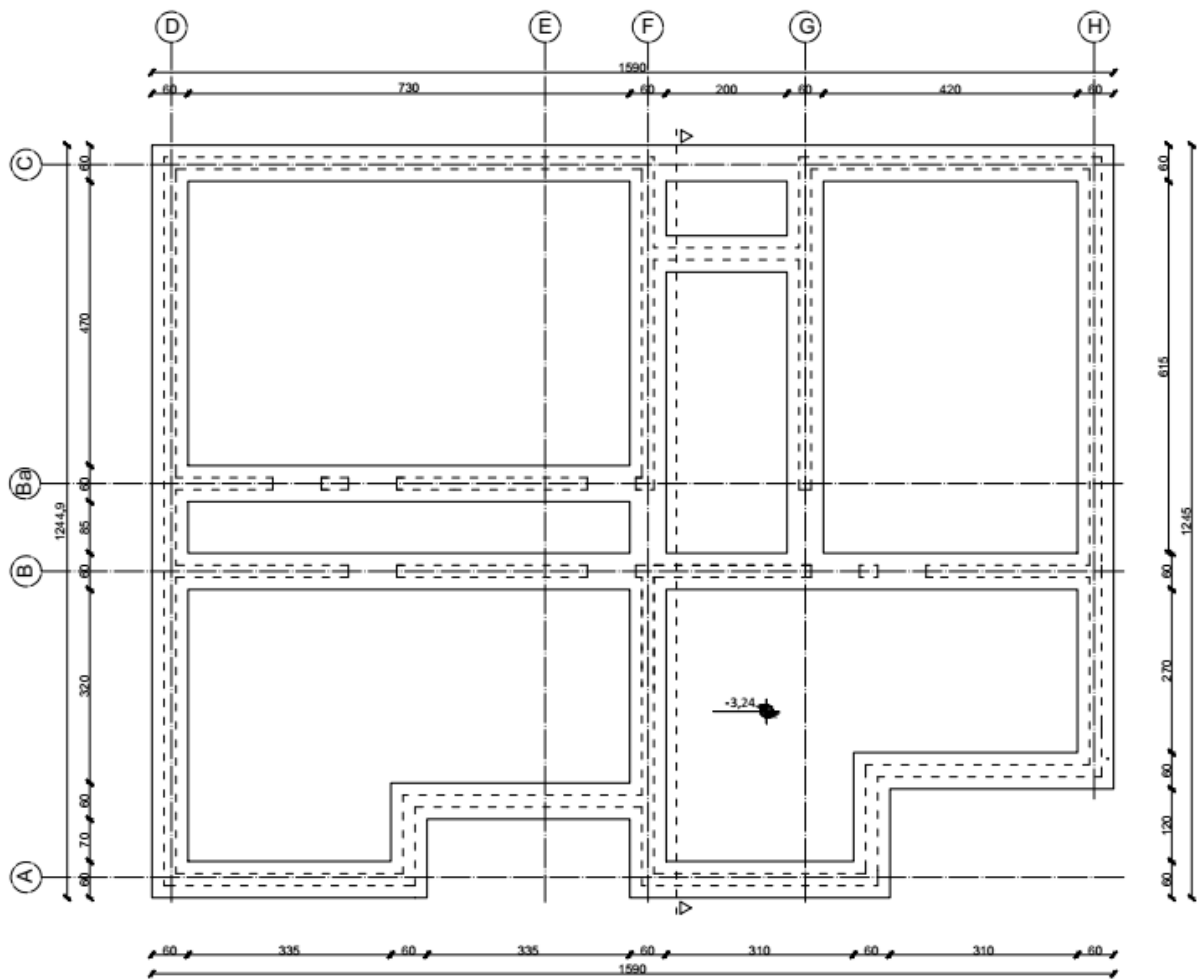
Slika 2: Tlocrt prizemlja

3.1.3 1-3.Kat



Slika 3: Tlocrt katova

3.1.4 Temelj



Slika 4: Tlocrt temelja

4 ANALIZA OPTEREĆENJA

4.1 Osnovna djelovanja na konstrukciju

4.1.1 Djelovanja na AB pločama:

MK1: sobe, dnevni boravak, hodnik	
Stalno djelovanje:	
pregradni zidovi	0.50 kN/m ²
završni sloj poda, izolacije, instalacije, žbuka	0.50 kN/m ²
a-c estrih; d=6 cm; $\gamma=22$ kN/m ³	1.30 kN/m ²
<u>međukatna konstrukcija - a-b ploča; d=16 cm; $\gamma=25$ kN/m³</u>	<u>4.00 kN/m²</u>
	g=6.30 kN/m ²
	$\Delta g=2.30$ kN/m ²
Promjenjivo djelovanje:	q=2.00 kN/m ²
MK2: stubište	
Stalno djelovanje:	
završni sloj poda, izolacije, instalacije, žbuka	0.50 kN/m ²
a-c estrih; d=6 cm; $\gamma=22$ kN/m ³	1.30 kN/m ²
<u>međukatna konstrukcija - a-b ploča; d=16 cm; $\gamma=25$ kN/m³</u>	<u>4.00 kN/m²</u>
	g=5.80 kN/m ²
	$\Delta g=1.80$ kN/m ²
Promjenjivo djelovanje:	q=3.00 kN/m ²
MK3: balkoni, lođe	
Stalno djelovanje:	
završni sloj poda, izolacije, instalacije, žbuka	0.50 kN/m ²
a-c estrih; d=6 cm; $\gamma=22$ kN/m ³	1.30 kN/m ²
<u>međukatna konstrukcija - a-b ploča; d=16 cm; $\gamma=25$ kN/m³</u>	<u>4.00 kN/m²</u>
	g=6.30 kN/m ²
	$\Delta g=1.80$ kN/m ²
Promjenjivo djelovanje:	q=4.00 kN/m ²

4.1.2 Podjela opterećenja

Osnovna djelovanja, na čiji utjecaj se dokazuje mehanička otpornost i stabilnost predmetne građevine, podijeljena su prema slijedećem:

Oznaka osnovnog djelovanja	Opis djelovanja
G	Stalno djelovanje. Vlastita težina elemenata nosive konstrukcije, obloga (podovi, žbuke), stalna oprema itd.
Q1	Promjenjivo djelovanje: sobe, dnevni boravak... 2.00 kN/m ² stubište 3.00 kN/m ² balkonske ploče 4.00 kN/m ²
Q2	Snijeg + vert. pritisak vjetra: područje opterećenja snijegom: D nadmorska visina: ≤ 100 m.n.m. karakteristična vrijednost snijega na tlu: $s_k=0.50$ kN/m ² opterećenje snijegom na krovu: $s=\mu_i C_e C_t S_k=0.8*1.0*1.0*0.50=$ $s=0.40$ kN/m ² opterećenje snijeg + vjetar na krovu: $s_{s+v}\sim 1.00$ kN/m ²
Q3	Vjetar: područje II. $v_{ref,0} = 30$ m/s koeficijent položaja ($h\approx 12$ m, III. kategorija zemljišta): $c_e(z) = 2.0$ poredbeni tlak: $q_{ref} = \rho_{zrak} * v_{ref}^2 / 2 = 1.25 * (30^2) / 2 / 1000 =$ $q_{ref} = 0.56$ kN/m ² koeficijent vanjskog tlaka: $c_{pe} \cong 0.8$ koeficijent unutarnjeg tlaka: $c_{pi} \cong 0.3$ tlak vjetra na vanjske vertikalne površine: $w_e = q_{ref} * c_e(z) * c_{pe} = 0.56 * 2.0 * 0.8 =$ $w_e = 0.90$ kN/m ² tlak vjetra na unutarnje vertikalne površine: $w_i = q_{ref} * c_e(z) * c_{pi} = 0.56 * 2.0 * 0.4 =$ $w_e = 0.45$ kN/m ²
F	Potres: računsko ubrzanje tla: $a_g = 0.26 * g$ m/s ² razred tla: A faktor ponašanja (za zide): 2.5 faktor važnosti građevine: $\gamma_I = 1.0$

4.2 Kombinacije djelovanja

GSU - Granično stanje uporabljivosti

Oznaka kombinacije	Parcijalni faktor za opterećenje	Koristi se za:	Parcijalni faktor za materijale
GSU-1	osnovna kombinacija: 1.0G + 1.0Q1 + 1.0Q2	proračun progiba a-b ploča, kontrola naprezanja u tlu	ziđe: $\gamma_M=1.5$ beton: $\gamma_c=1.5$ čelik: $\gamma_s=1.0$

GSN - Granično stanje nosivosti

Oznaka kombinacije	Parcijalni faktor za opterećenje	Koristi se za:	Parcijalni faktor za materijale
GSN-1	osnovna kombinacija: 1.35G + 1.5Q1	proračun ploča i zidova na vertikalna djelovanja	ziđe: $\gamma_M=2.2$ beton: $\gamma_c=1.5$ čelik: $\gamma_s=1.15$
GSN-2	potres: 1.0G + 1.0S + (0.3*0.5)Q1	proračun zidova na djelovanje potresa	ziđe: $\gamma_M=1.5$ beton: $\gamma_c=1.5$ čelik: $\gamma_s=1.0$

4.3 Modeli proračuna

Za početak se dimenzionira cijela konstrukciju na unutrnje sile koje smo dobili pomoću software-a SCIA Engineer 21.1.

To su uglavnom unutranje sile izazvane od vertikalnom opterećenja na zidove, ploče, stupove i grede. Horizontalna opterećenja kao potres ćemo uzeti u drugom poglavlju u obzir.

Ovdje su izjasnjena svojstva materijala za ulazne podatke koje ćemo unijeti u software.

4.3.1 Svojstva materijala

4.3.1.1 Beton

Koristiti se beton klase **C30/37**, tlačne čvrstoće $f_{ck}=30$ MPa i modula elastičnosti od **E=30 GPa**. Faktor sigurnosti za beton nam je $\gamma_c=1.5$

4.3.1.2 Zide

Blok opeka, dimenzije: $dx \times xv = 30 \times 25 \times 23.8$ cm

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

Normalizirana tlačna čvrstoća bloka: $f_b=10.0 \times \delta=10 \times 1.15= 11.5$ MPa

Grupa zidnih blokova: **2a (K=0.55)**

Mort: M10 ($f_m=10.0$ MPa)

Modul elastičnosti: $E=1000 \times f_{ck,sred} = 10000$ MPa = **10 GPa**

Tlačna čvrstoća zida: $f_k= K \times f_b^{0.7} \times f_m^{0.3} = 0.55 \times 11.5^{0.7} \times 10.0^{0.3} = 6.065$ MPa

Posmična čvrstoća zida: $f_k= 0.065 \times f_b = 0.065 \times 11.5 = 0.74$ MPa

Faktor smanjenja: $\Phi_{i,m}=0.70$

Koef. sigurnosti: $\gamma_M=2.2$ (razred proizvodnje I., razred izvedbe B.)

4.3.1.3 Armatura

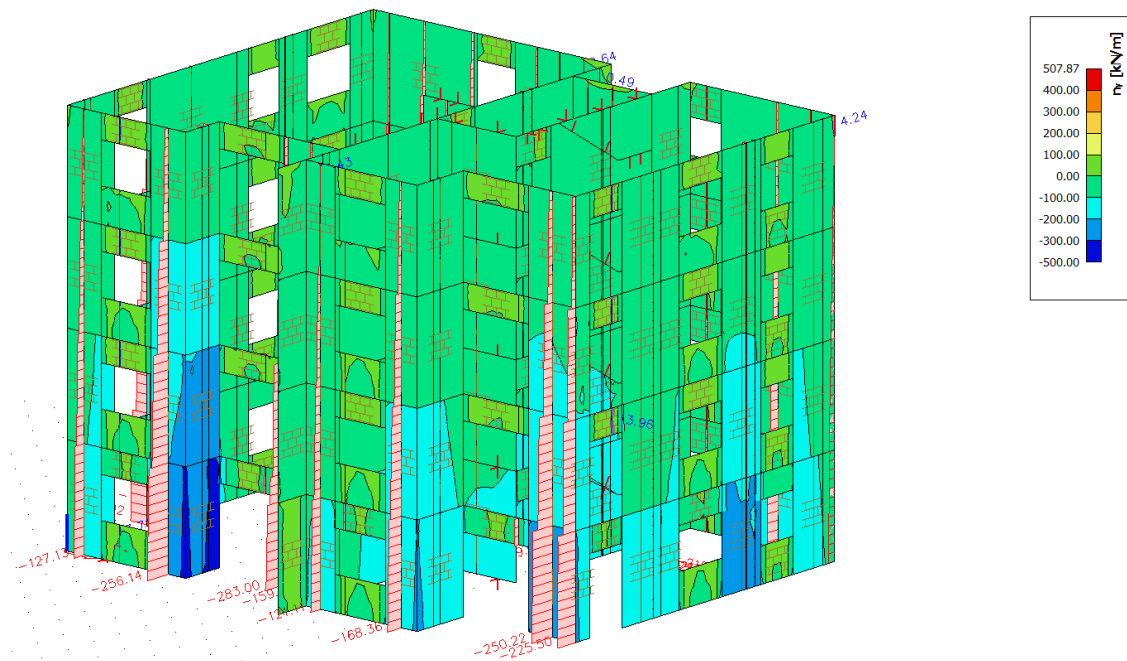
Koristi se armatura **B500B** sa vlačnom čvrstoćom od $f_{yk}= 500$ MPa i faktorom sigurnosti od $\gamma_s=1.15$

4.4 Rezultati proračuna na vertikalna djelovanja

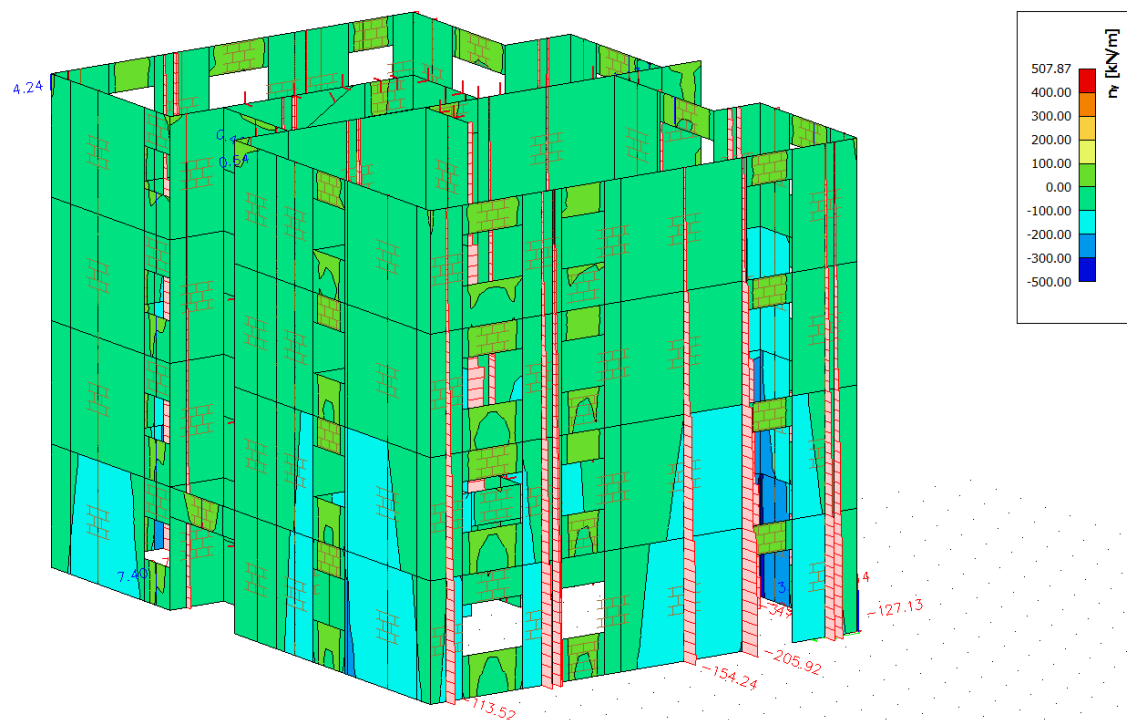
Prikazani su samo slike rezultata koje su se koristili kod proračuna dimenzija i armature

4.4.1 Zidovi

Budući da postoje mnogo zidova prikazano je samo okvirno sile u zidovima, točni iznos sila za svaki zid biti će kasnije prikazan u dokazivanju nosivosti svakoga zida.



Slika 5: Vertikalne sile u zidovima



Slika 6: Vertikalne sile u zidovima

4.4.2 Ploče

Za proračun ploča uzeto je sile od jedne međukatne konstrukcije, po njoj dimenzionirati i odabrati armaturu, pa armaturu koristiti za sve ostale ploče.

2D internal forces

Values: m_x

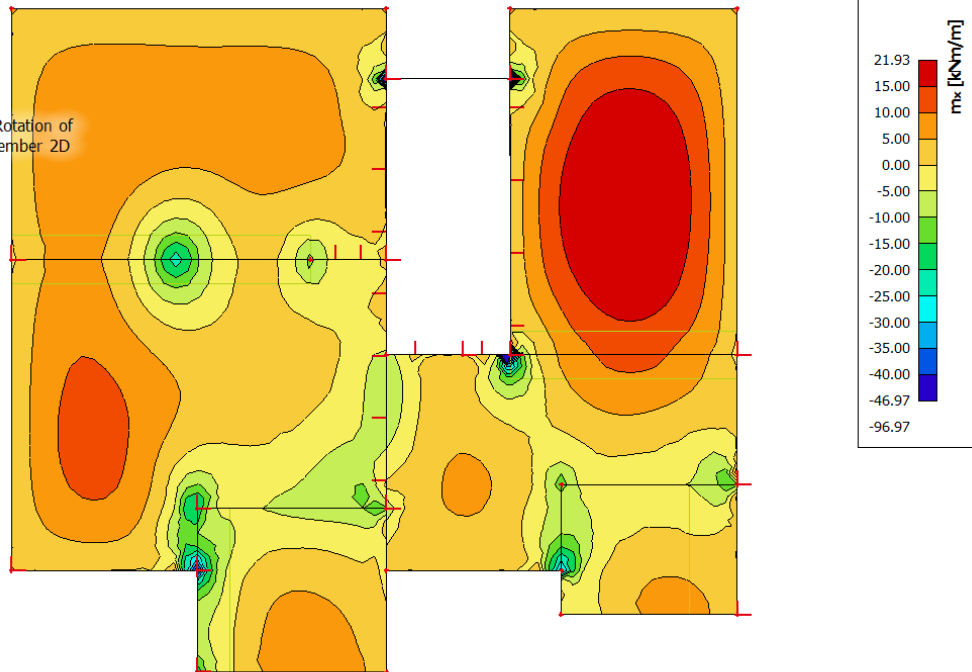
Linear calculation

Combination: GSN

Extreme: Global

Selection: All

Location: In nodes avg.. Rotation of the planar system: LCS-Member 2D



Slika 7: Rezultati ploče - GSN – m_x

2D internal forces

Values: m_y

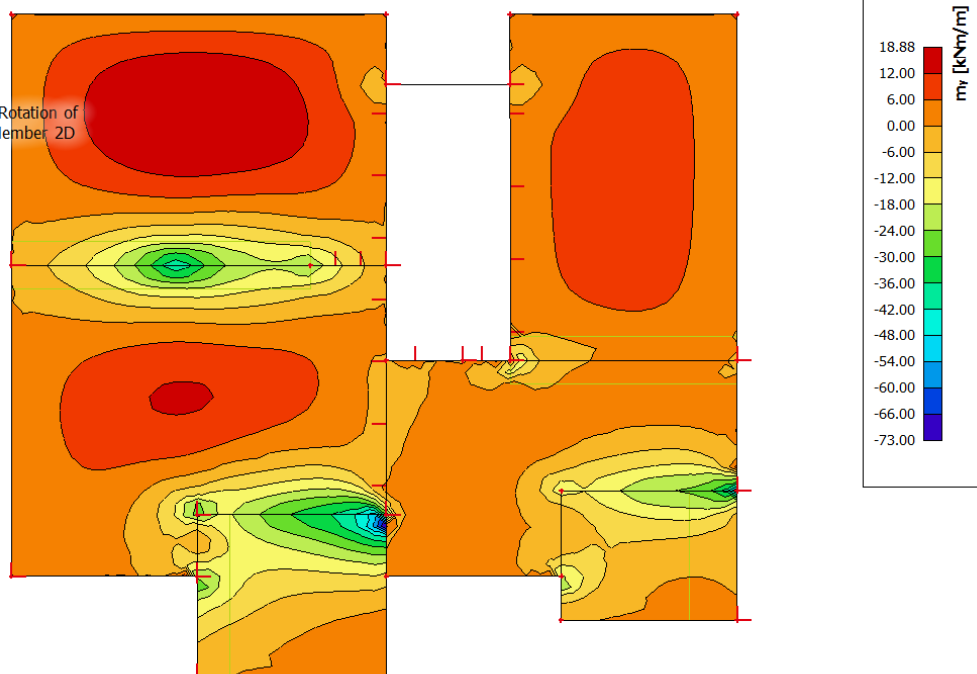
Linear calculation

Combination: GSN

Extreme: Global

Selection: All

Location: In nodes avg.. Rotation of the planar system: LCS-Member 2D

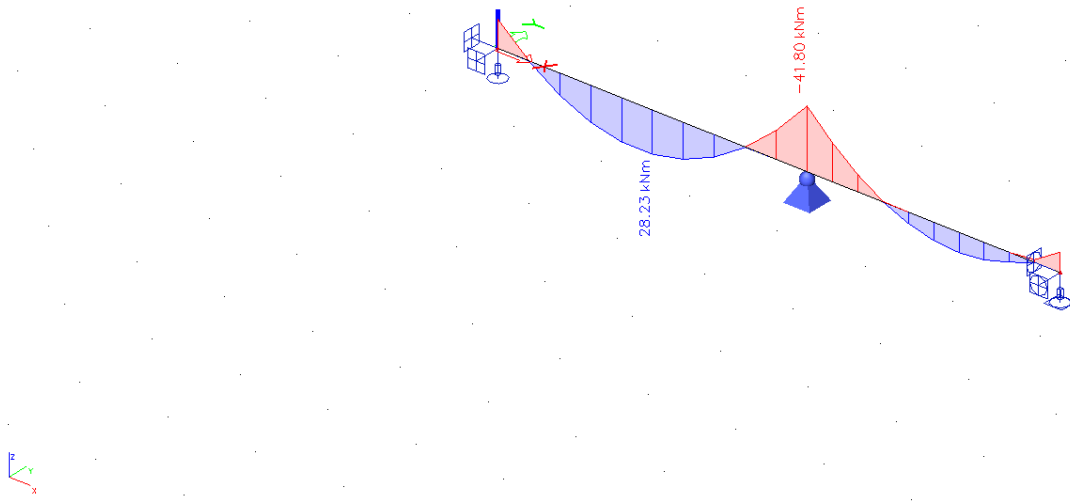


Slika 8: Rezultati ploče - GSN – m_y

4.4.3 Grede

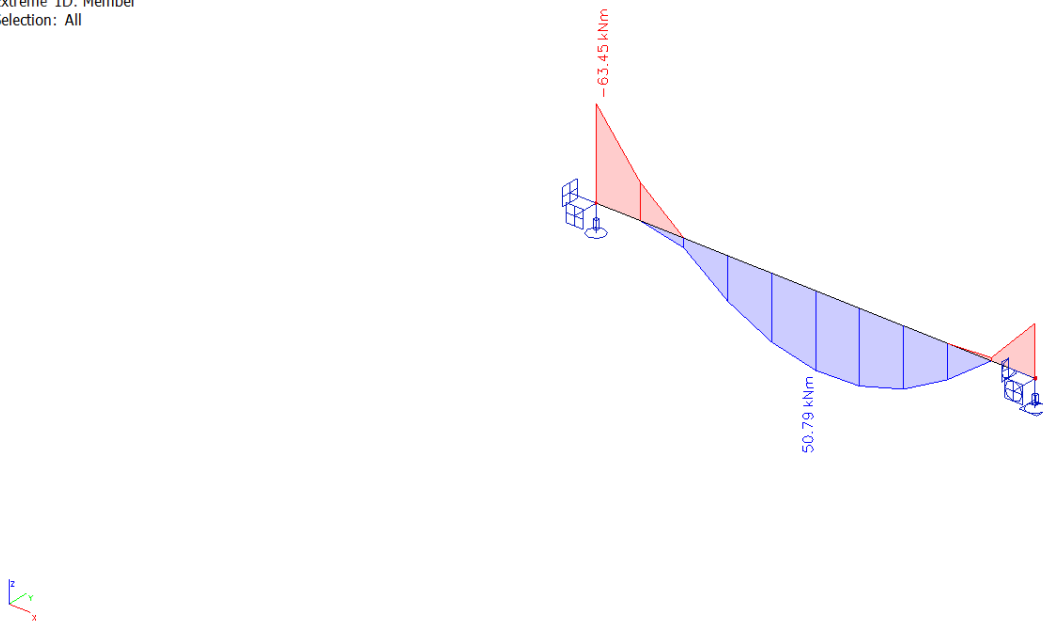
Na konstrukciji postoje tri glavne grede. Jedna prosta greda, jedna greda koja se oslanja po sredini na stup i konzolna greda na balkonu. Ostale grede se armiraju s istom armaturom koju dobijemo za te grede.

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: All



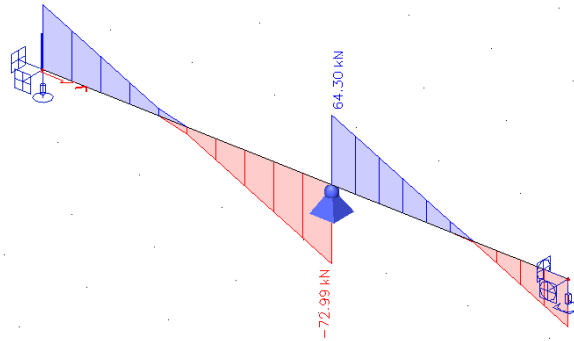
Slika 9: Momenti grede G1

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: All



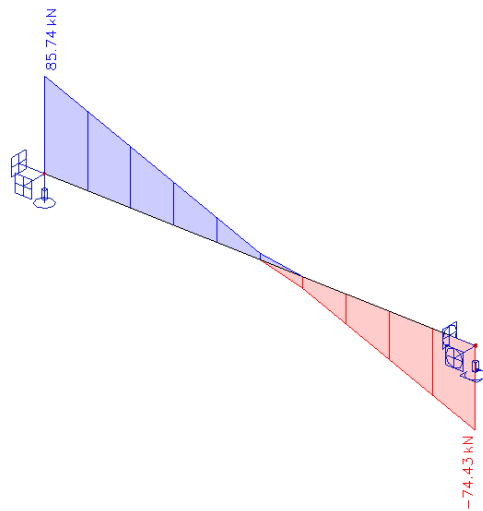
Slika 10: Momenti grede G2

1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: GSN
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: All



Slika 11: Poprečne sile grede G1

1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: GSN
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: All



Slika 12: Poprečne sile grede G2

1D internal forces

Values: M_y

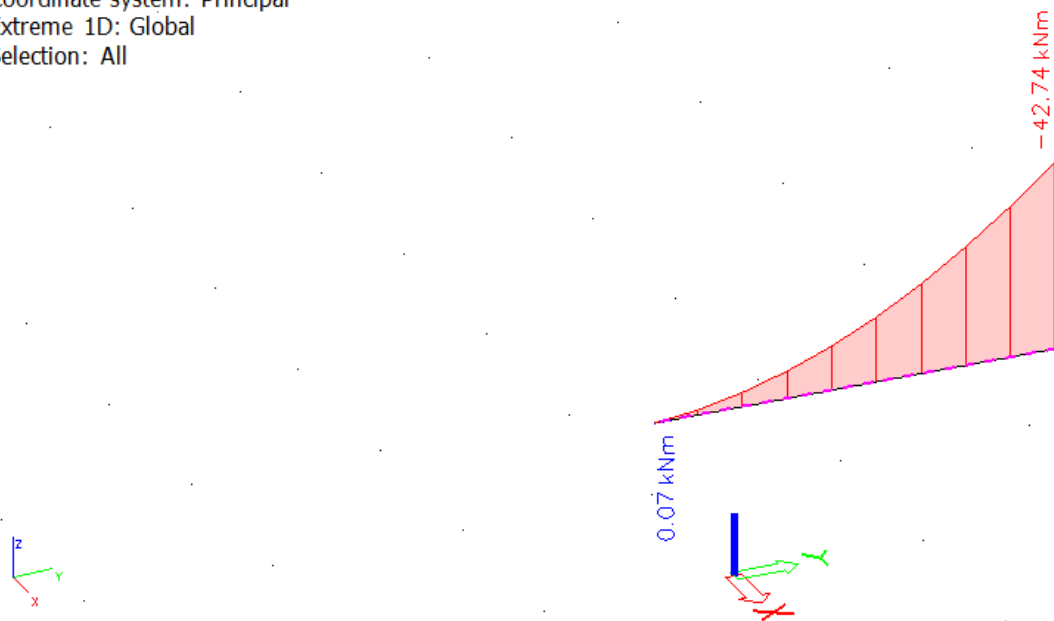
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Slika 13: Momenti grede G3

1D internal forces

Values: V_z

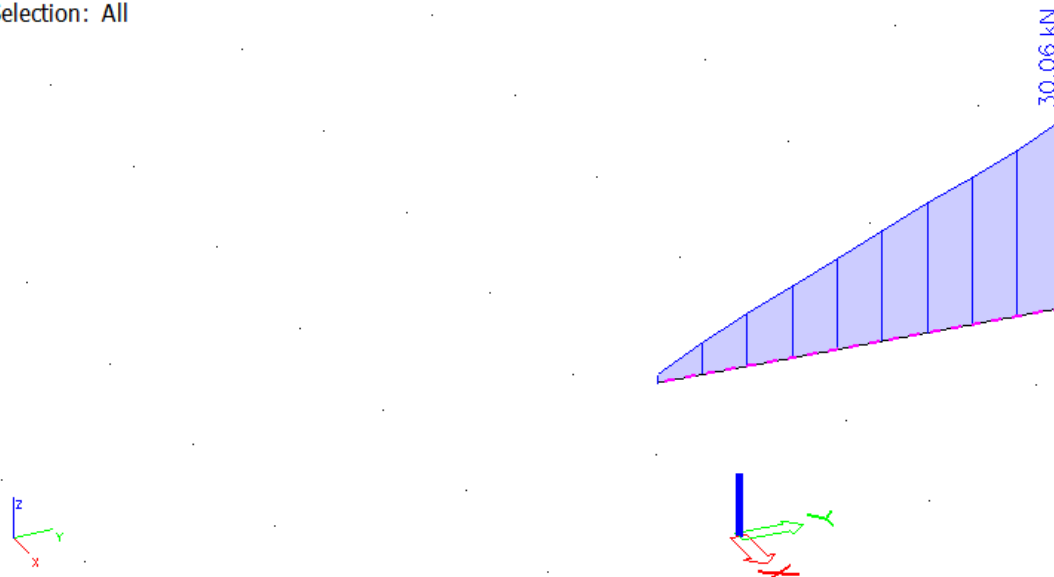
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Global

Selection: All



Slika 14: Poprečne sile grede G3

4.4.4 Stupovi

1D internal forces

Values: **N**

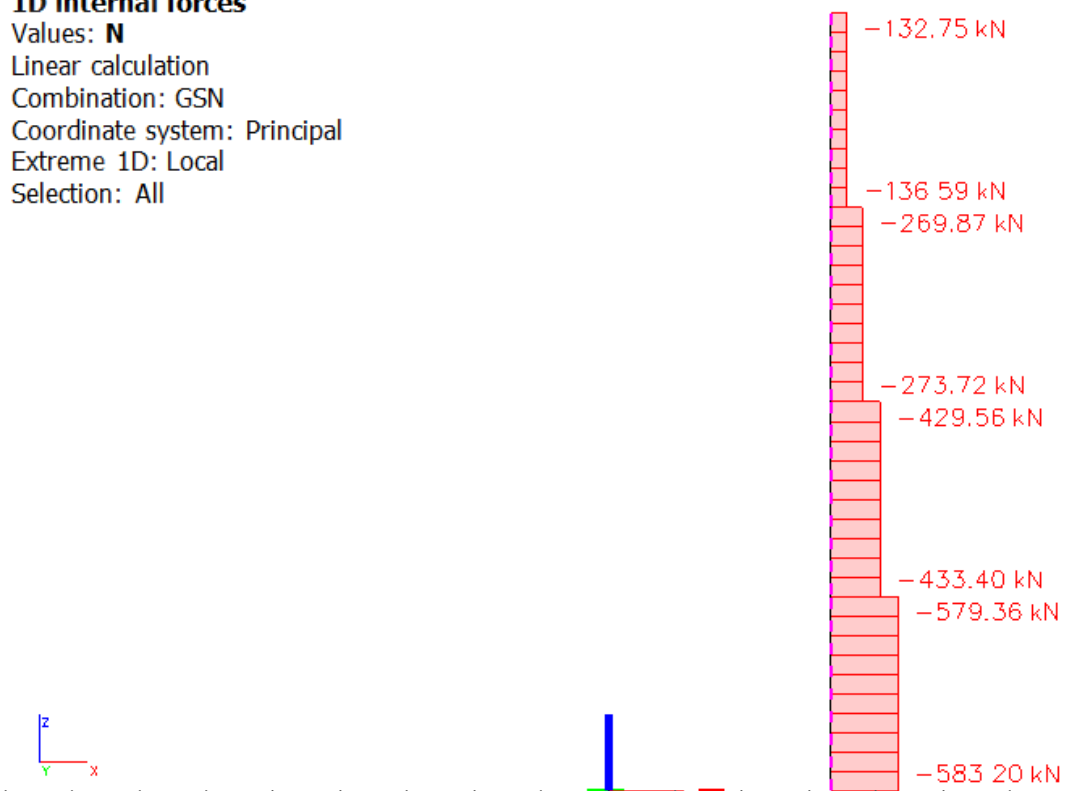
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Local

Selection: All



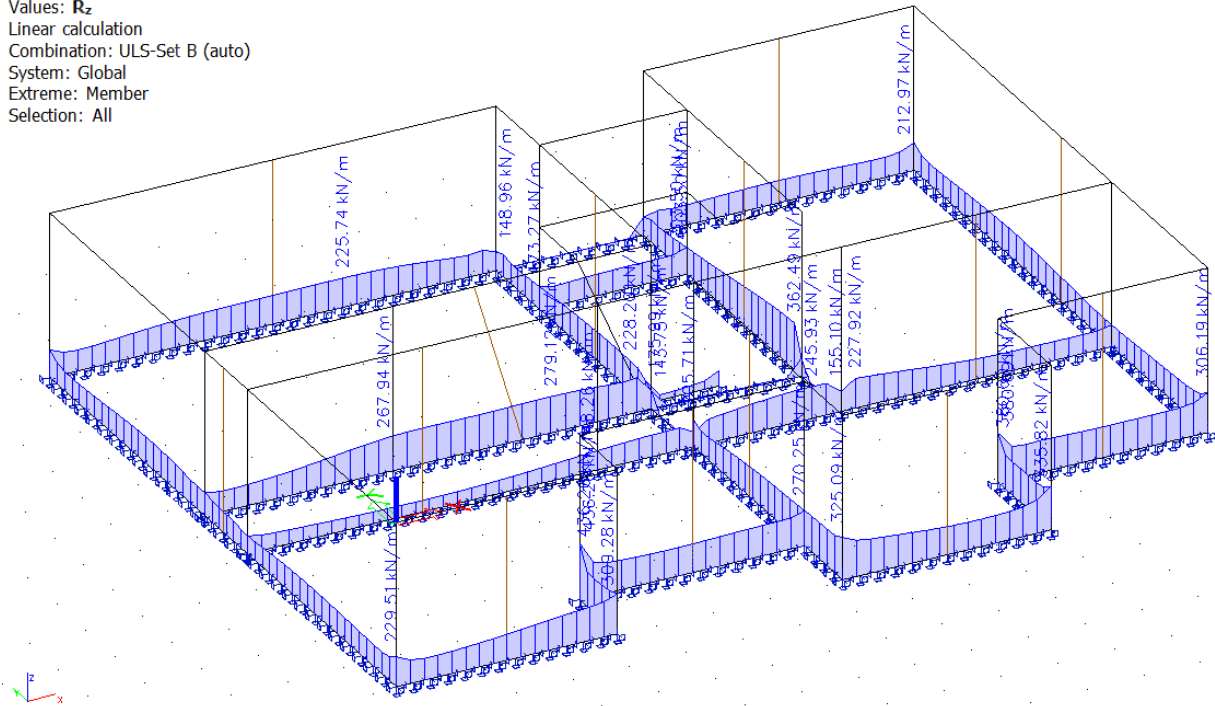
Slika 15: Sila u stupu

4.4.5 Temelji

Temelji se analiziraju na lokalnoj razini i na globalnoj razini, tojest pojedinačne trake na vertikalna djelovanja i u globalu na vertikalna djelovanja i momente.

Reactions

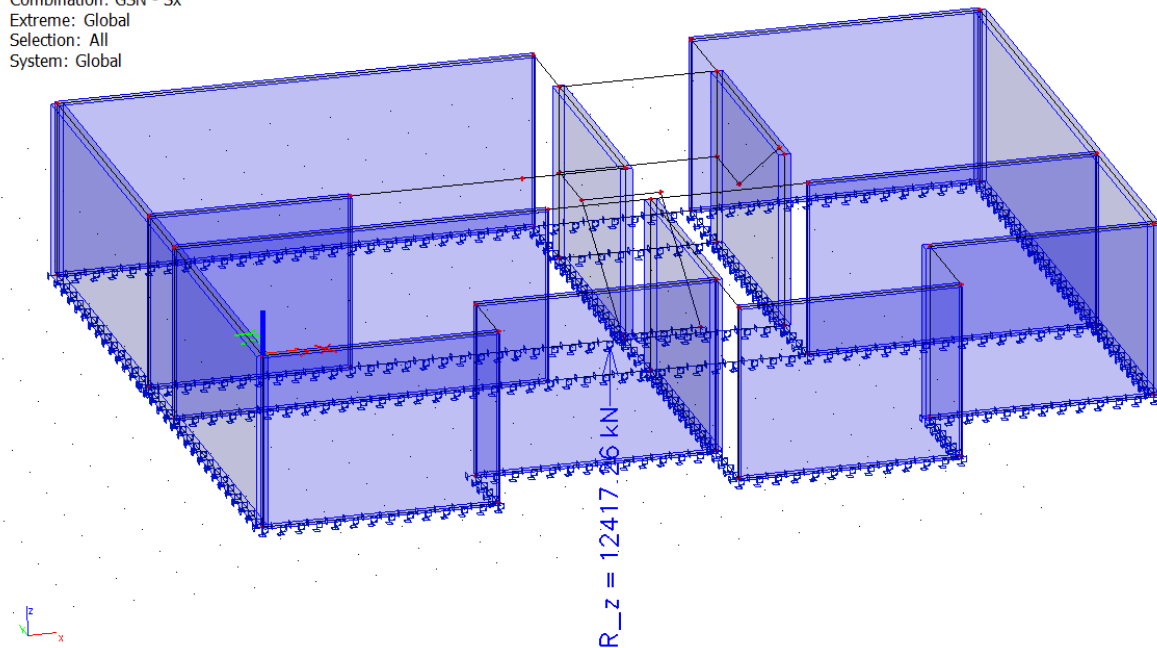
Values: R_z
Linear calculation
Combination: ULS-Set B (auto)
System: Global
Extreme: Member
Selection: All



Slika 16: Vertikalne reakcije temelja

Resultant of reactions

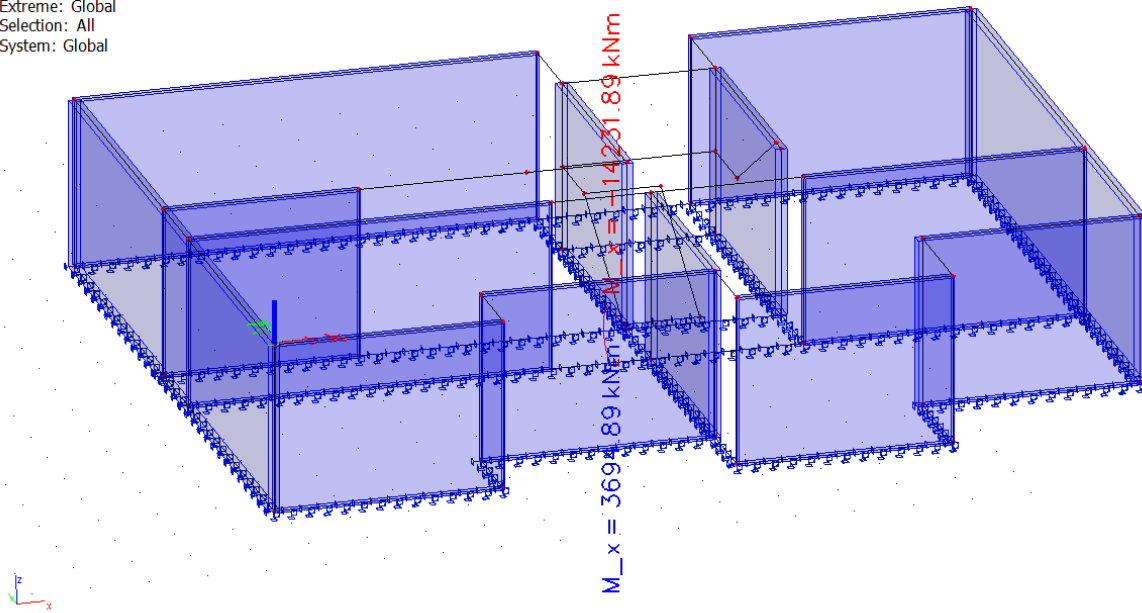
Values: R_z
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Slika 17: Globalna vertikalna reakcija

Resultant of reactions

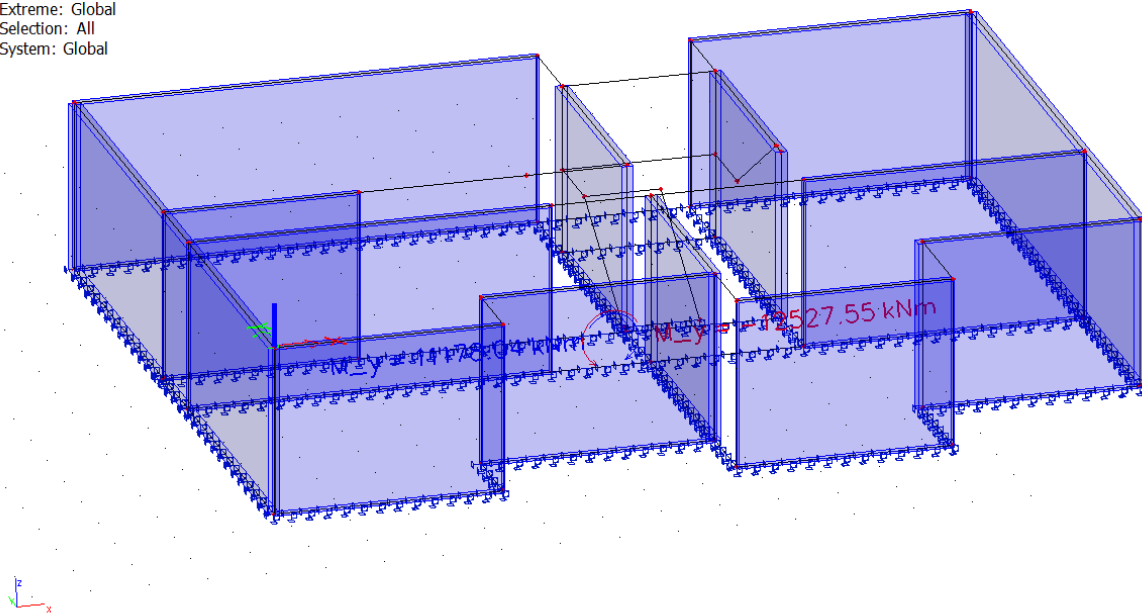
Values: M_x
Linear calculation
Combination: GSN - Sy
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Slika 18: Globalni moment u smjeru y

Resultant of reactions

Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Extreme: Global
Selection: All
System: Global

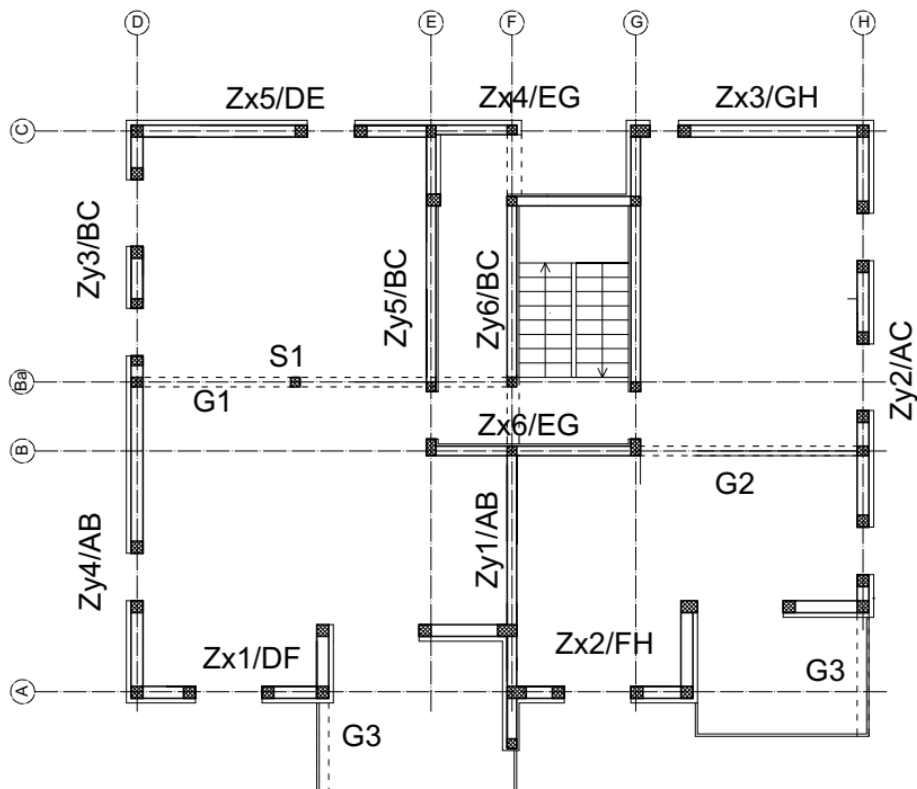


Slika 19: Globalni moment u smjeru x

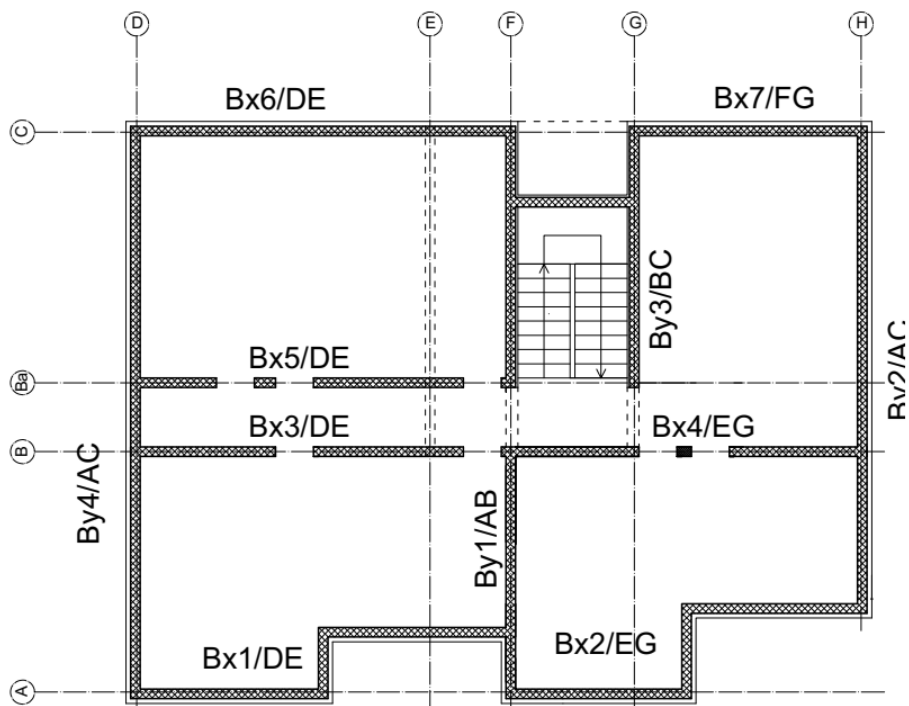
5 PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA VERTIKALNA DJELOVANJA

5.1 Proračun zidova i stupova

Na slikama ispod su prikazane oznake zidova prema kojima je organizirana Excel tablica.



Slika 20: Prikaz oznaka zidanih zidova



Slika 21: Prikaz oznaka betonskih zidova

Pomoću excel tablica proračunava se otpornost zidanih zidova na vertikalna opterećenja.

Dokaz mehaničke otpornosti zida, stupova i betonskih zidova na vert. djelovanja (EN 1996-3)

$h =$ 2.90 m	= katna visina	$\gamma_M =$ 2.20	= faktor sigurnosti za zide	$N_{Ed} = 1.3N_g + 1.5N_q$ $N_{Rd} = \Phi f_d A$
$f_k =$ 6.07 MPa	= tlačna čvrstoća zida	$\gamma_c =$ 1.50	= faktor sigurnosti za beton	
$f_{c,k} =$ 30.0 MPa	= tlačna čvrstoća betona	$n =$ 5	= broj etaža	

zid / stup	dimenzije zida i otvora				računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Ed}/N_{Rd} [%]
	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa A_i [m ²]				
Z1X/DF	0.25	8.10	3.20	1.23	2184	0.70	2364	92
Z2X/FH	0.25	7.60	3.20	1.10	1740	0.70	2123	82
Z3X/GH	0.25	5.00	0.60	1.10	1218	0.70	2123	57
Z4X/EG	0.20	4.50	1.80	0.54	783	0.70	1042	75
Z5X/DE	0.25	6.30	1.00	1.33	1801	0.70	2557	70
Z6X/EG	0.20	4.50	0.00	0.90	957	0.70	1737	55
Z1Y/AB	0.20	6.30	0.00	1.26	1218	0.70	2432	50
Z2Y/AC	0.25	10.25	3.40	1.71	1914	0.70	3305	58
Z3Y/BC	0.25	5.50	2.40	0.78	1131	0.70	1496	76
Z4Y/AB	0.25	6.50	1.00	1.38	1740	0.70	2653	66
Z5Y/BC	0.20	6.95	1.00	1.19	87	0.70	2296	4
Z6Y/BC	0.20	5.45	1.00	0.89	1392	0.70	1717	81
S1	0.20	0.20	0.00	0.04	583	0.90	720	81

zid / stup	dimenzije zida				računsko vert.djel. N_{Ed} [kN]	koef. vitkosti Φ	računska nosivost N_{Rd} [kN]	N_{Ed}/N_{Rd} [%]
	debljina zida [m]	duljina zida L [m]	duljina otvora o [m]	netto pov. zida/stupa A_i [m ²]				
B1X/DE	0.20	8.00	0.00	1.60	2741	0.70	22400	12
B2X/EG	0.20	7.60	0.00	1.52	2175	0.70	21280	10
B3X/DE	0.20	8.00	2.00	1.20	1196	0.70	16800	7
B4X/EG	0.20	7.60	2.00	1.12	2393	0.70	15680	15
B5X/DE	0.20	8.00	3.00	1.00	2828	0.70	14000	20
B6X/DE	0.20	8.00	0.00	1.60	2175	0.70	22400	10
B7X/FG	0.20	5.00	0.00	1.00	1740	0.70	14000	12
B1Y/AB	0.20	4.00	0.00	0.80	2175	0.70	11200	19
B2Y/AC	0.20	10.00	0.00	2.00	2066	0.70	28000	7
B3Y/BC	0.20	5.50	0.00	1.10	3263	0.70	15400	21
B4Y/AC	0.20	12.00	0.00	2.40	2175	0.70	33600	6

5.2 Proračun ploča

PRORAČUN POTREBNE POVRŠINE ARMATURE:

Zgrada se sastoji od podruma, prizemlja i četiri kata, stoga se izabire samo jedna međukatna ploča koja se dimenzionira i njezina armatura se koristi za sve ostale ploče.

Proračun armature ploče provodi se po pojednostavljenom postupku prema sljedećem:

$$A_s = M_{sd} * 100 / (\zeta * d * f_{yd})$$

Usvaja se:

$$\zeta \approx 0.9$$

$$d = 16 \text{ cm}$$

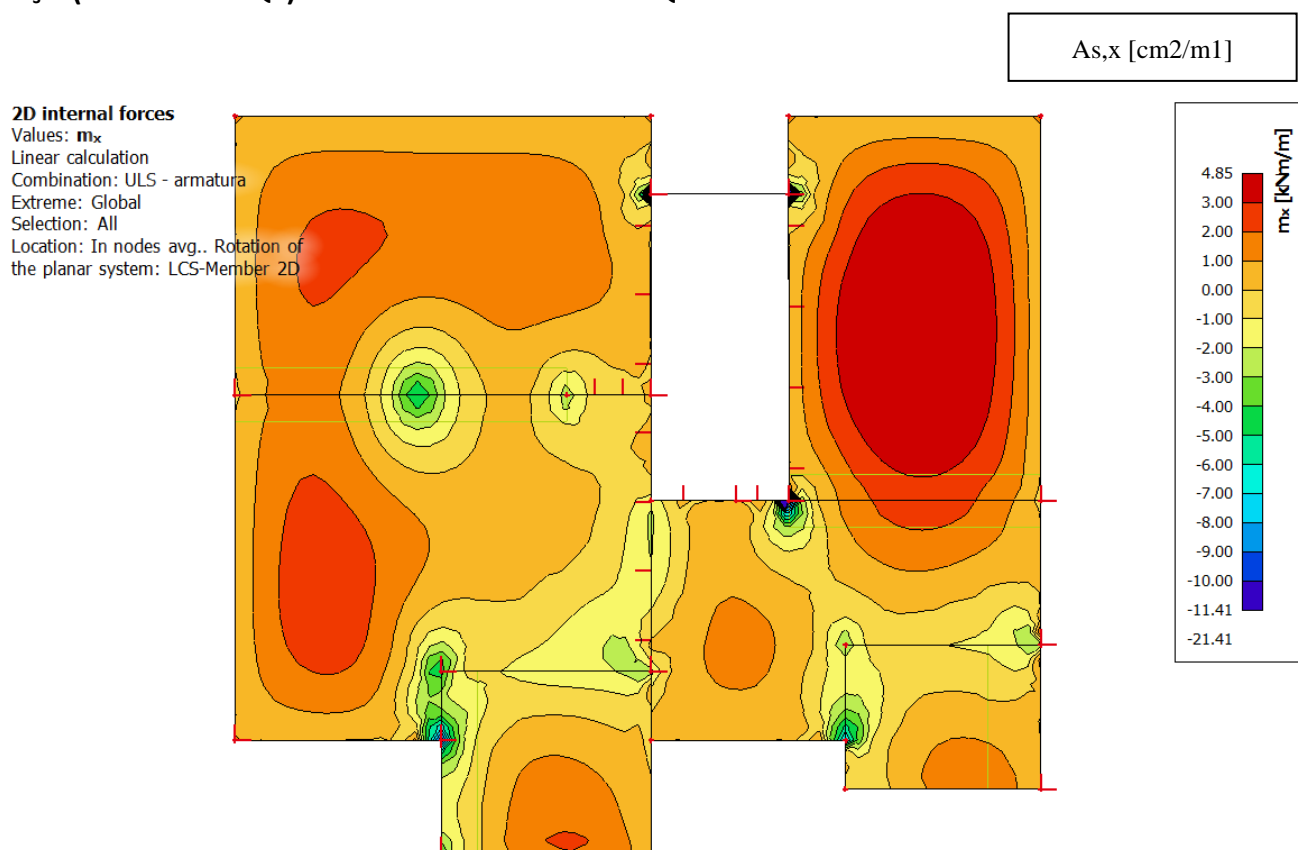
$$f_{yd} = 50/1.15 = 43.5 \text{ kN/cm}^2$$

Tada je:

$$A_s = M_{sd} * 100 / (0.9 * 16 * 43.5) = M_{sd} * 0.159$$

Unosimo sljedeće kao dodatnu kombinaciju u software:

$$A_s = (1.35 * G + 1.5 * Q1) * 0.159 = 0.215 * G + 0.239 * Q1$$



Slika 22: Potrebna armatura - x smjer

2D internal forces

Values: m_y

Linear calculation

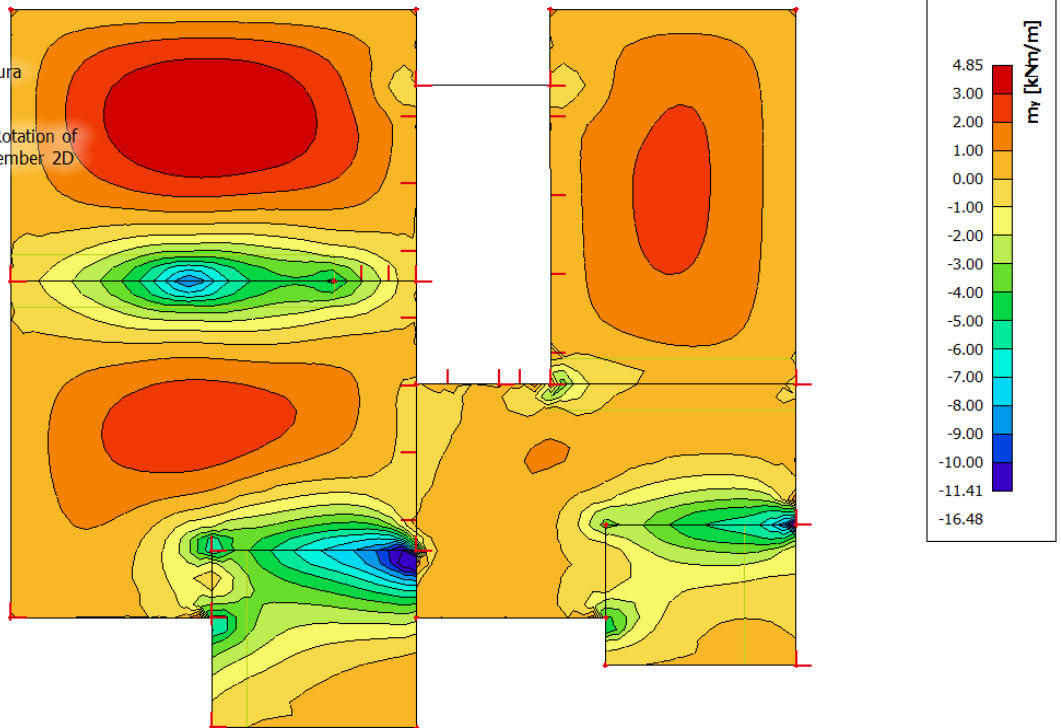
Combination: ULS - armatura

Extreme: Global

Selection: All

Location: In nodes avg.. Rotation of

the planar system: LCS-Member 2D



Slika 23: Potrebna armatura - y smjer

5.3 Proračun greda

Proračun betonskih presjeka se vodi prema EN 1992-1-1: Eurocode 2. A cijeli proračun je isprogramiran u software-u Mathcad 15.

SVOJSTA MATERIJALA

$$f_{ck} := 30\text{MPa} \quad f_{yk} := 500\text{MPa} \quad \gamma_c := 1.5 \quad \gamma_s := 1.15$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30 \cdot \text{MPa}}{1.5} = 2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \cdot \text{MPa}}{1.15} = 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

5.3.1 Dimenzioniranje grede G1 - Polje

OPTEREĆENJE I DIMENZIJE GREDE

$$M_{ed} := 29\text{kN} \cdot \text{m} \quad V_{ed} := 73\text{kN}$$

$$b_w := 20\text{cm} \quad h := 40\text{cm} \quad d_1 := 5\text{cm}$$

$$d := h - d_1 = 40 \cdot \text{cm} - 5 \cdot \text{cm} = 35 \cdot \text{cm}$$

PRORAČUN ARMATURE

$$\mu_{ed} := \frac{M_{ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2900 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{20 \cdot \text{cm} \cdot (35 \cdot \text{cm})^2 \cdot 2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.059$$

$$\varepsilon_{s1} := 10\% \quad \varepsilon_{s2} := 1.6\% \quad \xi := 0.138 \quad \zeta := 0.950$$

$$x := \xi \cdot d = 0.138 \cdot 35 \cdot \text{cm} = 4.83 \cdot \text{cm}$$

$$A_{s1} := \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2900 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{0.950 \cdot 35 \cdot \text{cm} \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 2.006 \cdot \text{cm}^2$$

ODABRANA ARMATURA: **3Ø12** (As1 = 3.39cm²)

5.3.2 Dimenzioniranje grede G1 - Ležaj

OPTEREĆENJE I DIMENZIJE GREDE

$$M_{ed} := 42 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad V_{ed} := 73 \text{ kN}$$

$$b_w := 20 \text{ cm} \quad h := 40 \text{ cm} \quad d_1 := 5 \text{ cm}$$

$$d := h - d_1 = 40 \cdot \text{cm} - 5 \cdot \text{cm} = 35 \cdot \text{cm}$$

PRORAČUN ARMATURE

$$\mu_{ed} := \frac{M_{ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4200 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{20 \cdot \text{cm} \cdot (35 \cdot \text{cm})^2 \cdot 2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.086$$

$$\varepsilon_{s1} := 10\% \quad \varepsilon_{s2} := 2.0\% \quad \xi := 0.167 \quad \zeta := 0.938$$

$$x := \xi \cdot d = 0.167 \cdot 35 \cdot \text{cm} = 5.845 \cdot \text{cm}$$

$$A_{s1} := \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{4200 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{0.938 \cdot 35 \cdot \text{cm} \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 2.942 \cdot \text{cm}^2$$

ODABRANA ARMATURA: **3Ø12** ($A_{s1} = 3.39 \text{ cm}^2$)

5.3.3 Dimenzioniranje spona grede G1

DIMENZIJE I KOEFICIENT ARMIRANJA GREDE

$$b_w := 200\text{mm} \quad h := 400\text{mm} \quad d := 350\text{mm} \quad A_c := 800\text{cm}^2$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200\text{mm}}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{350 \cdot \text{mm}}} = 1.756 \quad k_1 := 0.15$$

$$\sigma_{cp} := 0 \quad C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

$$\Sigma A_s := 4.52\text{cm}^2 + 2.26\text{cm}^2 = 6.78 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rho_l := \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{0.000678 \cdot \text{m}^2}{800 \cdot \text{cm}^2} = 8.475 \times 10^{-3}$$

POPREČNA SILA KOJU PRESJEK MOŽE SAM PREUZETI:

$$V_{Rd,c} := \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot b_w \cdot d = 43.416 \cdot \text{kN}$$

$$v_{\min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.446$$

$$V_{Rd,c} > v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 1 \quad \text{-Zadovoljava!}$$

MAKSIMALNA POPREČNA SILA DOZVOLJENA:

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0.528$$

$$V_{Rd,max} := 0.5 \cdot v \cdot d \cdot b_w \cdot f_{cd} = 369.6 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd,max} > V_{ed} = 1 \quad \text{-Zadovoljava!}$$

DIMENZIONIRANJE SPONA:

$$\frac{V_{ed}}{V_{Rd,max}} = 0.198 \quad S_{max} := \min(0.75 \cdot d, 30\text{cm}) = 26.25 \cdot \text{cm}$$

$$\rho_{min} := 0.0011$$

$$A_{sw,min} := \rho_{min} \cdot S_{max} \cdot \frac{b_w}{2} = 0.0011 \cdot 26.25 \cdot \text{cm} \cdot \frac{20 \cdot \text{cm}}{2} = 0.289 \cdot \text{cm}^2$$

Odabrane spone: **Ø10/25** ($A_{sw}=0.79 \text{ cm}^2$)

$$A_{sw} := 0.79 \text{ cm}^2 \quad f_{ywd} := 43.478 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$z := 0.9 \cdot d = 0.9 \cdot 350 \cdot \text{mm} = 31.5 \cdot \text{cm}$$

$$V_{Rd,s} := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{S_{max}} = \frac{0.79 \cdot \text{cm}^2 \cdot 0.315 \cdot \text{m} \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{26.25 \cdot \text{cm}} = 41.217 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ed} > V_{Rd,s} = 1 \quad \text{-Zadovoljava!}$$

Na mjestu max. poprečne sile:

$$S_w := m_s \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \frac{z}{V_{ed}} = m_s \cdot 0.79 \cdot \text{cm}^2 \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{0.315 \cdot \text{m}}{73 \cdot \text{kN}} = 29.642 \cdot \text{cm}$$

Postaviti spone: Ø10/25 ($A_{sw}=0.79 \text{ cm}^2$)

5.3.4 Dimenzioniranje grede G2 - Polje

OPTEREĆENJE I DIMENZIJE GREDE

$$M_{ed} := 51 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad V_{ed} := 86 \text{ kN}$$

$$b_w := 20 \text{ cm} \quad h := 40 \text{ cm} \quad d_1 := 5 \text{ cm}$$

$$d := h - d_1 = 40 \cdot \text{cm} - 5 \cdot \text{cm} = 35 \cdot \text{cm}$$

PRORAČUN ARMATURE

$$\mu_{ed} := \frac{M_{ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{5100 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{20 \cdot \text{cm} \cdot (35 \cdot \text{cm})^2 \cdot 2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.104$$

$$\varepsilon_{s1} := 10\% \quad \varepsilon_{s2} := 2.3\% \quad \xi := 0.187 \quad \zeta := 0.928$$

$$x := \xi \cdot d = 0.187 \cdot 35 \cdot \text{cm} = 6.545 \cdot \text{cm}$$

$$A_{s1} := \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{5100 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{0.928 \cdot 35 \cdot \text{cm} \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 3.611 \cdot \text{cm}^2$$

ODABRANA ARMATURA: **3Ø14** ($A_{s1} = 4.62 \text{ cm}^2$)

5.3.5 Dimenzioniranje grede G2 - Ležaj

OPTEREĆENJE I DIMENZIJE GREDE

$$M_{ed} := 64 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad V_{ed} := 86 \text{ kN}$$

$$b_w := 20 \text{ cm} \quad h := 40 \text{ cm} \quad d_1 := 5 \text{ cm}$$

$$d := h - d_1 = 40 \cdot \text{cm} - 5 \cdot \text{cm} = 35 \cdot \text{cm}$$

PRORAČUN ARMATURE

$$\mu_{ed} := \frac{M_{ed}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{6400 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{20 \cdot \text{cm} \cdot (35 \cdot \text{cm})^2 \cdot 2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0.131$$

$$\varepsilon_{s1} := 10\% \quad \varepsilon_{s2} := 2.3\% \quad \xi := 0.187 \quad \zeta := 0.928$$

$$x := \xi \cdot d = 0.187 \cdot 35 \cdot \text{cm} = 6.545 \cdot \text{cm}$$

$$A_{s1} := \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{6400 \cdot \text{kN} \cdot \text{cm}}{0.928 \cdot 35 \cdot \text{cm} \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 4.532 \cdot \text{cm}^2$$

ODABRANA ARMATURA: **3Ø14** ($A_{s1} = 4.62 \text{ cm}^2$)

5.3.6 Dimenzioniranje spona grede G2

DIMENZIJE I KOEFICIENT ARMIRANJA GREDE

$$b_w := 200\text{mm} \quad h := 400\text{mm} \quad d := 350\text{mm} \quad A_c := 800\text{cm}^2$$

$$k := 1 + \sqrt{\frac{200\text{mm}}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200 \cdot \text{mm}}{350 \cdot \text{mm}}} = 1.756 \quad k_1 := 0.15$$

$$\sigma_{cp} := 0 \quad C_{Rd,c} := \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

$$\Sigma A_s := 6.16\text{cm}^2 + 2.26\text{cm}^2 = 8.42 \cdot \text{cm}^2$$

$$\rho_l := \frac{\Sigma A_s}{A_c} = \frac{0.000842 \cdot \text{m}^2}{800 \cdot \text{cm}^2} = 0.011$$

POPREČNA SILA KOJU PRESJEK MOŽE SAM PREUZETI:

$$V_{Rd,c} := \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \cdot b_w \cdot d = 47.312 \cdot \text{kN}$$

$$v_{\min} := 0.035 \cdot k^{\frac{3}{2}} \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0.446$$

$$V_{Rd,c} > v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 1 \quad \text{-Zadovoljava!}$$

MAKSIMALNA POPREČNA SILA DOZVOLJENA:

$$v := 0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0.528$$

$$V_{Rd,\max} := 0.5 \cdot v \cdot d \cdot b_w \cdot f_{cd} = 369.6 \cdot \text{kN}$$

$$V_{Rd,\max} > V_{ed} = 1 \quad \text{-Zadovoljava!}$$

DIMENZIONIRANJE SPONA:

$$\frac{V_{ed}}{V_{Rd,max}} = 0.233 \quad S_{max} := \min(0.75 \cdot d, 30\text{cm}) = 26.25 \cdot \text{cm}$$

$$\rho_{min} := 0.0011$$

$$A_{sw,min} := \rho_{min} \cdot S_{max} \cdot \frac{b_w}{2} = 0.0011 \cdot 26.25 \cdot \text{cm} \cdot \frac{20 \cdot \text{cm}}{2} = 0.289 \cdot \text{cm}^2$$

Odabrane spone: **Ø10/25** ($A_{sw}=0.79 \text{ cm}^2$)

$$A_{sw} := 0.79 \text{ cm}^2 \quad f_{ywd} := 43.478 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$z := 0.9 \cdot d = 0.9 \cdot 350 \cdot \text{mm} = 31.5 \cdot \text{cm}$$

$$V_{Rd,s} := \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd}}{S_{max}} = \frac{0.79 \cdot \text{cm}^2 \cdot 0.315 \cdot \text{m} \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{26.25 \cdot \text{cm}} = 41.217 \cdot \text{kN}$$

$$V_{ed} > V_{Rd,s} = 1 \quad \text{-Zadovoljava!}$$

Na mjestu max. popreč ne sile:

$$S_w := m_s \cdot A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \frac{z}{V_{ed}} = m_s \cdot 0.79 \cdot \text{cm}^2 \cdot 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{0.315 \cdot \text{m}}{86 \cdot \text{kN}} = 25.162 \cdot \text{cm}$$

Postaviti spone: Ø10/25 ($A_{sw}=0.79 \text{ cm}^2$)

5.3.7 Dimenzioniranje grede G3

Budući da su momenti slični kao kod grede ležaja grede G1 uzeti ćemo is tu armaturu:

ODABRANA ARMATURA: **3Ø12** ($A_{s1} = 3.39 \text{ cm}^2$)

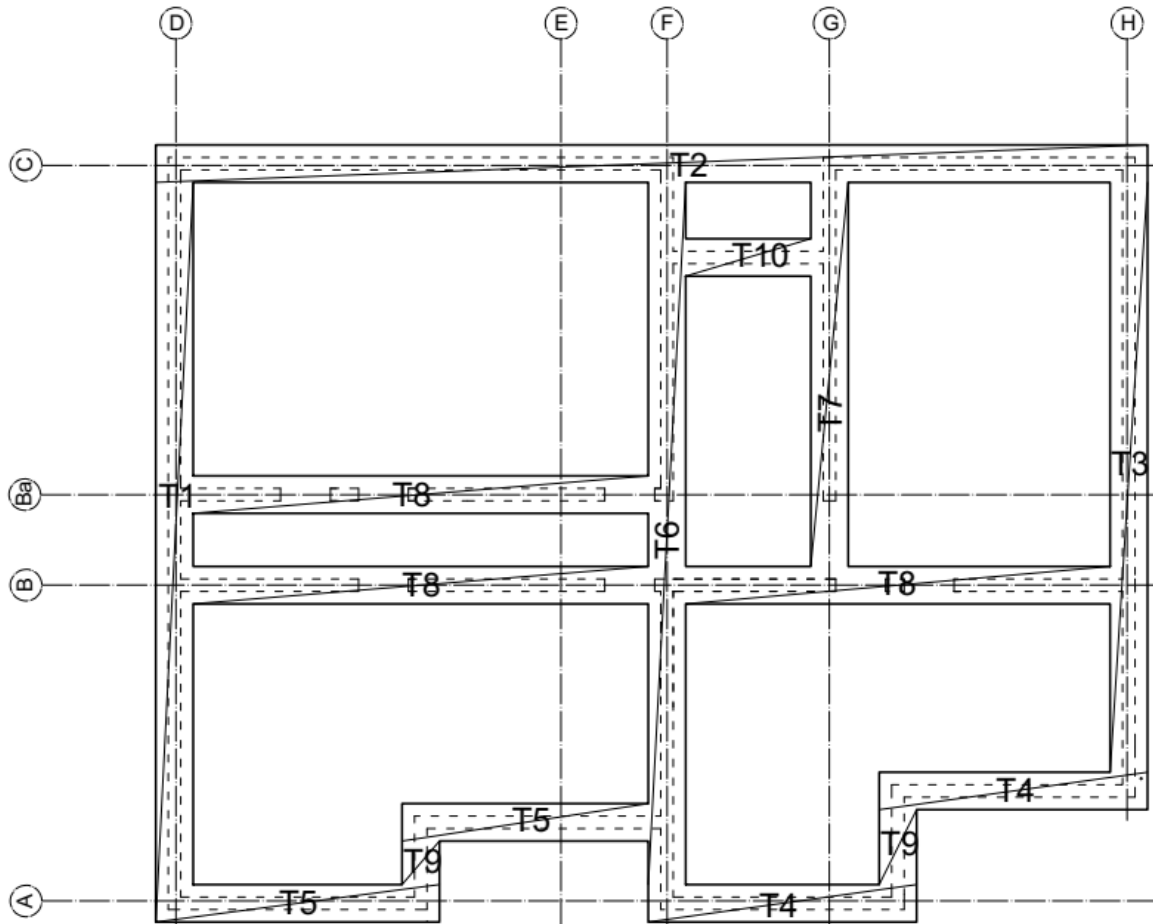
A za spone ćemo uzeti:

Postaviti spone: Ø10/25 ($A_{sw}=0.79 \text{ cm}^2$)

5.4 Proračun temelja

5.4.1 Lokalni proračun temelja

Na slici ispod su prikazane oznake temelja prema kojima je organizirana Excel tablica.



Slika 24: Prikaz oznaka trakastih temelja

Kao što je navedeno prije, temelji se analiziraju na dvije razine. Prvo se gleda svaka pojedinačna temeljna traka i gleda se dali može izdržati vertikalno opterećenje koje mora prenosi.

Proračun temelja na vertikalno djelovanje (Lokalni proračun)

$$\sigma_{Rd} = 500 \text{ kPa}$$

Temeljna traka	širina temelja b [m]	duljina	računska vert. sila N_{Sd} [kN]	računska nosivost σ_{Ed} [kN/m ²]	σ_{Ed}/σ_{Rd} [%]
		temelja			
		L [m]			
T1	0.60	11.25	2576.3	381.7	76.3
T2	0.60	15.90	3577.5	375.0	75.0
T3	0.60	9.45	2457.9	433.5	86.7
T4	0.60	4.30	1184.2	459.0	91.8
T5	0.60	4.55	1228.5	450.0	90.0
T6	0.60	11.25	3206.3	475.0	95.0
T7	0.60	6.15	1752.8	475.0	95.0
T8	0.60	7.30	1949.1	445.0	89.0
T9	0.60	1.20	354.0	491.7	98.3
T10	0.60	2.00	400.0	333.3	66.7

Nadalje mora se provjeriti dali će temelji izdržati na prevrtanje tokom djelovanja potresa. To se radi na način da iz Autocad-a se izvuče momente inercije za temelje u globalu i preko momenta i sila dobivenih iz modalne analize idemo u proračun.

Ukupna vertikalna sila zgrade tokom potresa:

$$R_z = 12417 \text{ kN}$$

Ukupan moment savijanja u smjeru x:

$$M_{sd,x} = 14231 \text{ kNm}$$

Ukupan moment savijanja u smjeru y:

$$M_{sd,y} = 12527 \text{ kNm}$$

Svako naprezanje u oba smjera mora biti manje nego naše dopušteno naprezanje od $\sigma_{R,d}=500 \text{ kPa}$. Na sljedećoj stranici vidimo da to zadovoljava.

5.4.2 Globalni proračun temelja

Proračun stabilnosti u smjeru x za interakciju momenta i uzdužne sile:

$$\sigma_d := \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_{xd}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} + \frac{14231 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{574.645 \cdot \text{m}^3} = 214.918 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_d := \frac{N}{A} - \frac{M_x}{W_{xd}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} - \frac{14231 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{574.645 \cdot \text{m}^3} = 165.388 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_g := \frac{N}{A} + \frac{M_x}{W_{xg}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} + \frac{14231 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{570.048 \cdot \text{m}^3} = 215.118 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_g := \frac{N}{A} - \frac{M_x}{W_{xg}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} - \frac{14231 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{570.048 \cdot \text{m}^3} = 165.189 \cdot \text{kPa}$$

Proračun stabilnosti u smjeru y za interakciju momenta i uzdužne sile:

$$\sigma_d := \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_{yd}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} + \frac{12527 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{837.21 \cdot \text{m}^3} = 205.116 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_d := \frac{N}{A} - \frac{M_y}{W_{yd}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} - \frac{12527 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{837.21 \cdot \text{m}^3} = 175.19 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_l := \frac{N}{A} + \frac{M_y}{W_{yl}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} + \frac{12527 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{780.243 \cdot \text{m}^3} = 206.208 \cdot \text{kPa}$$

$$\sigma_l := \frac{N}{A} - \frac{M_y}{W_{yl}} = \frac{12417 \cdot \text{kN}}{65.3 \cdot \text{m}^2} - \frac{12527 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}}{780.243 \cdot \text{m}^3} = 174.098 \cdot \text{kPa}$$

6 POTRESNI MODELI I ANALIZA

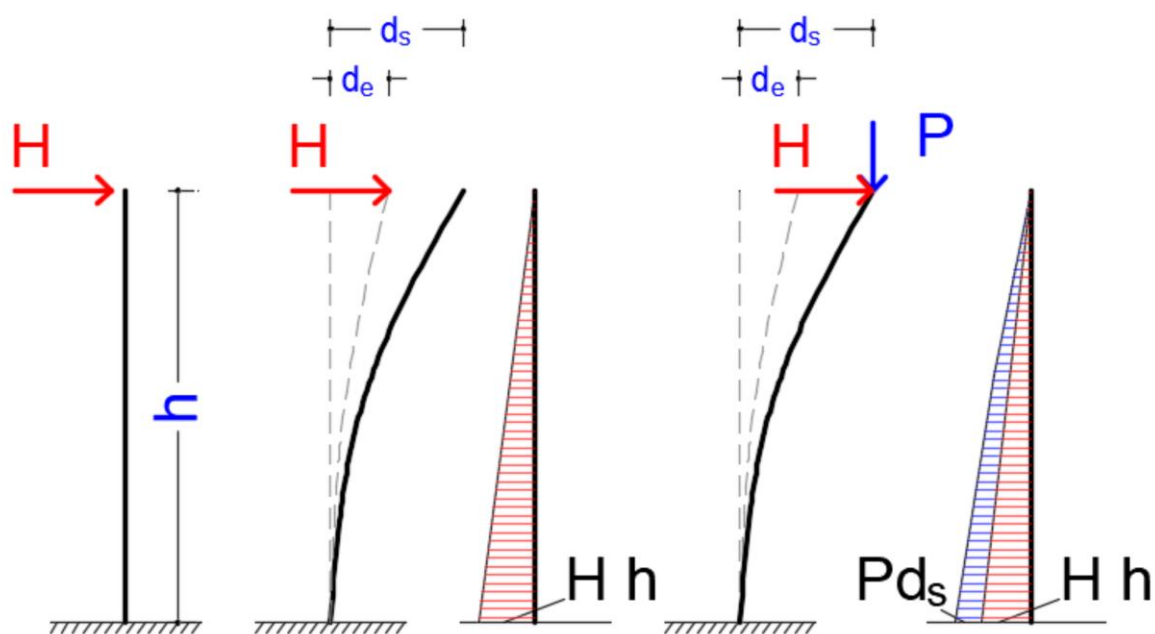
6.1 Uvod

SeismoStruct je paket konačnih elemenata koji može predvidjeti ponašanje velikih pomaka prostornih okvira pod statičkim ili dinamičkim opterećenjem, uzimajući u obzir geometrijske nelinearnosti i materijal neelastičnost.

Dostupni su modeli od betona, čelika i superelastičnih legura, zajedno s velikom bibliotekom 3D elemenata koji se mogu koristiti s širokim rasponom unaprijed definiranih čeličnih, betonskih i kompozitnih presjeka.

6.1.1 Geometrijska nelinearnost

SeismoStruct uzima u obzir P-Delta efekte za velike deformacije. Oni se javljaju samo na deformiranim vertikalnim elementima i imaju značajan utjecaj na više konstrukcije tokom horizontalnih pomaka.

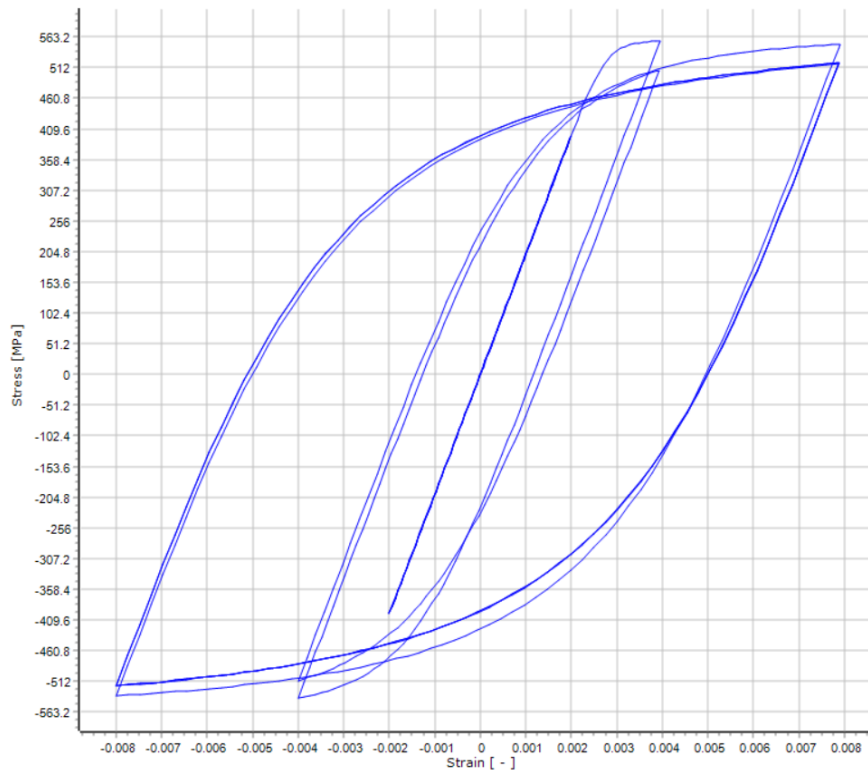


Slika 25: P-delta efekti

6.1.2 Nelinearnost materijala

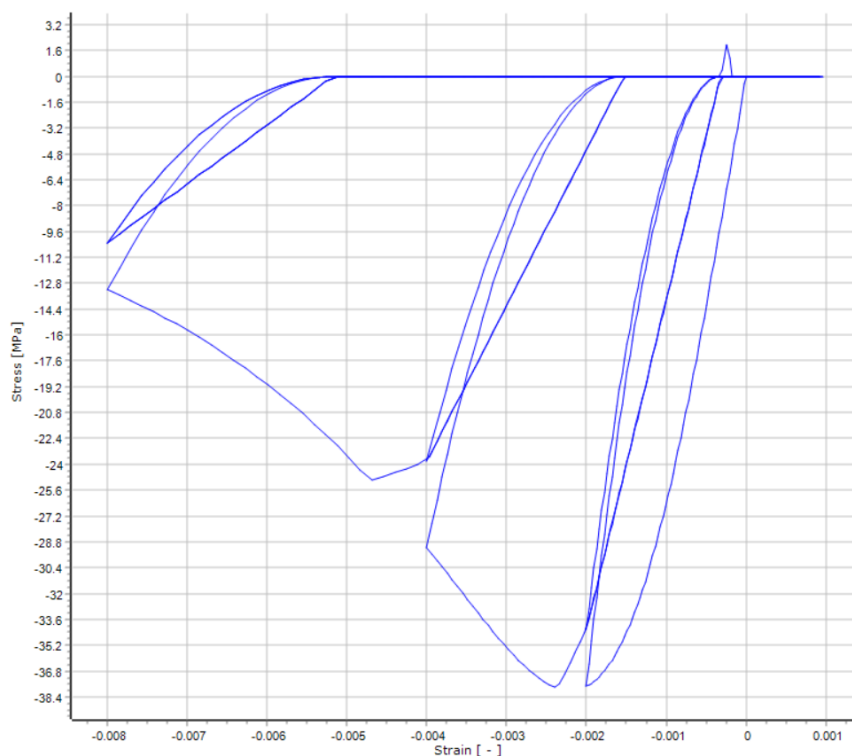
SeismoStruct sadrži mnogo različitih modela nelinearnosti elemenata. Neki od njih su:

1. Histerezni model čelika



Slika 26: Histerezni model čelika

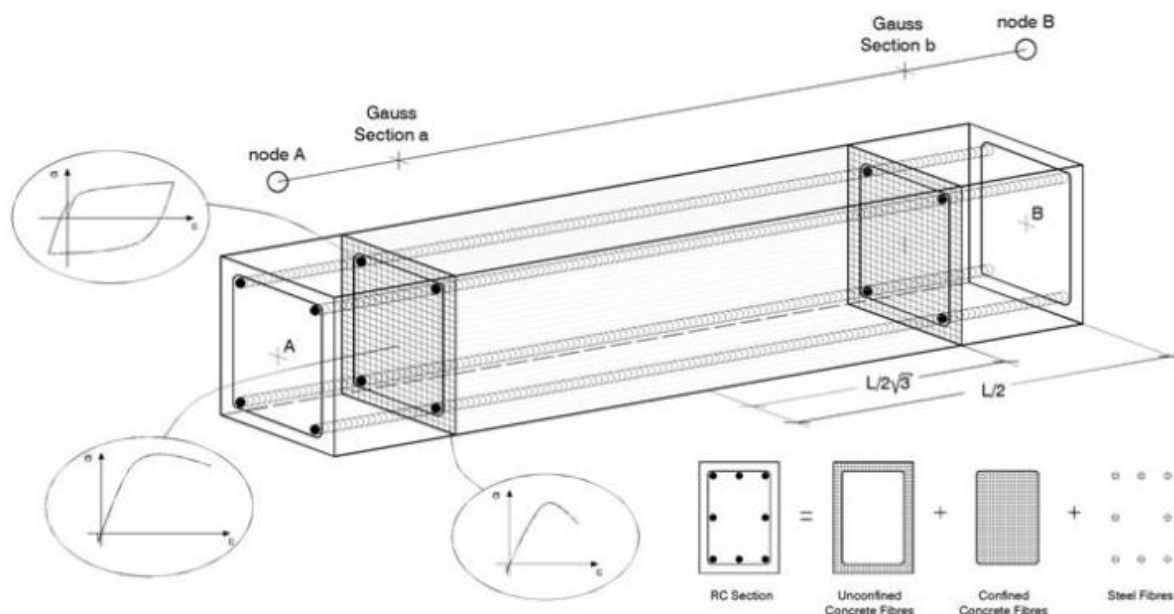
2. Histerezni model betona



Slika 27: Histerezni model betona

6.1.3 Način modeliranja elemenata

U SeismoStructu se koristi takozvani pristup vlaknima koji predstavljaju ponašanje poprečnog presjeka, gdje je svako vlakno povezano s jednoosnom krivuljom naprezanje-deformacija, gdje se sekcijsko stanje naprezanja i deformacija elemenata greda-stup tada dobiva integracijom nelinearnog jednoosnog odgovora na naprezanje i deformaciju pojedinih vlakana u kojima je presjek podijeljen.



Slika 28: Podjela PP na sekcije i diskretizacija vlaknima

Elementi okvira raspoređene neelastičnosti mogu se implementirati s dvije različite formulacije konačnih elemenata:

- Klasična MKE takozvana Displacement Based Method (DB)
- Forced Based Method (FB)

U DB pristupu imponira se polje pomaka, dok je u FB elementu ravnoteža strogo zadovoljena i nikakva ograničenja nisu postavljena na razvoj neelastičnih deformacija u cijelom članu.

U slučaju DB, koriste se funkcije oblika pomaka, koje odgovaraju za primjer linearne varijacije zakrivljenosti duž elementa. Nasuprot tome, u FB pristupu, imponira se varijacija linearnog momenta.

Za linearno elastično ponašanje materijala obe metode su identične, dok u nelinearnom području materijala FB metoda daje točnije rezultate uz određene pretpostavke jer ne ograničava raspodjelu i razvoj deformacija u elementu, što DB metoda sa baznim funkcijama koji su vezani uz deformacije imponira.

FB metoda imponira raspodjelu momenata u elementu pomoću baznim funkcija. Budući da u vertikalnim elementima kao što su stupovi momenti su uvijek poznati za sile u čvorovima.

Zbog toga FB metoda ni na koji način ne ograničava polje pomaka elementa. U tom smislu ova formulacija može se smatrati uvijek "točnim", a jedina aproksimacija je uvedena diskretnim brojem kontrolnih presjeka duž elementa koji se koriste za numeričku integraciju.

Korištenjem Gauss-Lobatto integracijskim sekcijama možemo modelirati cijeli element u komadu, bez potrebe za diskretiziranjem elementa kao u klasičnoj MKE. Što znači da klasični mreža (Mesh) nije potrebna, rezultirajući u znatno manju potrebnu moć procesora računala. Priručnik za SeismoStruct preporučuje za dobivanje najboljih rezultata da količina vlakana u elementu treba biti minimalno 150.

Dodatno za reći je da software modelira sve sa 1D elementima i u slučaju da elementi postanu pre kratki za FB metodu, program će koristiti klasičnu MKE za analizu tog elementa.

6.2 Modalna analiza

Prvo se dimenzionira zidove i stupove na potresno opterećenje koristeći modalnu ili spektralnu analizu u SCIA Engineer 2021. Koristi se taj software jer nam omogućava zadavanje 2D elemenata za razliku od SeismoStruct-a. Objekt nam se nalazi u Makarskoj.

Inače ukupna potresna poprečna sila iznosi:

$$F_b = S_d(T) * m$$

gdje je:

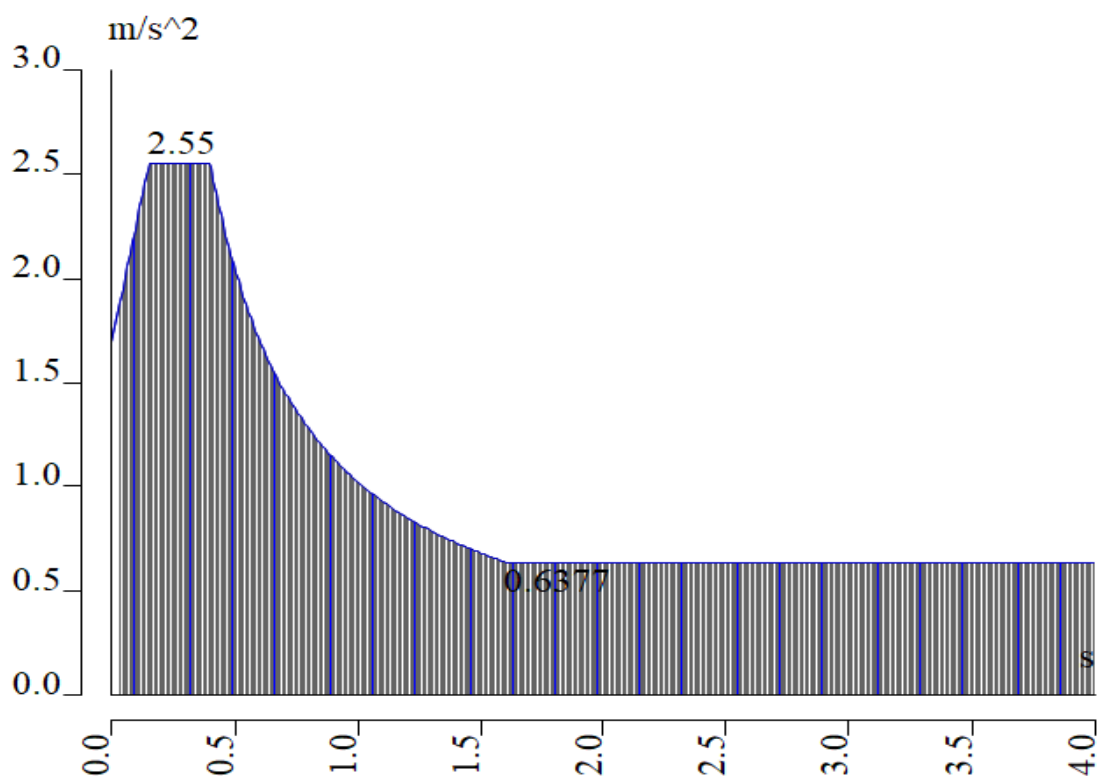
$S_d(T_1)$ = ordinata računskog spektra za period T_1

$$S_d(T) = a_{gr} * S * \beta_0 / q$$

$$a_{gr} = 2.6 \text{ m/s}^2; S = 1.0 \text{ (A ktg. tla)}; \beta_0 = 2.5$$

$$q = 2.5 \text{ (faktor ponašanja zida)}$$

Budući da software sve kalkulira sam, mi ćemo u njega samo unjeti spektar odgovora.



Slika 29: Spektar odgovora za konstrukciju

Posljedna stvar koja je potrebna su kombinacije opterećenja koja su prikazana u tablici ispod.

Oznaka kombinacije	Parcijalni faktor za opterećenje
GSN	1.0G + 0.3Q + 1.0S_x + 1.0S_y

Rezultati za modalnu analizu zadovoljavaju zahtjev za aktivaciju od minimalno 90% efektivne mase u smjerovima x i y. Za z smjer nam nije bitno jer taj smejer ne uzimamo u obzir za dimenzioniranje armature.

Sum of masses

	Mass type	X [kg]	Y [kg]	Z [kg]
1	Moving mass	1277279.80	1277279.80	1277279.80
1	Total mass	1312037.53	1312037.53	1312037.53

Relative modal masses

Mode	W _{mega} [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	W _{xi} /W _{xtot}	W _{yi} /W _{ytot}	W _{zi} /W _{ztot}	N _{xi_R} /W _{xtot_F}	N _{yi_R} /W _{ytot_F}	N _{zi_R} /W _{ztot_F}
1	9.88099	0.64	1.57	0.2013	0.0435	0.0000	0.0165	0.0636	0.3915
2	11.534	0.54	1.84	0.3634	0.1183	0.0000	0.0466	0.1209	0.1003
3	12.3535	0.51	1.97	0.0296	0.4388	0.0000	0.1707	0.0110	0.1402
4	29.5295	0.21	4.70	0.0338	0.0095	0.0000	0.0073	0.0274	0.0312
5	31.7796	0.20	5.06	0.0424	0.0238	0.0000	0.0223	0.0257	0.0146
6	33.9088	0.19	5.40	0.0045	0.0428	0.0002	0.0415	0.0030	0.0283
7	49.3455	0.13	7.85	0.0083	0.0056	0.0000	0.0026	0.0023	0.0087
8	52.3982	0.12	8.34	0.0179	0.0103	0.0001	0.0054	0.0072	0.0018
9	55.2154	0.11	8.79	0.0037	0.0143	0.0000	0.0076	0.0021	0.0117
10	66.1582	0.09	10.53	0.0011	0.0013	0.0000	0.0005	0.0005	0.0027
11	73.7032	0.09	11.73	0.0050	0.0018	0.0008	0.0009	0.0000	0.0002
12	76.2405	0.08	12.13	0.0000	0.0003	0.2654	0.0796	0.0608	0.0001
13	78.7074	0.08	12.53	0.0011	0.0039	-0.0087	0.0001	0.0024	0.0019
14	80.063	0.08	12.74	0.0000	0.0000	0.0021	0.1153	0.0632	0.0000
15	88.2852	0.07	14.05	0.0000	0.0000	0.1610	0.0211	0.0996	0.0000
16	92.2457	0.07	14.68	0.0000	0.0000	0.0171	0.0106	0.0021	0.0000
17	93.935	0.07	14.95	0.0000	0.0000	0.0005	0.0051	0.0003	0.0000
18	96.5934	0.07	15.37	0.0000	0.0000	0.0025	0.0058	0.0009	0.0000
19	100.653	0.06	16.02	0.0000	0.0000	0.0020	0.0001	0.0097	0.0000
20	100.828	0.06	16.05	0.0000	0.0000	0.0124	0.0018	0.0011	0.0000
21	102.117	0.06	16.25	0.0000	0.0000	0.0052	0.0001	0.0018	0.0000
22	104.515	0.06	16.63	0.0000	0.0000	0.0025	0.0003	0.0007	0.0000
23	107.333	0.06	17.08	0.0000	0.0000	0.0022	0.0002	0.0168	0.0000
24	111.199	0.06	17.70	0.0000	0.0000	0.0514	0.0061	0.0000	0.0000
25	126.13	0.05	20.07	0.0000	0.0000	0.0110	0.0047	0.0036	0.0000
26	130.986	0.05	20.85	0.0000	0.0000	0.0173	0.0050	0.0041	0.0000
27	152.088	0.04	24.21	0.0000	0.0000	0.0067	0.0035	0.0190	0.0000
28	169.644	0.04	27.00	0.0000	0.0000	0.0051	0.0020	0.0137	0.0000
29	192.044	0.03	30.56	0.0000	0.0001	0.0332	0.0121	0.0000	0.0000
30	211.961	0.03	33.73	0.0000	0.0000	0.0224	0.0053	0.0002	0.0000
31	300.952	0.02	47.90	0.0000	0.1378	0.0001	0.0725	0.0000	0.0139
32	320.171	0.02	50.96	0.0307	0.0097	0.0000	0.0052	0.0143	0.0724
33	337.8	0.02	53.76	0.0967	0.0023	0.0000	0.0009	0.0420	0.0154
34	789.058	0.01	125.58	0.0002	0.0380	0.0000	0.0487	0.0001	0.0042
35	879.219	0.01	139.93	0.0011	0.0037	0.0001	0.0046	0.0013	0.0628
36	962.857	0.01	153.24	0.0715	0.0000	0.0000	0.0000	0.0717	0.0002
				0.9123	0.9056	0.6300	0.6825	0.6933	0.9021

Slika 30: Tablica relativne modalne mase

6.2.1 Rezultati zidova

Zidovi se dimenzioniraju pomoću jednog karakterističnog zida. Uzima se zid sa najvećim momentom na njemu, njega treba dimenzionirati i koristiti njegovu armaturu za ostale zidove.

1D internal forces

Values: **N**

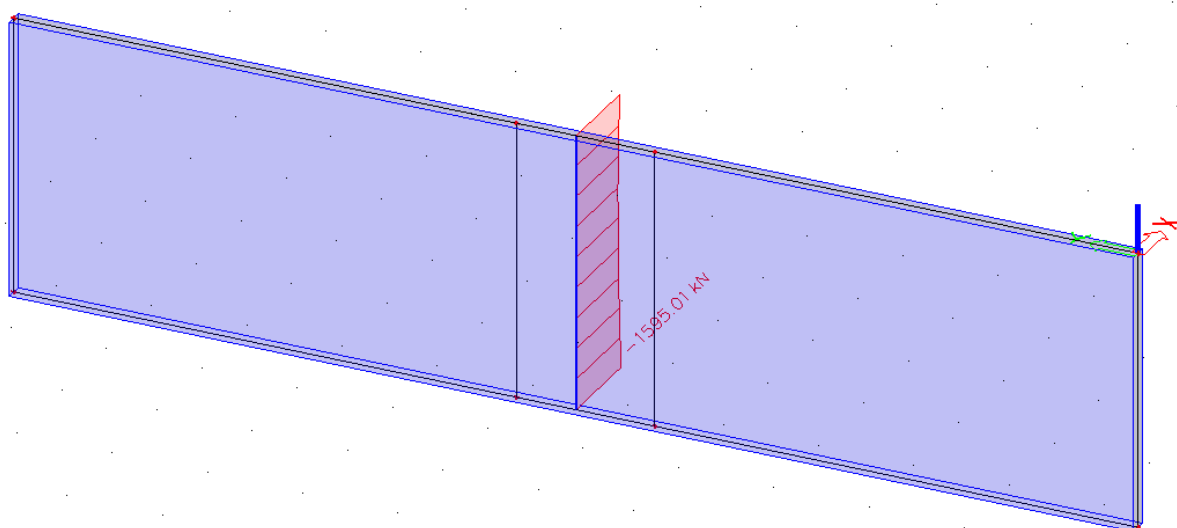
Linear calculation

Combination: GSN - Sy

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 31: Uzdužna sila u karakterističnom zidu

1D internal forces

Values: **V_y**

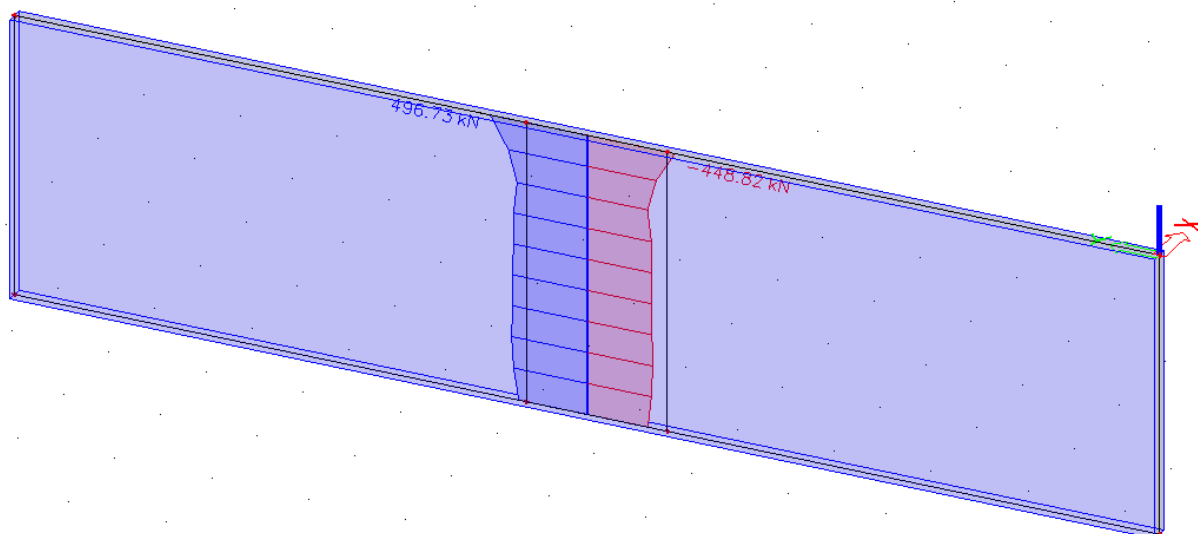
Linear calculation

Combination: GSN - Sy

Coordinate system: Member

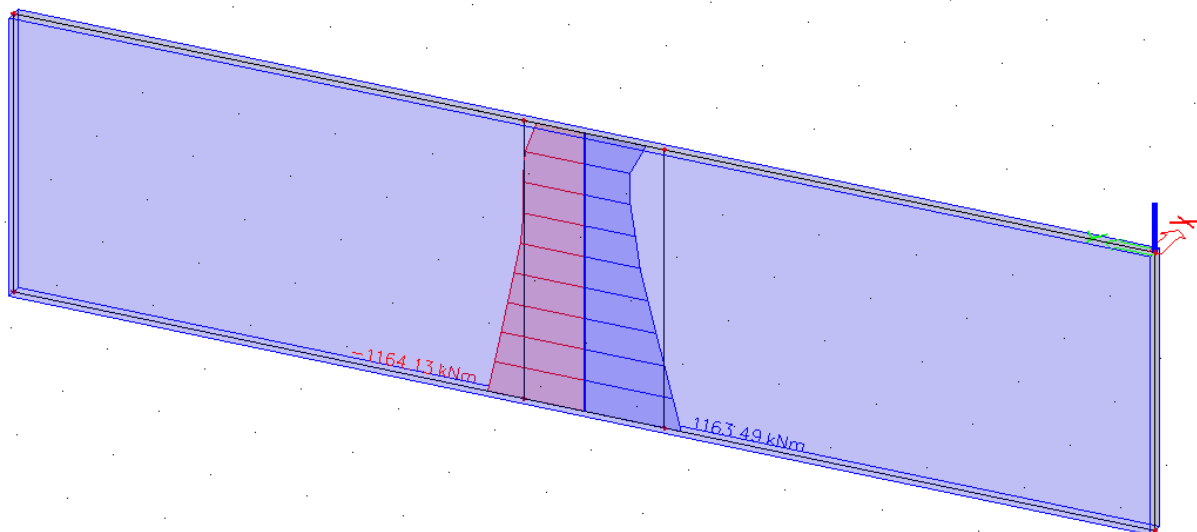
Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 32: Poprečna sila u karakterističnom zidu

1D internal forces
Values: M_z
Linear calculation
Combination: GSN - Sy
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Member
Selection: All

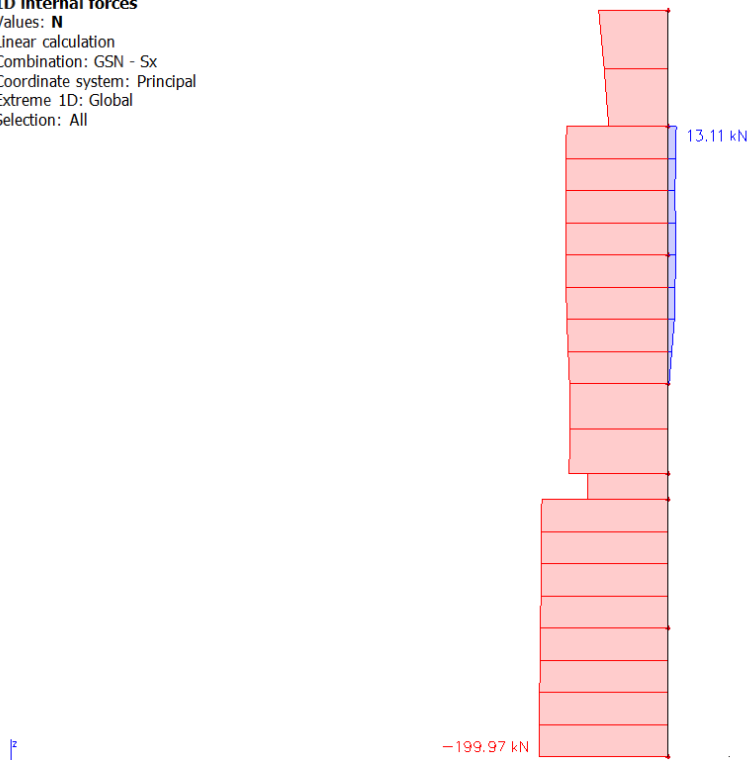


Slika 33: Moment u karakterističnom zidu

6.2.2 Rezultati vertikalnih serklaža

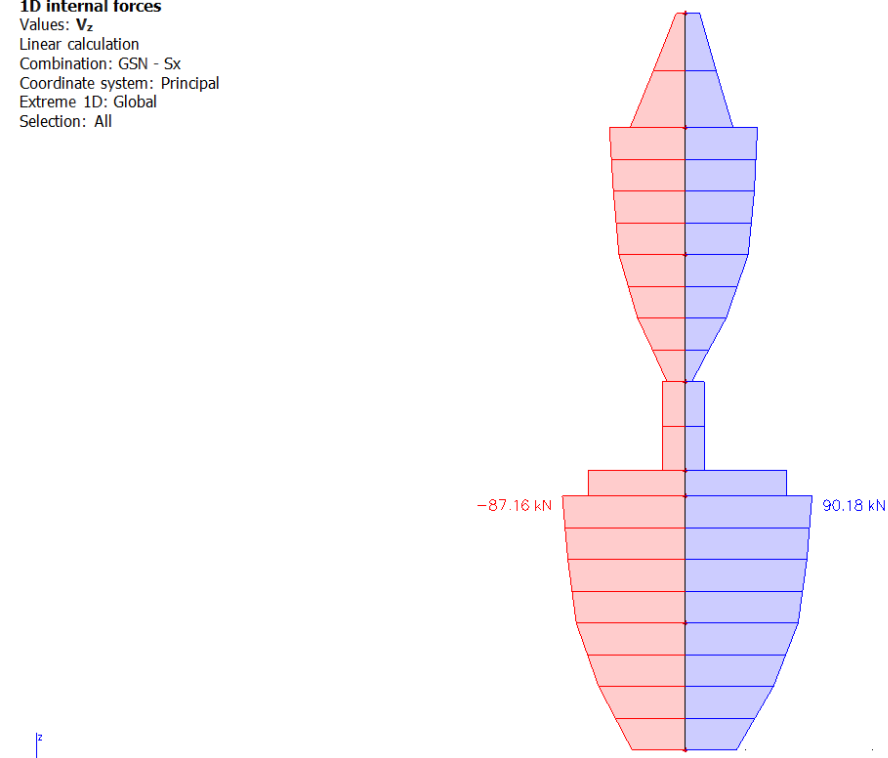
Također, isto tako za vertikalne serklaže. Postoje par njih koji su dosta većeg presjeka pa će oni preuzet najveće momente.

1D internal forces
Values: **N**
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



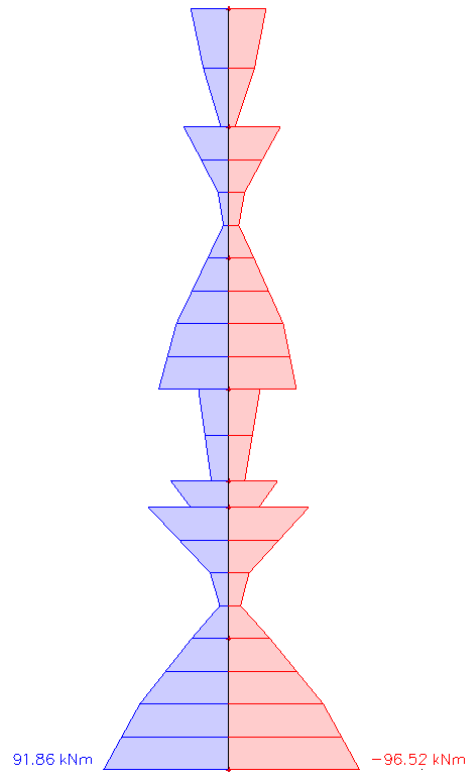
Slika 34: Uzdužna sila u vert. serklažu

1D internal forces
Values: **V_z**
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 35: Poprečna sila u vert. serklažu

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All

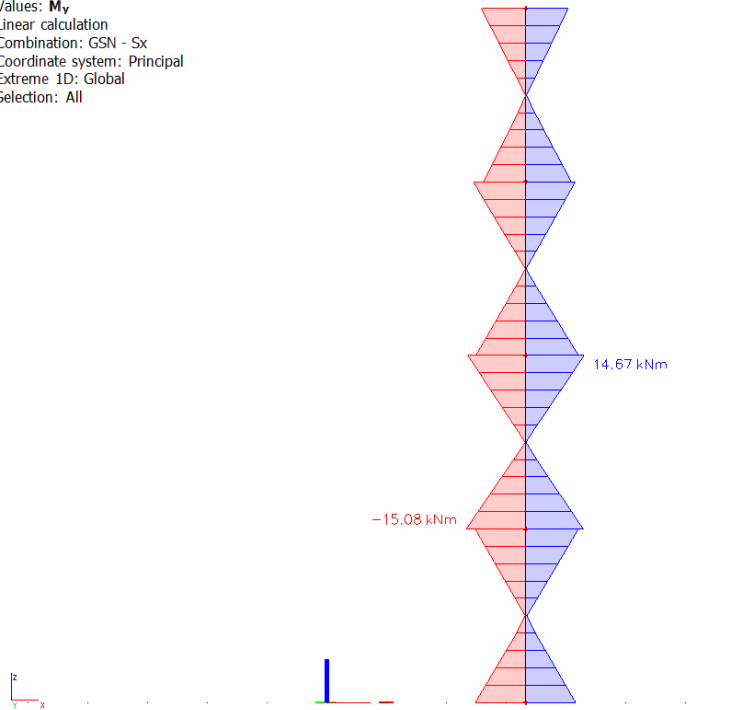


Slika 36: Moment u vert. serklažu

6.2.3 Rezultati stupova

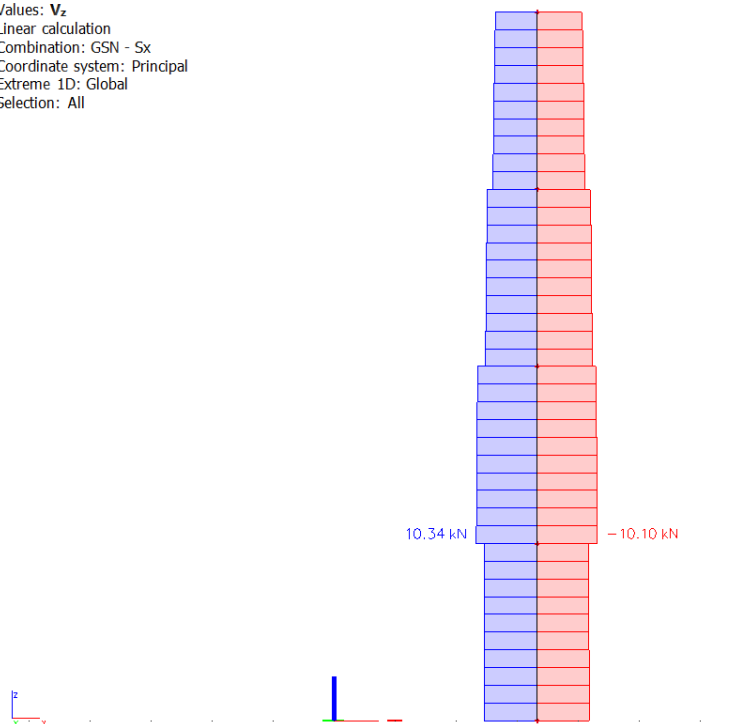
Stup je jako malog presjeka pa on neće vući velike momente na sebe. Služi samo za preuzimanje vertikalnih opterećenja.

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



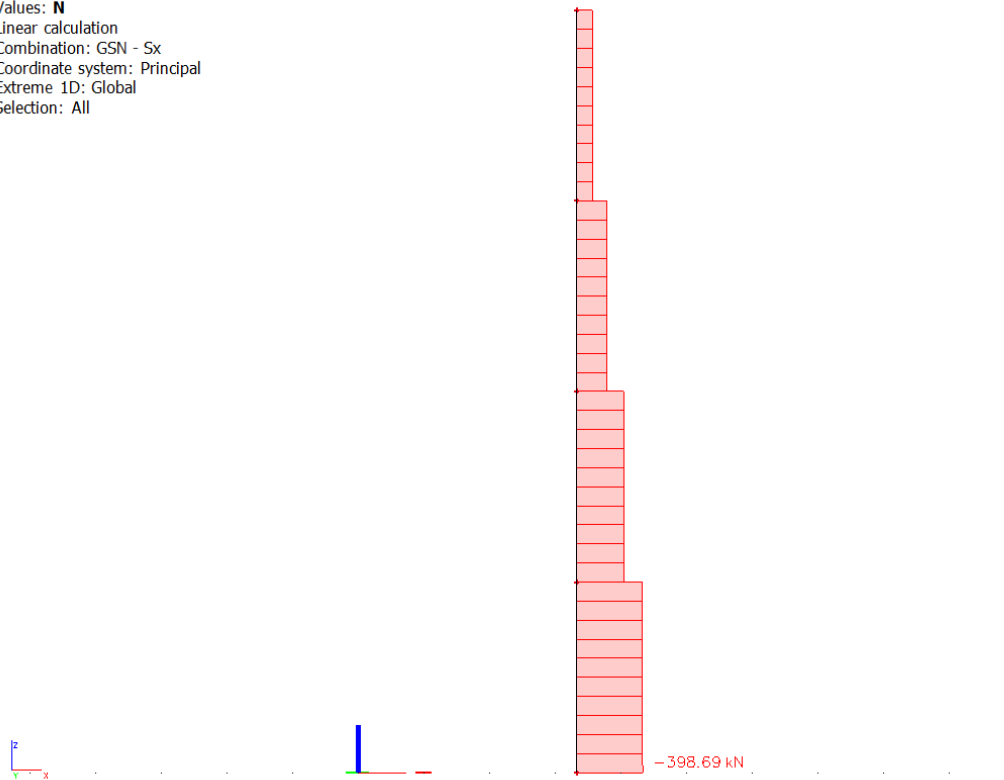
Slika 37: Moment u stupu

1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 38: Poprečna sila u stupu

1D internal forces
Values: **N**
Linear calculation
Combination: GSN - Sx
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Global
Selection: All



Slika 39: Uzdužna sila u stupu

6.3 Proračun zidova i stupova na potresno opterećenje

Proračun armirano-betonske zgrade zidnog konstrukcijskog sustava prema HRN EN 1998-1:2011 – klasa duktilnosti M.

6.3.1 Proračun karakterističnog zida

$$f_{ck} := 30\text{MPa} \quad f_{yk} := 500\text{MPa} \quad \gamma_c := 1.5 \quad \gamma_s := 1.15$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30 \cdot \text{MPa}}{1.5} = 2 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \cdot \text{MPa}}{1.15} = 43.478 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Duljina zida: $l_w := 1025\text{cm}$

Širina zida: $b_w := 20\text{cm}$

b_0 - širina ovijene jezgre rubnog elementa zida (do osi spona)

b_c – bruto širina ovijene jezgre

x_u - visina neutralne osi

ϵ_{cu2} – granična deformacija neovijenog betona

$\epsilon_{cu2,c}$ – granična deformacija ovijenog betona

α - faktor učinkovitosti ovijanja

ω_{wd} – mehanički obujamski omjer armiranja ovijenom armaturom

$$c := 30\text{mm}$$

$$b_0 := b_w - c - 2 \cdot 5\text{mm} = 16 \cdot \text{cm}$$

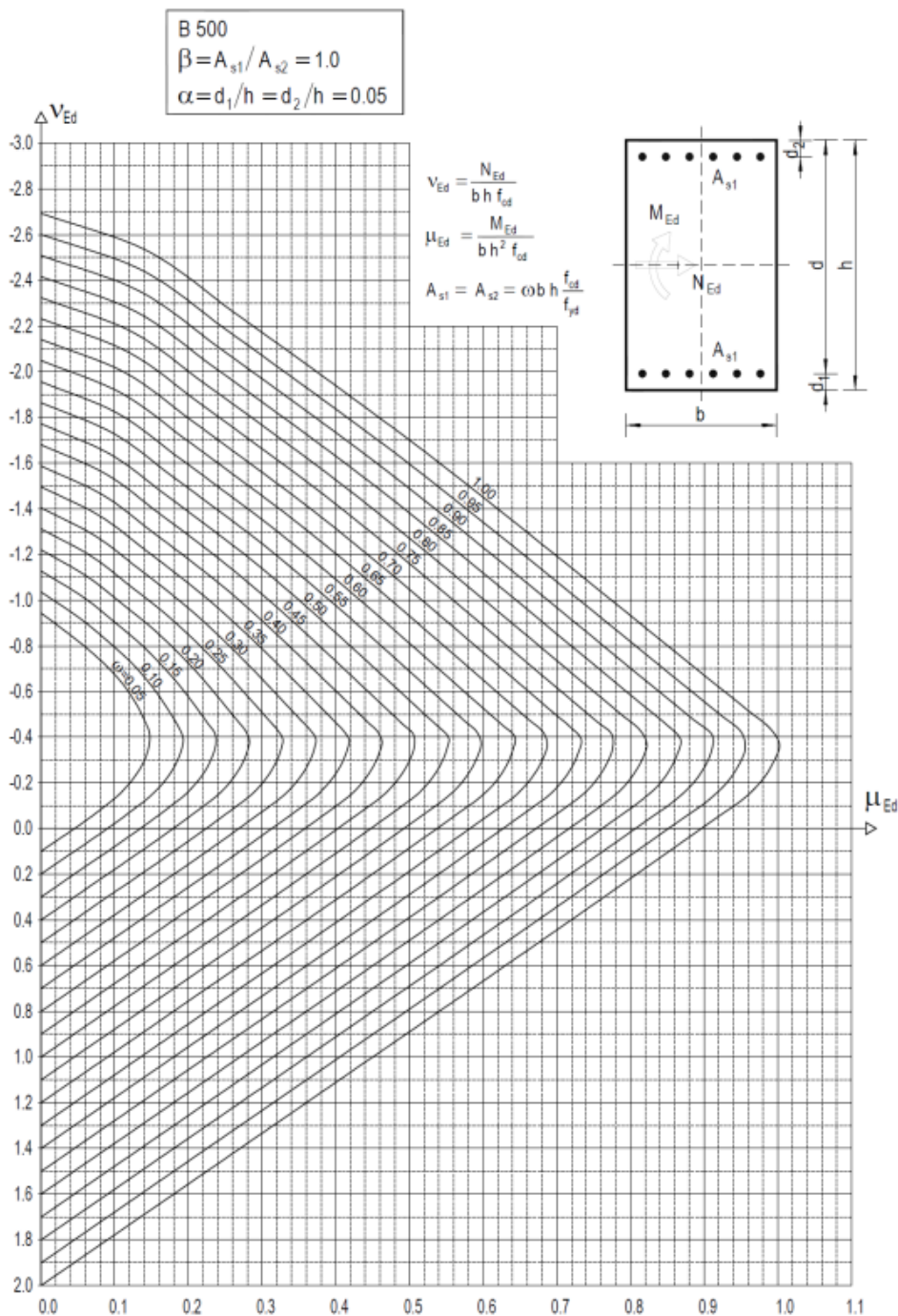
$$b_c := 20\text{cm}$$

Dimenzioniranje armature preko interakcijskog dijagrama:

$$M_{ed} := 1164 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{ed} := -1585 \text{ kN}$$

$$v_{ed} := \frac{N_{ed}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = -0.039 \quad \mu_{ed} := \frac{M_{ed}}{b_w \cdot l_w^2 \cdot f_{cd}} = 2.77 \times 10^{-3}$$



Slika 40: Interakcijski diagram betona

Određivanje duljine rubnog elementa i razmještaja savojne armature:

$$\omega := 0.05 \quad q_0 := 2.5$$

$$A_{S1} := \omega \cdot l_w \cdot b_w \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 47.15 \cdot \text{cm}^2 \quad A_C := b_w \cdot 100\text{cm} = 2 \times 10^3 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{SV.min} := 0.002 \cdot A_C = 4 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{SV} := 4.52 \text{cm}^2 \quad \text{Odabrano: Q-226 obostrano}$$

$$\rho_V := \frac{A_{SV}}{A_C} = 2.26 \times 10^{-3}$$

$\omega_v = \rho_v \cdot f_{yd,v} / f_{cd}$ – mehanički omjer armiranja hrpta vertikalnom armaturom
 $f_{yd,v}$ – proračunska vrijednost granice popuštanja vertikalne armature hrpta

$$\omega_v := \rho_v \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0.049$$

Koeficijent duktilnosti obzirom na zakrivljenost:

$$\mu_\varphi := 2q_0 - 1 = 4 \quad \varepsilon_{yd} := \frac{434.8}{200000} = 2.174 \times 10^{-3}$$

$$\alpha\omega_{wd} := 30 \cdot \mu_\varphi \cdot (v_{ed} + \omega_v) \cdot \varepsilon_{yd} \cdot \frac{b_c}{b_0} = 0.029$$

$$\varepsilon_{cu2.c} := 0.0035 + 0.1 \cdot \alpha\omega_{wd} = 6.363 \times 10^{-3}$$

$$x_u := (v_{ed} + \omega_v) \cdot l_w \cdot \frac{b_c}{b_0} = 112.48 \cdot \text{cm}$$

$$h_0 := x_u \cdot \left(1 - \frac{0.0035}{\varepsilon_{cu2.c}} \right) = 50.608 \cdot \text{cm}$$

$$l_c \geq \{0,15l_w ; 1,50b_w ; \text{duljina } h_0 \text{ na kojoj je } \epsilon_{cu2} > 0,0035\}$$

$$l_c > \{153.75\text{cm}, 30\text{cm}, 51.81\text{cm}\}$$

Odabrano: $l_c = 154\text{cm}$

Odabrana armatura: **15Ø22** ($A_{s1} = 57.02\text{cm}^2$)

$$b_w = 0.2\text{m} \quad l_c := 1.54\text{m}$$

$$A_{s1} := 57.02\text{cm}^2$$

$$A_{s.min} := 0.004 \cdot b_w \cdot l_c = 12.32 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s.max} := 0.04 \cdot b_w \cdot l_c = 123.2 \cdot \text{cm}^2$$

$$A_{s.min} < A_{s1} < A_{s.max}$$

Dijagonalni tlačni slom hrpta zbog posmika:

$$V_{ed} := 496.7 \text{ kN}$$

$$\alpha_{cw} := 1 \quad z := 0.8 \cdot I_w \quad v_1 := 0.53$$

$$V_{rd,max} := \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} = 1.738 \times 10^4 \cdot \text{kN}$$

$$V_{rd,max} > V_{ed}$$

Dijagonalni vlačni slom hrpta zbog posmika:

$$\alpha_s := \frac{M_{ed}}{V_{ed} \cdot I_w} = 0.229$$

$$\rho_h := \frac{V_{ed}}{0.8 \cdot I_w \cdot f_{yd} \cdot b_w} = 6.966 \times 10^{-4}$$

$$A_h := \rho_h \cdot b_w \cdot 100 \text{ cm} = 1.393 \cdot \text{cm}^2$$

Odabrano: **Q-226** obostrano ($A_s = 2.26 \text{ cm}^2$)

Odabir i razmak spona:

$$s_w < (8 \cdot d ; b/2 ; 175 \text{ mm})$$

$$s_w < (176 \text{ mm} ; 150 \text{ mm} ; 175 \text{ mm})$$

Odabrano: **$s_w = 15 \text{ cm}$** i promjer spona **$\varnothing 10$**

6.3.2 Proračun karakterističnog vertikalnog serklaža

Uzima se armatura dobivena od karakterističnog serklaža i koristi se za sve presjeke b/h odnosa 25/40 i 25/35 jer oni preuzimaju najveće momente tokom potresnog opterećenja. Presjeke 20/20, 25/20 i 25/25 treba armirati sa **2Ø16** ($A_{s1} = 7.60\text{cm}^2$) i sponama **Ø10/25** ($A_{sw}=0.79\text{ cm}^2$).

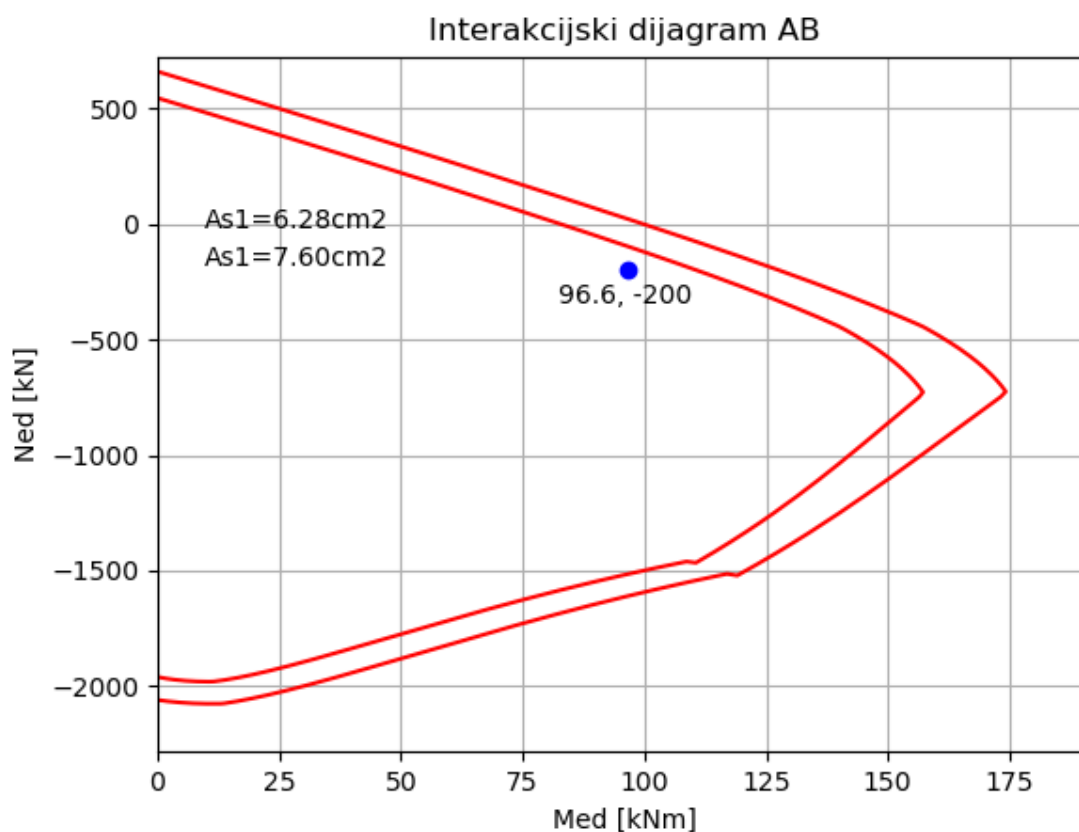
Za dimenzioniranje presjeka koristi se njegov interakcijski dijagram programiran u Python-u prema EN 1992-1-1: Eurocode 2.

$$M_{Ed} = 96.6 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -200 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 90.2 \text{ kN}$$

$$b/h = 25/40 \text{ cm}$$



Slika 41: Interakcijski dijagram karakterističnog serklaža

ODABRANA ARMATURA: **2Ø22** ($A_{s1} = 7.60\text{cm}^2$)

Budući da su opterećenje i dimenzije serklaža jako slične kao kod greda, usvojiti ćemo i slične spone. Treba smanjiti razmak između spona da se uzme ovijanje spona u obzir.

Postaviti spone: Ø10/20 ($A_{sw}=0.79\text{ cm}^2$)

6.3.3 Proračun karakterističnog stupa

Stup je dimenzija $b/h=20/20\text{cm}$ iz tog razloga neće preuzimati znatne momente nasebe.

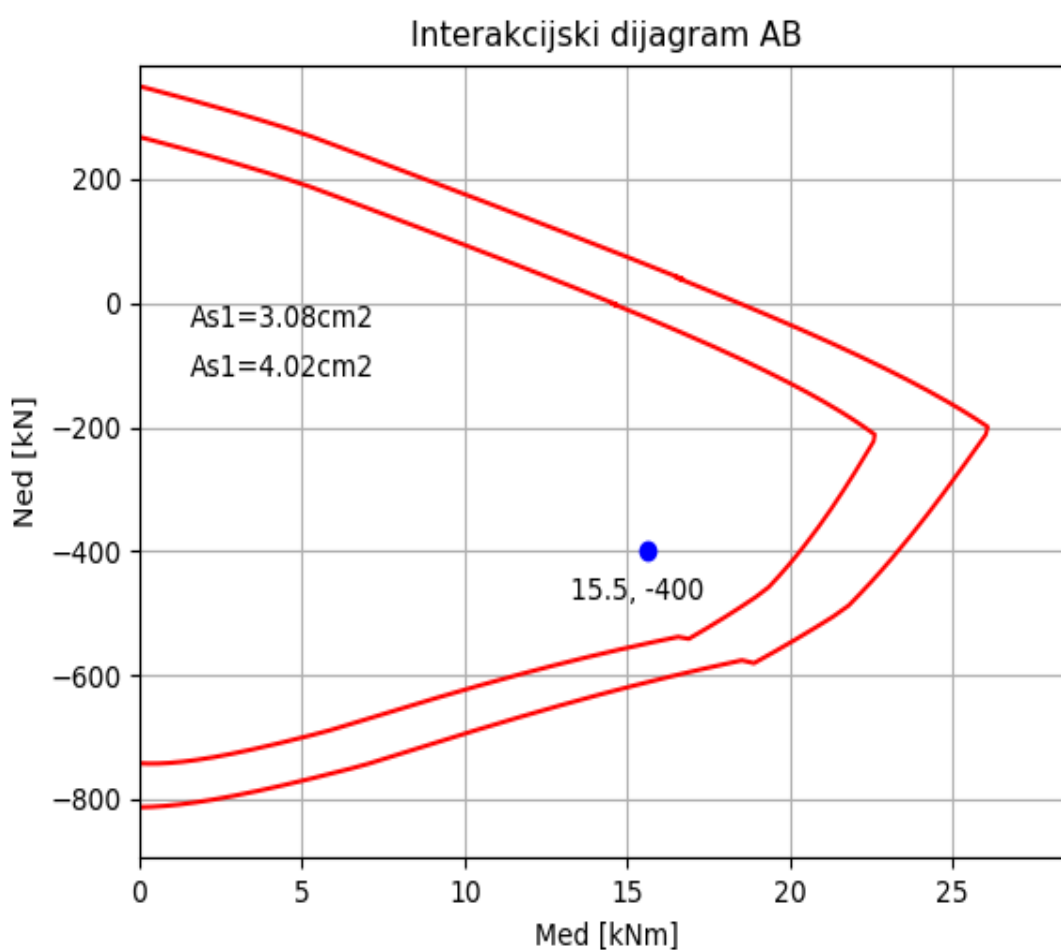
Za dimenzioniranje presjeka koristi se njegov interakcijski dijagram programiran u Python-u prema EN 1992-1-1: Eurocode 2.

$M_{Ed} = 15.5 \text{ kNm}$

$N_{Ed} = -400 \text{ kN}$

$V_{Ed} = 10.14 \text{ kN}$

$b/h = 20/20 \text{ cm}$



Slika 42: Interakcijski diagram stupa

ODABRANA ARMATURA: **2Ø16** ($A_{s1} = 4.02\text{cm}^2$)

Postaviti spone: **Ø10/25** ($A_{sw}=0.79 \text{ cm}^2$)

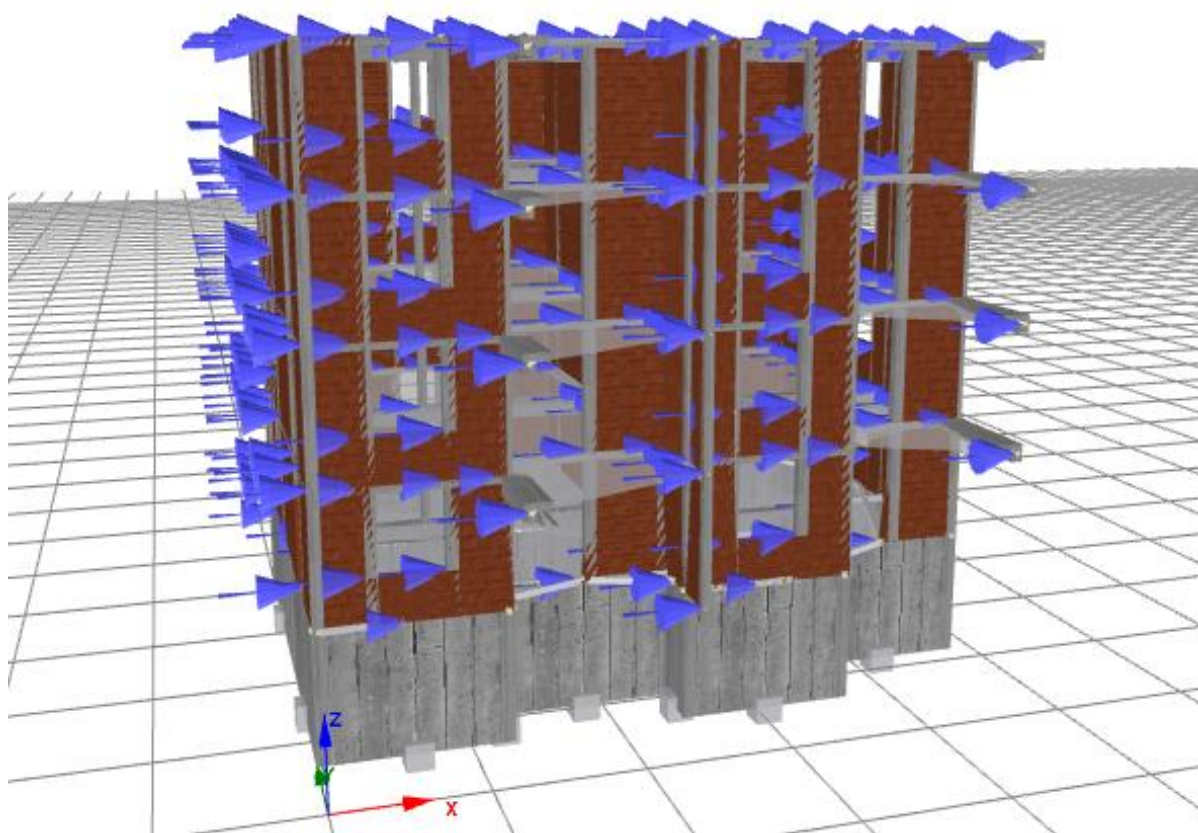
6.4 Pushover analiza

6.4.1 Uvod

Pushover analiza je statički postupak koji koristi pojednostavljenu nelinearnu tehniku za procjenu seizmičkih strukturalnih deformacija. Konstrukcije se same redizajniraju tijekom potresa. To jest unutarnje sile u elementima konstrukcije se raspodjele na drugačije načine ovisne o tome koji elemnti počnu popuštati i razvijati plastične zglobove.

Ili drugim rječima, kako pojedine komponente strukture popuštaju ili propadaju, dinamičke sile na zgradu prebacuju se na druge komponente. Pushover analiza simulira ovaj fenomen postupnom primjenom opterećenja dok se ne pronađe slaba točka u strukturi, a zatim u model uzima u obzir te slabe točke u konstrukciji i nanovo analizira unutarnje sile. Druga iteracija pokazuje kako se opterećenja predraspodjelu.

Struktura se ponovno "gura" dok se ne otkrije druga slaba točka. Ovaj proces se nastavlja sve dok se ne utvrdi paterna popuštanja za cijelu konstrukciju pod seizmičkim opterećenjem.



Slika 43: 3D Model zgrade u SeismoStruct sa horz. opterećenjima

Proračun metode postupnog guranja se provodi na sljedeći način:

- a) **Pretpostaviti oblik pomaka** (jednolika raspodjela, linearna raspodjela...)
- b) **Odrediti raspodjelu horz. sila po visini:**

$$P = \rho m \ddot{\Phi}$$

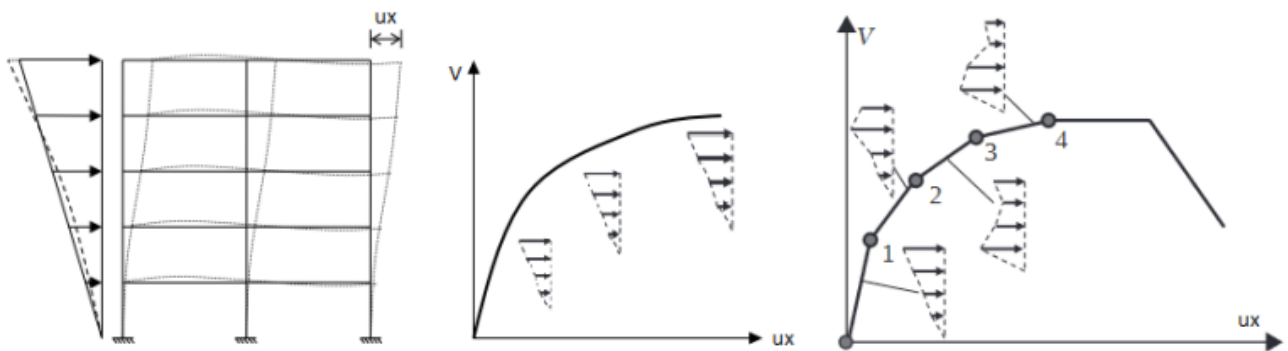
gdje je:

ρ – intenzitet bočnih sila

m – matrica masa

Φ – pretpostavljeni oblik pomaka

- c) **Odrediti odnose između poprečnih sila i pomaka**



Slika 44: Prikaz metode postupnog guranja (pushover)

Pomuču gore navedenih koraka i drugog Newton-ovog zakona, moguće je kreirati krivulju kapaciteta konstrukcije tojest nelinearnu vezu sile i deformacije.

Stime da kad se ta krivulja dobije ona se linearizira tojest bi-linearizira jer se sastoji od dva karakteristična djela. Početni linearni i krajnji nelinearni dio krivulje.

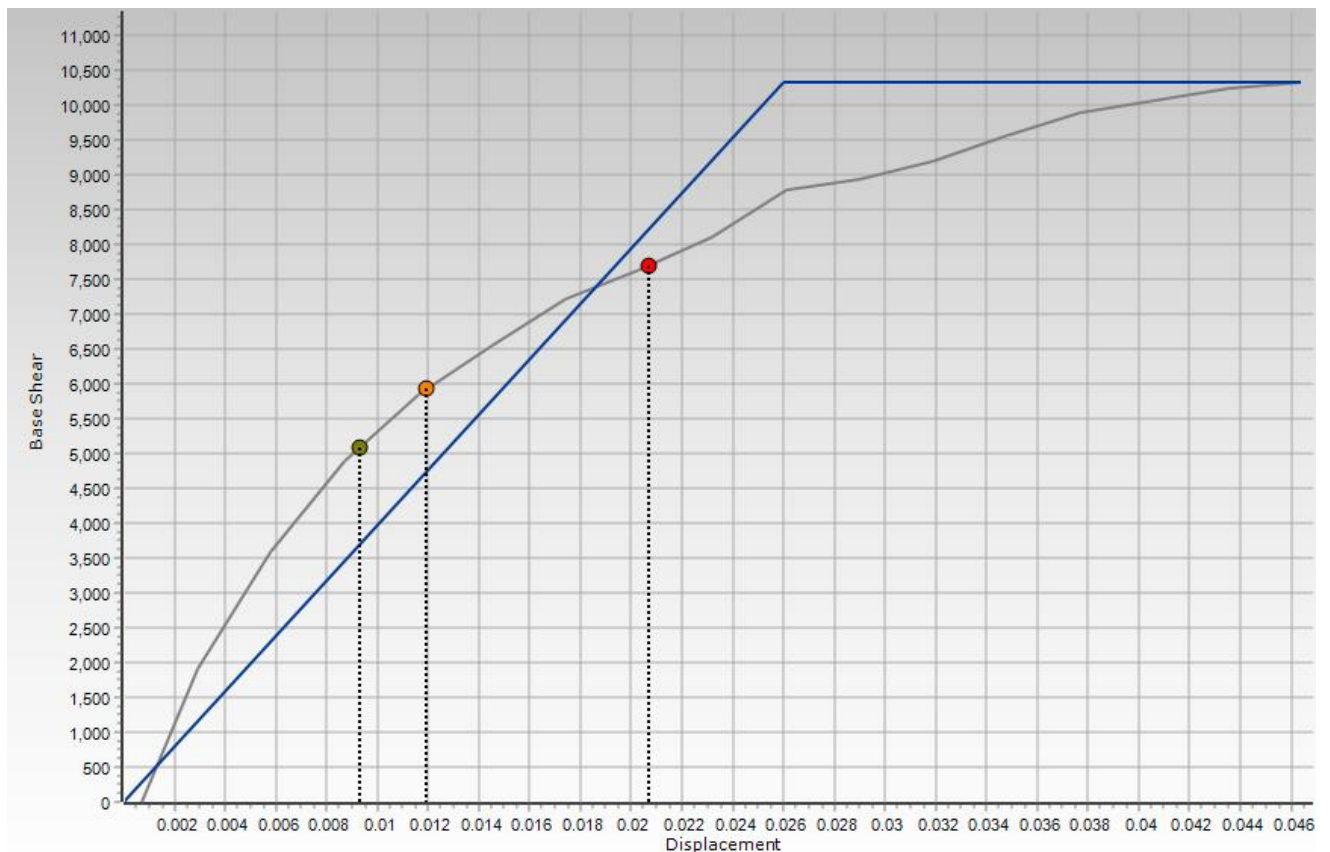
Snjom je moguće dokazivati strože kriterije za zgradu i provjeriti dali je zgrada dobro dizajnirana pomoću prethodnih linearnih metoda.

Takođe, budući da ova metoda ne ovisi o vremenskoj komponenti to je čini prikladnim za manje više svakodnevne upotrebe, jer nije toliko zahtjevna na računalo kao što je naprimjer nelinearna vremenska analiza.

6.4.2 Rezultati pushover analize

6.4.2.1 Nelinearna krivulja sila-pomak

Za početak prikazana je takozvanu pushover krivulju. Ona ukazuje na maksimalnu poprečnu silu dostignutu pri samom lomu konstrukcije.



Slika 45: Usporedba stvarne krivulje i bilinearne aproksimacije

Za ovaj slučaj možemo vidjeti da zidana zgrada može preuzeti znatno poprečno opterećenja sa velikim oštećenjima. Zanimljivo je za reći da nam se prva velika oštećenja tek prikazuju pri poprečnoj sili od 5000 kN. Ako usporedimo to sa silom koju dobijemo preko metode bočnih sila možemo dobiti osjećaj dali je proračun dobro proveden.

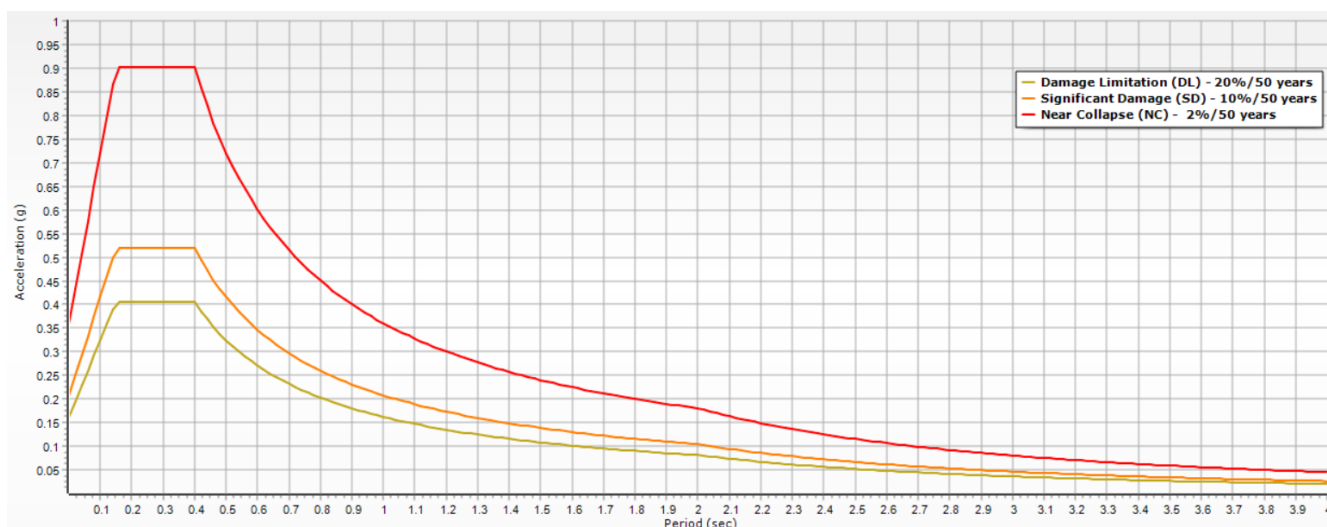
$$F_b = S_d(T) * m = 2.6 \text{ m/s}^2 * 1,312.037 \text{ t} = 3411.3 \text{ kN}$$

Dobiva se sila od 3411.3 kN, to je sila na koju bi proračunavali zgradu pomoću metode bočnih sila. Ovdje zgrada trpi 1.5 puta veću silu bez velikih oštećenja. Tako da možemo zaključiti da je zgrada dobro dimenzionirana.

Način na koji SeismoStruct proračunava pomak za prikazivanja količine oštećenja je tako da mu zadamo naš projektni spektar kojim smo proveli linearnu analizu. On po njemu skalira taj spektar i doda još dodatna dva.

Oni su skalirani po kriteriju kolike su šanse da se dogode u vremenskom razdoblju od 50 godina.

Žuti spektar je Damage Limitation (DL), šanse da se dogodi su 20% u 50 godina. Narančasti spektar je Significant Damage (SD), šanse događaja su 10% u 50 godina. Za kraj crveni spektar Near Collapse (NC), šanse događaja su 5% u 50 godina.



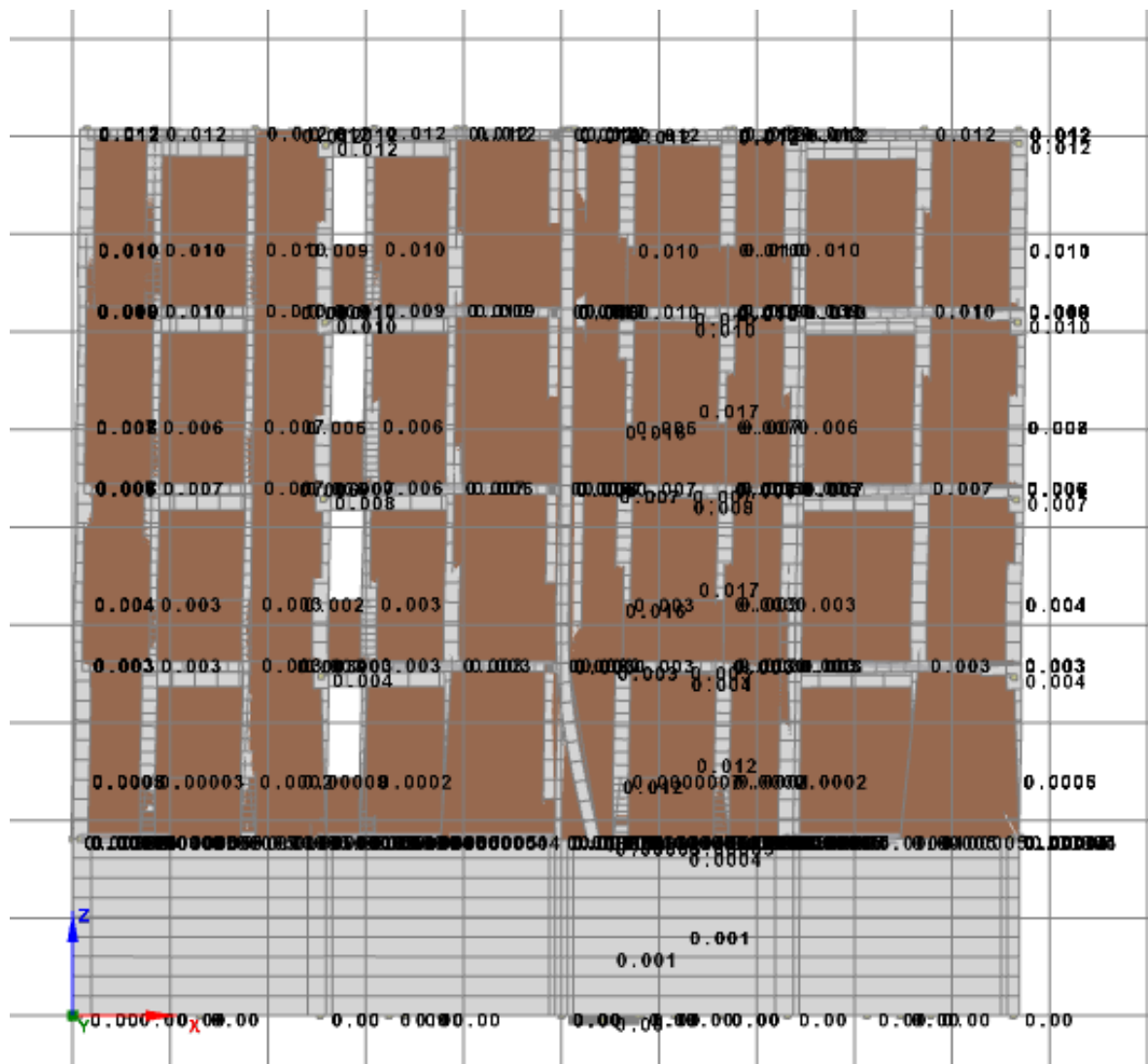
Slika 46: Projektni spektri za limitacije štete

Zanimljivo je za reći, iako naša zgrada akumulira na kraju poprečnu silu od 11,000 kN, to nije baš realno kao što ćemo viditi sa analizom u vremenu i vjerojatno je da bi se zgrada urušila puno ranije. Prema tome Near Collapse (NC) spektar to uzima u obzir.

6.4.2.2 Pomaci konstrukcije pri različitim stupnjima guranja

Također može se analizirati pomake konstrukcije pri pushover analizi. Izvučeni su samo tri slike za različite količine nanosene poprečne sile. Oni se kalkuliraju pomoću Load Factor-a koju ukazuje koliko posto od maksimalne moguće sile smo nanili na konstrukciju tokom analize.

Za početak prikazana je zgrada otprilike na pola maksimalnog opterećenja:

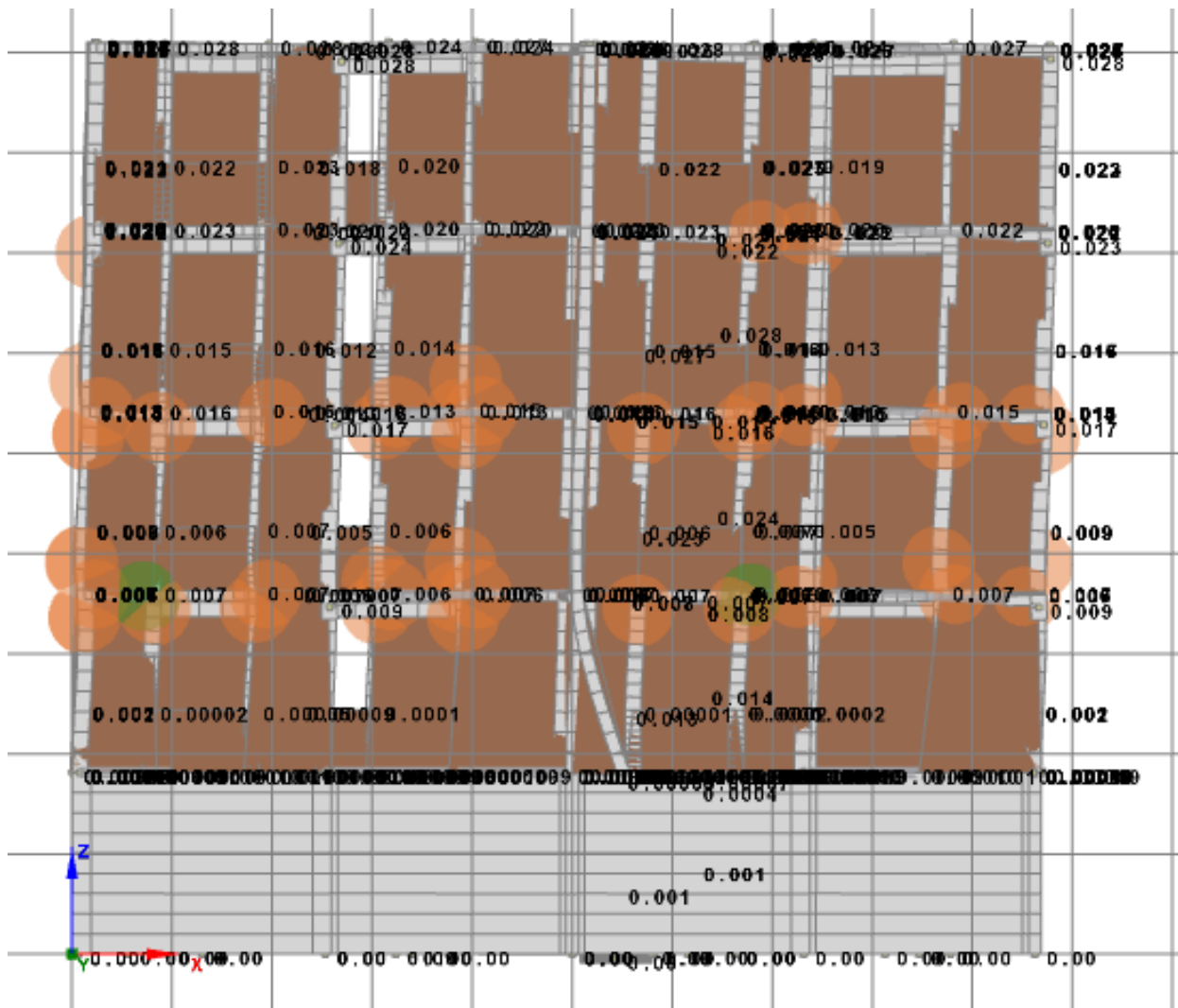


Slika 47: Pomaci pri load factor-u LF = 57.21

Za sada zgrada doživljava pomake pri vrhi od 1.2cm. Budući da je ovo dosta kruta konstrukcija nećemo viditi neke znatne deformacije.

Također pri trenutno nanesenom opterećenju nema još velikih oštećenja.

Sljedeće, uzima se LF od 85.9% od maksimalnog opterećenja:



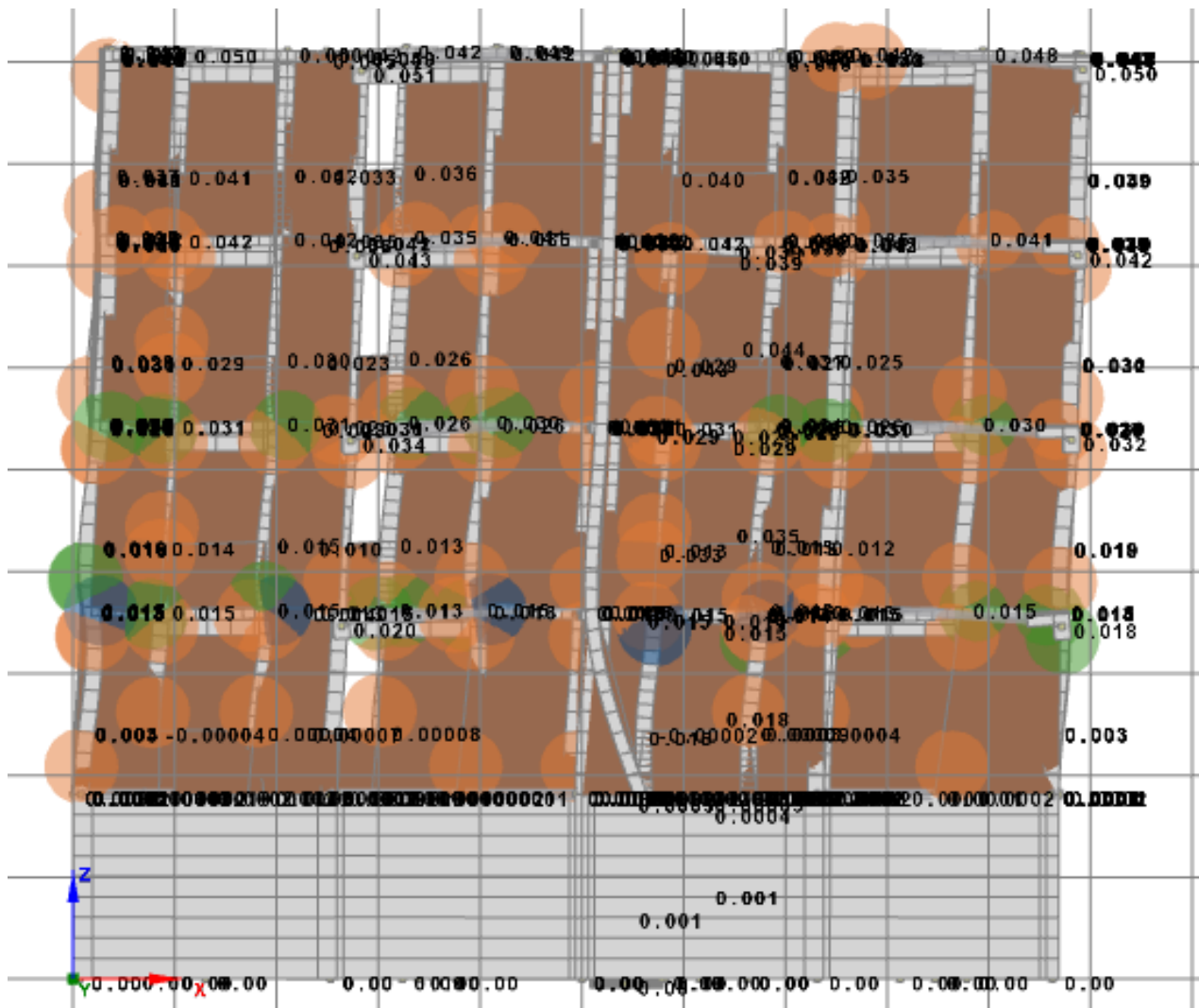
Slika 48: Pomaci pri load factor-u LF = 85.9

Sad smo već ušli u područje gdje zgrada počinje biti oštećena na znatne načine. Kratko objašnjenje prvo:

- Narančasti krugovi – Popuštanje vlačne armature
- Zeleni krugovi – Popuštanje na poprečnu silu
- Plavi krugovi – Tlačni lom betona

Vidimi da se glavna popuštanja ili plastifikacije javljaju oko spojeva stup – greda. To je vjerojatno zato što nam se u tim područjima najviše koncentriraju naprezanja tokom horizontalnih deformacija.

Za kraj, uzima se LF od 99.5% od maksimalnog opterećenja:



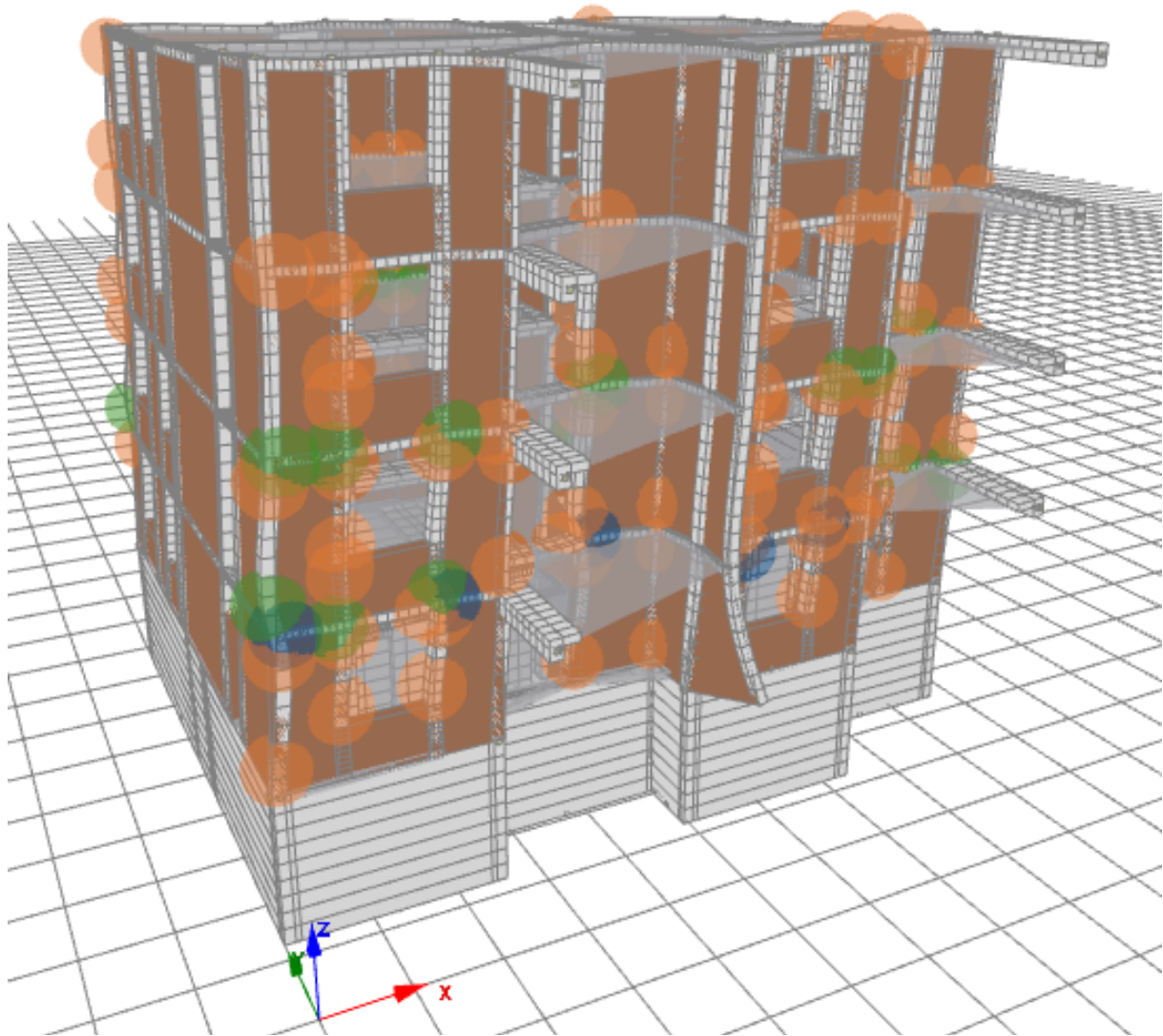
Slika 49: Pomaci pri load factor-u LF = 99.5

Sad smo ušli u opasnu zonu gdje nam je počela popuštati armatura u stupovima ili vertikalnim serklažima. Popuštanje greda nije toliko opasno tokom potresna jer to neće izazvati kolaps zgrade, dok popuštanje stupova pogotovo pri nižim katovima može izazvati kolaps zgrade totalu.

Možemo viditi iz ove analize da su slabe točke konstrukcije definitivno spoj stup – greda. Pa bi se trebalo pripaziti pri izgradnji zgrade znatno na ta područja i također napraviti reviziju armature u tim područjima.

Prikazano je do sada samo prednja strana zgrade, to je zato što zadnja strana zgrade manje više ima iste posljedice kao i prednja strana. Nije bilo potrebe prikazivati obe.

Zgrada se gurala u x-smjeru tako da i bočne strane nisu imale nikakve posljedice kao i što je očekivano.



Slika 50: Perspektiva zgrade pri load factor-u $LF = 99.5$

6.5 Time-history analiza

6.5.1 Uvod

Za određivanje seizmičkih odziva to je potrebno izvršiti seizmičku analizu strukturu koristeći različite dostupne metode:

- Statička analiza
- Nelinearna statička analiza
- Linearna dinamička analiza
- Nelinearni Dinamička analiza.

U ovom radu ćemo proći sve te metode, počeli smo sa statičkom i linearnom dinamičkom analizom za određivanje količine armature za vertikalna i horizontalna djelovanja. Odradili smo nelinearnu statičku analizu (Pushover metoda) skojom smo daljne analizirali ponašanje zgrade na horizontalna djelovanja. Za kraj ćemo još provesti nelinearnu dinamičku analizu ili vremensku analizu.

Za vremensku analizu koristimo sljedeću jednadžbu:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{F}(t)$$

gdje je:

\mathbf{M} – matrica masa

\mathbf{C} – matrica prigušenja

\mathbf{K} – matrica krutosti

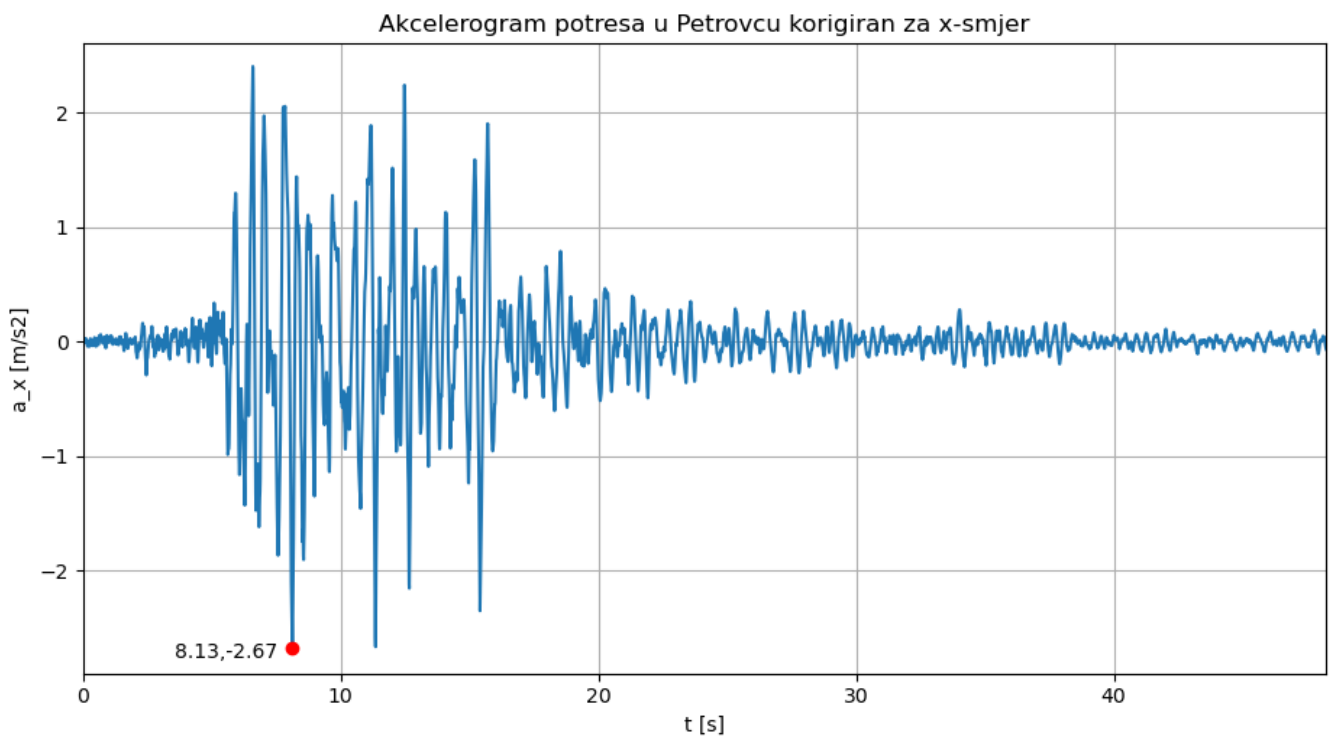
$\mathbf{F}(t)$ – opća sila s vremenskom ovisnosti

u, \dot{u}, \ddot{u} – pomak, brzina, ubrzanje

Općenito za ovakve zgrade ove analize se ne provode, jer su jako komputacijski i vremenski zahtjevne. Proračun za ovakvu zgradu traje barem jedan sat zbog količine podataka koji se trebaju procesirati za svaki moment u vremenu.

Mi ćemo analizirati našu zgradu na razornu potres koji se dogodio u Petrovcu 1979. godine. Skalirat ćemo ga za 0.6 jer puna snaga potresa bi srušila zgradu i proračun se nebi mogao provesti. Skalirat ćemo ga na način da uzmemo text file zapisanih podataka, prebaciti ga u Python i onda tamo te podatke preraditi.

Nakon skaliranja potresa Petrovac dobivamo sljedeći akceleroگرام:



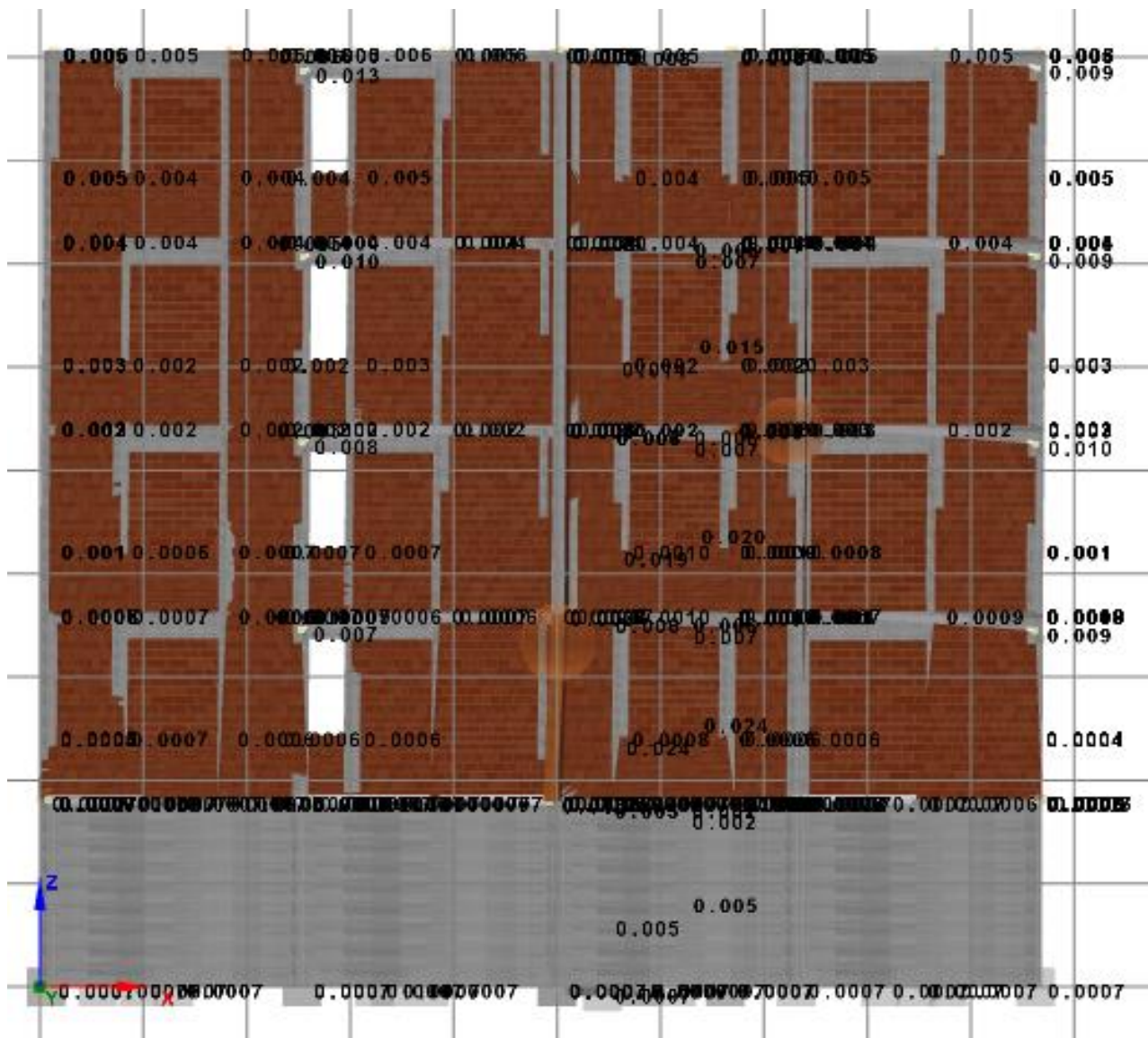
Slika 51: Akceleroگرام potresa za analizu zgrade

Primjetimo da u vremenu $t = 8.13\text{s}$ dobivamo maksimalno ubrzanje tokom potresa od $a_g = 2.67\text{ m/s}^2$. Pri tom vremenu ćemo obratiti posebnu pažnju tokom daljne analize rezultata proračuna.

6.5.2 Rezultati nelinearne analize u vremenu

6.5.2.1 Oštećenja izazvana od potresa

Za početak treba sagledati situaciju zgrade u vremenu $t=11.7s$. Ovo je prvo vrijeme gdje se počinju pokazivati znatna oštećenja elemenata zgrade.



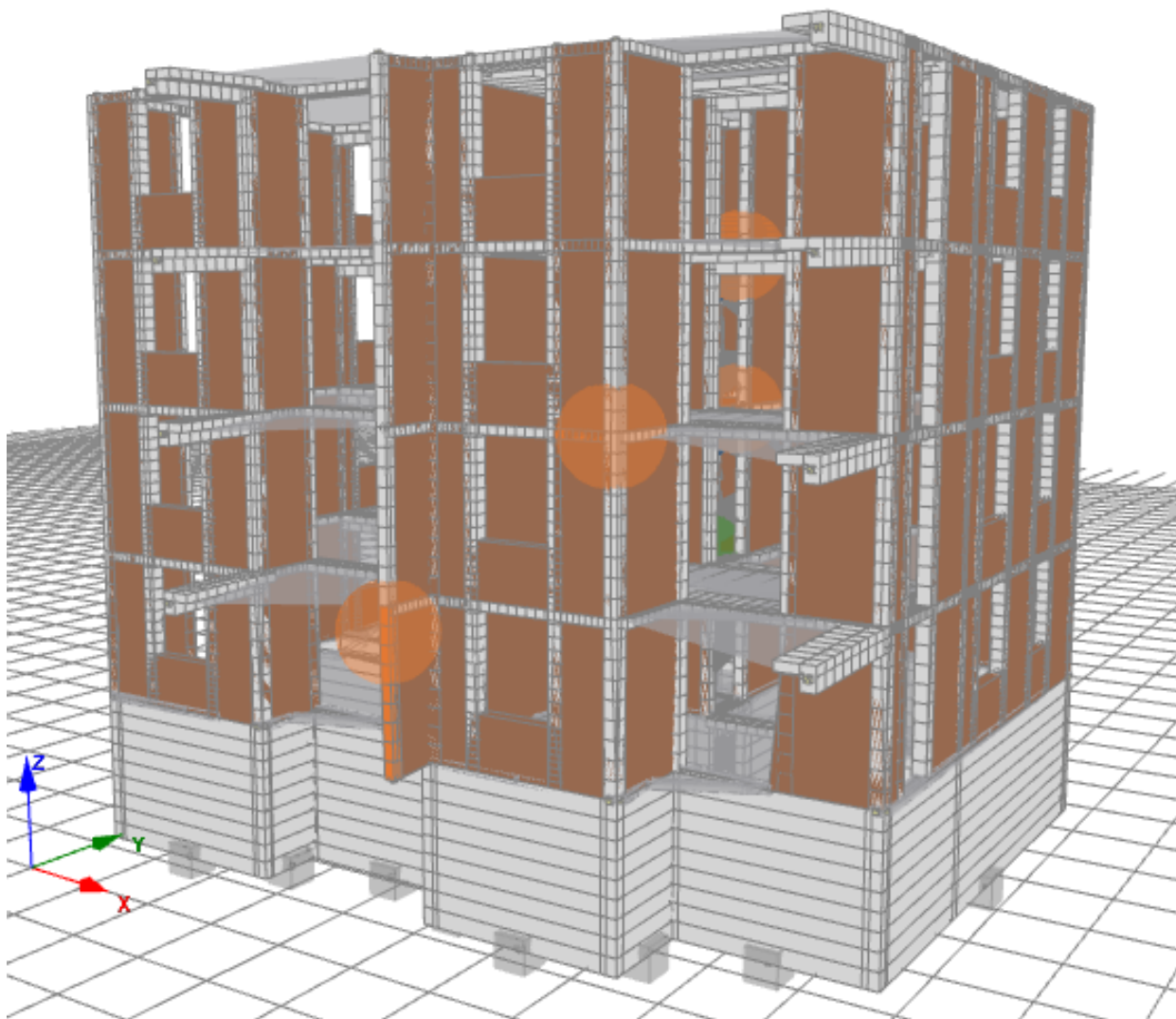
Slika 52: Oštećenja zgrade u vremenu $t=11.7s$

Zanimljivo je za spomenuti da se oštećenja nemoraju pojaviti pri najvećoj akceleraciji potresa, razlog tome su histerezna ponašanja materijala.

Vidi se da se slična stvar događala i kod pushover analize. Prva glavna oštećenja se javljaju na spojevima stup – greda. Također možemo viditi iz ove slike da su pomaci poprilično neprimjetni za relativno jak potres. Pomaci zadnjeg kata ne prelaze više od 1cm.

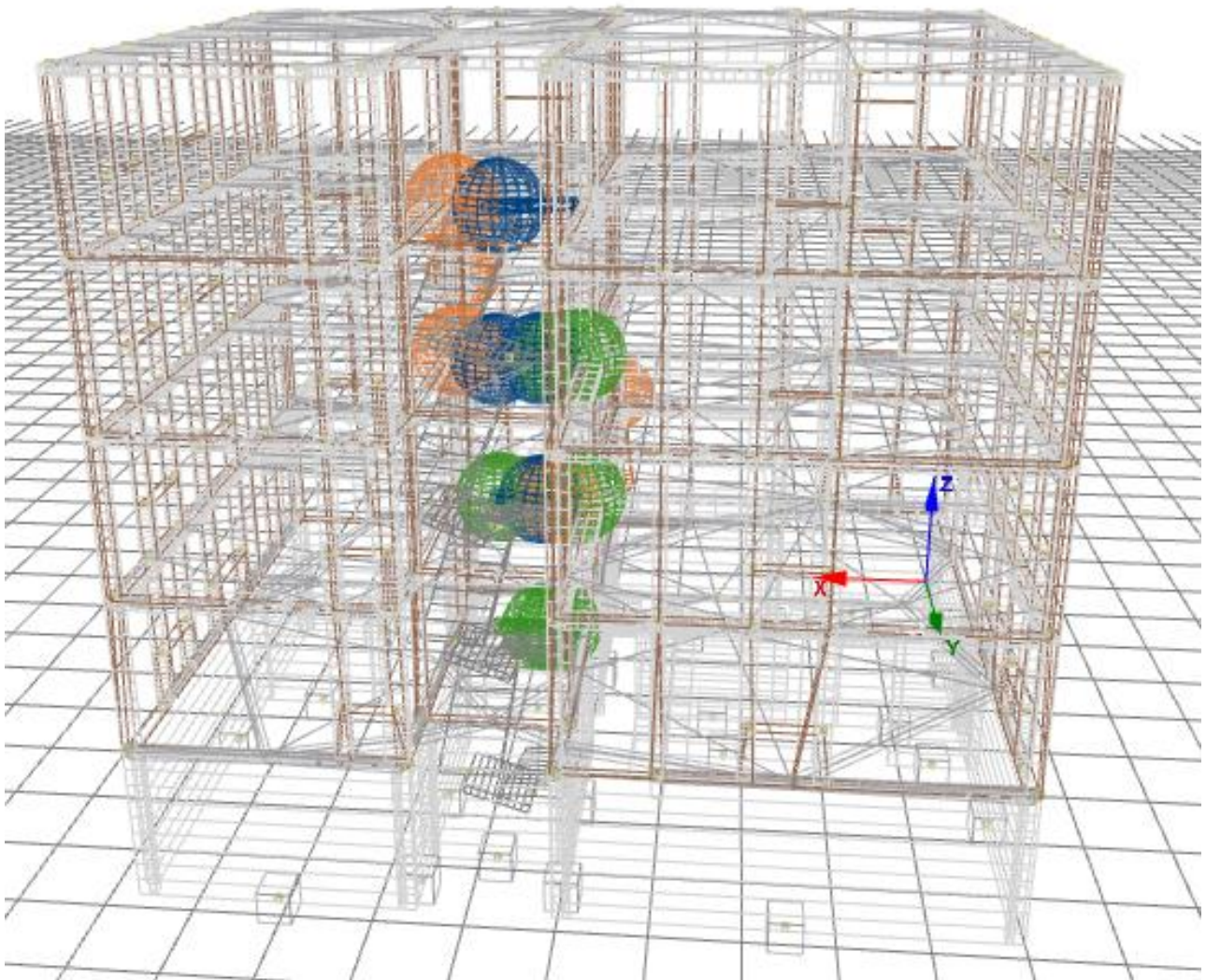
Pri kraju potresa zgrada uzima stanje kao na slici, sa oštećenjima oko spoja stup – greda i horizontalnih serklaža oko stubišta.

Kad se uzme aksonometrijski prikaz zgrade vidi se bolje gdje se zapravo javljaju najveća oštećenja.



Slika 53: Oštećenja elemenata pri kraju potresa

Oštećenja se uglavnom koncentriraju u spojevima stubišta i ploče tojest horizontalnih serklaža. To može biti radi znatno razloga, jedan on njih je to što su stubišta u cijelosti od betona pa prihvaćaju veće sile zbog njihove krutosti. Također u bilo kakvim spojevima uvijek očekujemo nekakve koncentracije naprezanja.



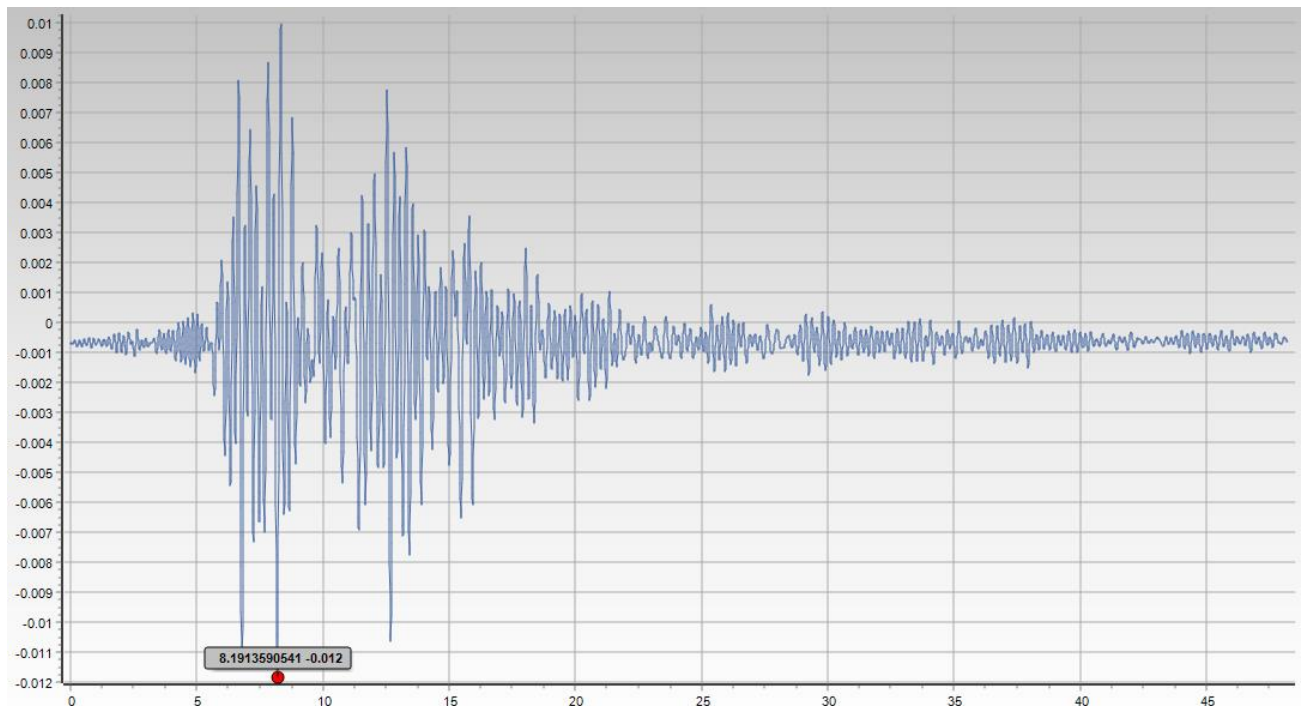
Slika 54: Oštećenja elemenata oko stubišta

Također hipoteza može biti, budući da stubište dijeli zgrade na dva dijela ono mora prenositi horizontalnu silu s jednog dijela zgrade na drugi. Potom bi se mogle akumulirati dodatne tlačne sile u serklažima.

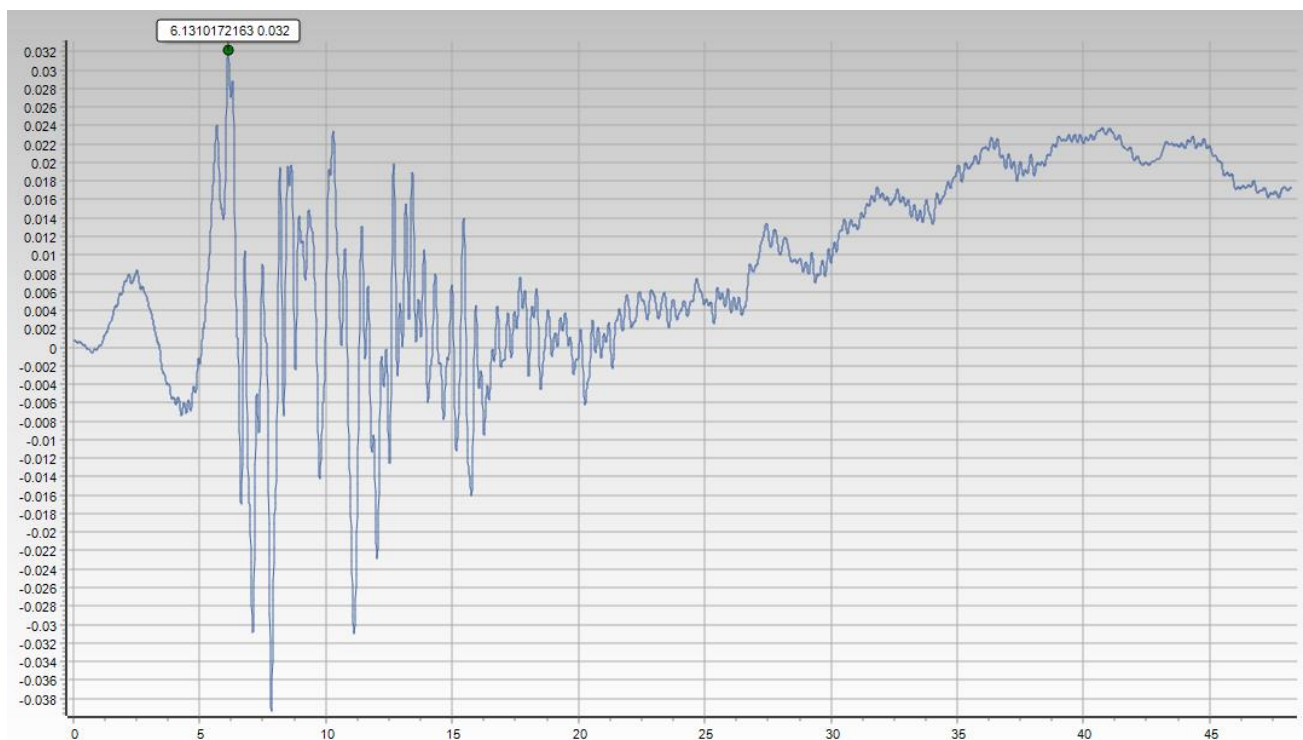
I to se vidi ovdje, nema previše popuštanja armature ali imamo krte lomove betona u tlačnoj zoni.

6.5.2.2 Pomaci, brzine i ubrzanja zgrade

Rezultati se iscrtavaju za pomaka i ostalih vrijednosti prema kontrolnoj točki i relativno na nju. Software automatski određuje položaj kontrolne točke, općenito je uvijek na zadnjem katu. Kontrolne točke: $x= 8.8m$, $y=6.9m$, $z=14.5m$.

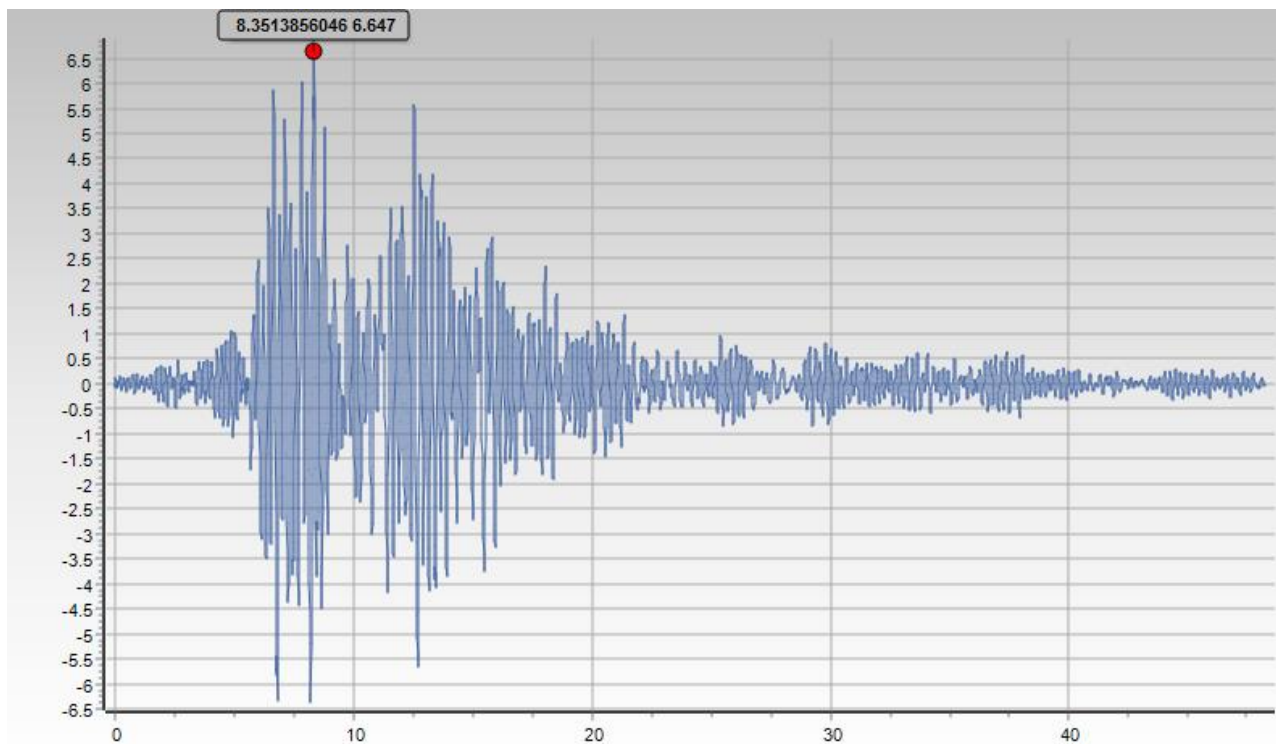


Slika 55: Pomak temelja relativno na kontrolnu točku

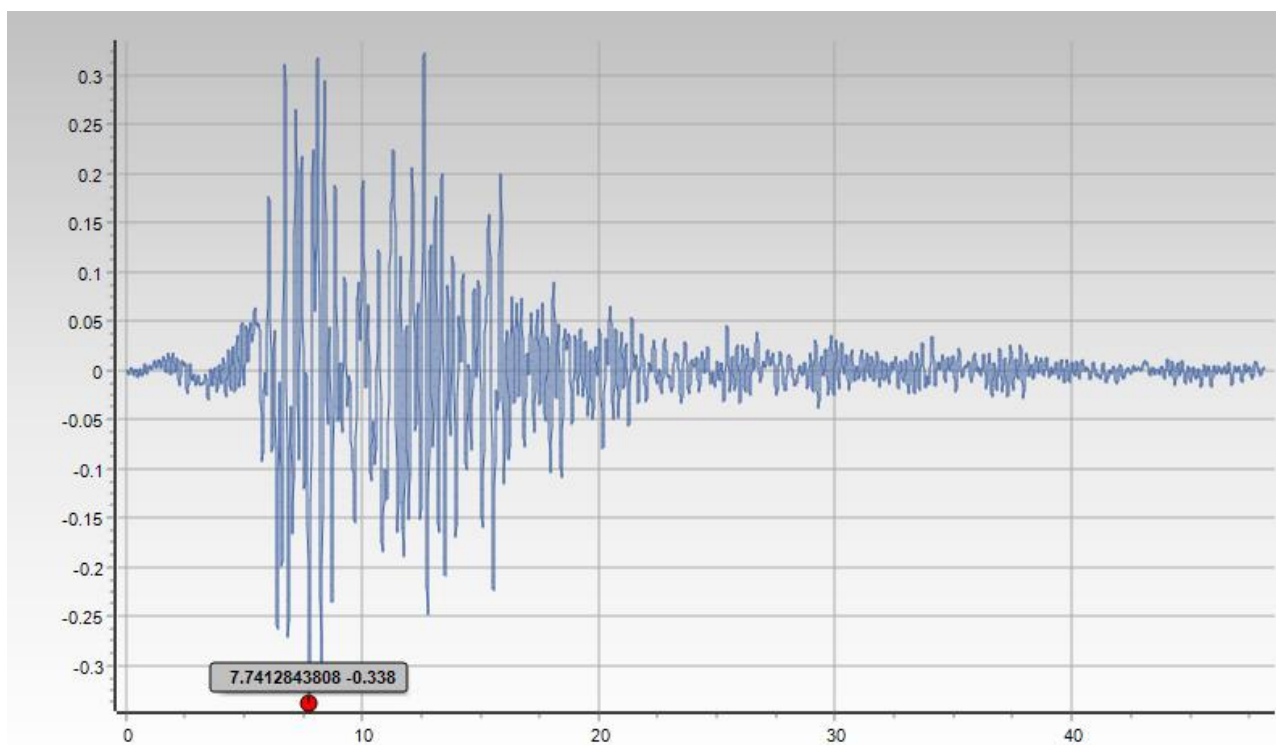


Slika 56: Pomak kontrolne točke

Kao što je očekivano, najveće pomake temelja i kontrolne točke doživljavamo oko vremena kad potres dostiže svoj PGA (peak ground acceleration). Također za zadano vrijeme od $t=48s$, naša zgrada pri vrhu nije imala dovoljno vremena da se vrati u prvobitno stanje.



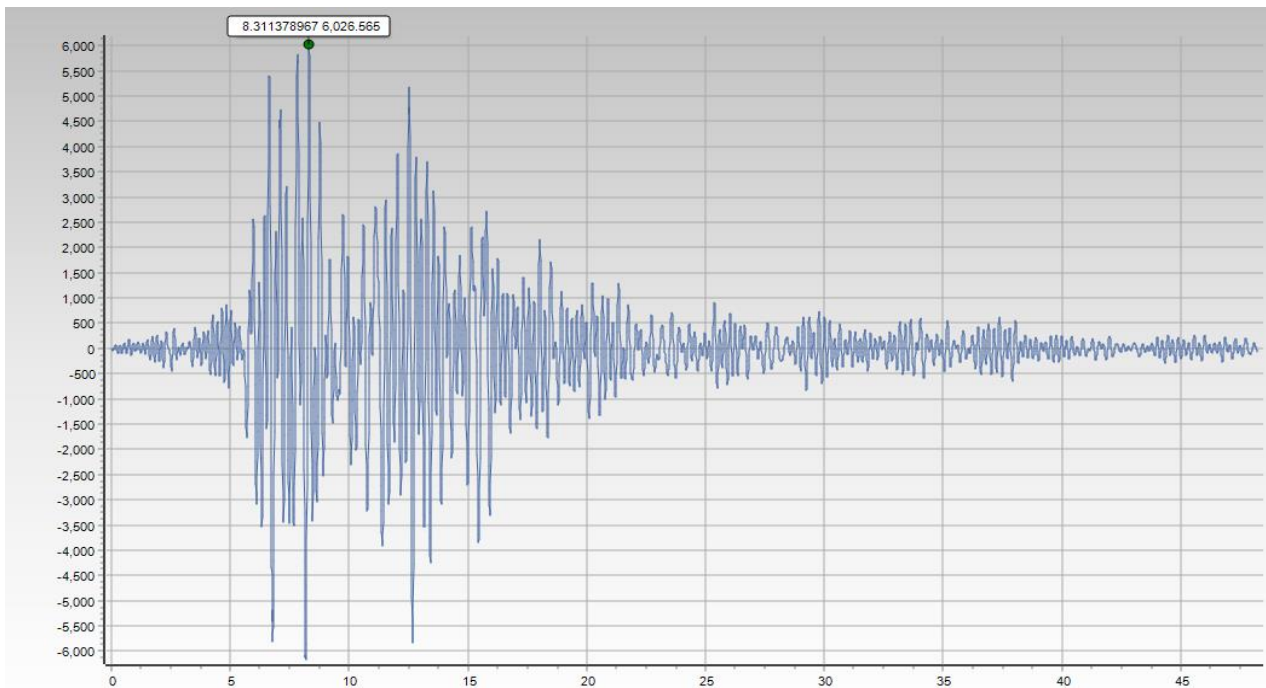
Slika 57: Akceleracije kontrolne točke



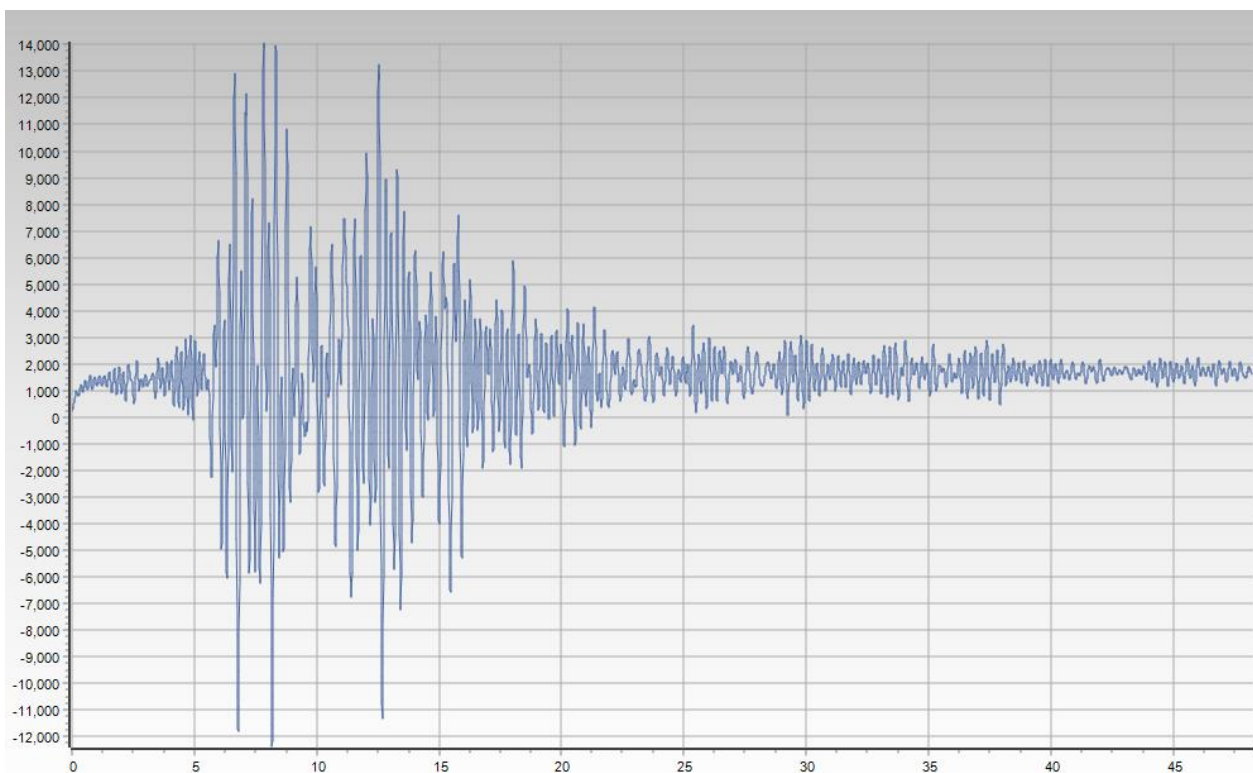
Slika 58: Brzina kontrolne točke

6.5.2.3 Poprečne sile i momenti u temeljima

Budući da se ne gleda elemente u detaljima, dobro je sagledati globalne pojave na zgradi. Poprečna sila prelazi 5000 kN u temeljima, pa po prijašnjoj pushover analizi očekujemo nekakva oštećenja kao što smo vidili prije. Momenti dostižu čak do 14 MNm u temeljima.



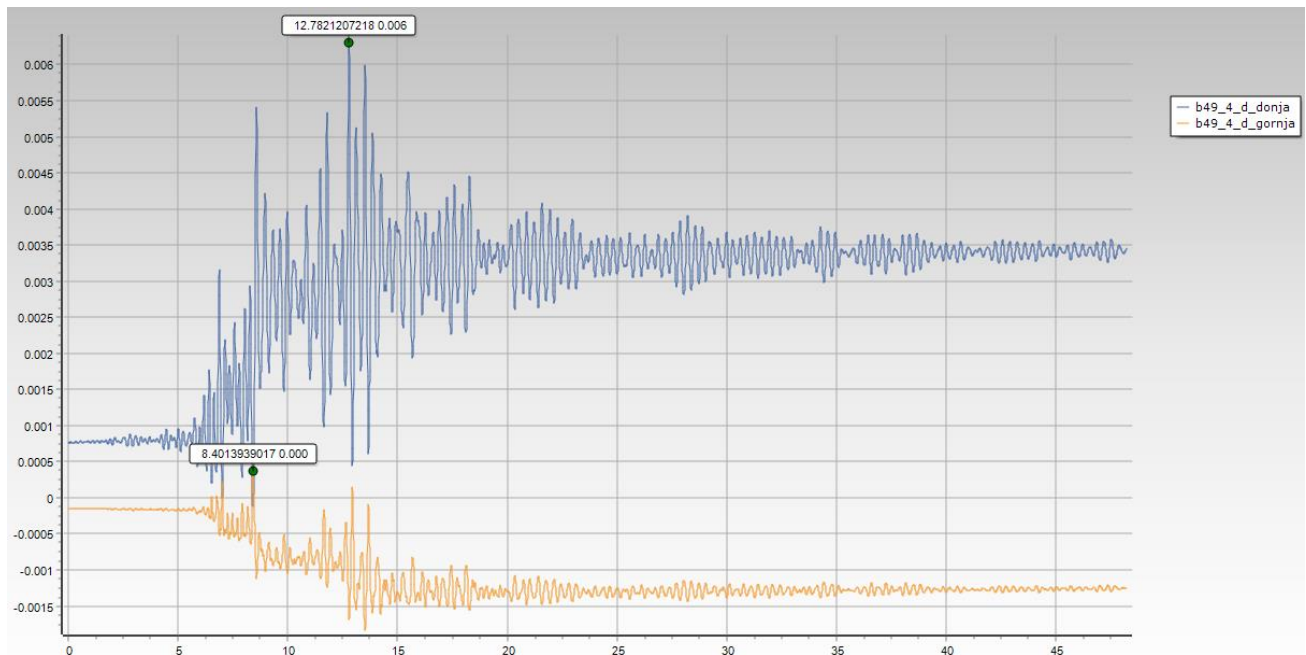
Slika 59: Ukupna poprečna sila u temeljima



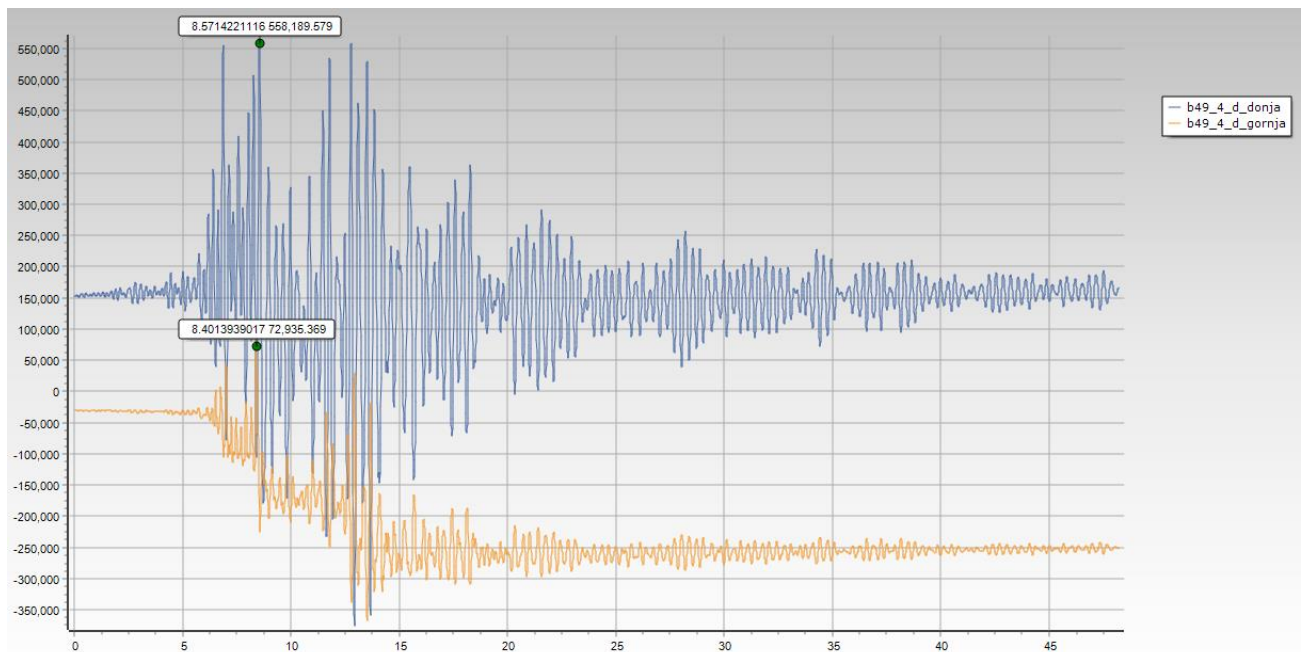
Slika 60: Ukupni moment u temeljima

6.5.2.4 Naprezanja i deformacije u oštećenom horizontalnom serklažu

Jedini element koji treba detaljno pogledat, je jedan horz. serklaž koji je doživio znatna oštećenja. Vodeći trend kod ovih grafova je da elementi započinju sa nekim počenim naprezanjem, i preko serije oscilacija i oštećenja dolaze do novog naprezanja oko kojeg se pronade nova ravnoteža unutarnjih sila u elementu.



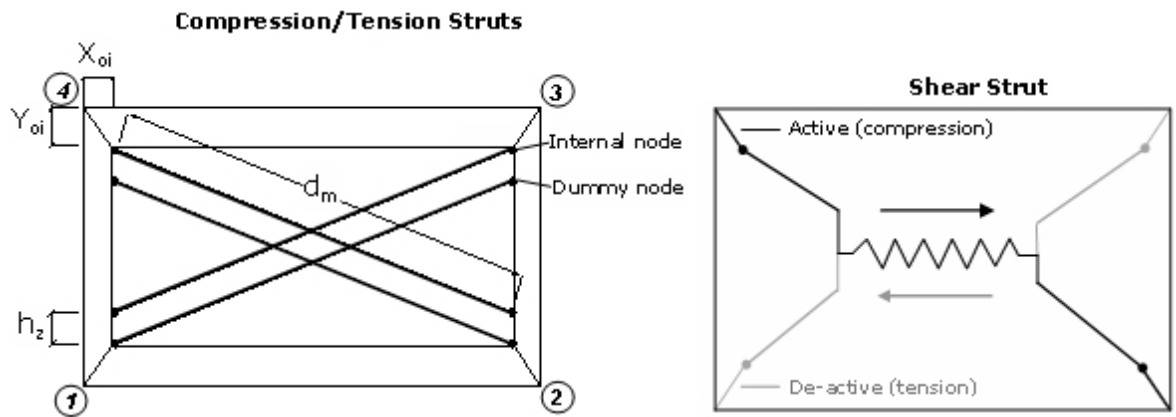
Slika 61: Deformacije armature u horizontalnom serklažu



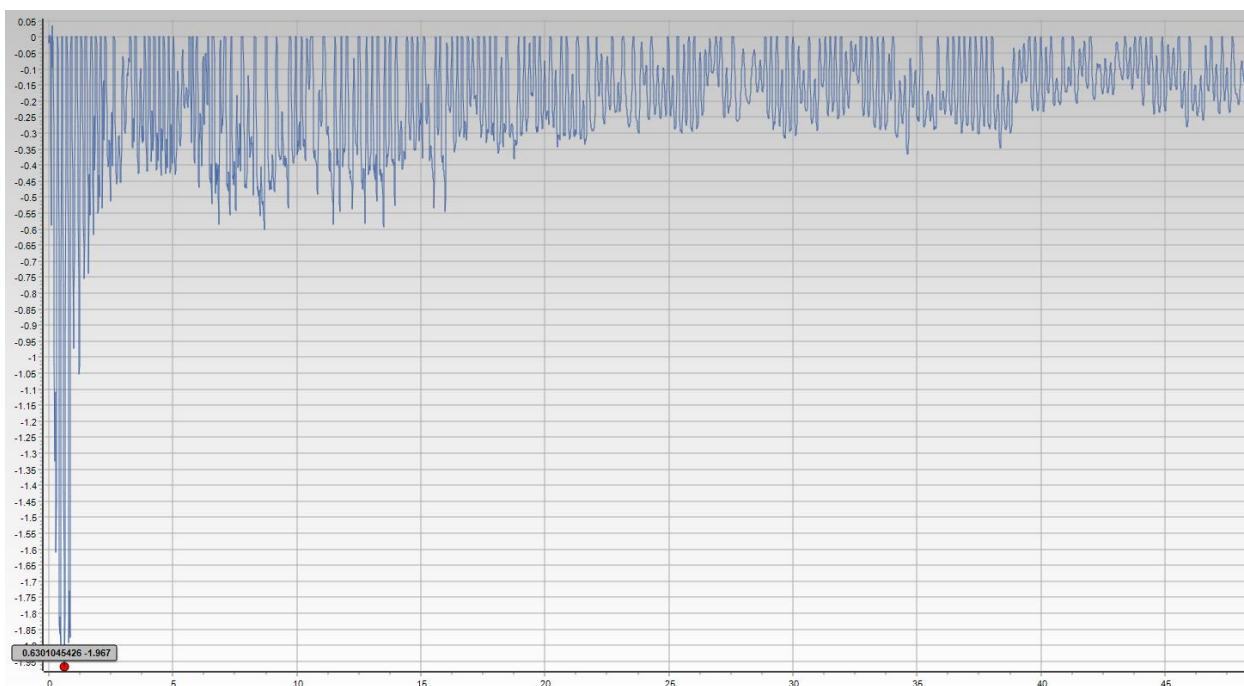
Slika 62: Naprezanja armature u horizontalnom serklažu

6.5.2.5 Unutarnje sile u zidanim zidovima

Način na koji SeismoStruct modelira zidove je sa serijom 1D elemenata. Koristi 4 štapa za preuzimanje tlačnih i vlačnih sila. A za posmik koristi štapni model sa oprugom za dobro simuliranje klizanja panela.

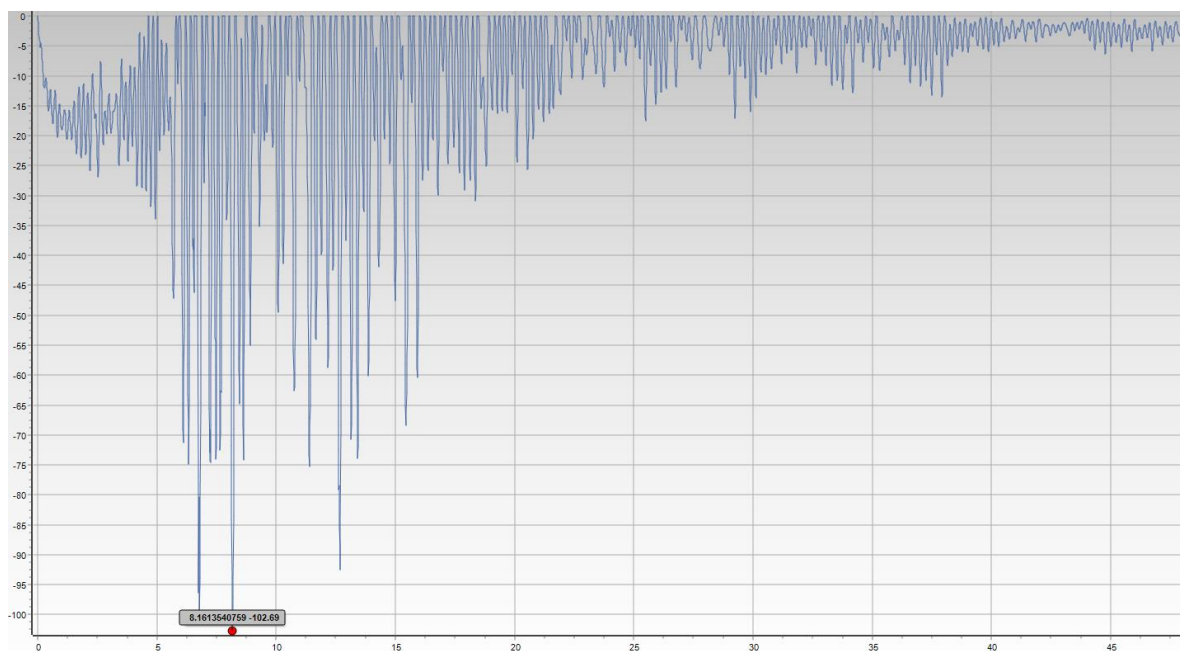


Izvučeni se rezultati u tim modelima iz jednog zida tako da možemo dobiti osjećaj koliko zidani zidovi zapravo sudjeluju u preuzimanju potresnog opterećenja.

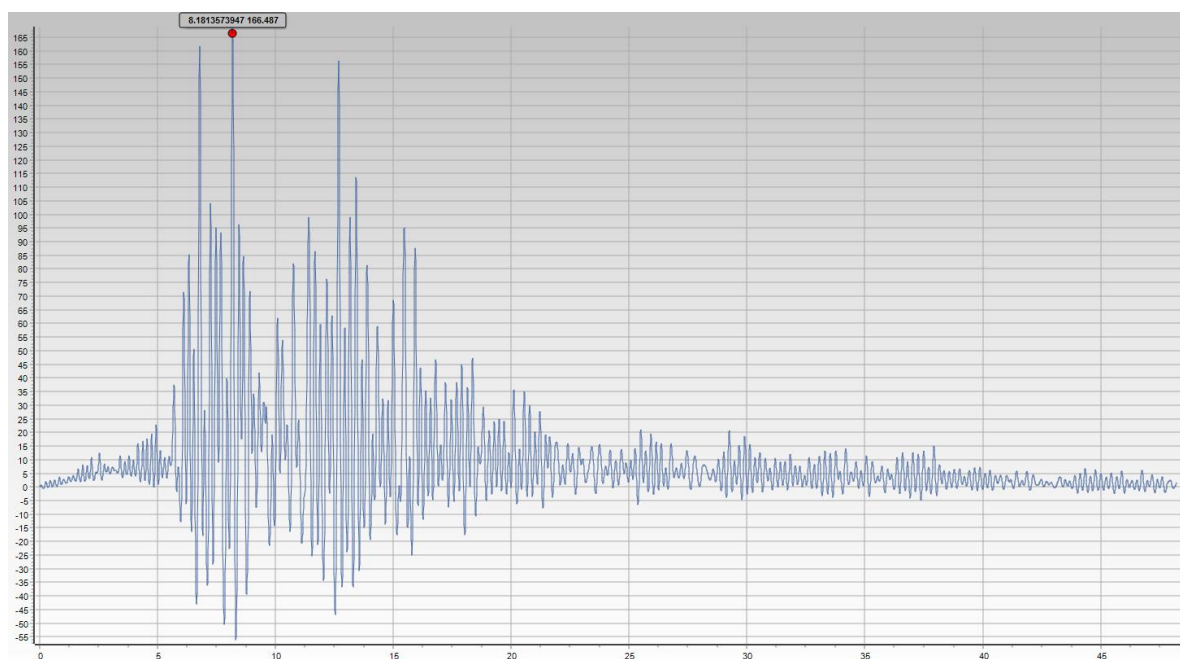


Slika 63: Sile u štapu 1

Jako niske sile u štapu 1 za razliku od štapa 4 koji preuzima znatno veće sile, kao što se vidi na slici ispod.



Slika 64: Sile u štapu 4



Slika 65: Posmične sile u štapu

Što se tiče ovoga panela najveće tlačne sile preuzimaju štapovi 2 i 4, sa neprimjetnim kontribucijama štapova 1 i 3. Vidi se također da posmična sila dostiže oko 165 kN za panel, ako se usporedi to sa vertikalnim serklažima to je otprilike jednaka sila koji i oni preuzimaju. U zaključku doprinos otpornosti panela je značajan u slučaju kad su omeđeni sa horz. i vert. serklažima.

6.6 Zaključak nelinearne statičke i dinamičke analize

Metode primjenjene u analizi su linearna statička analiza, linearna dinamička analiza, nelinearna statička analiza i nelinearna analiza u vremenu. Počelo je sa linearnom statičkom analizom i završili je sa nelinearnom vremenskom analizom.

Općenito za ovakve tipične zgrade linearne analize zadovoljavaju sve potrebe za osiguravanje sigurnosti konstrukcije.

Pushover analiza za zidane i betonske zgrade ispunjava sve potrebe za detaljniju analizu zgrade. Za tipične zgrade nema prekomjerne potrebe za pre sofisticirane nelinearne analize, kao što naprimjer treba za jako visoke zgrade.

Vremenska analiza, nudi jako puno uvida o ponašanju zgrade tokom određenog potresa, ali zbog nepredvidljivosti tog fenomena svaki pojedinačni potres imat će značajno drugačiji karakter. Stoga, bilo kakve zaključke koje donosimo u izradi vremenske analize trebamo uzeti sa velikom dozom skeptičnosti.

Nelinearne analize su odličan alat za naprimjer, rehabilitacije i sanacije već izrađenih zgrada koje su oštećene potresom i sličnim fenomenima. Potreba tih analiza za izradu zgrade zahtjeva mnogo vremena i resursna pa se općenito izbjegavaju pomoću pojednostavljenih metoda i linearnih analiza.

7 PRILOZI

Prilog 1: Tlocrt podruma M 1:100

Prilog 2: Tlocrt prizemlja M 1:100

Prilog 3: Tlocrt 1.-3.kata M 1:100

Prilog 4: Tlocrt temelja M 1:100

Prilog 5: Presjek 1-1 M 1:100

Prilog 6: Južno pročelje M 1:100

Prilog 7: Istočno pročelje M 1:100

Prilog 8: Sjeverno pročelje M 1:100

Prilog 9: Zapadno pročelje M 1:100

Prilog 10: Armatura karakterističnih greda M 1:50

Prilog 11: Armatura serklaža i stupa M 1:25

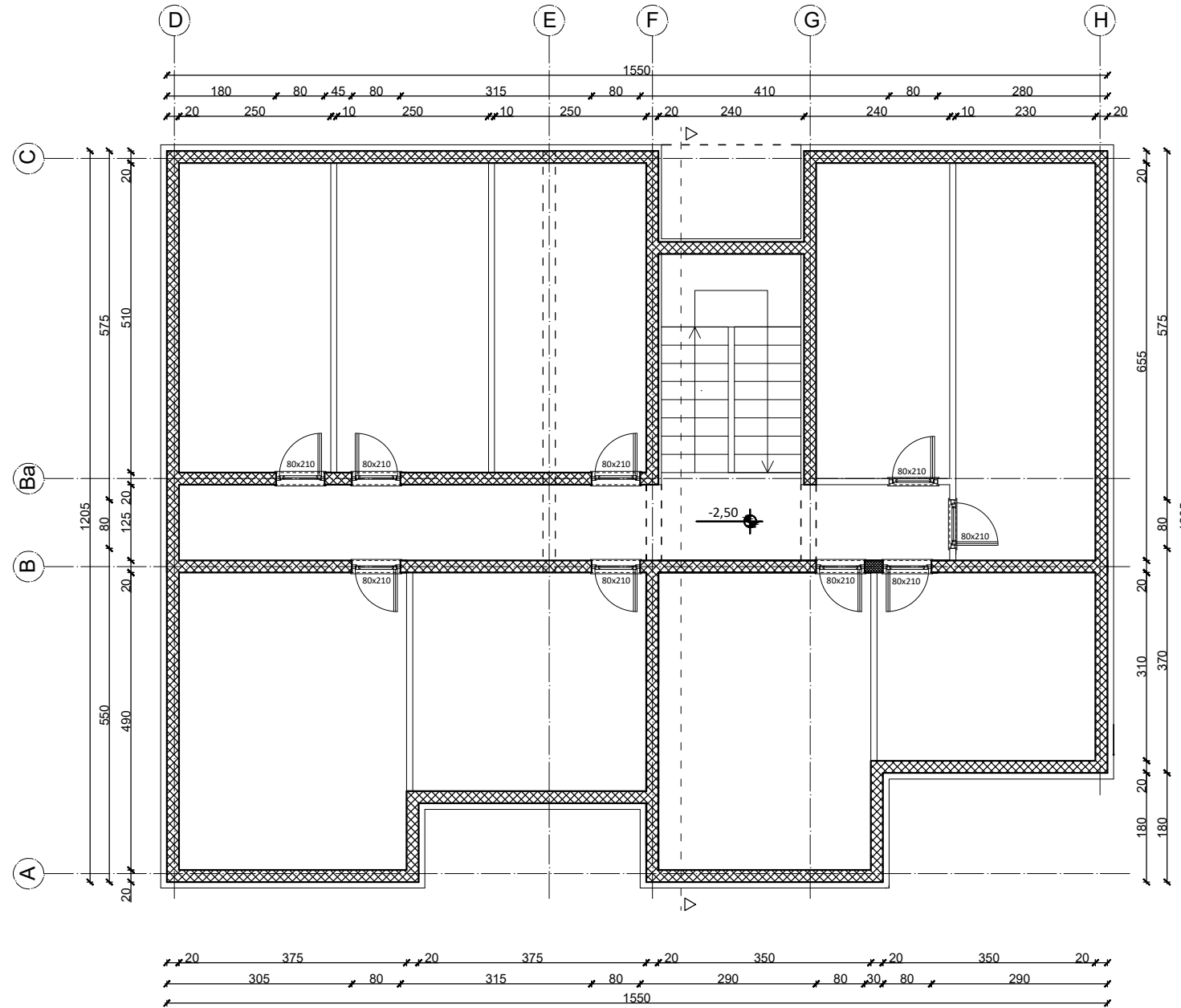
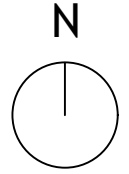
Prilog 12: Armatura betonskog zida M 1:10


Prilog 13: Armatura ploča M 1:100

Prilog 14: Armatura trakastog temelja M 1:10

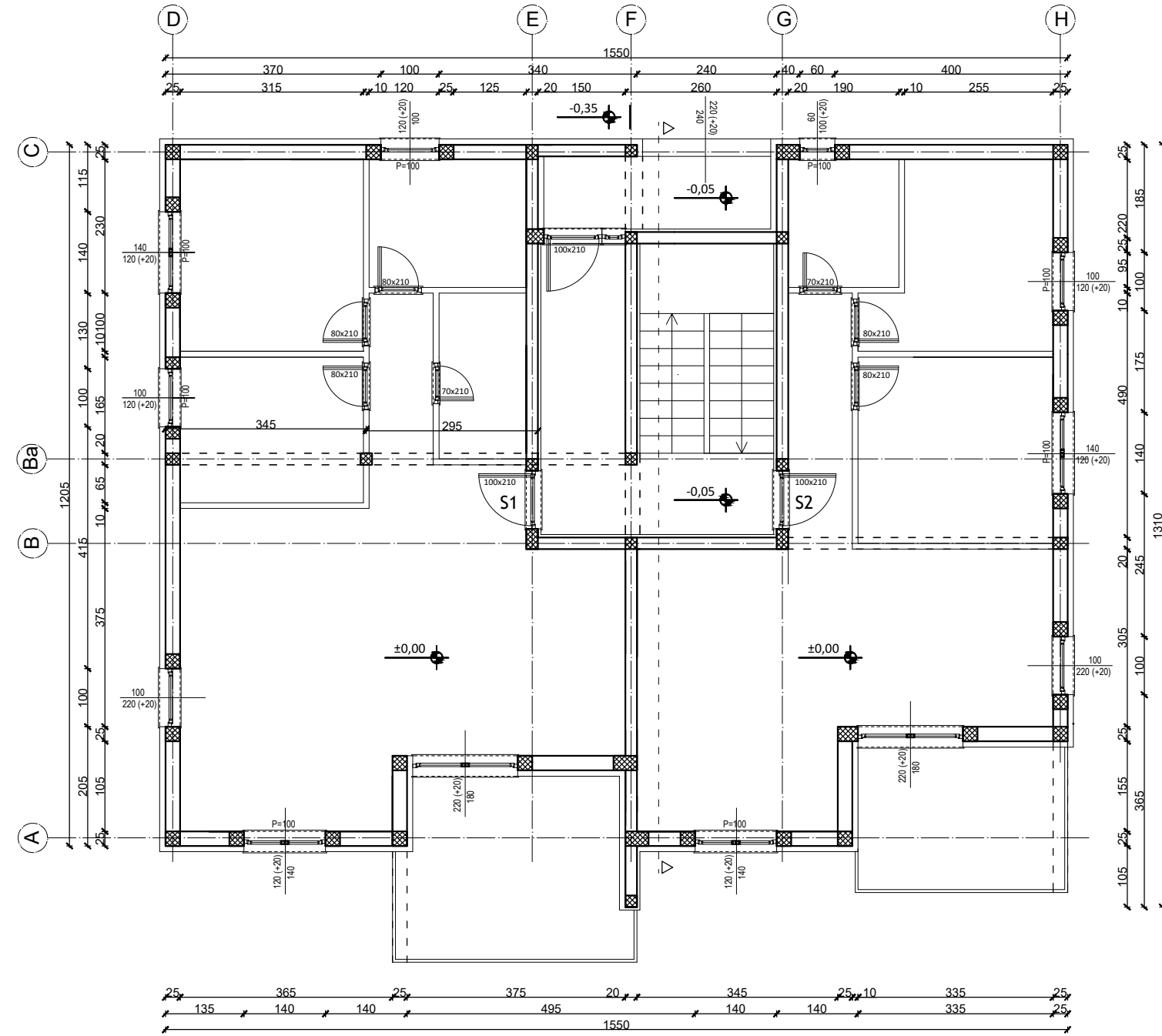
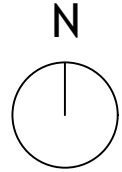
Prilog 15: Armatura stubišta M 1:25

TLOCRT PODRUMA MJ 1:100



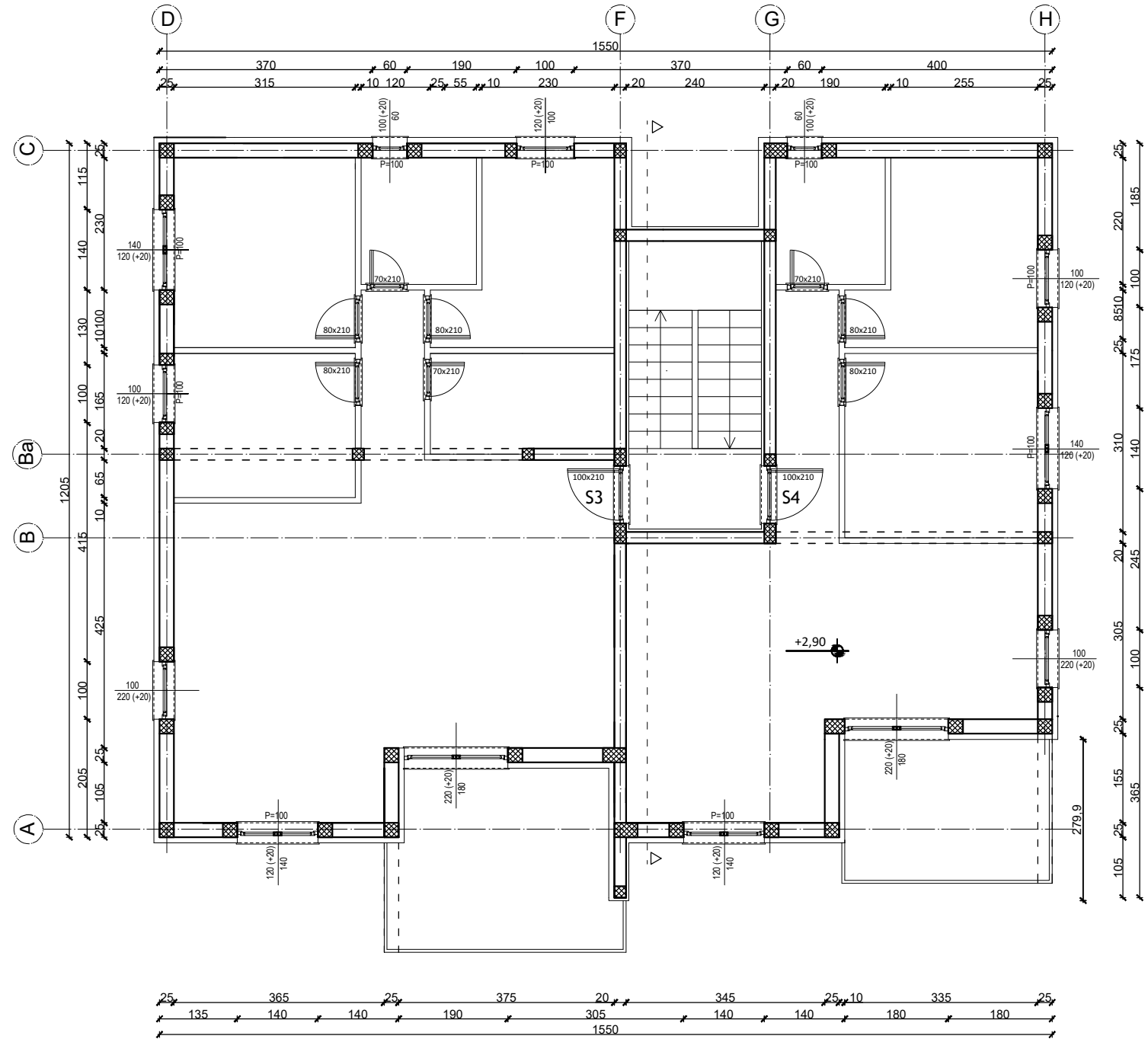
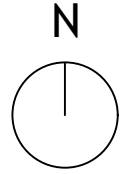
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Tlocrt podruma	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	1	


TLOCRT PRIZEMLJA MJ 1:100



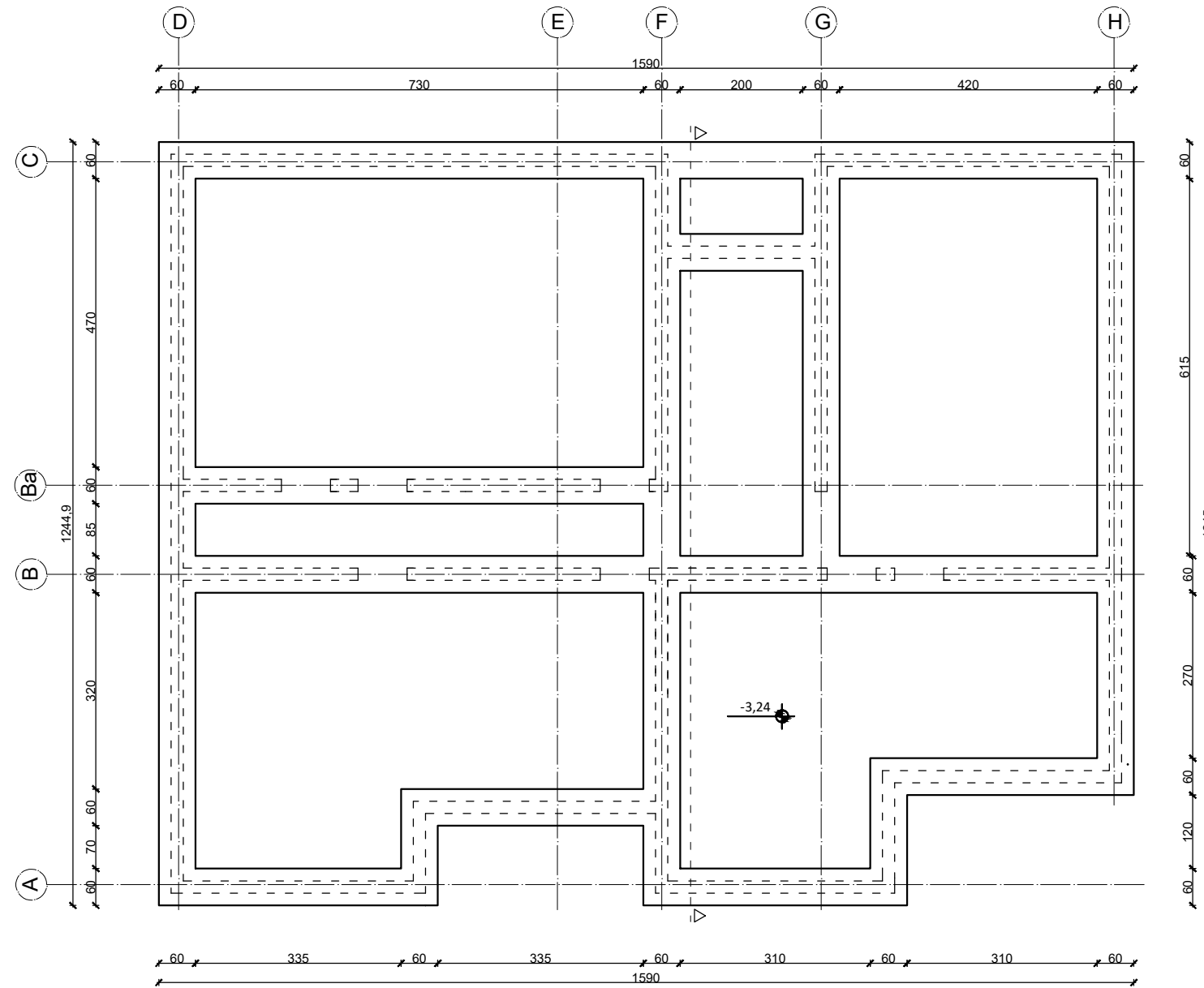
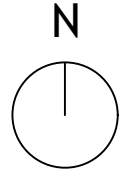
<p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem.		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Tlocrt prizemlja	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	2	


TLOCRT 1. ,2. ,3. KATA
MJ 1:100



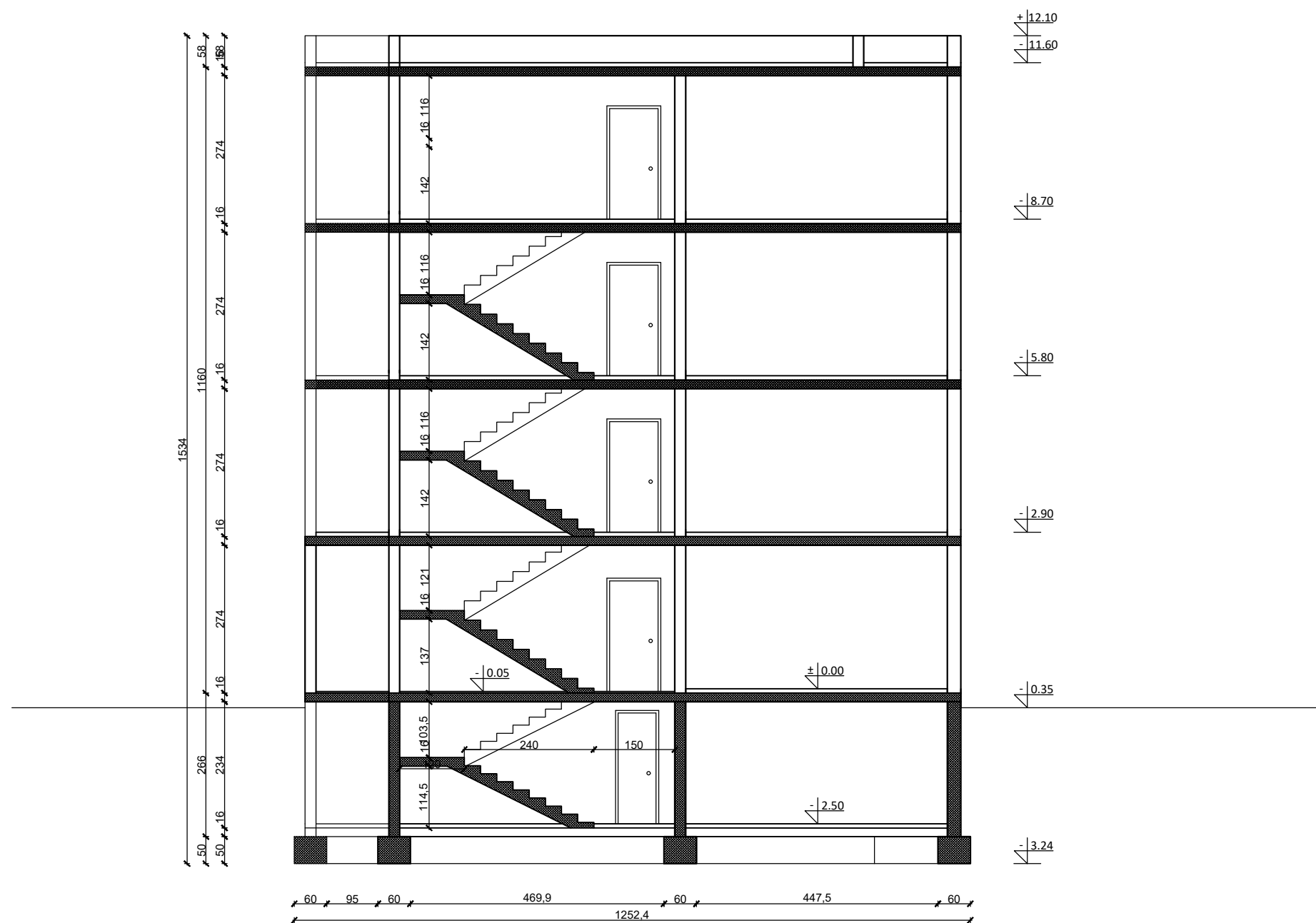
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRADNINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Tlocrt 1. ,2. ,3. kata	Mjerilo:	Broj priloga:
	Datum:	Rujan 2022.	1:100	3


TLOCRT TEMELJA MJ 1:100



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Tlocrt temelja	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	4	


PP PRESJEK 1-1
MJ 1:100



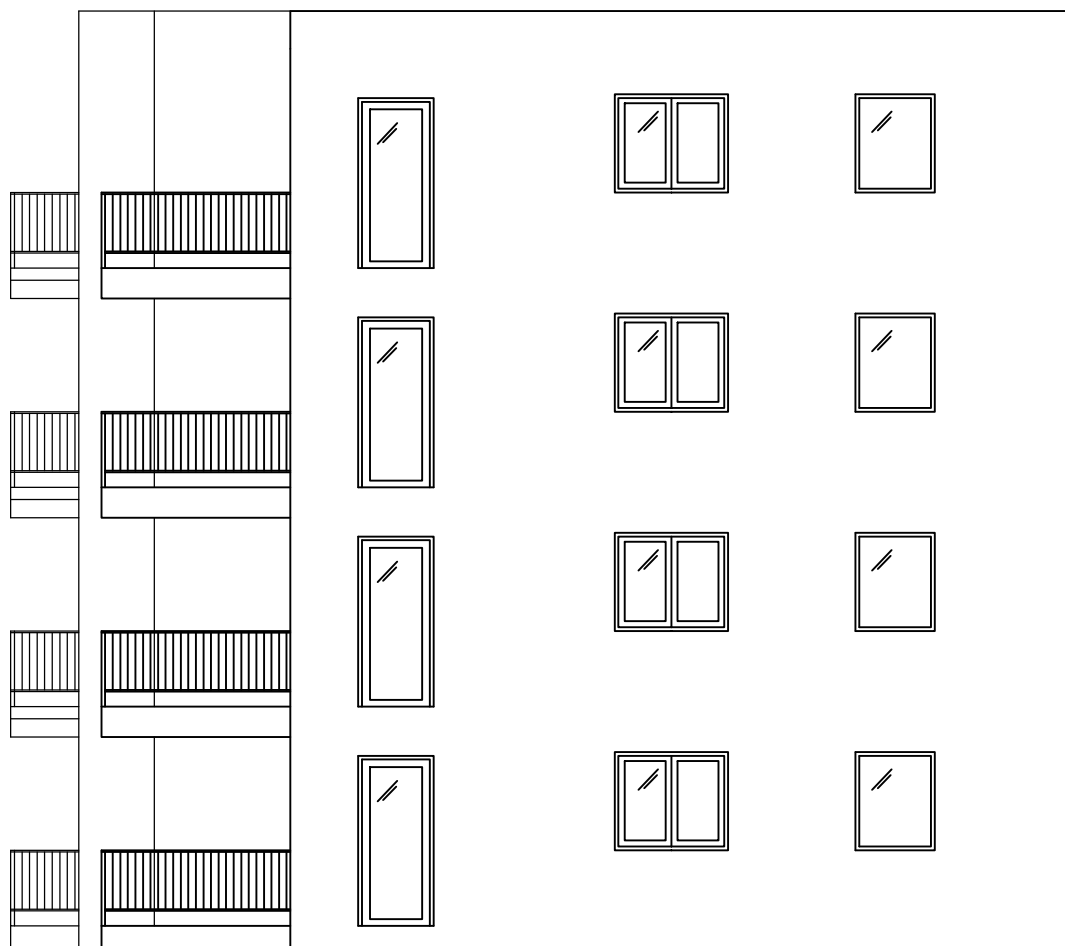
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Presjek 1-1	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	5	


JUŽNO PROČELJE
MJ 1:100

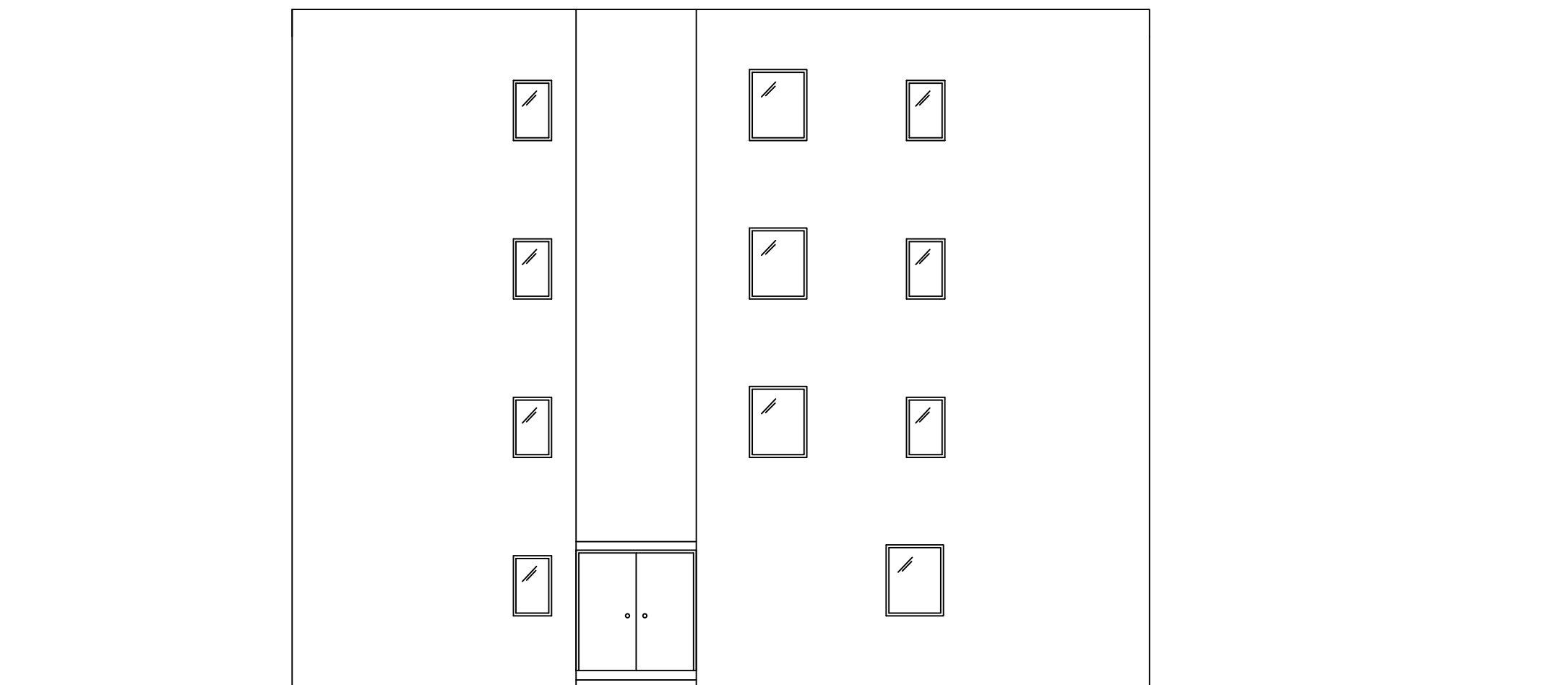



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Južno pročelje	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	6	

ISTOČNO PROČELJE
MJ 1:100

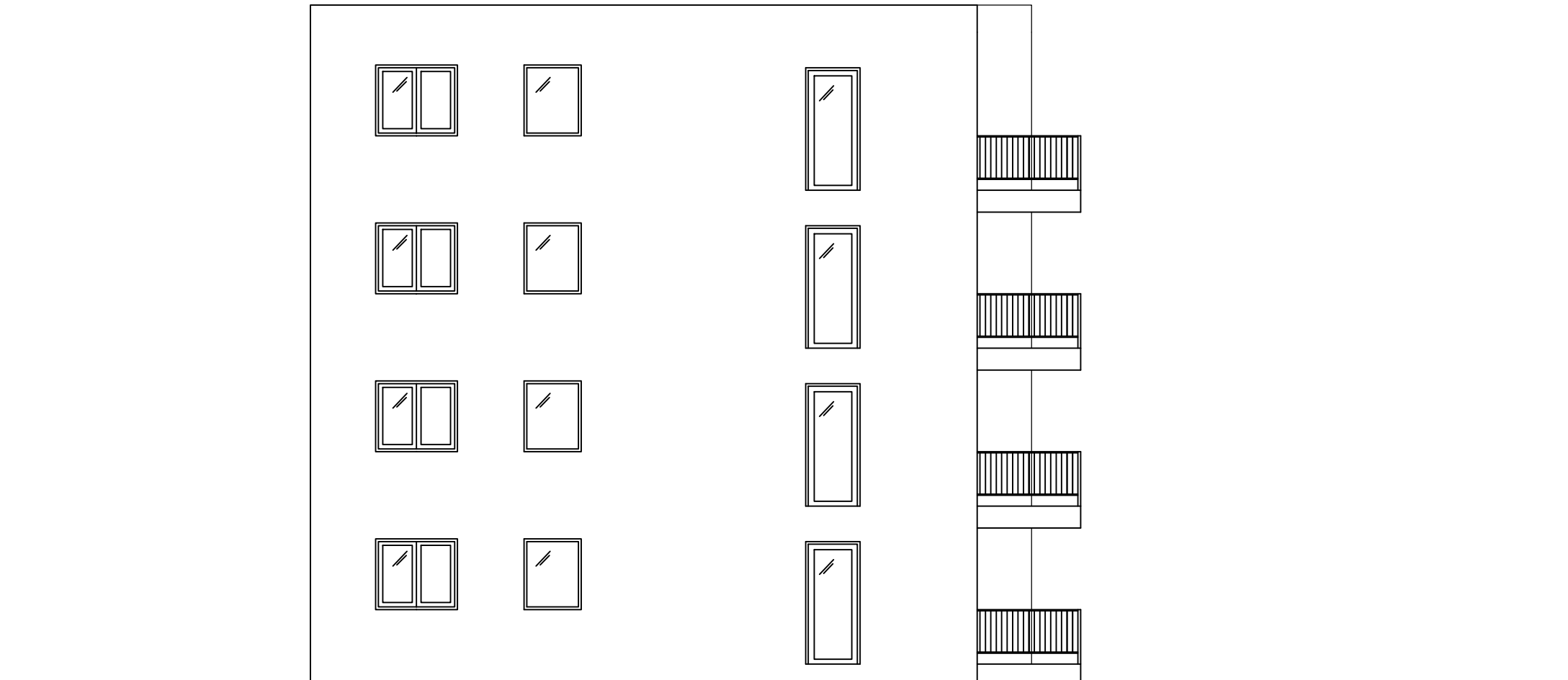



 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRADNINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Istočno pročelje	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	7	



 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRADIVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODIJE	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Sjeverno pročelje	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	8	

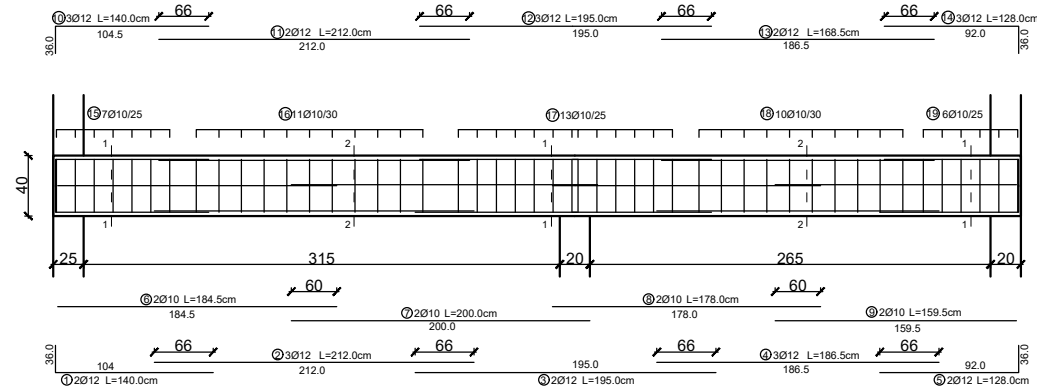
ZAPADNO PROČELJE
MJ 1:100



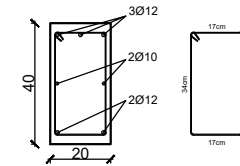
 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Zapadno pročelje	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:100	9	

ARMATURA KARAKTERISTIČNIH GREDA M 1:50, M 1:25

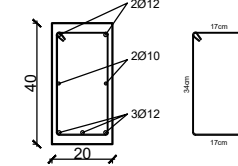
GREDA G1 M 1:50



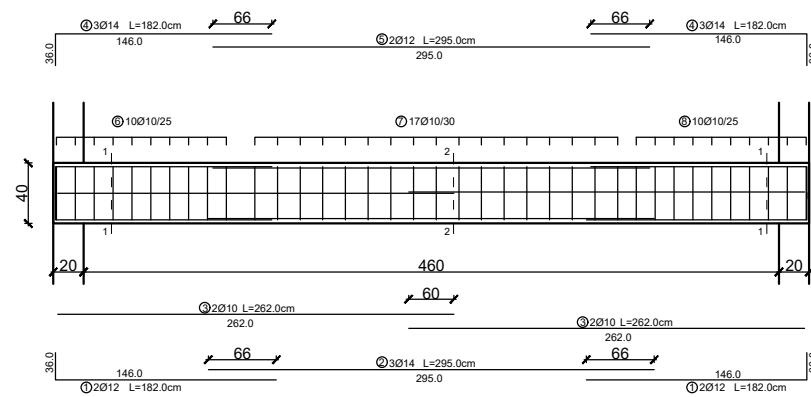
PRESJEK 1-1 M 1:25



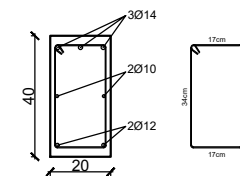
PRESJEK 2-2 M 1:25



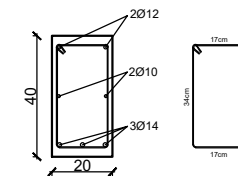
GREDA G2 M 1:50



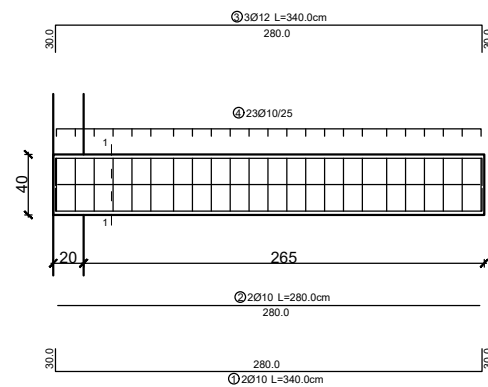
PRESJEK 1-1 M 1:25



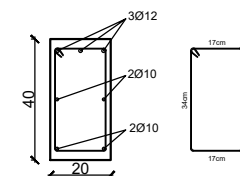
PRESJEK 2-2 M 1:25




GREDA G3 M 1:50

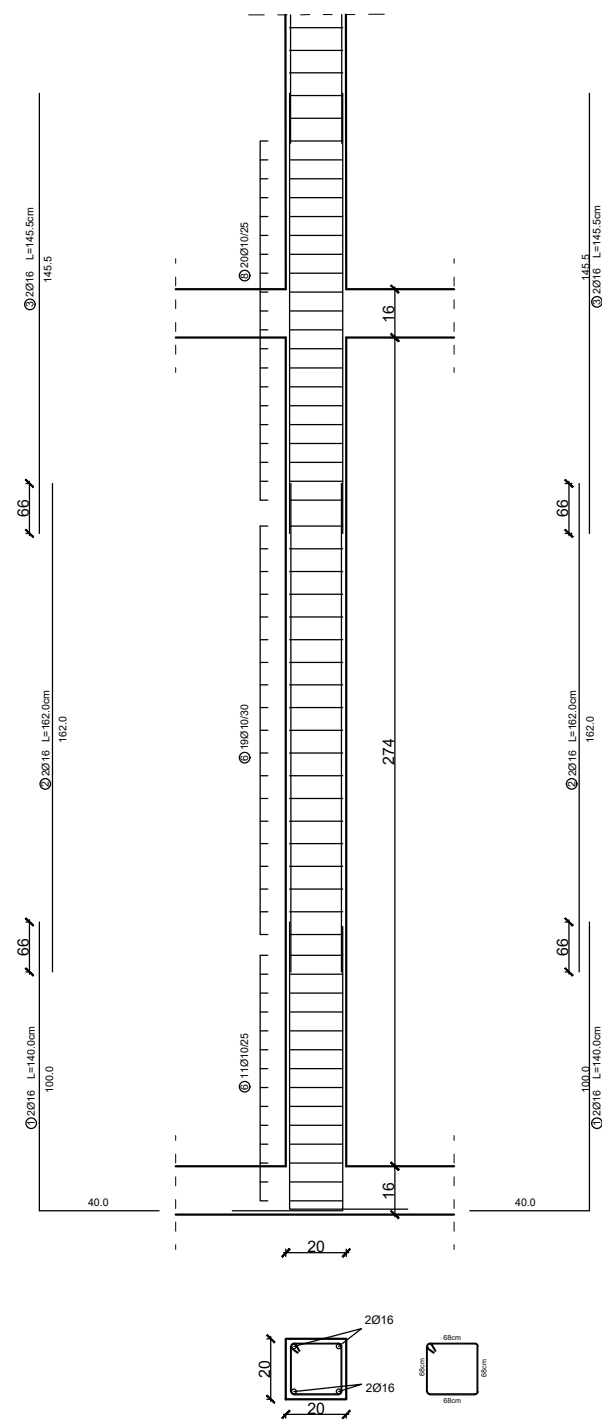


PRESJEK 1-1 M 1:25

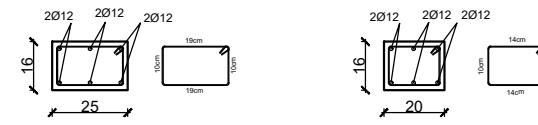


	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem.		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Karakteristične grede	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:50	10	

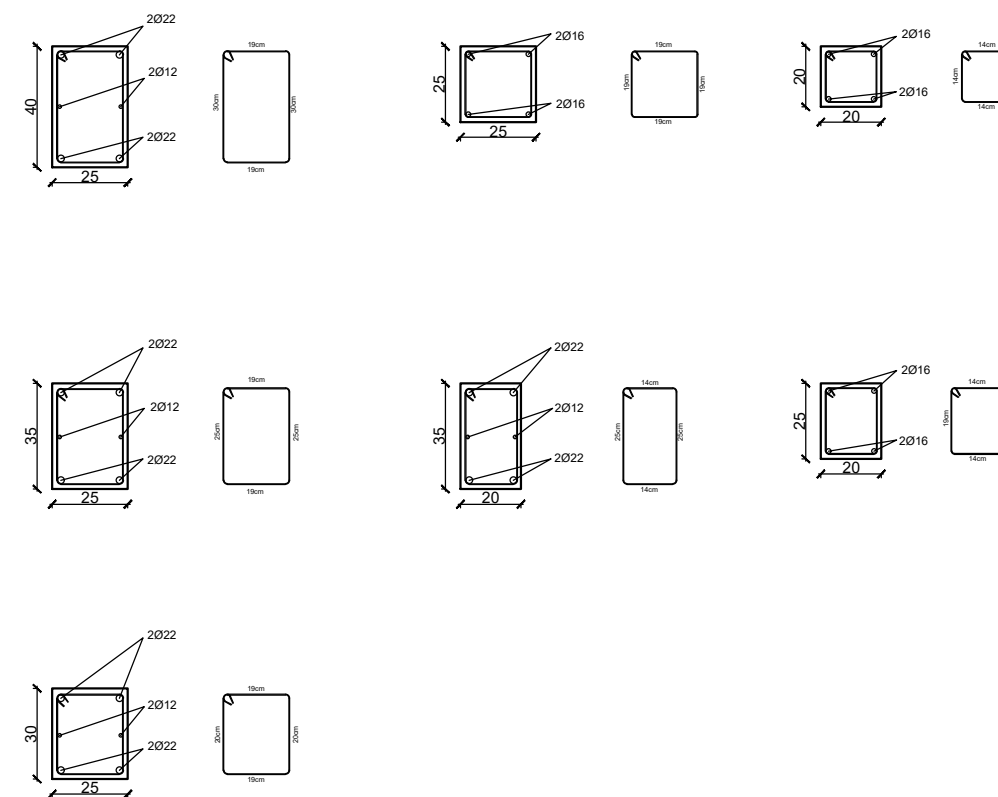
STUP




HORIZONTALNI SERKLAŽ

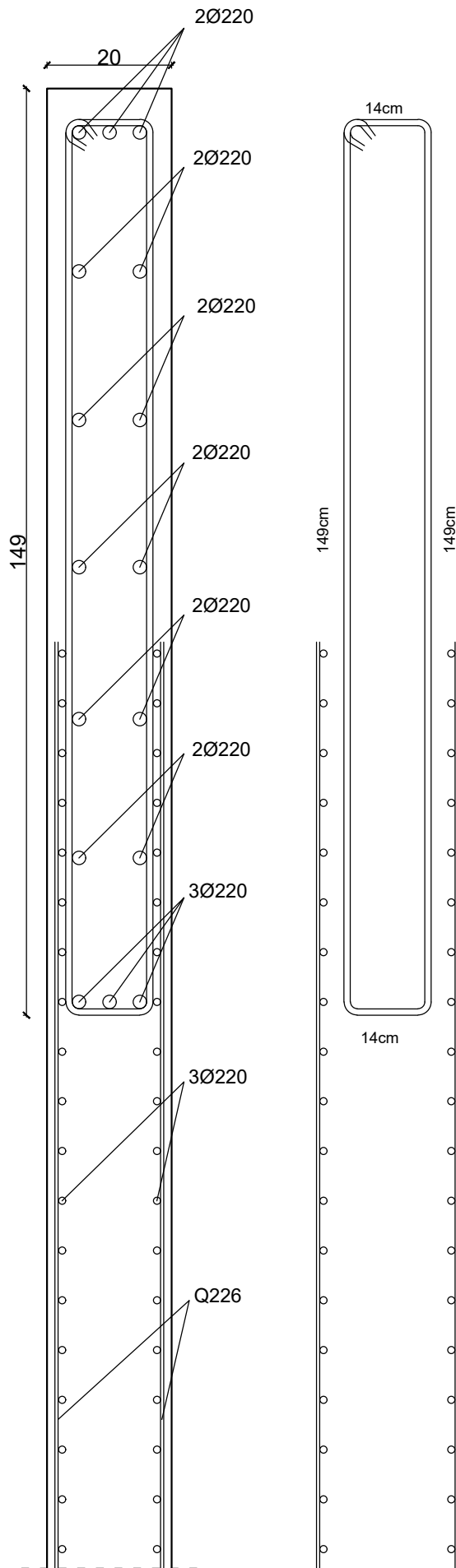


VERTIKALNI SERKLAŽI



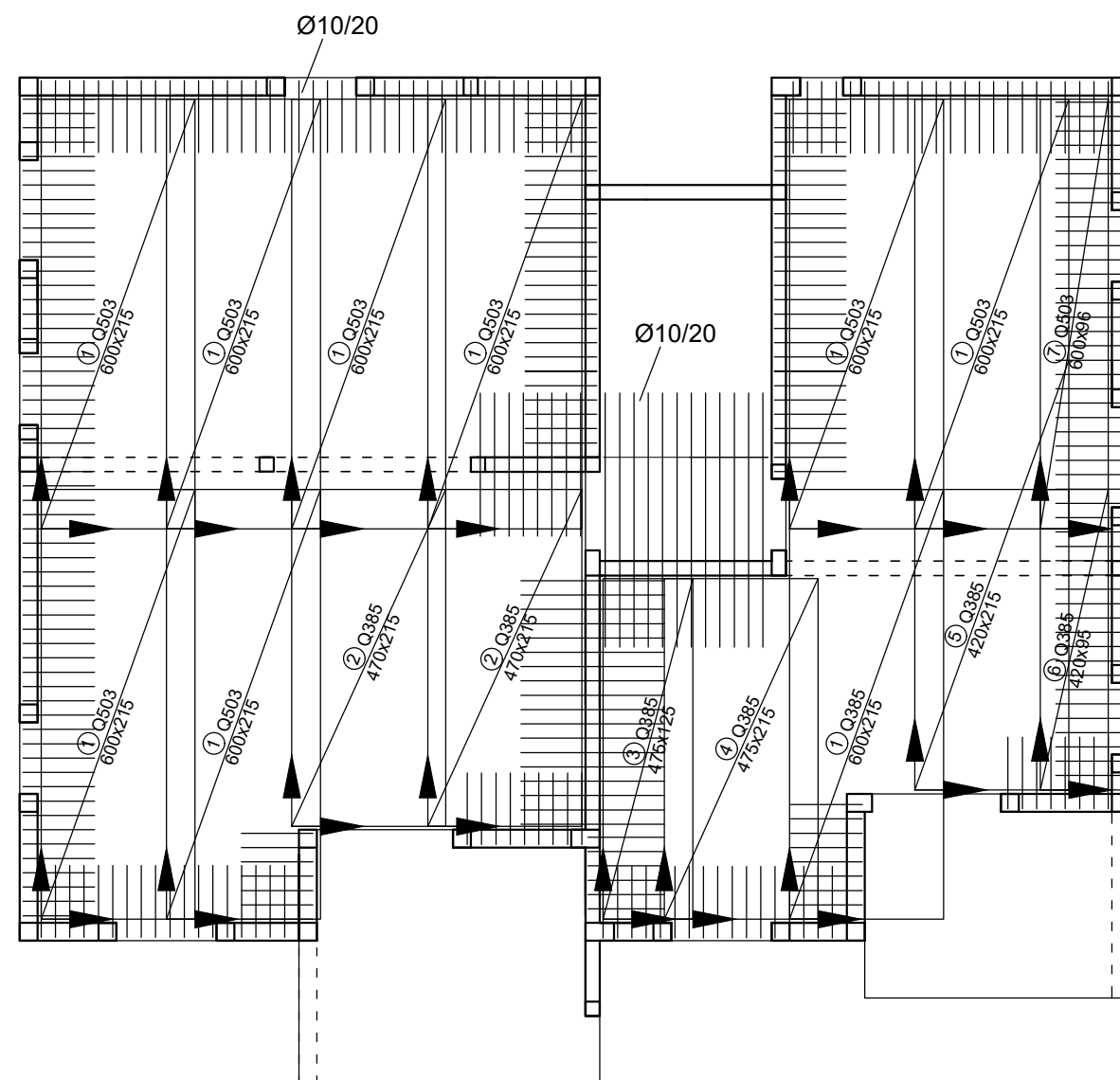
 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Serklaži i stup	Mjerilo:	Broj priloga:
	Datum:	Rujan 2022.	1:25	11

ARMIRANO BETONSKI ZID M 1:10

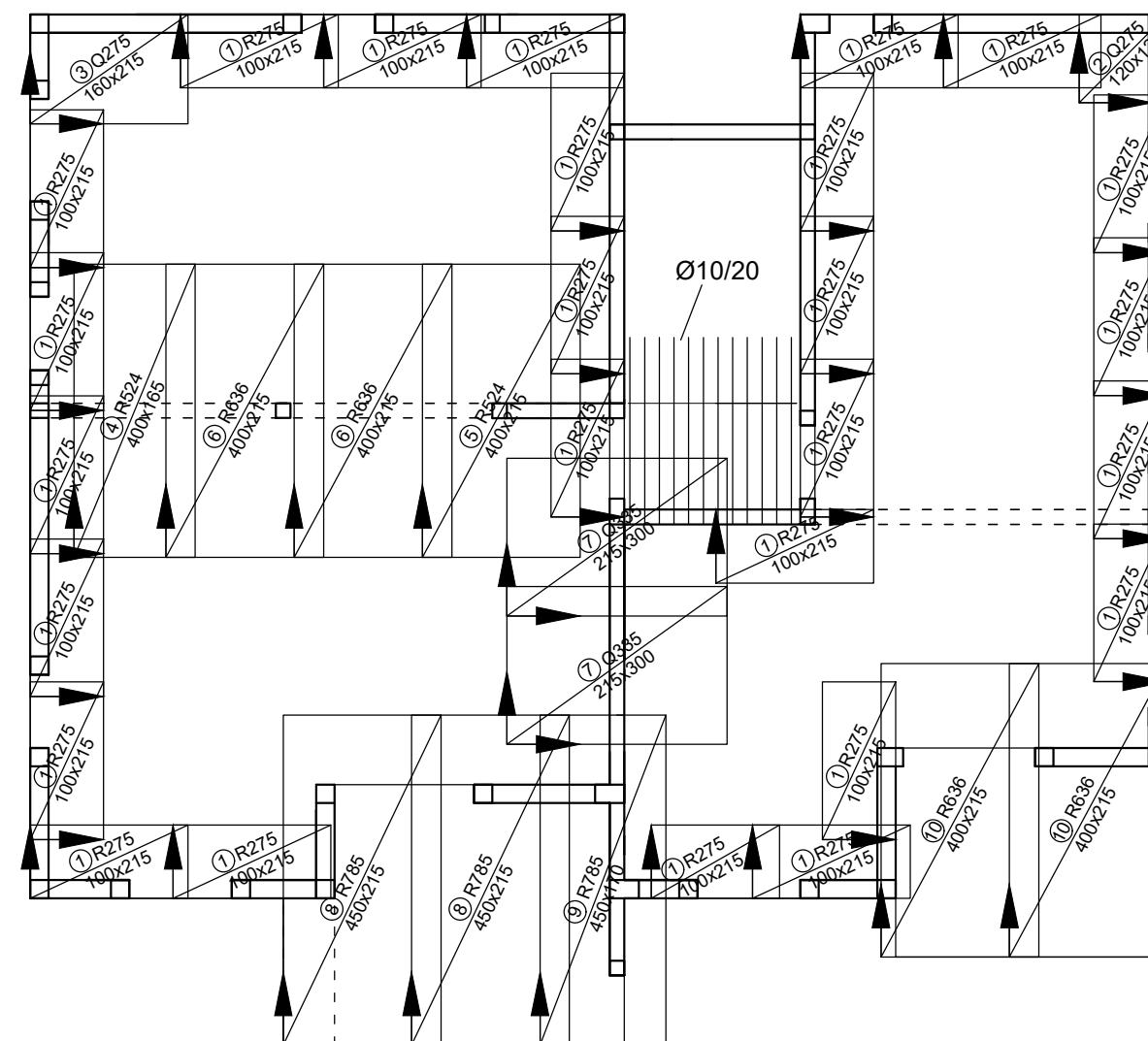



 SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	DIPLOMSKI RAD		
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:	
	Student:	Antonio Ivanac	
	Sadržaj:	Armirano betonski zid	Mjerilo:
Datum:	Rujan 2022.	1:10	12

DONJA ZONA

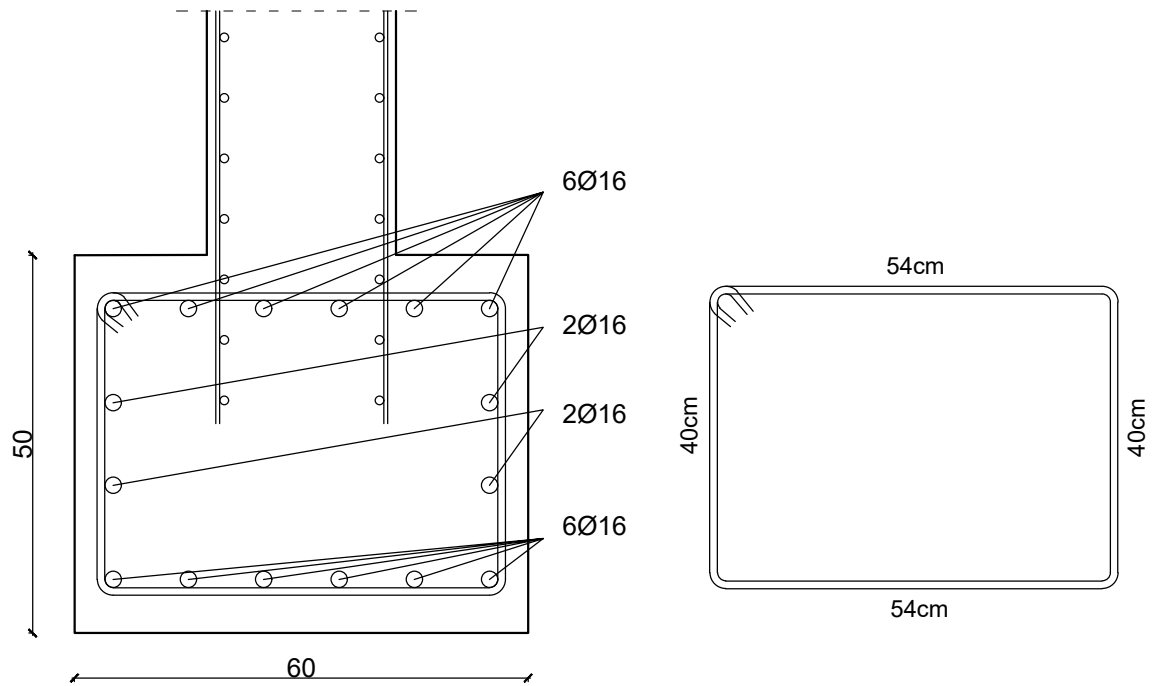


GORNJA ZONA



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE</p>	DIPLOMSKI RAD			
	Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
	Student:	Antonio Ivanac		
	Sadržaj:	Armatura ploča	Mjerilo:	Broj priloga:
	Datum:	Rujan 2022.	1:100	13

ARMATURA TRAKASTOG TEMELJA M 1:10

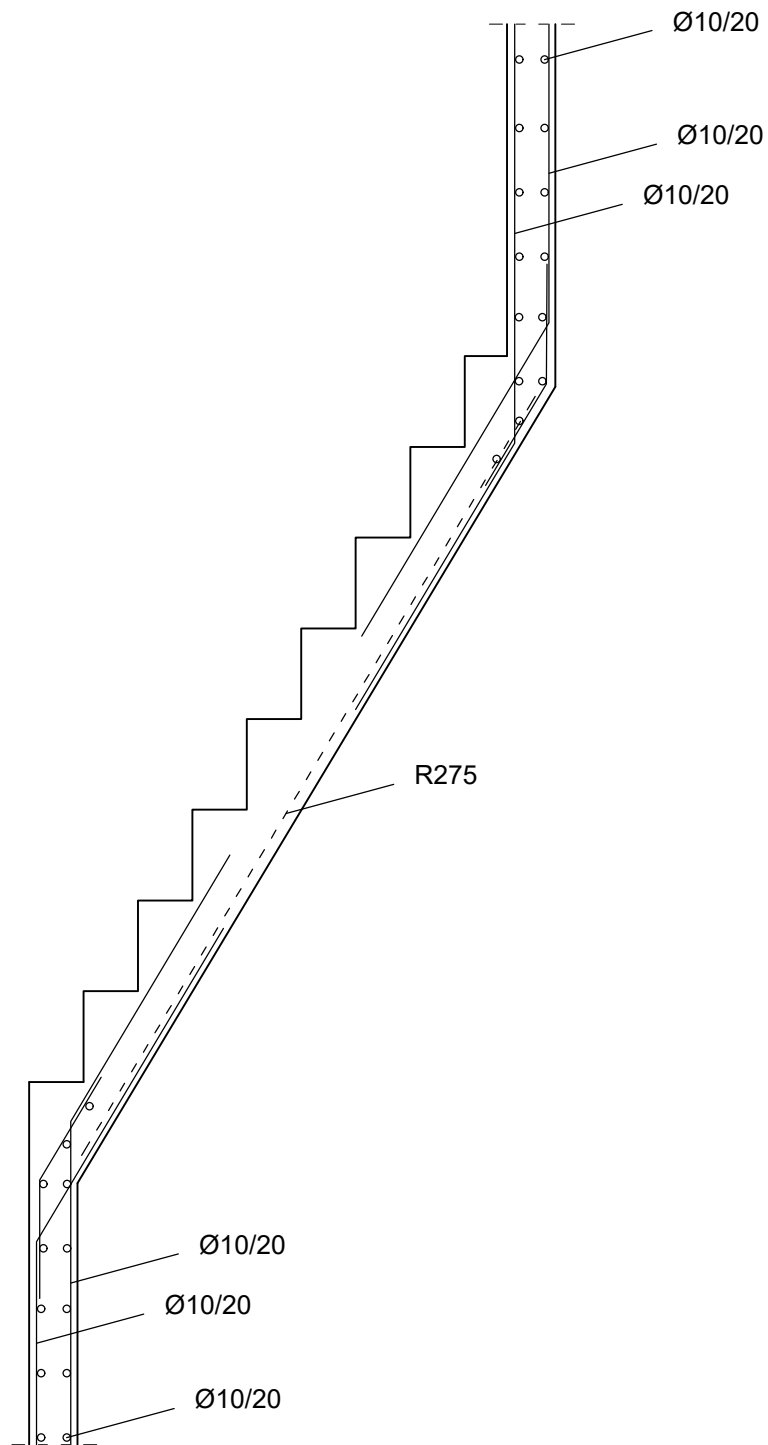


SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
Student:	Antonio Ivanac		
Sadržaj:	Trakasti temelji	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:10	14

ARMATURA KRAKA STUBIŠTA M 1:25



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Tema:	Proračun zidane zgrade sa AB prizemljem:		
Student:	Antonio Ivanac		
Sadržaj:	Antonio Ivanac	Mjerilo:	Broj priloga:
Datum:	Rujan 2022.	1:25	15

8 LITERATURA

1. *Seismic Design for Buildings: Mohiuddin Ali Khan Ph.D., P.E., C. Eng., M.I.C.E. (London), 2013*
2. *Osnove betonskih konstrukcija: Harapin, Alen; Radnić, Jure; Grgić, Nikola; Smilović Zulim, Marija; Sunara, Marina; Buzov, Ante*
3. *EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures*
4. *EN 1992-1-1: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance*
5. *EN 1996-1-1: Eurocode 6: Design of masonry structures*
6. *SeismoStruct user manual (2021)*
7. *Time history analysis of multistoried rcc buildings for different seismic intensities, A S Patil & P D Kumbhar1*