

Proračun visoke zgrade nepravilnog tlocrta sa posmičnim zidovima

Miljak, Nikola

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:421716>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-07**

Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,
University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Nikola Miljak

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE NEPRAVILNOG
TLOCRTA SA POSMIČNIM ZIDOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, veljača 2024.



Sveučilište u Zagrebu
GRAĐEVINSKI FAKULTET
Smjer: Konstrukcije

Nikola Miljak

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE NEPRAVILNOG
TLOCRTA SA POSMIČNIM ZIDOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: izv. prof. dr. sc. Anđelko Vlašić

Komentor: dr. sc. Dominik Skokandić

Zagreb, veljača 2024.



TEMA DIPLOMSKOG RADA

Ime i prezime studenta: **Nikola Miljak**

JMBAG: **0082060886**

Diplomski rad iz predmeta: **Visoke građevine**

Naslov teme
diplomskog rada:

HR	Proračun visoke zgrade nepravilnog tlocrta sa posmičnim zidovima
ENG	Structural design of variable layout tall building with shear walls

Opis teme diplomskog rada:

1. Projektni zadatak stambene zgrade
2. Tlocrtno rješenje zgrade - odabir i smještaj posmičnih zidova i ostalih elemenata tlocrta, odabir preliminarnih dimenzija
(Unutar tlocrta su označene stambene jedinice i prijedlog položaja zidova. Potrebno je tlocrt riješiti do kraja sa smještanjem vertikalnih elemenata nosivih i pregradnih zidova i otvora.)
3. Tehnički opis konstrukcije zgrade
4. Osnovni nacrti zgrade: fasade, karakteristični katni tlocrti i karakteristični uzdužni presjeci
5. Proračun konstrukcije
 - 5.1 Analiza opterećenja
 - 5.2 Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun
 - 5.3 Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna (rezne sile, naprezanja, progibi, dinamika)
6. Dimenzioniranje elemenata ploče i zidova (GSN i GSU)
7. Armaturni nacrt odabranih elemenata zidova i AB ploče
8. Zaključak i literatura

Datum: **17.4.2023.**

Komentor: **Dominik Skokandić**
(Ime i prezime komentora)

Mentor: **Anđelko Vlašić**
(Ime i prezime mentora)

(Potpis mentora)

Naslov rada: Proračun visoke zgrade nepravilnog tlocrta sa posmičnim zidovima

Sažetak: U diplomskom radu izveden je proračun visoke zgrade sustava posmičnih zidova nepravilnog tlocrta. Analiza djelovanja provedena je za djelovanja ovisno o lokaciji građevine i namjeni. Model konstrukcije izrađen je u software-u SCIA Engineer 22.1 gdje su provedene statička i dinamička analiza. Odabrani armirano-betonski konstrukcijski elementi dimenzionirani su za granična stanja nosivosti i uporabljivosti na temelju dobivenih rezultata iz mjerodavnih kombinacija djelovanja. Proračun i dimenzioniranje provedeni su sukladno važećim normama i propisima.

Ključne riječi: visoka zgrada, nepravilan tlocrt, posmični zidovi, armirani beton, seizmički proračun

Title: Calculation of a tall building with an irregular floor plan with shear walls

Summary: In the master's thesis, the calculation of a high-rise building with a system of shear walls with an irregular floor plan was performed. Analysis was performed for actions based on the building's location and purpose. Structural model was created in SCIA Engineer 22.1 software, where static and dynamic analysis were performed. The selected reinforced concrete structural elements were designed for ultimate and serviceability limit states based on the results obtained from the relevant combinations of actions. The calculation and design were done according to the current standards and codes.

Key words: high-rise building, irregular floor plan, shear walls, reinforced concrete, seismic analysis

SADRŽAJ

1. PROJEKTNI ZADATAK STAMBENE ZGRADE SUSTAVA POSMIČNIH ZIDOVA	1
1.1. Projektni zahtjevi.....	1
1.2. Značajke konstruktivnog sustava	1
2. TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE ZGRADE.....	2
2.1. Općenito.....	2
2.2. Statički proračun.....	3
3. OSNOVNI NACRTI ZGRADE: POGLEDI NA ZGRADU I KARAKTERISTIČNI TLOCRT	4
4. PRORAČUN KONSTRUKCIJE.....	9
4.1. Analiza opterećenja	9
4.1.1. Vlastita težina i dodatno stalno opterećenje	9
4.1.2. Uporabno opterećenje	11
4.1.3. Opterećenje snijegom	14
4.1.4. Opterećenje vjetrom.....	16
4.1.5. Horizontalno opterećenje uslijed imperfekcija na zidove.....	45
4.1.6. Seizmičko opterećenje	47
4.1.6.1. <i>Spektar odziva</i>	47
4.1.6.2. <i>Faktor ponašanja</i>	49
4.1.7. Slučajni torzijski učinci	53
4.1.8. Kombinacije djelovanja	53
4.1.8.1. <i>Kombinacije graničnog stanja nosivosti (GSN)</i>	54
4.1.8.2. <i>Kombinacije graničnog stanja uporabljivosti (GSU)</i>	55
4.2. Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun.....	56
4.2.1. Prostorna stabilnost i krutost konstrukcije.....	56
4.2.1.1. <i>Stabilnost na bočni pomak</i>	56
4.2.2. Računalni model konstrukcije.....	57
4.2.3. Statički i dinamički proračun konstrukcije	58
4.2.4. Statički proračun ploče	61
4.3. Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna (rezne sile, naprezanja, progibi, dinamika)	61
4.3.1. Dinamički odgovor konstrukcije	61
4.3.1.1. <i>Provjera perioda titranja</i>	61
4.3.2. Potresna sila u podnožju zgrade (Base shear Coefficient - BCS).....	66

4.3.3. Provjera ukupnog i međukatnog pomaka	69
4.3.4. Zahtjev ograničenja oštećenja od potresa	74
4.3.5. Učinci drugog reda $P - \Delta$	75
4.3.6. Ispis unutarnjih sila AB ploča.....	78
4.3.6.1. <i>Dijagrami momenata savijanja ploča</i>	78
4.3.7. Ispis unutarnjih sila zidova AB jezgre	80
4.3.7.1. <i>Dijagrami unutarnjih sila zidova AB jezgre</i>	80
4.3.8. Ispis unutarnjih sila greda	92
4.3.8.1. <i>Dijagrami unutarnjih sila greda</i>	92
4.3.9. Ispis unutarnjih sila stupova	98
4.3.9.1. <i>Dijagrami unutarnjih sila u stupovima</i>	98
5. DIMENZIONIRANJE PLOČE I ZIDA JEZGRE (GSN I GSU).....	104
5.1. Proračun zaštitnog sloja betona	104
5.1.1. Zaštitni sloj AB ploča	105
5.1.2. Zaštitni sloj AB zida jezgre koji se dimenzionira	105
5.2. Dimenzioniranje AB ploča	106
5.2.1. Ploča.....	107
5.2.1.1. <i>Armatura u polju</i>	107
5.2.1.2. <i>Armatura nad osloncem</i>	110
5.2.1.3. <i>Proboj ploče</i>	115
5.2.1.4. <i>Provjera širine pukotina u betonu Ploče</i>	115
5.2.1.5. <i>Provjera progiba Ploče</i>	124
5.3. Dimenzioniranje zidova AB jezgre	132
5.3.1. Zid 3	133
5.3.1.1. <i>Proračun duljine izvijanja i vitkosti zida</i>	133
5.3.1.2. <i>Armatura hrpta zida</i>	135
5.3.1.3. <i>Armatura kritičnog područja zida</i>	137
5.3.2. Provjera naprezanja betona zidova jezgre.....	141
6. ZAKLJUČAK.....	143
7. LITERATURA	144
7.1. Popis slika.....	146
7.2. Popis tablica.....	150
7.3. Popis priloga	151

1. PROJEKTNI ZADATAK STAMBENE ZGRADE SUSTAVA POSMIČNIH ZIDOVA

1.1. Projektni zahtjevi

Projektnim zadatkom predviđena je visoka građevina stambene namjene smještena na području grada Zagreba. Prema ulaznim podacima iz podloga prema kojima su definirani približna geometrija, materijali i dimenzije glavnih elemenata, nastoji se dokazati nosivost i uporabljivost konstrukcije sukladno važećim normama.

1.2. Značajke konstruktivnog sustava

Glavni konstruktivni sustav sastoji se od posmičnih zidova, u koje ulaze i zidovi jezgre. Zgrada je stambene namjene i zato je ovakav sustav s velikim brojem zidova podoban za korištenje. Stupovi prenose samo vertikalno opterećenje međukatnih konstrukcija i u maloj mjeri doprinose bočnoj krutosti konstrukcije. Postavljeni su s ciljem smanjenja raspona međukatnih konstrukcija. Posmični zidovi glavni su elementi za preuzimanje horizontalnih djelovanja, ali preuzimaju i većinu vertikalnog djelovanja. Veliki broj zidova daje konstrukciji potrebnu krutost i željeno ponašanje uslijed potresnog djelovanja. Tlocrtni raspored elemenata je nesimetričan, međutim količina zidova u x i y smjeru je približno jednaka.

2. TEHNIČKI OPIS KONSTRUKCIJE ZGRADE

2.1. Općenito

Tlocrt zgrade je nepravilnog pravokutnog oblika s oštrim rubovima. Dimenzije stranica su 48,4 m, 11,5 m, 3,0 m, 8,9 m, 30,0 m, 15,0 m, 21,4 m i 35,4 . Ukupna korisna površina etaže iznosi 1 335 m². U jezgri su smješteno dizalo za brzi vertikalni transport i stubište. Građevina ima 35 etaža (prizemlje + 34 kata) s visinom etaže od 3,1 m. Ukupna visina visoke zgrade iznosi 108,5 m.

Građevina se tako sastoji od centralne AB jezgre, AB međukatnih konstrukcija, AB stupova, AB preostalih posmičnih zidova i AB greda. Svi nosivi elementi su izvedeni betonom razreda čvrstoće C30/37 i armirani čelikom B500B.

U međukatnoj konstrukciji debljine 20,0 cm formirani su otvori na mjestima vertikalnog transporta. Sve ploče su jednake debljine i geometrije.

AB jezgra je tlocrtnih dimenzija 10,4 × 6,4 m i ona djelomično preuzima horizontalna i vertikalna djelovanja i provodi ih do temelja. Debljina svih zidova na etaži je jednaka, ali se mijenja po visini. Prvih 12 etaža su zidovi debljine 80 cm, idućih 12 etaža 60 cm, a od 24. etaže do vrha su 40 cm.

Stupovima pravokutnog poprečnog presjeka smanjuje se raspon ploče u određenim poljima, mijenjaju veličinu svog poprečnog presjeka. Prvih 12 etaža su stupovi 70,0 x 70,0 cm, idućih 12 etaža 50,0 x 50,0 cm, a od 24. etaže do vrha su 40,0 x 40,0 cm. Njihova funkcija je da preuzimaju isključivo vertikalna opterećenja međukatnih konstrukcija i provodeći ih do temelja.

Svi posmični zidovi povezani su međusobno međukatnom konstrukcijom i time se postiže željena krutost.

Instalacije se provode horizontalno po katovima unutar spuštenih stropova.

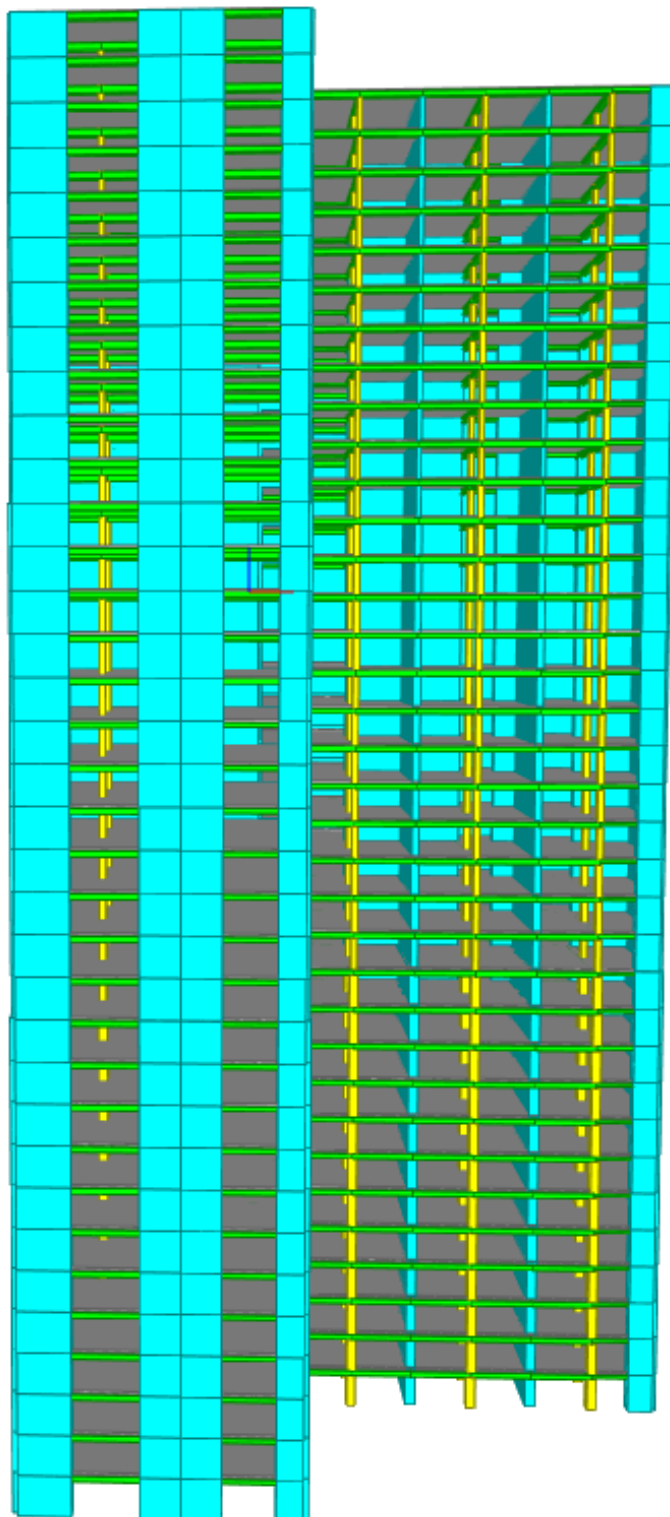
2.2. Statički proračun

Statički proračun je proveden u računalnom programu SCIA Engineer 22.1. Dimenzioniranje konstrukcije je provedeno prema važećim Eurokod normama za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti.

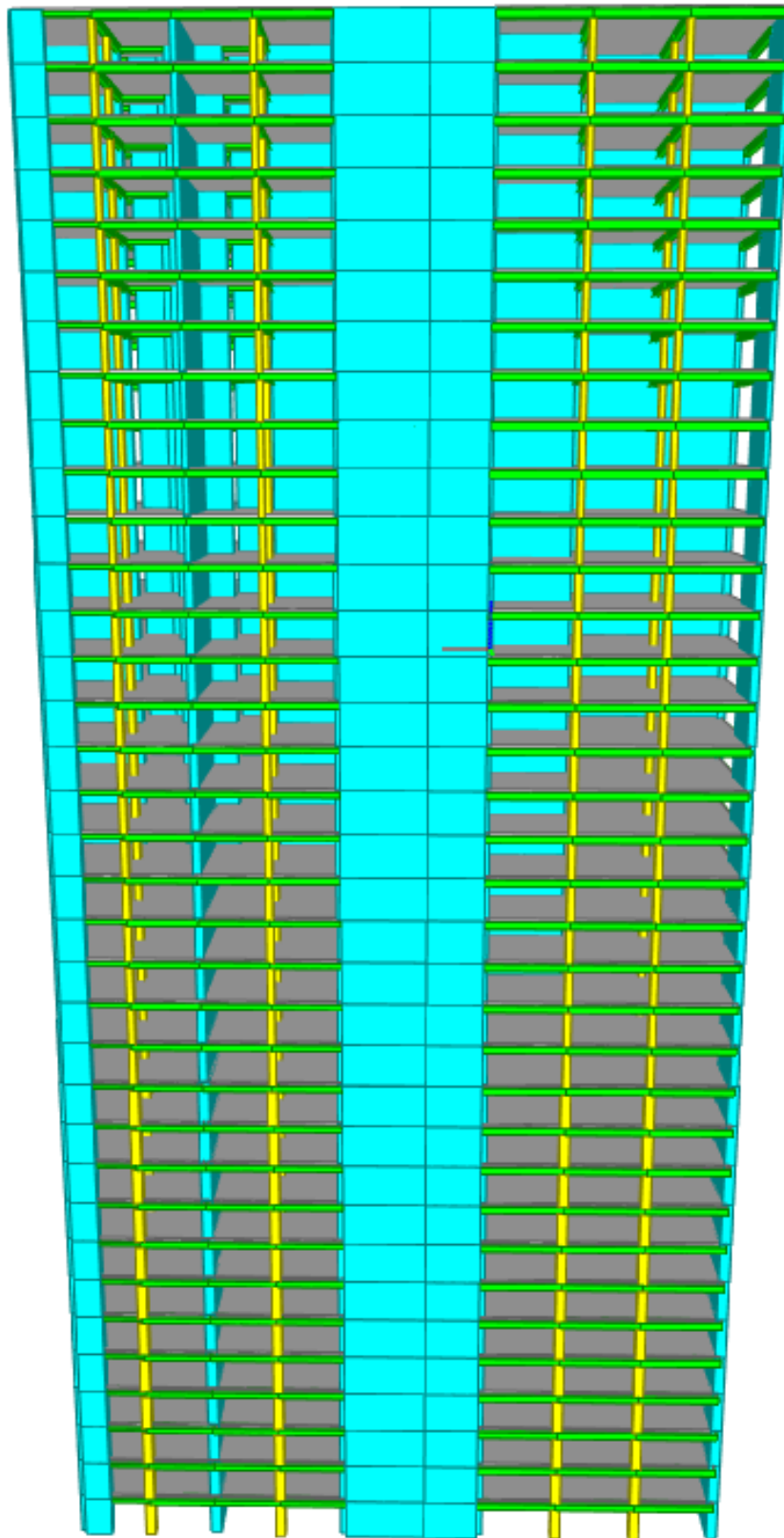
Izvršena je analiza opterećenja na vlastitu težinu, dodatno stalno djelovanje, uporabno djelovanje, opterećenje snijegom, vjetrom i potresom.

Građevina je smještena u III. zoni (Zagreb) opterećenja snijegom na nadmorskoj visini od 158,0 m, a za opterećenje vjetrom uzeta je III. kategorija terena (površine s uobičajenom vegetacijom ili zgradama ili preprekama na razmacima do 20 puta većim od visine prepreke (industrijske zone i šume)).

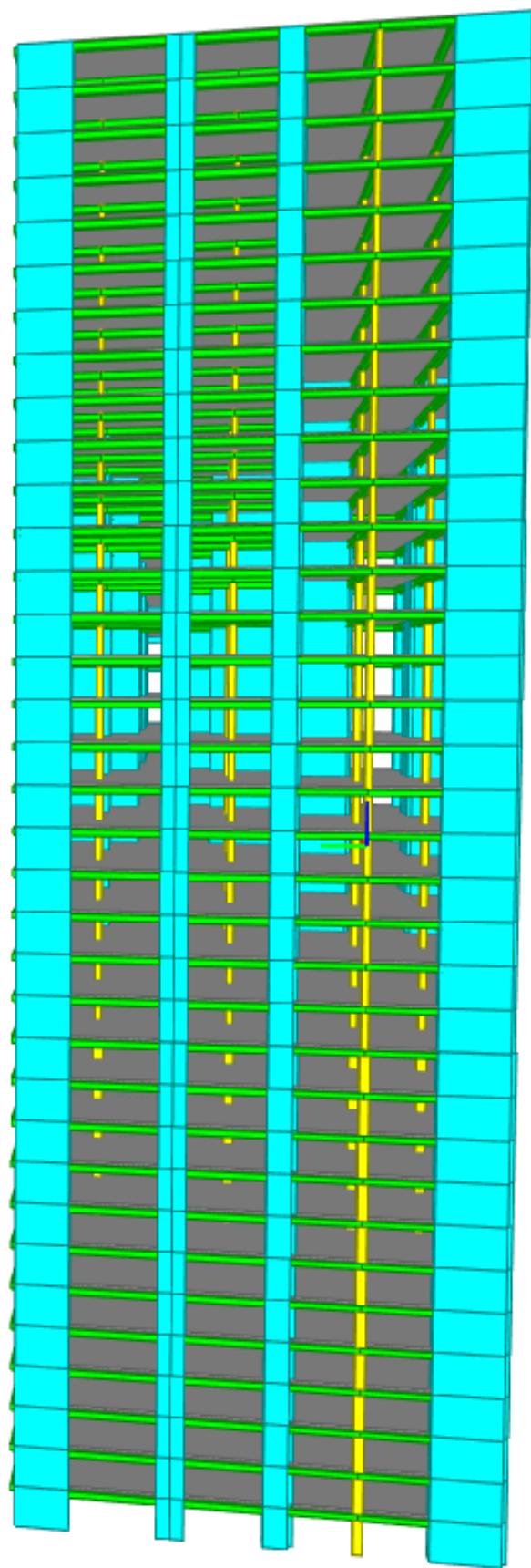
3. OSNOVNI NACRTI ZGRADE: POGLEDI NA ZGRADU I KARAKTERISTIČNI TLOCRT



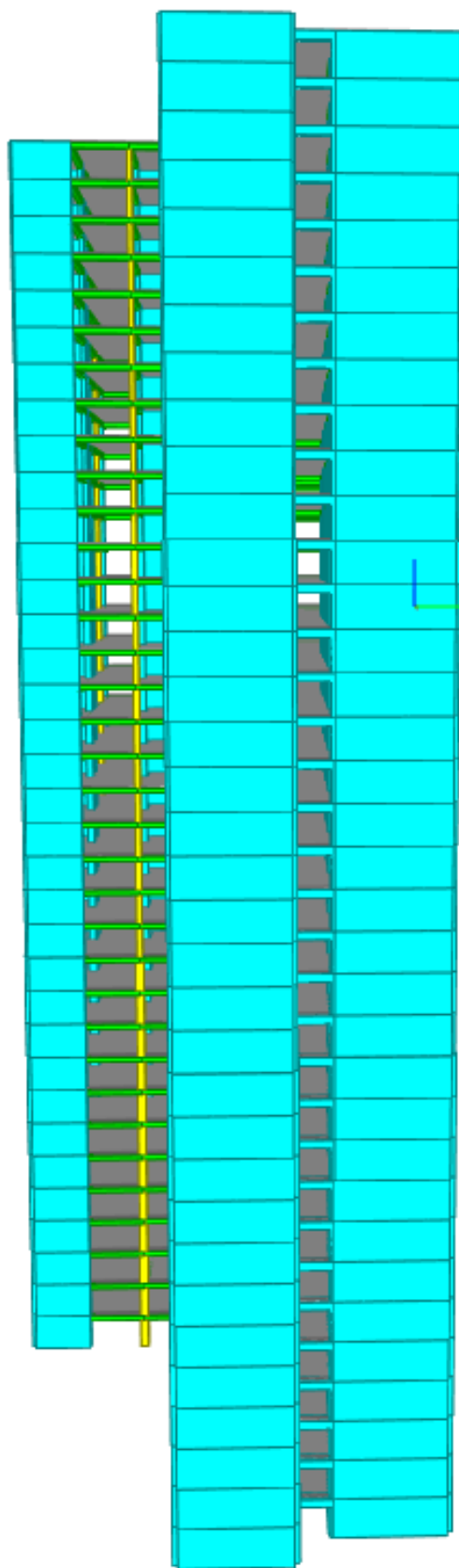
Slika 1. Pogled 1 na zgradu



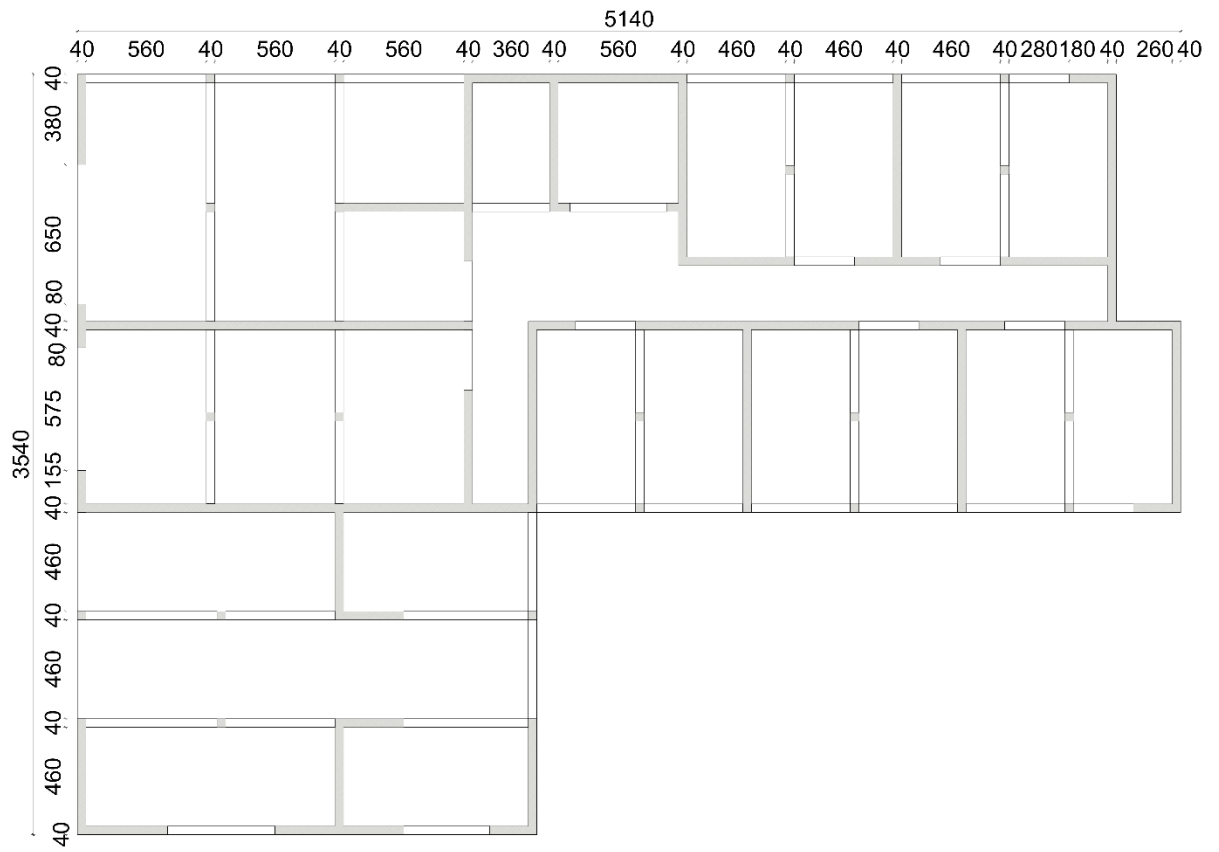
Slika 2. Pogled 2 na zgradu



Slika 3. Pogled 3 na zgradu



Slika 4. Pogled 4 na zgradu



Slika 5. Karakteristični tloučrt

4. PRORAČUN KONSTRUKCIJE

4.1. Analiza opterećenja

4.1.1. Vlastita težina i dodatno stalno opterećenje

Stalno opterećenje sastoji se od vlastite težine elemenata i dodatnog stalnog opterećenja.

Vlastita težina uzeta je u obzir u software-u [25], dok se sva dodatna stalna djelovanja zadaju kao plošna i linijska opterećenja. Zapreminska težina armiranog betona uzeta u software-u iznosi $\gamma = 25,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$ prema normi [16].

Etaže 01 – 34:

AB ploča:	definirano u software-u
Slojevi poda:	$\Delta g_1 = 1,50 \text{ kN/m}^2$
Instalacije:	$\Delta g_2 = 0,50 \text{ kN/m}^2$
Pregradni zidovi:	$\Delta g_3 = 0,50 \text{ kN/m}^2$
Spušteni strop:	$\Delta g_4 = 0,25 \text{ kN/m}^2$

Dodatno stalno opterećenje etaže: $\Delta g_{k,1} = 2,75 \text{ kN/m}^2$

Etaža 35 (krov):

AB ploča:	definirano u software-u
Instalacije:	$\Delta g_2 = 0,50 \text{ kN/m}^2$
Pokrov:	$\Delta g_5 = 2,25 \text{ kN/m}^2$

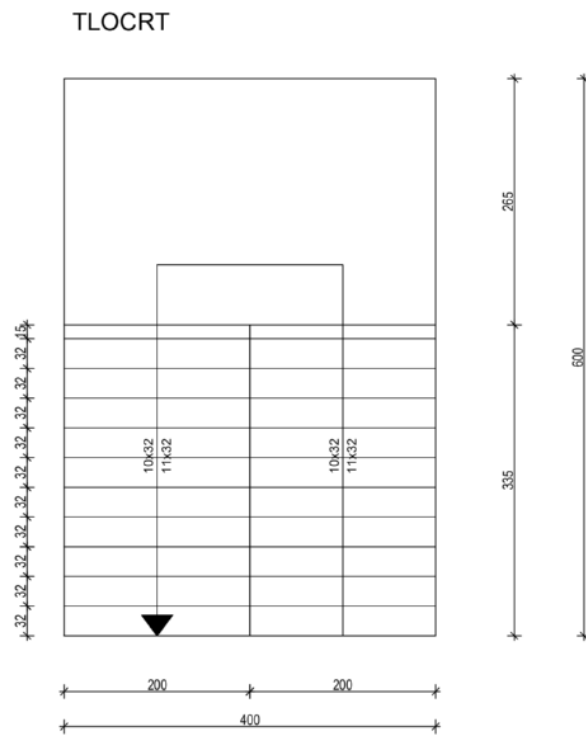
Dodatno stalno opterećenje krova: $\Delta g_{k,2} = 2,75 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje fasadom se zadaje kao linijsko opterećenje na rub ploče.

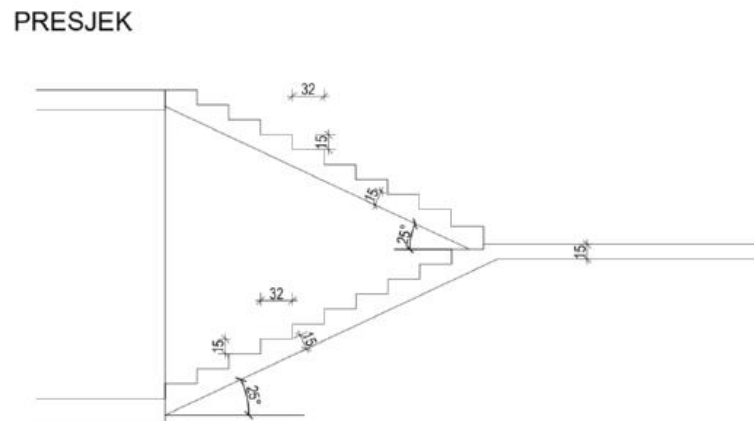
Fasada:	$\Delta g_6 = 4,0 \text{ kN/m}'$
---------	----------------------------------

Dodatno stalno opterećenje fasadom: $\Delta g_{k,3} = 4,0 \text{ kN/m}'$

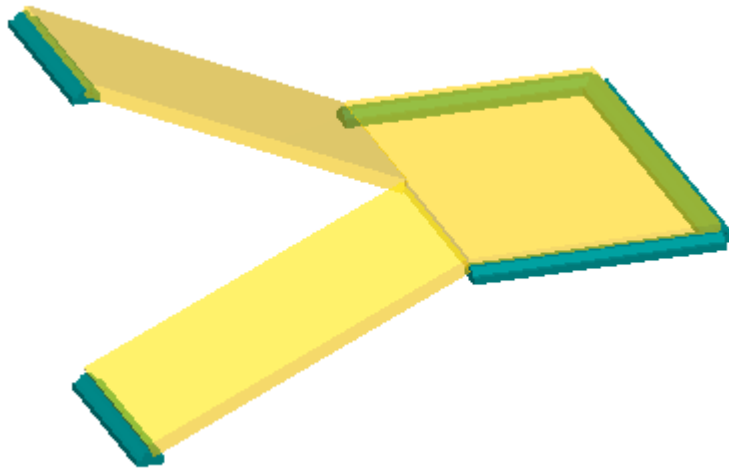
Opterećenje vlastite težine dvokrakog stubišta zadaje se modelom ploča unutar AB jezgre.
 Dodatnim vertikalnim plošnim djelovanjem na ploče stubišta uzeta je težina stuba.



Slika 6. Shema tlocrta stubišta



Slika 7. Shema pogleda stubišta



Slika 8. Model stubišta u software-u Tower8 x 64

AB ploča kraka (15,0 cm):	definirano u software-u
Stube kraka:	$\Delta g_7 = \frac{h}{2} \cdot \gamma = \frac{0,15}{2} \cdot 25 = 1,875 \text{ kN/m}^2$
Podest (15,0 cm):	definirano u software-u
<hr/>	
<u>Dodatno stalno opterećenje stubišta:</u>	$\Delta g_{k,s} = 1,875 \text{ kN/m}^2$

4.1.2. Uporabno opterećenje

Vrijednosti uporabnih opterećenja po etažama zgrade kategorije B1 (uredski prostori, radni prostori, hodnici) određuju se iz tablice norme [16]:

Tablica 1. Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta za zgrade [16]

Stupac	1	2	3	4	5
Redak	Kategorija	Namjena	Primjer	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
1	A1	Nestambena potkrovlja	Neprikladna za stanovanje no pristupačna potkrovlja do 1,8 m svjetle visine	1,5	1
2	A	A2	Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja ¹ u stambenim zgradama i kućama, sobama s krevetima, bolnicama (spavaonicama), sobama u hotelima i prenoćištim i pripadajuće kuhinje i kupaonice	1,5	–
3		A3	A2, ali bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja	2,0 ²	1
4	B	B1	Hodnici u uredskim zgradama, uredi, medicinske ordinacije bez teške opreme, bolnički odjeli, čekaonice i hodnici, staje sa sitnom stokom	2	2
5		B2	Hodnici i kuhinje u bolnicama, hotelima, staračkim domovima, hodnici u internatima i sl., prostori za medicinske tretmane u bolnicama, uključujući i operacijske dvorane bez teške opreme, podrumске prostorije u stambenim zgradama	3	3
6		B3	Svi prostori navedeni u B1 i B2, ali s teškom opremom ³	5	4
7	C	C1	Prostori sa stolovima, kao što su dječji vrtići, jaslice, škole, učionice, kavane, restorani, blagovaonice, čitaonice, recepcije, zbornice	3	4
8		C2	Prostori s nepomičnim sjedalima, primjerice u otkovama, kazalištima, kinima, konferencijskim dvoranama, predavaonicama, čekaonicama	4	4
9		C3	Javni prostori, npr. muzeji, izložbeni prostori, ulazi u javne zgrade i hotele, stropovi podruma koji su pod dvorišta i u koja nije omogućen pristup vozila, hodnici za kategorije prostora C1 do C3	5	4
10		C4	Prostori za sport i igru, kao što su plesne dvorane, sportski centri, gimnastičke dvorane i teretane, pozornice	5	7
11		C5	Prostori za velike skupove ljudi, npr. u zgradama kao što su koncertne dvorane, terase, prilazi i tribine s nepomičnim sjedalima	5	4
12		C6	Prostori za učestalo okupljanje mnogo ljudi, tribine bez nepomičnih sjedala	7,5	10,0
13	D	D1	Trgovački prostori do 50 m ² tlocrtnе ploštine u stambenim, uredskim i sličnim građevinama	2	2
14		D2	Prostori u trgovinama i robnim kućama	5	4
15		D3	Prostori kao u D2, ali s većim opterećenjima zbog visokih polica za skladištenje	5	7

Uporabno opterećenje po etažama za kategoriju B1:

$$q_{k,1} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Uporabno opterećenje stubišta po etažama za kategoriju B1:

$$q_{k,2} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Sva uporabna opterećenja su gravitacijska i zadana su plošno.

Kategorija opterećenog područja krova H – nedostupni krovovi, osim za redovito održavanje i popravak.

Uporabno opterećenje za krov se određuje prema tablici norme [16]:

Tablica 2. Kategorija krovova [15]

Kategorija opterećenog područja	Upotreba
H	Nedostupni krovovi, osim za redovito održavanje i popravak
I	Dostupni krovovi s namjenama prema kategorijama A do G
K	Dostupni krovovi za posebne namjene, primjerice sletišta za helikoptere

Tablica 3. Opterećenje za krov kategorije H [16]

Krov		q_k^a [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorija H	nagib krova $\leq 20^\circ$	0,6	1,0
	nagib krova $\geq 40^\circ$	0,0	1,0

^a Za nagibe između 20° i 40° vrijednost q_k može se odrediti linearnom interpolacijom.
 NAPOMENA 1: Opterećenje q_k djeluje na ploštini A koja predstavlja cijelu ploštinu krova.
 NAPOMENA 2: Svi nagibi krova mjere se u odnosu na horizontalu, a opterećenja djeluju vertikalno na horizontalnu projekciju krovne plohe.

Uporabno opterećenje za krov kategorije H:

$$q_{k,3} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

4.1.3. Opterećenje snijegom

Analiza opterećenja snijegom se provodi prema normi [17]. Koristi se sljedeća karta snježnih područja prema normi [18] za određivanje karakterističnog snježnog opterećenja na tlu:



Slika 9. Karta karakterističnog opterećenja snijegom na tlu za područja RH [18]

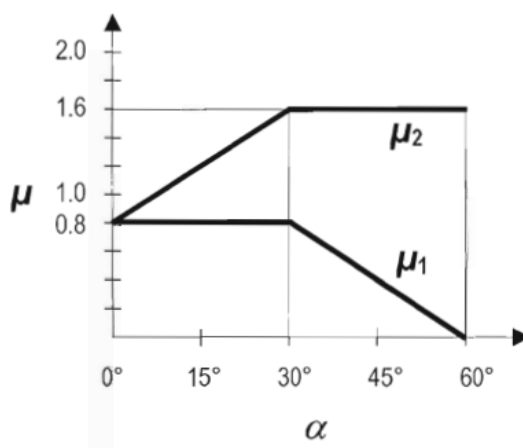
Tablica 4. Opterećenje snijegom za snježna područja i nadmorske visine [18]

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1 000	2,00	4,00	3,50	5,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		

Visoka građevina je smještena u gradu Zagrebu u zoni III opterećenja snijegom. Prosječna nadmorska visina zgrade je 158 m što je manje od 200 m. Karakteristično opterećenje snijegom za pripadno područje i nadmorsku visinu iznosi:

$$s_k = 1,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Dijagramom koeficijenta oblika μ_i se uzima u obzir utjecaj geometrije krova prema normi [17]:



Slika 10. Dijagram koeficijenta oblika krova [17]

Vrijednost koeficijenta oblika krova očitana za ravan krov:

$$\mu_i = 0,8$$

Karakteristično snježno opterećenje na krov:

$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t$$

gdje su:

μ_i - koeficijent oblika za ravan krov

C_e - koeficijent izloženosti (preporučeno $C_e = 1,0$)

C_t - temperaturni koeficijent (preporučeno $C_t = 1,0$)

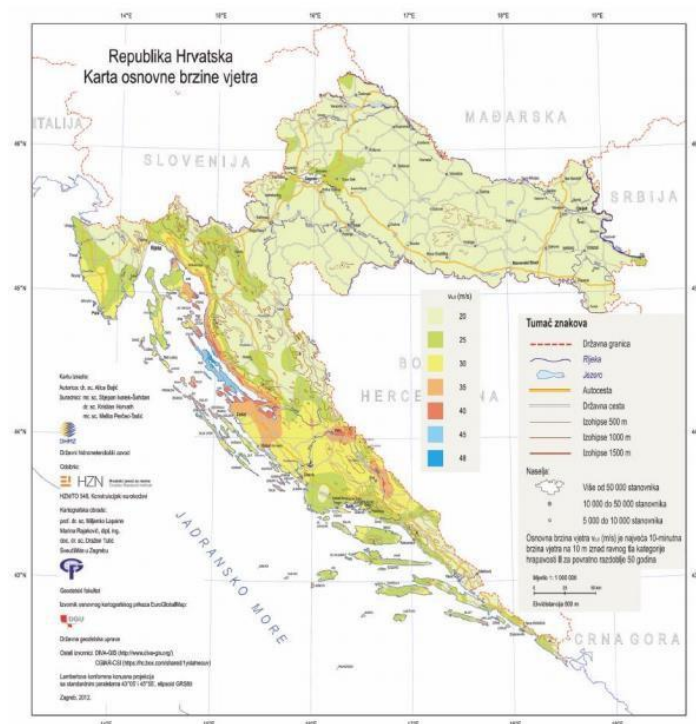
Izračun snježnog opterećenja:

$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t = 1,25 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

Opterećenje snijegom je zadano kao vertikalno plošno djelovanje na krovnu ploču.

4.1.4. Opterećenje vjetrom

Opterećenje vjetrom određuje se prema normi [19] pomoću temeljne vrijednosti osnovne brzine vjetra koja ovisi o lokaciji građevine. Djelovanje vjetra smatra se kao kvazi-statičko, pa je tako i zadano kao plošno na vanjsku ovojnicu zgrade. Vrijednost osnovne brzine vjetra usvojena je iz sljedeće karte norme [20]:



Slika 11. Karta osnovne brzine vjetra za područje RH [20]

Osnovna brzina vjetra određuje se prema izrazu:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \text{ [m/s]}$$

gdje je:

c_{dir} - koeficijent smjera vjetra, $c_{dir} = 1,0$

c_{season} - koeficijent godišnjeg doba, $c_{season} = 1,0$

$v_{b,0}$ - temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra, određuje se iz karte vjetrova

Lokacija: Zagreb $\rightarrow v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Osnovni tlak vjetra određuje se prema izrazu:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

gdje je:

ρ - gustoća zraka definirana Nacionalnim dodatkom; u hrvatskom Nacionalnom dodatku HRN EN 1991-1-4:2012/NA prihvaćena je preporučena vrijednost 1,25 kg/m³

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ N/m}^2 = 0,391 \text{ kN/m}^2$$

Tlak vjetra na vanjske površine konstrukcije dobiva se ovisno o vrijednosti osnovnog tlaka brzine vjetra te koeficijenta izloženosti $C_e(z)$ koji ovisi o visini konstrukcije te kategoriji terena, prema izrazu:

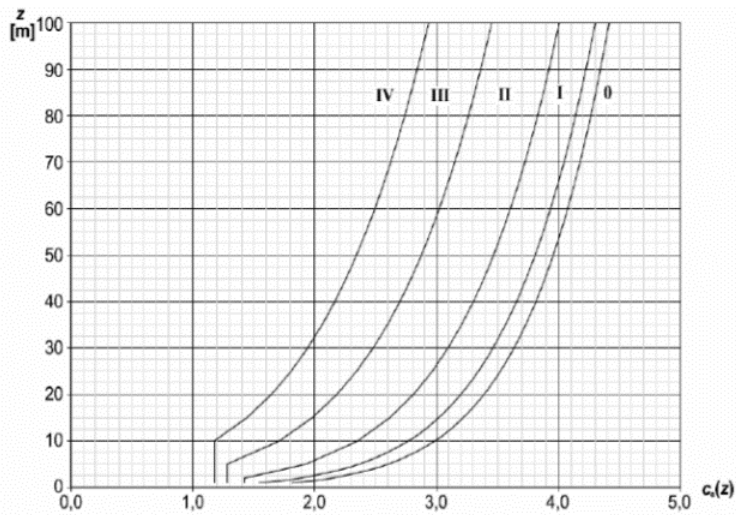
$$w_e = q_b \cdot c_e(z) \cdot c_{pe}$$

gdje je:

q_b – osnovni tlak vjetra

c_{pe} – koeficijent vanjskog tlaka

$c_e(z)$ – koeficijent izloženosti, očitano iz grafa za kategoriju terena 3



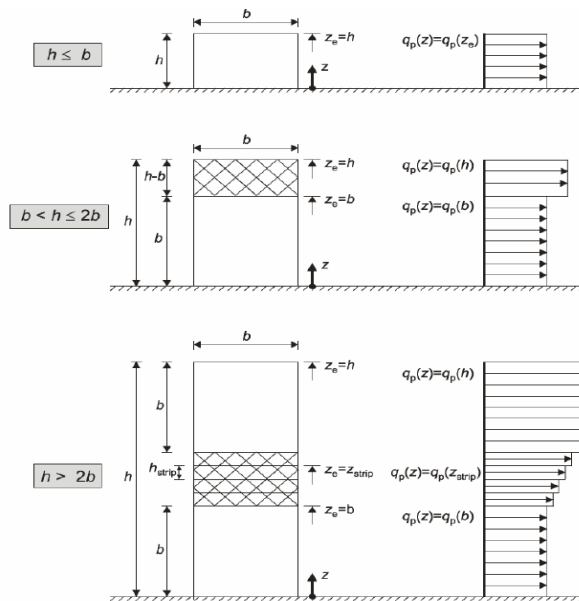
Slika 12. Dijagram za određivanje koeficijenta izloženosti [17]

Tablica 5. Kategorije terena [18]

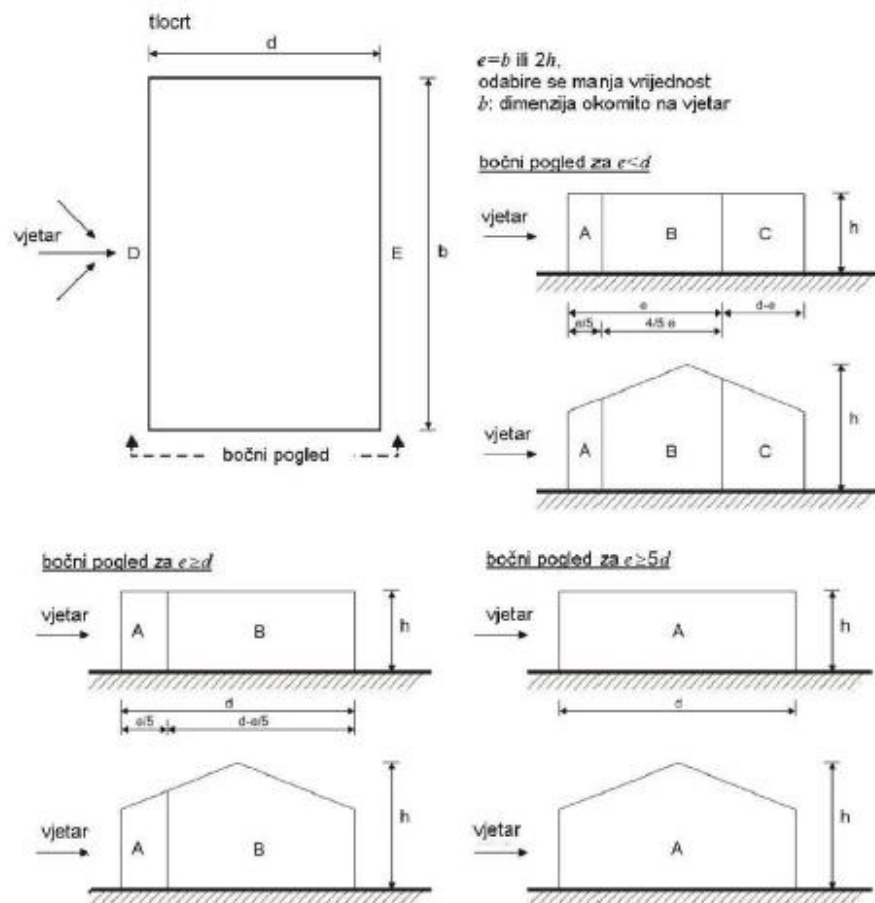
Kategorija terena		z_0 [m]	z_{min} [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivena zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

NAPOMENA: Kategorije terena prikazane su na slikama u točki A.1.

Mogući slučajevi opterećenja vjetra na vertikalne plohe visokih građevina:



Slika 13. Plohe na koje direktno djeluje vjetar [19]

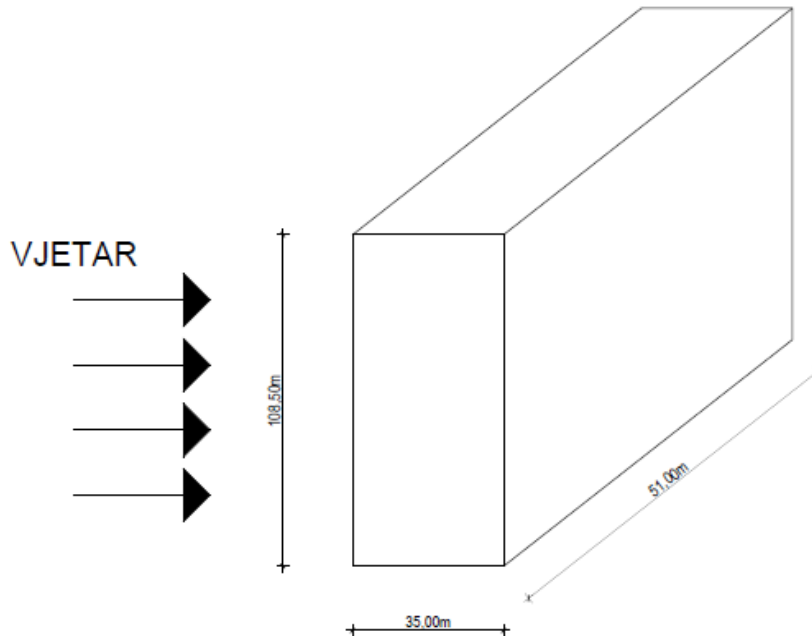


Slika 14. Plohe usporedne s djelovanjem vjetra [19]

Dimenzije predmetne konstrukcije su: $b = 51,00$ m, $d = 35,00$ m, $h = 108,50$ m.

Odabrana je kategorija terena III, a osnovni tlak brzine vjetra iznosi $0,391$ kN/m².

Slučaj opterećenja 1 – vjetar puše na veću površinu zgrade



Slika 15. Shema djelovanja vjetra na veću površine zgrade

Poredbena visina objekta je $h = 108,50$ m što je veće od $2 \cdot b = 102,00$ m, te se visina objekta dijeli na tri visinska područja i to:

- Donji dio koji se proteže uvis na visinu jednaku b i u kojem je poredbena visina jednaka $51,00$ m

- Srednji dio razdijeljen je u toliko dijelova koliko ovdje ima etaža i u kojem je poredbena visina najmanje jednaka $52,70$ m do najviše $55,80$ m

- Gornji dio koji se proteže od vrha zgrade prema dolje za visinu jednaku b i u kojem je poredbena visina $108,50$ m

Navedene poredbene visine vrijede za stranu zgrade u koju direktno udara vjetar (područje D). Za područje E , poredbena visina određuje se kao konstantna po čitavoj visini i uzima se s vrijednošću visine zgrade.

$$z_e = h = 108,50 \text{ m}$$

Za područje usporedno s djelovanjem vjetra objekt se dijeli na 2 plohe po dužini. Za A i B, plohe usporedne s djelovanjem vjetra poredbeni visina određuje se kao konstantna po čitavoj visini i uzima se s vrijednošću visine zgrade.

$$z_e = h = 108,50 \text{ m}$$

Tlak vjetra na vanjske površine konstrukcije:

$$w_e = q_b \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}$$

Koeficijent vanjskog tlaka c_{pe} ovisi o omjeru $h/d = 3,10$ i tablici iz norme navedenoj ispod te iznosi +0,8 na strani zgrade direktno na udaru vjetra (područje D), -0,605 na strani zgrade u zavjetrini (područje E), -1,2 na strani zgrade usporedno s djelovanjem vjetra (područje A) i -0,8 na strani zgrade usporedno s djelovanjem vjetra (područje B).

Tablica 6. Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} [19]

Zone	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Pomoću dijagrama i poredbenih visina određuju se koeficijenti izloženosti za svako od tri vjetrovna područja u području D:

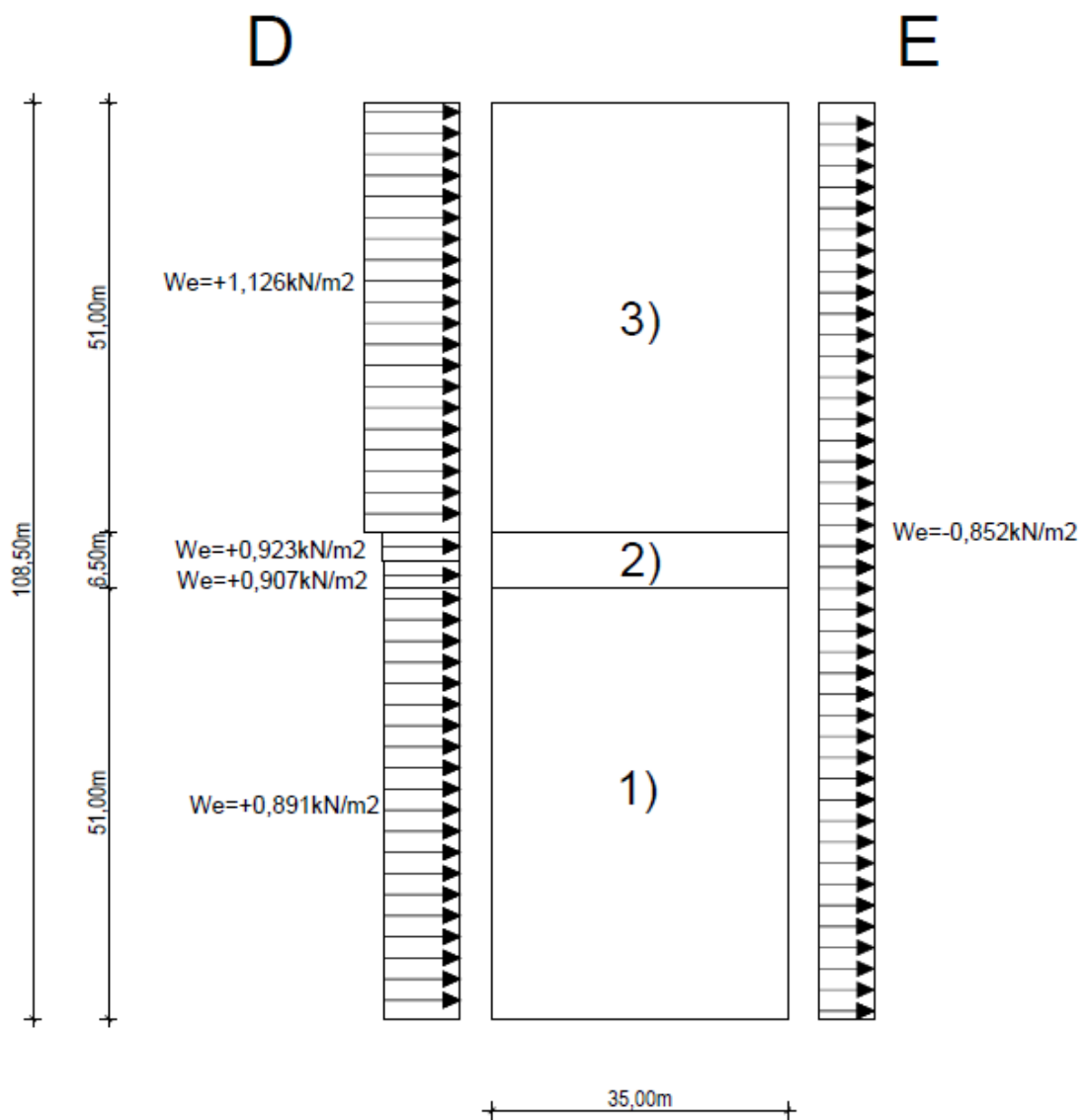
- Donji dio koji se proteže uvis na visinu jednaku $b = 51,00 \text{ m}$, $C_e(z) = 2,85$
- Srednji dio koji se proteže od visine $b=51,00 \text{ m}$ uvis, do visine $h-b=57,5 \text{ m}$, $C_e(z) =$ od 2,90 do 2,95
- Gornji dio koji se proteže od vrha zgrade prema dolje, visine $b = 51,00 \text{ m}$, $C_e(z) = 3,60$

Tablica 7.. Opterećenje vjetrom na površine

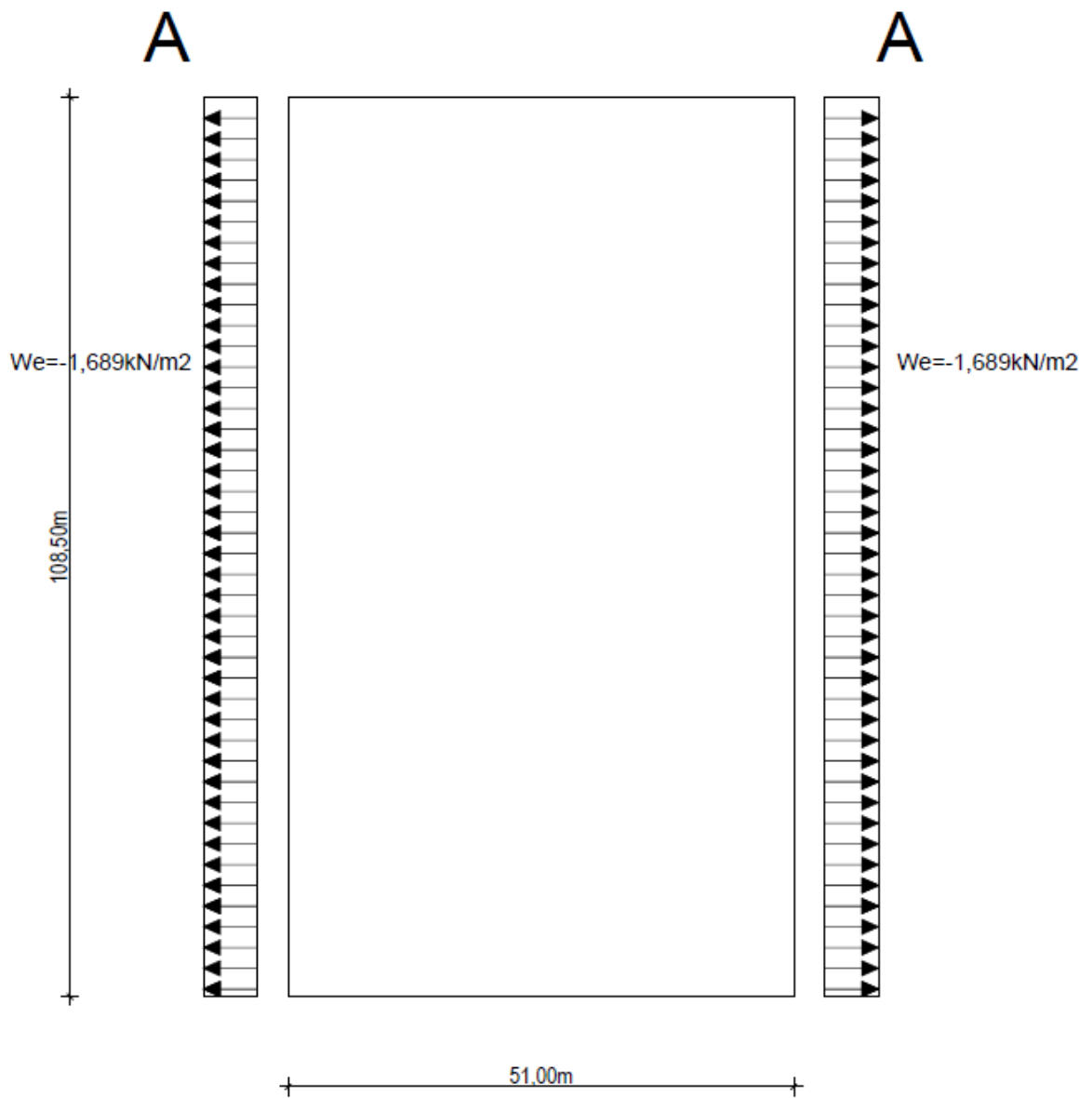
ETAŽA	VISINA PODA KATA IZNAD TLA	PODRUČJE D (direktno područje udara vjetra)				PODRUČJE E (zavjetrina)			
		ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]	ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]
PRIZEMLJE	0	51,0	2,85	0,8	0,891	108,5	3,60	-0,605	-0,852
1. KAT	3,1		2,85		0,891				-0,852
2. KAT	6,2		2,85		0,891				-0,852
3. KAT	9,3		2,85		0,891				-0,852
4. KAT	12,4		2,85		0,891				-0,852
5. KAT	15,5		2,85		0,891				-0,852
6. KAT	18,6		2,85		0,891				-0,852
7. KAT	21,7		2,85		0,891				-0,852
8. KAT	24,8		2,85		0,891				-0,852
9. KAT	27,9		2,85		0,891				-0,852
10. KAT	31,0		2,85		0,891				-0,852
11. KAT	34,1		2,85		0,891				-0,852
12. KAT	37,2		2,85		0,891				-0,852
13. KAT	40,3		2,85		0,891				-0,852
14. KAT	43,4		2,85		0,891				-0,852
15. KAT	46,5		2,85		0,891				-0,852
16. KAT	49,6		2,85		0,891				-0,852
17. KAT	52,7	52,7	2,90	0,907	-0,852				
18. KAT	55,8	55,8	2,95	0,923	-0,852				
19. KAT	58,9	108,5	3,60	0,8	1,126	108,5	3,60	-0,605	-0,852
20. KAT	62,0		3,60		1,126				-0,852
21. KAT	65,1		3,60		1,126				-0,852
22. KAT	68,2		3,60		1,126				-0,852
23. KAT	71,3		3,60		1,126				-0,852
24. KAT	74,4		3,60		1,126				-0,852
25. KAT	77,5		3,60		1,126				-0,852
26. KAT	80,6		3,60		1,126				-0,852
27. KAT	83,7		3,60		1,126				-0,852
28. KAT	86,8		3,60		1,126				-0,852
29. KAT	89,9		3,60		1,126				-0,852
30. KAT	93,0		3,60		1,126				-0,852
31. KAT	96,1		3,60		1,126				-0,852
32. KAT	99,2		3,60		1,126				-0,852
33. KAT	102,3		3,60		1,126				-0,852
34. KAT	105,4		3,60		1,126				-0,852
KROV	108,5	3,60	1,126	-0,852					

Tablica 8. Opterećenje vjetrom na površine

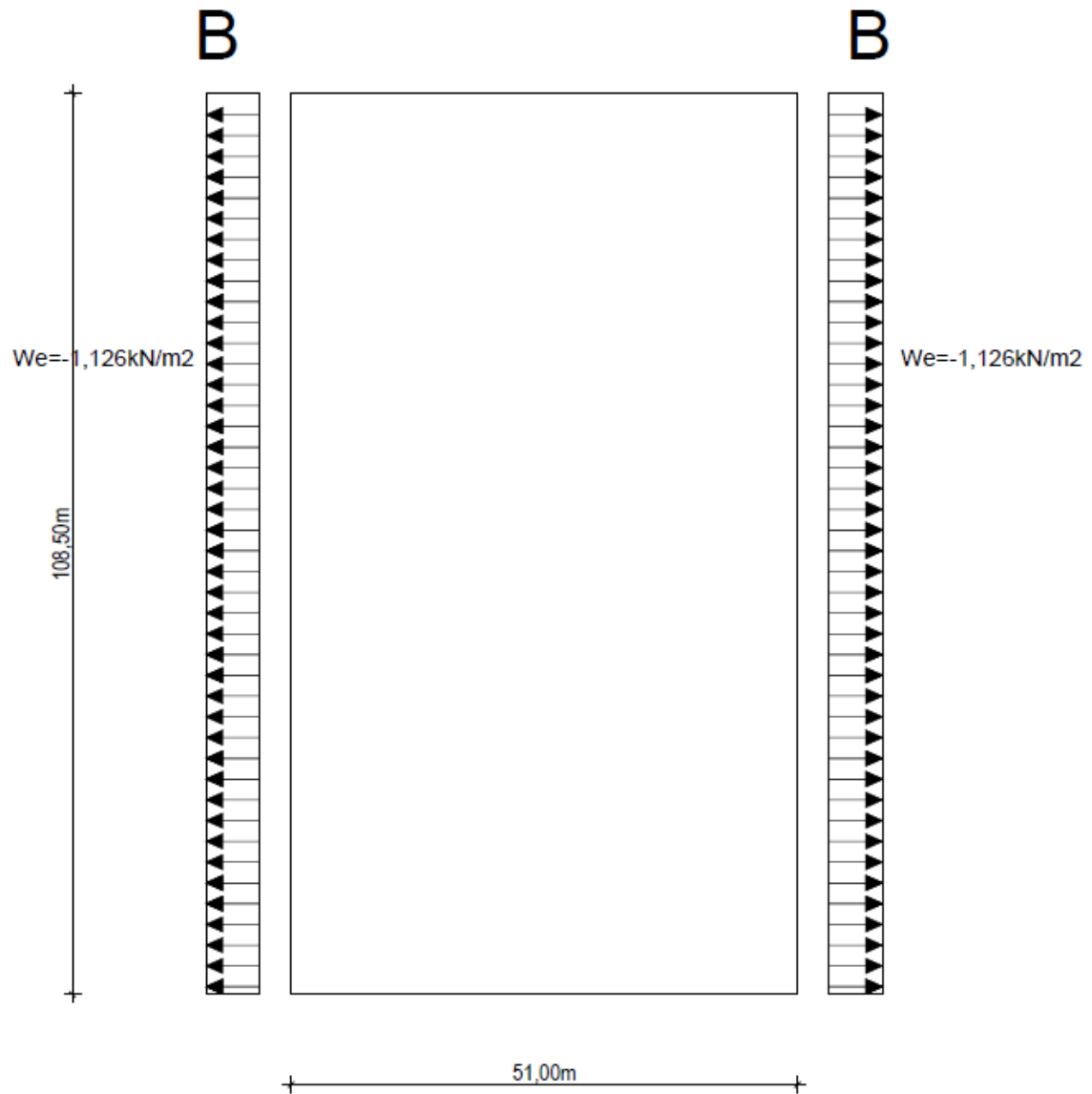
ETAŽA	VISINA PODA KATA IZNAD TLA	PODRUČJE A (područje uporedno s djelovanjem vjetra)				PODRUČJE B (područje uporedno s djelovanjem vjetra)			
		z	ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]	ze	Ce(z)	cpe
PRIZEMLJE	0	108,5	3,60	-1,2	-1,689	108,5	3,60	-0,8	-1,126
1. KAT	3,1		3,60		-1,689				-1,126
2. KAT	6,2		3,60		-1,689				-1,126
3. KAT	9,3		3,60		-1,689				-1,126
4. KAT	12,4		3,60		-1,689				-1,126
5. KAT	15,5		3,60		-1,689				-1,126
6. KAT	18,6		3,60		-1,689				-1,126
7. KAT	21,7		3,60		-1,689				-1,126
8. KAT	24,8		3,60		-1,689				-1,126
9. KAT	27,9		3,60		-1,689				-1,126
10. KAT	31,0		3,60		-1,689				-1,126
11. KAT	34,1		3,60		-1,689				-1,126
12. KAT	37,2		3,60		-1,689				-1,126
13. KAT	40,3		3,60		-1,689				-1,126
14. KAT	43,4		3,60		-1,689				-1,126
15. KAT	46,5		3,60		-1,689				-1,126
16. KAT	49,6		3,60		-1,689				-1,126
17. KAT	52,7		3,60		-1,689				-1,126
18. KAT	55,8		3,60		-1,689				-1,126
19. KAT	58,9	108,5	3,60	-1,2	-1,689	108,5	3,60	-0,8	-1,126
20. KAT	62,0		3,60		-1,689				-1,126
21. KAT	65,1		3,60		-1,689				-1,126
22. KAT	68,2		3,60		-1,689				-1,126
23. KAT	71,3		3,60		-1,689				-1,126
24. KAT	74,4		3,60		-1,689				-1,126
25. KAT	77,5		3,60		-1,689				-1,126
26. KAT	80,6		3,60		-1,689				-1,126
27. KAT	83,7		3,60		-1,689				-1,126
28. KAT	86,8		3,60		-1,689				-1,126
29. KAT	89,9		3,60		-1,689				-1,126
30. KAT	93,0		3,60		-1,689				-1,126
31. KAT	96,1		3,60		-1,689				-1,126
32. KAT	99,2		3,60		-1,689				-1,126
33. KAT	102,3		3,60		-1,689				-1,126
34. KAT	105,4		3,60		-1,689				-1,126
KROV	108,5		3,60		-1,689				-1,126



Slika 16. Shema opterećenja vjetrom, područje D i E

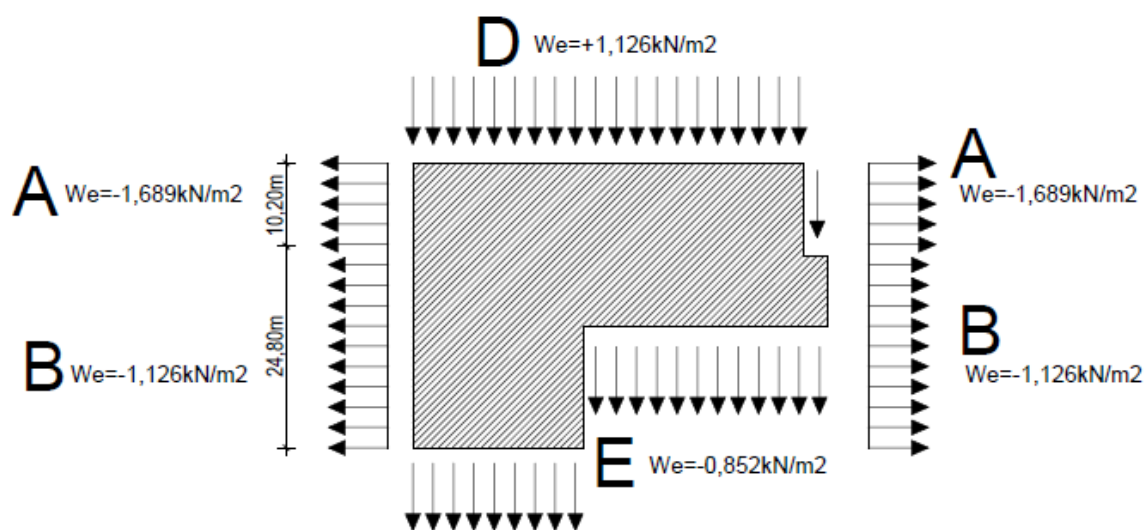


Slika 17. Shema opterećenja vjetrom, područje A



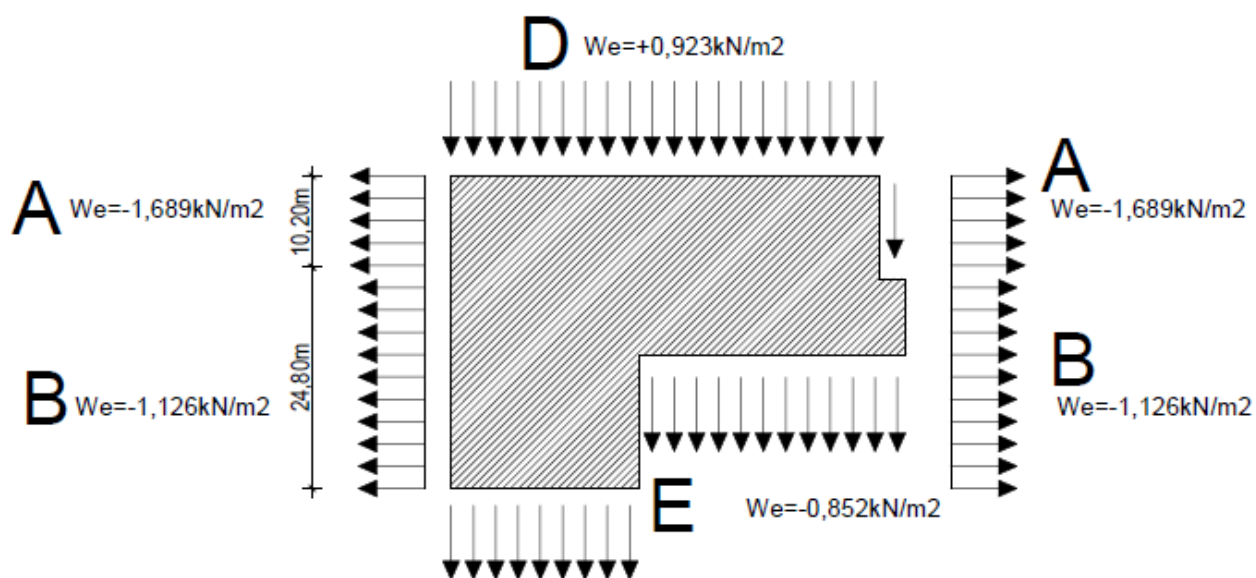
Slika 18. Shema opterećenja vjetrom, područje B

19. KAT-KROV



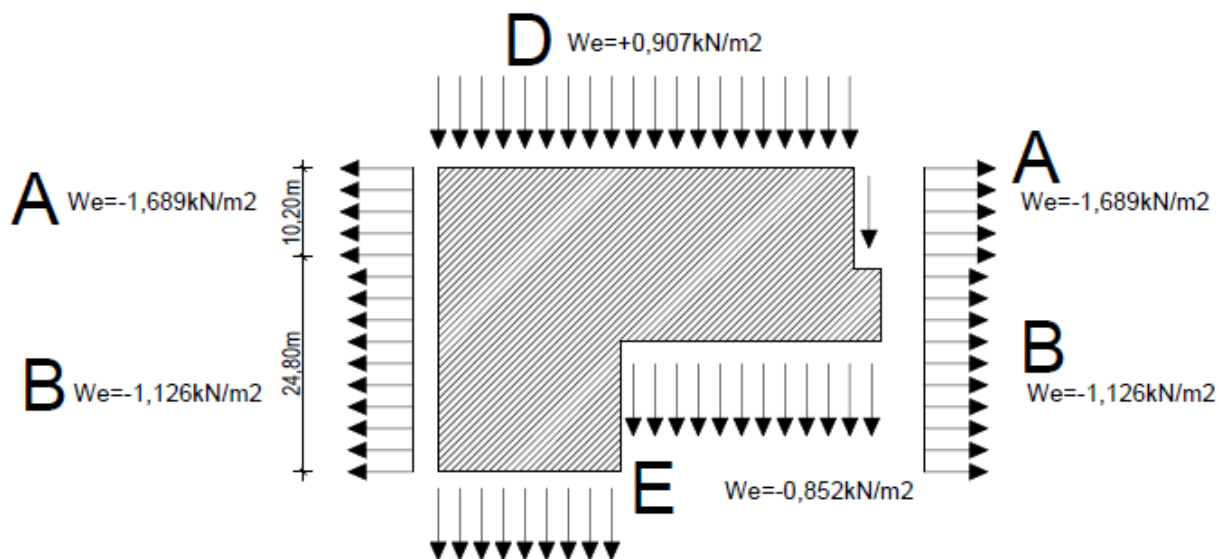
Slika 19. Shema opterećenja vjetrom, od 19. kata do krova

18. KAT



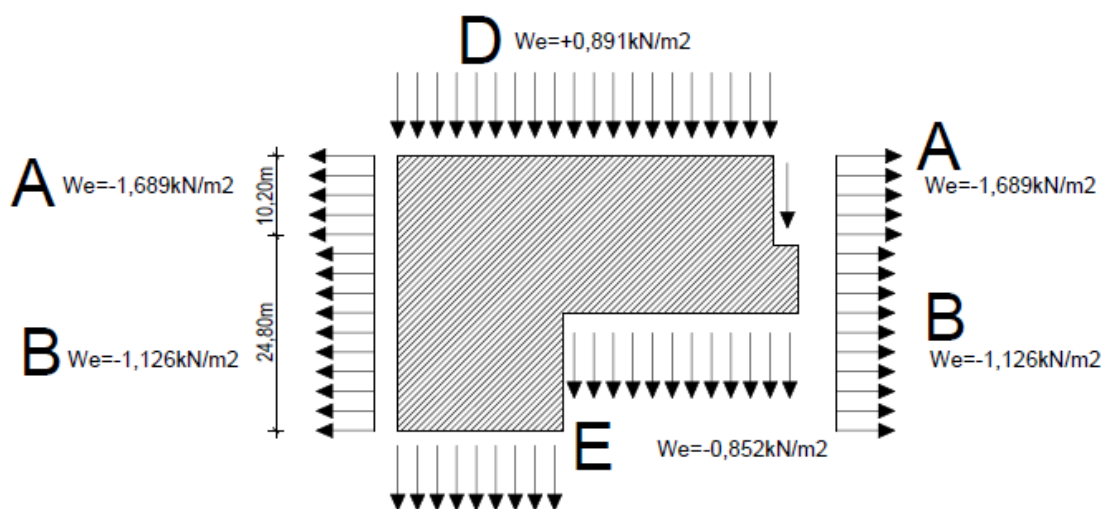
Slika 20. Shema opterećenja vjetrom, 18. kat

17. KAT



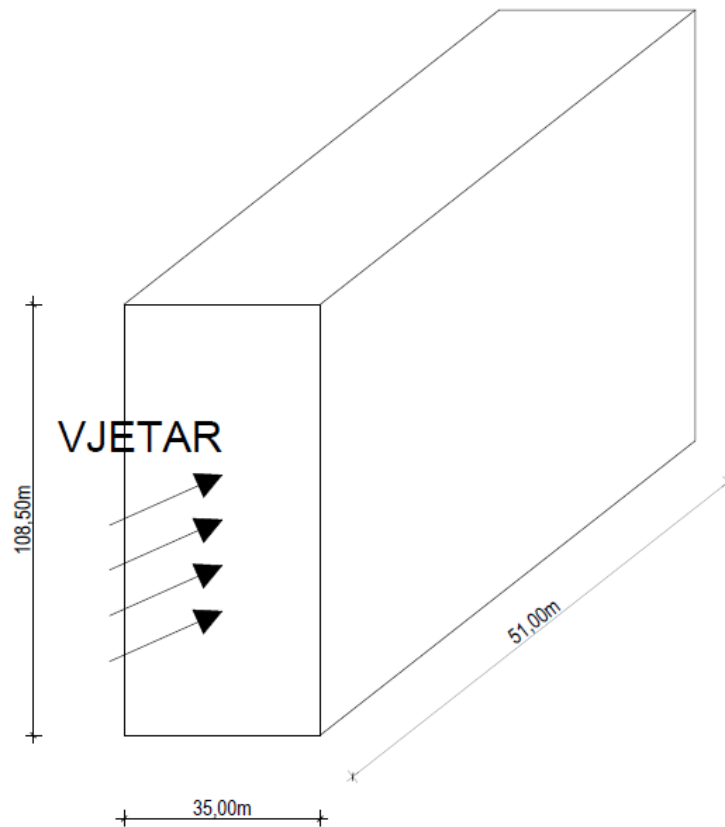
Slika 21. Shema opterećenja vjetrom, 17. kat

PRIZEMLJE - 16. KAT



Slika 22. Shema opterećenja vjetrom, od prizemlja do 16. kata

Slučaj opterećenja 2 – vjetar puše na manju površinu zgrade



Slika 23. Shema djelovanja vjetra na manju površine zgrade

Poredbena visina objekta je $h = 108,50$ m što je veće od $2 \cdot b = 70,00$ m, te se visina objekta dijeli na tri visinska područja i to:

- Donji dio koji se proteže uvis na visinu jednaku b i u kojem je poredbena visina jednaka 35,00 m

- Srednji dio razdijeljen je u toliko dijelova koliko ovdje ima etaža i i u kojem je poredbena visina najmanje jednaka 37,50 m do najviše 71,30 m

- Gornji dio koji se proteže od vrha zgrade prema dolje za visinu jednaku b i u kojem je poredbena visina 108,50 m

Navedene poredbene visine vrijede za stranu zgrade u koju direktno udara vjetar (područje D). Za područje E, poredbena visina određuje se kao konstantna po čitavoj visini i uzima se sa vrijednošću visine zgrade.

$$z_e = h = 108,50 \text{ m}$$

Za područje usporedno s djelovanjem vjetra objekt se dijeli na 3 plohe po dužini. Za A, B i C, plohe usporedne s djelovanjem vjetra poredbena visina određuje se kao konstantna po čitavoj visini i uzima se s vrijednošću visine zgrade.

$$z_e = h = 108,50 \text{ m}$$

Tlak vjetra na vanjske površine konstrukcije:

$$w_e = q_b \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}$$

Koeficijent vanjskog tlaka c_{pe} ovisi o omjeru $h/d = 2,13$ i tablici iz norme navedenoj ispod te iznosi +0,8 na strani zgrade direktno na udaru vjetra (područje D), -0,557 na strani zgrade u zavjetrini (područje E), -1,2 na strani zgrade usporedno s djelovanjem vjetra (područje A), -0,8 na strani zgrade usporedno s djelovanjem vjetra (područje B), -0,5 na strani zgrade usporedno s djelovanjem vjetra (područje C).

Tablica 9. Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} [19]

Zone	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Pomoću dijagrama i poredbenih visina određuju se koeficijenti izloženosti za svako od tri vjetrovna područja za područje D:

- Donji dio koji se proteže uvis na visinu jednaku $b = 35,00 \text{ m}$, $C_e(z) = 2,65$
- Srednji dio koji se proteže od visine $b=35,00 \text{ m}$ uvis, do visine $h-b=73,50 \text{ m}$, $C_e(z) =$ od 2,80 do 3,20
- Gornji dio koji se proteže od vrha zgrade prema dolje, visine $b = 35,00 \text{ m}$, $C_e(z) = 3,60$

Tablica 10. Opterećenje vjetrom na površine

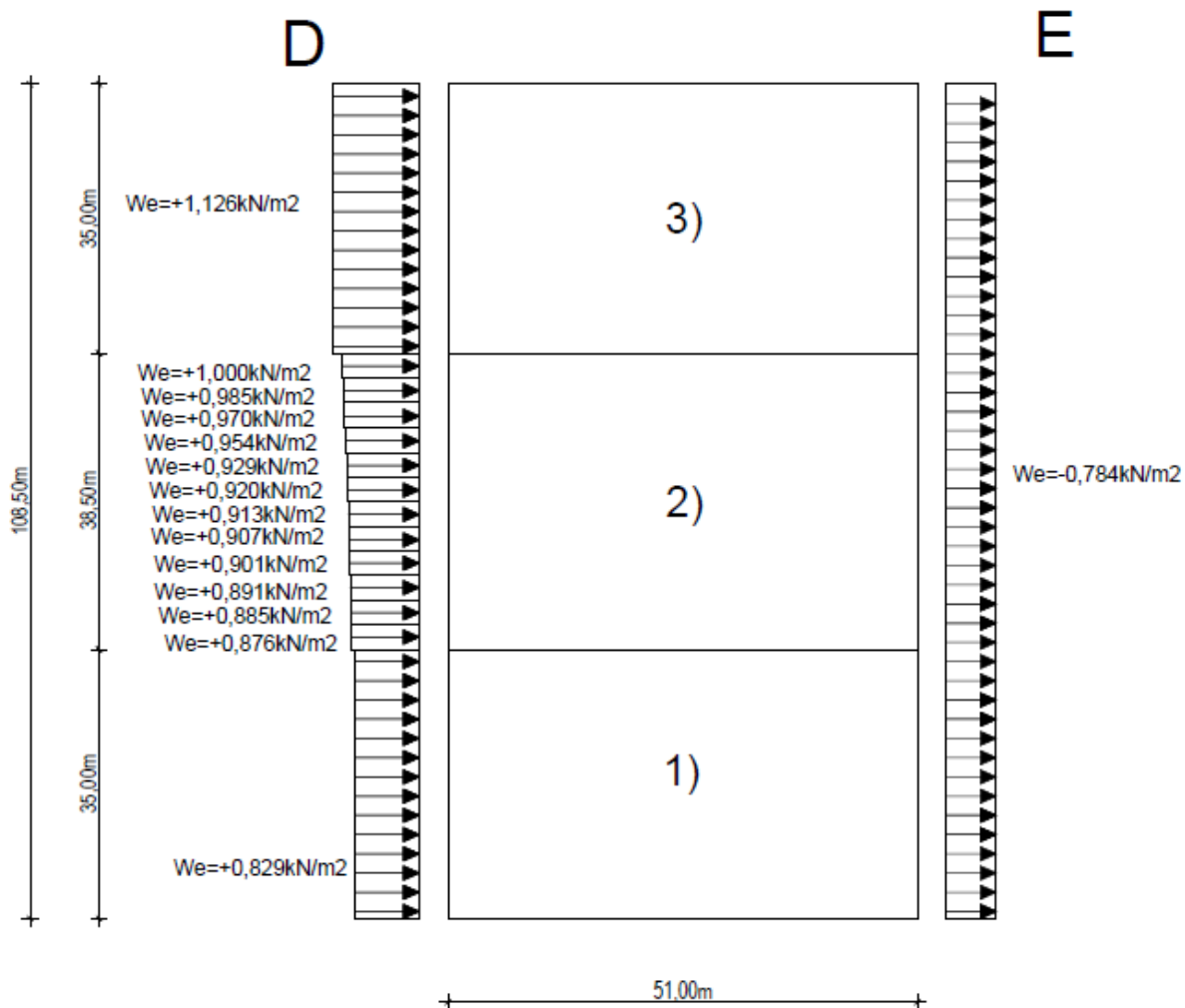
ETAŽA	VISINA PODA KATA IZNAD TLA	PODRUČJE	PODRUČJE D (direktno područje udara vjetra)				PODRUČJE E (zavjetrina)				
			ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]	ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]	
PRIZEMLJE	0	1)	35,0	2,65	0,8	0,829	108,5	3,60	-0,557	-0,784	
1. KAT	3,1			2,65						0,829	-0,784
2. KAT	6,2			2,65						0,829	-0,784
3. KAT	9,3			2,65						0,829	-0,784
4. KAT	12,4			2,65						0,829	-0,784
5. KAT	15,5			2,65						0,829	-0,784
6. KAT	18,6			2,65						0,829	-0,784
7. KAT	21,7			2,65						0,829	-0,784
8. KAT	24,8			2,65						0,829	-0,784
9. KAT	27,9			2,65						0,829	-0,784
10. KAT	31,0			2,65						0,829	-0,784
11. KAT	34,1			2,65						0,829	-0,784
12. KAT	37,2	2)	37,2	2,80	0,876	-0,784					
13. KAT	40,3		40,3	2,83	0,885	-0,784					
14. KAT	43,4		43,4	2,85	0,891	-0,784					
15. KAT	46,5		46,5	2,88	0,901	-0,784					
16. KAT	49,6		49,6	2,90	0,907	-0,784					
17. KAT	52,7		52,7	2,92	0,913	-0,784					
18. KAT	55,8		55,8	2,94	0,920	-0,784					
19. KAT	58,9		58,9	2,97	0,929	-0,784					
20. KAT	62,0		62,0	3,05	0,954	-0,784					
21. KAT	65,1		65,1	3,10	0,970	-0,784					
22. KAT	68,2		68,2	3,15	0,985	-0,784					
23. KAT	71,3		71,3	3,20	1,00	-0,784					
24. KAT	74,4	3)	108,5	3,60	0,8	1,126	108,5	3,60	-0,557	-0,784	
25. KAT	77,5			3,60						1,126	-0,784
26. KAT	80,6			3,60						1,126	-0,784
27. KAT	83,7			3,60						1,126	-0,784
28. KAT	86,8			3,60						1,126	-0,784
29. KAT	89,9			3,60						1,126	-0,784
30. KAT	93,0			3,60						1,126	-0,784
31. KAT	96,1			3,60						1,126	-0,784
32. KAT	99,2			3,60						1,126	-0,784
33. KAT	102,3			3,60						1,126	-0,784
34. KAT	105,4			3,60						1,126	-0,784
KROV	108,5			3,60						1,126	-0,78

Tablica 11. Opterećenje vjetrom na površine

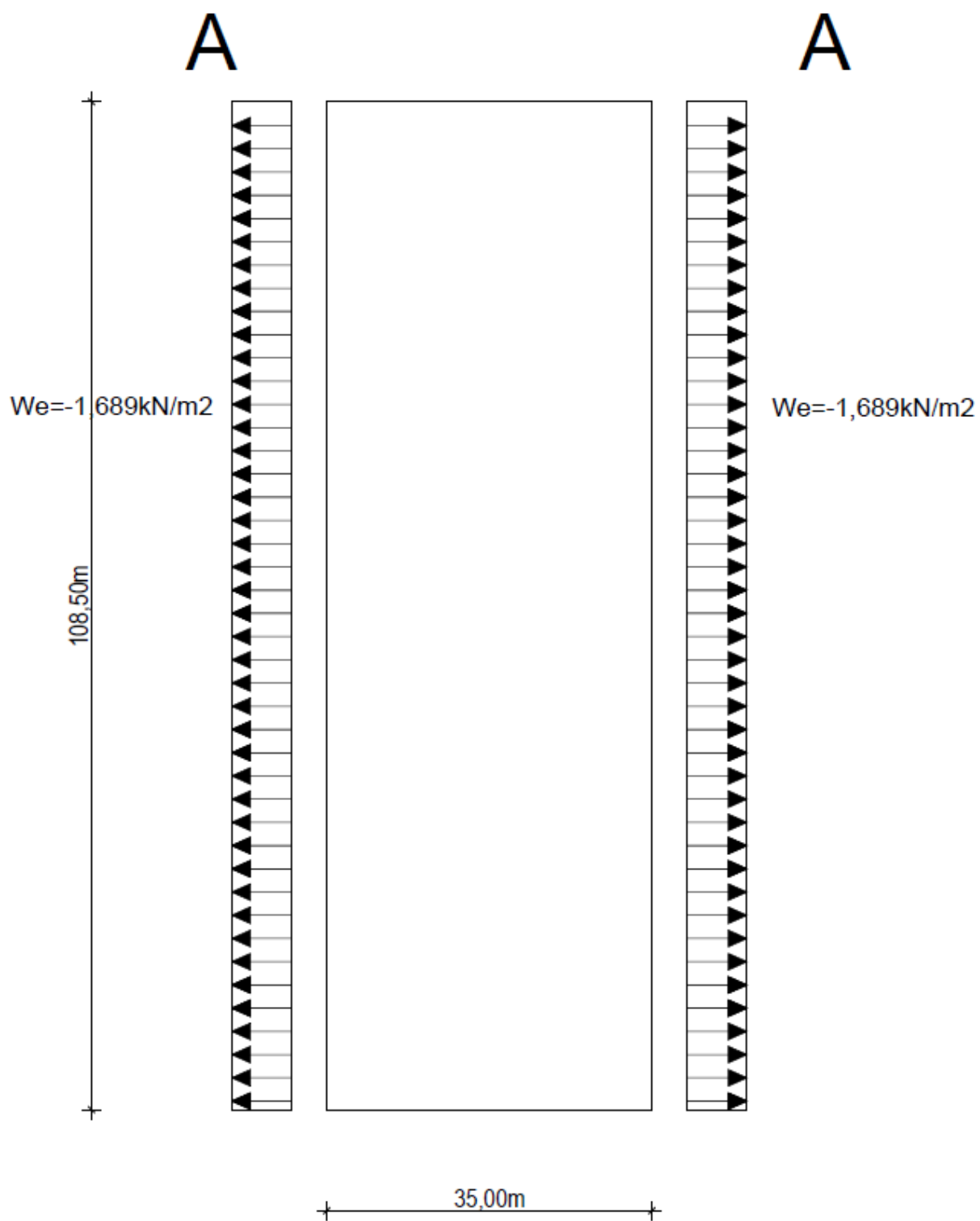
ETAŽA	VISINA PODA KATA IZNAD TLA	PODRUČJE A (područje uporedno s djelovanjem vjetra)				PODRUČJE B (područje uporedno s djelovanjem vjetra)			
		ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]	ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]
PRIZEMLJE	0		3,60		-1,689				-1,126
1. KAT	3,1		3,60		-1,689				-1,126
2. KAT	6,2		3,60		-1,689				-1,126
3. KAT	9,3		3,60		-1,689				-1,126
4. KAT	12,4		3,60		-1,689				-1,126
5. KAT	15,5		3,60		-1,689				-1,126
6. KAT	18,6		3,60		-1,689				-1,126
7. KAT	21,7		3,60		-1,689				-1,126
8. KAT	24,8		3,60		-1,689				-1,126
9. KAT	27,9	108,5	3,60	-1,2	-1,689	108,5	3,60	-0,8	-1,126
10. KAT	31,0		3,60		-1,689				-1,126
11. KAT	34,1		3,60		-1,689				-1,126
12. KAT	37,2		3,60		-1,689				-1,126
13. KAT	40,3		3,60		-1,689				-1,126
14. KAT	43,4		3,60		-1,689				-1,126
15. KAT	46,5		3,60		-1,689				-1,126
16. KAT	49,6		3,60		-1,689				-1,126
17. KAT	52,7		3,60		-1,689				-1,126
18. KAT	55,8		3,60		-1,689				-1,126
19. KAT	58,9		3,60		-1,689				-1,126
20. KAT	62,0		3,60		-1,689				-1,126
21. KAT	65,1		3,60		-1,689				-1,126
22. KAT	68,2		3,60		-1,689				-1,126
23. KAT	71,3		3,60		-1,689				-1,126
24. KAT	74,4		3,60		-1,689				-1,126
25. KAT	77,5		3,60		-1,689				-1,126
26. KAT	80,6		3,60		-1,689				-1,126
27. KAT	83,7	108,5	3,60	-1,2	-1,689	108,5	3,60	-0,8	-1,126
28. KAT	86,8		3,60		-1,689				-1,126
29. KAT	89,9		3,60		-1,689				-1,126
30. KAT	93,0		3,60		-1,689				-1,126
31. KAT	96,1		3,60		-1,689				-1,126
32. KAT	99,2		3,60		-1,689				-1,126
33. KAT	102,3		3,60		-1,689				-1,126
34. KAT	105,4		3,60		-1,689				-1,126
KROV	108,5		3,60		-1,689				-1,126

Tablica 12. Opterećenje vjetrom na površine

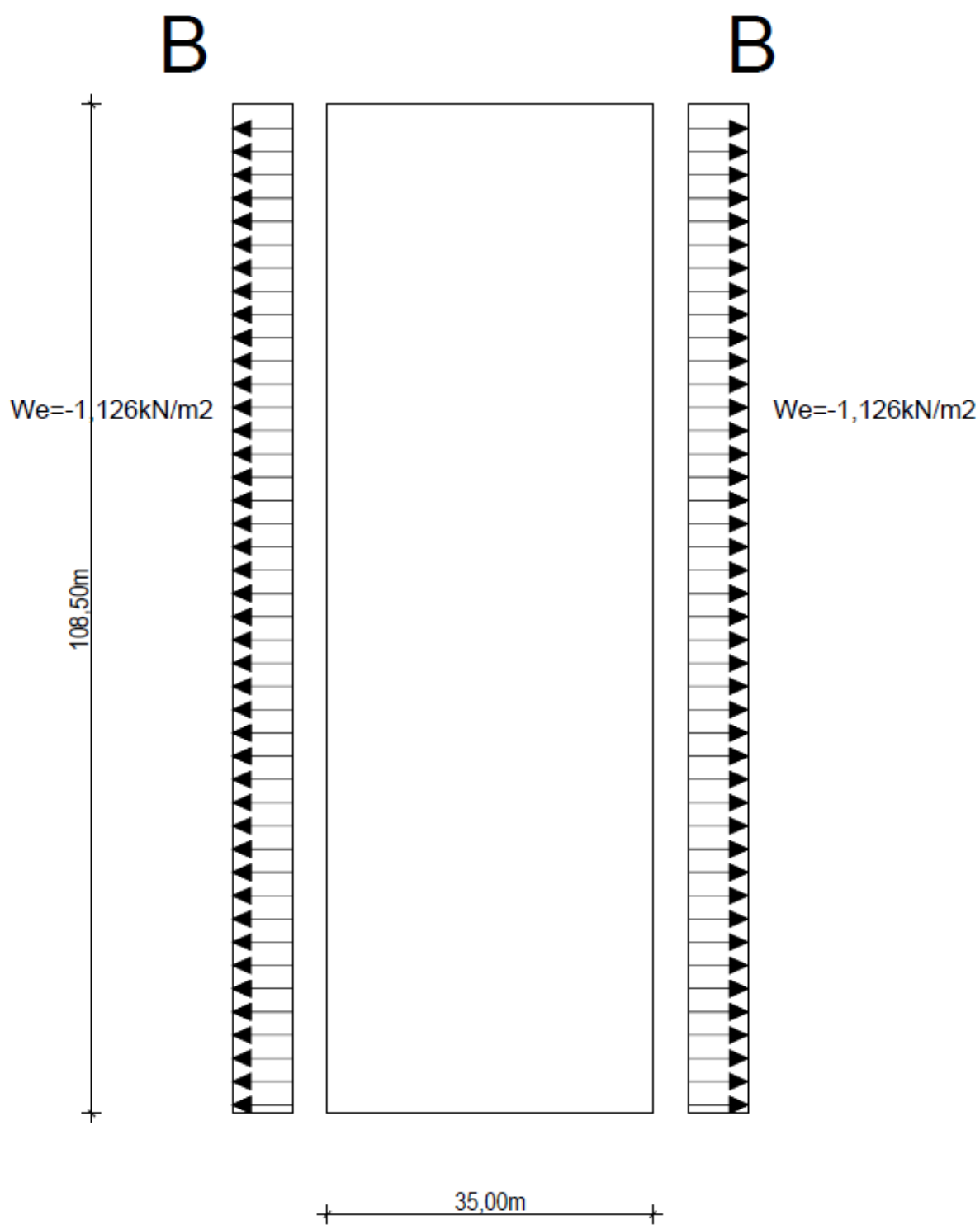
ETAŽA	VISINA PODA KATA IZNAD TLA		PODRUČJE C (područje uporedno s djelovanjem vjetra)		
	z	ze	Ce(z)	cpe	we [kN/m ²]
PRIZEMLJE	0	108,5	3,60	-0,5	-0,704
1. KAT	3,1		3,60		-0,704
2. KAT	6,2		3,60		-0,704
3. KAT	9,3		3,60		-0,704
4. KAT	12,4		3,60		-0,704
5. KAT	15,5		3,60		-0,704
6. KAT	18,6		3,60		-0,704
7. KAT	21,7		3,60		-0,704
8. KAT	24,8		3,60		-0,704
9. KAT	27,9		3,60		-0,704
10. KAT	31,0		3,60		-0,704
11. KAT	34,1		3,60		-0,704
12. KAT	37,2		3,60		-0,704
13. KAT	40,3		3,60		-0,704
14. KAT	43,4		3,60		-0,704
15. KAT	46,5		3,60		-0,704
16. KAT	49,6		3,60		-0,704
17. KAT	52,7		3,60		-0,704
18. KAT	55,8		3,60		-0,704
19. KAT	58,9	108,5	3,60	-0,5	-0,704
20. KAT	62,0		3,60		-0,704
21. KAT	65,1		3,60		-0,704
22. KAT	68,2		3,60		-0,704
23. KAT	71,3		3,60		-0,704
24. KAT	74,4		3,60		-0,704
25. KAT	77,5		3,60		-0,704
26. KAT	80,6		3,60		-0,704
27. KAT	83,7		3,60		-0,704
28. KAT	86,8		3,60		-0,704
29. KAT	89,9		3,60		-0,704
30. KAT	93,0		3,60		-0,704
31. KAT	96,1		3,60		-0,704
32. KAT	99,2		3,60		-0,704
33. KAT	102,3		3,60		-0,704
34. KAT	105,4		3,60		-0,704
KROV	108,5	3,60	-0,704		



Slika 24. Shema opterećenja vjetrom, područja D i E



Slika 25. Shema opterećenja vjetrom, područje A

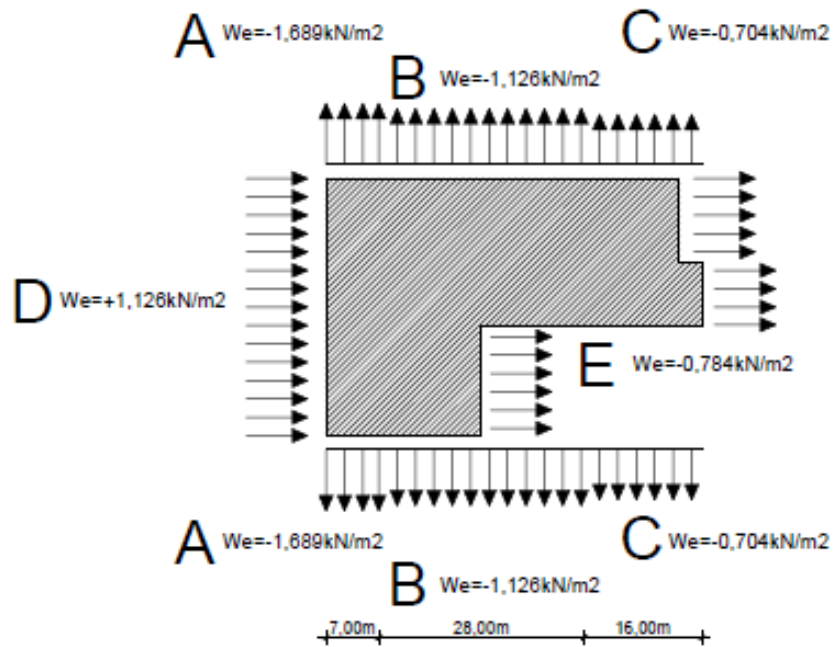


Slika 26. Shema opterećenja vjetrom, područje B



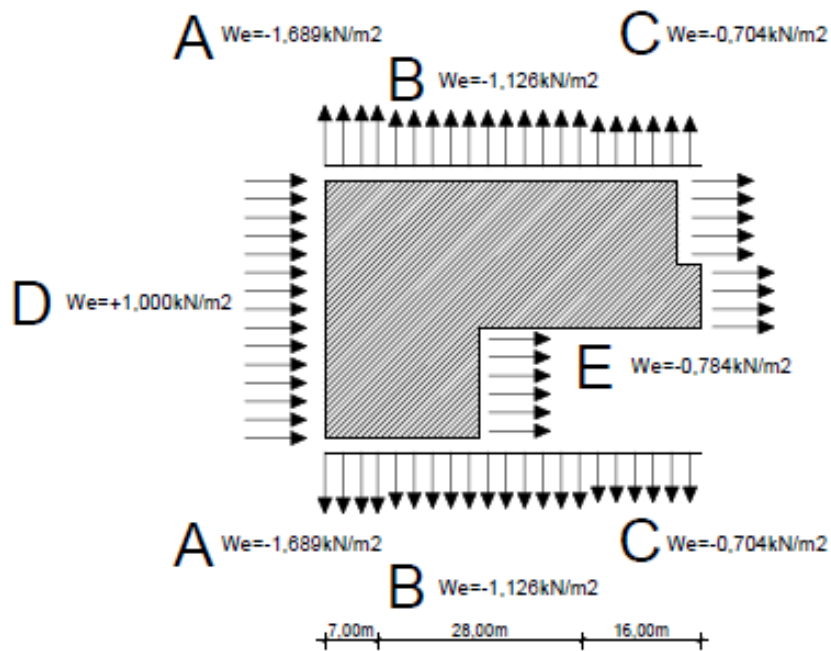
Slika 27. Shema opterećenja vjetrom, područje C

24. KAT-KROV



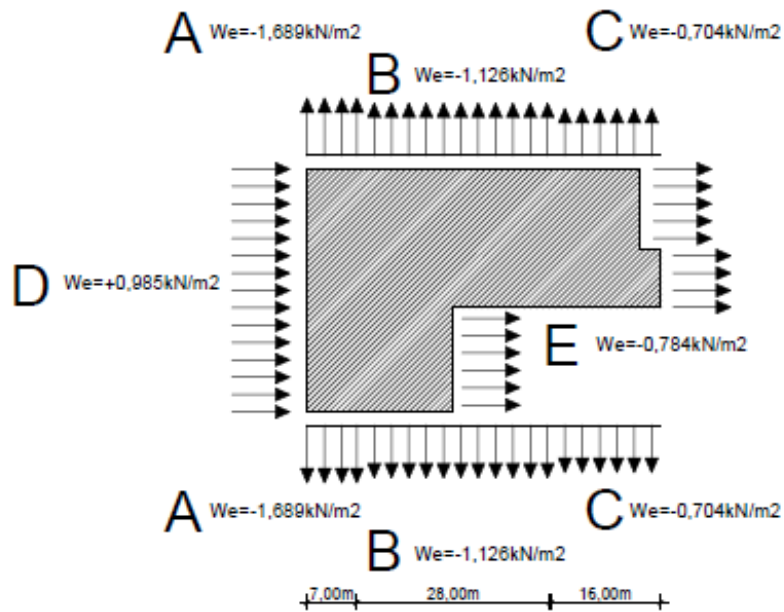
Slika 28. Shema opterećenja vjetrom, od 24. kata do krova

23. KAT



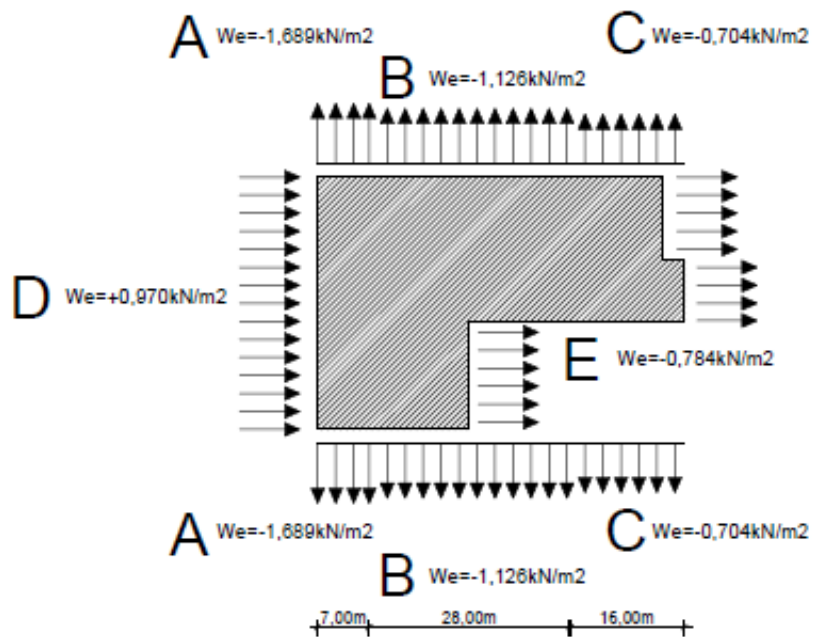
Slika 29. Shema opterećenja vjetrom, 23. kat

22. KAT



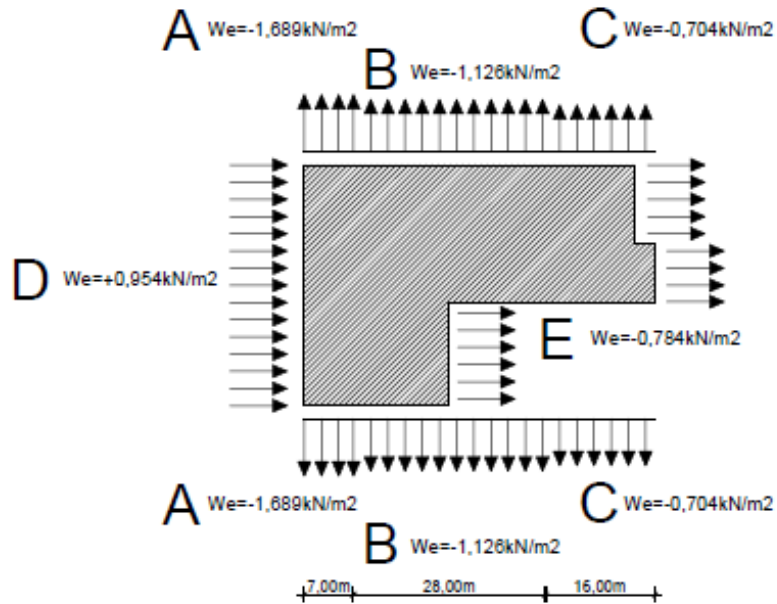
Slika 30. Shema opterećenja vjetrom, 22. kat

21. KAT



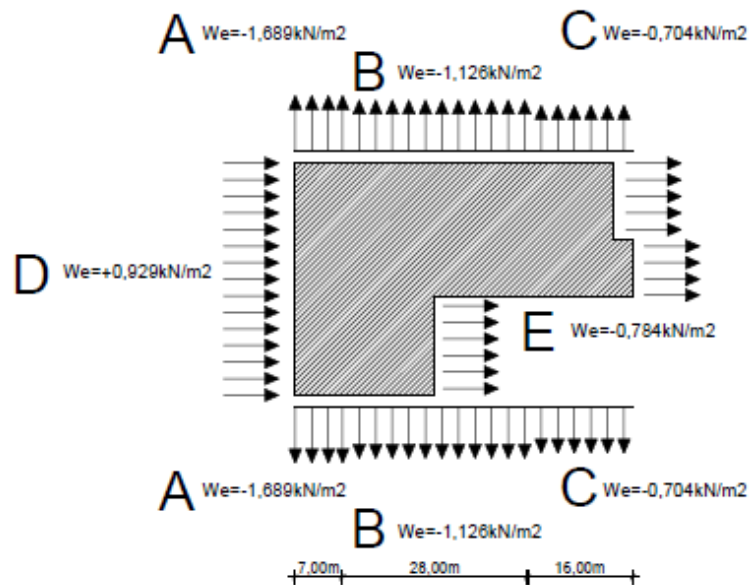
Slika 31. Shema opterećenja vjetrom, 21. kat

20. KAT



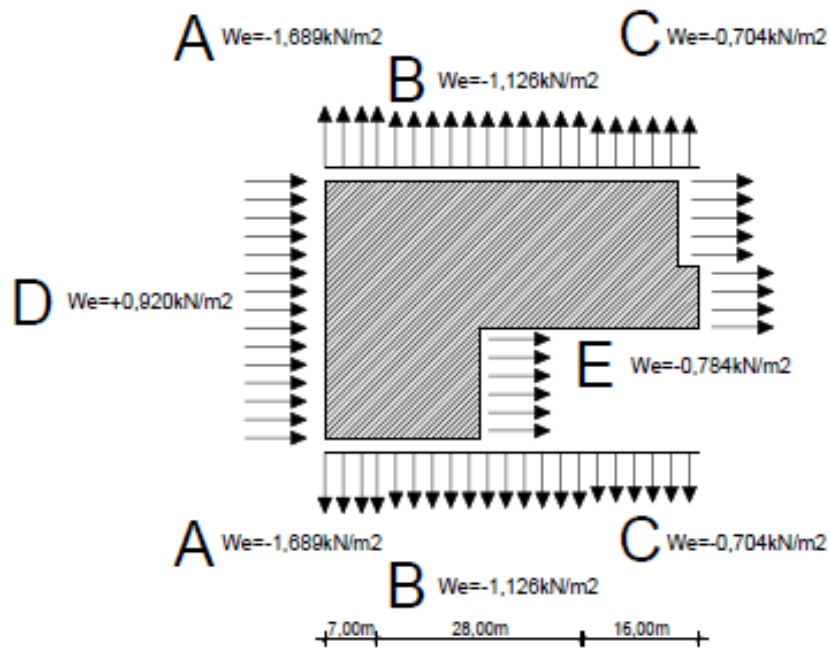
Slika 32. Shema opterećenja vjetrom, 20. kat

19. KAT



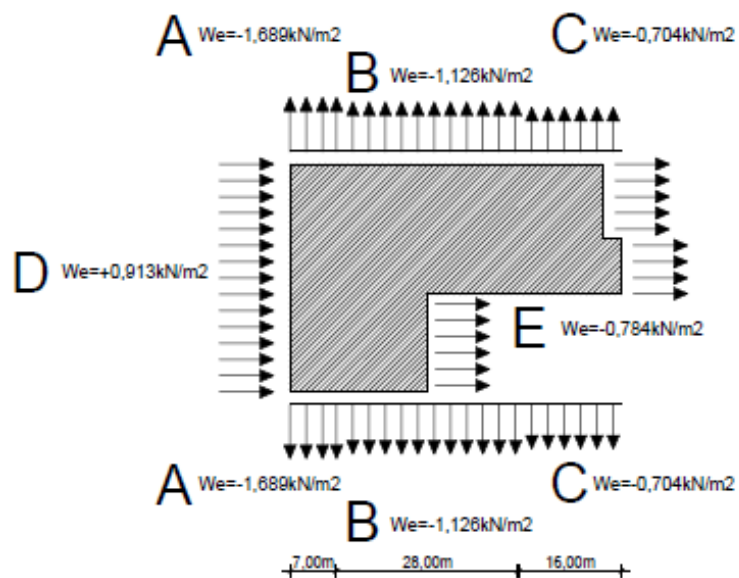
Slika 33. Shema opterećenja vjetrom, 19. kat

18. KAT



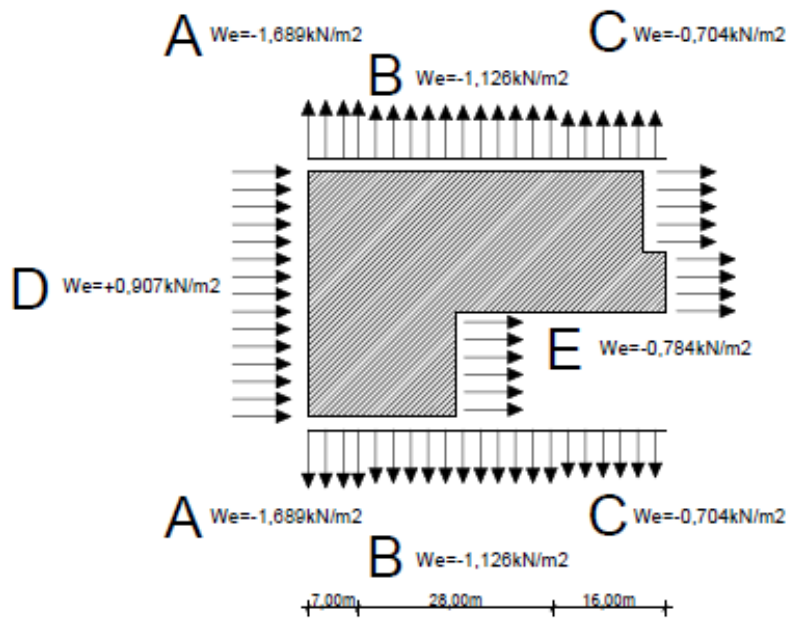
Slika 34. Shema opterećenja vjetrom, 18. kat

17. KAT



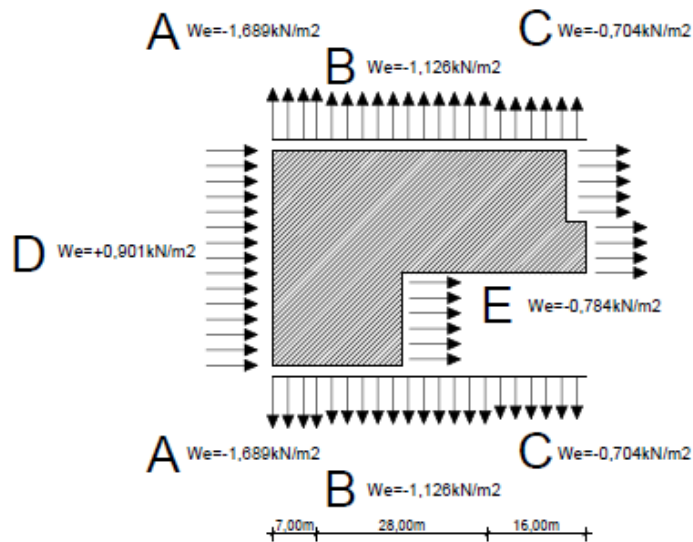
Slika 35. Shema opterećenja vjetrom, 17. kat

16. KAT



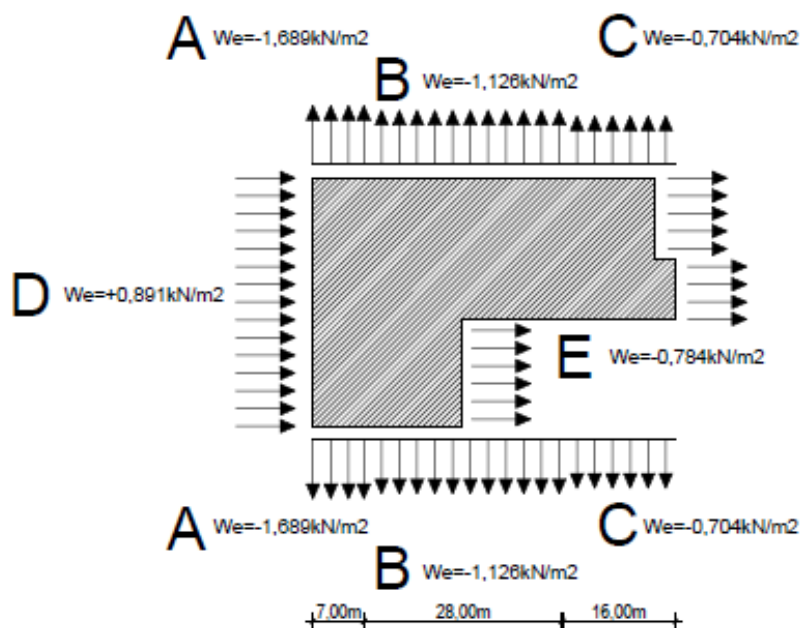
Slika 36. Shema opterećenja vjetrom, 16. kat

15. KAT



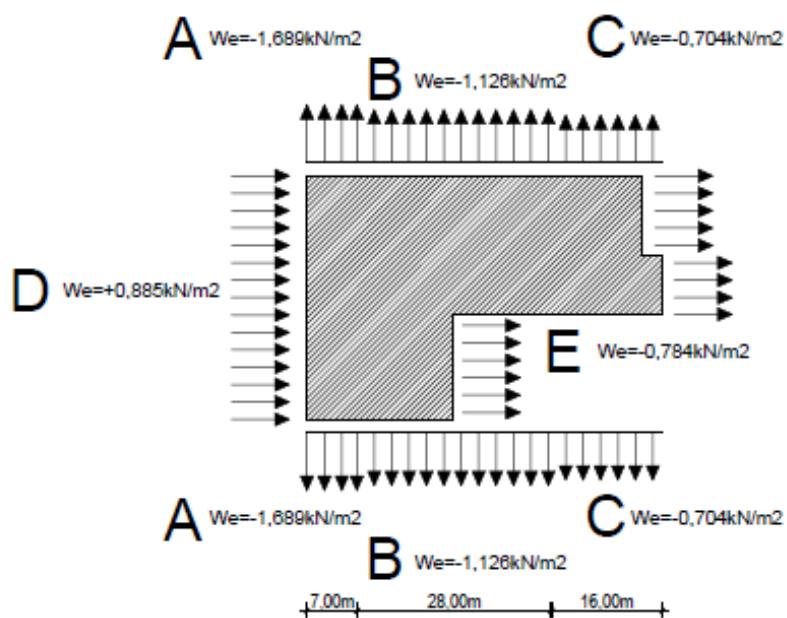
Slika 37. Shema opterećenja vjetrom, 15. kat

14. KAT



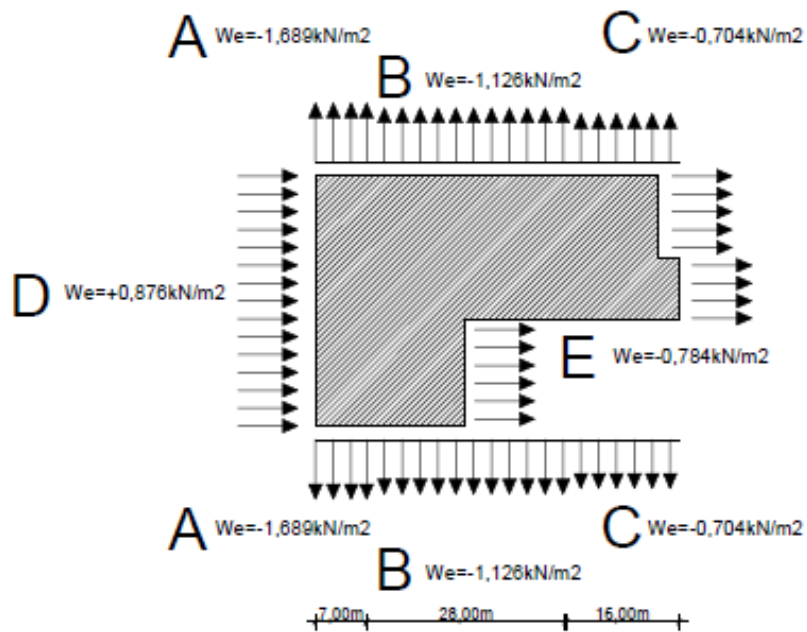
Slika 38. Shema opterećenja vjetrom, 14. kat

13. KAT



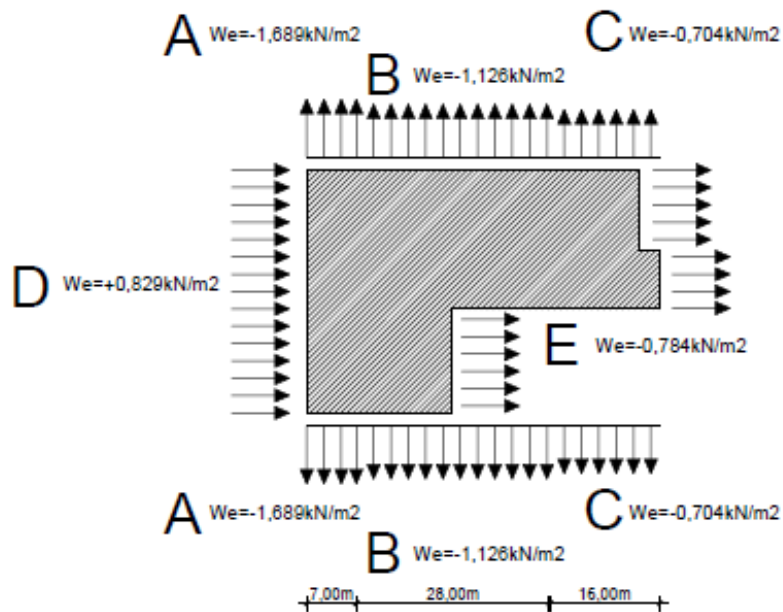
Slika 39. Shema opterećenja vjetrom, 13. kat

12. KAT



Slika 40. Shema opterećenja vjetrom, 12. kat

PRIZEMLJE - 11. KAT

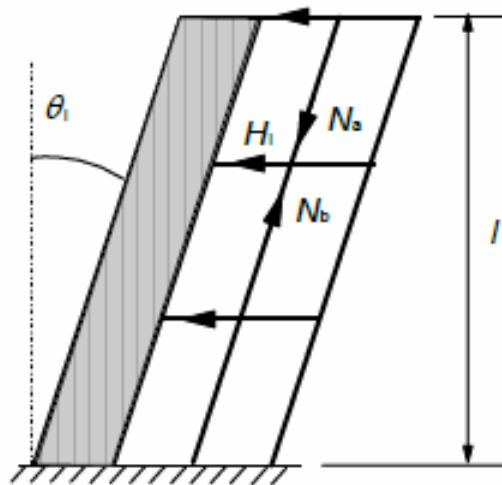


Slika 41. Shema opterećenja vjetrom, od prizemlja do 11. kata

4.1.5. Horizontalno opterećenje uslijed imperfekcija na zidove

Geometrijske nesavršenosti se uzimaju u obzir zbog nepovoljnih učinaka mogućih otklona od geometrijskih odnosa u konstrukciji i položaja opterećenja. Razmatraju se samo u proračunu graničnog stanja nosivosti za stalne i prolazne proračunske situacije.

Geometrijske imperfekcije određene su prema normi [21] i prikazane su nagibom zidova u odnosu na vertikalu za vrijednost θ_i . Usvaja se $\theta_0 = \frac{1}{200}$ za osnovnu vrijednost.



Slika 42. Utjecaj geometrijskih imperfekcija na konstrukciju [21]

Globalna geometrijska imperfekcija:

$$\theta_i = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

gdje su:

θ_0 – osnovna vrijednost

α_h – faktor smanjenja za duljinu ili visinu: $\alpha_h = \frac{1}{\sqrt{l}}$; $\frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1$

α_m – faktor smanjenja za broj elemenata: $\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$

m – broj vertikalnih elemenata koji doprinose ukupnom učinku

Horizontalna sila uslijed imperfekcija:

$$\Delta g_j = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ij} \cdot \theta_i}{A_j}$$

gdje su:

$\sum_{i=1}^n V_{ij}$ – zbroj svih vertikalnih sila etaže

θ_i – globalna geometrijska imperfekcija

A_j – površina etaže

Izračun globalne geometrijske imperfekcije etaža θ_e :

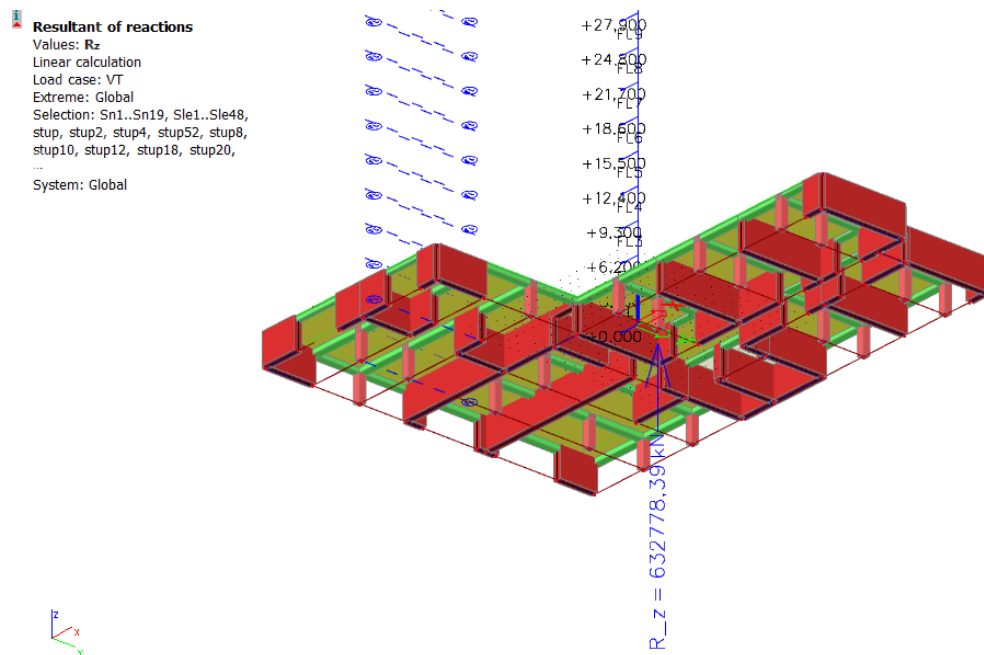
$$\theta_0 = \frac{1}{200} = 0,005$$

$$\alpha_h = \frac{1}{\sqrt{l}}; \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1 \rightarrow \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{108,5}} = 0,192 < \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_h = 0,667$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{55}\right)} = 0,714$$

$m = 55$ – broj elemenata (jezgra + stupovi + zidovi)

$$\theta_e = \theta_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m = 0,005 \cdot 0,667 \cdot 0,714 = 0,00238$$



Slika 43. Reakcija vertikalnih sila na etaži

Suma vertikalnih sila na etaži: $\sum_{i=1}^n V_{01-35} = 632778,39 \text{ kN}$

Za etaže 01-35:

$$\Delta g_{01-35} = \frac{\sum_{i=1}^n V_{01-35} \cdot \theta_i}{A_{01-35}} = \frac{632778,39 \cdot 0,00238}{1300,50} = 1,16 \text{ kN/m}^2$$

4.1.6. Seizmičko opterećenje

4.1.6.1. Spektar odziva

Određeno je vršno horizontalno ubrzanje tla na lokaciji konstrukcije (Zagreb). Horizontalno vršno ubrzanje tla a_{gR} usvaja se iz seizmičke karte Republike Hrvatske koja je dio nacionalnog dodatka [24] i dostupna na web stranici [7].



Slika 44. Vršna ubrzanja tla a_{gR} za grad Zagreb [7]

U proračunu se koristi ubrzanje tla $a_{gR} = 0,128g$ za povratni period od 95 godina, te ubrzanje tla $a_{gR} = 0,255g$ za povratni period od 475 godina.

Građevinu je potrebno svrstati u razred važnosti ovisno o posljedicama rušenja na živote ljudi, njihove važnosti za javnu sigurnost i civilnu zaštitu u razdoblju neposredno nakon potresa i društvenih i ekonomskih posljedica rušenja.

Razred važnosti za zgrade prema tablici norme [23]:

Tablica 13. Razred važnosti zgrade [23]

Razred važnosti	Zgrade
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost, npr. poljoprivredne zgrade itd.
II	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama
III	Zgrade čija je potresna otpornost važna s obzirom na posljedice vezane s rušenjem, npr. škole, dvorane za skupove, kulturne institucije itd.
IV	Zgrade čija je cjelovitost tijekom potresa od životne važnosti za civilnu zaštitu, npr. bolnice, vatrogasne postaje, energane itd.

Odabran je razred važnosti II.

Horizontalna komponenta proračunskog spektra odziva $S_d(T)$ prema normi [23]:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B : S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) &= a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \\
 T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) &\left\{ \begin{aligned} &= a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot a_g \\ &\geq 0,2 \cdot 1,49 = 0,298 \end{aligned} \right. \\
 T_D \leq T : S_d(T) &\left\{ \begin{aligned} &= a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot a_g \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

Slika 45. Horizontalne komponente proračunskog spektra odziva $S_d(T)$ [23]

gdje su:

T_B – donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

T_C – gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja

T_D – vrijednost period koja je definirana u spektru pomaka

S – faktor tla

β – faktor donje granice za proračunski spektar sa preporučenom vrijednosti od 0,2

$S_D(T)$ – ordinata spektra odgovora u jedinici ubrzanja tla

T – osnovni period osciliranja linearnog sustava

q – faktor ponašanja

Lokacijom je određena kategorija tla B (naslage vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili tvrde gline, najmanje dubine nekoliko desetaka metara s postupnim povećanjem mehaničkih karakteristika tih materijala s dubinom.) kojom se odabiru vrijednosti parametara koji opisuju elastični spektar odziva prema tablici norme [23]:

Tablica 14. Kategorije tla i pripadni parametri [23]

Kategorija tla	S	T_B	T_C	T_D
A	1	0,15	0,40	2
B	1,2	0,15	0,50	2
C	1,15	0,20	0,60	2
D	1,35	0,20	0,80	2
E	1,4	0,15	0,50	2

4.1.6.2. Faktor ponašanja

Potresno djelovanje najčešće se prikazuje spektrom odziva elastičnog sustava s 5% prigušenja. Takav spektar omogućuje jednostavan način objedinjenja maksimalnih veličina (pomaka, brzine i ubrzanja) za pripadnu komponentu tla.

Faktorom ponašanja "q" reducira se elastični spektar odziva čime se izbjegava neelastična dinamička analiza, tj. sposobnost konstrukcije da potroši energiju svojim duktilnim ponašanjem.

Faktor ponašanja $q = q_0 \cdot k_w \geq 1,5$ ovisi o tipu konstruktivnog sustava zgrade s osnovnom vrijednosti q_0 koja se određuje prema tablici norme [23]:

Tablica 15. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 ovisno o tipu konstrukcije

Tip konstrukcije	DCM razred srednje duktilnosti	DCH razred visoke duktilnosti
Okvirni sustav, dvojni sustav, sa povezanim zidovima	3,0 α_u / α_1	4,5 α_u / α_1
Sustav sa nepovezanim zidovima	3,0	4,0 α_u / α_1
Torzijski fleksibilan sustav	2,0	3,0
Sustav obrnutog klatna	1,5	2,0

gdje su:

α_1 - vrijednost s kojom se horizontalno seizmičko djelovanje množi kako bi se dostigla otpornost na savijanje u bilo kojem elementu konstrukcije, pri čemu sva ostala proračunska djelovanja ostaju konstantna

α_u - vrijednost s kojom se horizontalno seizmičko djelovanje množi za otvaranje plastičnih zglobova u dovoljnom broju presjeka za razvoj nestabilnosti cjelokupne konstrukcije, pri čemu sva ostala proračunska djelovanja ostaju konstantna (pushover metoda)

k_w – faktor prevladavajućeg oblika sloma, ovisan o visini i duljini povezanih zidova

Osnovna vrijednost faktora ponašanja za DCM je $q_0 = 3,0$.

Faktor prevladavajućeg oblika sloma k_w :

$0,5 \leq k_w = \frac{1+\alpha_0}{3} \leq 1,0$ – zidani sustavi, sustavi istovrijedni zidnim i torzijski fleksibilnim sustavima

gdje je:

$\alpha_0 = \frac{\Sigma h_{wi}}{\Sigma l_{wi}}$ – odnos ukupnih visina i duljina zidova konstrukcijskog sustava

Izračun ukupnih visina h_{wi} i duljina l_{wi} zidova konstrukcijskog sustava:

$h_{wi} = 108,50$ m; $\Sigma h_{wi} = 36 \cdot 108,50 = 3906$ m

$\Sigma l_{wi} = 220,50$ m

Izračun odnosa ukupnih visina i duljina zidova:

$$\alpha_0 = \frac{\Sigma h_{wi}}{\Sigma l_{wi}} = \frac{3906}{220,50} = 17,71$$

Izračun faktor prevladavajućeg oblika sloma k_w :

$$0,5 \leq k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} \leq 1,0$$

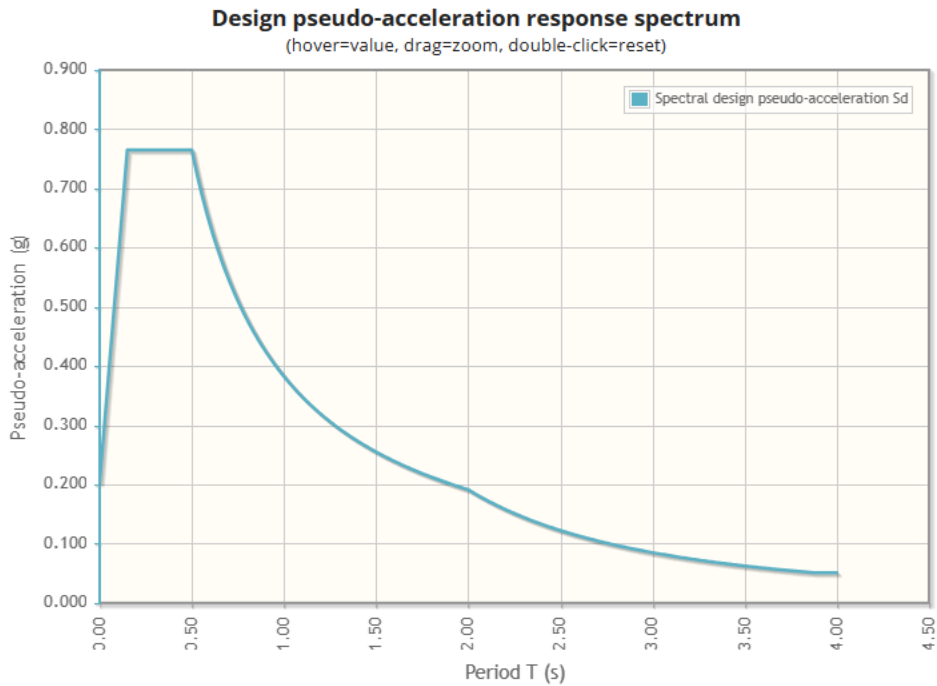
$$0,5 \leq k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} = \frac{1 + 17,71}{3} = 6,24 > 1,0 \rightarrow k_w = 1,0$$

Izračun faktora ponašanja q :

$$q = q_0 \cdot k_w = 3,0 \cdot 1,0 = 3,0 \geq 1,5$$

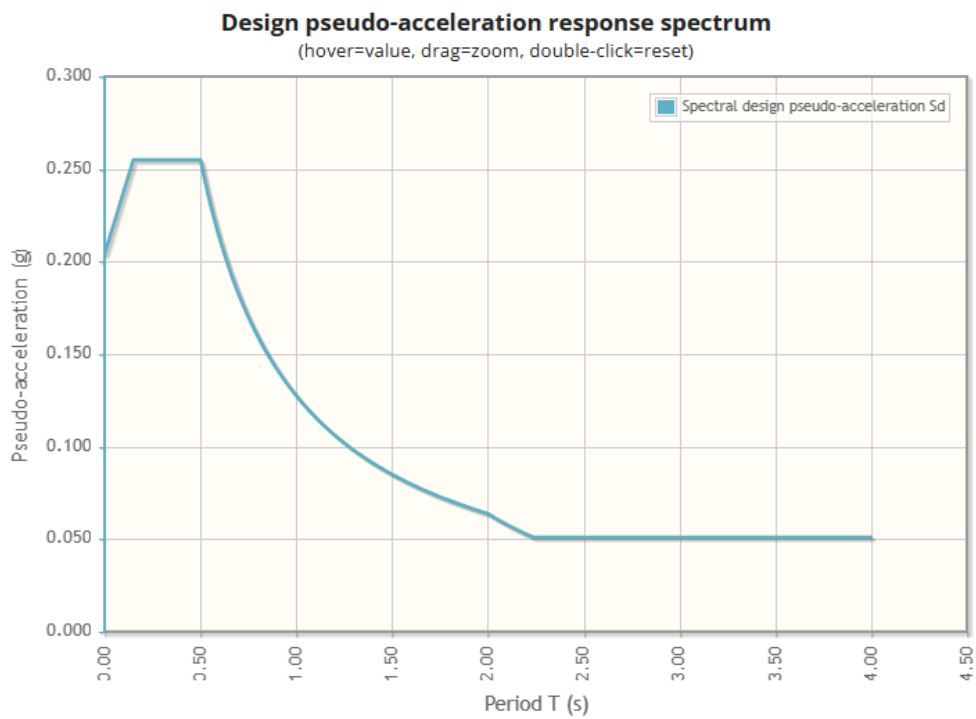
Vrijednosti spektra odziva su zadane modalnom analizom u software-u SCIA Engineer 22.1 [25]. Definirane su vrijednosti faktora ponašanja, masa i spektra odziva.

Elastični spektar odziva za povratni period od 475 godina:



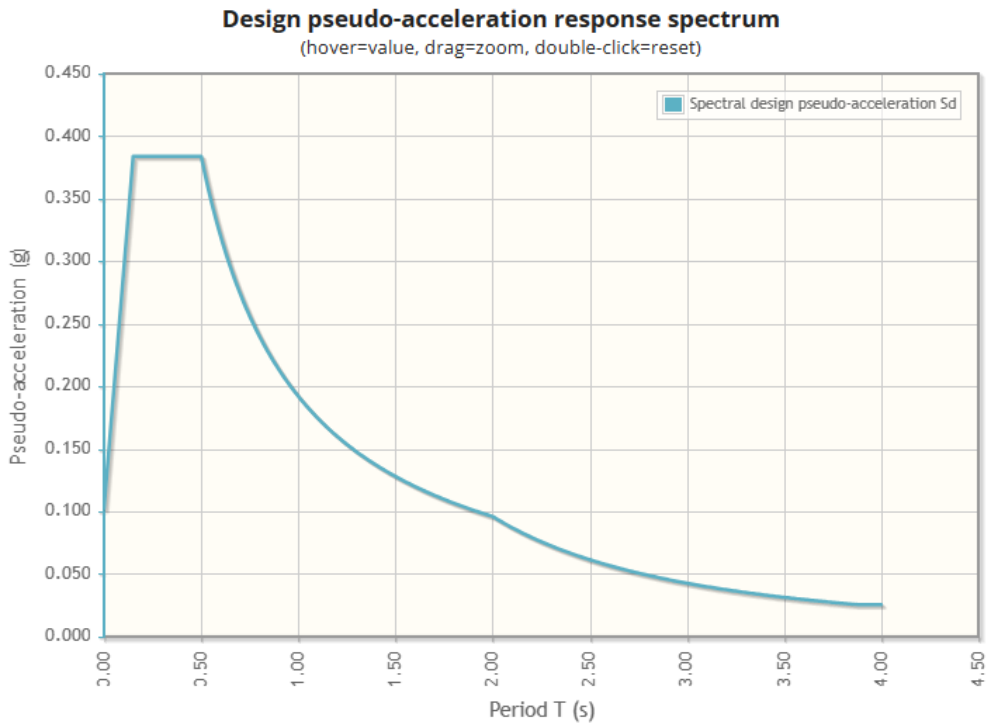
Slika 46. Elastični spektar odziva za povratni period od 475 godina

Proračunski spektar odziva za povratni period od 475 godina:



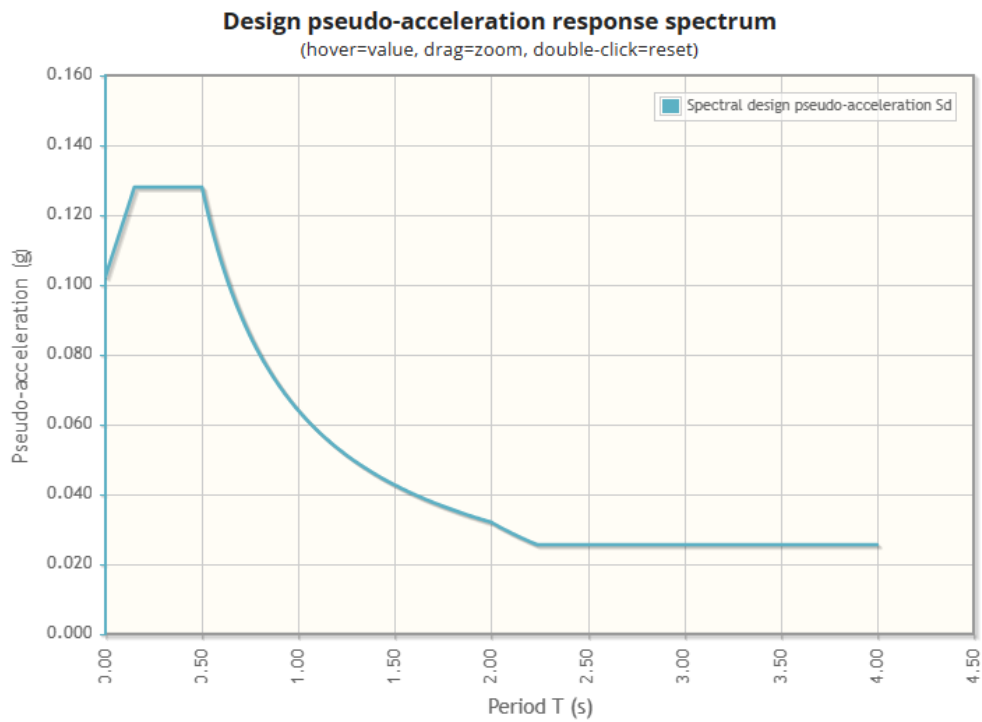
Slika 47. Proračunski spektar odziva za povratni period od 475 godina

Elastični spektar odziva za povratni period od 95 godina:



Slika 48. Elastični spektar odziva za povratni period od 95 godina

Proračunski spektar odziva za povratni period od 95 godina:



Slika 49. Proračunski spektar odziva za povratni period od 95 godina

4.1.7. Slučajni torzijski učinci

Nesigurnost položaja masa i prostorne primjene potresnog djelovanja pomaknuto je iz središta masa svakog stropa i za svaki smjer za ekscentričnost od 5% prema normi [23]:

$$e_{ai} = \pm 0,05 \cdot L_i$$

gdje su:

e_{ai} – slučajna ekscentričnost mase i od početnog položaja masa svake etaže

L_i – dimenzija stropa okomito na smjer potresnog djelovanja

Ekscentričnost potresnog djelovanja od 5% je uzeta u software-u čime su formirani dodatni slučajevi opterećenja koji ih obuhvaćaju.

4.1.8. Kombinacije djelovanja

Kombinacije djelovanja su definirane u normi [13] za granična stanja nosivosti i uporabljivosti kojima se dimenzioniraju elementi konstrukcije. Vrijednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti i koeficijenata kombinacije su definirane u nacionalnom dodatku [14].

Parcijalni koeficijenti sigurnosti za stalne i prolazne proračunske situacije GSN-a iznose $\gamma_G = 1,35$ za stalno i $\gamma_Q = 1,5$ za promjenjivo djelovanje. Vrijednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti za GSU uzeta su s $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$.

Koeficijenti kombinacije usvajaju se prema sljedećoj tablici norme [13]:

Tablica 16. Koeficijenti kombinacije

Djelovanje	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Uporabna opterećenja u zgradama kategorije (vidjeti normu EN 1991-1-1):			
Kategorija A: kuće, stambene zgrade	0,7	0,5	0,3
Kategorija B: uredi	0,7	0,5	0,3
Kategorija C: područja za skupove	0,7	0,7	0,6
Kategorija D: trgovine	0,7	0,7	0,6
Kategorija E: skladišta	1,0	0,9	0,8
Kategorija F: prometna područja, težina vozila ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorija G: prometna područja, 30 kN \leq težina vozila ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorija H: krovovi	0	0	0
Opterećenja snijegom u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-3)*:			
– Finska, Island, Norveška, Švedska	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H > 1000$ m n.m.	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H \leq 1000$ m n.m.	0,50	0,20	0
Opterećenja vjetrom na zgrade (vidjeti normu EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (osim požara) u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NAPOMENA: Vrijednosti ψ mogu se odrediti u nacionalnom dodatku. * Za države koje nisu navedene, vidjeti odgovarajuće mjesne uvjete.			

4.1.8.1. Kombinacije graničnog stanja nosivosti (GSN)

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$E_d \leq R_d$$

gdje su:

E_d – proračunska vrijednost učinaka djelovanja kao što su unutarnje sile, moment ili vektor koji predstavlja više unutarnjih sila i momenata

R_d – proračunska vrijednost odgovarajuće otpornosti

Kombinacija djelovanja za stalne i prolazne proračunske situacije:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kombinacija djelovanja za potresne proračunske situacije:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_{Ed} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

gdje su:

$\gamma_{G,j}$ – parcijalni koeficijent za stalno djelovanje „j“

$G_{k,j}$ – karakteristična vrijednost stalnog djelovanja „j“

γ_P – parcijalni koeficijent za djelovanja prednapinjanja

P – odgovarajuća reprezentativna vrijednost prednapinjanja

$\gamma_{Q,1}$ - parcijalni koeficijent za prevladavajuće promjenjivo djelovanje „1“

$Q_{k,1}$ – karakteristična vrijednost prevladavajućega promjenjivog djelovanja „1“

$\gamma_{Q,i}$ - parcijalni koeficijent za promjenjivo djelovanje „i“

$\psi_{0,i}$ – faktor za kombinacijsku vrijednost promjenjivog djelovanja „i“

$Q_{k,i}$ – karakteristična vrijednost pratećega promjenjivog djelovanja „i“

A_{Ed} – proračunska vrijednost potresnog djelovanja $A_{Ed} = \gamma_I \cdot A_{EK}$

$\psi_{2,i}$ – faktor za nazovistalnu vrijednost promjenjivoga djelovanja „i“

4.1.8.2. Kombinacije graničnog stanja uporabljivosti (GSU)

Potrebno je zadovoljiti:

$$E_d \leq C_d$$

gdje su:

E_d – proračunska vrijednost učinaka djelovanja specificiranih u kriteriju uporabljivosti, određena na osnovi odgovarajuće kombinacije

C_d – granična proračunska vrijednost odgovarajućeg kriterija uporabljivosti

Karakteristična kombinacija:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "Q_{k,1}" + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Česta kombinacija:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + "\psi_{1,1} \cdot Q_{k,1}" + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Nazovistalna kombinacija:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + "P" + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

gdje su:

$G_{k,j}$ - karakteristična vrijednost stalnog djelovanja „j“

P - odgovarajuća reprezentativna vrijednost prednapinjanja

$Q_{k,1}$ - karakteristična vrijednost prevladavajućega promjenjivog djelovanja „1“

$\psi_{0,i}$ - faktor za kombinacijsku vrijednost promjenjivog djelovanja i

$Q_{k,i}$ - karakteristična vrijednost pratećega promjenjivog djelovanja „i“

$\psi_{1,1}$ – faktor za čestu nazovistalnu vrijednost prevladavajućega promjenjivoga djelovanja „1“

$\psi_{2,i}$ - faktor za nazovistalnu vrijednost promjenjivoga djelovanja „i“

4.2. Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun

4.2.1. Prostorna stabilnost i krutost konstrukcije

4.2.1.1. Stabilnost na bočni pomak

Odabirom 4 različitih kombinacija djelovanja provodi se provjera koeficijenta stabilnosti α_{cr} . Učinke drugog reda potrebno je razmotriti ukoliko povećavaju učinke djelovanja ili uzrokuju promjenu ponašanja konstrukcije. Koeficijent stabilnosti α_{cr} upravo povećava proračunsko djelovanje tako da prouzroči elastičnu nestabilnost.

Konstrukcija se proračunava po teoriji prvog reda ukoliko je kritični koeficijent $\alpha_{cr} \geq 10,0$.

Kritični koeficijent α_{cr} uzima se iz norme HRN EN 1993-1-1:2014:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10,0 \text{ – za elastičnu analizu}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15,0 \text{ – za plastičnu analizu}$$

gdje su:

α_{cr} – faktor elastičnog kritičnog opterećenja

F_{cr} – elastično kritično opterećenje koje proizvodi instabilitet uslijed bočne pomičnosti

F_{Ed} – ukupno proračunsko opterećenje koje djeluje na konstrukciju

Kombinacije korištene pri provjeri stabilnosti:

Tablica 17. Kombinacije djelovanja za provjeru stabilnosti

Name	Load cases	Coeff. [-]
Stabilnost 1	DS - dodatno stalno	1,350
	Q - uporabno etaže	1,500
	VT - vlastita težina	1,350
	S - Snijeg	0,750
	Vjetar X - Vjetar X	0,900
	Q1 - Uporabno krov	1,500
Stabilnost 2	DS - dodatno stalno	1,350
	Q - uporabno etaže	1,500
	VT - vlastita težina	1,350
	S - Snijeg	0,750
	Vjetar Y - Vjetar Y	0,900
	Q1 - Uporabno krov	1,500
Stabilnost 3	DS - dodatno stalno	1,350
	Q - uporabno etaže	0,750
	VT - vlastita težina	1,350
	S - Snijeg	0,750
	Vjetar X - Vjetar X	1,500
	Q1 - Uporabno krov	0,750
Stabilnost 4	DS - dodatno stalno	1,350
	Q - uporabno etaže	0,750
	VT - vlastita težina	1,350
	S - Snijeg	0,750
	Vjetar Y - Vjetar Y	1,500
	Q1 - Uporabno krov	0,750

Vrijednosti faktora elastičnog kritičnog opterećenja određene u software-u SCIA Engineer 22.1 [25]:

Tablica 18. Faktori elastičnog kritičnog opterećenja α_{cr} dobiveni iz kombinacija stabilnosti

2. Critical load coefficients

N	F
Linear stability combination : Stabilnost 1	
1	23,06
2	38,35
Linear stability combination : Stabilnost 2	
1	23,04
2	38,27
Linear stability combination : Stabilnost 3	
1	25,06
2	41,44
Linear stability combination : Stabilnost 4	
1	25,03
2	41,30

Budući da su sve vrijednosti $\alpha_{cr} > 10$, proračun će se provoditi po teoriji prvog reda.

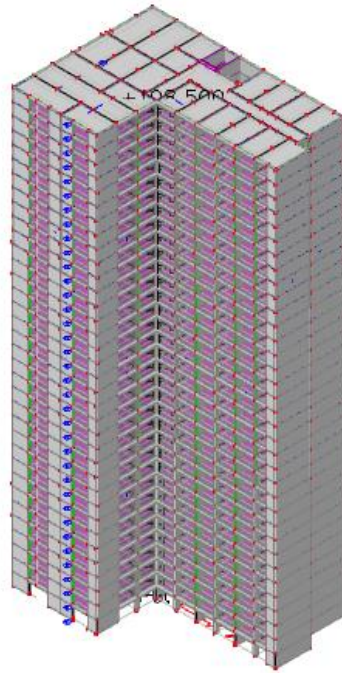
4.2.2. Računalni model konstrukcije

Računalni model izrađen je u software-u SCIA Engineer 22.1 [25]. Svi glavni elementi su definirani klasom betona C30/37. Modul elastičnosti betona reduciran je na 50% početne vrijednosti čime se uzima u obzir moguće raspucavanje i gubitak krutosti pri potresu prema normi [23].

AB jezgra i ostatak posmičnih zidova su debljine 80,0 cm u nižim etažama, a prema gore se debljina smanjuje na 60,0 cm, pa na 40,0 cm. Formirani su otvori unutar određenih zidova naredbom „Opening on 2D“. Zidni elementi uneseni su naredbom „Wall“.

Međukatne konstrukcije definirane su naredbom „Plate“ konstantne debljine 20,0 cm prema podlogama unesenim iz software-a AutoCAD. Ploče imaju pravokutne otvore na mjestu dizala i stubišta. Zglobno su povezane na zidove.

Temelj je formiran kao upeti ležaj ispod zidova i stupova s „Fixed“ ležajevima.

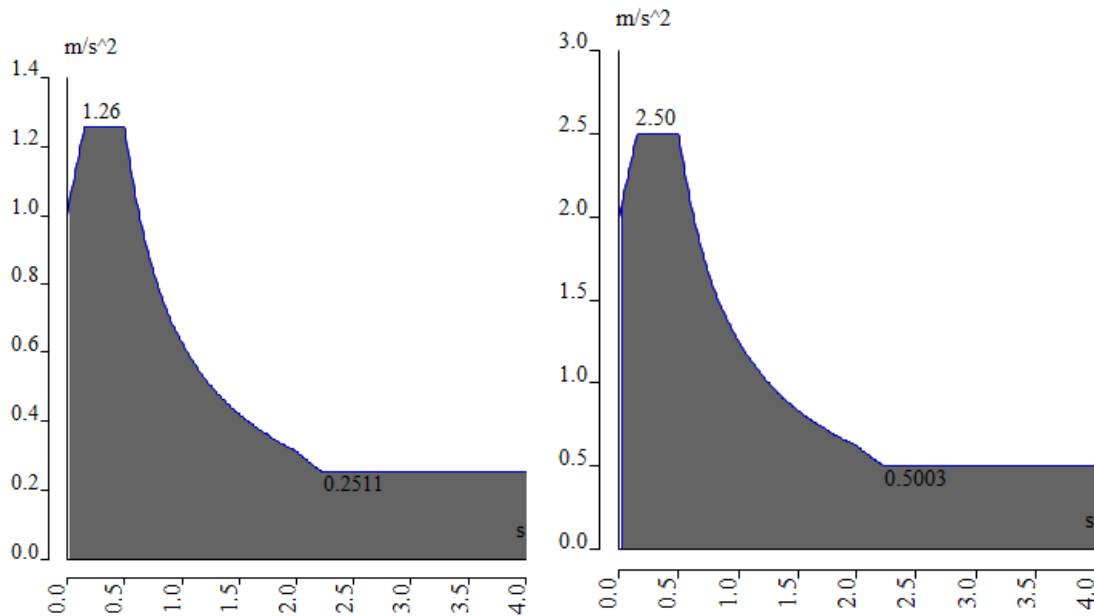


Slika 50. Model zgrade iz software-a SCIA Engineer 22.1

4.2.3. Statički i dinamički proračun konstrukcije

Vlastita težina konstrukcije izračunata je u samom software-u. Pored vlastite težine, ostala vertikalna djelovanja su dodatno stalno, uporabno i snježno opterećenje. Dodatno stalno djelovanje obuhvaća slojeve poda, instalacije, fasadu, spuštenu strop na svim etažama osim na krovnoj. Krovna ploča je opterećena instalacijama i pokrovom. Opterećenje dvokrakog stubišta zadano je vlastitom težinom ploče i podesta na koje je nanoseno dodatno djelovanje stuba. Uporabno opterećenje zadano je plošno na sve međukatne konstrukcije i stubište iz analize djelovanja.

Horizontalna djelovanja koja djeluju na konstrukciju su vjetar, imperfekcija, te seizmičko djelovanje. Djelovanje vjetra definirano je plošno na vanjsku ovojnicu u dva razmatrana smjera. Imperfekcija je definirana za dva smjera kao plošno djelovanje na vanjsku ovojnicu. Seizmičko djelovanje definirano je za smjerove X i Y za povratna razdoblja od 95 i 475 godina. Uzeti su u obzir i slučajni torzijski učinci od 5%. Proračunski spektri djelovanja (za period od 475 i 95 godina) primijenjeni su za kategoriju tla B s pripadnim faktorom ponašanja $q=3,0$. Za svaki glavni smjer potresnog djelovanja uzeto je s 30% vrijednosti potresno djelovanje iz drugog smjera uz 5 % prigušenja.



Slika 51. Proračunski spektri odziva za povratne periode od 95 i 475 godina iz software-a SCIA Engineer 22.1

coeff accel. ag	0,128	coeff accel. ag	0,255
ag - design acceleration [m/s...	1,256	ag - design acceleration [m/s...	2,502
q - behaviour factor	3,000	q - behaviour factor	3,000
beta	0,200	beta	0,200
S, Tb, Tc, Td manually?	No	S, Tb, Tc, Td manually?	No
Subsoil type	B	Subsoil type	B
Spectrum type	type 1	Spectrum type	type 1
Direction	Horizontal	Direction	Horizontal
Direction factor	1	Direction factor	1
S - soil factor	1,200	S - soil factor	1,200
Tb	0,150	Tb	0,150
Tc	0,500	Tc	0,500
Td	2,000	Td	2,000
Note	NA not supported	Note	NA not supported

Slika 52. Postavke spektra odziva za povratne periode od 95 i 475 godina iz software-a SCIA Engineer 22.1

Proračunski spektri za 95 i 475 godina identični su za oba smjera djelovanja.

Period titranja proračunavamo u software-u SCIA Engineer 22.1 [25] gdje ukupnu težinu konstrukcije računamo prema sljedećoj kombinaciji:

$$W = \sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$$

gdje su:

$\psi_{E,i}$ – faktor kombinacije za primjenjivo djelovanje

φ – koeficijent uporabnog opterećenja koje ovisi o namjeni prostora, zauzetosti kata i poziciji kata u građevini

$\psi_{2,i}$ – faktor za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja

Koeficijenti uporabnog opterećenja φ uzimaju se iz tablice norme [24]:

Tablica 19. Koeficijenti uporabnog opterećenja za tip promjenjivog djelovanja [24]

Tip promjenjivog djelovanja	Kat	φ
Kategorije A – C*	Krov	1,0
	Katovi s povezanom zauzetošću	0,8
	Neovisno zauzeti katovi	0,5
Kategorije D – F* i arhivi		1,0

Usvajaju se vrijednosti $\varphi = 0,5$ za kategoriju B, te vrijednost $\varphi = 1,0$ za krov.

Koeficijenti kombinacije $\psi_{2,i}$ za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja uzimaju se iz tablice norme [13]:

Tablica 20. Faktori za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja

Djelovanje	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Uporabna opterećenja u zgradama kategorije (vidjeti normu EN 1991-1-1):			
Kategorija A: kuće, stambene zgrade	0,7	0,5	0,3
Kategorija B: uredi	0,7	0,5	0,3
Kategorija C: područja za skupove	0,7	0,7	0,6
Kategorija D: trgovine	0,7	0,7	0,6
Kategorija E: skladišta	1,0	0,9	0,8
Kategorija F: prometna područja, težina vozila ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorija G: prometna područja, 30 kN \leq težina vozila ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorija H: krovovi	0	0	0
Opterećenja snijegom u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-3)*:			
– Finska, Island, Norveška, Švedska	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H > 1000$ m n.m.	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H \leq 1000$ m n.m.	0,50	0,20	0
Opterećenja vjetrom na zgrade (vidjeti normu EN 1991-1-4)			
	0,6	0,2	0
Temperatura (osim požara) u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-5)			
	0,6	0,5	0
NAPOMENA: Vrijednosti ψ mogu se odrediti u nacionalnom dodatku. * Za države koje nisu navedene, vidjeti odgovarajuće mjesne uvjete.			

Vrijednost $\psi_{2,i} = 0,3$ je usvojena za kategoriju B za sve etaže osim krovne čija je $\psi_{2,i} = 0,0$.

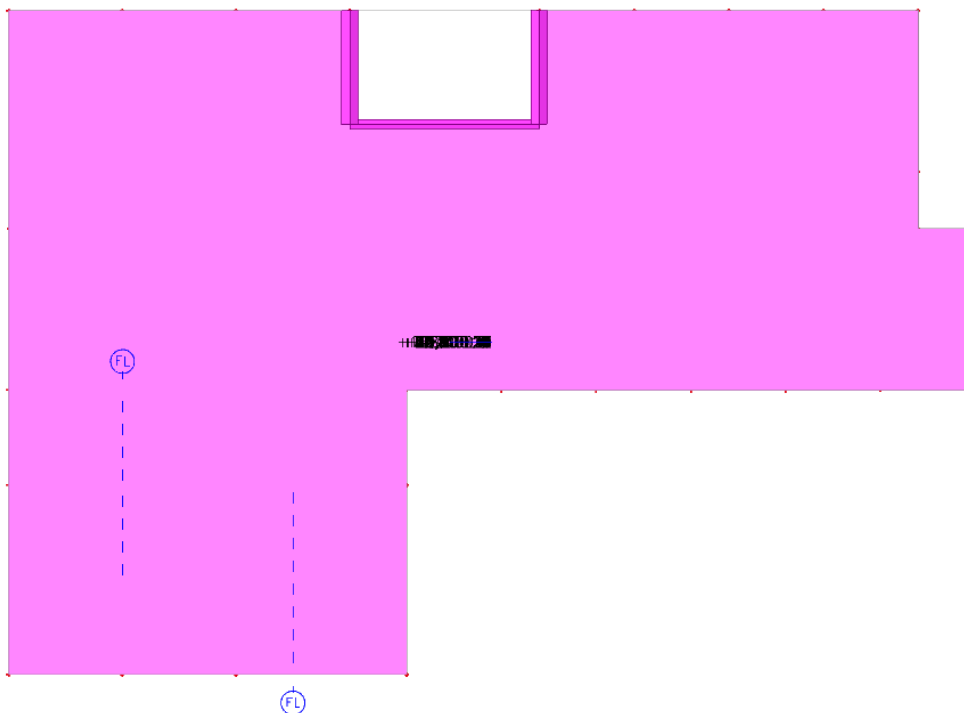
Vrijednosti faktora kombinacije za primjenjivo djelovanje:

Za etaže 01-34: $\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i} = 0,5 \cdot 0,3 = 0,15$

Za etažu 35: $\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i} = 1,0 \cdot 0,0 = 0,0$

4.2.4. Statički proračun ploče

Model ploče karakterističnog kata jednak je na svakoj etaži. U proračun je lokalno uzeta ploče prve etaže. Ploča je definirana kao „Plate“ element s razredom betona C30/37 i debljinom 20,0 cm. Na mjestima oslanjanja na zidove definirani su linijski zglobni „Hinged“ ležajevi. Djelovanja na ploču su uzeta iz analize djelovanja.



Slika 53. Lokalni model Ploče 1 u software-u SCIA Engineer 22.1

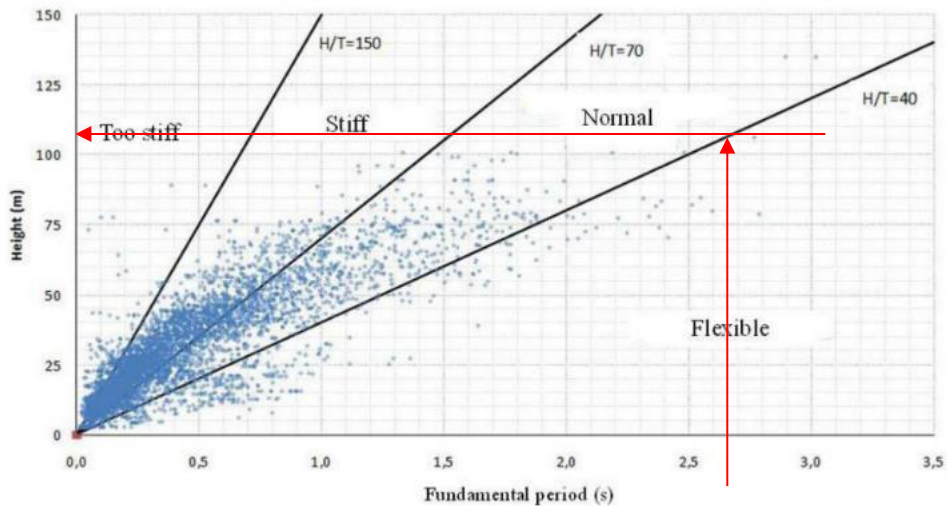
4.3. Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna (rezne sile, naprezanja, progibi, dinamika)

4.3.1. Dinamički odgovor konstrukcije

4.3.1.1. Provjera perioda titranja

Temeljni period titranja T_1 u odnosu na visinu zgrade može se približno odrediti prema sljedećim izrazima kao veze između temeljnog period titranja i visine zgrade [2]:

$$\begin{aligned} 1) \quad T_1 &= 0,014H \sim 0,025H \\ T_1 &= 0,014 \cdot 108,5 \sim 0,025 \cdot 108,5 \\ T_1 &= 1,52 \sim 2,71 \text{ s} \end{aligned}$$

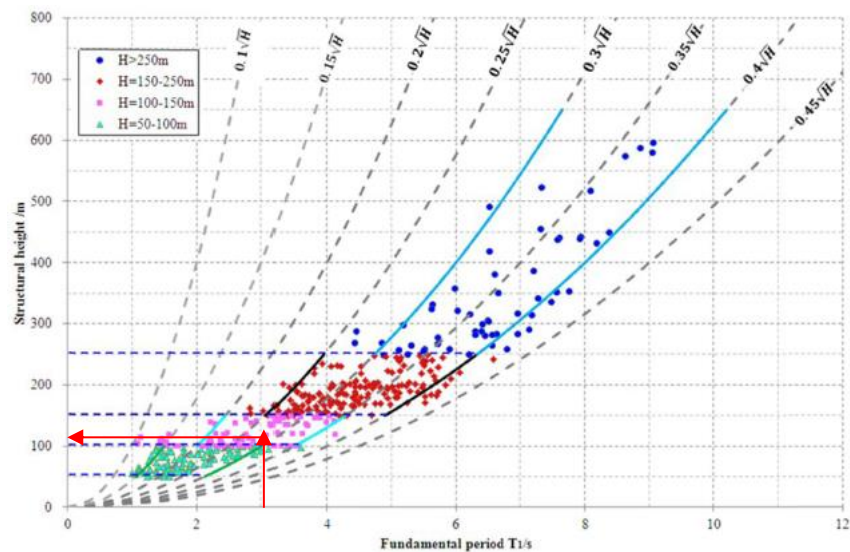


Slika 54. Dijagram veze između temeljnog perioda i visine građevine prema Čileanskim zgradama [2]

$$2) T_1 = 0,2\sqrt{H} \sim 0,35\sqrt{H}$$

$$T_1 = 0,2\sqrt{108,5} \sim 0,35\sqrt{108,5}$$

$$T_1 = 2,08 \sim 3,65s$$



Slika 55. Dijagram veze između temeljnog perioda i visine građevine prema Kineskim zgradama [2]

Temeljni period konstrukcije $T_1 = 2,74$ s se nalazi u područjima normalnih krutosti za oba uvjeta. Modalnom analizom potrebno je obuhvatiti barem $3 \cdot \sqrt{n} = 3 \cdot \sqrt{35} = 17,75$ vlastitih oblika titranja što iznosi najmanje 18 oblika prema izrazu iz norme [23].

Efektivne mase:

Tablica 21. Efektivne i ukupne mase građevine iz software-a SCIA Engineer 22.1

Sum of masses

	Mass type	X [kg]	Y [kg]	Z [kg]
1	Moving mass	81806435,67	81806435,67	81806435,67
1	Total mass	82170394,97	82170394,97	82170394,97

Prvih 20 vlastitih oblika titranja i pripadni rezultati:

Tablica 22. Periodi titranja i aktivirane mase iz software-a SCIA Engineer 22.1

Relative modal masses

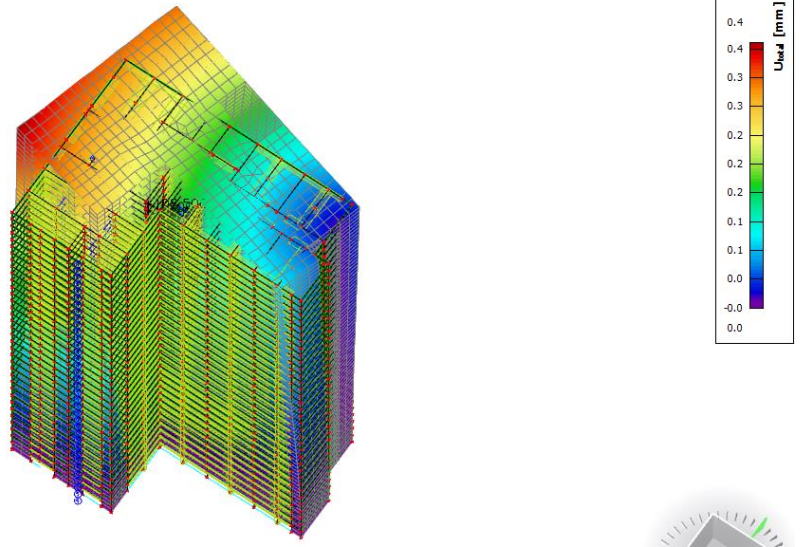
Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	W_{xiR}/W_{xtotR}	W_{yiR}/W_{ytotR}	W_{ziR}/W_{ztotR}
1	2.29236	2,74	0,36	0,0479	0,3978	0,0000	0,2241	0,0258	0,1802
2	2.943	2,13	0,47	0,1307	0,2154	0,0000	0,1298	0,0690	0,2578
3	3.92567	1,60	0,62	0,4462	0,0013	0,0000	0,0023	0,2276	0,1820
4	7.88606	0,80	1,26	0,0120	0,1034	0,0000	0,1278	0,0075	0,0537
5	10.856	0,58	1,73	0,0515	0,0672	0,0001	0,0727	0,0606	0,0682
6	13.1367	0,48	2,09	0,1197	0,0057	0,0002	0,0050	0,1580	0,0576
7	16.5323	0,38	2,63	0,0040	0,0421	0,0000	0,0543	0,0047	0,0248
8	23.1315	0,27	3,68	0,0324	0,0227	0,0105	0,0281	0,0302	0,0161
9	24.2367	0,26	3,86	0,0000	0,0009	0,4412	0,0000	0,0061	0,0032
10	26.06	0,24	4,15	0,0152	0,0004	0,1115	0,0112	0,0378	0,0149
11	26.5856	0,24	4,23	0,0157	0,0046	0,0011	0,0484	0,0016	0,0158
12	27.3944	0,23	4,36	0,0043	0,0230	0,0002	0,0319	0,0078	0,0085
13	28.5529	0,22	4,54	0,0025	0,0000	0,1524	0,0023	0,0942	0,0011
14	37.576	0,17	5,98	0,0209	0,0088	0,0001	0,0144	0,0297	0,0046
15	39.0292	0,16	6,21	0,0003	0,0110	0,0000	0,0205	0,0007	0,0110
16	41.8604	0,15	6,66	0,0092	0,0098	0,0001	0,0148	0,0125	0,0140
17	43.6508	0,14	6,95	0,0007	0,0001	0,0255	0,0035	0,0095	0,0003
18	49.7775	0,13	7,92	0,0003	0,0008	0,0199	0,0124	0,0078	0,0000
19	51.094	0,12	8,13	0,0010	0,0058	0,0004	0,0095	0,0023	0,0081
20	51.665	0,12	8,22	0,0158	0,0035	0,0014	0,0054	0,0251	0,0002
				0,9302	0,9242	0,7646	0,8184	0,8187	0,9219

U dva razmatrana smjera potrebno je zadovoljiti jedan od dva uvjeta. Prvi uvjet nalaže da zbroj proračunskih modalnih masa mora iznositi najmanje 90% ukupne mase konstrukcije. Drugi uvjet nalaže da se moraju uzeti u obzir svi oblici s proračunskim masama većim od 5% ukupne mase konstrukcije. Izračunata aktivirana masa iznosi najmanje 90% ukupne mase konstrukcije za translaciju u X smjeru, te u Y smjeru. Već u 1. modu se javlja torzija zbog tlocrtna nepravilnosti i ne poklapanja centra mase s centrom krutosti. Time se zadovoljava jedan od uvjeta prema normi [23].

Vlastiti oblici titranja konstrukcije iz software-a SCIA Engineer 22.1 [25]:

a) 1. ton - 0,36 Hz (2,74 s) – Translacija u Y smjeru + torzija

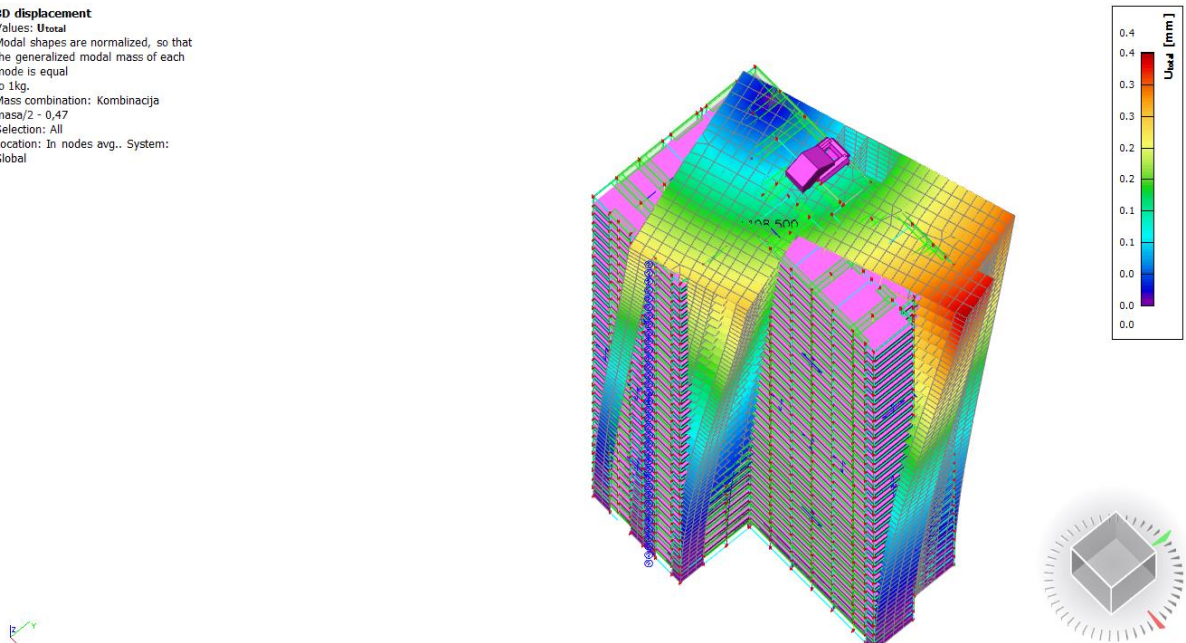
3D displacement
Values: U_{total}
Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.
Mass combination: Kombinacija masa/1 - 0,36
Selection: All
Location: In nodes avg.. System: Global



Slika 56. Prvi ton zgrade – 2,74 s

b) 2. ton - 0,47 Hz (2,13 s) – Translacija u X i Y smjeru + torzija

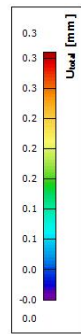
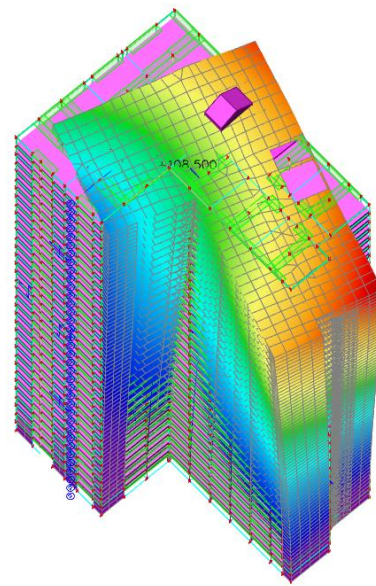
3D displacement
Values: U_{total}
Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.
Mass combination: Kombinacija masa/2 - 0,47
Selection: All
Location: In nodes avg.. System: Global



Slika 57. Drugi ton zgrade – 2,13 s

c) 3. ton – 0,62 Hz (1,60 s) – Translacija u X smjeru + torzija

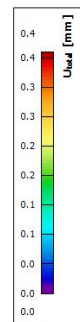
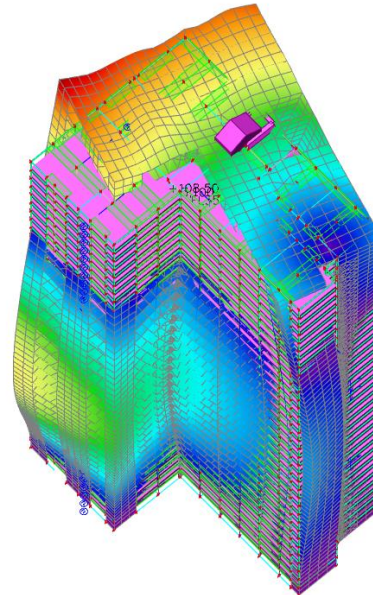
3D displacement
 Values: Utotal
 Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.
 Mass combination: Kombinacija masa/3 - 0,62
 Selection: All
 Location: In nodes avg., System: Global



Slika 58. Treći ton zgrade – 1,60 s

c) 4. ton – 1,26 Hz (0,80 s) – Translacija u Y smjeru + torzija

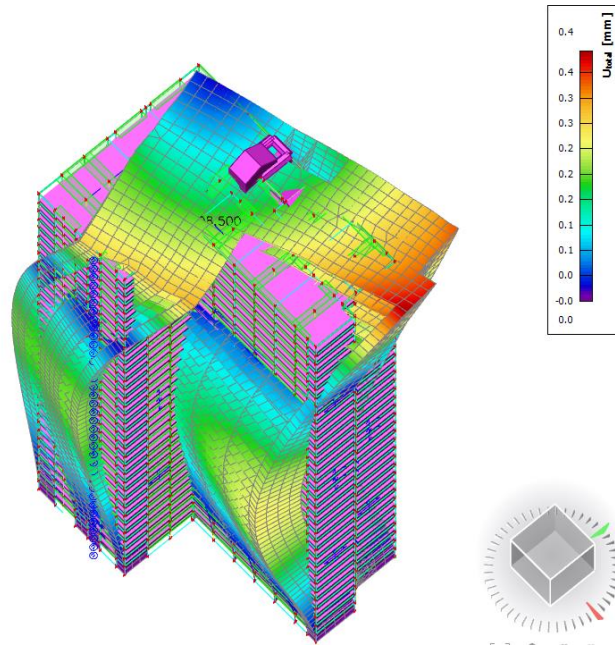
3D displacement
 Values: Utotal
 Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.
 Mass combination: Kombinacija masa/4 - 1,26
 Selection: All
 Location: In nodes avg., System: Global



Slika 59. Četvrti ton zgrade – 0,80 s

c) 5. ton – 1,73 Hz (0,58 s) – Torzija

3D displacement
 Values: U_{total}
 Modal shapes are normalized, so that the generalized modal mass of each mode is equal to 1kg.
 Mass combination: Kombinacija
 masa/5 - 1,73
 Selection: All
 Location: In nodes avg.. System: Global



Slika 60. Peti ton zgrade – 0,58 s

4.3.2. Potresna sila u podnožju zgrade (Base shear Coefficient - BCS)

Koeficijent potresne sile u podnožju određuje se kao omjer reakcije potresne kombinacije djelovanja za povratni period od 475 godina i ukupne težine građevine prema normi [23].

Koeficijent posmika BCS:

$$BCS = \frac{F_{bs,j}}{W}$$

gdje su:

$F_{bs,j}$ – potresna reakcija u podnožju građevine za proračunsku potresnu kombinaciju

W – ukupna težina građevine

Proračunskom potresnom kombinacijom se izračunava ukupna težina konstrukcije:

$$W = \sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} Q_{k,i}$$

gdje su:

$\psi_{E,i}$ – faktor kombinacije za promjenjivo djelovanje

$G_{k,j}$ – karakteristično stalno djelovanje

$Q_{k,i}$ – karakteristično promjenjivo djelovanje

Koeficijenti uporabnog opterećenja φ uzimaju se iz tablice norme [24]:

Tablica 23. Koeficijenti uporabnog opterećenja za tip promjenjivog djelovanja

Tip promjenjivog djelovanja	Kat	φ
Kategorije A – C*	Krov	1,0
	Katovi s povezanom zauzetošću	0,8
	Neovisno zauzeti katovi	0,5
Kategorije D – F* i arhivi		1,0

Usvajaju se vrijednosti $\varphi = 0,5$ za kategoriju B, te vrijednost $\varphi = 1,0$ za krov.

Koeficijenti kombinacije $\psi_{2,i}$ za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja uzimaju se iz tablice norme [13]:

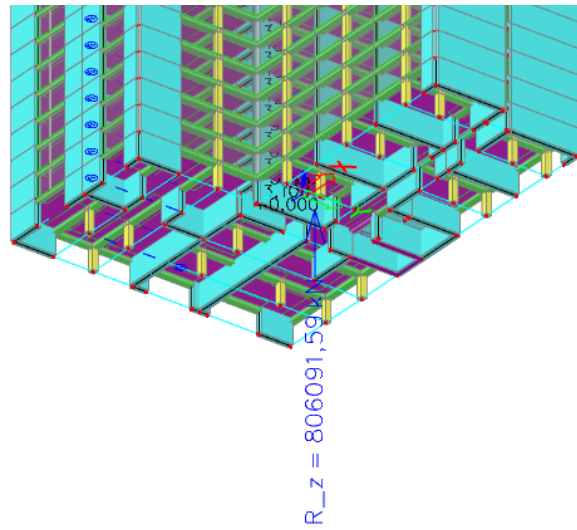
Tablica 24. Faktori za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja

Djelovanje	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Uporabna opterećenja u zgradama kategorije (vidjeti normu EN 1991-1-1):			
Kategorija A: kuće, stambene zgrade	0,7	0,5	0,3
Kategorija B: uredi	0,7	0,5	0,3
Kategorija C: područja za skupove	0,7	0,7	0,6
Kategorija D: trgovine	0,7	0,7	0,6
Kategorija E: skladišta	1,0	0,9	0,8
Kategorija F: prometna područja, težina vozila ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorija G: prometna područja, $30 \text{ kN} \leq$ težina vozila ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorija H: krovovi	0	0	0
Opterećenja snijegom u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-3)*:			
– Finska, Island, Norveška, Švedska	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H > 1000$ m n.m.	0,70	0,50	0,20
– Ostale države članice CEN-a za gradilišta na visini $H \leq 1000$ m n.m.	0,50	0,20	0
Opterećenja vjetrom na zgrade (vidjeti normu EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Temperatura (osim požara) u zgradama (vidjeti normu EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NAPOMENA: Vrijednosti ψ mogu se odrediti u nacionalnom dodatku. * Za države koje nisu navedene, vidjeti odgovarajuće mjesne uvjete.			

Vrijednost $\psi_{2,i} = 0,3$ je usvojena za kategoriju B za sve etaže osim krovne čija je $\psi_{2,i} = 0,0$.

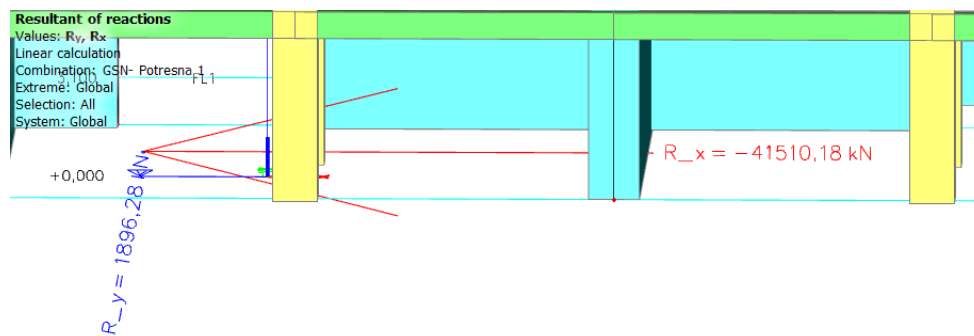
Ukupna težina konstrukcije iznosi:

Resultant of reactions
Values: R_z
Linear calculation
Combination: Masa konstrukcije
Extreme: Global
Selection: All
System: Global

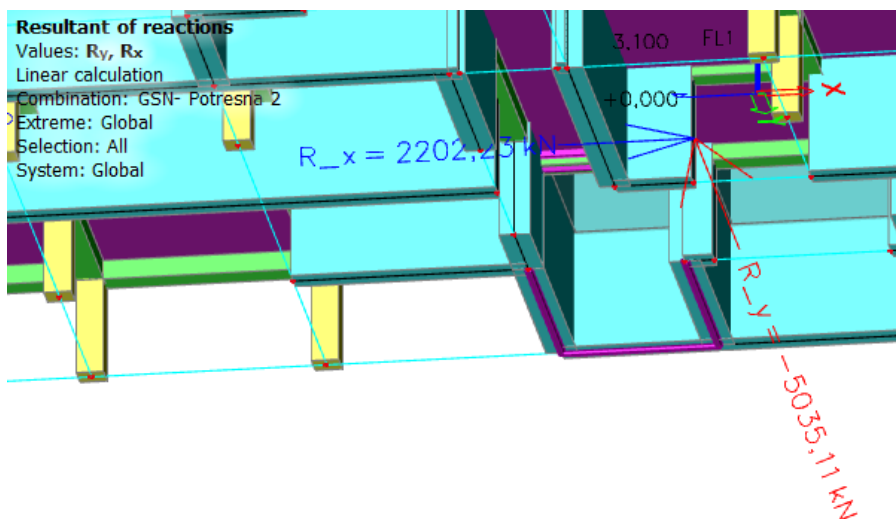


Slika 61. Reakcija u Z smjeru ukupne težine građevine

Reakcije potresne kombinacije za smjerove X i Y:



Slika 62. Reakcija u X i Y smjeru potresne X kombinacije (475 godina)



Slika 63. Reakcija u Y i X smjeru potresne Y kombinacije (475 godina)

Tablica 25. Reakcije potresnih kombinacija za povratno razdoblje od 475 godina

KOMBINACIJA DJELOVANJA	$F_{bs,X}$ [kN]	$F_{bs,Y}$ [kN]
Potres X (475 godina)	41510,18	1896,28
Potres Y (475 godina)	2202,23	5035,11

Izračun koeficijenta posmika BCS za smjer X:

$$BCS = \frac{F_{bs,X}}{W} = \frac{41510,18}{806091,59} = 0,0515 = 5,15 \%$$

Izračun koeficijenta posmika BCS za smjer Y:

$$BCS = \frac{F_{bs,Y}}{W} = \frac{5035,11}{806091,59} = 0,006 = 0,60 \%$$

4.3.3. Provjera ukupnog i međukatnog pomaka

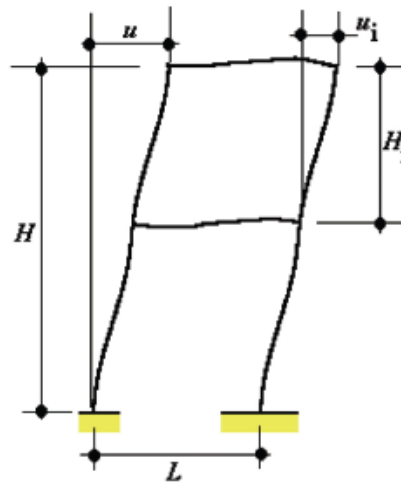
Ukupni pomak

Vrijednosti najvećih horizontalnih pomaka vrha zgrade očitavaju se za granično stanje uporabljivosti za karakterističnu kombinaciju djelovanja te za seizmičko opterećenje. Pomaci se provjeravaju za seizmičko opterećenje s elastičnim spektrima odziva za povratni period od 95 godina. Ukupni pomaci se zatim uspoređuju s dopuštenim prema normi [13]. Najveći ukupni pomak je ograničen na $\frac{H}{500}$ za višekatne zgrade uzima se iz tablice norme [13]:

Tablica 26. Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja [13]

Građevina	Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja	
	u_i	u
Prizemne industrijske građevine bez kрана i/ili međukatova	$H_i/150$	–
Prizemne građevine	$H_i/300$	–
Višekatne zgrade	$H_i/300$	$H/500$

NAPOMENA: H_i – visina kata; H – visina građevine



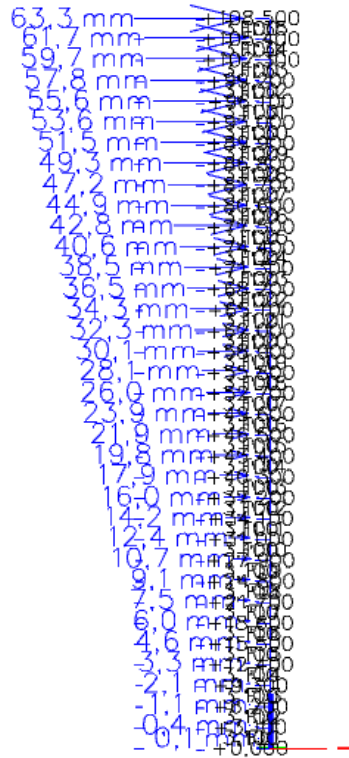
Slika 64. Shema ograničenja horizontalnih pomaka

gdje su:

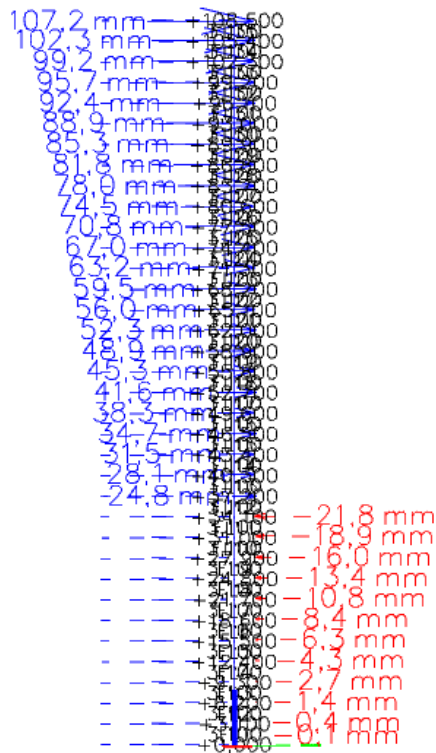
u – ukupni horizontalni pomak za visinu zgrade H

u_i – horizontalni pomak za visinu kata H_i

Dominantno horizontalno djelovanje je potres.



Slika 65. Ukupni horizontalni pomak od potresnog djelovanja u smjeru X



Slika 66. Ukupni horizontalni pomaci od potresnog djelovanja u smjeru Y

Kontrola ukupnog pomaka:

Pomak na vrhu zgrade: 107,2 mm

$$u = 107,2 \text{ mm} < \frac{H}{500} = \frac{108500}{500} = 217,0 \text{ mm}$$

Zadovoljava!

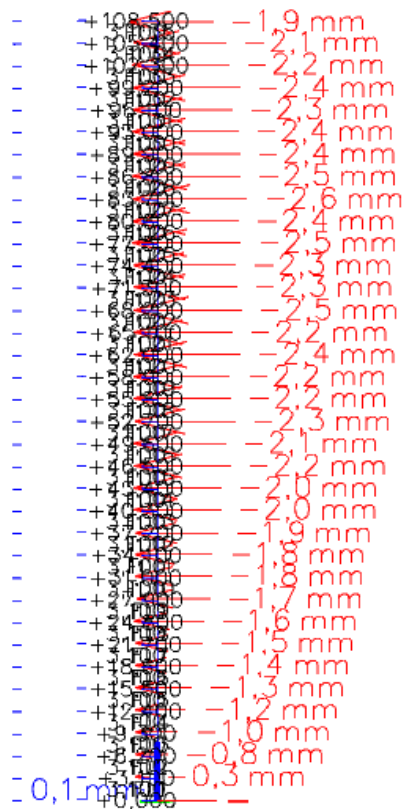
Međukatni pomak

Vrijednosti najvećih međukatnih pomaka zgrade očitavaju se za granično stanje uporabljivosti za karakterističnu kombinaciju djelovanja i za seizmičko opterećenje. Pomaci se provjeravaju za seizmičko opterećenje s elastičnim spektrima odziva za povratni period od 95 godina. Međukatni pomaci se zatim uspoređuju s dopuštenima prema normi [14]. Najveći međukatni pomak je ograničen na $\frac{H_i}{300}$ za višekatne zgrade uzima se iz tablice norme [13]:

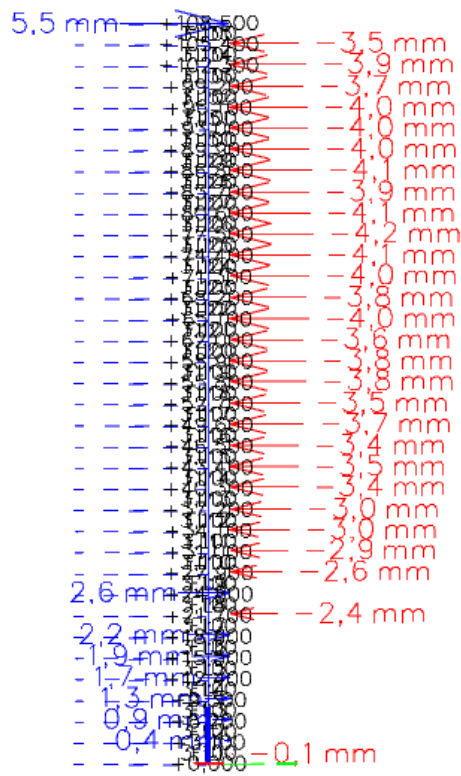
Tablica 27. Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja [13]

Građevina	Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja	
	u_i	u
Prizemne industrijske građevine bez kрана i/li međukatova	$H_1/150$	–
Prizemne građevine	$H_1/300$	–
Višekatne zgrade	$H_1/300$	$H/500$

NAPOMENA: H_1 – visina kata; H – visina građevine



Slika 67. Međukatni pomaci od potresnog djelovanja u smjeru X



Slika 68. Međukatni pomaci od potresnog djelovanja u smjeru Y

Kontrola međukatnog pomaka:

Najveći međukatni pomak: 4,2 mm

$$u_i = 4,2 \text{ mm} < \frac{H_i}{300} = \frac{3100}{300} = 10,33 \text{ mm} \quad \text{Zadovoljava!}$$

4.3.4. Zahtjev ograničenja oštećenja od potresa

Provjerava se ograničenje međukatnog pomaka prema normi [23]. Međukatni pomaci provjeravaju se za seizmičko opterećenje s elastičnim spektrima odziva za povratni period od 95 godina. Konstrukcija se mora oduprijeti onom djelovanju s većom vjerojatnoću pojave ($T_p = 95$ god.) u odnosu na proračunsko potresnog djelovanje ($T_p = 475$ god.), bez pojave oštećenja i njima pridruženih ograničenja uporabe, troškova koji bi bili nerazmjerno veliki u usporedbi s cijenom konstrukcije.

Ograničenje međukatnog pomaka za zgrade koje imaju krhke nekonstrukcijske elemente.

$$\text{Vrijedi uvjet: } d_r \cdot v \leq 0,005 \cdot h$$

gdje su:

d_r – proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih bočnih pomaka d_s na vrhu i u podnožju promatranog kata

h – visina kata

v – faktor smanjenja kojim se faktor smanjenja kojim se u obzir uzima najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja vezano sa zahtjevom ograničenog oštećenja (prema nacionalnom dodatku [24] nacionalnom dodatku iznosi $v = 1,0$)

Provjera horizontalnih pomaka prema zahtjevu ograničenja oštećenja od potresa:

$$d_r \cdot v \leq 0,005 \cdot h$$

$$d_r = d_{s,gore} - d_{s,dolje}$$

gdje su:

$d_{s,gore}$ – pomak gornje točke konstrukcijskog sustava prouzročen proračunskim potresnim djelovanjem

$d_{s,dolje}$ – pomak donje točke konstrukcijskog sustava prouzročen proračunskim potresnim djelovanjem

Vrijednost međukatnog pomaka za ograničenje oštećenja od potresa ista je kao i u kontroli međukatnog pomaka.

Izračun proračunskog katnog pomaka:

$$d_r = d_{s,gore} - d_{s,dolje} = 4,2 \text{ mm}$$

Izračun uvjeta ograničenja oštećenja od potresa:

$$d_r \cdot v \leq 0,005 \cdot h$$

$$4,2 \cdot 1,0 \leq 0,005 \cdot 3100$$

$$4,2 \text{ mm} \leq 15,5 \text{ mm} \quad \text{Zadovoljava!}$$

4.3.5. Učinci drugog reda $P - \Delta$

Učinke drugog reda potrebno je uzeti u obzir prema izrazu iz norme [23] ukoliko je na svim katovima ispunjen uvjet:

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,1$$

gdje su:

θ – koeficijent osjetljivost međukatnog pomaka

P_{tot} – ukupno gravitacijsko opterećenje na promatranom katu i iznad njega u proračunskoj potresnoj situaciji

d_r – proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih bočnih pomaka d_s na vrhu i pri podnožju promatranog kata

V_{tot} – ukupna katna potresna poprečna sila

h - međukatna visina

Proračunski katni pomak:

$$d_r = d_e \cdot q$$

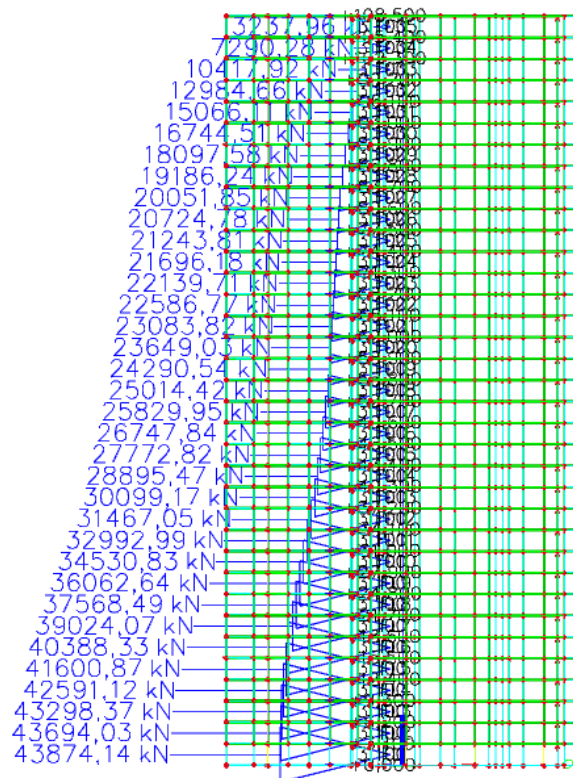
gdje su:

d_e – pomak dobivan elastičnom analizom proračunskog spektra odziva

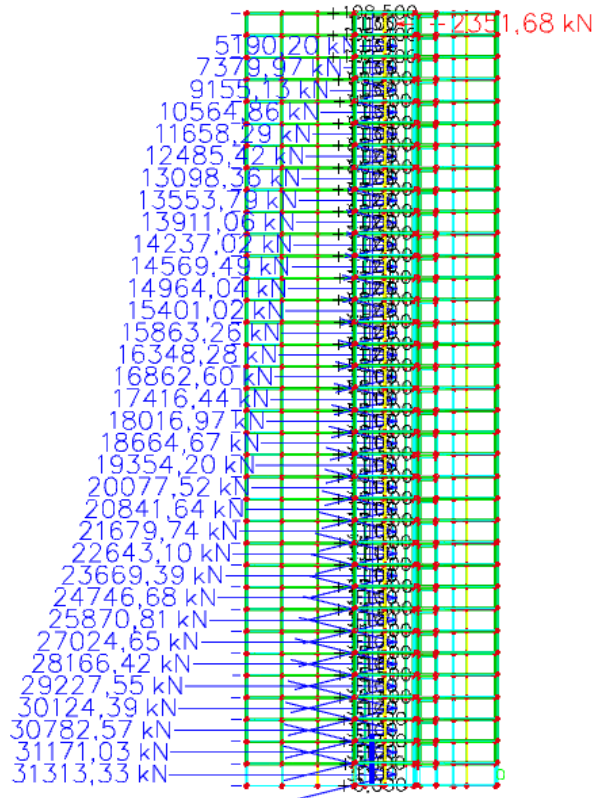
q – faktor ponašanja za pripadni smjer

Ukoliko je $0,1 < \theta \leq 0,2$, učinci drugog reda se smiju približno uzeti u obzir množenjem odgovarajućih potresnih unutarnjih sila faktorom $\frac{1}{(1-\theta)}$.

Vrijednosti koeficijenta θ ne smije premašiti vrijednost 0,3.



Slika 69. Reakcije etaža za potresnu kombinaciju u smjeru X



Slika 70. Reakcije etaža za potresnu kombinaciju u smjeru Y

Tablica 28. Kontrola pomaka za teoriju II. reda

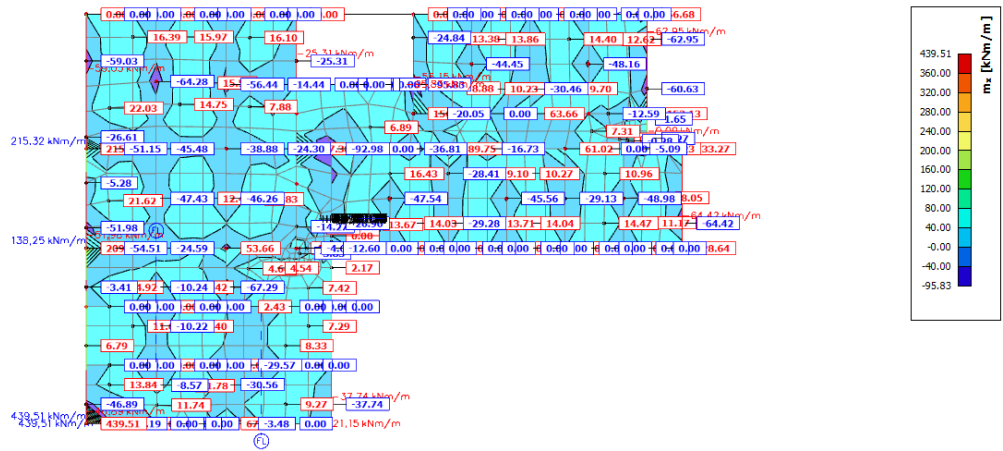
ETAŽA	P(tot,X)[kN]	P(tot,Y)[kN]	V(tot,X)[kN]	V(tot,Y)[kN]	d(r,X)[cm]	d(r,Y)[cm]	h[cm]	θ_x	θ_y	Uvjet
P	792953,22	798981,5	43874,14	31313,33	0,03	0,04	310	0,00175	0,003292	$\theta < 0,1$
1.	766125,82	772021,7	43694,03	31171,03	0,08	0,09	310	0,00452	0,007191	$\theta < 0,1$
2.	739178,62	745028,61	43298,37	30782,57	0,1	0,13	310	0,00551	0,01015	$\theta < 0,1$
3.	712250,62	718048,32	42591,12	30124,39	0,12	0,17	310	0,00647	0,013071	$\theta < 0,1$
4.	685333,31	691072,38	41600,87	29227,55	0,13	0,19	310	0,00691	0,014492	$\theta < 0,1$
5.	658427,52	664100,22	40388,33	28166,42	0,14	0,22	310	0,00736	0,016733	$\theta < 0,1$
6.	631532,67	637130,88	39024,07	27024,65	0,15	0,24	310	0,00783	0,018252	$\theta < 0,1$
7.	604648,32	610163,71	37568,49	25870,81	0,16	0,26	310	0,00831	0,019781	$\theta < 0,1$
8.	577774,53	583199,1	36062,64	24746,68	0,17	0,26	310	0,00879	0,019766	$\theta < 0,1$
9.	550908,1	556234,43	34530,83	23669,39	0,18	0,29	310	0,00926	0,021984	$\theta < 0,1$
10.	524044,51	529265,31	32992,99	22643,1	0,18	0,3	310	0,00922	0,02262	$\theta < 0,1$
11.	497161,5	502270,21	31467,05	21679,74	0,19	0,3	310	0,00968	0,02242	$\theta < 0,1$
12.	472183,81	477182,11	30099,17	20841,64	0,22	0,34	310	0,01113	0,025111	$\theta < 0,1$
13.	449530,11	454417,79	28895,47	20077,52	0,2	0,35	310	0,01004	0,025554	$\theta < 0,1$
14.	426890,3	431656,19	27772,82	19354,2	0,22	0,34	310	0,01091	0,024461	$\theta < 0,1$
15.	404260,42	408894,59	26747,84	18664,67	0,21	0,37	310	0,01024	0,026148	$\theta < 0,1$
16.	381639,9	386133,5	25829,95	18016,97	0,23	0,35	310	0,01096	0,024197	$\theta < 0,1$
17.	359027,49	363372,29	25014,42	17416,44	0,22	0,38	310	0,01019	0,025575	$\theta < 0,1$
18.	336422,69	340610,82	24290,54	16862,6	0,22	0,38	310	0,00983	0,02476	$\theta < 0,1$
19.	313825,22	317849,22	23649,03	16348,28	0,24	0,36	310	0,01027	0,022578	$\theta < 0,1$
20.	291234,59	295087,1	23083,82	15863,26	0,22	0,4	310	0,00895	0,024002	$\theta < 0,1$
21.	268649,79	272324	22586,77	15401,02	0,25	0,38	310	0,00959	0,021675	$\theta < 0,1$
22.	246068	249558	22139,71	14964,04	0,23	0,4	310	0,00825	0,021519	$\theta < 0,1$
23.	223479,01	226776,61	21696,18	14569,49	0,23	0,41	310	0,00764	0,020586	$\theta < 0,1$
24.	202661,01	205752,9	21243,81	14237,02	0,25	0,42	310	0,00769	0,01958	$\theta < 0,1$
25.	183822,61	186709,1	20724,78	13911,06	0,24	0,41	310	0,00687	0,017751	$\theta < 0,1$
26.	165001,1	167667,2	20051,85	13553,79	0,26	0,39	310	0,0069	0,015563	$\theta < 0,1$
27.	146192,3	148621,3	19186,24	13098,36	0,25	0,41	310	0,00614	0,015007	$\theta < 0,1$
28.	127394,5	129570,5	18097,58	12485,42	0,24	0,4	310	0,00545	0,013391	$\theta < 0,1$
29.	108607,3	110515,1	16744,51	11658,29	0,24	0,4	310	0,00502	0,012232	$\theta < 0,1$
30.	89829,54	91455,06	15066,11	10564,86	0,23	0,4	310	0,00442	0,01117	$\theta < 0,1$
31.	71060,56	72391,21	12984,66	9155,13	0,24	0,37	310	0,00424	0,009438	$\theta < 0,1$
32.	52297,96	53324,12	10417,92	7379,97	0,22	0,39	310	0,00356	0,00909	$\theta < 0,1$
33.	33527,15	34255,87	7290,28	5190,2	0,21	0,35	310	0,00312	0,007452	$\theta < 0,1$
34.	15234,45	14683,04	3237,96	2351,68	0,19	0,55	310	0,00288	0,011077	$\theta < 0,1$

Svi uvjet su zadovoljeni za $\theta < 0,1$, te se zanemaruju učinci drugog reda na svim etažama.

4.3.6. Ispis unutarnjih sila AB ploča

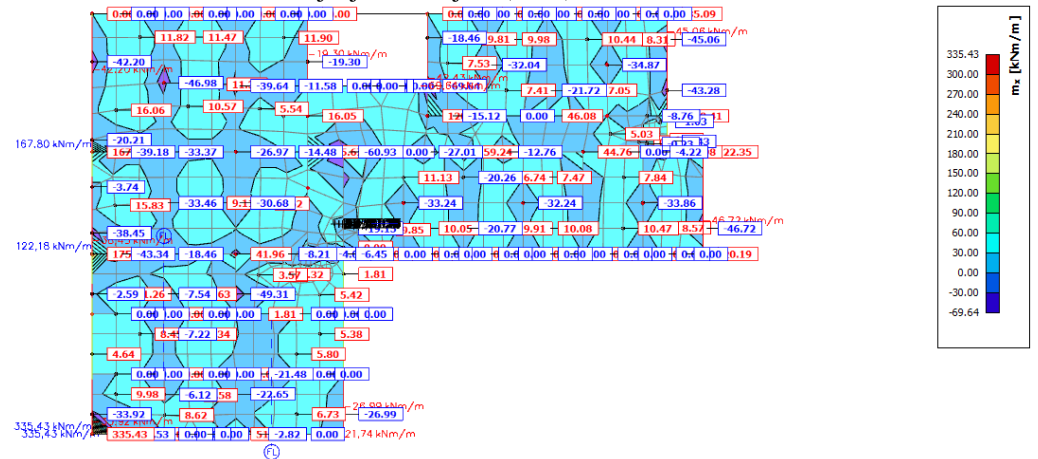
4.3.6.1. Dijagrami momenata savijanja ploča

2D internal forces
 Values: m_x
 Linear calculation
 Combination: GSN
 Extreme: Member
 Selection: All
 Filter: Layer = ploča prizemlje
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



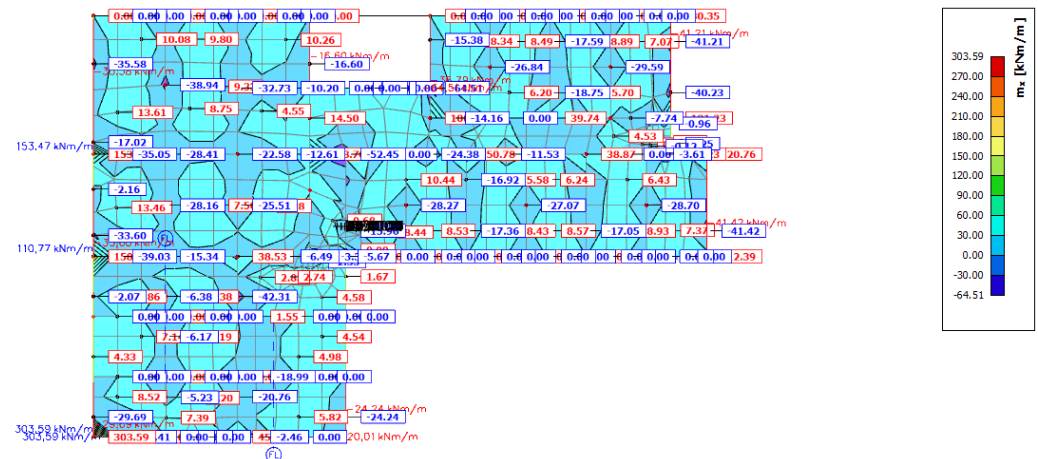
Slika 71. Momenti savijanja u X smjeru (GSN) - Ploča

2D internal forces
 Values: m_x
 Linear calculation
 Combination: GSU- karakteristična
 Extreme: Member
 Selection: All
 Filter: Layer = ploča prizemlje
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 72. Momenti savijanja u X smjeru (GSU - karakteristična) - Ploča

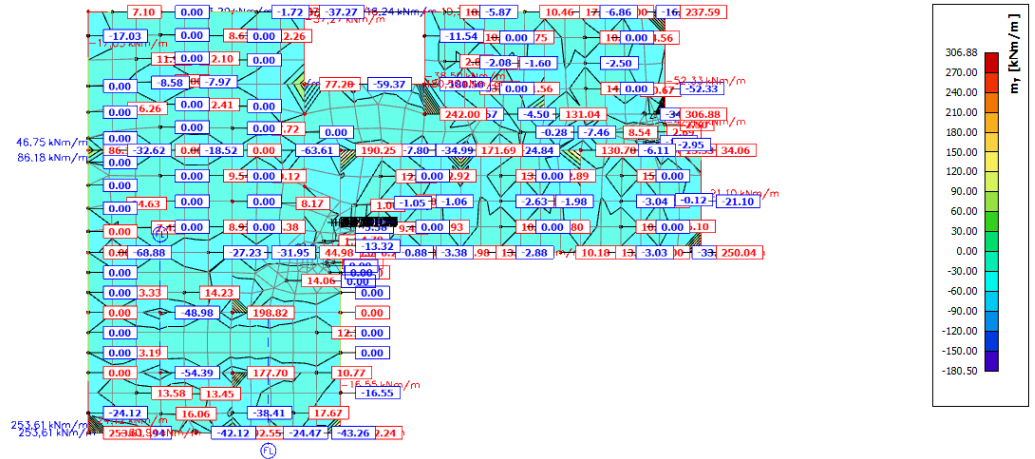
2D internal forces
 Values: m_x
 Linear calculation
 Combination: GSU- kvazistalna
 Extreme: Member
 Selection: All
 Filter: Layer = ploča prizemlje
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 73. Momenti savijanja u X smjeru (GSU - kvazistalna) - Ploča

2D internal forces

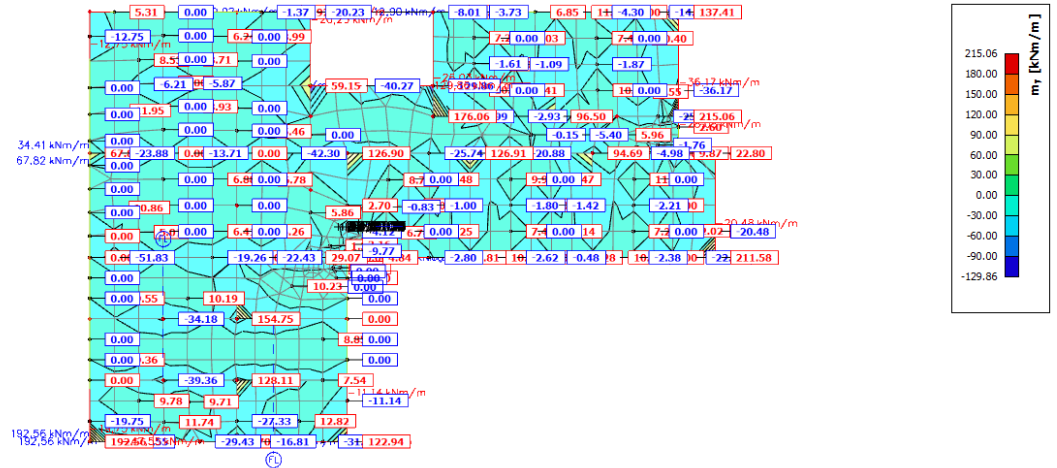
Values: m_y
Linear calculation
Combination: GSN
Extreme: Member
Selection: All
Filter: Layer = ploča prizemlje
Location: In nodes avg, on macro.
System: LCS mesh element
Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 74. Momenti savijanja u Y smjeru (GSN) - Ploča

2D internal forces

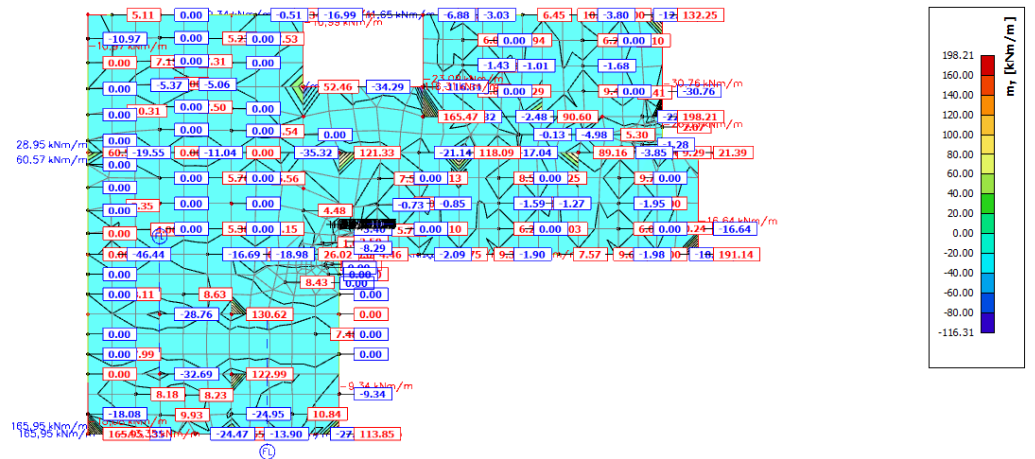
Values: m_y
Linear calculation
Combination: GSU - karakteristična
Extreme: Member
Selection: All
Filter: Layer = ploča prizemlje
Location: In nodes avg, on macro.
System: LCS mesh element
Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 75. Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - karakteristična) - Ploča

2D internal forces

Values: m_y
Linear calculation
Combination: GSU - kvazistalna
Extreme: Member
Selection: All
Filter: Layer = ploča prizemlje
Location: In nodes avg, on macro.
System: LCS mesh element
Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.

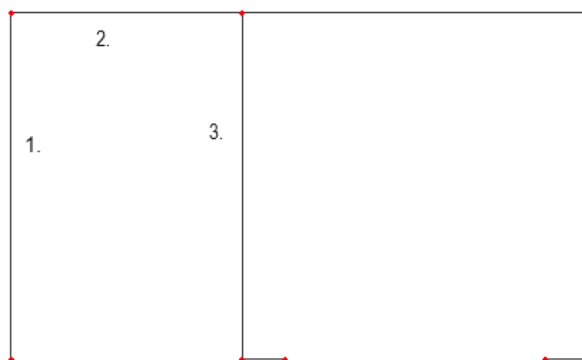


Slika 76. Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - kvazistalna) – Ploča

4.3.7. Ispis unutarnjih sila zidova AB jezgre

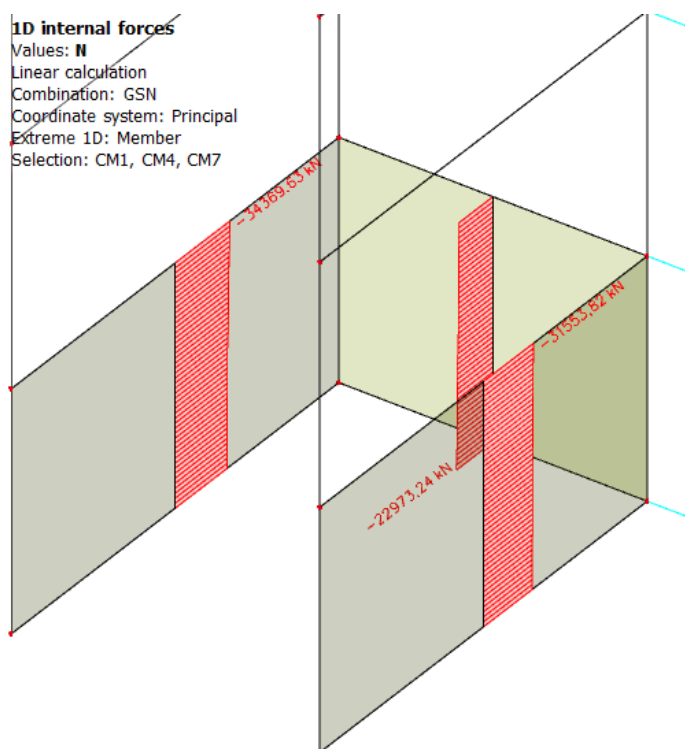
Svaka etaža sastoji se od 47 zidova od kojih 7 čine jezgru, svi su debljine 80,0 cm prvih 12 etaža, zatim idućih 12 etaža 60,0 cm, a do vrha zgrade 40,0 cm. Budući da se zidovi geometrijski mijenjaju po visini konstrukcije, promatramo 3 iste pozicije zidova jezgre na mjestima gdje im se mijenja debljina (prizemlje, 13. etaža i 25. etaža).

4.3.7.1. Dijagrami unutarnjih sila zidova AB jezgre

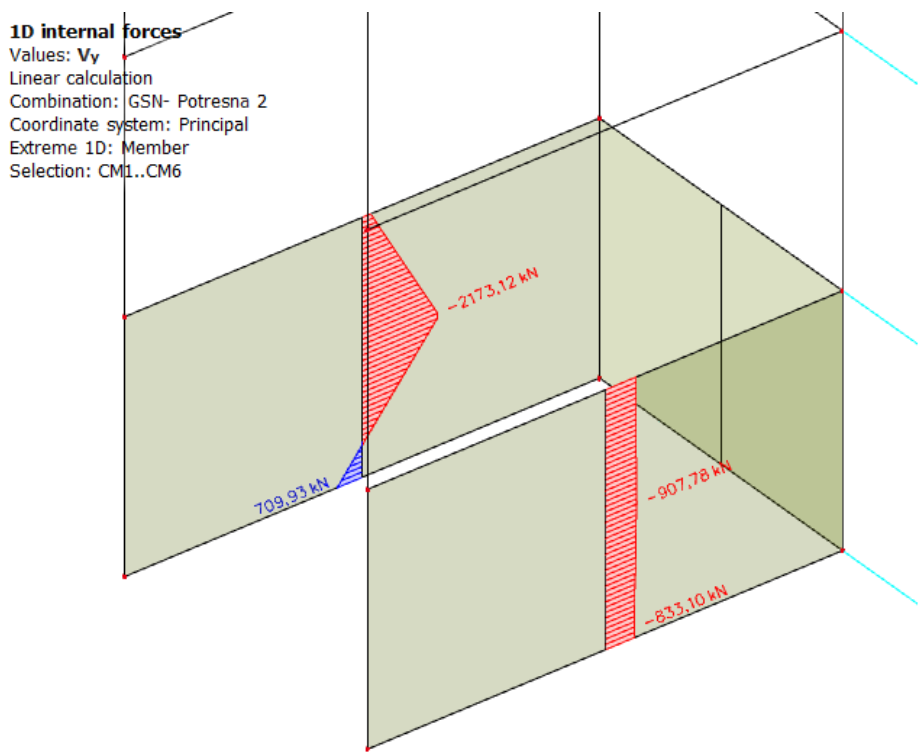


Slika 77. Shema položaja zidova jezgre

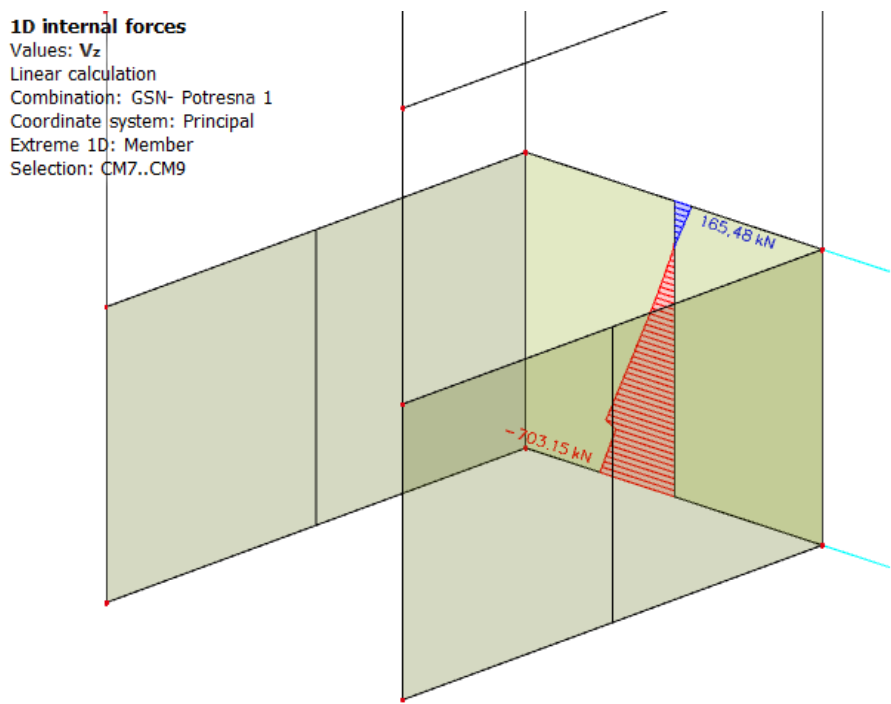
Prizemlje



Slika 78. Maksimalna uzdužna sila (GSN) – Zid 1,2 i 3

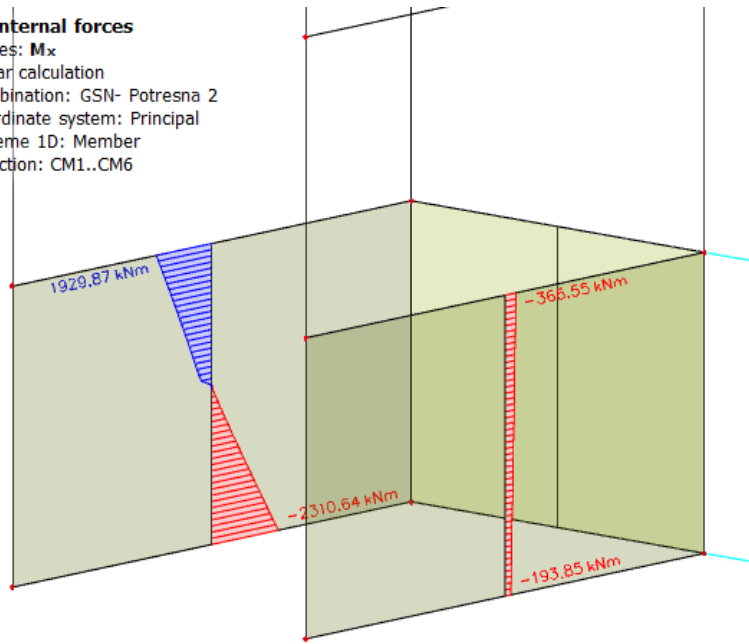


Slika 79. Posmična sila u ravni (Potresna 2) – Zid 1 i 3



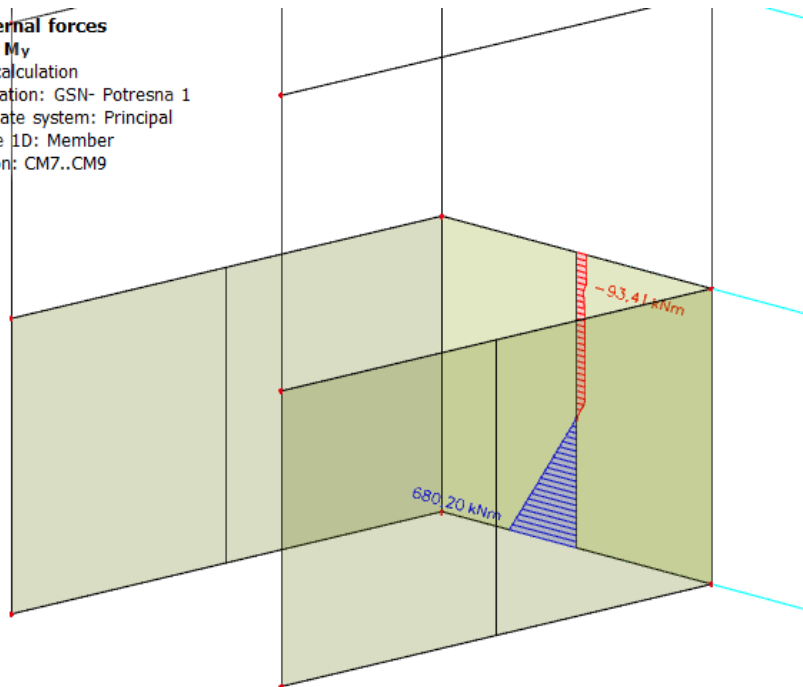
Slika 80. Posmična sila u ravni (Potresna 1) – Zid 2

1D internal forces
Values: M_x
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM1..CM6

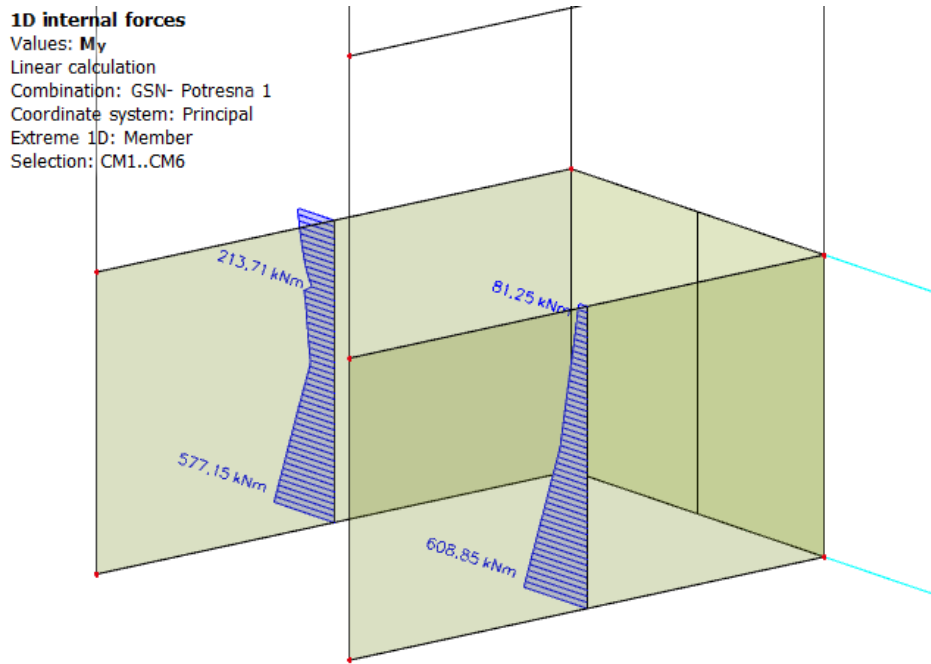


Slika 81. Moment savijanja u ravnini (Potresna 2) –Zid 1 i 3

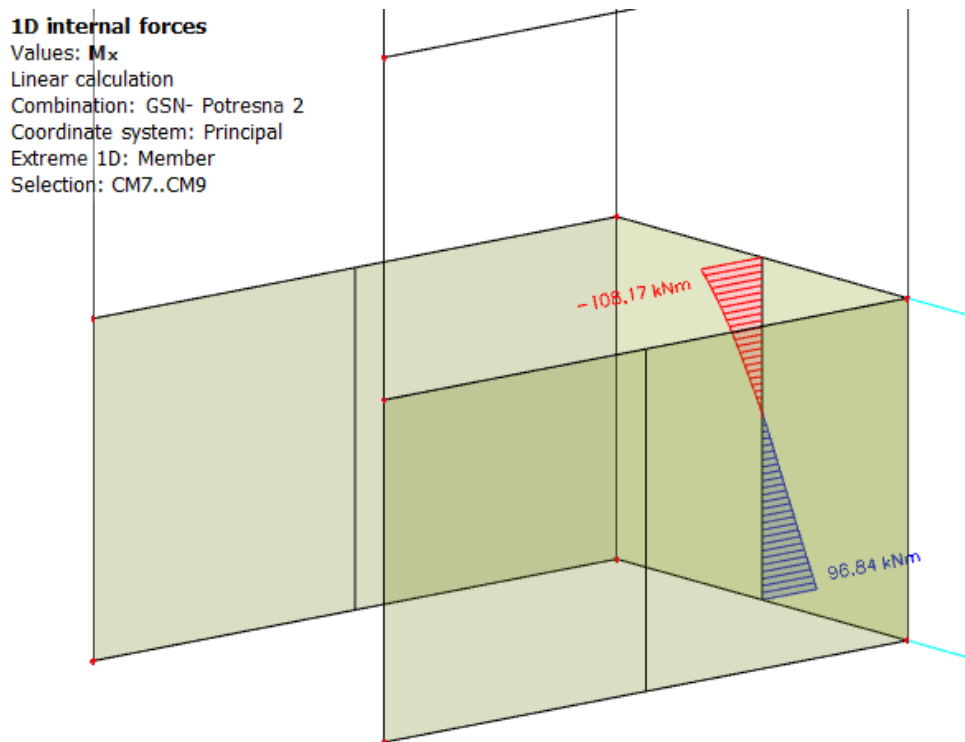
1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM7..CM9



Slika 82. Moment savijanja u ravnini (Potresna 1) –Zid 2



Slika 83. Moment savijanja van ravnine (Potresna 1) – Zid 1 i 3



Slika 84. Moment savijanja van ravnine (Potresna 2) – Zid 2

12. kat

1D internal forces

Values: **N**

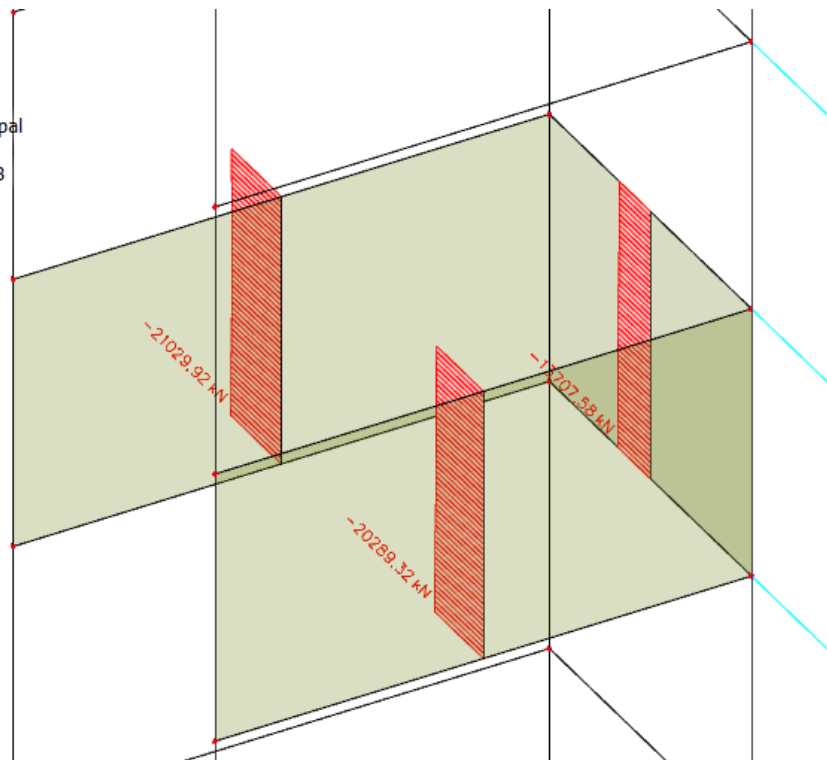
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: CM2, CM5, CM8



Slika 85. Maksimalna uzdužna sila (GSN) – Zid 1,2 i 3

1D internal forces

Values: **V_y**

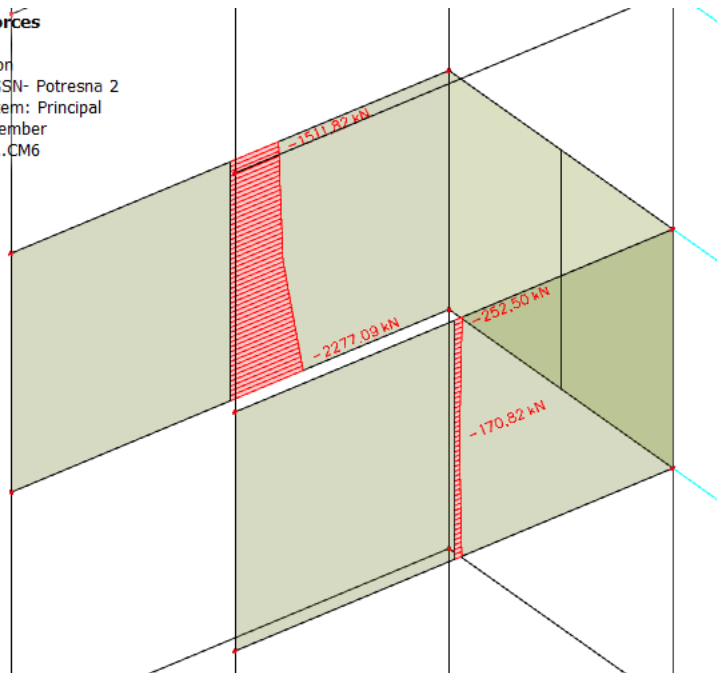
Linear calculation

Combination: GSN- Potresna 2

Coordinate system: Principal

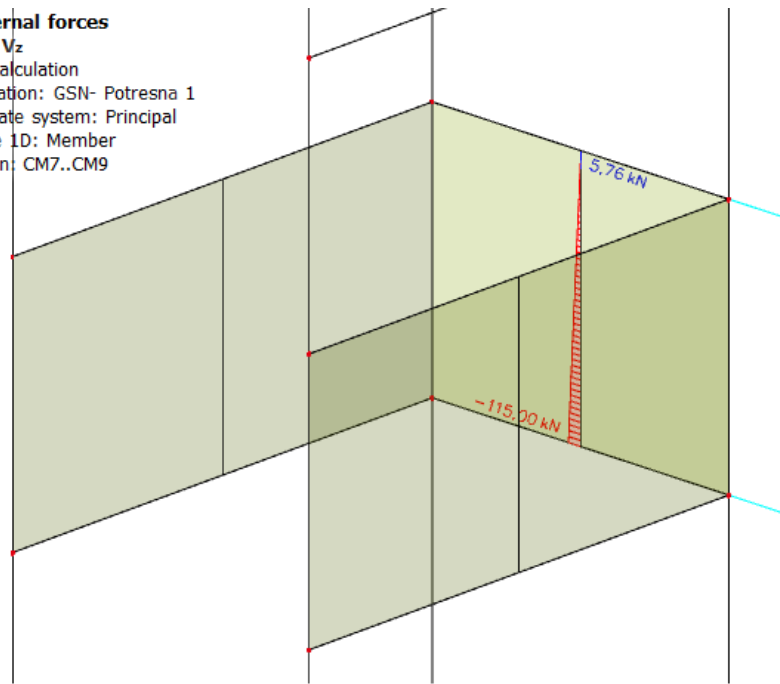
Extreme 1D: Member

Selection: CM1...CM6



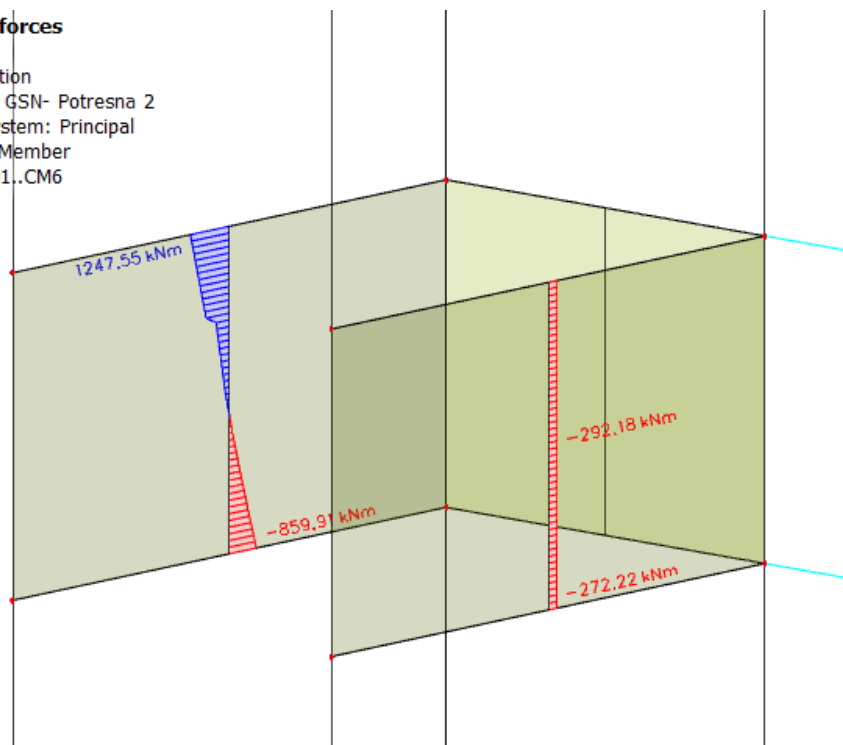
Slika 86. Posmična sila u ravnini (Potresna 2) – Zid 1 i 3

1D internal forces
Values: V_z
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM7..CM9



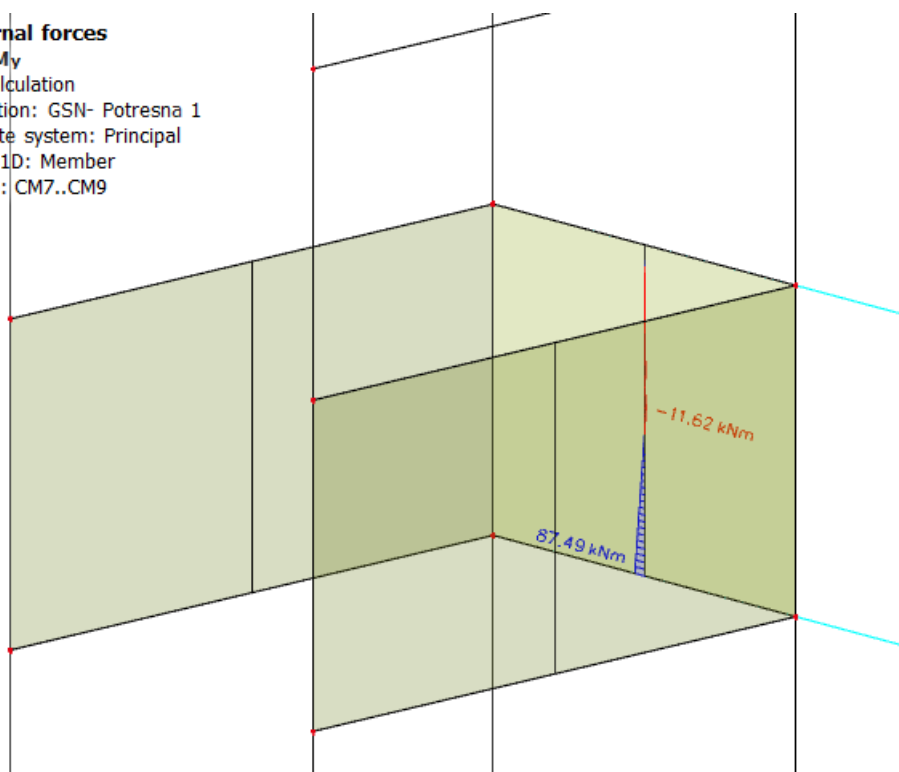
Slika 87. Posmična sila u ravnini (Potresna 1) – Zid 2

1D internal forces
Values: M_x
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM1..CM6



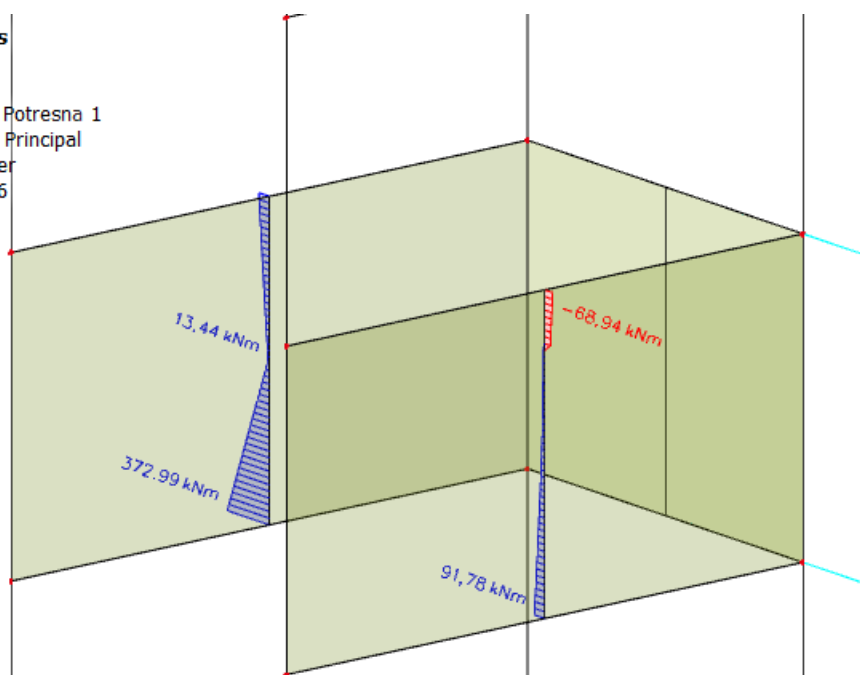
Slika 88. Moment savijanja u ravnini (Potresna 2) – Zid 1 i 3

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: GSN- Potresna 1
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: CM7..CM9

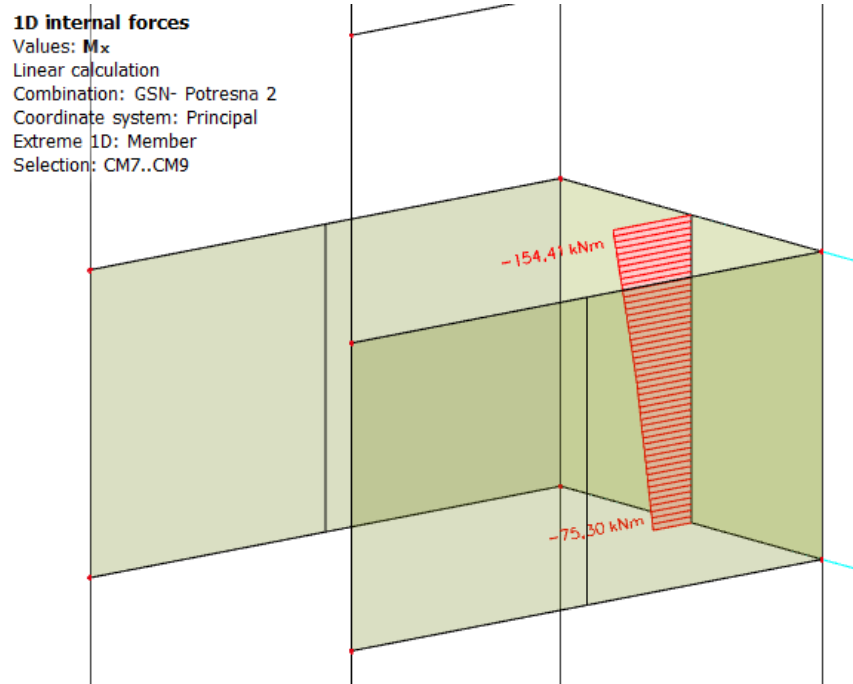


Slika 89. Moment savijanja u ravнини (Potresna 1) – Zid 2

1D internal forces
 Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: GSN- Potresna 1
 Coordinate system: Principal
 Extreme 1D: Member
 Selection: CM1..CM6



Slika 90. Moment savijanja van ravnine (Potresna 1) – Zid 1 i 3



Slika 91. Moment savijanja van ravnine (Potresna 2) – Zid 2

24. kat

1D internal forces

Values: **N**

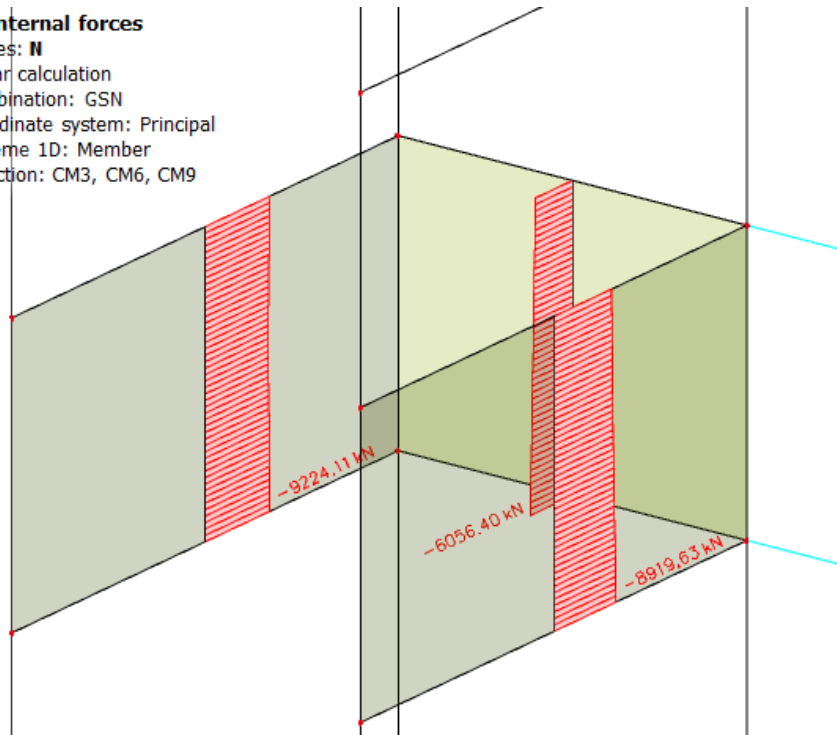
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: CM3, CM6, CM9



Slika 92. Maksimalna uzdužna sila (GSN) – Zid 1,2 i 3

1D internal forces

Values: **V_y**

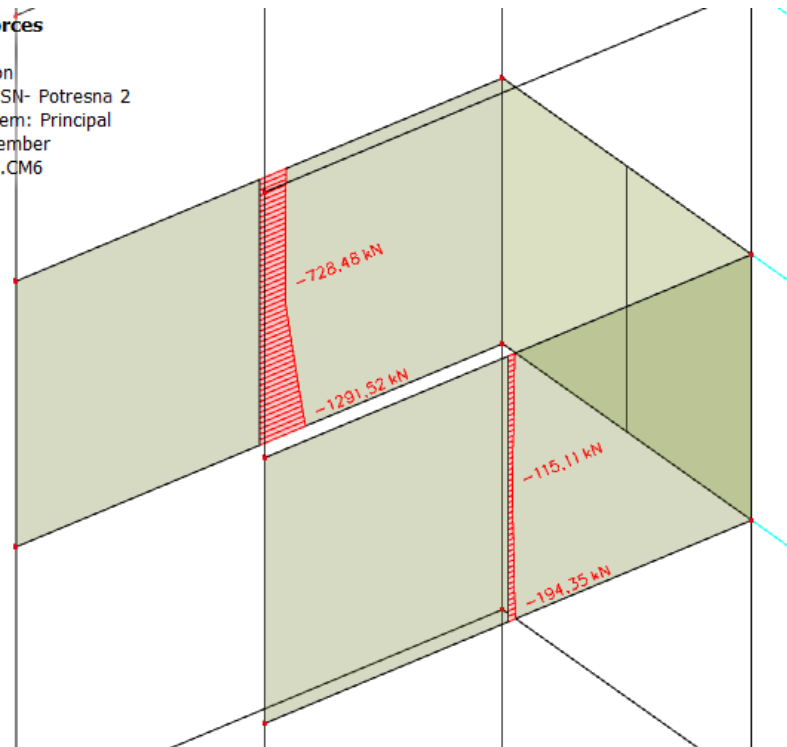
Linear calculation

Combination: GSN- Potresna 2

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

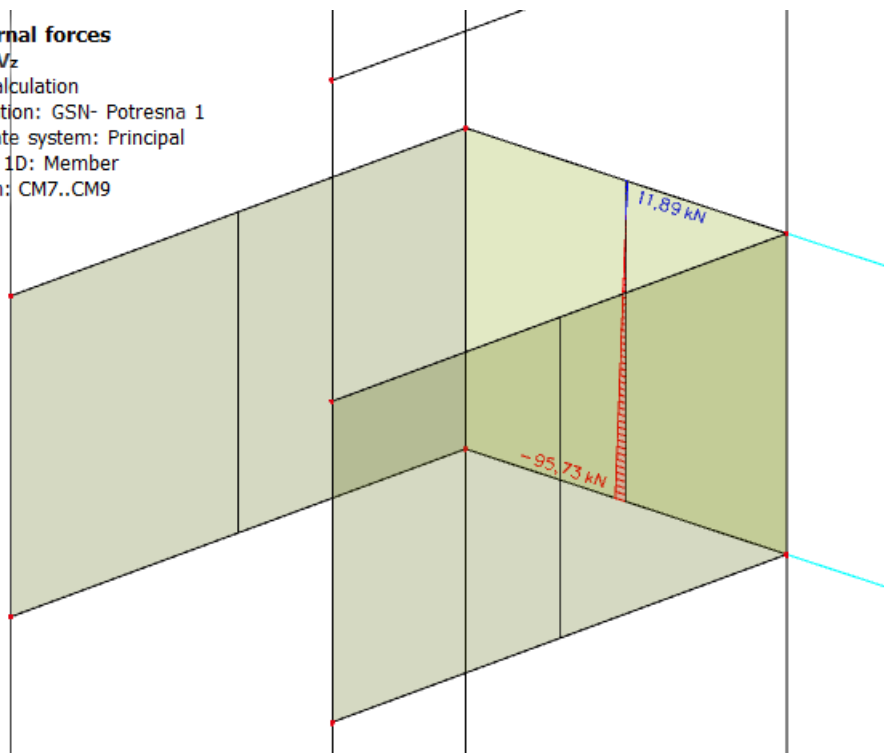
Selection: CM1..CM6



Slika 93. Posmična sila u ravni (Potresna 2) – Zid 1 i 3

1D internal forces

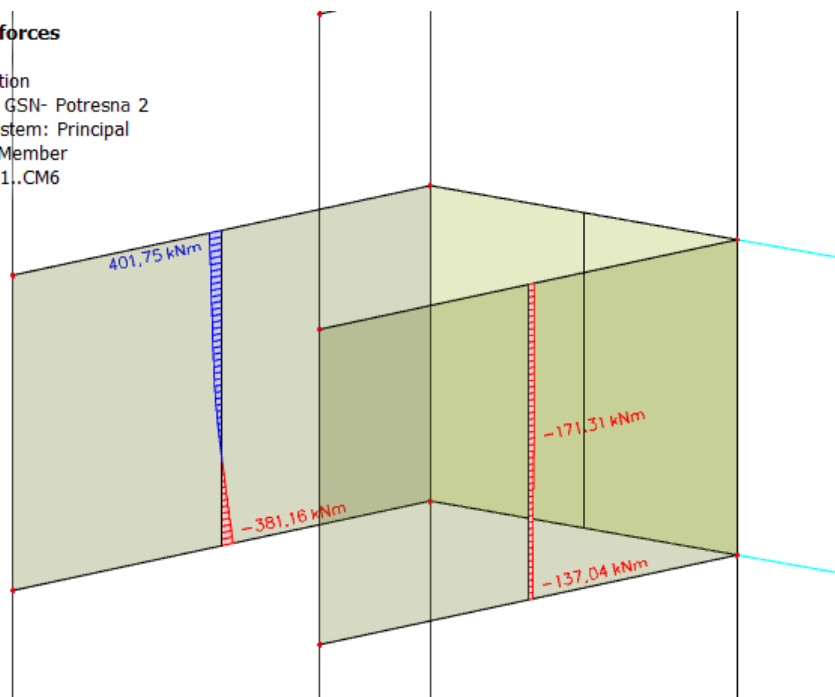
Values: V_z
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM7..CM9



Slika 94. Posmična sila u ravni (Potresna 1) – Zid 2

1D internal forces

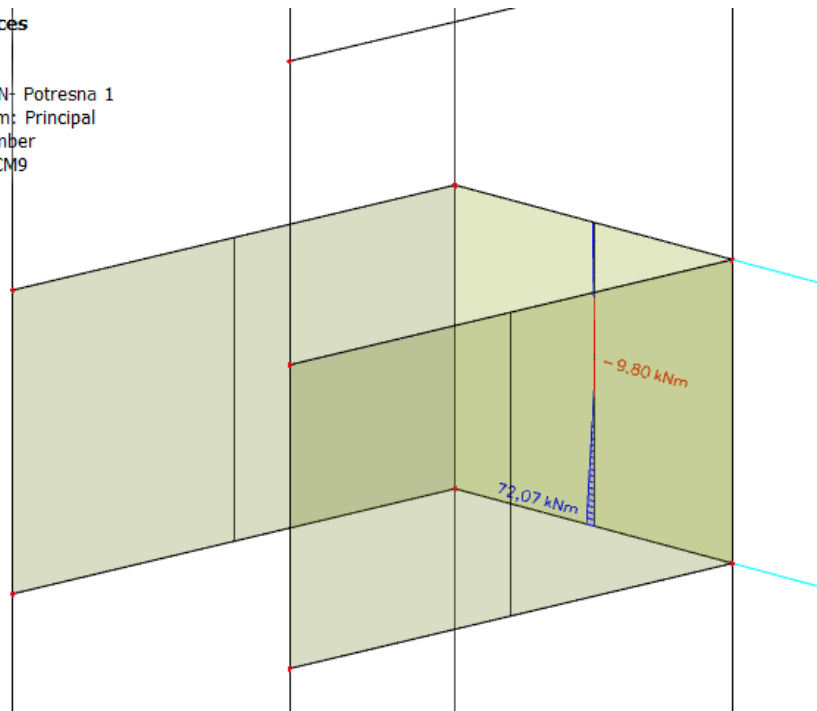
Values: M_x
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM1..CM6



Slika 95. Moment savijanja u ravni (Potresna 2) – Zid 1 i 3

1D internal forces

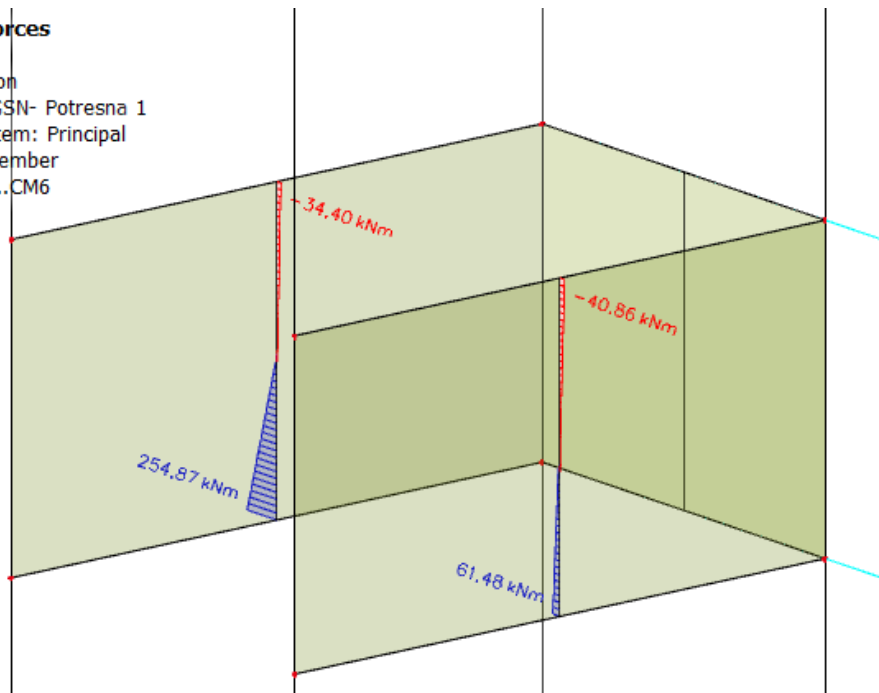
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM7..CM9



Slika 96. Moment savijanja u ravnini (Potresna 1) –Zid 2

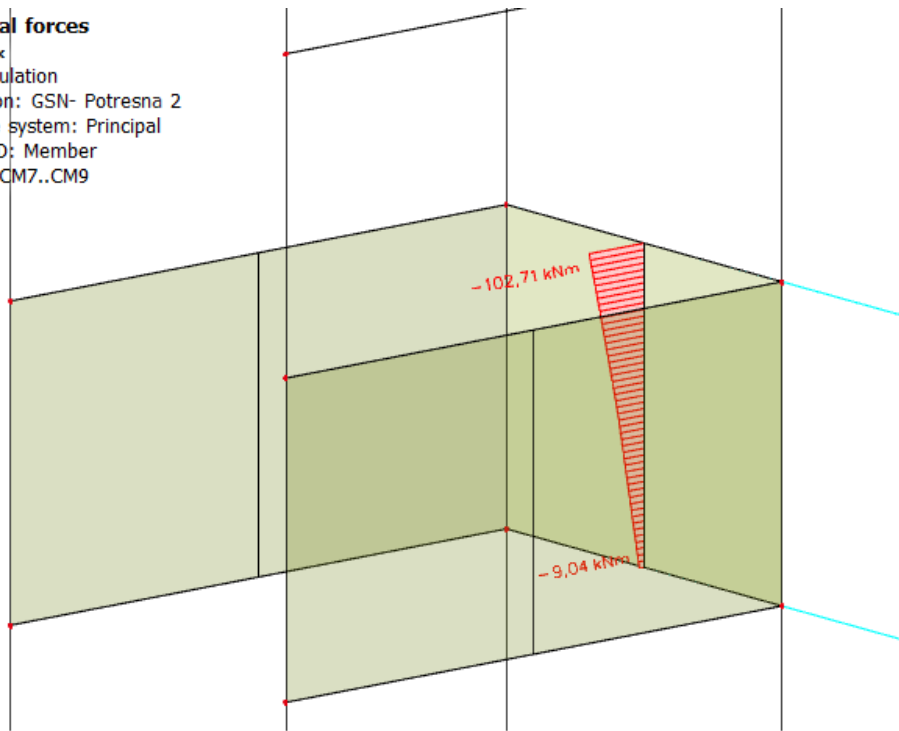
1D internal forces

Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM1..CM6



Slika 97. Moment savijanja van ravnine (Potresna 1) – Zid 1 i 3

1D internal forces
Values: M_x
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: CM7..CM9

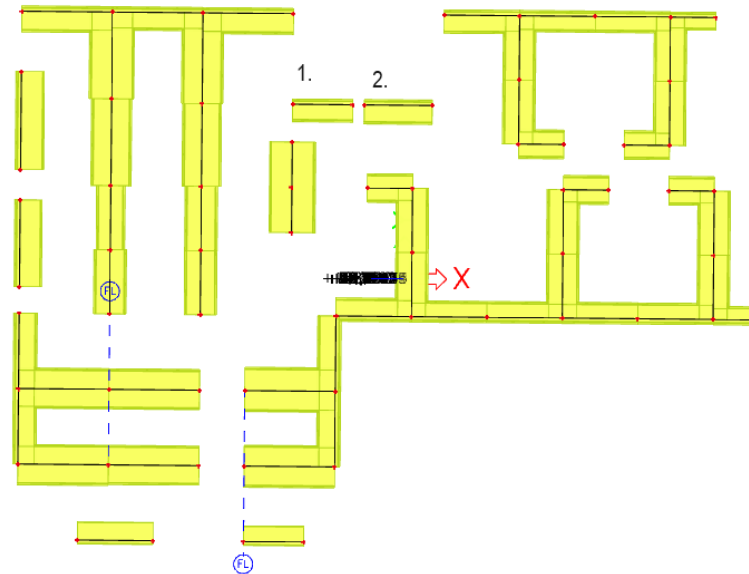


Slika 98. Moment savijanja van ravnine (Potresna 2) – Zid 2

4.3.8. Ispis unutarnjih sila greda

Svaka etaža sastoji se od 52 grede, sve su debljine 70,0 cm prvih 12 etaža, zatim idućih 12 etaža 50,0 cm, a do vrha zgrade 40,0 cm (visina pojedine grede ovisi o rasponu). Budući da se grede geometrijski mijenjaju po visini konstrukcije, promatramo dvije grede jezgre na 3 pozicije gdje im se mijenja debljina (prizemlje, 13. etaža i 25. etaža).

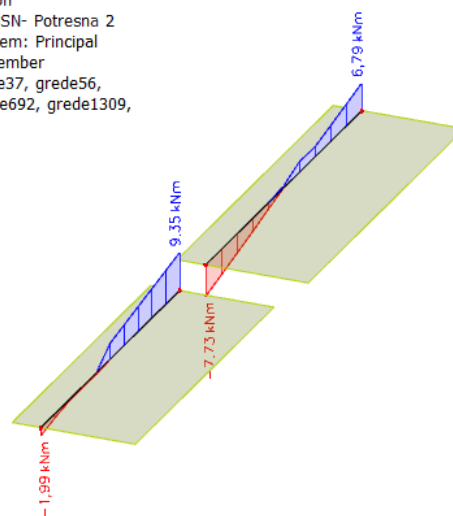
4.3.8.1. Dijagrami unutarnjih sila greda



Slika 99. Tlocrtna shema položaja greda

Prizemlje

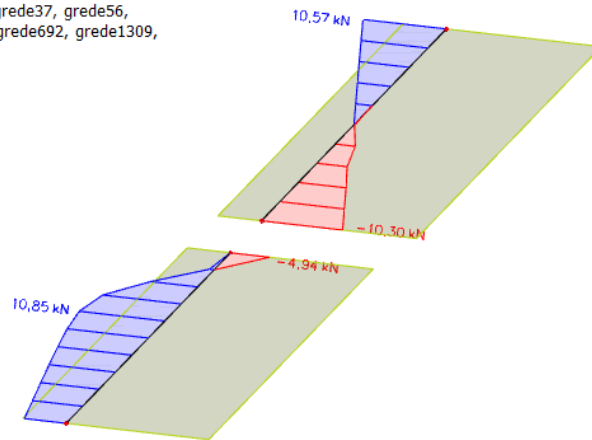
1D internal forces
Values: M_x
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328



Slika 100. Moment savijanja (Potresna 2) – Grede 1 i 2

1D internal forces

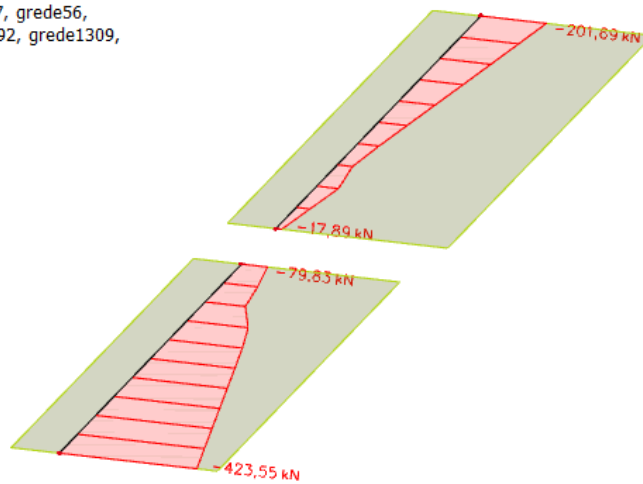
Values: V_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328



Slika 101. Poprečna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2

1D internal forces

Values: N
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328



Slika 102. Uzdužna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2

12. kat

1D internal forces

Values: M_x

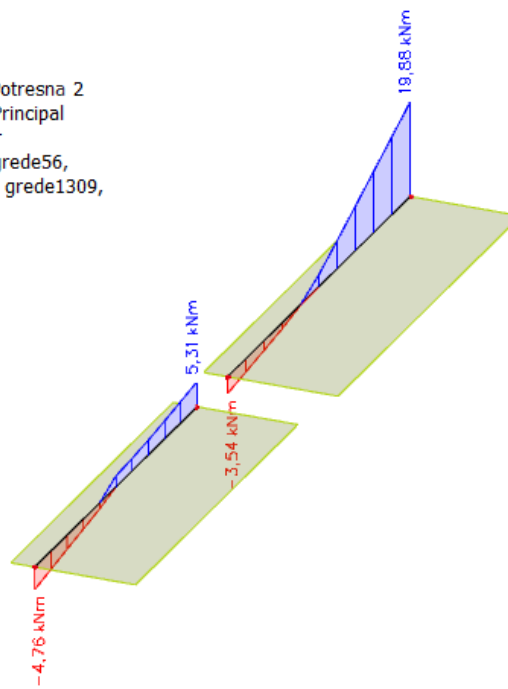
Linear calculation

Combination: GSN- Potresna 2

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328



Slika 103. Moment savijanja (Potresna 2) – Grede 1 i 2

1D internal forces

Values: V_y

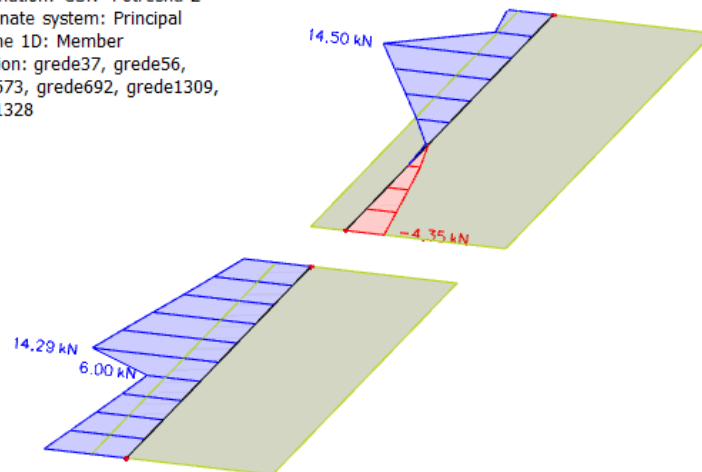
Linear calculation

Combination: GSN- Potresna 2

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328



Slika 104. Poprečna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2

1D internal forces

Values: **N**

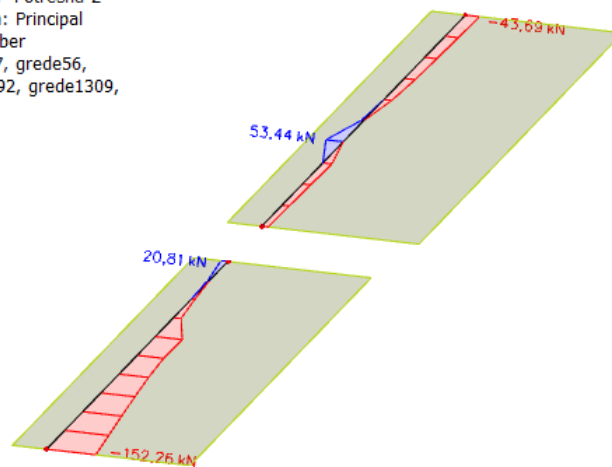
Linear calculation

Combination: GSN- Potresna 2

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328

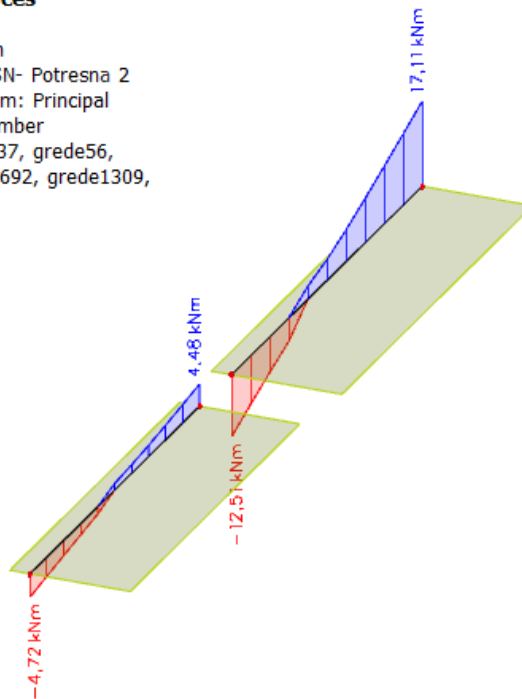


Slika 105. Uzdužna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2

24. kat

1D internal forces

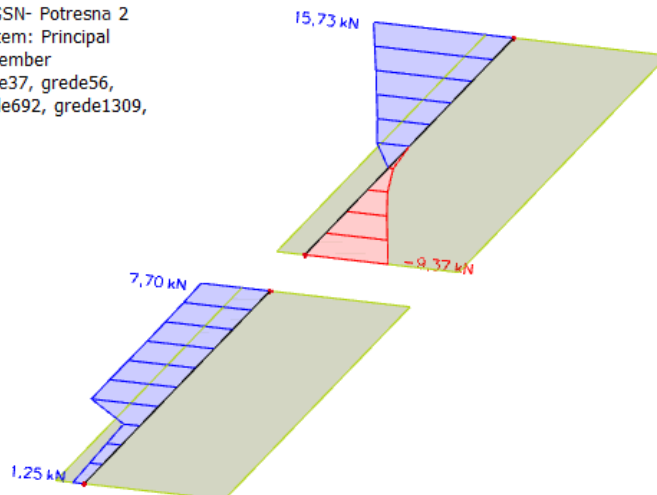
Values: M_x
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328



Slika 106. Moment savijanja (Potresna 2) – Grede 1 i 2

1D internal forces

Values: V_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328



Slika 107. Poprečna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2

1D internal forces

Values: **N**

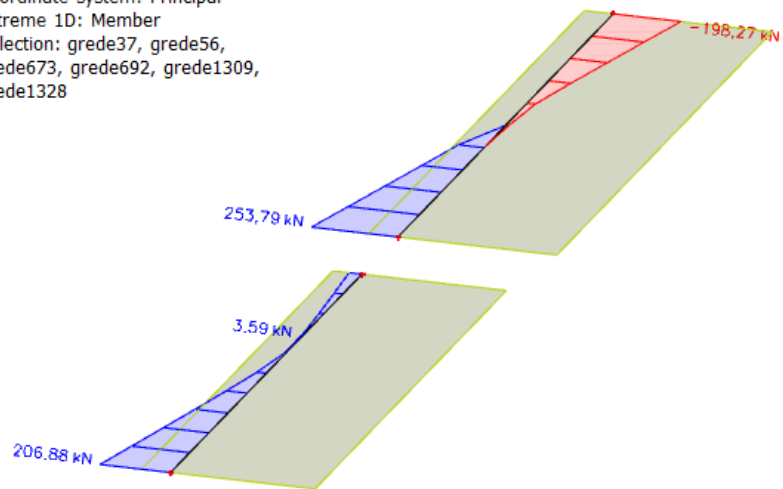
Linear calculation

Combination: GSN- Potresna 2

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: grede37, grede56,
grede673, grede692, grede1309,
grede1328

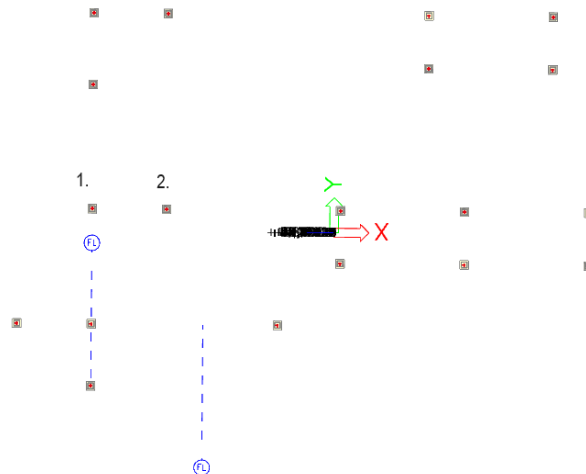


Slika 108. Uzdužna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2

4.3.9. Ispis unutarnjih sila stupova

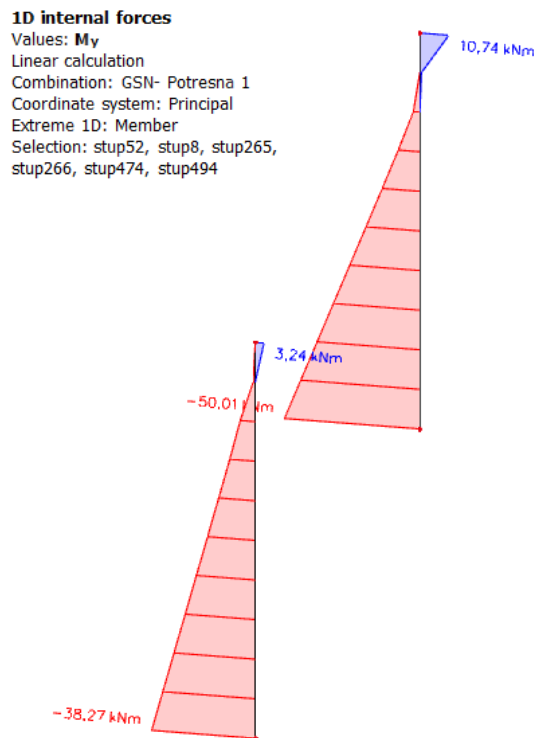
Svaka etaža se sastoji od 19 stupova, svi su presjeka 70x70 prvih 12 etaža, zatim idućih 12 etaža 50x50 cm, a do vrha zgrade 40x40 cm. Budući da se stupovi geometrijski mijenjaju po visini konstrukcije, promatramo dva stupa na 3 pozicije gdje im se mijenja presjek (prizemlje, 13. etaža i 25. etaža).

4.3.9.1. Dijagrami unutarnjih sila u stupovima



Slika 109. Tlocrtna shema položaja stupova

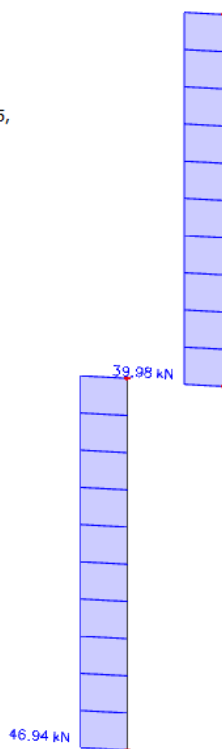
Prizemlje



Slika 110. Moment savijanja (Potresna 1) –Stupovi 1 i 2

1D internal forces

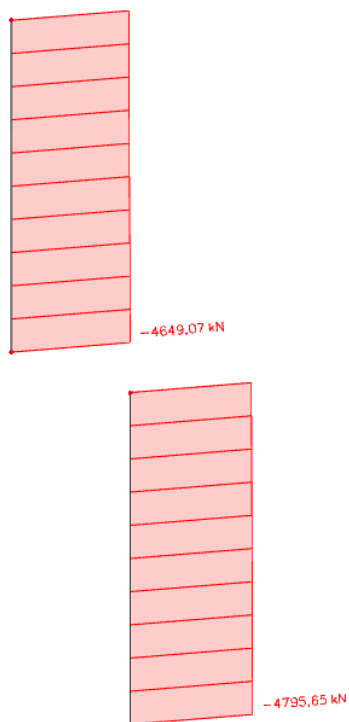
Values: V_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: stup52, stup8, stup265,
stup266, stup474, stup494



Slika 111. Poprečna sila (Potresna 2) – Stupovi 1 i 2

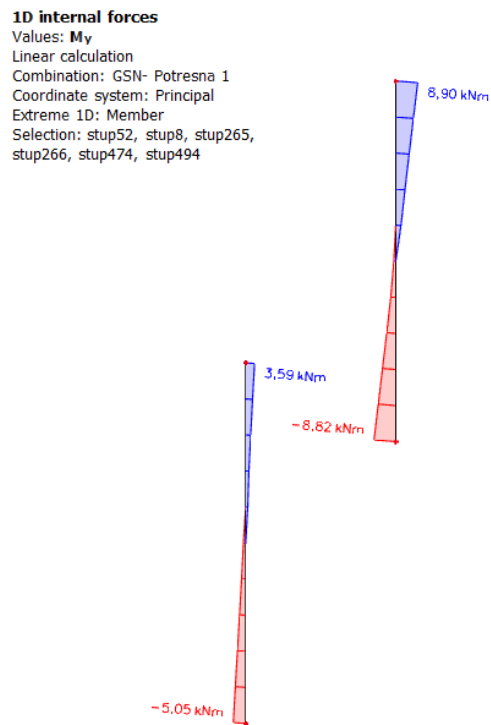
1D internal forces

Values: N
Linear calculation
Combination: GSN
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: stup52, stup8, stup265,
stup266, stup474, stup494

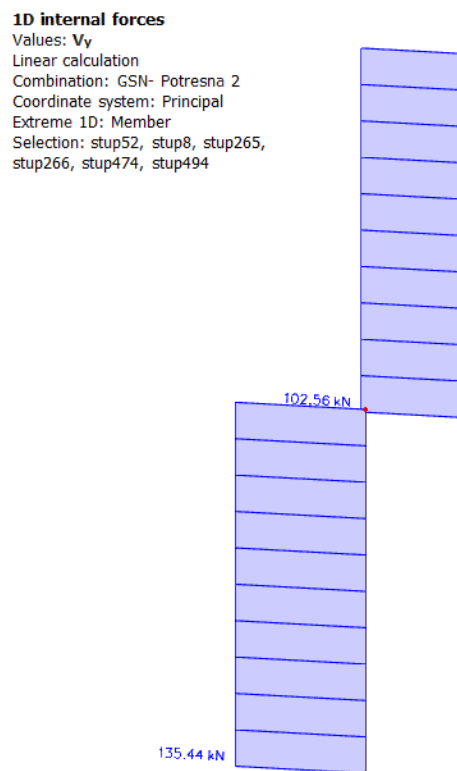


Slika 112. Uzdužna sila (GSN) – Stupovi 1 i 2

12. kat



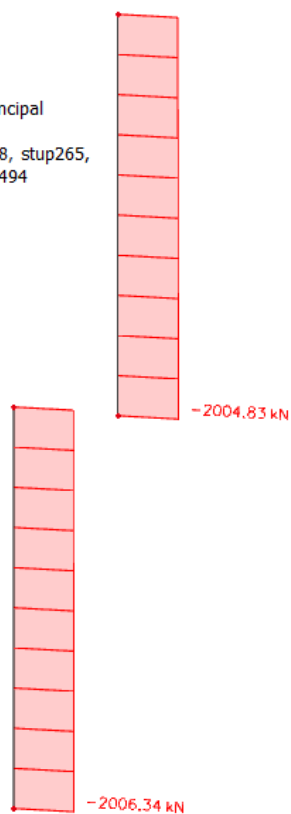
Slika 113. Moment savijanja (Potresna 1) – Stupovi 1 i 2



Slika 114. Poprečna sila (Potresna 2) – Stupovi 1 i 2

1D internal forces

Values: **N**
Linear calculation
Combination: GSN
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: stup52, stup8, stup265,
stup266, stup474, stup494

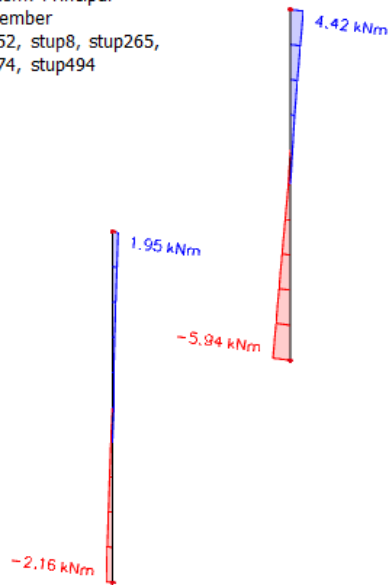


Slika 115. Uzdužna sila (GSN) – Stupovi 1 i 2

24. kat

1D internal forces

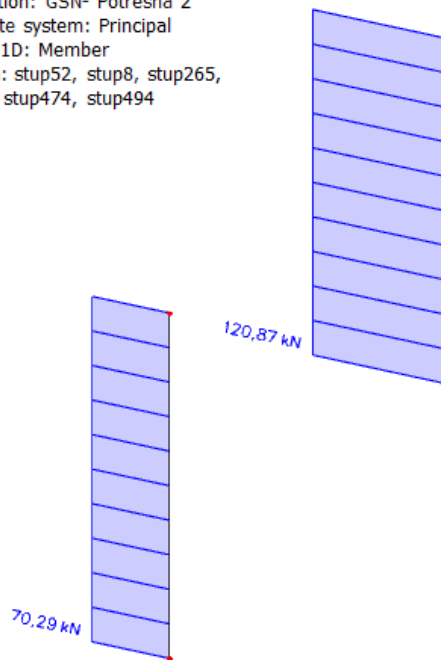
Values: M_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 1
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: stup52, stup8, stup265,
stup266, stup474, stup494



Slika 116. Moment savijanja (Potresna 1) – Stupovi 1 i 2

1D internal forces

Values: V_y
Linear calculation
Combination: GSN- Potresna 2
Coordinate system: Principal
Extreme 1D: Member
Selection: stup52, stup8, stup265,
stup266, stup474, stup494



Slika 117. Poprečna sila (Potresna 2) – Stupovi 1 i 2

1D internal forces

Values: **N**

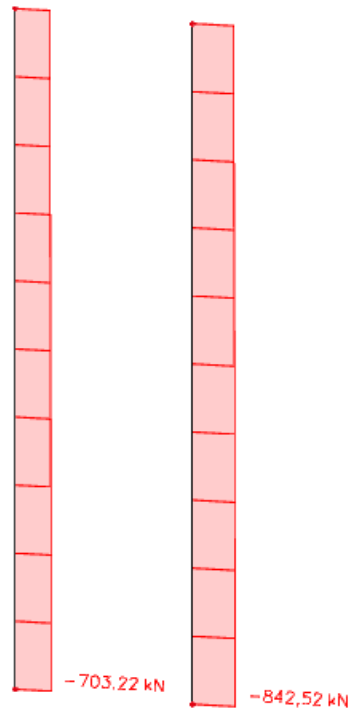
Linear calculation

Combination: GSN

Coordinate system: Principal

Extreme 1D: Member

Selection: stup52, stup8, stup265,
stup266, stup474, stup494



Slika 118. Uzdužna sila (GSN) – Stupovi 1 i 2

5. DIMENZIONIRANJE PLOČE I ZIDA JEZGRE (GSN I GSU)

5.1. Proračun zaštitnog sloja betona

Konstrukcija je svrstana u klasu S4. Na temelju klase konstrukcije određuje se minimalna vrijednost zaštitnog sloja $c_{\min,dur}$.

Razred izloženosti određuje se prema tablici norme [21].

Odabrani razred izloženosti je XC4 za vanjske zidove i armirano-betonske ploče, a XC1 za unutarnje zidove i stupove.

Nominalna debljina zaštitnog sloja:

$$c_{\text{nom}} = c_{\text{min}} + \Delta c_{\text{dev}}$$

gdje su:

c_{min} – minimalni zaštitni sloj

Δc_{dev} – odstupanje u projektu

Najmanji zaštitni sloj c_{min} određuje se tako da zadovolji pouzdan prijenos sila prianjanja, zaštitu od korozije i požarnu otpornost. Računa se kao:

$$c_{\text{min}} = \max\{c_{\text{min},b}; c_{\text{min},dur} + \Delta c_{\text{dur},\gamma} - c_{\text{dur},st} - c_{\text{dur},add}; 10 \text{ mm}\}$$

gdje su:

$c_{\text{min},b}$ – minimalni zaštitni sloj zbog zahtijeva prianjanja

$c_{\text{min},dur}$ – minimalni zaštitni sloj zbog uvjeta okoliša

$\Delta c_{\text{dur},\gamma}$ – dodatna sigurnost (preporučeno $\Delta c_{\text{dur},\gamma} = 0$)

$c_{\text{dur},st}$ – smanjenje minimalnog zaštitnog sloja pri uporabi nehrđajućeg čelika (preporučeno $c_{\text{dur},st} = 0$)

$\Delta c_{\text{dur},add}$ – smanjenje minimalnog zaštitnog sloja pri uporabi dodatne zaštite (preporučeno $\Delta c_{\text{dur},add} = 0$)

Beton: C30/37

Odstupanje u projektu: $\Delta c_{\text{dev}} = 10,0 \text{ mm}$

Tablica 29. Preporučena razredba konstrukcija [21]

Razred konstrukcije							
Kriterij	Razred izloženosti prema tablici 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1	XD2/XS1	XD3/XS2/XS3
Proračunski uporabni vijek 100 godina	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2	povećati razred za 2
Razred čvrstoće ¹²⁾	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C35/45 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C45/55 smanjiti razred za 1
Element pločaste geometrije (proces gradnje nema utjecaja na položaj armature)	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1
Osigurana posebna kontrola kvalitete proizvodnje betona	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1
NAPOMENE: 1. Razred čvrstoće i vodocementni omjer međusobno su povezani. Smije se razmotriti poseban sastav (vrsta cementa, vodocementni omjer, fina punila) s namjerom postignuća male propusnosti. 2. Ograničenje se smije smanjiti za jedan razred čvrstoće ako je uvučenoga zraka više od 4 %.							

Tablica 30. Vrijednosti najmanjeg zaštitnog sloja $c_{min,dur}$ u odnosu na trajnost čelične armature [21]

Zahtjevi okoliša za $c_{min,dur}$ [mm]							
Razred konstrukcije	Razred izloženosti u skladu s tablicom 4.1						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10	10	10	15	20	25	30
S2	10	10	15	20	25	30	35
S3	10	10	20	25	30	35	40
S4	10	15	25	30	35	40	45
S5	15	20	30	35	40	45	50
S6	20	25	35	40	45	50	55

5.1.1. Zaštitni sloj AB ploča

Razred izloženosti: XC4

Razred konstrukcije: S3

Minimalni zaštitni sloj AB ploča:

$$c_{min,b} = 20,0 \text{ mm}$$

$$c_{min,dur} = 25,0 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10,0 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{20,0; 25,0 + 0,0 - 0,0 - 0,0 = 25,0; 10,0 \text{ mm}\}$$

$$c_{min} = 25,0 \text{ mm}$$

Nominalni zaštitni sloj AB ploča:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 25,0 + 10,0 = 35,0 \text{ mm}$$

5.1.2. Zaštitni sloj AB zida jezgre koji se dimenzionira

Razred izloženosti: XC1

Razred konstrukcije: S2

Minimalni zaštitni sloj AB zidova jezgre:

$$c_{\min,b} = 20,0 \text{ mm}$$

$$c_{\min,dur} = 10,0 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = \max\{c_{\min,b}; c_{\min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - c_{dur,add}; 10,0 \text{ mm}\}$$

$$c_{\min} = \max\{20,0; 10,0 + 0,0 - 0,0 - 0,0 = 10,0; 10,0 \text{ mm}\}$$

$$c_{\min} = 20,0 \text{ mm}$$

Nominalni zaštitni sloj AB zidova jezgre:

$$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev} = 20,0 + 10,0 = 30,0 \text{ mm}$$

Tablica 31. Rekapitulacija usvojenih zaštitnih slojeva

ELEMENT	DEBLJINA ZAŠTITNOG SLOJA
AB ploče	$c_{nom} = 35,0 \text{ mm}$
AB zid	$c_{nom} = 30,0 \text{ mm}$

5.2. Dimenzioniranje AB ploča

Dimenzioniranje AB ploča provodi se prema normi [21] prema postupku iz knjige Betonske konstrukcije 1 [3] za granično stanje nosivosti, te prema postupku iz knjige Betonske konstrukcije 2 [4] za granično stanje uporabljivosti.

Materijali

Beton: C30/37

Karakteristična tlačna čvrstoća betona: $f_{ck} = 30,0 \text{ N/mm}^2$

Koeficijent dugotrajnih učinaka: $\alpha_{cc} = 1,0$

Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton: $\gamma_c = 1,5$

Proračunska tlačna čvrstoća betona: $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30,0}{1,5} = 20,00 \text{ N/mm}^2$

Srednja vlačna čvrstoća betona: $f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$

Granični koeficijent armiranja: $\omega_{lim} = 0,365$

Armaturni čelik: B500B

Karakteristična granica popuštanja čelika: $f_{yk} = 500,0 \text{ N/mm}^2$

Parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik: $\gamma_s = 1,15$

Proračunska granica popuštanja čelika: $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

5.2.1. Ploča

- Sve ploče su jednakih dimenzija i jednak je raspored oslonaca ispod njih. Kao pokazni primjer izabrana je ploča iznad 24. kata jer su dimenzije poprečnih presjeka oslonaca (zidova i stupova) najmanje

5.2.1.1. Armatura u polju

Tablica 32. Momenti savijanja u polju – Ploča

$M_{Ed,x}$ [kNm/m]	$M_{Ed,y}$ [kNm/m]
28,27	22,62

Smjer X

Visina:	$h = 20,0$ cm
Zaštitni sloj betona:	$c = 3,5$ cm
Promjer armature za <u>X</u> smjer:	$\phi = 1,0$ cm
Udaljenost do težišta armature:	$d_{1x} = 4,0$ cm
Statička visina presjeka:	$d_x = 16,0$ cm

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 28,27 \text{ kNm/m} = 2827,0 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2827,0}{100,0 \cdot 16,0^2 \cdot 2,00} = 0,0552$$

Bezdimenzijski moment otpornosti:

$$\mu_{Rd} = 0,059$$

$$\text{Očitani koeficijenti} \quad \varepsilon_c = -2,0 \text{ ‰} \quad \xi = 0,091$$

$$\varepsilon_s = 20,0 \text{ ‰} \quad \zeta = 0,966$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2827,0}{0,966 \cdot 16,0 \cdot 43,478} = 4,21 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 16,0 = 2,08 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 16,0 = 2,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

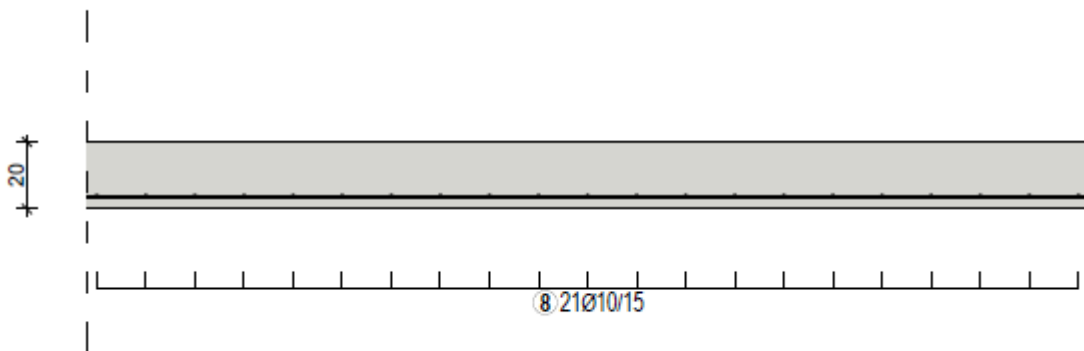
$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 16,0 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 26,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura: $\phi 10/15,0 \text{ cm}$

$$A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Uvjet: } A_{s1,min} = 2,41 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 7,85 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 26,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$



Slika 119. Shema armiranja ploče u polju u X smjeru

Smjer Y

Visina: $h = 20,0 \text{ cm}$

Zaštitni sloj betona: $c = 3,5 \text{ cm}$

Promjer armature za Y smjer: $\phi = 1,0 \text{ cm}$

Udaljenost do težišta armature: $d_{1y} = 5,0 \text{ cm}$

Statička visina presjeka: $d_y = 15,0 \text{ cm}$

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,y} = 22,62 \text{ kNm/m} = 22,62 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2262,0}{100,0 \cdot 15,0^2 \cdot 2,00} = 0,0503$$

Bezdimenzijski moment otpornosti:

$$\mu_{Rd} = 0,055$$

Očitani koeficijenti	$\varepsilon_c = -1,9 \text{ ‰}$	$\xi = 0,087$
	$\varepsilon_s = 20,0 \text{ ‰}$	$\zeta = 0,968$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2262,0}{0,968 \cdot 15,0 \cdot 43,478} = 3,58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100,0 \cdot 15,0 = 1,95 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 15,0 = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

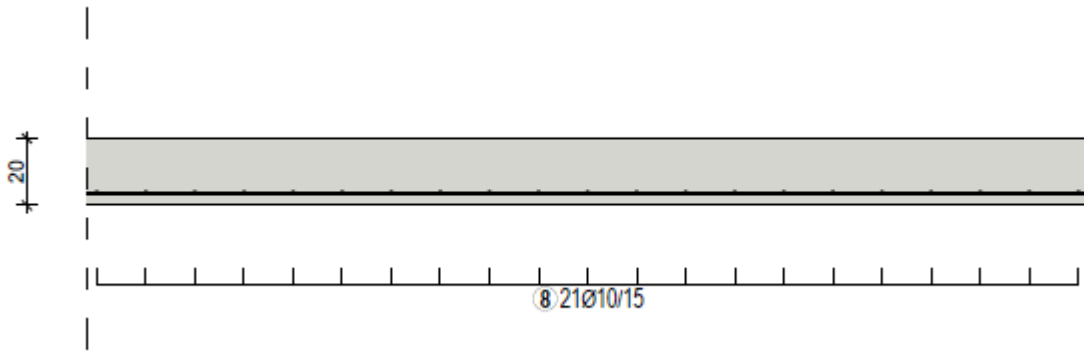
$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 15,0 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 25,19 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura: $\phi 10/15 \text{ cm}$

$$A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Uvjet: } A_{s1,min} = 2,26 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 25,19 \text{ cm}^2/\text{m}$$



Slika 120. Shema armiranja ploče u polju u Y smjeru

5.2.1.2. Armatura nad osloncem

Tablica 33. Momenti savijanja nad osloncem - Ploča

$M_{Ed,x}$ [kNm/m]	$M_{Ed,y}$ [kNm/m]
108,27	75,65

Smjer X

Visina:	$h = 20,0$ cm
Zaštitni sloj betona:	$c = 3,5$ cm
Promjer armature za <u>X</u> smjer:	$\phi = 1,6$ cm
Udaljenost do težišta armature:	$d_{1x} = 4,3$ cm
Statička visina presjeka:	$d_x = 15,7$ cm

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 108,27 \text{ kNm/m} = 10827,0 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10827,0}{100,0 \cdot 15,7^2 \cdot 2,00} = 0,220$$

Bezdimenzijski moment otpornosti:

$$\mu_{Rd} = 0,223$$

Očitani koeficijenti	$\epsilon_c = -3,5 \text{ ‰}$	$\xi = 0,318$
	$\epsilon_s = 7,5 \text{ ‰}$	$\zeta = 0,868$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10827,0}{0,868 \cdot 15,7 \cdot 43,478} = 18,27 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 15,7 = 2,04 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 15,7 = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

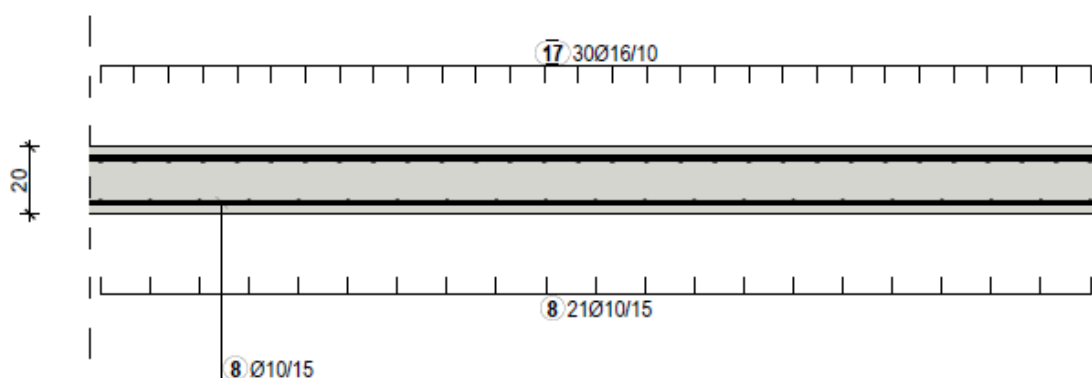
$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{Yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 15,7 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 26,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura: $\phi 16/10,0 \text{ cm}$

$$A_{s1,prov} = 20,11 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Uvjet: } A_{s1,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 20,11 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 26,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$



Slika 121. Shema armiranja ploče nad ležajem u X smjeru

Smjer Y

Visina:

$$h = 20,0 \text{ cm}$$

Zaštitni sloj betona:

$$c = 3,5 \text{ cm}$$

Promjer armature za Y smjer:

$$\phi = 1,6 \text{ cm}$$

Udaljenost do težišta armature:

$$d_{1y} = 5,9 \text{ cm}$$

Statička visina presjeka:

$$d_y = 14,1 \text{ cm}$$

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,y} = 75,65 \text{ kNm/m} = 7565,0 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{7565,0}{100,0 \cdot 14,1^2 \cdot 2,00} = 0,190$$

Bezdimenzijski moment otpornosti:

$$\mu_{Rd} = 0,194$$

Očitani koeficijenti

$$\varepsilon_c = -3,5 \text{ ‰}$$

$$\xi = 0,269$$

$$\varepsilon_s = 9,5 \text{ ‰}$$

$$\zeta = 0,888$$

Potrebna površina armature:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{7565,0}{0,888 \cdot 14,1 \cdot 43,478} = 13,90 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100,0 \cdot 14,1 = 1,83 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{2,9}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 14,1 = 2,13 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura:

$$A_{s1,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

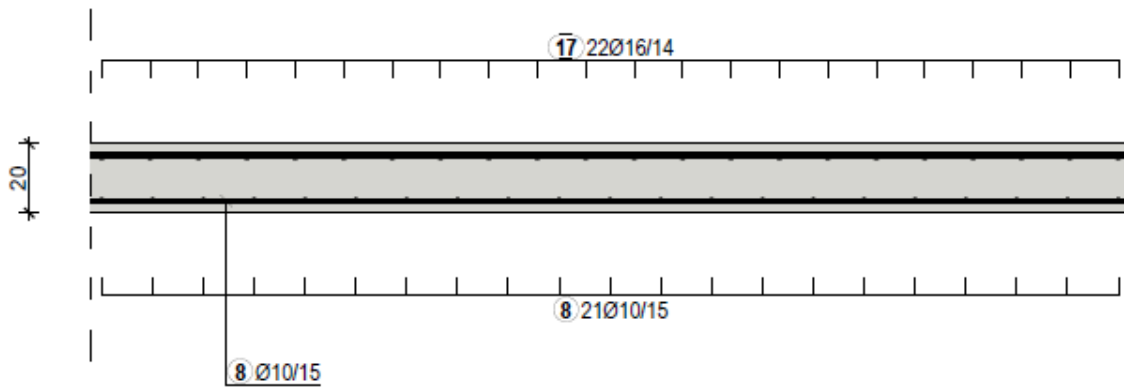
$$A_{s1,max} = 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 14,1 \cdot \frac{20,00}{434,78} = 23,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura: $\phi 16/14 \text{ cm}$

$$A_{s1,prov} = 14,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Uvjet: } A_{s1,min} = 2,13 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 14,36 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 23,67 \text{ cm}^2/\text{m}$$



Slika 122. Shema armiranja ploče nad ležajem u Y smjeru

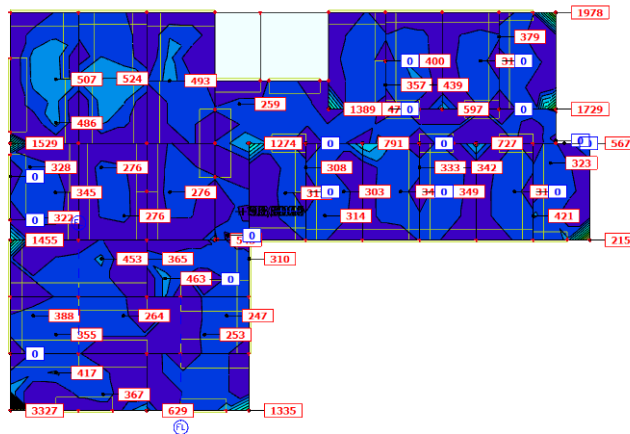
Tablica 34. Rekapitulacija odabrane armature - Ploča 1

	Smjer X	Smjer Y
Polje	$\phi 10/15,0$ cm	$\phi 10/15,0$ cm
Nad ležajem	$\phi 16/10,0$ cm	$\phi 16/14,0$ cm

Usporedba proračunate armature i potrebne armature iz software-a SCIA Engineer 22.1:

Reinforcement 2D design

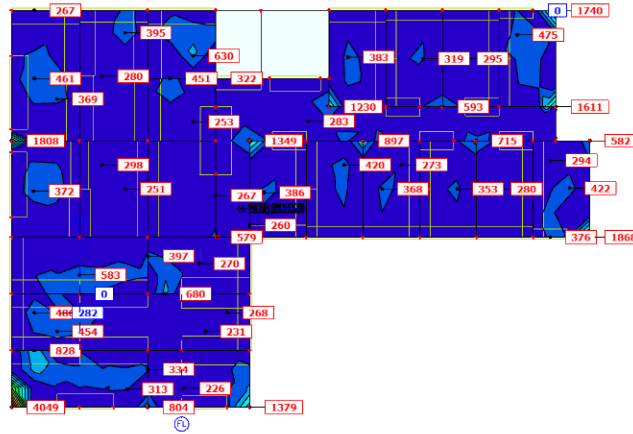
Values: $A_{s,req,1}$
 Linear calculation
 Combination: GSN
 Extreme: Global
 Selection: ploča prizemlja27
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 123. Potrebna donja armatura u X smjeru – SCIA Engineer 22.1

Reinforcement 2D design

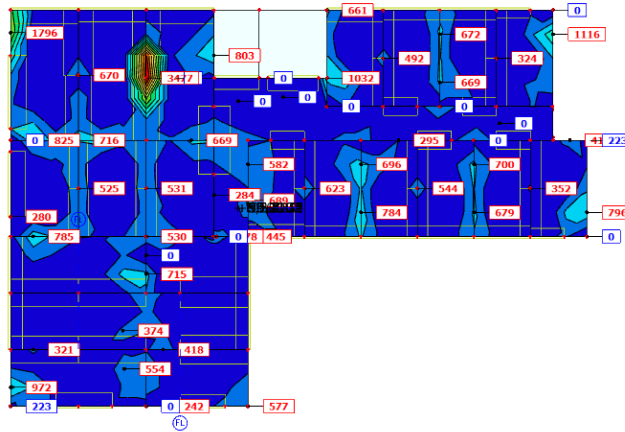
Values: $A_{s,req,2-}$
Linear calculation
Combination: GSN
Extreme: Global
Selection: ploča prizemlja27
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element
Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 124. Potrebna donja armatura u Y smjeru – SCIA Engineer 22.1

Reinforcement 2D design

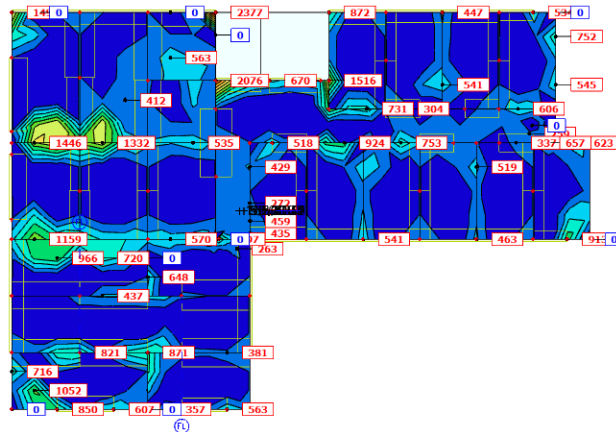
Values: $A_{s,req,1+}$
Linear calculation
Combination: GSN
Extreme: Global
Selection: ploča prizemlja27
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element
Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 125. Potrebna gornja armatura u X smjeru – SCIA Engineer 22.1

Reinforcement 2D design

Values: $A_{s,req,2+}$
Linear calculation
Combination: GSN
Extreme: Global
Selection: ploča prizemlja27
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element
Components of internal forces parallel with the rib are taken into account as zero within the effective width of the rib.



Slika 126. Potrebna gornja armatura u Y smjeru – SCIA Engineer 22.1

Tablica 35. Usporedba potrebne armature proračunom i iz software-a SCIA Engineer 22.1

PODRUČJE	PRORAČUN		SCIA Engineer 22.1	
	Smjer X	Smjer Y	Smjer X	Smjer Y
Polje	4,21 cm ² /m	3,58 cm ² /m	5,24 cm ² /m	4,61 cm ² /m
Nad osloncem	18,27 cm ² /m	13,90 cm ² /m	17,96 cm ² /m	13,32 cm ² /m

Svi uvjeti su zadovoljeni.

5.2.1.3. Proboj ploče

Ravne ploče koje se oslanjaju direktno na stupove potrebno je provjeriti na proboj. Slom pri probouju je neduktilan i progresivan. Na promatranouj konstrukciji ne postoje ploče koje se direktno oslanjaju na stupove i stoga nije potrebno provjeravati proboj ploče.

5.2.1.4. Provjera širine pukotina u betonu Ploče

Provjeravaju se granično stanje pojave pukotina i granično stanje širine pukotina u betonu. Pojava pukotine je stanje u kojem je vlačno naprezanje vlakanca betona u poprečnom presjeku doseglo vlačnu čvrstoću betona. Širina pukotine je stanje kada je karakteristična širina pukotine jednaka graničnoj vrijednosti navedenoj u propisima, normama ili nekim drugim zahtjevima. Širinu pukotine je potrebno ograničiti na $w_k = 0,4$ mm za sve armirano-betonske elemente izložene savijanju bez značajnijeg uzdužnog vlaka. Proračun se provodi prema normi [21] i knjizi Betonske konstrukcije 2 [4].

Mehaničke i geometrijske karakteristike za kratkotrajno djelovanje (t = 0)

Sekantni modul elastičnosti betona:

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \cdot \left(\frac{38}{10}\right)^{0,3} = 32836,6 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{32836,6} = 6,09$$

Koeficijent armiranja za t = 0:

$$A_{s1,prov} = 20,11 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_I = \frac{A_{s1,prov}}{b \cdot h} = \frac{20,11}{100 \cdot 20} = 0,0101$$

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1,prov}}{b \cdot d} = \frac{20,11}{100 \cdot 15,5} = 0,0130$$

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za $t = 0$:

$$A_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \frac{d}{h} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d}\right) = 6,09 \cdot 10,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{15,7}{20} \cdot \left(1 + \frac{5,24 \cdot 4,0}{20,11 \cdot 15,7}\right)$$

$$A_I = 0,05$$

$$B_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 6,09 \cdot 10,1 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{5,24}{20,11}\right) = 0,08$$

$$A_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d}\right) = 6,09 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{5,24 \cdot 4,0}{20,11 \cdot 15,7}\right) = 0,08$$

$$B_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 6,09 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{5,24}{20,11}\right) = 0,10$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,05}{1 + 0,08} = 0,51$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \cdot A_{II}} = -0,10 + \sqrt{0,10^2 + 2 \cdot 0,08} = 0,312$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploča za $t = 0$:

$$y_{Ig} = k_{xI} \cdot h = 0,51 \cdot 20 = 10,2 \text{ cm}$$

$$y_{Id} = h - y_{Ig} = 20 - 10,2 = 9,8 \text{ cm}$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,312 \cdot 15,7 = 4,90 \text{ cm}$$

Moment tromosti poprečnog presjeka ploče za $t = 0$:

$$I_0 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{100 \cdot 20^3}{12} = 66666,67 \text{ cm}^4$$

$$I_I = \frac{b}{3} \cdot (y_{Id}^3 + y_{Ig}^3) + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1,prov} \cdot (d - y_{Ig})^2 + A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)^2]$$

$$I_I = \frac{100}{3} \cdot (9,8^3 + 10,2^3) + (6,09 - 1) \cdot [20,11 \cdot (15,7 - 10,2)^2 +]$$

$$= [+5,24 \cdot (10,2 - 4,0)^2] = 70868,3 \text{ cm}^4$$

$$I_{II} = \frac{b}{3} \cdot y_{IIg}^3 + \alpha_e \cdot A_{s1,prov} \cdot (d - y_{IIg})^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)^2$$

$$I_{II} = \frac{100}{3} \cdot 4,90^3 + 6,09 \cdot 20,11 \cdot (15,7 - 4,90)^2 +$$

$$= +(6,09 - 1) \cdot 5,24 \cdot (4,90 - 4,0)^2 = 18228,1 \text{ cm}^4$$

Mehaničke i geometrijske karakteristike za dugotrajno djelovanje ($t = \infty$)

Određivanje konačne vrijednosti koeficijenta puzanja:

Površina presjeka:

$$A_c = 100,0 \cdot 20,0 = 2000 \text{ cm}^2$$

Zbroj rubova presjeka koji su izloženi zraku:

$$u = 100,0 + 100,0 = 200,0 \text{ cm}$$

Srednji polumjer ploče:

$$h_c = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 2 \cdot \frac{2000,0}{200,0} = 20,0 \text{ cm}$$

Za suhe uvjete okoliša $RH = 50\%$, za cement razreda N i za $t_0 = 28$:

$$\varphi_t(\infty, t_0) = 1,8$$

Proračunski modul elastičnosti za $t = \infty$:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t(\infty, t_0)} = \frac{32836,6}{1 + 1,8} = 11727,36 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona za $t = \infty$:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200000,0}{11727,3} = 17,05$$

Koeficijenti armiranja, ρ_I za ρ_{II} za $t = \infty$, su jednaki onima za $t = 0$.

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za $t = \infty$:

$$A_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \frac{d}{h} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d} \right) = 17,05 \cdot 10,1 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{15,7}{20} \cdot \left(1 + \frac{5,24 \cdot 4,0}{20,11 \cdot 15,7} \right)$$

$$A_I = 0,14$$

$$B_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 17,05 \cdot 10,1 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{5,24}{20,11} \right) = 0,22$$

$$A_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d} \right) = 17,05 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{5,24 \cdot 4,0}{20,11 \cdot 15,7} \right) = 0,24$$

$$B_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 17,05 \cdot 13,0 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 + \frac{5,27}{20,11} \right) = 0,28$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,14}{1 + 0,22} = 0,53$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \cdot A_{II}} = -0,28 + \sqrt{0,28^2 + 2 \cdot 0,24} = 0,47$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploče za $t = \infty$:

$$y_{Ig} = k_{xI} \cdot h = 0,53 \cdot 20,0 = 10,6 \text{ cm}$$

$$y_{Id} = h - y_{Ig} = 20,0 - 10,6 = 9,4 \text{ cm}$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,47 \cdot 15,7 = 7,38 \text{ cm}$$

Momenti tromosti poprečnog presjeka ploče za $t = \infty$:

$$I_I = \frac{b}{3} \cdot (y_{Id}^3 + y_{Ig}^3) + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1,prov} \cdot (d - y_{Ig})^2 + A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)^2]$$

$$I_I = \frac{100}{3} \cdot (9,4^3 + 10,6^3) + (17,05 - 1) \cdot [20,11 \cdot (15,7 - 10,6)^2 + 5,24 \cdot (10,6 - 4,0)^2] = 79445,28 \text{ cm}^4$$

$$I_{II} = \frac{b}{3} \cdot y_{IIg}^3 + \alpha_e \cdot A_{s1,prov} \cdot (d - y_{IIg})^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)^2$$

$$I_{II} = \frac{100}{3} \cdot 7,38^3 + 17,05 \cdot 20,11 \cdot (15,7 - 7,38)^2 + (17,05 - 1) \cdot 5,24 \cdot (7,38 - 4,0)^2 = 26510,96 \text{ cm}^4$$

Statički momenti površina armature za $t = \infty$:

$$S_I = A_{s1,prov} \cdot (d - y_{Ig}) - A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)$$

$$S_I = 20,11 \cdot (15,7 - 10,6) - 5,24 \cdot (10,6 - 4,0) = 67,98 \text{ cm}^3$$

$$S_{II} = A_{s1,prov} \cdot (d - y_{IIg}) - A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)$$

$$S_{II} = 20,11 \cdot (15,7 - 7,38) - 5,24 \cdot (7,38 - 4,0) = 149,60 \text{ cm}^3$$

Minimalna površina armature za ograničenje širine pukotina

Minimalna armatura za ograničenje širine pukotina:

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s}$$

gdje su:

A_{ct} - površina betona u vlačnom području

k_c - koeficijent kojim se uzima u obzir raspodjela naprezanja unutar presjeka neposredno prije raspucavanja ($k_c = 0,4$)

k - koeficijent za učinak nejednolikih samouravnoteženih naprezanja ($k = 1,0$)

$f_{ct,eff}$ - srednja vrijednost vlačne čvrstoće betona u vrijeme pojave prve pukotine, $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 0,29 \text{ kN/cm}^2$

σ_s - apsolutna vrijednost najvećeg dopuštenog naprezanja u armaturi neposredno nakon pojave pukotine, $\sigma_s = f_{yk} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$

$$A_{ct} = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{100,0 \cdot 20,0}{2} = 1000 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ct,eff} \cdot \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,4 \cdot 1,0 \cdot 0,29 \cdot \frac{1000,0}{50,0} = 2,32 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura $\phi 16/10 \text{ cm}$ zadovoljava ovaj uvjet minimalne armature:

$$A_{s1,prov} = 20,11 \text{ cm}^2 > A_{s1,\min} = 2,32 \text{ cm}^2$$

Proračun širine pukotina za kratkotrajno djelovanje ($t = 0$)

Za kratkotrajno djelovanje proračunski moment savijanja nad stupom iznosi:

$$M_{Ed} = M_g + M_q$$

$$M_{Ed} = 30,6 \text{ kNm}$$

Moment savijanja pri kojem dolazi do pojave prve pukotine u poprečnom presjeku ploče:

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100,0 \cdot 20,0^2}{6} = 1933,33 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} = 30,6 \text{ kNm} > M_{cr} = 19,33 \text{ kNm}$$

Dolazi do pojave prve pukotine.

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_{\max} = 0,4 \text{ mm}$$

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 15,7 - \frac{4,90}{3} = 14,07 \text{ cm}$$

Naprezanje u armaturi:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \cdot z} = \frac{3060,0}{20,11 \cdot 14,07} = 10,81 \text{ kN/cm}^2$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona između dviju pukotina:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Sudjelujuća vlačna površina presjeka:

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff}$$

$h_{c,eff}$ – visina sudjelujuće vlačne površine presjeka:

$$h_{c,eff} = \min \left(2,5 \cdot (h - d); \frac{h - y_{IIg}}{3}; \frac{h}{2} \right)$$

$$h_{c,eff} = \min \left(2,5 \cdot (20 - 15,7) = 10,75; \frac{20 - 4,90}{3} = 5,03; \frac{20}{2} = 10,0 \right)$$

Uzima se:

$$h_{c,eff} = 5,03 \text{ cm}$$

Izračun sudjelujuće vlačne površine presjeka:

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff} = 100,0 \cdot 5,03 = 503,0 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{20,11}{503,0} = 0,040$$

Izračun razlike srednjih relativnih deformacija armature i betona između dviju pukotina:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{10,81 - 0,6 \cdot \frac{0,29}{0,040} \cdot (1 + 6,09 \cdot 0,040)}{20000,0} = 2,7 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 2,7 \cdot 10^{-4} \geq 0,6 \cdot \frac{10,81}{20000,0} = 3,24 \cdot 10^{-4}$$

Uzima se:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 3,24 \cdot 10^{-4}$$

Razmak glavne armature:

$$5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) = 5 \cdot \left(3,5 + \frac{1,6}{2} \right) = 21,5 \text{ cm} > 12,5 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \cdot 3,5 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{1,6}{0,04} = 18,7 \text{ cm}$$

Karakteristična širina pukotine za kratkotrajno djelovanje:

$$w_{k,t=0} = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 187 \cdot 3,24 \cdot 10^{-4} = 0,061 \text{ mm} < w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

Širina pukotine nad stupom je manja od w_{max} za kratkotrajno djelovanje.

Proračun širine pukotina za dugotrajno djelovanje ($t = \infty$)

Za dugotrajno djelovanje proračunski moment savijanja nad stupom iznosi:

$$M_{Ed} = M_g + \psi_2 \cdot M_q$$

$$M_{Ed} = 27,45 \text{ kNm}$$

Moment savijanja pri kojem dolazi do pojave prve pukotine u poprečnom presjeku ploče:

$$M_{cr} = f_{ctm} \cdot \frac{b \cdot h^2}{6} = 0,29 \cdot \frac{100,0 \cdot 20,0^2}{6} = 1933,33 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} = 27,45 \text{ kNm} > M_{cr} = 19,33 \text{ kNm}$$

Dolazi do pojave prve pukotine.

Karakteristična širina pukotina:

$$w_k = s_{r,\max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$$w_{\max} = 0,4 \text{ mm}$$

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 15,7 - \frac{7,38}{3} = 13,24 \text{ cm}$$

Naprezanje u armaturi:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \cdot z} = \frac{2745,0}{20,11 \cdot 13,24} = 10,31 \text{ kN/cm}^2$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona između dviju pukotina:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Sudjelujuća vlačna površina presjeka:

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff}$$

$h_{c,eff}$ – visina sudjelujuće vlačne površine presjeka:

$$h_{c,eff} = \min \left(2,5 \cdot (h - d); \frac{h - y_{IIg}}{3}; \frac{h}{2} \right)$$

$$h_{c,eff} = \min \left(2,5 \cdot (20 - 15,7) = 10,75; \frac{20 - 7,38}{3} = 4,21; \frac{20}{2} = 10,0 \right)$$

Uzima se:

$$h_{c,eff} = 4,21 \text{ cm}$$

Izračun sudjelujuće vlačne površine presjeka:

$$A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff} = 100,0 \cdot 4,21 = 421,0 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{20,11}{421,0} = 0,048$$

Izračun razlike srednjih relativnih deformacija armature i betona između dviju pukotina:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{10,31 - 0,4 \cdot \frac{0,29}{0,048} \cdot (1 + 17,05 \cdot 0,048)}{20000,0} = 2,96 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 2,96 \cdot 10^{-4} \leq 0,6 \cdot \frac{10,31}{20000,0} = 3,09 \cdot 10^{-4}$$

Uzima se:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 3,09 \cdot 10^{-4}$$

Razmak glavne armature:

$$5 \cdot \left(c + \frac{\phi}{2} \right) = 5 \cdot \left(3,5 + \frac{1,6}{2} \right) = 21,5 \text{ cm} > 12,5 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak pukotina:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \cdot 3,5 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{1,6}{0,048} = 17,57 \text{ cm}$$

Karakteristična širina pukotine za dugotrajno djelovanje:

$$w_{k,t=\infty} = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 175,7 \cdot 3,09 \cdot 10^{-4} = 0,05 \text{ mm} < w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

Širina pukotine nad stupom je manja od w_{max} za dugotrajno djelovanje

5.2.1.5. Provjera progiba Ploče

Maksimalni progib potrebno je ograničiti na 1/250 proračunskog raspona L_{eff} .

Proračun progiba provodi se ukoliko vitkost elementa na savijanje $\frac{L_{eff}}{d}$ prelazi graničnu vrijednost prema sljedećoj tablici norme [21]:

Tablica 36. Granični omjeri $\frac{L_{eff}}{d}$

Konstrukcijski sustav	K	Jako napregnut beton $\rho = 1,5 \%$	Slabo napregnut beton $\rho = 0,5 \%$
Slobodno oslonjena greda, slobodno oslonjene ploče nosive u jednom ili u dvama smjerovima	1,0	14	20
Krajnji raspon kontinuirane grede ili kontinuirane ploče nosive u jednom smjeru ili ploče nosive u dvama smjerovima ako je kontinuitet preko jedne duljine stranice	1,3	18	26
Unutarnji raspon grede ili ploče nosive u jednom smjeru ili u dvama smjerovima	1,5	20	30
Ploče oslonjene na stupove bez greda (ploče bez greda) (na temelju duljeg raspona).	1,2	17	24
Konzole	0,4	6	8

NAPOMENA 1: Dane vrijednosti odabrane su konzervativno, a proračun često može pokazati da su mogući i tanji elementi.
NAPOMENA 2: Za ploče nosive u dva smjera kontrolu treba provesti za kraći raspon. Kod ploča bez greda treba uzeti duži raspon.
NAPOMENA 3: Granične vrijednosti dane za ploče bez greda odnose se na manje strogo ograničenje nego što je progib u sredini raspona veličine raspon/250 vezan za razmak stupova. Iskustvo je pokazalo da je to zadovoljavajuće.

Vitkost elementa:

$$\frac{L_{eff}}{d} = \frac{550,0}{16,0} = 34,4 > 26$$

Potrebno je provesti proračun progiba.

Proračun progiba se provodi za kratkotrajno i dugotrajno djelovanje koji se uspoređuje s graničnom vrijednošću. Proračun se također provodi za dva stanja naprezanja, neraspucano pri kojem beton i armatura zajedno nose opterećenje i raspucano pri kojem se zanemaruje nosivost betona u vlačnom području.

Provjera progiba se provodi u polju ploče gdje je najveći raspon.

Mehaničke i geometrijske karakteristike za kratkotrajno djelovanje ($t = 0$)

Sekantni modul elastičnosti betona:

$$E_{cm} = 22000 \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \cdot \left(\frac{38}{10}\right)^{0,3} = 32836,6 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{32836,6} = 6,09$$

Koeficijent armiranja za $t = 0$:

$$A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_I = \frac{A_{s1,prov}}{b \cdot h} = \frac{5,27}{100 \cdot 20} = 0,0026$$

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1,prov}}{b \cdot d} = \frac{5,24}{100 \cdot 16,0} = 0,0033$$

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za $t = 0$:

$$A_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \frac{d}{h} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d} \right) = 6,09 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{16,0}{20} = 0,013$$

$$B_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 6,09 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} = 0,016$$

$$A_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d} \right) = 6,09 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} = 0,020$$

$$B_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 6,09 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} = 0,020$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,013}{1 + 0,016} = 0,505$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \cdot A_{II}} = -0,020 + \sqrt{0,020^2 + 2 \cdot 0,020} = 0,181$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploča za $t = 0$:

$$y_{Ig} = k_{xI} \cdot h = 0,505 \cdot 20 = 10,10 \text{ cm}$$

$$y_{Id} = h - y_{Ig} = 20 - 10,1 = 9,90 \text{ cm}$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,181 \cdot 16,0 = 2,90 \text{ cm}$$

Moment tromosti poprečnog presjeka ploče za $t = 0$:

$$I_0 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{100 \cdot 20^3}{12} = 66666,67 \text{ cm}^4$$

$$I_I = \frac{b}{3} \cdot (y_{Id}^3 + y_{Ig}^3) + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1,prov} \cdot (d - y_{Ig})^2 + A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)^2]$$

$$I_I = \frac{100}{3} \cdot (9,90^3 + 10,10^3) + (6,09 - 1) \cdot [5,24 \cdot (16,0 - 10,10)^2] = 67615,11 \text{ cm}^4$$

$$I_{II} = \frac{b}{3} \cdot y_{IIg}^3 + \alpha_e \cdot A_{s1,prov} \cdot (d - y_{IIg})^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)^2$$

$$I_{II} = \frac{100}{3} \cdot 2,90^3 + 6,09 \cdot 5,24 \cdot (16,0 - 2,90)^2 = 6289,32 \text{ cm}^4$$

Mehaničke i geometrijske karakteristike za dugotrajno djelovanje ($t = \infty$)

Određivanje konačne vrijednosti koeficijenta puzanja:

Površina presjeka:

$$A_c = 100,0 \cdot 20,0 = 2000 \text{ cm}^2$$

Zbroj rubova presjeka koji su izloženi zraku:

$$u = 100,0 + 100,0 = 200,0 \text{ cm}$$

Srednji polumjer ploče:

$$h_c = 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 2 \cdot \frac{2000,0}{200,0} = 20,0 \text{ cm}$$

Za suhe uvjete okoliša $RH = 50\%$, za cement razreda N i za $t_0 = 28$:

$$\varphi_t(\infty, t_0) = 1,8$$

Proračunski modul elastičnosti za $t = \infty$:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t(\infty, t_0)} = \frac{32836,6}{1 + 1,8} = 11727,36 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona za $t = \infty$:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200000,0}{11727,36} = 17,05$$

Koeficijenti armiranja, ρ_I za ρ_{II} za $t = \infty$, su jednaki onima za $t = 0$.

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za $t = \infty$:

$$A_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \frac{d}{h} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d} \right) = 17,05 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{16,0}{20} = 0,035$$

$$B_I = \alpha_e \cdot \rho_I \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 17,05 \cdot 2,6 \cdot 10^{-3} = 0,044$$

$$A_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2} \cdot d_2}{A_{s1,prov} \cdot d} \right) = 17,05 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} = 0,056$$

$$B_{II} = \alpha_e \cdot \rho_{II} \cdot \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 17,05 \cdot 3,3 \cdot 10^{-3} = 0,056$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,035}{1 + 0,044} = 0,51$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \cdot A_{II}} = -0,056 + \sqrt{0,056^2 + 2 \cdot 0,056} = 0,283$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploče za $t = \infty$:

$$y_{Ig} = k_{xI} \cdot h = 0,51 \cdot 20,0 = 10,20 \text{ cm}$$

$$y_{Id} = h - y_{Ig} = 20,0 - 10,20 = 9,80 \text{ cm}$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \cdot d = 0,283 \cdot 16,0 = 4,53 \text{ cm}$$

Momenti tromosti poprečnog presjeka ploče za $t = \infty$:

$$I_I = \frac{b}{3} \cdot (y_{Id}^3 + y_{Ig}^3) + (\alpha_e - 1) \cdot [A_{s1,prov} \cdot (d - y_{Ig})^2 + A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)^2]$$

$$I_I = \frac{100}{3} \cdot (9,80^3 + 10,20^3) + (17,05 - 1) \cdot [5,24 \cdot (16,0 - 10,20)^2] = 69575,86 \text{ cm}^4$$

$$I_{II} = \frac{b}{3} \cdot y_{IIg}^3 + \alpha_e \cdot A_{s1,prov} \cdot (d - y_{IIg})^2 + (\alpha_e - 1) \cdot A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)^2$$

$$I_{II} = \frac{100}{3} \cdot 4,53^3 + 17,05 \cdot 5,24 \cdot (16,0 - 4,53)^2 = 14852,57 \text{ cm}^4$$

Statički momenti površina armature za $t = \infty$:

$$S_I = A_{s1,prov} \cdot (d - y_{Ig}) - A_{s2} \cdot (y_{Ig} - d_2)$$

$$S_I = 5,24 \cdot (16,0 - 10,20) = 30,39 \text{ cm}^3$$

$$S_{II} = A_{s1,prov} \cdot (d - y_{IIg}) - A_{s2} \cdot (y_{IIg} - d_2)$$

$$S_{II} = 5,24 \cdot (16,0 - 4,53) = 60,10 \text{ cm}^3$$

Proračun progiba za kratkotrajno djelovanje ($t = 0$)

Za kratkotrajno djelovanje proračunski moment savijanja u polju iznosi:

$$M_{Ed} = M_g + M_q$$

$$M_{Ed} = 19,10 \text{ kNm}$$

Ukupna zakrivljenost sastoji se od zakrivljenosti poprečnog presjeka ploče za stanja naprezanja I i II:

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka za stanje naprezanja I:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{cm} \cdot I_I} = \frac{1910,0}{32836,6 \cdot 67615,11} = 8,60 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{cm}}$$

Krak unutarnjih sila za stanje naprezanja II:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 16,0 - \frac{2,90}{3} = 15,03 \text{ cm}$$

Naprezanje i relativna deformacija armature za stanje naprezanja II:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \cdot z} = \frac{1910,0}{5,24 \cdot 15,03} = 24,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{24,25}{20000,0} = 1,21 \cdot 10^{-3}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka ploče za stanje naprezanja II:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - y_{IIg}} = \frac{1,21 \cdot 10^{-3}}{16,0 - 2,90} = 9,24 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{cm}}$$

Naprezanje u armaturi prilikom pojave prve pukotine:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1,prov} \cdot z} = \frac{1933,0}{5,24 \cdot 15,03} = 24,54 \text{ kN/cm}^2$$

Budući da je vrijednost $M_{Ed} < M_{cr}$ tada je vrijednost koeficijenta raspodjele zakrivljenosti $\zeta = 0,0$.

Koeficijent raspodjele zakrivljenosti:

$$\zeta = 0,0$$

Ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka ploče:

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0,0) \cdot 8,60 \cdot 10^{-7} = 8,60 \cdot 10^{-7} \frac{1}{\text{cm}}$$

Progib ploče od kratkotrajnog djelovanja:

$$v_{\text{tot},t=0} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_m} = 0,104 \cdot 550,0^2 \cdot 8,60 \cdot 10^{-7} = 0,027 \text{ cm}$$

$$v_{\text{tot},t=0} = 0,027 \text{ cm} < v_{\text{lim}} = \frac{L_{\text{eff}}}{250} = \frac{550,0}{250} = 2,20 \text{ cm}$$

Proračun progiba za dugotrajno djelovanje ($t = \infty$)

Za dugotrajno djelovanje proračunski moment savijanja u polju iznosi:

$$M_{\text{Ed}} = M_g + \psi_2 \cdot M_q$$

$$M_{\text{Ed}} = 9,91 \text{ kNm}$$

Ukupna zakrivljenost sastoji se od zakrivljenosti poprečnog presjeka ploče za stanja naprezanja I i II:

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka za stanje naprezanja I:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{\text{Ed}}}{E_{c,\text{eff}} \cdot I_I} = \frac{991,0}{11727,36 \cdot 69575,86} = 1,21 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Krak unutarnjih sila za stanje naprezanja II:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 16,0 - \frac{4,53}{3} = 14,49 \text{ cm}$$

Naprezanje i relativna deformacija armature za stanje naprezanja II:

$$\sigma_s = \frac{M_{\text{Ed}}}{A_{s1,\text{prov}} \cdot z} = \frac{991,0}{5,24 \cdot 14,49} = 13,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{13,05}{20000,0} = 6,5 \cdot 10^{-4}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka ploče za stanje naprezanja II:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - y_{IIg}} = \frac{6,5 \cdot 10^{-4}}{16,0 - 4,53} = 5,67 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{cm}}$$

Naprezanje u armaturi prilikom pojave prve pukotine:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1,prov} \cdot z} = \frac{1933,33}{5,24 \cdot 14,49} = 25,46 \text{ kN/cm}^2$$

Budući da je vrijednost $M_{Ed} < M_{cr}$ tada je vrijednost koeficijenta raspodjele zakrivljenosti $\zeta = 0,0$.

Koeficijent raspodjele zakrivljenosti:

$$\zeta = 0,0$$

Srednja zakrivljenost poprečnog presjeka ploče:

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_I} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0,0) \cdot 1,21 \cdot 10^{-6} = 1,21 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Konačna vrijednost relativne deformacije od skupljanja betona:

$$\varepsilon_{cs,\infty} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca,\infty}$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0}$$

$$k_h = 0,85$$

Relativna deformacija skupljanja zbog sušenja betona:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,00045$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = 0,85 \cdot 0,00045 = 3,825 \cdot 10^{-4}$$

Relativna deformacija od autogenog skupljanja zbog sušenja betona:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 2,5 \cdot (30,0 - 10) \cdot 10^{-6} = 5,0 \cdot 10^{-5}$$

Izračun konačne vrijednosti relativne deformacije od skupljanja betona za razred betona C30/37 i relativnu vlažnost zraka od 50%:

$$\varepsilon_{cs,\infty} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca,\infty} = 3,825 \cdot 10^{-4} + 5,0 \cdot 10^{-5} = 4,325 \cdot 10^{-4}$$

Zakrivljenosti poprečnog presjeka ploče od skupljanja betona za stanja naprezanja I i II:

$$\frac{1}{r_{csI}} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} \cdot \alpha_e \cdot S_I}{I_I} = \frac{4,325 \cdot 10^{-4} \cdot 17,05 \cdot 30,39}{69575,86} = 3,22 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{1}{r_{csII}} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} \cdot \alpha_e \cdot S_{II}}{I_{II}} = \frac{4,325 \cdot 10^{-4} \cdot 17,05 \cdot 60,10}{14852,57} = 2,98 \cdot 10^{-5}$$

Srednja zakrivljenost poprečnog presjeka ploče od skupljanja betona:

$$\frac{1}{r_{csm}} = (1 - \zeta) \cdot \frac{1}{r_{csI}} + \zeta \cdot \frac{1}{r_{csII}} = (1 - 0,0) \cdot 3,22 \cdot 10^{-6} = 3,22 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka ploče:

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}} = 1,21 \cdot 10^{-6} + 3,22 \cdot 10^{-6} = 4,43 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Progib ploče od dugotrajnog djelovanja:

$$v_{tot,t=\infty} = k \cdot L^2 \cdot \frac{1}{r_{tot}} = 0,104 \cdot 550,0^2 \cdot 4,43 \cdot 10^{-6} = 0,14 \text{ cm}$$

$$v_{tot,t=\infty} = 0,14 \text{ cm} < v_{lim} = \frac{L_{eff}}{250} = \frac{550,0}{250} = 2,20 \text{ cm}$$

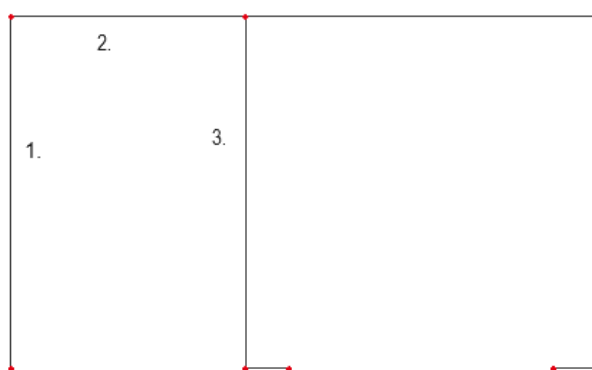
5.3. Dimenzioniranje zidova AB jezgre

Proračunom je potrebno zadovoljiti granična stanja nosivosti i uporabljivosti za zidove jezgre prema normi [21]. Prema normi [23] zidovi moraju imati sposobnost disipacije energije bez gubitka nosivosti dostatnom duktilnošću.

- kao pokazni primjer dimenzioniranja zida odabran je zid 3 iz jezgre u prizemlju

Materijali

Beton		C30/37
Karakteristična tlačna čvrstoća betona		$f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$
Koeficijent dugotrajnih učinaka		$\alpha_{cc} = 1,0$
Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton		$\gamma_c = 1,5$
Proračunska tlačna čvrstoća betona	$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20,00 \text{ N/mm}^2$	
Srednja vlačna čvrstoća betona		$f_{ctm} = 2,9 \text{ N/mm}^2$
Granični koeficijent armiranja		$\omega_{lim} = 0,365$
Armaturni čelik		B500B
Karakteristična granica popuštanja čelika		$f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$
Parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik		$\gamma_s = 1,15$
Proračunska granica popuštanja čelika	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$	



Slika 127. Shema položaja zidova AB jezgre

5.3.1. Zid 3

Tablica 37. Unutarnje sile – Zid 3

$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$M_{Ed,x}$ [kNm]	$M_{Ed,y}$ [kNm]
24204,39	23298,14	907,78	365,55	608,85

- sve vrijednosti očitane su iz potresnih kombinacija mjerodavnih za promatrani zid

5.3.1.1. Proračun duljine izvijanja i vitkosti zida

Debljina zida:	$b_w = 80,0$ cm
Duljina zida:	$l_w = 640,0$ cm
Visina etaže:	$h_e = 330,0$ cm
Svijetla visina etaže:	$h_s = 310,0$ cm
Zaštitni sloj:	$c = 3,0$ cm

Proračunska uzdužna sila: $N_{Ed} = 24204,39$ kN

Koeficijent za određivanje duljine izvijanja zida pridržanog na 4 ruba:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_s}{l_w}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,1}{6,40}\right)^2} = 0,810$$

Proračunska duljina izvijanja zida:

$$l_0 = \beta \cdot h_s = 0,810 \cdot 310,0 = 251,1 \text{ cm}$$

Površina:

$$A = l_w \cdot b_w = 6,40 \cdot 0,80 = 5,12 \text{ m}^2$$

Moment tromosti:

$$I = \frac{l_w \cdot b_w^3}{12} = \frac{6,40 \cdot 0,8^3}{12} = 0,273 \text{ m}^4$$

Polumjer tromosti:

$$i^2 = \frac{I}{A} = \frac{0,273}{5,12} = 0,053 \text{ m}^2 \rightarrow i = 0,230 \text{ m}$$

Vitkost zida:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2,511}{0,230} = 10,92$$

Normalizirana vrijednost uzdužne sile:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{l_w \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{24,20}{6,40 \cdot 0,80 \cdot 20,00} = 0,236 \text{ kN}$$

Maksimalna vitkost zida:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{|v_{Ed}|}} = \frac{20 \cdot 0,7 \cdot 1,1 \cdot 0,7}{\sqrt{0,236}} = 22,19$$

Usporedba vitkosti:

$$\lambda = 10,92 \leq \lambda_{lim} = 22,19$$

→ nije potreban proračun po teoriji 2. reda

Zahtijevana duktilnost

Potencijalna područja formiranja plastičnih zglobova moraju imati mogućnost plastičnog zaokretanja. Time se postiže zahtijevana duktilnost prema normi [23]. Pretpostavlja se razred duktilnosti DCM.

Uvjet za DCM: $v_{Ed} \leq 0,4$

$$v_{Ed,max} = \frac{N_{Ed,max}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = \frac{24204,39}{80 \cdot 640 \cdot 2,00} = 0,236 \leq 0,4$$

gdje su:

$N_{Ed,max}$ – maksimalna proračunska uzdužna sila

b_w – debljina zida

l_w – duljina zida

f_{cd} – proračunska tlačna čvrstoća zida

Zahtijevana duktilnost se određuje prema:

$$\mu_{\phi} = 2 \cdot q_0 - 1 \quad \text{ako je } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_{\phi} = 1 + 2 \cdot (q_0 - 1) \cdot \frac{T_C}{T_1} \quad \text{ako je } T_1 < T_C$$

gdje su:

q_0 – osnovna vrijednost faktor ponašanja

T_1 – prvi period konstrukcije u razmatranom smjeru

T_C – rubni period (ovisi o tipu tla)

Prvi period titranja konstrukcije u razmatranom smjeru: $T_1 = 2,74 \text{ s}$

Rubni period za kategoriju tla B: $T_C = 0,5 \text{ s}$

Zahtijevana duktilnost uvećana za 50% uslijed korištena armaturnog čelika razreda duktilnosti B:

$$\mu_{\phi} = (2 \cdot q_0 - 1) \cdot 1,5 = (2 \cdot 3,0 - 1) \cdot 1,5 = 7,5$$

5.3.1.2. Armatura hrpta zida

Vertikalna armatura hrpta

Postavlja se armatura za preuzimanje momenta savijanja van ravnine.

Proračunska vrijednost momenta savijanja: $M_{Ed} = 608,85 \text{ kNm}$

Promjer armature: $\phi = 1,2 \text{ cm}$

Statička visina zida (horizontalna armatura je bliže postavljena licu zida):

$$d = h - c - \phi_h - \frac{\phi_v}{2} = 80,0 - 3,0 - 1,2 - \frac{1,2}{2} = 75,2 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega' = \frac{A_{sv} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{22,62 \cdot 43,478}{100,0 \cdot 75,2 \cdot 2,00} = 0,0654$$

Za $\omega' = 0,065$ očitana je vrijednost $\mu_{Rd} = 0,063$

Nosivost na moment savijanja:

$$M_{Rd,y} = \mu_{Rd} \cdot l_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0,063 \cdot 640,0 \cdot 75,2^2 \cdot 2,00 = 456022,43 \text{ kNm}$$

Uvjet: $M_{Ed} = 608,85 \text{ kNm} \leq M_{Rd,y} = 456022,43 \text{ kNm}$

Minimalna vertikalna armatura hrpta:

$$A_{sv,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 100,0 \cdot 80,0 = 16,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sv,min} = 8,0 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

Maksimalna vertikalna armatura hrpta:

$$A_{sv,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,02 \cdot 100,0 \cdot 80,0 = 160,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sv,max} = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana vertikalna armatura:

$$\phi 12/10,0 \text{ cm } (A_{s,prov} = 11,31 \text{ cm}^2/\text{m}) - \text{za svako lice zida}$$

$$\text{Uvjet: } A_{sv,min} = 8,0 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,prov} = 11,31 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,max} = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Horizontalna armatura hrpta

Armatura se postavlja uz svaki rub zida za preuzimanje poprečne sile.

Poprečnu silu je potrebno povećati za 50 %.

Proračunska vrijednost poprečne sile:

$$V_{Ed} = 1361,67 \text{ kN}$$

Promjer armature:

$$\phi = 1,2 \text{ cm}$$

Razmak armature:

$$s = 2 \cdot A_{sh} \cdot f_{yd} \cdot \frac{z \cdot \cot \theta}{V_{Ed}} = 2 \cdot 1,13 \cdot 43,478 \cdot \frac{0,8 \cdot 385,0 \cdot 1,0}{1361,67} = 22,23 \text{ cm}$$

Minimalna horizontalna armatura hrpta:

$$A_{sh,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 100,0 \cdot 80,0 = 16,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 8,00 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

$$A_{sh,min} = 0,25 \cdot A_{sv} = 0,25 \cdot 22,31 = 5,58 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

Odabrana horizontalna armatura:

$$\phi 12/10,0 \text{ cm } (A_{s,prov} = 11,31 \text{ cm}^2/\text{m}) \text{ uz svako lice zida}$$

$$\text{Uvjet: } A_{sh,min} = 8,00 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sh,prov} = 11,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5.3.1.3. Armatura kritičnog područja zida

Uzdužna armatura kritičnog područja

Bezdimenzijska minimalna uzdužna sila:

$$v_{Ed,min} = \frac{N_{Ed,min}}{b_w \cdot l_w \cdot f_{cd}} = \frac{23298,14}{80,0 \cdot 640,0 \cdot 2,00} = -0,228$$

Bezdimenzijski moment savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b_w \cdot l_w^2 \cdot f_{cd}} = \frac{36555}{80,0 \cdot 640,0^2 \cdot 2,00} = 0,0005$$

Mehanički koeficijent armiranja očitao iz dijagrama interakcije:

$$\omega_{Ed} = 0,05$$

Potrebna armatura (za svaki kraj zida):

$$A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 0,05 \cdot \frac{2,00}{43,478} \cdot 80,0 \cdot 640,0 = 117,76 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura (za svaki kraj zida):

$$24\phi 25,0 \quad (A_{s,prov} = 117,84 \text{ cm}^2)$$

Visina kritičnog područja

$$h_{cr} = \max\left(l_w; \frac{h_w}{6}\right)$$

$$h_{cr} = \max\left(640,0; \frac{10850,0}{6} = 1808,33\right)$$

$$h_{cr} = 1808,33 \text{ cm}$$

$$h_{cr} \leq \min(2 \cdot l_w; 2 \cdot h_w) \quad \text{za } n \geq 7 \text{ katova}$$

$$h_{cr} = 1808,33 \leq \min(2 \cdot 640,0 = 1280,0; 2 \cdot 310,0 = 620,0)$$

$$h_{cr} = 1808,33 \text{ cm} > 620,0 \text{ cm}$$

Odabrana visina kritičnog područja h_{cr} :

$$h_{cr} = 620,0 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja

Pretpostavkom spona $\phi 10$ vrijedi:

$$b_0 = b_w - 2 \cdot c - \phi_w = 80,0 - 2 \cdot 3,0 - 1,0 = 73,0 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2} = 3,5 \text{ ‰}$$

Relativna deformacija armature pri popuštanju:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \cdot 10^{-3}$$

Mehanički koeficijent armiranja vertikalnom armaturom hrpta:

$$\omega_v = \frac{\sum A_{sv} \cdot f_{yd}}{l_w \cdot b_w \cdot f_{cd}} = \frac{2 \cdot 11,31 \cdot 43,478}{640,0 \cdot 80,0 \cdot 2,00} = 0,0096$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{sy,d} \cdot \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot 7,5 \cdot (0,228 + 0,0096) \cdot 2,17 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{80,0}{73,0} - 0,035$$

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,092$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{wd} = 0,0035 + 0,1 \cdot 0,092 = 0,0127$$

Duljina tlačnog područja pri slomu:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_w}{b_0} = (0,228 + 0,0096) \cdot \frac{640,0 \cdot 80,0}{73,0} = 166,65 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja:

$$h_0 = l_c = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 166,65 \cdot \left(1 - \frac{0,0035}{0,0127}\right) = 120,72 \text{ cm}$$

Minimalna duljina rubnog elementa:

$$l_c \geq \max(0,15 \cdot l_w; 1,5 \cdot b_w)$$

$$l_c \geq \max(0,15 \cdot 640,0 = 96,0; 1,5 \cdot 80,0 = 120,0)$$

$$l_c \geq 120,0 \text{ cm}$$

$$l_c = 120,72 \text{ cm} \geq 120,0 \text{ cm}$$

Mjerodavna minimalna duljina rubnog elementa l_c :

$$l_c = 120,72 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura

Uzdužna armatura mora biti veća od 0,5% i manja od 4% od kritičnog područja.

Koeficijent armiranja:

$$\rho_v = \frac{A_{s,prov}}{l_c \cdot b_0} = \frac{117,84}{120,72 \cdot 73,0} = 0,013 = 1,3 \%$$

Debljina zida

Kritično područje zida ne smije imati debljinu manju od 20 cm.

Minimalna debljina rubnog elementa:

Ako je $l_c \leq 2 \cdot b_w$ ili $l_c \leq 0,2 \cdot l_w$ tada b_w ne smije biti manji od $\frac{h_s}{15}$

Ako je $l_c > 2 \cdot b_w$ ili $l_c > 0,2 \cdot l_w$ tada b_w ne smije biti manji od $\frac{h_s}{10}$

$$l_c = 120,0 \text{ cm}$$

$$l_c = 120,0 \leq 2 \cdot b_w = 2 \cdot 80,0 = 160,0 \text{ cm} \rightarrow b_w = 80,0 \text{ cm} > \frac{h_s}{15} = \frac{310,0}{15} = 20,7 \text{ cm}$$

Spone kritičnog područja

Volumenski mehanički koeficijent armiranja sponama:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Faktor djelotvornosti spona:

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

gdje su:

α_n – faktor učinkovitosti unutar presjeka

α_s – faktor učinkovitosti po visini elementa

Razmak vertikalne armature paralelno sa zidom:

$$b_{i,h} = \frac{l_c - c - 2 \cdot \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{120,72 - 3,0 - 2 \cdot 1,0 - 2,5}{11} = 10,29 \text{ cm}$$

Razmak vertikalne armature okomito na zid:

$$b_{i,v} = \frac{b_0 - \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{73,0 - 1,0 - 2,0}{1} = 70,0 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 1 - \frac{2 \cdot 11 \cdot 10,29^2 + 2 \cdot 70,0^2}{6 \cdot 73,0 \cdot 120,72} = 0,77$$

Najveći dopušteni razmak spona:

$$s_{\max} = \min\left(\frac{b_0}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \cdot d_{bl}\right)$$

$$s_{\max} = \min\left(\frac{73,0}{2} = 36,5; 17,5; 8 \cdot 2,5 = 20,0\right)$$

$$s_{\max} = \min(21,5; 17,5; 20,0)$$

$$s_{\max} = 17,5 \text{ cm}$$

Pretpostavljeni razmak spona:

$$s = \phi 10/15,0 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti po visini elementa:

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s}{2 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{15,0}{2 \cdot 73,0}\right) \cdot \left(1 - \frac{15,0}{2 \cdot 120,72}\right) = 0,842$$

Obujam spona:

$$\frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot b_0 + 2 \cdot h_0) = \frac{1,0^2 \cdot \pi}{4} \cdot (10 \cdot 73,0 + 2 \cdot 120,72) = 762,97 \text{ cm}^3$$

Obujam ovijenoga betona:

$$s \cdot b_0 \cdot h_0 = 15,0 \cdot 73,0 \cdot 120,72 = 132188,4 \text{ cm}^2$$

Obujamski mehanički koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{762,97}{132188,4} \cdot \frac{43,478}{2,00} = 0,125 \geq 0,08$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 0,069$$

$$0,77 \cdot 0,842 \cdot 0,125 \geq 0,069$$

$$0,081 \geq 0,069$$

Odabrana armatura:

$$s = \phi 10/15,0 \text{ cm}$$

Tablica 38. Rekapitulacija odabrane armature – Zid 3

Horizontalna arm.	$\phi 12/10,0 \text{ cm}$
Vertikalna arm.	$\phi 12/10,0 \text{ cm}$
Kritična arm.	48 $\phi 25/12,5 \text{ cm}$
Spone	$\phi 10/15,0 \text{ cm}$

5.3.2. Provjera naprezanja betona zidova jezgre

Ograničenjem tlačnih naprezanja u betonu prema normi [21] izbjegava se prekomjerno plastično deformiranje i raspucavanje čime bi se narušila trajnost i uporabljivost konstrukcije. Pojava uzdužnih pukotina provjerava se pri karakterističnoj kombinaciji djelovanja čime se naprezanja ograničavaju na $\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck}$. Prekomjerno plastično deformiranje ograničava se pri nazovistalnoj kombinaciji djelovanja uz uvjet $\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck}$.

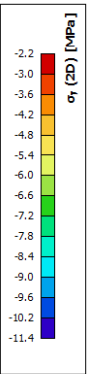
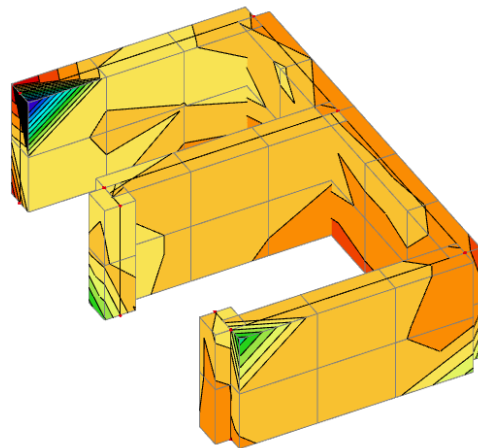
Tlačna naprezanja se ograničavaju u betonu za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30,0 = 18,0 \text{ N/mm}^2$$

Tlačna naprezanja se ograničavaju u betonu za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

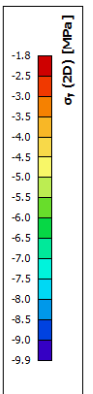
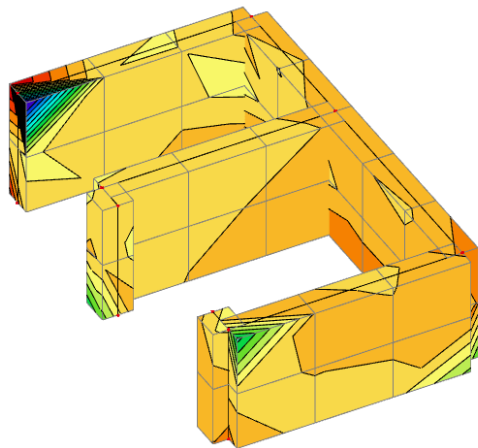
$$\sigma_c \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 30,0 = 13,5 \text{ N/mm}^2$$

3D stress
 Values: σ_y (2D)
 Linear calculation
 Combination: GSU- karakteristična
 Selection: S18, S20..S25
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes



Slika 128. Naprezanje zidova jezgre za karakterističnu kombinaciju djelovanja

3D stress
 Values: σ_y (2D)
 Linear calculation
 Combination: GSU- kvazistalna
 Selection: S18, S20..S25
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes



Slika 129. Naprezanje zidova jezgre za nazovistalnu kombinaciju djelovanja

Tablica 39. Naprezanja betona zidova jezgre

Kombinacija djelovanja	σ_c [N/mm ²]
Karakteristična	11,4
Nazovistalna	9,9

Kontrola naprezanja betona za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c = 11,4 \text{ N/mm}^2 \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 18,0 \text{ N/mm}^2$$

Kontrola naprezanja betona za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c = 9,9 \text{ N/mm}^2 \leq 0,45 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ N/mm}^2$$

Oba uvjeta su zadovoljena.

6. ZAKLJUČAK

Proračunom je dokazana nosivost i uporabljivost kritičnog zida i ploče konstrukcije. Proračun je proveden prema važećim propisima i normama. Model konstrukcije izrađen je u software-u SCIA Engineer 22.1. Građevina nije simetrična u x i y smjeru, ali je količina zidova u oba smjera podjednaka. To je omogućilo zadovoljenje uvjeta osnovnih frekvencija (koje su u skladu za visinu građevine) i globalnih provjera čime su usvojene dimenzije za dimenzioniranje elemenata. Tlocrtni i visinski raspored elemenata prikladno je izveden. Postoji mogućnost prednapinjanja ploča i time bi mogli smanjiti broj zidova i stupova čime bi se povećala iskorištenost prostora. Odabrani sustav pogodan je za ovaj tip građevine, pogotovo ako je građevina stambene namjene i ne zahtijeva se veliki otvoreni prostor unutar nje, zato što se postiže velika krutost i visoka potresna otpornost.

7. LITERATURA

- [1] ArchitectureArtDesigns. O-14 Tower by Reiser + Umemoto in Dubai, United Arab Emirates [Online]. Dostupno na: <https://www.architectureartdesigns.com/o-14-tower-by-reiser-umemoto-in-dubai-united-arab-emirates/>.
- [2] Xu P, Xiao C, Li J. Relationship between Natural Vibration Periods and Structural Heights for High-rise Buildings in China. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2014; 3(1): 49-64.
- [3] Sorić Z, Kišiček T. *Betonske konstrukcije 1*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2014.
- [4] Sorić Z, Kišiček T. *Betonske konstrukcije 2*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet; 2018.
- [5] Singhal S. O-14 Tower in Dubai, United Arab Emirates by RUR Architecture, DPC [Online].; 2017. Dostupno na: <https://www10.aeccafe.com/blogs/arch-showcase/2017/01/22/o-14-tower-in-dubai-united-arab-emirates-by-rur-architecture-dpc/>.
- [6] Reisner J, Umemoto N, Ocampo J. Case Study: O-14 Folded Exoskeleton. *CTBUH Journal*. 2010; 1(3): 14-19.
- [7] Karte potresnih područja Republike Hrvatske [Online]. Službena web stranica Geofizičkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu: Sveučilište u Zagrebu, Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu: 2023. Dostupno na: <http://seizkarta.gfz.hr/hazmap/karta.php>.
- [8] Stephens S. O-14 Tower [Online].; 2011. Dostupno na: <https://www.architecturalrecord.com/articles/7866-0-14-tower>.
- [9] Mencagli P. O-14 Tower: un eco-involucro in calcestruzzo [Online].; 2019. Dostupno na: <https://www.ingenio-web.it/pdfs/hads4yx6o7-3.pdf>.
- [10] Rusi I. The Contemporary Trend of Perforation: Case of Exoskeleton Concrete Shells. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2019; 8(10): 1394-1400.
- [11] Vlašić A, Skokandić D, Puž G. *Skripta iz kolegija Visoke građevine* [Online]. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet u Zagrebu; 2018. Dostupno na:

https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Visoke_gradjevine_-_skripta_predavanja_i_vjezbi%5B1%5D.pdf.

- [12] ArchDaily. O-14/Reiser+Umemoto [Online].; 2012. Dostupno na:
https://www.archdaily.com/273404/o-14-reiser-umemoto?ad_source=unverified&ad_name=project.
- [13] HRN EN 1990:2011. Eurokod 0: Osnove projektiranja konstrukcija, Eurocode: Basis of structural design. European Committee for Standardization, Brussels.
- [14] HRN EN 1990:2011/NA/:2011. Eurokod 0: Osnove projektiranja konstrukcija - Nacionalni dodatak, Eurocode: Basis of structural design - National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [15] HRN EN 1991-1-1:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja: Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self – weight, imposed loads for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- [16] HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-1: Opća djelovanja: Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrada - Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self –weight, imposed loads for buildings - National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [17] HRN EN 1991-1-3:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja: Opterećenja snijegom, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads. European Committee for Standardization, Brussels.
- [18] HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja: Opterećenja snijegom – Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads – National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [19] HRN EN 1991-1-4:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja: Djelovanja vjetra, Eurocode 1: Action on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions. European Committee for Standardization, Brussels.
- [20] HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja: Djelovanja vjetra - Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Action on

structures – Part 1-4: General actions – Wind actions - National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.

- [21] HRN EN 1992-1-1:2013. Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- [22] HRN EN 1992-1-1:2013/NA:2015. Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade - Nacionalni dodatak, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings - National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [23] HRN EN 1998-1:2011. Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- [24] HRN EN 1998-1:2011/NA:2011. Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija – 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade - Nacionalni dodatak, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings - National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [25] SCIA Engineer, ver. 22.1. Njemačka: Nemetschek Group; 2023. Dostupno na: <https://www.scia.net/en>

7.1. Popis slika

<i>Slika 1. Pogled 1 na zgradu.....</i>	<i>4</i>
<i>Slika 2. Pogled 2 na zgradu.....</i>	<i>5</i>
<i>Slika 3. Pogled 3 na zgradu.....</i>	<i>6</i>
<i>Slika 4. Pogled 4 na zgradu.....</i>	<i>7</i>
<i>Slika 5. Karakteristični tlocrt.....</i>	<i>8</i>
<i>Slika 6. Shema tlocrta stubišta</i>	<i>10</i>
<i>Slika 7. Shema pogleda stubišta</i>	<i>10</i>
<i>Slika 8. Model stubišta u software-u Tower8 x 64.....</i>	<i>11</i>
<i>Slika 9. Karta karakterističnog opterećenja snijegom na tlu za područja RH [18].....</i>	<i>14</i>
<i>Slika 10. Dijagram koeficijenta oblika krova [17]</i>	<i>15</i>

Slika 11. Karta osnovne brzine vjetra za područje RH [20]	16
Slika 12. Dijagram za određivanje koeficijenta izloženosti [17]	18
Slika 13. Plohe na koje direktno djeluje vjetar [19].....	19
Slika 14. Plohe usporedne s djelovanjem vjetra [19]	19
Slika 15. Shema djelovanja vjetra na veću površine zgrade	20
Slika 16. Shema opterećenja vjetrom, područje D i E	24
Slika 17. Shema opterećenja vjetrom, područje A	25
Slika 18. Shema opterećenja vjetrom, područje B	26
Slika 19. Shema opterećenja vjetrom, od 19. kata do krova	27
Slika 20. Shema opterećenja vjetrom, 18. kat	27
Slika 21. Shema opterećenja vjetrom, 17. kat	28
Slika 22. Shema opterećenja vjetrom, od prizemlja do 16. kata	28
Slika 23. Shema djelovanja vjetra na manju površine zgrade	29
Slika 24. Shema opterećenja vjetrom, područja D i E	34
Slika 25. Shema opterećenja vjetrom, područje A	35
Slika 26. Shema opterećenja vjetrom, područje B	36
Slika 27. Shema opterećenja vjetrom, područje C	37
Slika 28. Shema opterećenja vjetrom, od 24. kata do krova	38
Slika 29. Shema opterećenja vjetrom, 23. kat	38
Slika 30. Shema opterećenja vjetrom, 22. kat	39
Slika 31. Shema opterećenja vjetrom, 21. kat	39
Slika 32. Shema opterećenja vjetrom, 20. kat	40
Slika 33. Shema opterećenja vjetrom, 19. kat	40
Slika 34. Shema opterećenja vjetrom, 18. kat	41
Slika 35. Shema opterećenja vjetrom, 17. kat	41
Slika 36. Shema opterećenja vjetrom, 16. kat	42
Slika 37. Shema opterećenja vjetrom, 15. kat	42
Slika 38. Shema opterećenja vjetrom, 14. kat	43
Slika 39. Shema opterećenja vjetrom, 13. kat	43
Slika 40. Shema opterećenja vjetrom, 12. kat	44
Slika 41. Shema opterećenja vjetrom, od prizemlja do 11. kata.....	44
Slika 42. Utjecaj geometrijskih imperfekcija na konstrukciju [21]	45
Slika 43. Reakcija vertikalnih sila na etaži	46
Slika 44. Vršna ubrzanja tla agR za grad Zagreb [7].....	47
Slika 45. Horizontalne komponente proračunskog spektra odziva SdT [23]	48
Slika 46. Elastični spektar odziva za povratni period od 475 godina	51
Slika 47. Proračunski spektar odziva za povratni period od 475 godina	51
Slika 48. Elastični spektar odziva za povratni period od 95 godina	52

<i>Slika 49. Proračunski spektar odziva za povratni period od 95 godina</i>	<i>52</i>
<i>Slika 50. Model zgrade iz software-a SCIA Engineer 22.1.....</i>	<i>58</i>
<i>Slika 51. Proračunski spektri odziva za povratne periode od 95 i 475 godina iz software-a SCIA Engineer 22.1</i>	<i>59</i>
<i>Slika 52. Postavke spektra odziva za povratne periode od 95 i 475 godina iz software-a SCIA Engineer 22.1</i>	<i>59</i>
<i>Slika 53. Lokalni model Ploče 1 u software-u SCIA Engineer 22.1</i>	<i>61</i>
<i>Slika 54. Dijagram veze između temeljnog perioda i visine građevine prema Čileanskim zgradama [2].....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 55. Dijagram veze između temeljnog perioda i visine građevine prema Kineskim zgradama [2].....</i>	<i>62</i>
<i>Slika 56. Prvi ton zgrade – 2,74 s</i>	<i>64</i>
<i>Slika 57. Drugi ton zgrade – 2,13 s</i>	<i>64</i>
<i>Slika 58. Treći ton zgrade – 1,60 s</i>	<i>65</i>
<i>Slika 59. Četvrti ton zgrade – 0,80 s</i>	<i>65</i>
<i>Slika 60. Peti ton zgrade – 0,58 s.....</i>	<i>66</i>
<i>Slika 61. Reakcija u Z smjeru ukupne težine građevine</i>	<i>68</i>
<i>Slika 62. Reakcija u X i Y smjeru potresne X kombinacije (475 godina)</i>	<i>68</i>
<i>Slika 63. Reakcija u Y i X smjeru potresne Y kombinacije (475 godina)</i>	<i>69</i>
<i>Slika 64. Shema ograničenja horizontalnih pomaka</i>	<i>70</i>
<i>Slika 65. Ukupni horizontalni pomak od potresnog djelovanja u smjeru X.....</i>	<i>71</i>
<i>Slika 66. Ukupni horizontalni pomaci od potresnog djelovanja u smjeru Y.....</i>	<i>71</i>
<i>Slika 67. Međukatni pomaci od potresnog djelovanja u smjeru X.....</i>	<i>73</i>
<i>Slika 68. Međukatni pomaci od potresnog djelovanja u smjeru Y.....</i>	<i>73</i>
<i>Slika 69. Reakcije etaža za potresnu kombinaciju u smjeru X.....</i>	<i>76</i>
<i>Slika 70. Reakcije etaža za potresnu kombinaciju u smjeru Y.....</i>	<i>76</i>
<i>Slika 71. Momenti savijanja u X smjeru (GSN) - Ploča</i>	<i>78</i>
<i>Slika 72. Momenti savijanja u X smjeru (GSU - karakteristična) - Ploča</i>	<i>78</i>
<i>Slika 73. Momenti savijanja u X smjeru (GSU - kvazistalna) - Ploča</i>	<i>78</i>
<i>Slika 74. Momenti savijanja u Y smjeru (GSN) - Ploča</i>	<i>79</i>
<i>Slika 75. Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - karakteristična) - Ploča</i>	<i>79</i>
<i>Slika 76. Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - kvazistalna) – Ploča</i>	<i>79</i>
<i>Slika 77. Shema položaja zidova jezgre</i>	<i>80</i>
<i>Slika 78. Maksimalna uzdužna sila (GSN) – Zid 1,2 i 3.....</i>	<i>80</i>
<i>Slika 79. Posmična sila u ravnini (Potresna 2) – Zid 1 i 3</i>	<i>81</i>
<i>Slika 80. Posmična sila u ravnini (Potresna 1) – Zid 2.....</i>	<i>81</i>
<i>Slika 81. Moment savijanja u ravnini (Potresna 2) –Zid 1 i 3.....</i>	<i>82</i>
<i>Slika 82. Moment savijanja u ravnini (Potresna 1) –Zid 2</i>	<i>82</i>
<i>Slika 83. Moment savijanja van ravnine (Potresna 1) – Zid 1 i 3.....</i>	<i>83</i>
<i>Slika 84. Moment savijanja van ravnine (Potresna 2) – Zid 2.....</i>	<i>83</i>
<i>Slika 85. Maksimalna uzdužna sila (GSN) – Zid 1,2 i 3.....</i>	<i>84</i>

<i>Slika 86. Posmična sila u ravnini (Potresna 2) – Zid 1 i 3</i>	<i>84</i>
<i>Slika 87. Posmična sila u ravnini (Potresna 1) – Zid 2</i>	<i>85</i>
<i>Slika 88. Moment savijanja u ravnini (Potresna 2) –Zid 1 i 3</i>	<i>85</i>
<i>Slika 89. Moment savijanja u ravnini (Potresna 1) –Zid 2</i>	<i>86</i>
<i>Slika 90. Moment savijanja van ravnine (Potresna 1) – Zid 1 i 3</i>	<i>86</i>
<i>Slika 91. Moment savijanja van ravnine (Potresna 2) – Zid 2</i>	<i>87</i>
<i>Slika 92. Maksimalna uzdužna sila (GSN) – Zid 1,2 i 3</i>	<i>88</i>
<i>Slika 93. Posmična sila u ravnini (Potresna 2) – Zid 1 i 3</i>	<i>88</i>
<i>Slika 94. Posmična sila u ravnini (Potresna 1) – Zid 2</i>	<i>89</i>
<i>Slika 95. Moment savijanja u ravnini (Potresna 2) –Zid 1 i 3</i>	<i>89</i>
<i>Slika 96. Moment savijanja u ravnini (Potresna 1) –Zid 2</i>	<i>90</i>
<i>Slika 97. Moment savijanja van ravnine (Potresna 1) – Zid 1 i 3</i>	<i>90</i>
<i>Slika 98. Moment savijanja van ravnine (Potresna 2) – Zid 2</i>	<i>91</i>
<i>Slika 99. Tlocrtna shema položaja greda</i>	<i>92</i>
<i>Slika 100. Moment savijanja (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>92</i>
<i>Slika 101. Poprečna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>93</i>
<i>Slika 102. Uzdužna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>93</i>
<i>Slika 103. Moment savijanja (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>94</i>
<i>Slika 104. Poprečna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>94</i>
<i>Slika 105. Uzdužna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>95</i>
<i>Slika 106. Moment savijanja (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>96</i>
<i>Slika 107. Poprečna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>96</i>
<i>Slika 108. Uzdužna sila (Potresna 2) – Grede 1 i 2</i>	<i>97</i>
<i>Slika 109. Tlocrtna shema položaja stupova</i>	<i>98</i>
<i>Slika 110. Moment savijanja (Potresna 1) –Stupovi 1 i 2</i>	<i>98</i>
<i>Slika 111. Poprečna sila (Potresna 2) – Stupovi 1 i 2</i>	<i>99</i>
<i>Slika 112. Uzdužna sila (GSN) – Stupovi 1 i 2</i>	<i>99</i>
<i>Slika 113. Moment savijanja (Potresna 1) –Stupovi 1 i 2</i>	<i>100</i>
<i>Slika 114. Poprečna sila (Potresna 2) – Stupovi 1 i 2</i>	<i>100</i>
<i>Slika 115. Uzdužna sila (GSN) – Stupovi 1 i 2</i>	<i>101</i>
<i>Slika 116. Moment savijanja (Potresna 1) –Stupovi 1 i 2</i>	<i>102</i>
<i>Slika 117. Poprečna sila (Potresna 2) – Stupovi 1 i 2</i>	<i>102</i>
<i>Slika 118. Uzdužna sila (GSN) – Stupovi 1 i 2</i>	<i>103</i>
<i>Slika 119. Shema armiranja ploče u polju u X smjeru</i>	<i>108</i>
<i>Slika 120. Shema armiranja ploče u polju u Y smjeru</i>	<i>110</i>
<i>Slika 121. Shema armiranja ploče nad ležajem u X smjeru</i>	<i>111</i>
<i>Slika 122. Shema armiranja ploče nad ležajem u Y smjeru</i>	<i>113</i>
<i>Slika 123. Potrebna donja armatura u X smjeru – SCIA Engineer 22.1</i>	<i>113</i>

Slika 124. Potrebna donja armatura u Y smjeru – SCIA Engineer 22.1	114
Slika 125. Potrebna gornja armatura u X smjeru – SCIA Engineer 22.1	114
Slika 126. Potrebna gornja armatura u Y smjeru – SCIA Engineer 22.1.....	114
Slika 127. Shema položaja zidova AB jezgre.....	132
Slika 128. Naprezanje zidova jezgre za karakterističnu kombinaciju djelovanja.....	142
Slika 129. Naprezanje zidova jezgre za nazovistalnu kombinaciju djelovanja.....	142

7.2. Popis tablica

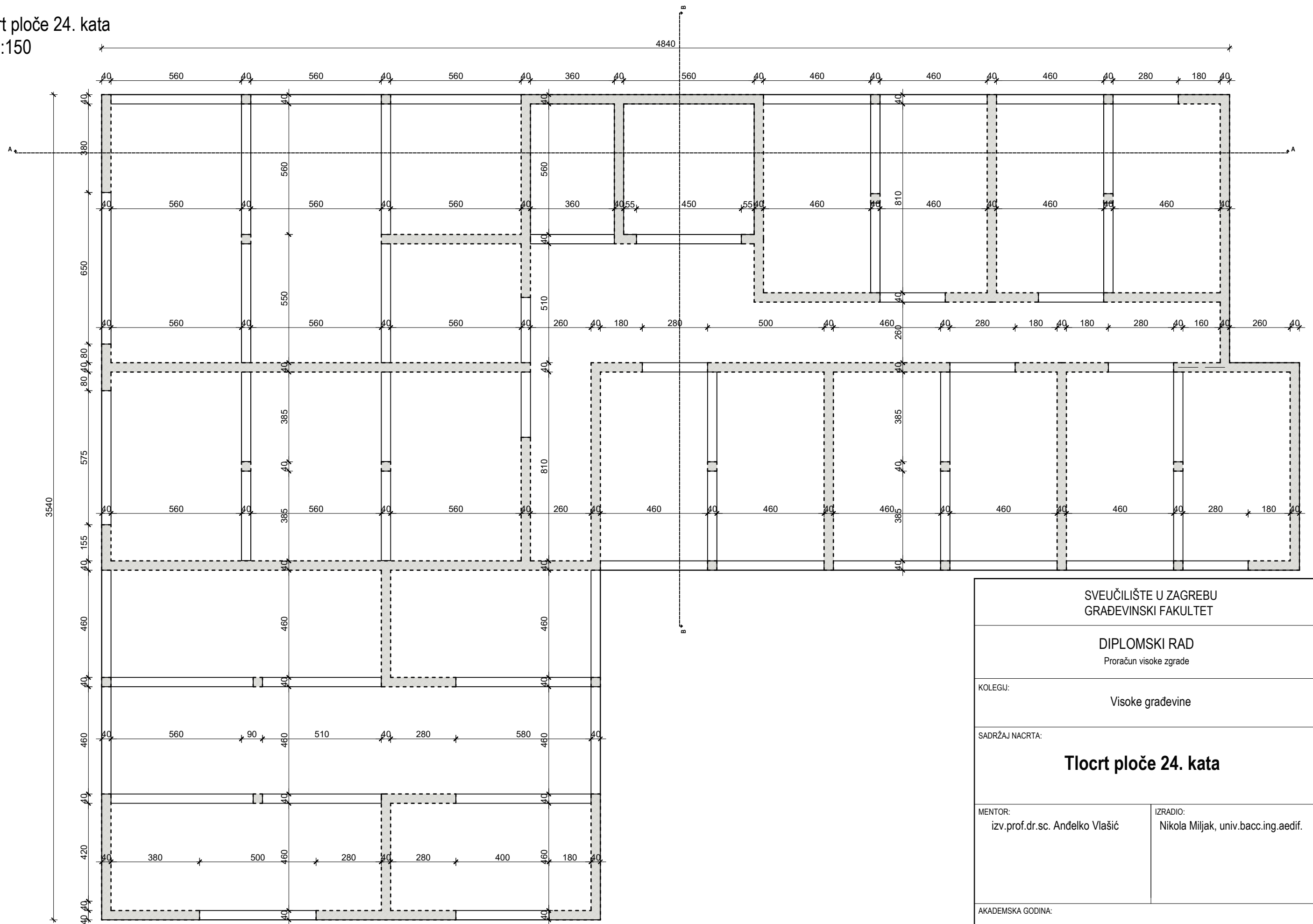
Tablica 1. Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta za zgrade [16]	12
Tablica 2. Kategorija krovova [15].....	13
Tablica 3. Opterećenje za krov kategorije H [16].....	13
Tablica 4. Opterećenje snijegom za snježna područja i nadmorske visine [18]	15
Tablica 5. Kategorije terena [18]	18
Tablica 6. Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} [19]	21
Tablica 7.. Opterećenje vjetrom na površine	22
Tablica 8. Opterećenje vjetrom na površine	23
Tablica 9. Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} [19].....	30
Tablica 10. Opterećenje vjetrom na površine	31
Tablica 11. Opterećenje vjetrom na površine	32
Tablica 12. Opterećenje vjetrom na površine	33
Tablica 13. Razred važnosti zgrade [23]	48
Tablica 14. Kategorije tla i pripadni parametri [23]	49
Tablica 15. Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q_0 ovisno o tipu konstrukcije	49
Tablica 16. Koeficijenti kombinacije	53
Tablica 17. Kombinacije djelovanja za provjeru stabilnosti.....	56
Tablica 18. Faktori elastičnog kritičnog opterećenja α_{cr} dobiveni iz kombinacija stabilnosti	57
Tablica 19. Koeficijenti uporabnog opterećenja za tip promjenjivog djelovanja [24]	60
Tablica 20. Faktori za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja	60
Tablica 21. Efektivne i ukupne mase građevine iz software-a SCIA Engineer 22.1.....	63
Tablica 22. Periodi titranja i aktivirane mase iz software-a SCIA Engineer 22.1	63
Tablica 23. Koeficijenti uporabnog opterećenja za tip promjenjivog djelovanja.....	67
Tablica 24. Faktori za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja	67
Tablica 25. Reakcije potresnih kombinacija za povratno razdoblje od 475 godina	69
Tablica 26. Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja [13].....	70
Tablica 27. Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja [13].....	72
Tablica 28. Kontrola pomaka za teoriju II. reda.....	77
Tablica 29. Preporučena razredba konstrukcija [21]	105
Tablica 30. Vrijednosti najmanjeg zaštitnog sloja $c_{min, dur}$ u odnosu na trajnost čelične armature [21] 105	

<i>Tablica 31. Rekapitulacija usvojenih zaštitnih slojeva</i>	<i>106</i>
<i>Tablica 32. Momenti savijanja u polju – Ploča</i>	<i>107</i>
<i>Tablica 33. Momenti savijanja nad osloncem - Ploča.....</i>	<i>110</i>
<i>Tablica 34. Rekapitulacija odabrane armature - Ploča 1.....</i>	<i>113</i>
<i>Tablica 35. Usporedba potrebne armature proračunom i iz software-a SCIA Engineer 22.1</i>	<i>115</i>
<i>Tablica 36. Granični omjeri Leffd</i>	<i>124</i>
<i>Tablica 37. Unutarnje sile – Zid 3.....</i>	<i>133</i>
<i>Tablica 38. Rekapitulacija odabrane armature – Zid 3.....</i>	<i>141</i>
<i>Tablica 39. Naprezanja betona zidova jezgre.....</i>	<i>142</i>

7.3. Popis priloga

1. Tlocrt ploče 24. kata
2. Presjeci A-A i B-B
3. Pogled 1 i 2
4. Pogled 3 i 4
5. Armatura ploče 4. kata
6. Armatura zida 3 u prizemlju

Tlocrt ploče 24. kata
mj: 1:150



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GRAĐEVINSKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD
Proračun visoke zgrade

KOLEGIJ:

Visoke građevine

SADRŽAJ NACRTA:

Tlocrt ploče 24. kata

MENTOR:

izv.prof.dr.sc. Anđelko Vlašić

IZRADIO:

Nikola Miljak, univ.bacc.ing.aedif.

AKADEMSKA GODINA:

2023./2024.

FORMAT:

A3

MJERILO:

1:150

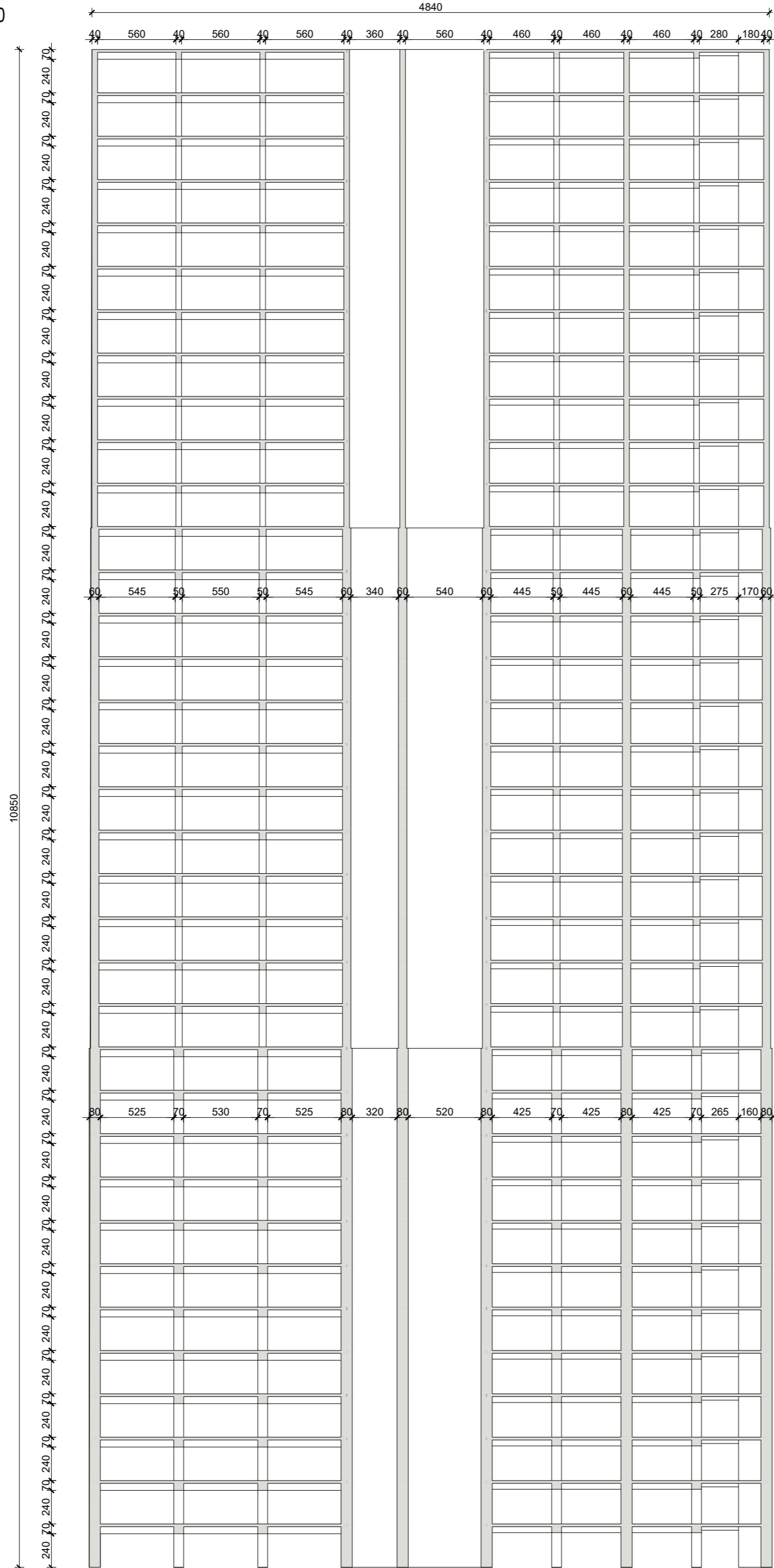
LIST:

01

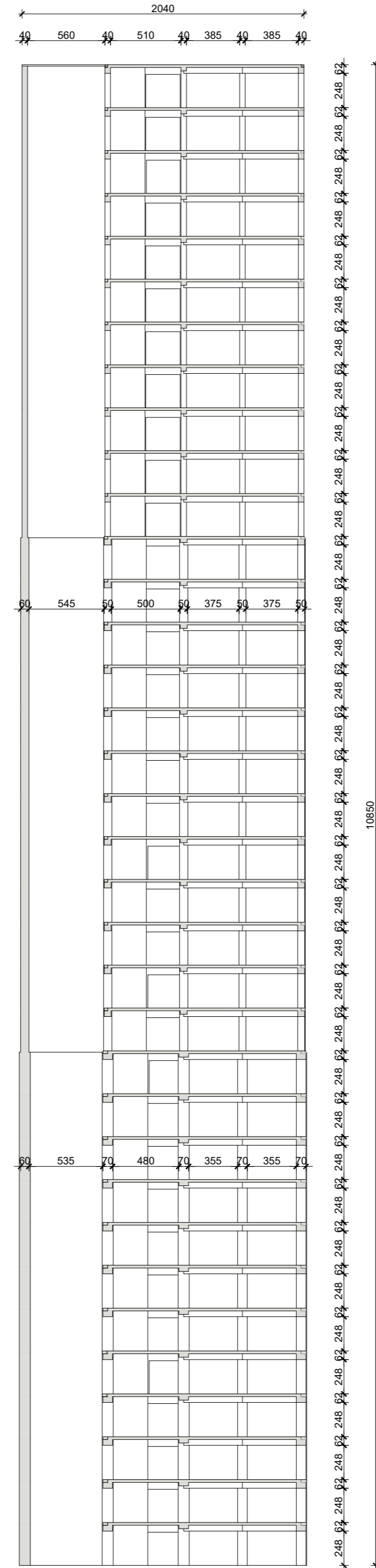
REVIZIJA:

0

Presjek A-A
mj: 1:300

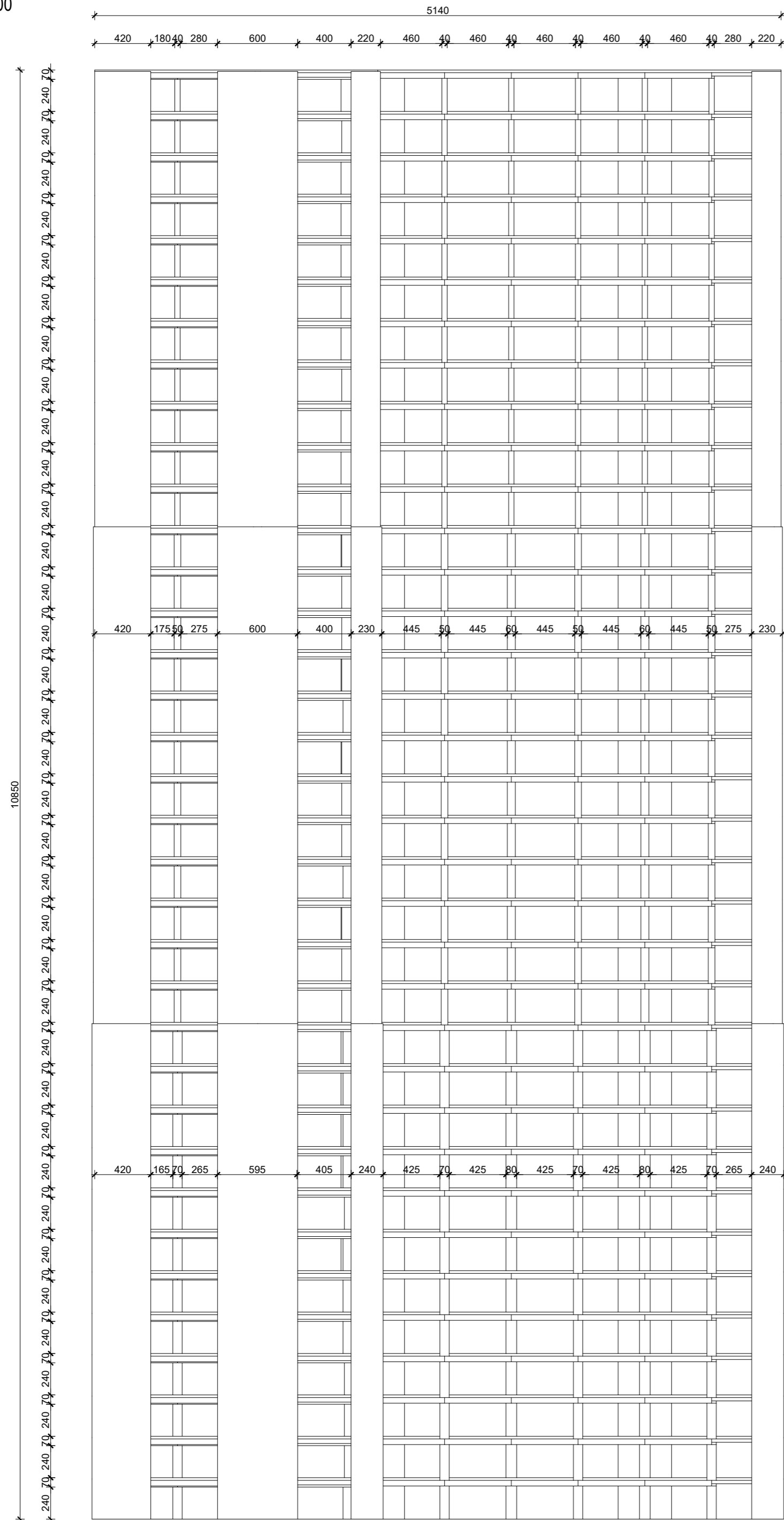


Presjek B-B
mj: 1:300

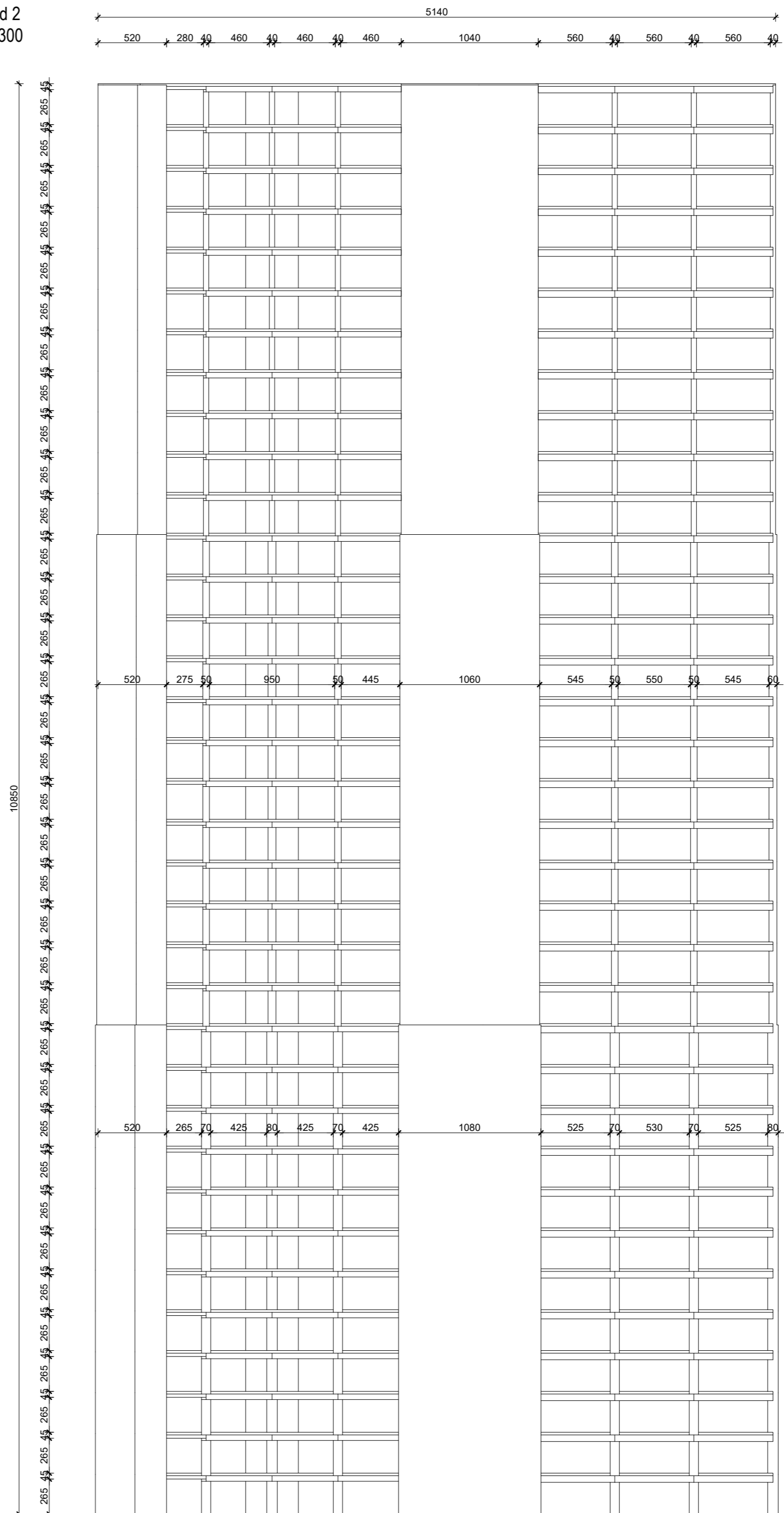


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET			
DIPLOMSKI RAD Proračun visoke zgrade			
KOLEGU:	Visoke građevine		
SADRŽAJ NACRTA:	Presjeci A-A i B-B		
MENTOR: izv.prof.dr.sc. Anđelko Vlašić	IZRADIO: Nikola Milijak, univ.bacc.ing.aedif.		
AKADEMSKA GODINA: 2023./2024.			
FORMAT: A2	MJERILO: 1:300	LIST: 02	REVIZIJA: 0

Pogled 1
mj: 1:300

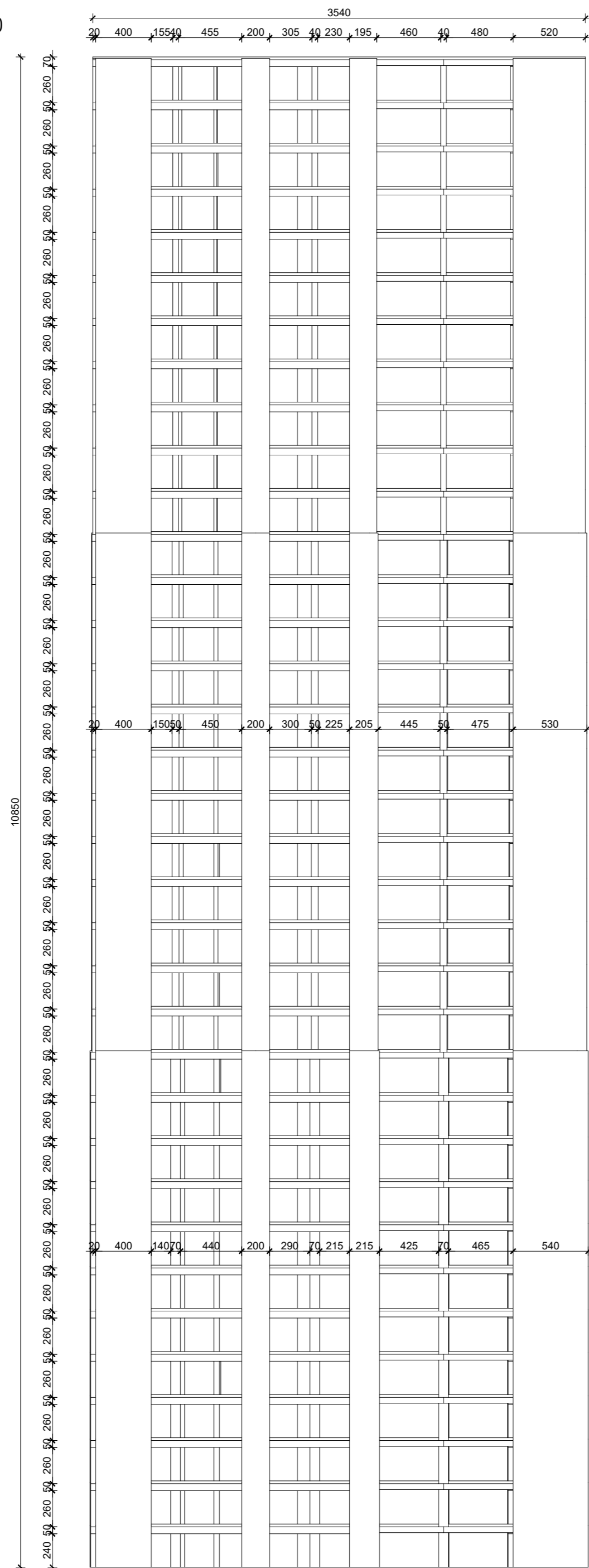


Pogled 2
mj: 1:300

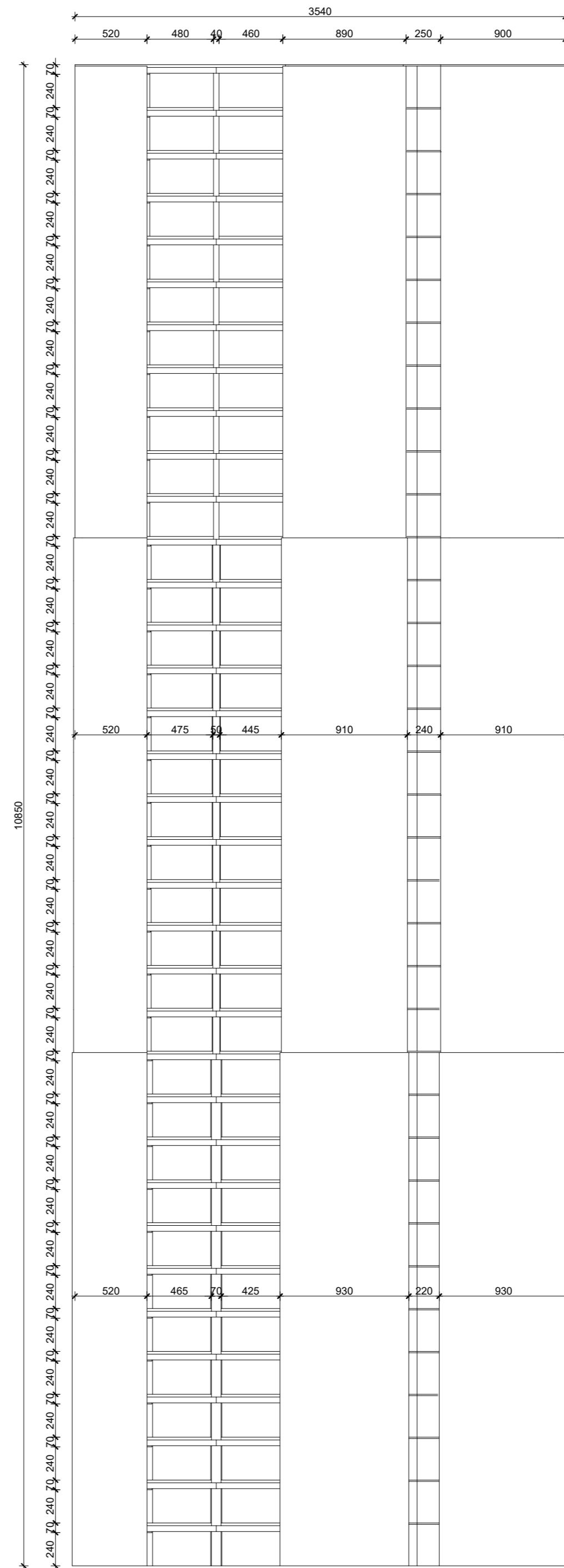


SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET			
DIPLOMSKI RAD Proračun visoke zgrade			
KOLEGIJ:		Visoke građevine	
SADRŽAJ NACRTA:			
Pogledi 1 i 2			
MENTOR: izv.prof.dr.sc. Anđelko Vlašić		IZRADIO: Nikola Milijak, univ.bacc.ing.aedif.	
AKADEMSKA GODINA: 2023./2024.			
FORMAT:	MJERILO:	LIST:	REVIZIJA:
A2	1:300	03	0

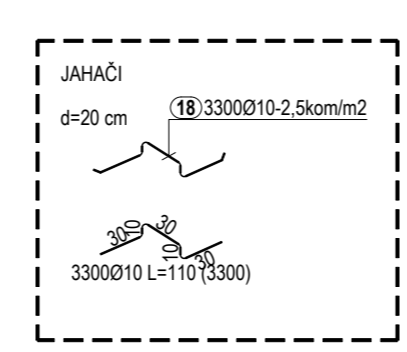
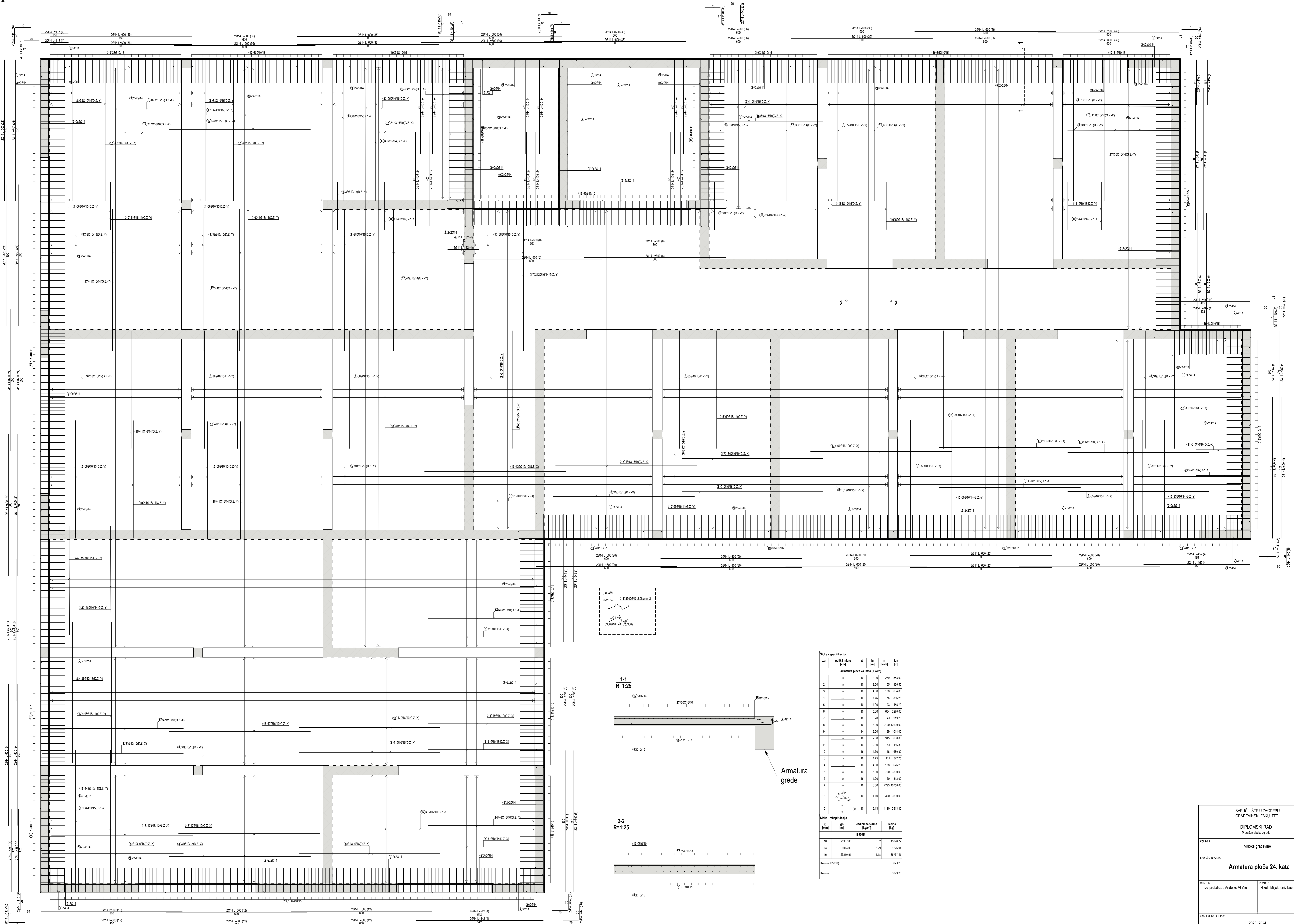
Pogled 3
mj: 1:300



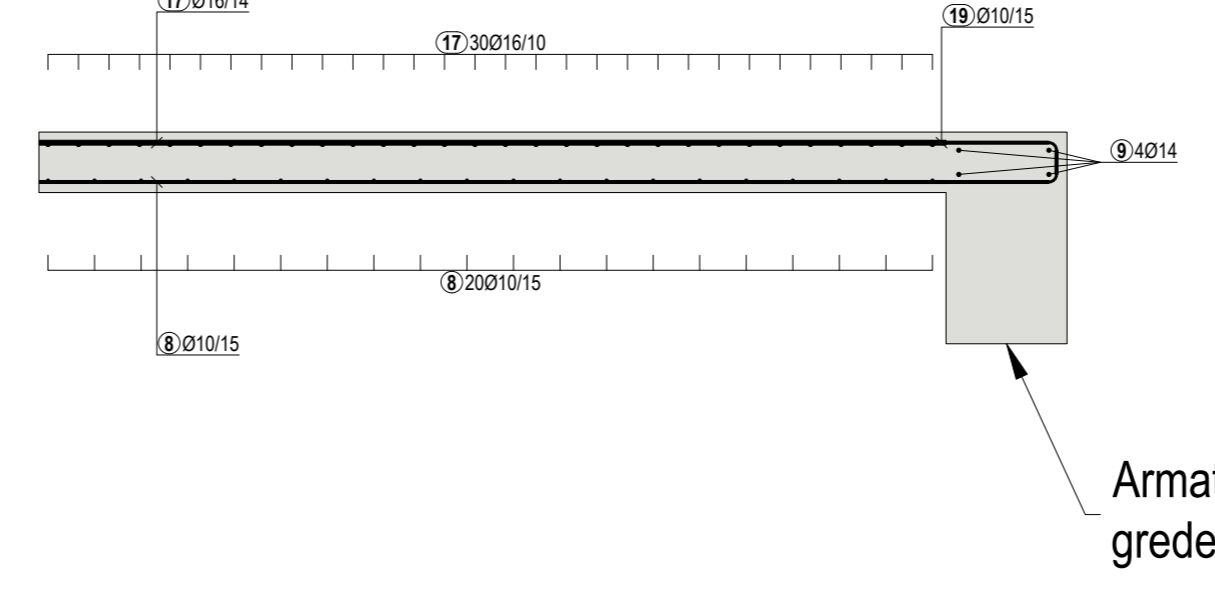
Pogled 4
mj: 1:300



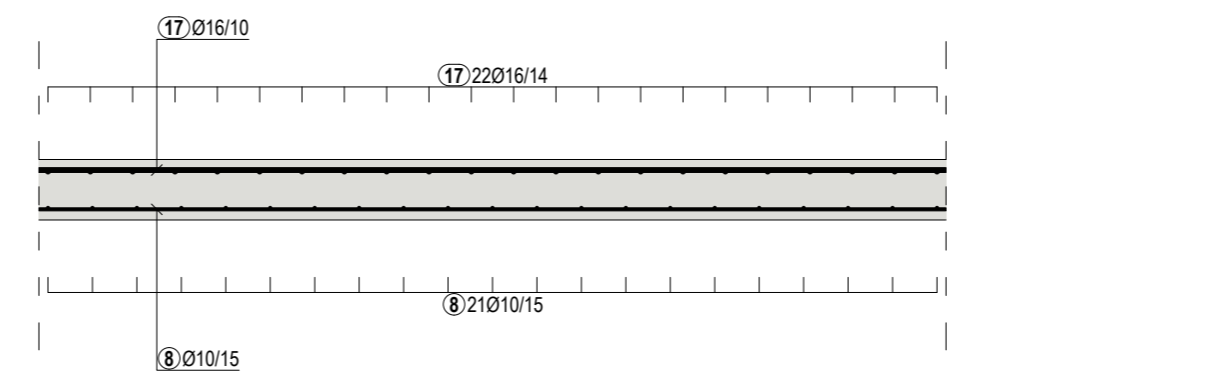
SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET			
DIPLOMSKI RAD Proračun visoke zgrade			
KOLEGU:		Visoke građevine	
SADRŽAJ NACRTA:			
Pogledi 3 i 4			
MENTOR: izv.prof.dr.sc. Anđelko Vlašić		IZRADIO: Nikola Milijak, univ.bacc.ing.aedif.	
AKADEMSKA GODINA: 2023./2024.			
FORMAT:	MJERILO:	LIST:	REVIZIJA:
A2	1:300	04	0



1-1
R=1:25

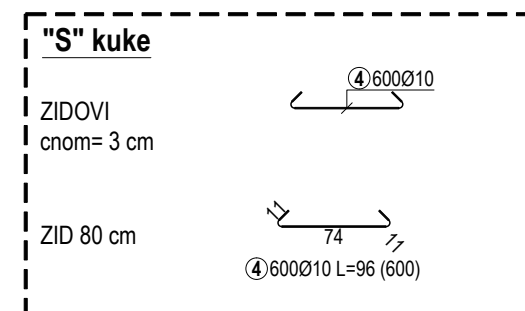
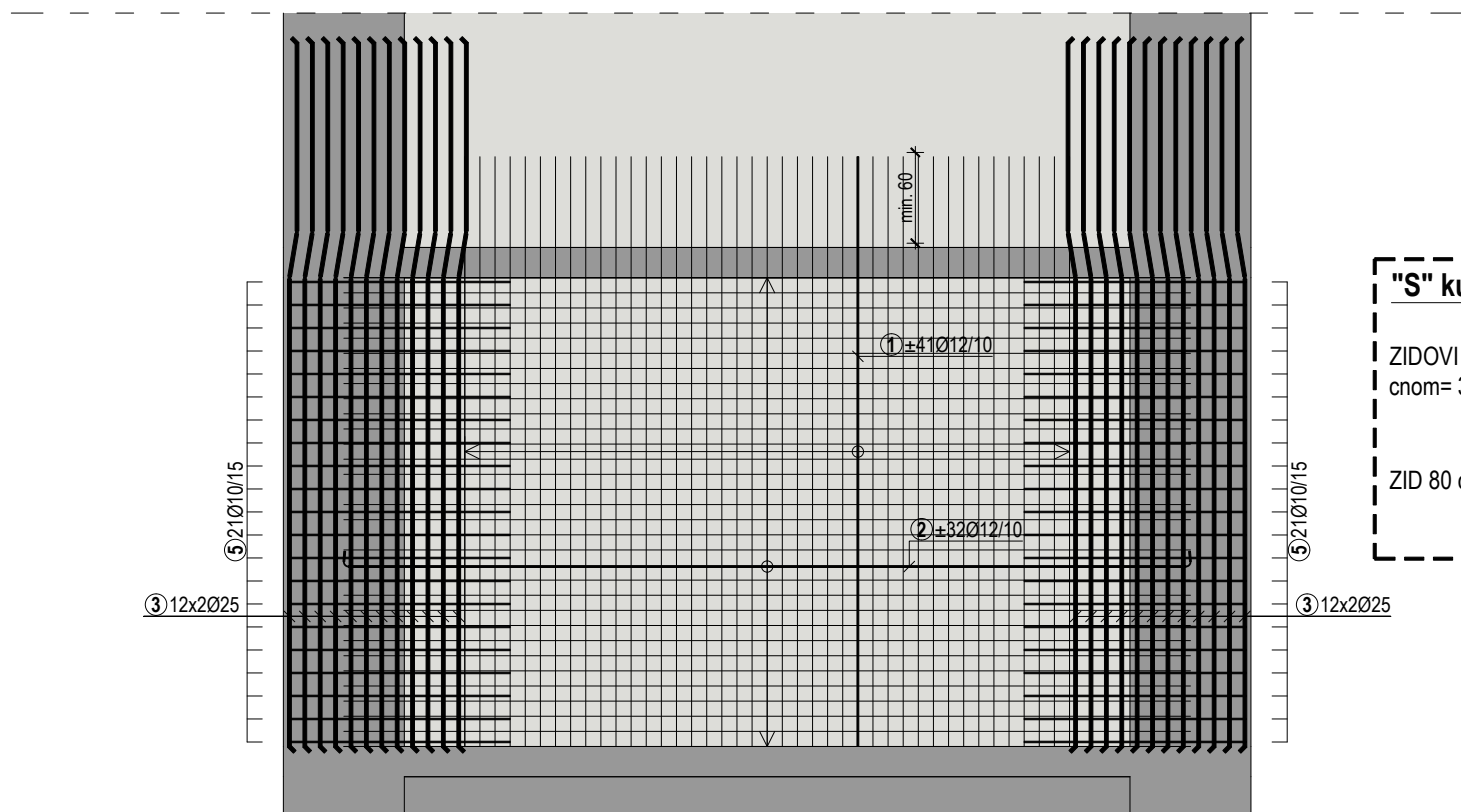
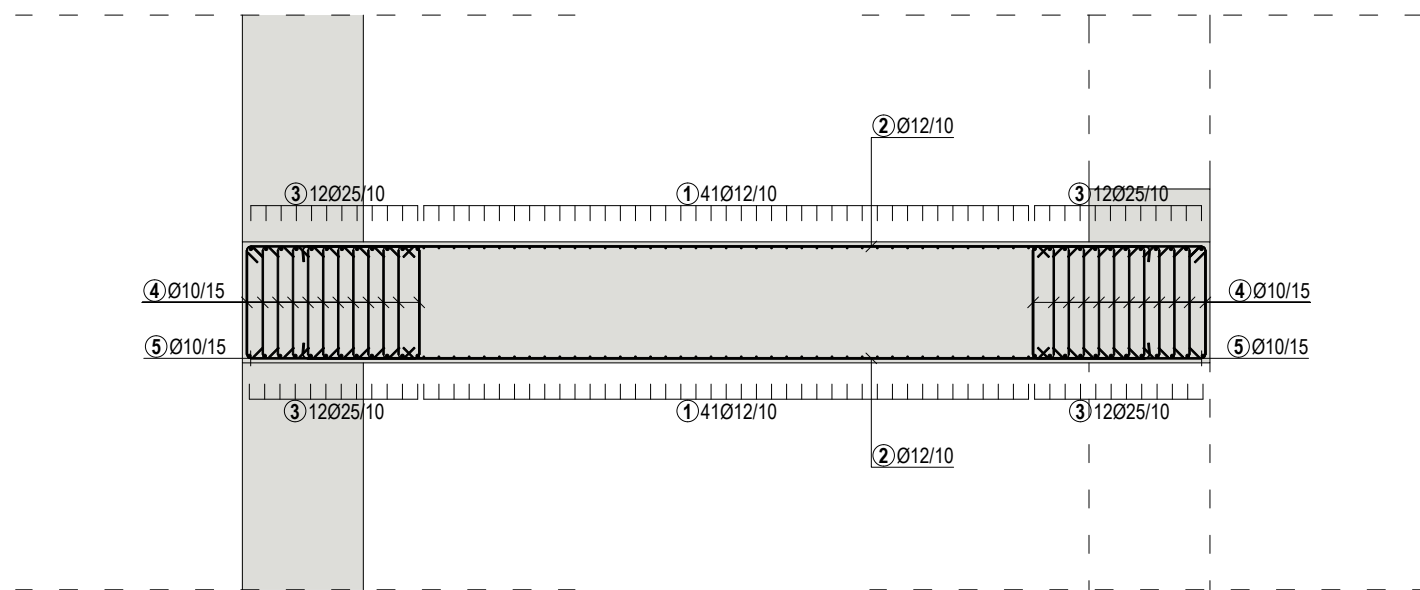


2-2
R=1:25



Spisak - specifikacija					
red.	oznaka	opis	l	n	lgn
		[m]	[m]	[kom]	[m]
Armatura ploče 24. kata (1 kom)					
1	1	10	2,00	279	558,00
2	2	10	2,30	95	216,90
3	3	10	4,00	38	152,00
4	4	10	4,75	75	356,25
5	5	10	4,80	93	450,00
6	6	10	5,00	84	420,00
7	7	10	5,20	41	212,40
8	8	10	6,00	210	1260,00
9	9	14	6,00	189	1014,00
10	10	16	2,00	315	630,00
11	11	16	2,30	81	129,60
12	12	16	4,00	148	588,80
13	13	16	4,75	115	540,00
14	14	16	4,80	138	672,00
15	15	16	5,00	700	3500,00
16	16	16	5,20	60	312,00
17	17	16	6,00	279	1413,00
18	18	10	1,10	330	363,00
19	19	10	2,13	1380	2912,40
Spisak - raspodjela					
l	lgn	Jedinična težina	Težina		
[m]	[m]	[kg/m]	[kg]		
10	2437,86	0,82	1999,74		
14	1014,00	1,21	1226,94		
16	2270,56	1,56	3541,47		
Ukupno (B500B)			53023,30		
Ukupno			53023,30		

Armatura zida 3
 TLOCRT I POGLED
 B500B, C30/37 $c_{nom}=3,0$ cm
 mj: 1:50



Šipke - specifikacija							
ozn	oblik i mjere [cm]	Ø	lg [m]	n [kom]	lgn [m]		
Armatura zida 3 prizemlja (1 kom)							
1		12	3.90	82	319.80		
2		12	5.20	64	332.80		
3		25	4.65	48	223.20		
4		10	0.96	600	576.00		
5		10	3.98	42	167.16		
Šipke - rekapitulacija				Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m ³]	Težina [kg]
B500B							
10	743.16	0.62	458.53				
12	652.60	0.89	579.51				
25	223.20	3.85	859.32				
Ukupno (B500B)					1897.36		
Ukupno					1897.36		

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU GRAĐEVINSKI FAKULTET			
DIPLOMSKI RAD Proračun visoke zgrade			
KOLEGIJ:		Visoke građevine	
SADRŽAJ NACRTA:			
Armatura zida 3 u prizemlju			
MENTOR: izv.prof.dr.sc. Anđelko Vlašić		IZRADIO: Nikola Miljak, univ.bacc.ing.aedif.	
AKADEMSKA GODINA: 2023./2024.			
FORMAT:	MJERILO:	LIST:	REVIZIJA:
A3	1:50	06	0