

# Proračun visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlocrtom

---

**Marić, Leonarda**

**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:237:183105>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-09-17**

*Repository / Repozitorij:*

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Leonarda Marić

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA  
POVEZANIH CIJEVI HEKSAGONALNIH  
PRESJEKA S PROMJENJIVIM TLOCRTOM**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Leonarda Marić

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA  
POVEZANIH CIJEVI HEKSAGONALNIH  
PRESJEKA S PROMJENJIVIM TLOCRTOM**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Anđelko Vlašić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Leonarda Marić

**STRUCTURAL DESIGN OF VARIABLE LAYOUT  
TALL BUILDING WITH BUNDLED TUBE  
STRUCTURAL SYSTEM**

MASTER THESIS

Supervisor: prof. dr. sc. Anđelko Vlašić

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



## OBRAZAC 3

## POTVRDA O POZITIVNOJ OCJENI PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA

Student/ica:

Leonarda Marić

(Ime i prezime)

0082061308

(JMBAG)

zadovoljio/la je na pisanom dijelu diplomskog rada pod naslovom:

Proračun visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlacrtom

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Structural design of variable layout tall building with bundled tube structural system

(Naslov teme diplomskog rada na engleskom jeziku)

i predlaže se provođenje daljnjeg postupka u skladu s Pravilnikom o završnom ispitu i diplomskom radu Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta.

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu znanstvenog projekta: (upisati ako je primjenjivo)

(Naziv projekta, šifra projekta, voditelj projekta)

Pisani dio diplomskog rada izrađen je u sklopu stručne prakse na Fakultetu: (upisati ako je primjenjivo)

(Ime poslodavca, datum početka i kraja stručne prakse)

Datum: 26.06.2024.

Mentor: Anđelko Vlašić

Potpis mentora:

Komentor: Dominik Skokandić

Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR-10000 Zagreb, OIB: 62924153420  
TEL.: +385 (0) 1 4639 115, FAKS: +385 (0) 1 4828 051  
www.grad.unizg.hr



Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet



OBRAZAC 5

IZJAVA O IZVORNOSTI RADA

\_\_\_\_\_

Ja :

Leonarda Marić, 0082061308

(Ime i prezime, JMBAG)

student/ica Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta ovim putem izjavljujem da je moj pisani dio diplomskog rada pod naslovom:

Proračun visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlacrtom

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

izvorni rezultat mogega rada te da se u izradi istoga nisam koristio/la drugim izvorima osim onih koji su u njemu navedeni.

Datum:

26.06.2024.

Potpis:

Leonarda Marić

Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR-10000 Zagreb, OIB: 62924153420  
TEL: +385 (0) 1 4639 115, FAKS: +385 (0) 1 4828 051  
www.grad.unizg.hr



**OBRAZAC 6**

**IZJAVA O ODOBRENJU ZA POHRANU I OBJAVU PISANOG DIJELA DIPLOMSKOG RADA**

Ja:

Leonarda Marić, 19219190218

(Ime i prezime, OIB)

ovom izjavom potvrđujem da sam autor/ica predanog pisanog dijela diplomskog rada i da sadržaj predane elektroničke datoteke u potpunosti odgovara sadržaju dovršenog i obranjenog pisanog dijela diplomskog rada pod naslovom:

Proračun visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlacrtom

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

koji je izrađen na sveučilišnom diplomskom studiju Građevinarstvo Sveučilišta u Zagrebu Građevinskog fakulteta pod mentorstvom:

prof.dr.sc. Anđelko Vlašić

(Ime i prezime mentora)

i obranjen dana:

04.07.2024.

(Datum obrane)

Suglasan/suglasna sam da pisani dio diplomskog rada u cijelosti bude javno dostupan, te da se trajno pohrani u digitalnom repozitoriju Građevinskog fakulteta, repozitoriju Sveučilišta u Zagrebu te nacionalnom repozitoriju.

Datum: 26.06.2024.

Potpis: *Leonarda Marić*

Građevinski fakultet  
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR-10000 Zagreb, OIB: 62924153420  
TEL: +385 (0) 1 4639 115, FAKS: +385 (0) 1 4828 051  
www.grad.unizg.hr

## ZAHVALE

Iskreno se zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Anđelku Vlašiću na pomoći i vodstvu pri izradi ovog rada. Također veliko hvala i komentoru Dominiku Skokandiću za vrijeme i trud koje je izdvojio za ovaj rad.

Nadalje, želim zahvaliti svojoj obitelji i prijateljima koji su bili uz mene tokom cijelog studija. Posebno hvala Franji, čija je pomoć tijekom cijelog studija bila neizmjereno velika.

Na kraju, najveća hvala ide mojim roditeljima, Jagodi i Davoru, bez kojih moje obrazovanje ne bi bilo moguće. Hvala vam što ste vjerovali u mene i omogućili mi sve što je bilo potrebno kroz studij.

Bez svih vas, ovaj rad ne bi bio moguć.

Od srca hvala!

## SAŽETAK

U ovom diplomskom radu izvršen je proračun visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlocrtom i dimenzioniranje nosivih konstrukcijskih elemenata zgrade. Napravljena je statička i dinamička analiza visoke zgrade pomoću računalnog programa SCIA Engineer 22.1. Djelovanja na konstrukciju su određena prema lokaciji u Zagrebu te prema odgovarajućim normama. Armirano – betonski elementi ploče, zidova, stupova i greda su dimenzionirani za granična stanja nosivosti i uporabljivosti prema dobivenim rezultatima iz računalnog programa. Svi proračuni su napravljeni prema važećim propisima i normama. Nakon provedenih proračuna zaključeno je da provjereni nosivi elementi ispunjavaju zahtjeve graničnog stanja nosivosti i uporabljivosti.

**Ključne riječi:** visoka zgrada, povezane cijevi, promjenjiv tlocrt, statička i dinamička analiza, armirano – betonski elementi, granična stanja nosivosti i uporabljivosti

## SUMMARY

In this master's thesis, the calculation of variable layout tall building with bundled tube structural system and design of the load – bearing structural elements of the building were performed. A static and dynamic analysis of the tall building was made using the computer software SCIA Engineer 22.1. Actions on the structure are determined according to the location in Zagreb and according to the corresponding codes. Reinforced concrete elements of slabs, walls, columns and beams are designed for ultimate and serviceability limit states according to the results obtained from the computer software. All calculations were made according to the current standards and codes. After the calculations were done, it was concluded that the checked load – bearing elements meet the requirements of ultimate and serviceability limit states.

**Key words:** tall building, bundled tube, variable layout, static and dynamic analysis, reinforced concrete elements, ultimate and serviceability limit states



## SADRŽAJ

|  |          |
|--|----------|
| ZAHVALE .....  | iv       |
| SAŽETAK .....  | v        |
| SUMMARY .....  | vi       |
| SADRŽAJ .....  | vii      |
| <b>1. UVOD .....</b>   | <b>1</b> |
| <b>2. METODE I TEHNIKE RADA .....</b>  | <b>2</b> |
| <b>3. PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA POVEZANIH CIJEVI HEKSAGONALNIH PRESJEKA S PROMJENJIVIM TLOCRTOM .....</b>                     | <b>3</b> |
| 3.1. Projektni zadatak poslovne zgrade sustava povezanih cijevi.....   | 4        |
| 3.2. Tlocrtno rješenje zgrade – odabir i raspored vertikalnih nosivih elemenata (stupovi cijevi, jezgra) i tlocrtne promjene ..... | 5        |
| 3.3. Tehnički opis konstrukcije zgrade .....   | 6        |
| 3.3.1. Općenito.....   | 6        |
| 3.3.2. Konstrukcija .....  | 7        |
| 3.3.3. Statički proračun i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije .....  | 8        |
| 3.4. Osnovni nacrti zgrade .....   | 9        |
| 3.5. Proračun konstrukcije .....   | 15       |
| 3.5.1. Analiza opterećenja.....  | 15       |
| 3.5.1.1. Vlastita težina i dodatno stalno opterećenje .....  | 15       |
| 3.5.1.2. Uporabno opterećenje.....   | 16       |
| 3.5.1.3. Opterećenje snijegom .....  | 18       |
| 3.5.1.4. Opterećenje vjetrom.....  | 20       |
| 3.5.1.5. Horizontalno opterećenje uslijed imperfekcija .....   | 36       |
| 3.5.1.6. Seizmičko opterećenje .....   | 41       |
| 3.5.1.7. Slučajni torzijski učinci.....  | 47       |
| 3.5.1.8. Kombinacije djelovanja za GSN i GSU.....  | 47       |
| 3.5.2. Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun.....  | 49       |
| 3.5.2.1. Računalni model konstrukcije .....  | 49       |
| 3.5.2.2. Elementi računalnog modela konstrukcije .....   | 50       |
| 3.5.2.3. Statički i dinamički proračun konstrukcije.....   | 58       |
| 3.5.2.4. Statički proračun ploče visoke zgrade .....   | 68       |

---

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 3.5.3.   | Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna (rezne sile, naprezanja, progibi i dinamika) ..... | 69  |
| 3.5.3.1. | Globalne provjere .....   | 69  |
| 3.5.3.2. | Ispis unutarnjih sila AB ploče .....  | 86  |
| 3.5.3.3. | Ispis unutarnjih sila zidova AB jezgre.....   | 94  |
| 3.5.3.4. | Ispis unutarnjih sila vanjskog AB okvira.....   | 99  |
| 3.6.     | Dimenzioniranje elemenata ploče, stupova i greda okvira cijevi, provjera jezgre (GSN I GSU).....    | 106 |
| 3.6.1.   | Dimenzioniranje AB ploče (GSN) – lokalni model ploče .....  | 106 |
| 3.6.1.1. | Rekapitulacija iznosa momenta savijanja ploče.....  | 108 |
| 3.6.1.2. | Proračun zaštitnog sloja AB ploče .....   | 108 |
| 3.6.1.3. | Materijal i geometrija ploče .....  | 110 |
| 3.6.1.4. | Proračun uzdužne armature u polju ploče.....  | 111 |
| 3.6.1.5. | Proračun uzdužne nad ležajem ploče .....  | 118 |
| 3.6.1.6. | Proboj ploče .....  | 124 |
| 3.6.1.7. | Otpornost na posmični proboj ploče bez poprečne armature.....                                       | 124 |
| 3.6.2.   | Dimenzioniranje AB ploče (GSU) – granično stanje pukotina.....                                      | 127 |
| 3.6.2.1. | Proračun pukotina ploče.....  | 128 |
| 3.6.2.2. | Proračun progiba ploče .....  | 136 |
| 3.6.3.   | Dimenzioniranje zidova AB jezgre (GSN).....   | 144 |
| 3.6.3.1. | Proračun zaštitnog sloja AB zida jezgre .....   | 144 |
| 3.6.3.2. | Materijali i geometrija zidova jezgre.....  | 145 |
| 3.6.3.3. | Kontrola izvijanja i vitkosti zida.....   | 146 |
| 3.6.3.4. | Proračun nosivosti u potresnom području prema EN 1998 .....   | 147 |
| 3.6.3.5. | Armatura hrpta zida.....  | 148 |
| 3.6.3.6. | Određivanje armature kritičnog područja .....   | 149 |
| 3.6.4.   | Dimenzioniranje zidova AB jezgre (GSU).....   | 154 |
| 3.6.4.1. | Kontrola naprezanja u betonu zidova jezgre.....   | 154 |
| 3.6.5.   | Dimenzioniranje okvira građevine (GSN).....   | 156 |
| 3.6.5.1. | Kontrola naprezanja u betonu zidova jezgre.....   | 156 |
| 3.6.5.2. | Materijali i geometrija okvira.....   | 157 |
| 3.6.5.3. | Zahtijevana duktilnost .....  | 162 |
| 3.6.5.4. | Uzdužna armatura greda.....   | 163 |
| 3.6.5.5. | Nosivost greda na poprečnu silu.....  | 168 |

---

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 3.6.5.6.  | Maksimalni razmak spona .....  | 172        |
| 3.6.5.7.  | Poprečna armatura greda .....  | 172        |
| 3.6.5.8.  | Uzdužna armatura stupova .....   | 173        |
| 3.6.5.9.  | Spojevi greda i stupova.....   | 176        |
| 3.6.5.10. | Nosivost stupova na poprečnu silu .....                                  | 179        |
| 3.6.5.11. | Maksimalni razmak spona .....  | 180        |
| 3.6.5.12. | Poprečna armatura stupova.....   | 181        |
| 3.6.5.13. | Usporedba rezultata s rezultatima iz programa SCIA Engineer.....         | 183        |
| 3.6.5.14. | Prikaz dimenzioniranja rubnih stupova prema programu SCIA Engineer ..... | 189        |
| 3.6.6.    | Dimenzioniranje okvira građevine (GSU).....                              | 192        |
| 3.6.6.1.  | Prikaz dimenzioniranja rubnih stupova prema programu SCIA Engineer ..... | 192        |
| 3.6.6.2.  | Provjera progiba greda okvira .....                                      | 194        |
| 3.7.      | Skica armature vanjskog cijevnog okvira.....                             | 194        |
| 3.7.1.    | Proračun duljine sidrenja armaturnih šipki okvira .....                  | 194        |
| 3.7.1.1.  | Šipke $\varnothing 20$ .....   | 196        |
| 3.7.1.2.  | Šipke $\varnothing 16$ .....   | 196        |
| 3.7.1.3.  | Šipke $\varnothing 25$ .....   | 197        |
| 3.7.2.    | Proračunska duljina preklopa armaturnih šipki.....                       | 197        |
| 3.7.2.1.  | Šipke $\varnothing 20$ .....   | 197        |
| 3.7.2.2.  | Šipke $\varnothing 16$ .....   | 198        |
| 3.7.2.3.  | Šipke $\varnothing 25$ .....   | 199        |
| <b>4.</b> | <b>ZAKLJUČAK.....</b>  | <b>200</b> |
|           | <b>POPIS LITERATURE .....</b>  | <b>201</b> |
|           | <b>POPIS SLIKA.....</b>  | <b>204</b> |
|           | <b>POPIS TABLICA.....</b>  | <b>208</b> |
|           | <b>PRILOZI.....</b>  | <b>210</b> |

## 1. UVOD

U velikim gradovima s ograničenim prostorom sve češće se grade visoke zgrade, kao odjek moderne arhitekture i vrhunskih građevinskih postignuća. Trend gradnje visokih građevina nije novitet jer je već odavno potaknut sve jačom urbanizacijom i prenapučenosti gradova. Kao takve, uvelike doprinose funkcionalnosti grada, ali i njegovoj estetici, a vrlo često postaju i njegovi simboli.

Od samog početka projektiranja i gradnje visokih zgrada do danas, razvilo se mnogo konstrukcijskih sustava, koji ovisno o potrebi korisnika mogu zadovoljiti sve potrebne zahtjeve. Jedan od razvijenih sustava je i sustav povezanih cijevi, čiji je proračun tema ovog rada.

Sustav povezanih cijevi nastaje povezivanjem više cijevi i kao takav daje veliku fleksibilnost za varijacije u tlocrtu, a upravo je mogućnost promjene tlocrta prikazana u ovom radu. Pojedinačna cijev nastaje povezivanjem obodnih stupova i greda u okvir, koji uspješno prenosi horizontalna opterećenja koja djeluju na konstrukciju. Na taj način se formira čisto izražena konstrukcija koja daje veliku iskoristivost unutarnjeg prostora, posebice za poslovne zgrade, kao što je primjer promatrane zgrade.

Primjer zgrade u ovom diplomskom radu je uzet za lokaciju grada Zagreba kao najurbanije sredine u Republici Hrvatskoj. Motivacija za rad je bila pokazati kako bi se zgrada takvog konstrukcijskog sustava ponašala na toj lokaciji i pokazati osnovne proračune i mogući način modeliranja i dimenzioniranja.

## 2. METODE I TEHNIKE RADA

Problem ovog diplomskog rada je proračun i dimenzioniranje visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlocrtom, na području Grada Zagreba. Zgradu je potrebno proračunati na vertikalna i horizontalna opterećenja prema svim važećim propisima i normama. Cilj rada je doći do zadovoljavajućih rezultata za globalno ponašanje konstrukcije i lokalno, tj. da svi nosivi elementi zadovoljavaju granična stanja nosivosti i uporabljivosti za zadana opterećenja.

U startu su provedena istraživanja o samom konstrukcijskom sustavu povezanih cijevi te o sličnim primjerima izvedenim u stvarnosti. Pregledane su norme i propisi potrebni za analizu i dimenzioniranje. Za zadanu lokaciju su istražena karakteristična opterećenja, koja su se poslije koristila u modelu i proračunu. Također, obavljeno je i upoznavanje sa računalnim programom SCIA Engineer 22.1. u kojem je provedeno modeliranje visoke zgrade. Prije modeliranja napravljena je podloga kao pomoć za model u AutoCadu 2023. Za ispis rezultata je pregledan SCIA priručnik, koji se nalazi na njihovoj stranici, a za dimenzioniranje AB elemenata korišten je i dodatni alat SCIA Concrete Section 22.1.

Nakon provedenih istraživanja te konfiguracije i oblikovanja AB nosivih elemenata zgrade, provedeno je modeliranje. Tokom rada, model je više puta promijenjen kako bi se postigla što bolji globalni i lokalni odgovor konstrukcije. Nakon provedene analize u računalnom programu, izvršen je proračun i dimenzioniranje nosivih elemenata visoke zgrade. Posebna pozornost se posvetila na potresnu otpornost elemenata koji sudjeluju u prijenosu horizontalnog opterećenja, prema zato predviđenim propisima i normama.

Konačno, nakon provedenog proračuna, zaključeno je da je globalno ponašanje konstrukcije u skladu s očekivanim, prema pregledanim istraživanjima i da provjereni elementi zadovoljavaju granična stanja nosivosti i uporabljivosti.

### **3. PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA POVEZANIH CIJEVI HEKSAGONALNIH PRESJEKA S PROMJENJIVIM TLOCRTOM**

U ovom poglavlju prikazan je cjelokupni proračun visoke zgrade, počevši od samog modela, rezultata modela, statičkog i dinamičkog proračuna pa do dimenzioniranja nosivih elemenata.

Prvo je prikazan projektni zadatak kako bi se omogućio uvid u ono što je sve traženo za sami rad. Nakon toga je prikazano tlocrtno rješenje zgrade u kojem je obrazložen odabir i raspored nosivih elemenata. Iza ovog poglavlja slijedi i projekt visoke zgrade, počevši od tehničkog opisa i nacrtu u kojem su dani osnovni podaci o visokoj građevini. Nakon toga slijedi proračun konstrukcije (analiza opterećenja, izrada računalnog modela te ispis i provjera rezultata proračuna). Nakon proračuna slijedi dimenzioniranje nosivih elemenata (ploče, zidova, stupova i greda) prema graničnom stanju nosivosti i graničnom stanju uporabljivosti te proračuni potrebni za adekvatno armiranje. Na kraju rada su dani priloženi i grafički prilozi s nacrtima (karakteristični tlocrti, presjeci građevine te armatura vanjskog okvira, traženog u projektnom zadatku).

### 3.1. Projektni zadatak poslovne zgrade sustava povezanih cijevi



OBRAZAC 2

#### TEMA DIPLOMSKOG RADA

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Ime i prezime studenta:         | Leonarda Marić   |
| JMBAG:                          | 0082061308   |
| Diplomski rad iz predmeta:      | Visoke građevine   |
| Naslov teme<br>diplomskog rada: | HR<br>Proračun visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlocrtom |
|                                 | ENG<br>Structural design of variable layout tall building with bundled tube structural system        |

Opis teme diplomskog rada:

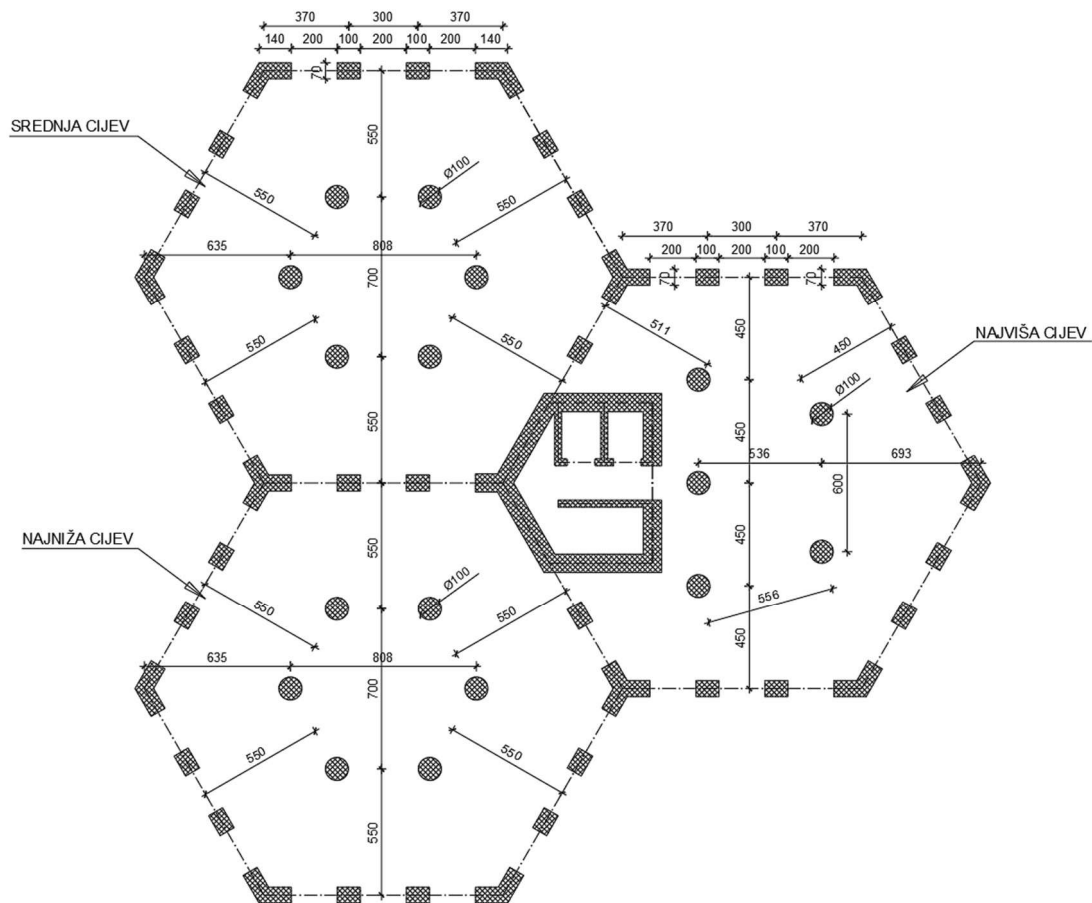
1. Projektni zadatak poslovne zgrade sustava povezanih cijevi
2. Tlocrtno rješenje zgrade - odabir i raspored vertikalnih nosivih elemenata (stupovi cijevi, jezgra) i tlocrtna promjene
3. Tehnički opis konstrukcije zgrade
4. Osnovni nacrti zgrade: fasade, karakteristični katni tlocrti i karakteristični 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 (reznna sile, naprezanja, progibi, dinamika)
6. Dimenzioniranje elemenata ploče, stupova i greda okvira cijevi, provjera jezgre (GSN i GSU)
7. Skica armature vanjskog cijevnog okvira
8. Zaključak i literatura

|           |   |
|-----------|---|
| Datum:    | 17.4.2023.  |
| Komentor: | <b>Dominik Skokandić</b><br>(Ime i prezime komentora) |
| Mentor:   | <b>Anđelko Vlašić</b><br>(Ime i prezime mentora)      |
|           | <br>(Potpis mentora)                                  |

### 3.2. Tlocrtno rješenje zgrade – odabir i raspored vertikalnih nosivih elemenata (stupovi cijevi, jezgra) i tlocrtne promjene

Sustav međusobno povezanih cijevi se ostvaruje spajanjem dvije ili više pojedinačnih cijevi i kod takvog sustava se jednostavnije mogu izvesti promjene u tlocrtu. Bilo koja od cijevi zgrade se može prekinuti na proizvoljnoj visini, a da ne utječe na ponašanje sustava kao cjeline. Zatvorenim presjecima modula se postiže i odlična torzijska krutost građevine, unatoč nesimetričnosti tlocrta [1].

#### *Tlocrtno rješenje visoke zgrade*



**Slika 1.:** Prikaz tlocrtnog rješenja i rasporeda vertikalnih elemenata građevine

Zgrada se sastoji od 3 povezane heksagonalne cijevi kako je prikazano na slici 1. Prva, najniža cijev, se prekida nakon tridesete etaže na visini od 102 m. Od 31. etaže dvije povezane heksagonalne cijevi se protežu do 40. etaže do visine od 136 m. Najviša cijev ima 50 etaža i visoka je 170 m.



### ***Odabir i raspored vertikalnih elemenata – najniža i srednja cijev***

Vertikalni nosivi elementi najniže i srednje cijevi su stupovi okvira i unutarnji stupovi. Unutarnji stupovi okvira su pravokutni poprečni presjeci, a rubni stupovi su poligonalnog poprečnog presjeka. Stupovi okvira su postavljeni tako da im razmak ne bude prevelik kako bi se postigla veća krutost okvira na horizontalna djelovanja, ali tako da im svijetli razmak od 2,0 m ne bude premali za postavljanje otvora, zbog postizanja veće razine funkcionalnosti i udobnosti za korisnike. Unutarnji stupovi su postavljeni na osnom razmaku od 5,5 m od okvira, te na međusobnom osnom razmaku od 7,0 m i 8,08 m. Raspored unutarnjih stupova je takav da raspon ploče između ne bude prevelik. Unutarnji stupovi ne sudjeluju u prijenosu horizontalnog opterećenja (prenose samo vertikalno opterećenje).

### ***Odabir i raspored vertikalnih elemenata – najviša cijev***

Vertikalni nosivi elementi najviše cijevi su stupovi okvira, unutarnji stupovi i jezgra. Stupovi okvira su poprečnog presjeka kao i stupovi okvira najniže i srednje cijevi. Unutarnji stupovi su jednakog poprečnog presjeka kao u druge dvije cijevi, ali im je osni razmak od okvira 4,5 m. Najveći međusobni razmak unutarnjih stupova je 6,0 m. Vanjski zidovi jezgre prate ovojnici treće cijevi na dvije stranice i simetrični su oko osi X te promjenjive debljine po visini zgrade (80/70/60 cm).

## **3.3. Tehnički opis konstrukcije zgrade**

### **3.3.1. Općenito**

Ovim projektnim zadatkom zahtijeva se izvedba visoke zgrade sustava povezanih cijevi heksagonalnih presjeka s promjenjivim tlocrtom po visini, na području Grada Zagreba.

Zgrada se sastoji od ukupno 50 etaža visine 3,4 m, što znači da je ukupna visina zgrade 170 m. Svijetla visina etaže iznosi 3,2 m. Od etaža 1-30, zgrada se sastoji od 3 povezane heksagonalne cijevi, osnih tlocrtnih dimenzija 36,0 m × 36,4 m. Brutto površina pojedine etaže na ovom dijelu građevine iznosi cca 885,85 m<sup>2</sup>, dok je netto površina cca 806,64 m<sup>2</sup>. Od 31. etaže do 40. etaže jedna cijev se prekida te ostaju dvije povezane heksagonalne cijevi, osnih tlocrtnih dimenzija 27,0 m × 36,4 m. Brutto površina pojedine etaže na ovom dijelu građevine iznosi cca 594,34 m<sup>2</sup>, dok je netto površina cca 542,34 m<sup>2</sup>. Nakon 40. etaže se prekida druga cijev te ostaje samo jedna do 50. etaže, osnih tlocrtnih dimenzija 18,0 m × 20,8 m. Brutto površina pojedine etaže na ovom dijelu građevine iznosi cca 302,84 m<sup>2</sup>, dok je netto površina cca 269,17 m<sup>2</sup>.

### 3.3.2. Konstrukcija

Visoka zgrada se sastoji od: okvira po vanjskoj ovojnici zgrade, AB jezgre (smještenoj u najvišoj cijevi), AB međukatnih konstrukcija i unutarnjih stupova. Zgrada je koncipirana tako da ukupno horizontalno opterećenje preuzima jezgra i okviri po ovojnici zgrade.

#### *Okvir*

Elementi vanjskog okvira su AB grede i AB stupovi. AB grede su izvedene iz betona razreda čvrstoće C40/50 i armaturnog čelika B500B. Dimenzije greda su  $b/h = 70 \times 80$  cm te su konstantne u svim okvirima po cijeloj visini zgrade.

AB stupovi su izvedeni iz betona razreda čvrstoće C55/67 i armaturnog čelika B500B. Unutarnji stupovi okvira su dimenzija  $b/h = 70 \times 100$  cm i konstantni su u svim okvirima po cijeloj po cijeloj visini zgrade. Rubni stupovi okvira su poligonalnog poprečnog presjeka i također su konstantni po cijeloj visini zgrade. Svijetli razmak stupova okvira je 2,0 m.

#### *Jezgra*

AB jezgra je izvedena iz betona razreda čvrstoće C55/67 i armaturnog čelika B500B. Jezgra je nepravilnog tlocrtnog oblika s najvećim osnim tlocrtnim dimenzijama 6,5 m  $\times$  7,0 m. U prostoru jezgre su smješteni elementi i oprema za vertikalnu komunikaciju zgrade (dizala i stubište). Zidovi jezgre su promjenjive debljine po visini. Od 1-30 etaže debljina zidova je 80 cm, od 31-40 etaže debljina je 70 cm, a na etažama 40-41 zidovi su debljine 60 cm.

#### *Međukatne konstrukcije*

Međukatne konstrukcije su AB ploče debljine 20,0 cm po cijeloj visini zgrade. Ploča je oslonjena na grede okvira, na unutarnje stupove i na zidove jezgre. Na mjestima vertikalne komunikacije (dizala i stepeništa) formirani su otvori u ploči.

#### *Unutarnji stupovi*

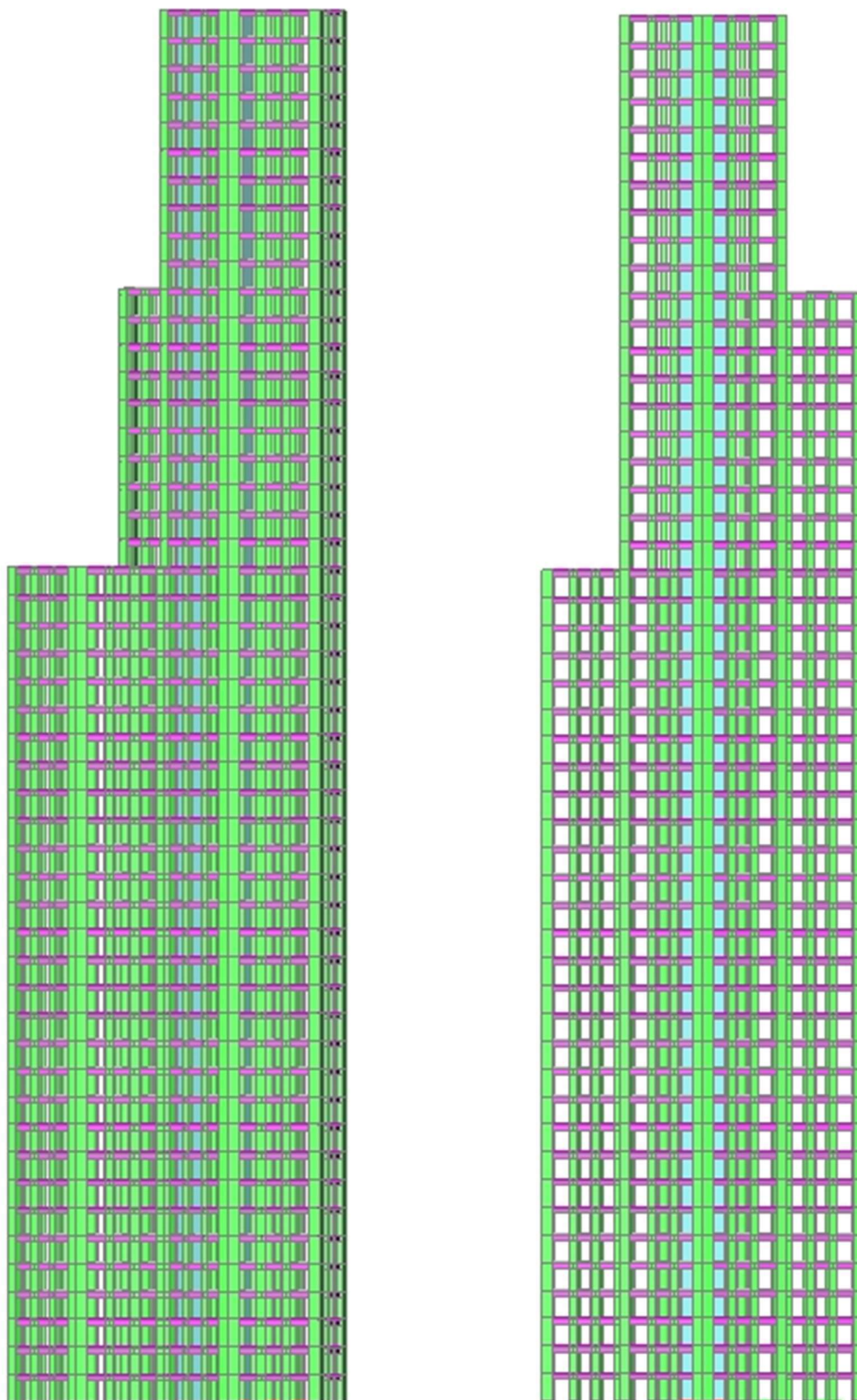
Unutarnji stupovi su izvedeni iz betona razreda čvrstoće C55/67 i armaturnog čelika B500B. Modelirani su kao „pendl“ stupovi koji prenose samo uzdužnu silu, odnosno služe za preuzimanje samo vertikalnog opterećenja, a ne i horizontalnog. Stupovi su kružnog poprečnog presjeka, promjenjivog promjera po visini. Od 1-30 etaže promjer im je 100 cm, od 31-40 etaže promjer je 80 cm, a od 41-50 etaže je promjer 60 cm.

### 3.3.3. Statički proračun i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije

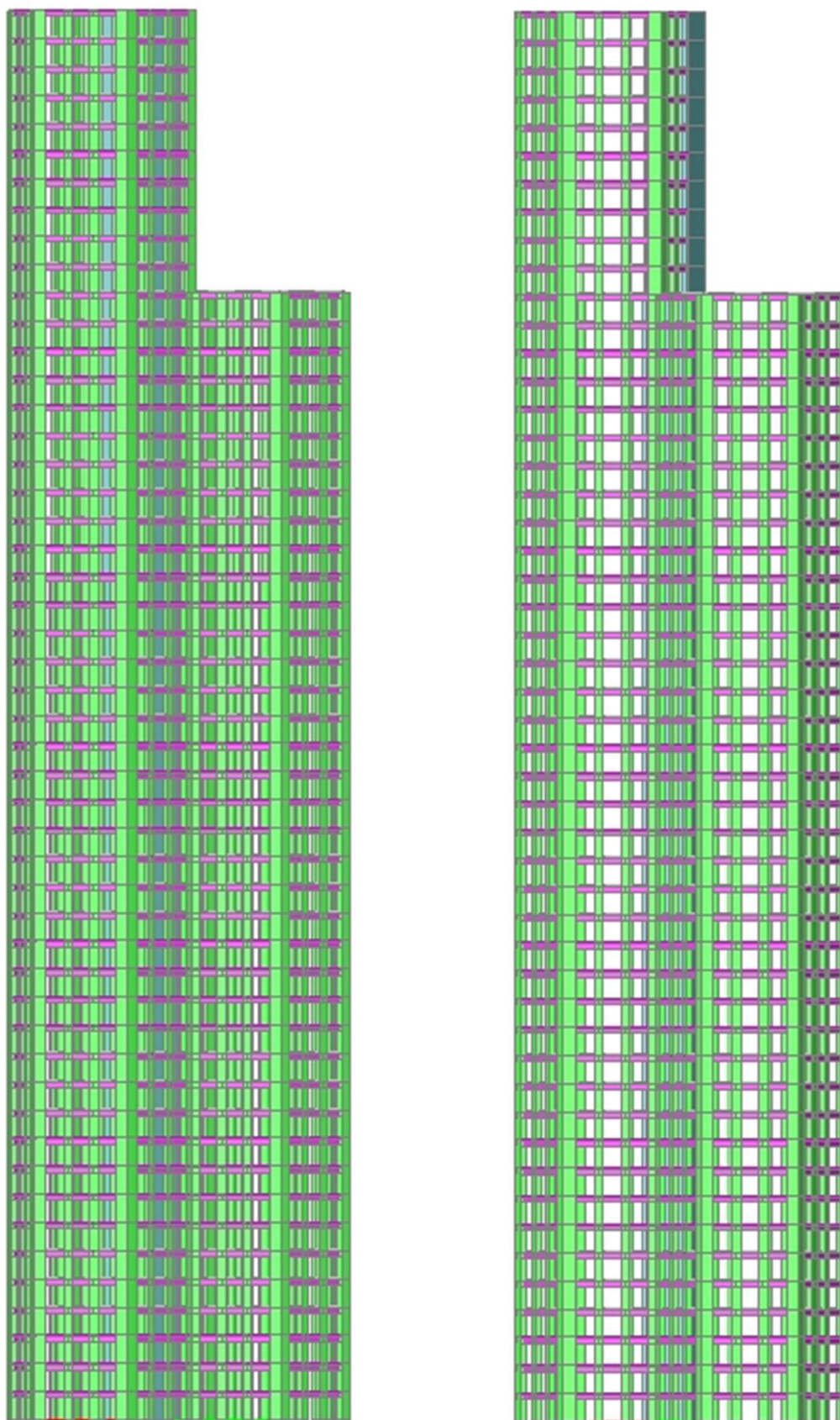
Model visoke zgrade i statički proračun su napravljeni u računalnom programu SCIA Engineer 22.1 [2]. Dimenzioniranje elemenata konstrukcije je izvršeno prema važećim Eurokod normama i nacionalnim dodacima. Statički proračun i dimenzioniranje su provedeni za sljedeća djelovanja: vlastita težina, dodatno stalno opterećenje, uporabno opterećenje, opterećenje snijegom, opterećenje vjetrom, seizmičko opterećenje i imperfekcije.

Za određivanje djelovanja na konstrukciju korišteni su odgovarajući propisi za lokaciju građevine. Prosječna nadmorska visina lokacije visoke zgrade je cca 158 m te se nalazi u III. području opterećenja snijegom. Za opterećenje vjetrom je uzeta III. kategorija terena. Za potrebe određivanja seizmičkog opterećenja očitano je horizontalno vršno ubrzanje tla iz seizmičke karte RH. Za povratni period od 475 godina, vršno ubrzanje iznosi  $a_{gR} = 0,257g$ , a za povratni period od 95 godina,  $a_{gR} = 0,131g$ .

### 3.4. Osnovni nacrti zgrade

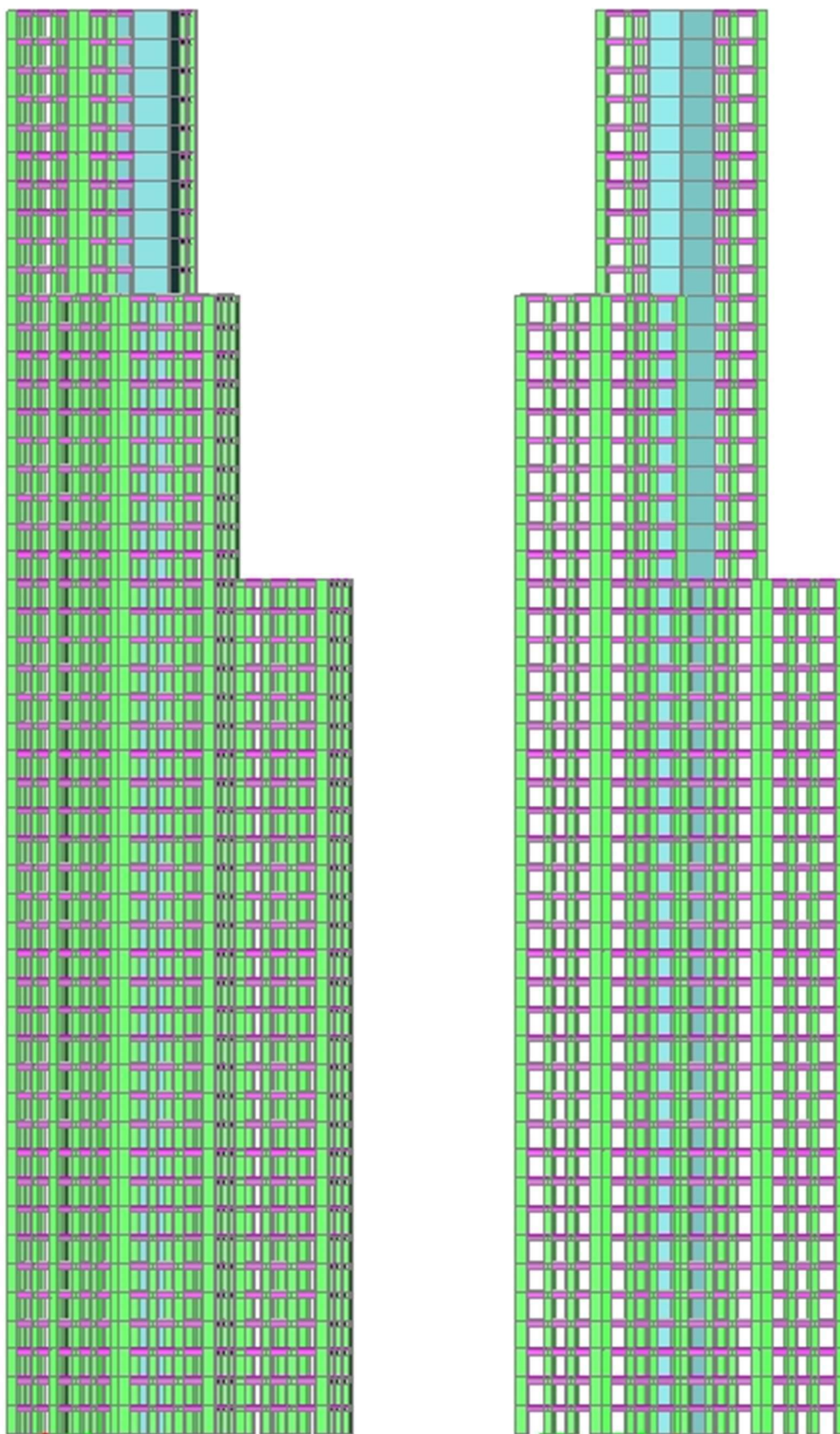


Slika 2.: Prikaz pogleda 1 i pogleda 2 na građevinu

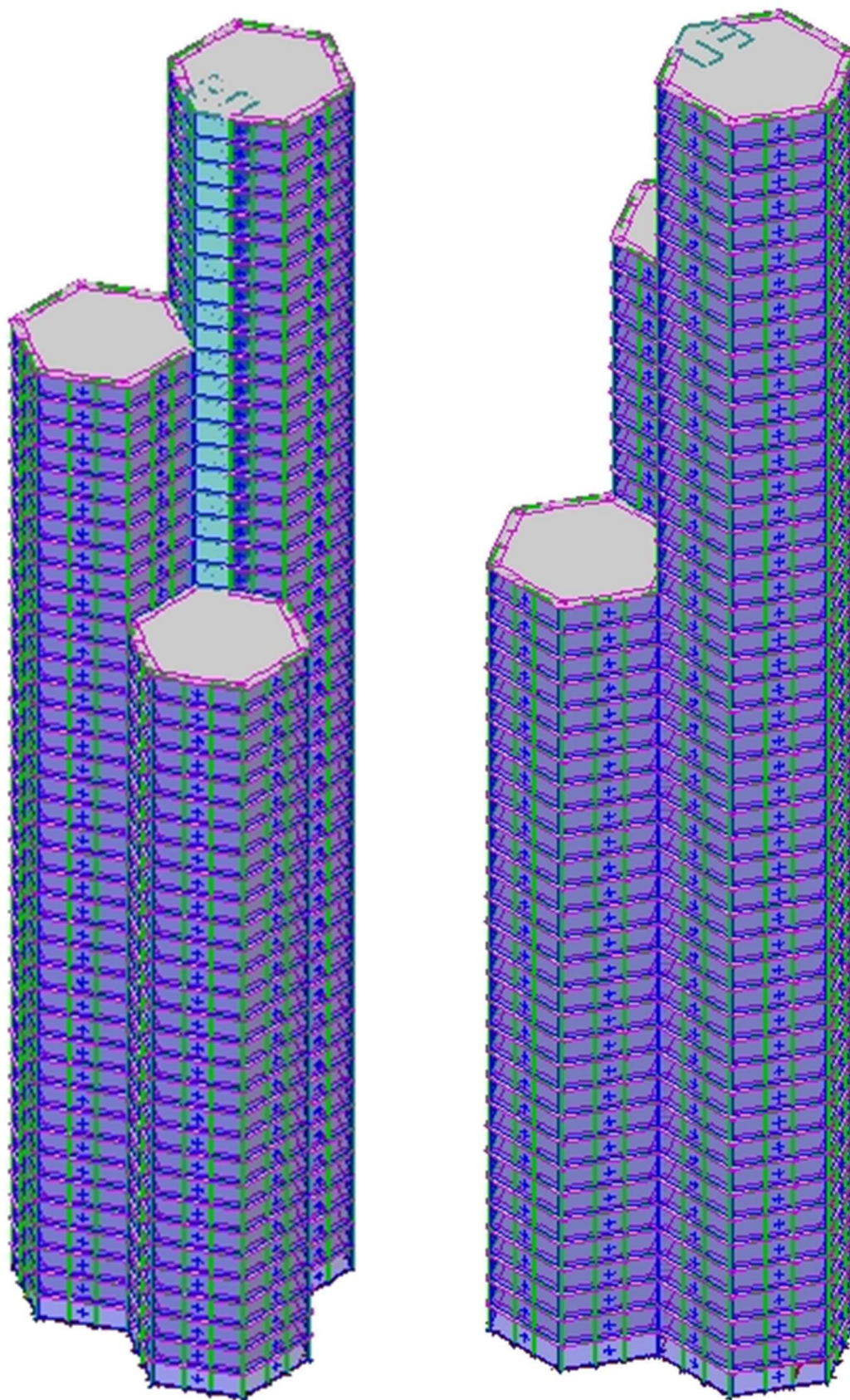


Slika 3.: Prikaz pogleda 3 i pogleda 4 na građevinu



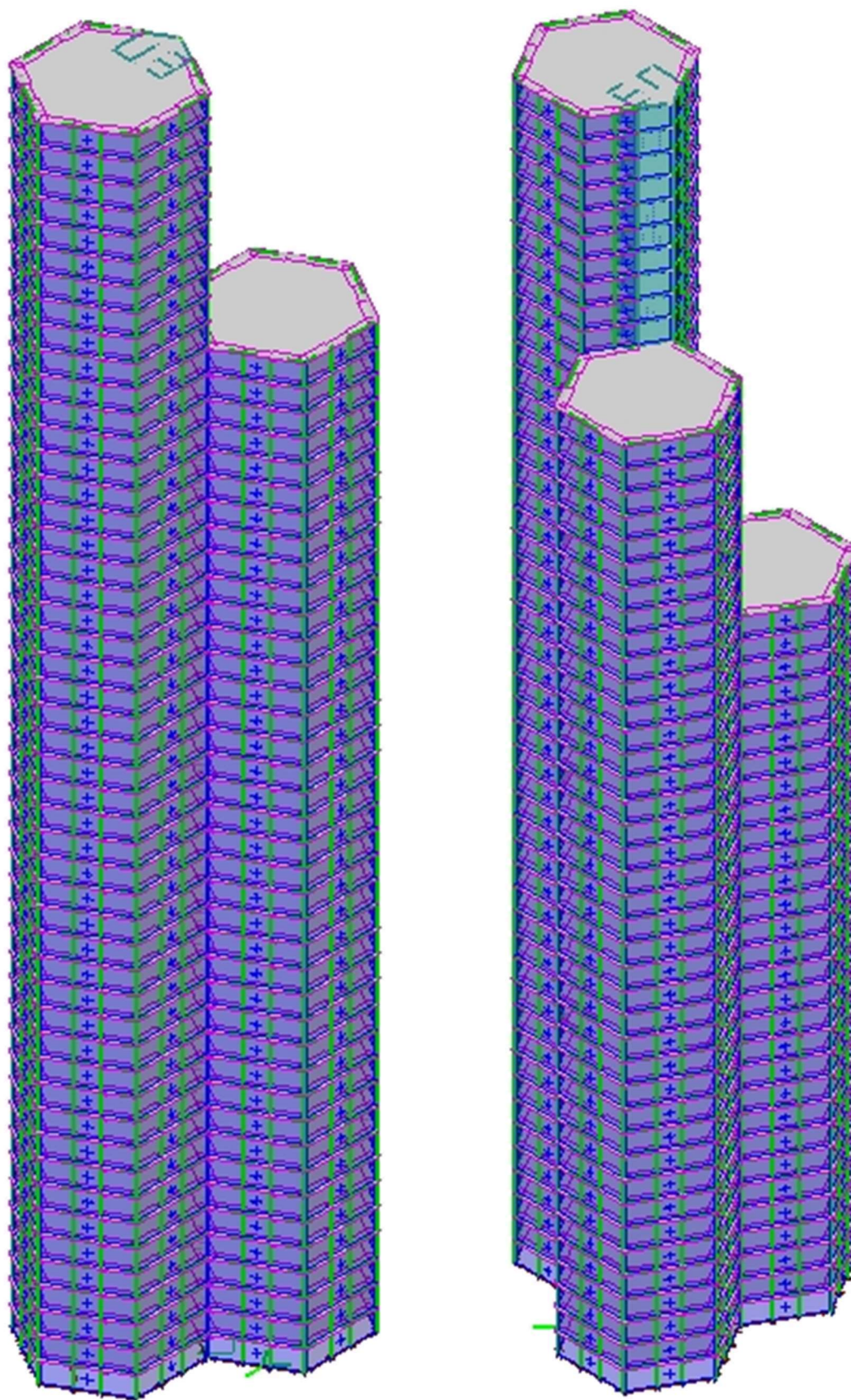


Slika 4.: Prikaz pogleda 5 i pogleda 6 na građevinu



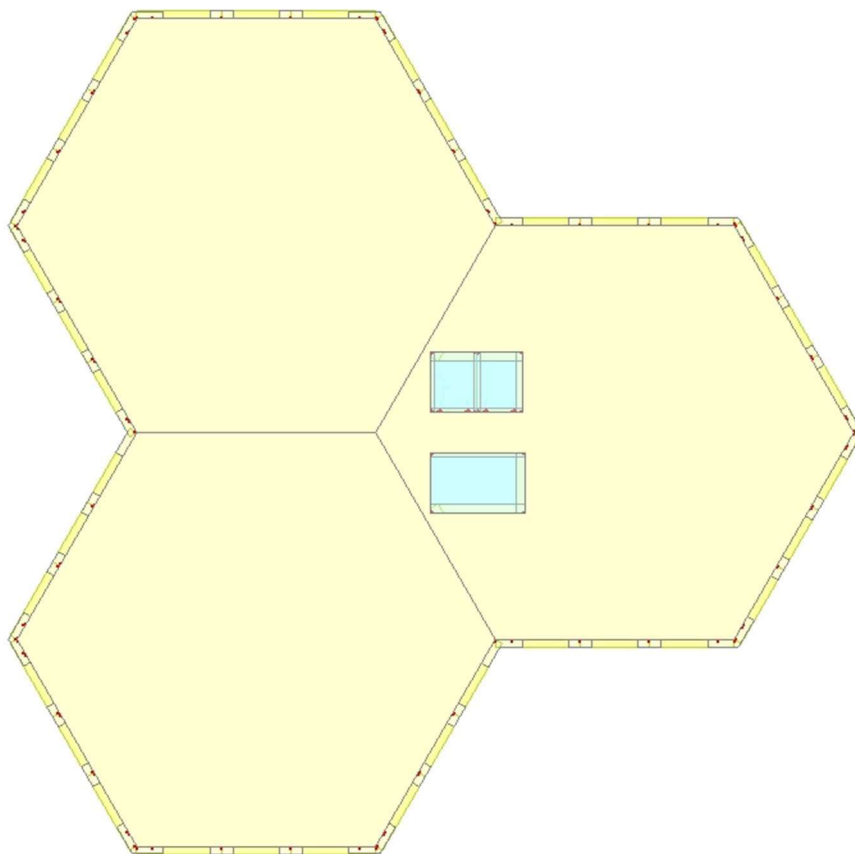
Slika 5.: Prikaz 3D pogleda na građevinu



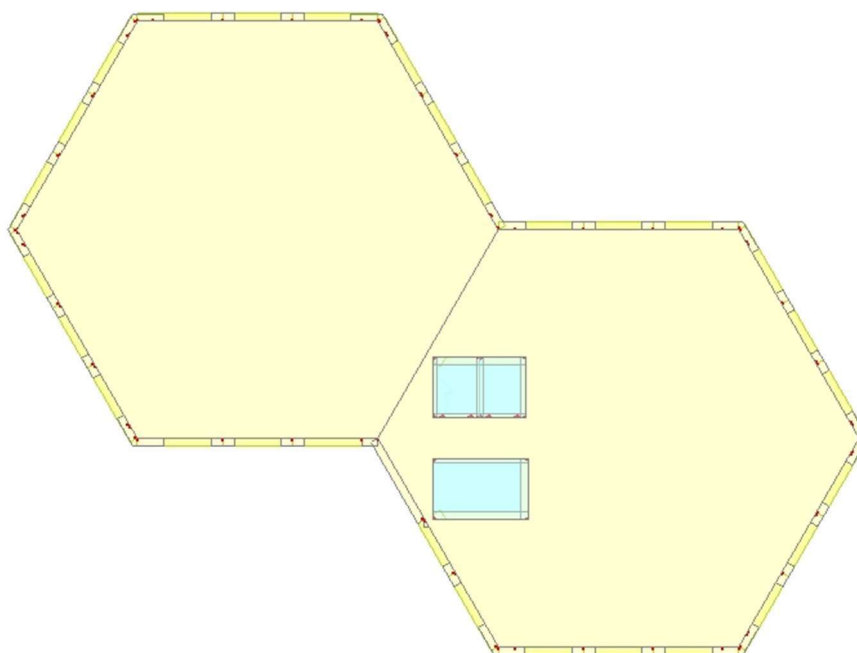


Slika 6.: Prikaz 3D pogleda na građevinu

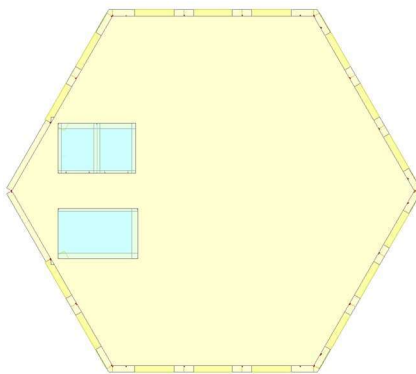




**Slika 7.:** Prikaz tlocrta donjeg dijela građevine



**Slika 8.:** Prikaz tlocrta srednjeg dijela građevine



Slika 9.: Prikaz tlocrta gornjeg dijela građevine

### 3.5. Proračun konstrukcije

#### 3.5.1. Analiza opterećenja

##### 3.5.1.1. Vlastita težina i dodatno stalno opterećenje

Vlastita težina elemenata konstrukcije generirana je u programu SCIA Engineer [2], a sva dodatna stalna opterećenja se zadaju kao plošna i linijska opterećenja.

Analiza opterećenja po m<sup>2</sup>:

##### Etaže 01 – 59:

|   |                                    |
|---|------------------------------------|
| AB ploča:   | definirano u software-u            |
| Završni slojevi poda (d = 2,0 cm):                            | $\Delta g_1 = 0,10 \text{ kN/m}^2$ |
| Cementni estrih (2200 kg/m <sup>3</sup> ; d = 5,0 cm):        | $\Delta g_2 = 1,10 \text{ kN/m}^2$ |
| Toplinska izolacija XPS (30 kg/m <sup>3</sup> ; d = 15,0 cm): | $\Delta g_3 = 0,05 \text{ kN/m}^2$ |
| Pregradni zidovi  | $\Delta g_4 = 1,00 \text{ kN/m}^2$ |
| Instalacije   | $\Delta g_5 = 0,50 \text{ kN/m}^2$ |
| Spušteni strop:   | $\Delta g_6 = 0,25 \text{ kN/m}^2$ |

---

|  |  |
|--|--|
| <u>Dodatno stalno opterećenje etaže:</u> | $\Delta g_{k,1} = 3,00 \text{ kN/m}^2$ |
|--|--|

##### Etaža 60 (krov):

AB ploča: definirano u software-u

Instalacije:  $\Delta g_7 = 0,50 \text{ kN/m}^2$

Pokrov – šljunak ( $2000 \text{ kg/m}^3$ ;  $d = 20,0 \text{ cm}$ ):  $\Delta g_8 = 4,00 \text{ kN/m}^2$

Dodatno stalno opterećenje krova:  $\Delta g_{k,2} = 4,50 \text{ kN/m}^2$

Opterećenje fasadom zadano kao linijsko opterećenje na rub ploče:

Fasada:  $\Delta g_9 = 5,00 \text{ kN/m}'$

Dodatno stalno opterećenje fasadom:  $\Delta g_{k,3} = 5,00 \text{ kN/m}'$

### 3.5.1.2. Uporabno opterećenje

Prema tablici iz norme [3] uzimaju se vrijednosti uporabnog opterećenja po etažama zgrade:

Tablica 1.: Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta u zgradama (Izvor: [3])

| Stupac | 1          | 2                     | 3  | 4   | 5                          |   |    |  |                  |      |
|--------|------------|-----------------------|--|---|----------------------------|---|----|--|------------------|------|
| Redak  | Kategorija | Namjena               | Primjer  | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ]   | $Q_k$ <sup>a</sup><br>[kN] |   |    |  |                  |      |
| 1      | A1         | Nestambena potkrovlja | Neprikladna za stanovanje no pristupačna potkrovlja do 1,8 m svijetle visine   | 1,5   | 1                          |   |    |  |                  |      |
| 2      | A          | A2                    | Prostori za stanovanje i kućanske djelatnosti  | Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja <sup>a</sup> u stambenim zgradama i kućama, sobama s krevetima, bolnicama (spavaonicama), sobama u hotelima i prenoćištima i pripadajuće kuhinje i kupaonice | 1,5                        | – |    |  |                  |      |
| 3      |            |                       |  |   |                            |   | A3 | A2, ali bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja  | 2,0 <sup>b</sup> | 1    |
| 4      | B          | B1                    | Uredski prostori, radni prostori, hodnici  | 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 <sup>c</sup>   | 5                | 4    |
| 7      | C          | C1                    | Prostorije za sastanke, prostori u kojima se mogu okupljati ljudi (osim prostora definiranih u kategorijama A, B, D i E) | 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 crkvama, 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                    | Prodajni prostori  | Trgovački prostori do 50 m <sup>2</sup> tlocrtne 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 policja za skladištenje  | 5                | 7    |

Tablica 1.: – nastavak (Izvor: [3])

| Stupac | 1              | 2                       | 3  | 4                             | 5             |
|--------|----------------|-------------------------|--|-------------------------------|---------------|
| Redak  | Kategorija     | Namjena                 | Primjer  | $q_k$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $Q_k$<br>[kN] |
| 16     | E              | E1.1                    | Skladišta, tvornice i radionice, staje, skladišni prostori i pristupi  | 5 <sup>f</sup>                | 4             |
| 17     |                | E1.2                    | Skladišni prostori općenito, uključujući i knjižnice   | 6 <sup>f</sup>                | 7             |
| 18     |                | E2.1                    | Prostori u tvornicama <sup>a</sup> i radionicama <sup>a</sup> s umjereno teškim ili teškim proizvodnim pogonom | 7,5                           | 10            |
| 19     | S <sup>g</sup> | S1                      | Stubišta i stubišni podesti u stambenim i uredskim zgradama i ambulancama, bez teške opreme                    | 3                             | 2             |
| 20     |                | S2                      | Sva stubišta i stubišni podesti koji se ne mogu razvrstati u S1 ili S3   | 5                             | 2             |
| 21     |                | S3                      | Pristupi i stubišta koji vode do tribina bez nepomičnih sjedala, a služe kao izlazi za nuždu                   | 7,5                           | 3             |
| 22     | p <sup>g</sup> | Pristupi, balkoni i sl. | Krovne terase, trijemovi, lođe, balkoni, izlazni podesti   | 4                             | 2             |

<sup>a</sup> Ako je potrebna lokalna provjera nosivosti (npr. za dijelove sustava bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja), provjera se provodi s karakterističnim vrijednostima za opterećenje koncentriranom silom  $Q_k$  bez kombiniranja s jednoliko raspodijeljenim opterećenjem  $q_k$ . Stranice kvadrata na kojem se rasprostire opterećenje  $Q_k$  jesu 50 mm.

<sup>b</sup> Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja jesu armiranobetonske i prednapete betonske pune, šuplje i rebraste ploče.

<sup>c</sup> Za prijenos sila sa stropova bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele na potporne elemente navedena se vrijednost može umanjiti za 0,5 kN/m<sup>2</sup>.

<sup>d</sup> Ove su vrijednosti minimalne vrijednosti. Ako se u skladu s točkom 6.1(4) norme HRN EN 1991-1-1:2012 utvrde veće vrijednosti, tada su tako utvrđene vrijednosti opterećenja mjerodavne.

<sup>e</sup> Uporabna opterećenja u tvornicama i radionicama smatraju se pretežito statičkim. U pojedinim slučajevima treba razmotriti učinak učestalo ponavljajućeg opterećenja (vidi točku 2.2(3) norme HRN EN 1991-1-1:2012).

<sup>f</sup> Ove su vrijednosti minimalne vrijednosti. U slučajevima u kojima se očekuje veće opterećenje, treba ga odrediti prema pojedinom slučaju.

<sup>g</sup> Ove kategorije vrijede za sve vrste građevina ili dijelova građevina. Koeficijenti kombinacije za promjenjiva djelovanja prema normi HRN EN 1990, tablica A1.1, za te se kategorije određuju sukladno kategoriji (A – E) u koju je svrstana građevina ili dio građevine.

Kategorija B1 (uredski prostori, radni prostori, hodnici):  $q_{k,1} = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Kategorija S1 (stubišta i stubišni podesti):  $q_{k,2} = 3,00 \text{ kN/m}^2$

Prema tablici iz norme [3] uzimaju se vrijednosti uporabnog opterećenja za krov zgrade:

Tablica 2.: Uporabna opterećenja krovova kategorije H (Izvor: [3])

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

<sup>a</sup> Za nagibe između  $20^\circ$  i  $40^\circ$  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.

Prema tablici iz norme [3] određuje se kategorija krova:

Tablica 3.: Kategorije krovova (Izvor: [4])

| 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 |

Kategorija H (nedostupni krovovi, osim za redovito održavanje...):  $q_{k,3} = 0,6 \text{ kN/m}^2$

Uporabna opterećenja se zadaju kao gravitacijska, plošna opterećenja.

### 3.5.1.3. Opterećenje snijegom

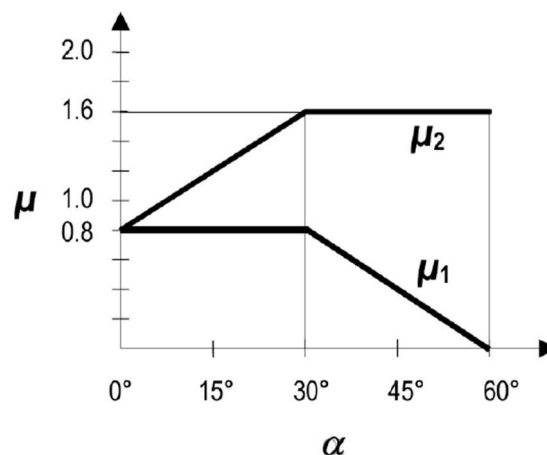
Karakteristično opterećenje snijegom na krov se određuje prema izrazu iz norme [5]:

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

gdje je:

- $\mu_i$  koeficijent oblika opterećenja snijegom
- $C_e$  koeficijent izloženosti (prema tablici 5.1. iz norme [6]: preporučena vrijednost za uobičajen oblik terena je  $C_e = 1,00$  )
- $C_t$  temperaturni koeficijent (prema točki 5.2(8) iz norme [6]: preporučena vrijednost iznosi  $C_t = 1,00$ )
- $s_k$  karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu

Utjecaj geometrije krova se uzima u obzir preko koeficijenta oblika  $\mu_i$ , prema normi [5], gdje je za ravan krov očitana vrijednost koeficijenta oblika krova:  $\mu_i = 0,80$ .



Slika 10.: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom (Izvor: [5])

Karakteristično opterećenje snijegom na tlu se određuje prema snježnoj karti iz norme [5]:



Slika 11.: Karta snježnih područja (Izvor: [6])

Tablica 4.: Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (Izvor: [6])

| Nadmorska visina do [m] | 1. područje – priobalje i otoci [kN/m <sup>2</sup> ] | 2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m <sup>2</sup> ] | 3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ] | 4. područje – gorska Hrvatska [kN/m <sup>2</sup> ] |
|-------------------------|--|---|---|--|
| 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   |   |  |

Zgrada se nalazi u Zagrebu, na prosječnoj nadmorskoj visini  $\approx 158$  m te na 3. području . kontinentalna Hrvatska. Karakteristično opterećenje snijegom na tlu za navedeno područje iznosi:  $s_k = 1,25$  kN/m<sup>2</sup>.

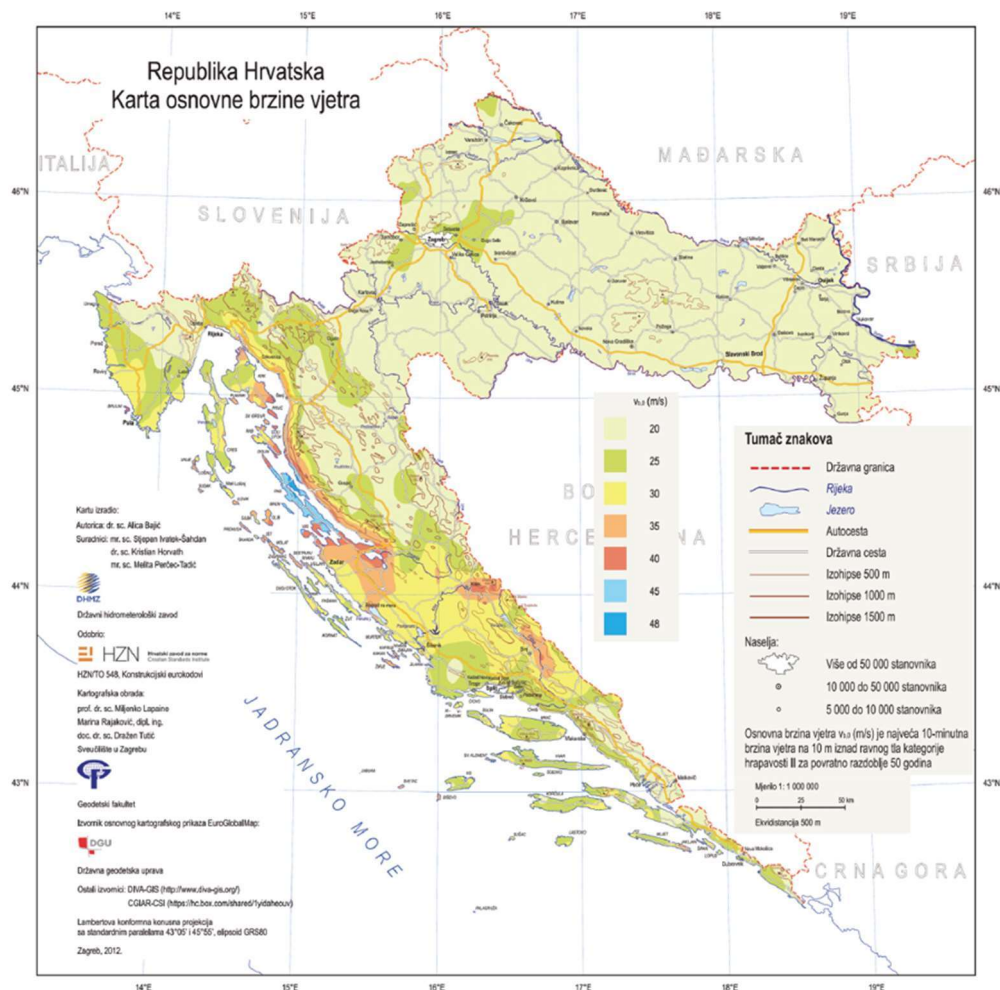
Karakteristično opterećenje snijegom na krov iznosi:

$$s = 1,25 \times 0,80 \times 1,00 \times 1,00 = 1,00 \text{ kN/m}^2.$$

Opterećenje snijegom se zadaje kao vertikalno, plošno opterećenje na krovne ploče zgrade.

### 3.5.1.4. Opterećenje vjetrom

Opterećenje vjetrom je promjenjivo slobodno djelovanje i određuje se prema normi [7], za zadanu lokaciju građevine. Osnovna brzina vjetra za odgovarajuću lokaciju se određuje prema sljedećoj karti [8] za Republiku Hrvatsku:



Slika 12.: Karta osnovne brzine vjetra (Izvor: [8])

Opterećenje vjetrom, je za potrebe ovog rada, uzeto u obzir računalnim programom SCIA Engineer [2], preko „3D wind generatora“. Kako bi se generator mogao pokrenuti formirani su „load paneli“, preko kojih se opterećenje vjetrom distribuiralo na stupove i grede građevine.

Na referentnoj visini vršni tlak pri vršnoj brzini i ostale pripadajuće vrijednosti prema [7], su:

$$q_p(z) = c_e(z) \times q_b = c_e(z) \times \frac{1}{2} \times \rho \times v_m^2(z)$$

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_0(z) \times v_b$$

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

$$c_r(z) = k_r \times \ln \frac{z}{z_0} \quad \text{za} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$k_r = 0,19 \times \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \times \left( \frac{0,3}{0,05} \right)^{0,07} = 0,22$$

gdje je:

- $c_e(z)$  koeficijent izloženosti
- $\rho$  gustoća zraka definirana Nacionalnim dodatkom; u hrvatskom Nacionalnom dodatku [8] prihvaćena je preporučena vrijednost 1,25 kg/m<sup>3</sup>
- $v_m(z)$  srednja brzina vjetra na visini z iznad terena.
- $q_b$  osnovni tlak vjetra.
- $c_r(z)$  faktor hrapavosti terena
- $c_0(z)$  faktor vertikalne razvedenosti terena. Za nagibe zemljišta < 0,05 može se uzeti:  $c_0 = 1,0$ .
- $k_r$  faktor terena
- $z_{0,II}$   $z_{0,II} = 0,05$ , za kategoriju terena II, prema tablici 5.
- $z_0$  i  $z_{min}$  ovise o kategoriji terena. Preporučene vrijednosti dane u tablici 5.
- $z_{max}$  jednaka 200 m.
- $c_{dir}$  koeficijent smjera vjetra,  $c_{dir} = 1,0$
- $c_{season}$  koeficijent godišnjeg doba,  $c_{season} = 1,0$
- $v_{b,0}$  temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra iz karte vjetrova, za lokaciju Zagreb uzeto:  $v_{b,0} = 20$  m/s.



Tablica 5.: Kategorije terena i parametri terena (Izvor: [7])

| Kategorija terena |  | $z_0$<br>[m] | $z_{min}$<br>[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 pokrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m  | 1,0          | 10               |

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

### Koeficijent izloženosti

Koeficijent izloženosti uzima u obzir učinke hrapavosti terena, topografije i visine iznad tla, na srednju brzinu vjetra i turbulenciju. Koeficijent izloženosti se za konstrukcije više od 100 metara može odrediti detaljnim proračunom, prema [7].

$$c_e(z) = [1 + 7 \times I_v(z)] \times c_r(z)^2 \times c_0(z)^2 = \left[ 1 + 7 \times \frac{k_1}{c_0(z) \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right] \times c_r(z)^2 \times c_0(z)^2$$

gdje je:

$I_v(z)$  intezitet turbulencije na visini  $z$

$k_1$  faktor turbulencije, preporučeno  $k_1 = 1,0$ .

### Koeficijent sile

Koeficijent sile konstrukcijskih elemenata s pravilnim poligonalnim profilom s 5 ili više strana, prema [7] jednak je:

$$c_f = c_{f,0} \times \Psi_\lambda$$

gdje je:

$c_{f,0}$  koeficijent sile za konstrukcijske elemente bez toka preko slobodnog kraja.

$\Psi_\lambda$  faktor učinka kraja

Prema tablici 6., koeficijent sile za konstrukcijske elemente bez toka preko slobodnog kraja:

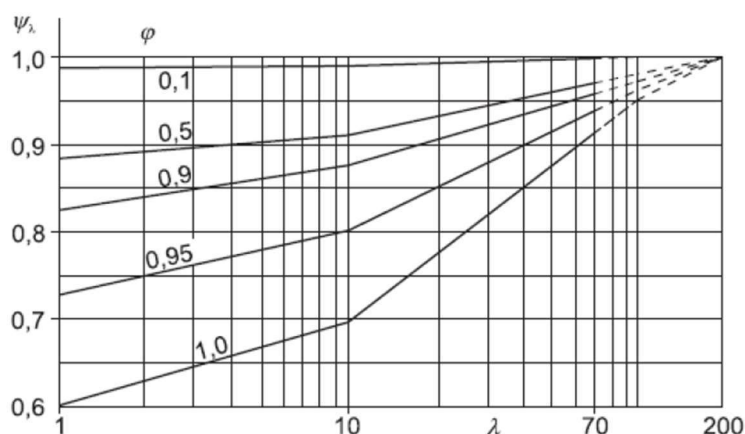
$$c_{f,0} = 1,6$$

Tablica 6.: Koeficijenti sile  $c_{f,0}$  za pravilne poligonalne profile (Izvor: [7])

| Broj strana | Profili                           | Obrada površine i uglova                           | Reynoldsov broj $Re^{(a)}$                | $c_{fe}$                                     |
|-------------|-----------------------------------|--|---|--|
| 5           | Peterokut                         | sve  | sve vrijednosti                           | 1,80   |
| 6           | Šesterokut                        | sve  | sve vrijednosti                           | 1,60   |
| 8           | Osmerokut                         | glatka površina <sup>(b)</sup><br>$r/b < 0,075$    | $Re \leq 2,4 \times 10^5$                 | 1,45   |
|             |                                   |  | $Re \leq 3,0 \times 10^5$                 | 1,30   |
|             |                                   | glatka površina <sup>(b)</sup><br>$r/b \geq 0,075$ | $Re \leq 2,0 \times 10^5$                 | 1,30   |
|             |                                   |  | $Re \geq 2,4 \times 10^5$                 | 1,10   |
| 10          | Deseterokut                       | sve  | sve vrijednosti                           | 1,30   |
| 12          | Dvanaesterokut                    | glatka površina <sup>(c)</sup><br>zaobljeni uglovi | $2,0 \times 10^5 < Re < 1,2 \times 10^6$  | 0,90   |
|             |                                   |  | $Re < 4,0 \times 10^5$                    | 1,30   |
|             |                                   | sve drugo  | $Re > 4,0 \times 10^5$                    | 1,10   |
| 16–18       | Šesnaesterokut do osamnaesterokut | glatka površina <sup>(c)</sup><br>zaobljeni uglovi | $Re < 2,0 \times 10^5$                    | uzeti kao kružni valjak, vidjeti točku (7.9) |
|             |                                   |  | $2 \times 10^5 \leq Re < 1,2 \times 10^6$ | 0,70   |

<sup>(a)</sup> Reynoldsov broj za  $v = v_{10}$ , gdje je  $v_{10}$  dan u točki 4.3, definiran je u točki 7.9.  
<sup>(b)</sup>  $r$  = polumjer ugla,  $b$  = promjer opisane kružnice, vidjeti sliku 7.28  
<sup>(c)</sup> Iz ispitivanja u vjetrovom tunelu na modelima profila s galvaniziranom oštrenom površinom i profila gdje je  $\delta = 0,3$  m i polumjer zaobljenja ugla 0,08  $\delta$ .

Faktor učinka kraja ovisi o proračunskoj vitkosti i koeficijentu punoće. Određuje se prema dijagramu na slici 13.:



Slika 13.: Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja kao funkcije omjera punoće i vitkosti (Izvor: [7])

Omjer punoće je dan prema [7] kao:

$$\varphi = \frac{A}{A_c}$$

gdje je, prema [7]:

A zbroj projiciranih površina elemenata

A<sub>c</sub> ukupna omeđena površina

Za „b“ je uzeta vrijednost 36,4 m (u smjeru X je 36,0 m, a u smjeru Y je 36,4 pa su približno jednake).

Slijedi:

$$\Psi_\lambda = 0,63$$

Konačno koeficijent sile:

$$c_f = 1,6 \times 0,63 = 1,0$$

### **Faktor konstrukcije c<sub>s</sub>c<sub>d</sub>**

Prema normi [7], određuje se faktor konstrukcije za građevine više od 100 metara. Izraz za određivanje:

$$c_s \times c_d = \frac{1 + 2 \times k_p \times I_v(z_s) \times \sqrt{B^2 + R^2}}{1 + 7 \times I_v(z_s)}$$

gdje je:

k<sub>p</sub> vršni faktor određen kao omjer najveće vrijednosti kolebajućeg odziva i njegove standardne devijacije

I<sub>v</sub>(z<sub>s</sub>) intezitet turbulencije

z<sub>s</sub> referentna visina za određivanje faktora konstrukcije

B<sup>2</sup> faktor podloge koji obuhvaća pomanjkanje pune korelacije tlaka na površini konstrukcije

R<sup>2</sup> faktor rezonantnog odziva koji obuhvaća pojavu turbulencije u rezonanciji s oblikom titranja

Pri tome je referentna visina [7]:

$$z_s = 0,6 \times h = 0,6 \times 170 = 102 \text{ m} \geq z_{\min} = 5,0 \text{ m}$$

Intezitet turbulencije, iz [7]:

$$I_V(z_s) = \frac{k_1}{c_0(z) + \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,00}{1,00 + \ln\left(\frac{102}{0,3}\right)} = 0,172$$

$$z_{\min} = 5,0 \text{ m} \leq z_s = 102 \text{ m} \leq z_{\max} = 200 \text{ m}$$

Turbulentna duljina [7]:

$$L(z_s) = L_t \times \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha \quad z_s \geq z_{\min} \quad L_t = 300 \text{ m} \quad z_t = 200 \text{ m}$$

$$\alpha = 0,67 + 0,05 \times \ln(z_0) = 0,67 + 0,05 \times \ln(0,3) = 0,61$$

$$L(z_s) = L_t \times \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha = 300 \times \left(\frac{102}{200}\right)^{0,61} = 198,9 \text{ m}$$

Prema [7], faktor podloge je:

Vjetar puše u X smjeru:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{36 + 170}{198,9}\right)^{0,63}} = 0,521$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{36,4 + 170}{198,9}\right)^{0,63}} = 0,520$$

Prema [7], faktor rezonantnog odziva je:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \times \delta} \times S_L(z_s, n_{1,x}) \times R_h(\eta_h) \times R_b(\eta_b)$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \times 0,10182} \times 0,068 \times 0,088 \times 0,343 = 0,099$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \times 0,10183} \times 0,068 \times 0,088 \times 0,339 = 0,098$$

Bezdimenzionalna funkcija spektralne gustoće [7]:

$$S_L(z, n) = \frac{6,8 \times f_L(z, n)}{(1 + 10,2 \times f_L(z, n))^{5/3}}$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 \times 2,743}{(1 + 10,2 \times 2,743)^{5/3}} = 0,068$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$S_L(z_s, n_{1,y}) = \frac{6,8 \times 2,758}{(1 + 10,2 \times 2,758)^{\frac{5}{3}}} = 0,068$$

Bezdimenzionalna frekvencija [7]:

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{\eta_{1,x} \times L(z_s)}{v_m(z_s)}$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{0,353 \times 198,9}{25,6} = 2,743$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$f_L(z_s, n_{1,y}) = \frac{0,355 \times 198,9}{25,6} = 2,758$$

Osnovna frekvencija (frekvencija prvog tona) [7]:

$$\eta_{1,x} = \frac{\sqrt{d}}{0,1 \times h}$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$\eta_{1,x} = \frac{\sqrt{36}}{0,1 \times 170} = 0,353 \text{ Hz}$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$\eta_{1,y} = \frac{\sqrt{36,4}}{0,1 \times 170} = 0,355 \text{ Hz}$$

Srednja brzina vjetra iznad terena [7]:

$$v_m(z_s) = c_r(z_s) \times v_b = 1,282 \times 20 = 25,6 \text{ m/s}$$

Aerodinamičke prijenosne funkcije za osnovni oblik titranja prema [7] iznose:

$$R_h = \frac{1}{\eta_h} - \frac{1}{2 \times \eta_h^2} (1 - e^{-2\eta_h})$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \times h}{L(z_s)} \times f_L(z_s, n_{1,x})$$

$$R_b = \frac{1}{\eta_b} - \frac{1}{2 \times \eta_b^2} (1 - e^{-2\eta_b})$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times b}{L(z_s)} \times f_L(z_s, n_{1,x})$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$R_h = \frac{1}{10,784} - \frac{1}{2 \times 10,784^2} (1 - e^{-2 \times 10,784}) = 0,088$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \times 170}{198,9} \times 2,743 = 10,784$$

$$R_b = \frac{1}{2,284} - \frac{1}{2 \times 2,284^2} (1 - e^{-2 \times 2,284}) = 0,343$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times 36,0}{198,9} \times 2,743 = 2,284$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$R_h = \frac{1}{10,843} - \frac{1}{2 \times 10,843^2} (1 - e^{-2 \times 10,843}) = 0,088$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \times 170}{198,9} \times 2,758 = 10,843$$

$$R_b = \frac{1}{2,322} - \frac{1}{2 \times 2,322^2} (1 - e^{-2 \times 2,322}) = 0,339$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times 36,4}{198,9} \times 2,758 = 2,322$$

Logaritamski dekrement prigušenja prema [7]:

$$\delta = \delta_s + \delta_a$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$\delta = 0,10 + 0,00182 = 0,10182$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$\delta = 0,10 + 0,00183 = 0,10183$$

Logaritamski dekrement konstrukcijskog prigušenja za AB zgrade, prema [7]:

$$\delta_s = 0,10$$

Logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja, prema [7]:

$$\delta_a = \frac{c_f \times \rho \times b \times v_m(z_s)}{2 \times n_1 \times m_e}$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$\delta_a = \frac{1,0 \times 1,25 \times 36,0 \times 25,6}{2 \times 0,353 \times 8959,86 \times 100} = 0,00182$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$\delta_a = \frac{1,0 \times 1,25 \times 36,4 \times 25,6}{2 \times 0,355 \times 8959,86 \times 100} = 0,00183$$

Efektivnu masu po jedinici visine uzeti s približnom vrijednosti prema [7]:

$$m_e = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m_i \times \Phi_i^2}{\sum \Phi_i^2}$$

Osnovni oblik vibriranja pri savijanju prema [7]:

$$\Phi_i(z) = \left(\frac{z_i}{h}\right)^\zeta$$

gdje je za građevine sa središnjom jezgrom i perifernim elementima  $\zeta = 1,0$ .

Vršni faktor (udarni koeficijent) dobiva se sljedećim izrazom, prema [7]:

$$k_p = \max \left\{ \sqrt{2 \times \ln(v \cdot T)} + \frac{0,60}{\sqrt{2 \times \ln(v \times T)}} \quad ; \quad 3,00 \right.$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$k_p = \sqrt{2 \times \ln(0,14 \times 600)} + \frac{0,60}{\sqrt{2 \times \ln(0,14 \times 600)}} = 3,178$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$k_p = \sqrt{2 \times \ln(0,14 \times 600)} + \frac{0,60}{\sqrt{2 \times \ln(0,14 \times 600)}} = 3,178$$

Odsječak vremena za srednju brzinu uzima se  $T = 600$  s.

Očekivana frekvencija promašaja, [7]:

$$v = n_{1,x} \times \sqrt{\frac{R^2}{B^2 + R^2}} \quad v \geq 0,08 \text{ Hz}$$

Vjetar puše u X smjeru:

$$v = 0,353 \times \sqrt{\frac{0,099}{0,521 + 0,099}} = 0,14 \text{ Hz} > 0,08 \text{ Hz}$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$v = 0,355 \times \sqrt{\frac{0,098}{0,520 + 0,098}} = 0,14 \text{ Hz} > 0,08 \text{ Hz}$$

Faktor konstrukcije za slučaj kada vjetar puše u X smjeru:

$$c_s \times c_d = \frac{1 + 2 \times 3,178 \times 0,172 \times \sqrt{0,521 + 0,099}}{1 + 7 \times 0,172} = 0,85$$

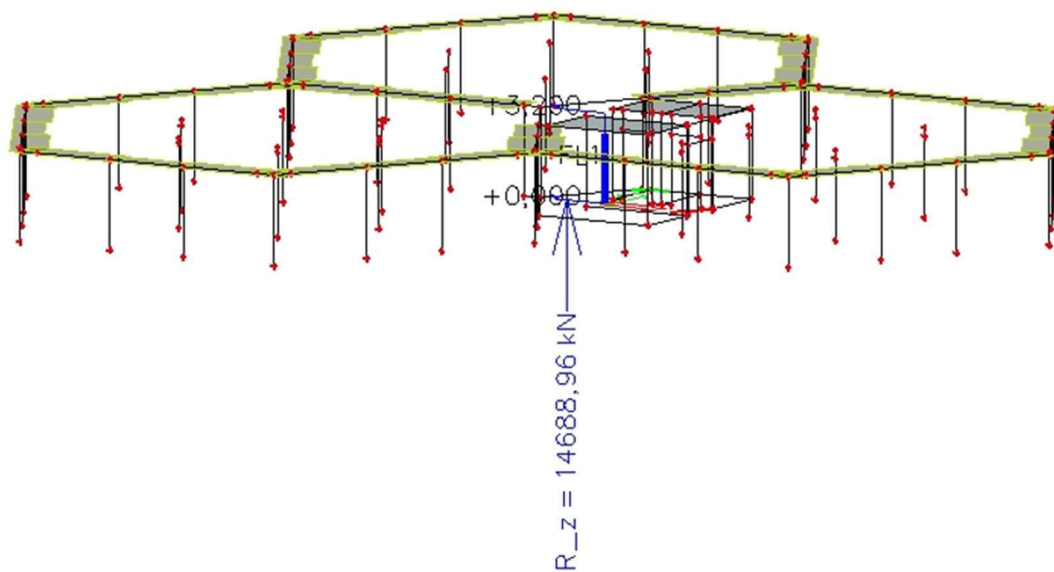
Faktor konstrukcije za slučaj kada vjetar puše u Y smjeru:

$$c_s \times c_d = \frac{1 + 2 \times 3,178 \times 0,172 \times \sqrt{0,520 + 0,098}}{1 + 7 \times 0,172} = 0,85$$

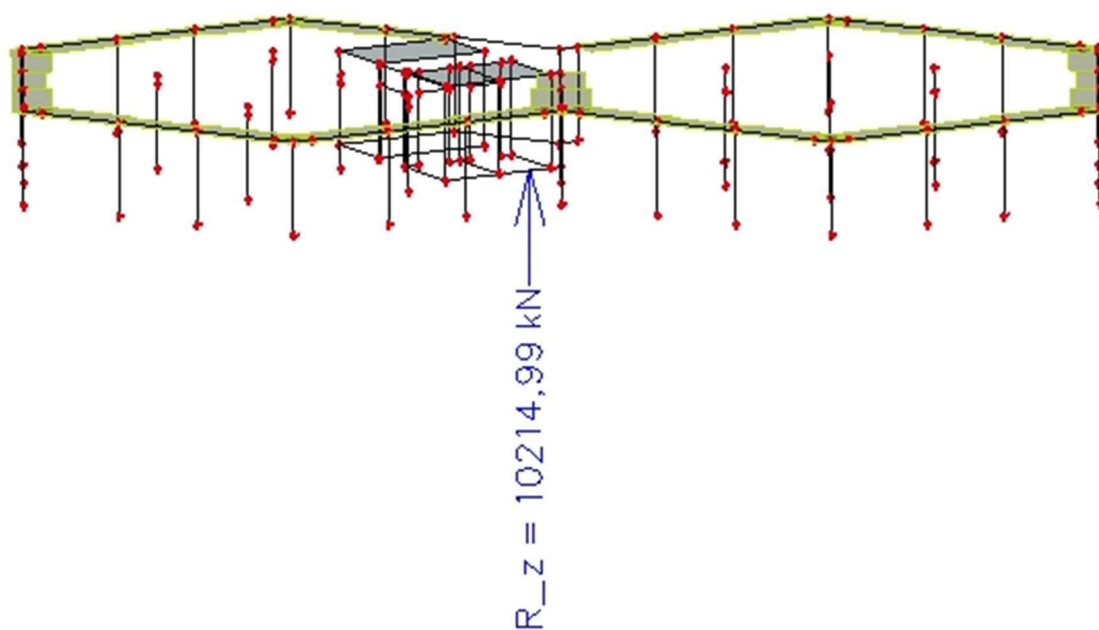
Tablica 7.: Ekvivalentne mase po etažama građevine

|  | $m_i = G_i + \Delta G_i$ | $y_i$ [m] | $\Phi_i(s)$ | $\Phi_i^2(s)$ | $m_i \times \Phi_i^2(s)$ |
|--|--------------------------|-----------|-------------|---------------|--------------------------|
| ETAŽA 1  | 14688,96                 | 1,7       | 0,010       | 0,0001        | 1,469                    |
| ETAŽA 2  | 14688,96                 | 5,1       | 0,030       | 0,0009        | 13,220                   |
| ETAŽA 3  | 14688,96                 | 8,5       | 0,050       | 0,0025        | 36,722                   |
| ETAŽA 4  | 14688,96                 | 11,9      | 0,070       | 0,0049        | 71,976                   |
| ETAŽA 5  | 14688,96                 | 15,3      | 0,090       | 0,0081        | 118,981                  |
| ETAŽA 6  | 14688,96                 | 18,7      | 0,110       | 0,0121        | 177,736                  |
| ETAŽA 7  | 14688,96                 | 22,1      | 0,130       | 0,0169        | 248,243                  |
| ETAŽA 8  | 14688,96                 | 25,5      | 0,150       | 0,0225        | 330,502                  |
| ETAŽA 9  | 14688,96                 | 28,9      | 0,170       | 0,0289        | 424,511                  |
| ETAŽA 10   | 14688,96                 | 32,3      | 0,190       | 0,0361        | 530,271                  |
| ETAŽA 11   | 14688,96                 | 35,7      | 0,210       | 0,0441        | 647,783                  |
| ETAŽA 12   | 14688,96                 | 39,1      | 0,230       | 0,0529        | 777,046                  |
| ETAŽA 13   | 14688,96                 | 42,5      | 0,250       | 0,0625        | 918,060                  |
| ETAŽA 14   | 14688,96                 | 45,9      | 0,270       | 0,0729        | 1070,825                 |
| ETAŽA 15   | 14688,96                 | 49,3      | 0,290       | 0,0841        | 1235,342                 |
| ETAŽA 16   | 14688,96                 | 52,7      | 0,310       | 0,0961        | 1411,609                 |
| ETAŽA 17   | 14688,96                 | 56,1      | 0,330       | 0,1089        | 1599,628                 |
| ETAŽA 18   | 14688,96                 | 59,5      | 0,350       | 0,1225        | 1799,398                 |
| ETAŽA 19   | 14688,96                 | 62,9      | 0,370       | 0,1369        | 2010,919                 |
| ETAŽA 20   | 14688,96                 | 66,3      | 0,390       | 0,1521        | 2234,191                 |
| ETAŽA 21   | 14688,96                 | 69,7      | 0,410       | 0,1681        | 2469,214                 |
| ETAŽA 22   | 14688,96                 | 73,1      | 0,430       | 0,1849        | 2715,989                 |
| ETAŽA 23   | 14688,96                 | 76,5      | 0,450       | 0,2025        | 2974,514                 |
| ETAŽA 24   | 14688,96                 | 79,9      | 0,470       | 0,2209        | 3244,791                 |
| ETAŽA 25   | 14688,96                 | 83,3      | 0,490       | 0,2401        | 3526,819                 |
| ETAŽA 26   | 14688,96                 | 86,7      | 0,510       | 0,2601        | 3820,598                 |
| ETAŽA 27   | 14688,96                 | 90,1      | 0,530       | 0,2809        | 4126,129                 |
| ETAŽA 28   | 14688,96                 | 93,5      | 0,550       | 0,3025        | 4443,410                 |
| ETAŽA 29   | 14688,96                 | 96,9      | 0,570       | 0,3249        | 4772,443                 |
| ETAŽA 30   | 14688,96                 | 100,3     | 0,590       | 0,3481        | 5113,227                 |
| ETAŽA 31   | 10214,99                 | 103,7     | 0,610       | 0,3721        | 3800,998                 |
| ETAŽA 32   | 10214,99                 | 107,1     | 0,630       | 0,3969        | 4054,330                 |
| ETAŽA 33   | 10214,99                 | 110,5     | 0,650       | 0,4225        | 4315,833                 |
| ETAŽA 34   | 10214,99                 | 113,9     | 0,670       | 0,4489        | 4585,509                 |
| ETAŽA 35   | 10214,99                 | 117,3     | 0,690       | 0,4761        | 4863,357                 |
| ETAŽA 36   | 10214,99                 | 120,7     | 0,710       | 0,5041        | 5149,376                 |
| ETAŽA 37   | 10214,99                 | 124,1     | 0,730       | 0,5329        | 5443,568                 |
| ETAŽA 38   | 10214,99                 | 127,5     | 0,750       | 0,5625        | 5745,932                 |
| ETAŽA 39   | 10214,99                 | 130,9     | 0,770       | 0,5929        | 6056,468                 |
| ETAŽA 40   | 10214,99                 | 134,3     | 0,790       | 0,6241        | 6375,175                 |
| ETAŽA 41   | 5615,83                  | 137,7     | 0,810       | 0,6561        | 3684,546                 |
| ETAŽA 42   | 5615,83                  | 141,1     | 0,830       | 0,6889        | 3868,745                 |
| ETAŽA 43   | 5615,83                  | 144,5     | 0,850       | 0,7225        | 4057,437                 |
| ETAŽA 44   | 5615,83                  | 147,9     | 0,870       | 0,7569        | 4250,622                 |
| ETAŽA 45   | 5615,83                  | 151,3     | 0,890       | 0,7921        | 4448,299                 |
| ETAŽA 46   | 5615,83                  | 154,7     | 0,910       | 0,8281        | 4650,469                 |
| ETAŽA 47   | 5615,83                  | 158,1     | 0,930       | 0,8649        | 4857,131                 |
| ETAŽA 48   | 5615,83                  | 161,5     | 0,950       | 0,9025        | 5068,287                 |
| ETAŽA 49   | 5615,83                  | 164,9     | 0,970       | 0,9409        | 5283,934                 |
| ETAŽA 50   | 6010,11                  | 168,3     | 0,990       | 0,9801        | 5890,509                 |
| $\sum m_i \times \Phi_i^2(s)$                    | <b>149316,09</b>         |           |             |               |                          |
| $\sum \Phi_i^2(s)$                               | <b>16,665</b>            |           |             |               |                          |
| $\sum m_i \times \Phi_i^2(s) / \sum \Phi_i^2(s)$ | <b>8959,86</b>           |           |             |               |                          |

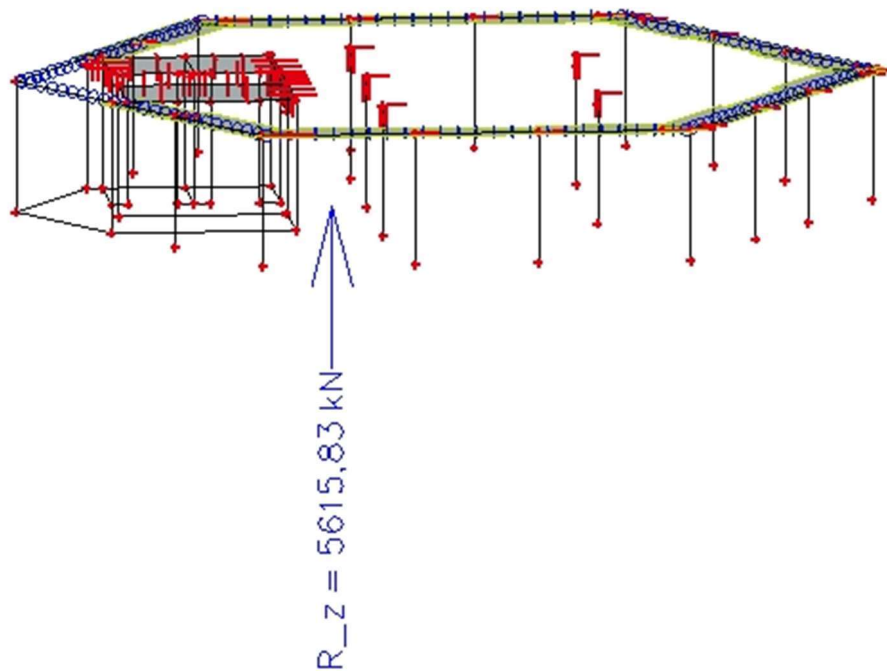




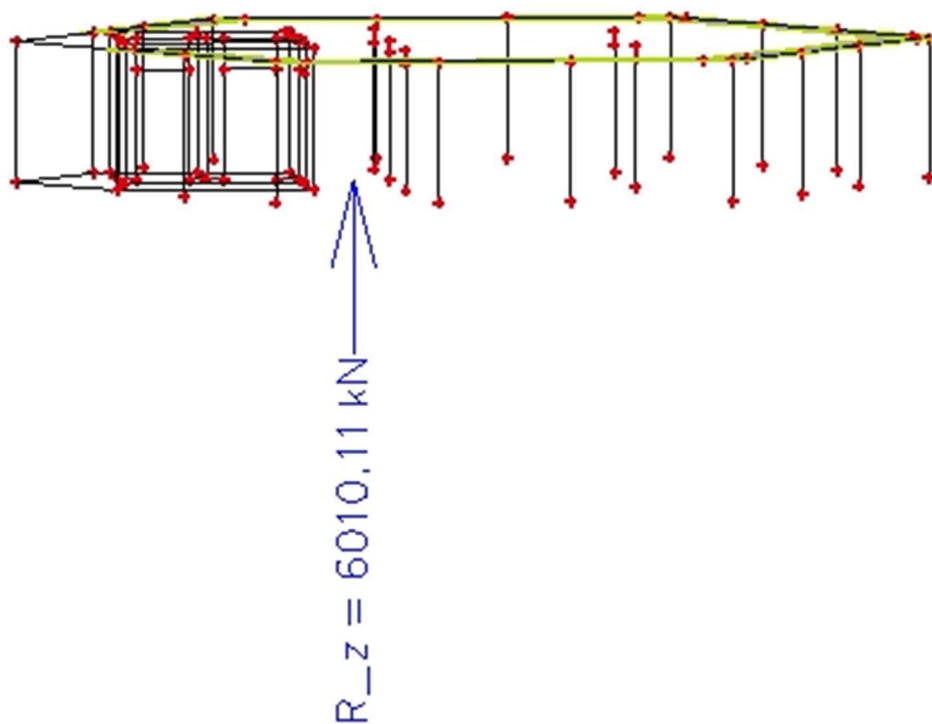
Slika 14.: Prikaz rezultante u donjem dijelu građevine



Slika 15.: Prikaz rezultante u srednjem dijelu građevine



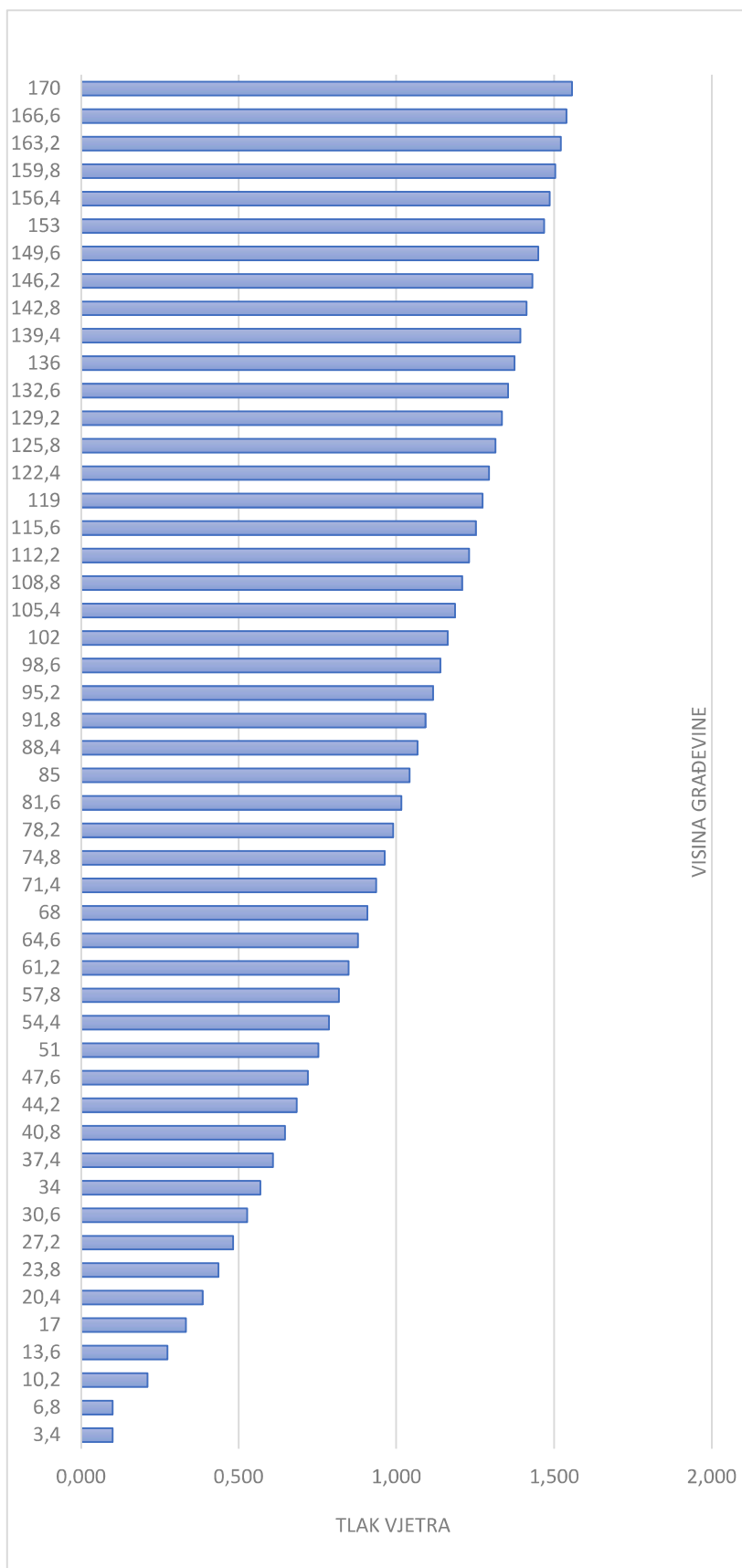
Slika 16.: Prikaz rezultante u gornjem dijelu građevine



Slika 17.: Prikaz rezultante na krovu građevine

Tablica 8.: Tlak i brzina vjetera po visini građevine

| ETAŽE    | Visina etaže | $c_r(z)$ | $I_v(z)$ | $c_e(z)$ | $v_m(z)$<br>[m/s] | $q_b(z)$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $q_p(z)$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | $c_{f0}$ | $\Psi_\lambda$ | $c_f$ | $c_s c_d$ | $q_p(z) - \text{total}$<br>[kN/m <sup>2</sup> ] |
|----------|--------------|----------|----------|----------|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------|----------------|-------|-----------|---|
| Etaža 1  | 3,4          | 0,605    | 0,355    | 1,276    | 12,098            | 0,091                            | 0,117                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,100   |
| Etaža 2  | 6,8          | 0,605    | 0,355    | 1,276    | 12,098            | 0,091                            | 0,117                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,100   |
| Etaža 3  | 10,2         | 0,758    | 0,284    | 1,716    | 15,163            | 0,144                            | 0,247                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,211   |
| Etaža 4  | 13,6         | 0,820    | 0,262    | 1,907    | 16,400            | 0,168                            | 0,321                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,275   |
| Etaža 5  | 17           | 0,868    | 0,248    | 2,060    | 17,360            | 0,188                            | 0,388                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,332   |
| Etaža 6  | 20,4         | 0,907    | 0,237    | 2,188    | 18,144            | 0,206                            | 0,450                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,386   |
| Etaža 7  | 23,8         | 0,940    | 0,229    | 2,299    | 18,807            | 0,221                            | 0,508                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,436   |
| Etaža 8  | 27,2         | 0,969    | 0,222    | 2,397    | 19,381            | 0,235                            | 0,563                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,482   |
| Etaža 9  | 30,6         | 0,994    | 0,216    | 2,485    | 19,887            | 0,247                            | 0,614                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,526   |
| Etaža 10 | 34           | 1,017    | 0,211    | 2,565    | 20,340            | 0,259                            | 0,663                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,568   |
| Etaža 11 | 37,4         | 1,038    | 0,207    | 2,638    | 20,750            | 0,269                            | 0,710                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,608   |
| Etaža 12 | 40,8         | 1,056    | 0,204    | 2,705    | 21,124            | 0,279                            | 0,754                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,646   |
| Etaža 13 | 44,2         | 1,073    | 0,200    | 2,768    | 21,469            | 0,288                            | 0,797                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,683   |
| Etaža 14 | 47,6         | 1,089    | 0,197    | 2,826    | 21,787            | 0,297                            | 0,838                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,718   |
| Etaža 15 | 51           | 1,104    | 0,195    | 2,881    | 22,084            | 0,305                            | 0,878                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,752   |
| Etaža 16 | 54,4         | 1,118    | 0,192    | 2,933    | 22,361            | 0,313                            | 0,917                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,785   |
| Etaža 17 | 57,8         | 1,131    | 0,190    | 2,982    | 22,622            | 0,320                            | 0,954                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,817   |
| Etaža 18 | 61,2         | 1,143    | 0,188    | 3,028    | 22,868            | 0,327                            | 0,990                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,848   |
| Etaža 19 | 64,6         | 1,155    | 0,186    | 3,072    | 23,100            | 0,334                            | 1,025                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,878   |
| Etaža 20 | 68           | 1,166    | 0,184    | 3,115    | 23,321            | 0,340                            | 1,059                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,907   |
| Etaža 21 | 71,4         | 1,177    | 0,183    | 3,155    | 23,531            | 0,346                            | 1,092                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,935   |
| Etaža 22 | 74,8         | 1,187    | 0,181    | 3,194    | 23,731            | 0,352                            | 1,124                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,963   |
| Etaža 23 | 78,2         | 1,196    | 0,180    | 3,231    | 23,922            | 0,358                            | 1,156                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 0,990   |
| Etaža 24 | 81,6         | 1,205    | 0,178    | 3,267    | 24,105            | 0,363                            | 1,186                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,016   |
| Etaža 25 | 85           | 1,214    | 0,177    | 3,301    | 24,280            | 0,368                            | 1,216                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,042   |
| Etaža 26 | 88,4         | 1,222    | 0,176    | 3,334    | 24,449            | 0,374                            | 1,246                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,067   |
| Etaža 27 | 91,8         | 1,231    | 0,175    | 3,366    | 24,611            | 0,379                            | 1,274                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,092   |
| Etaža 28 | 95,2         | 1,238    | 0,174    | 3,397    | 24,768            | 0,383                            | 1,303                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,116   |
| Etaža 29 | 98,6         | 1,246    | 0,173    | 3,427    | 24,919            | 0,388                            | 1,330                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,140   |
| Etaža 30 | 102          | 1,253    | 0,172    | 3,457    | 25,064            | 0,393                            | 1,357                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,163   |
| Etaža 31 | 105,4        | 1,260    | 0,171    | 3,485    | 25,205            | 0,397                            | 1,384                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,186   |
| Etaža 32 | 108,8        | 1,267    | 0,170    | 3,513    | 25,342            | 0,401                            | 1,410                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,208   |
| Etaža 33 | 112,2        | 1,274    | 0,169    | 3,539    | 25,474            | 0,406                            | 1,435                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,230   |
| Etaža 34 | 115,6        | 1,280    | 0,168    | 3,565    | 25,603            | 0,410                            | 1,461                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,252   |
| Etaža 35 | 119          | 1,286    | 0,167    | 3,591    | 25,727            | 0,414                            | 1,485                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,273   |
| Etaža 36 | 122,4        | 1,292    | 0,166    | 3,615    | 25,848            | 0,418                            | 1,510                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,294   |
| Etaža 37 | 125,8        | 1,298    | 0,166    | 3,640    | 25,966            | 0,421                            | 1,534                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,314   |
| Etaža 38 | 129,2        | 1,304    | 0,165    | 3,663    | 26,081            | 0,425                            | 1,557                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,334   |
| Etaža 39 | 132,6        | 1,310    | 0,164    | 3,686    | 26,193            | 0,429                            | 1,581                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,354   |
| Etaža 40 | 136          | 1,315    | 0,163    | 3,709    | 26,301            | 0,432                            | 1,603                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,374   |
| Etaža 41 | 139,4        | 1,320    | 0,163    | 3,731    | 26,408            | 0,436                            | 1,626                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,393   |
| Etaža 42 | 142,8        | 1,326    | 0,162    | 3,752    | 26,511            | 0,439                            | 1,648                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,412   |
| Etaža 43 | 146,2        | 1,331    | 0,162    | 3,773    | 26,612            | 0,443                            | 1,670                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,431   |
| Etaža 44 | 149,6        | 1,336    | 0,161    | 3,794    | 26,711            | 0,446                            | 1,692                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,450   |
| Etaža 45 | 153          | 1,340    | 0,160    | 3,814    | 26,808            | 0,449                            | 1,713                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,468   |
| Etaža 46 | 156,4        | 1,345    | 0,160    | 3,834    | 26,902            | 0,452                            | 1,734                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,486   |
| Etaža 47 | 159,8        | 1,350    | 0,159    | 3,853    | 26,995            | 0,455                            | 1,755                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,504   |
| Etaža 48 | 163,2        | 1,354    | 0,159    | 3,872    | 27,085            | 0,459                            | 1,775                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,521   |
| Etaža 49 | 166,6        | 1,359    | 0,158    | 3,891    | 27,174            | 0,462                            | 1,796                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,539   |
| Etaža 50 | 170          | 1,363    | 0,158    | 3,909    | 27,261            | 0,464                            | 1,816                            | 1,6      | 0,63           | 1,008 | 0,85      | 1,556   |

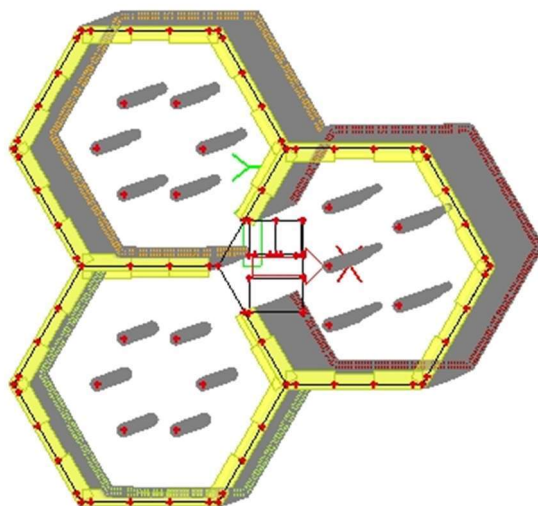


Slika 18.: Prikaz promjene tlaka vjetra u ovisnosti o visini građevine

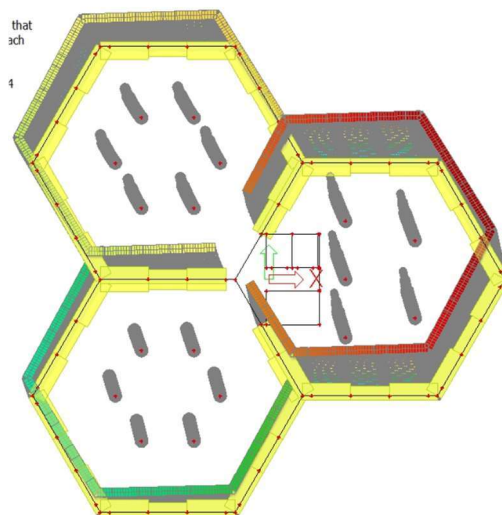
### *Zadavanje vjetra u programu SCIA Engineer [2]*

Kutevi djelovanja vjetra su zadani prema smjerovima prvih modalnih oblika, jer je zgrada u tim smjerovima najmekša i prema tome dobivamo najmjerodavnije rezultate. Prema tome kutevi su  $0^\circ$  i  $90^\circ$  (u X smjeru prvi mod, u Y smjeru drugi mod).

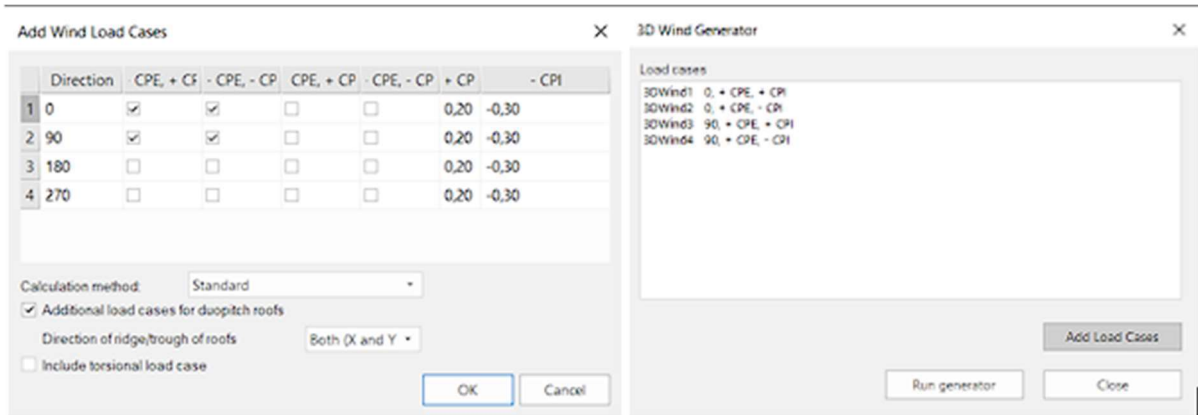
Prva dva modalna oblika su iduća:



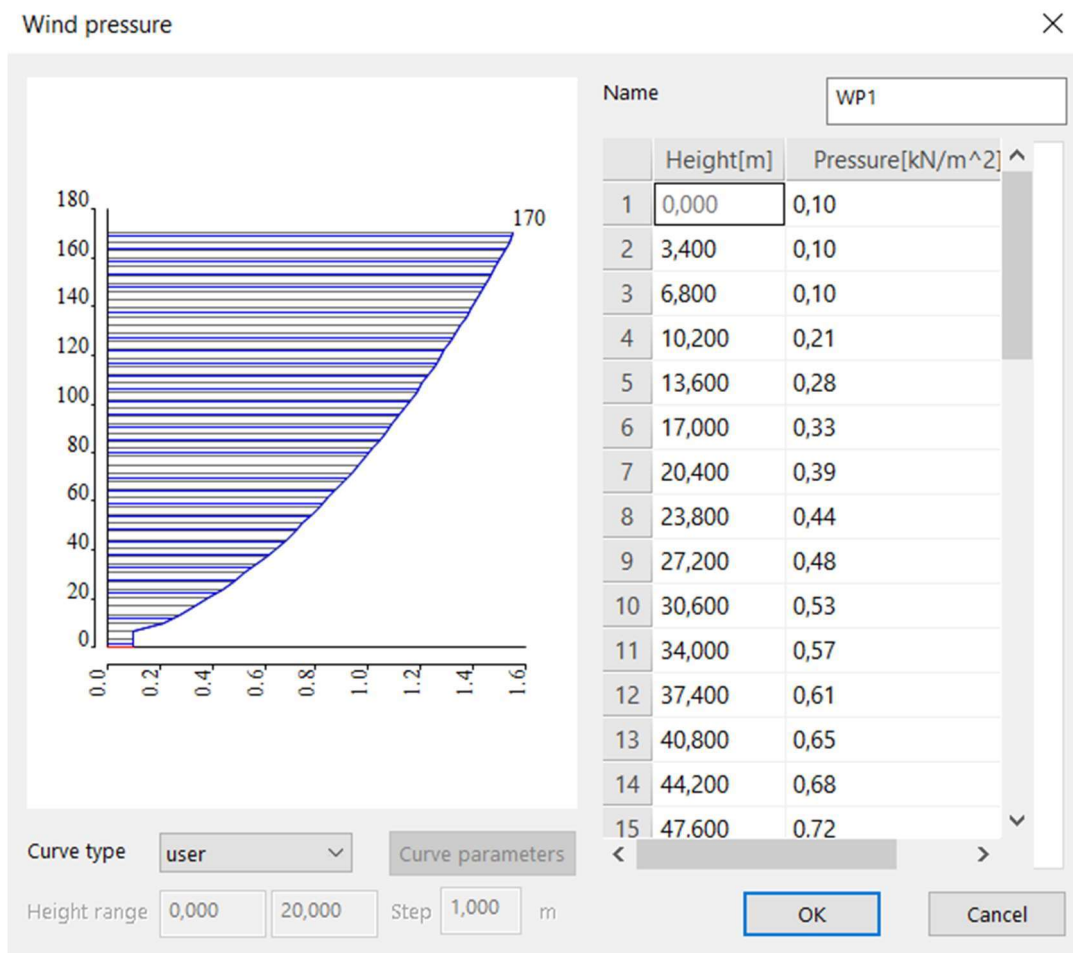
Slika 19.: Prvi modalni oblik



Slika 20.: Drugi modalni oblik



Slika 21.: Prikaz zadavanja parametara u programu SCIA Engineer



Slika 22.: Prikaz zadavanja tlaka vjetra u programu SCIA Engineer

Nakon zadavanja svih navedenih parametara, pokreće se 3D wind generator, koji daje opterećenja vjetrom na svaki panel.

## 3.5.1.5. Horizontalno opterećenje uslijed imperfekcija

Nepovoljni učinci, poput mogućih otklona od geometrijskih odnosa u konstrukciji ili položaja opterećenja, se moraju uzeti u obzir pri proračunu konstrukcije. Uzimaju se u obzir za granično stanje nosivosti za stalne i prolazne proračunske situacije.

Geometrijske imperfekcije se proračunavaju prema normi [9]. Prikazuju se nagibom stupova u odnosu na vertikalnu  $\theta_i$ . Prema [9], za osnovnu vrijednost  $\theta_0$  se usvaja:

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

Nagib u odnosu na vertikalnu je:

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

gdje je:

$\theta_0$  osnovna vrijednost

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

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

$l$  duljina ili visina

$m$  broj vertikalnih elemenata koji doprinose ukupnom učinku.

Pošto je zgrada promjenjiva po visini, broj vertikalnih elemenata koji doprinose ukupnom učinku se mijenja pa je horizontalna sila uslijed imperfekcije proračunata za svaki dio građevine.

Horizontalna sila uslijed imperfekcije prema [9]:

$$\Delta H_j = \sum_{i=1}^n V_{ij} \times \theta_i$$

Reakcije vertikalnih sila karakterističnih etaža ( $V_{ij}$ ) za proračun horizontalnih opterećenja uslijed imperfekcija za stalnu ili prolaznu kombinaciju za GSN kada je vjetar vodeće djelovanje se prema [10] računa:

$$E_d = \sum_{j=1}^n \gamma_{G,j} \times G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \times Q_{k,1} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q,i} \times \psi_{0,i} \times Q_{k,i}$$

$$E_d = 1,35 \times G + 1,5 \times W + 1,5 \times (\psi_{0,Q} \times \alpha_n \times Q + \psi_{0,S} \times S)$$

Parametri u formulama i koeficijenti kombinacije za uporabna opterećenja se uzimaju prema poglavlju 3.5.1.8. ovog Rada, prema normi [10].

Faktor smanjenja ( $\alpha_n$ ), definiran u normi [3], iznosi:

$$\alpha_n = 0,70 + \frac{0,60}{n}$$

gdje je „n“ broj katova iznad opterećenih elemenata iste kategorije.

### **Etaže 1-30**

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{102}} = 0,198 < \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_h = 0,667$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{62}\right)} = 0,713$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} \times 0,667 \times 0,713 = 0,00238$$

- Za kategoriju namjene prostora B (uredske prostorije) prema [3]:

$$\alpha_n = 0,70 + \frac{0,60}{30} = 0,72$$

- Za kategoriju namjene prostora S (stubišta i podesti) prema [3]:

$$\alpha_n = 1,0$$

Redukcija uporabnog opterećenja – krovište:

$$0,60 \times \psi_{0,Q}^H = 0,6 \times 0,0 = 0 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – uredske prostorije:

$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^B = 3 \times 0,72 \times 0,70 = 1,51 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – stubišta i podesti:

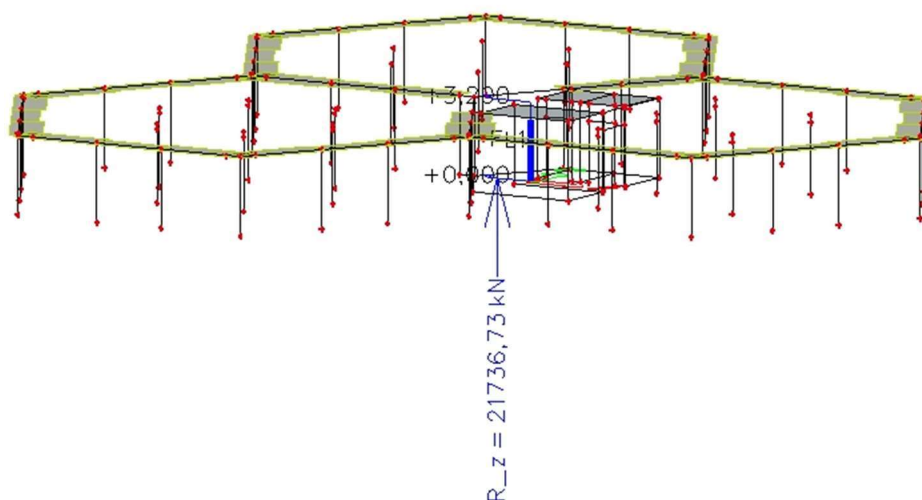
$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^S = 3 \times 1,0 \times 0,70 = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – snijeg:

$$1,0 \times \psi_s = 1,0 \times 0,50 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Suma vertikalnih sila na etažama je dobivena u računalnom programu SCIA Engineer [2].





Slika 23.: Prikaz rezultante reakcija u donjem dijelu građevine (1-30)

$$V_{z,Ed}^{1-30} = 21737 \text{ kN}$$

**Etaže 31-40**

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{34}} = 0,343 < \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_h = 0,667$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{45}\right)} = 0,715$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} \times 0,667 \times 0,715 = 0,00238$$

- Za kategoriju namjene prostora B (uredske prostorije) prema [3]:

$$\alpha_n = 0,70 + \frac{0,60}{10} = 0,76$$

- Za kategoriju namjene prostora S (stubišta i podesti) prema [3]:

$$\alpha_n = 1,0$$

Redukcija uporabnog opterećenja – krovšte:

$$0,60 \times \psi_{0,Q}^H = 0,6 \times 0,0 = 0 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – uredske prostorije:

$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^B = 3 \times 0,76 \times 0,70 = 1,60 \text{ kN/m}^2$$

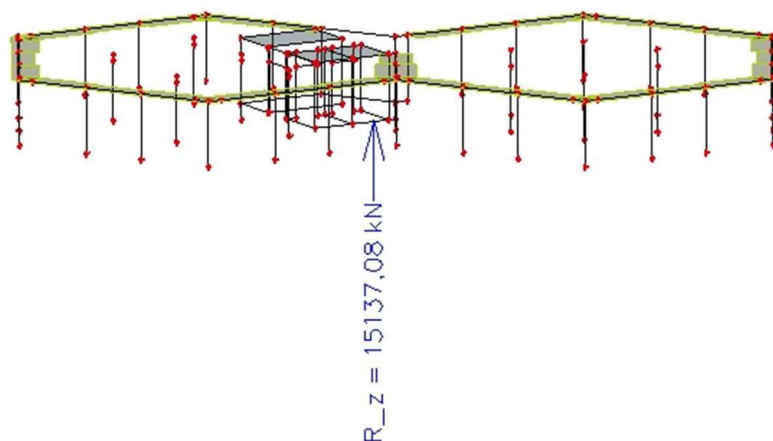
Redukcija uporabnog opterećenja – stubišta i podesti:

$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^S = 3 \times 1,0 \times 0,70 = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – snijeg:

$$1,0 \times \psi_S = 1,0 \times 0,50 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Suma vertikalnih sila na etažama je dobivena u računalnom programu SCIA Engineer [2].



Slika 24.: Prikaz rezultante reakcija u srednjem dijelu građevine (31-40)

$$V_{z,Ed}^{31-40} = 15137 \text{ kN}$$

#### Etaže 41-50

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{34}} = 0,343 < \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_h = 0,667$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{25}\right)} = 0,721$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} \times 0,667 \times 0,721 = 0,00240$$

- Za kategoriju namjene prostora B (uredske prostorije) prema [3]:

$$\alpha_n = 0,70 + \frac{0,60}{10} = 0,76$$

- Za kategoriju namjene prostora S (stubišta i podesti) prema [3]:

$$\alpha_n = 1,0$$

Redukcija uporabnog opterećenja – krovšte:

$$0,60 \times \psi_{0,Q}^H = 0,6 \times 0,0 = 0 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – uredske prostorije:

$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^B = 3 \times 0,76 \times 0,70 = 1,60 \text{ kN/m}^2$$

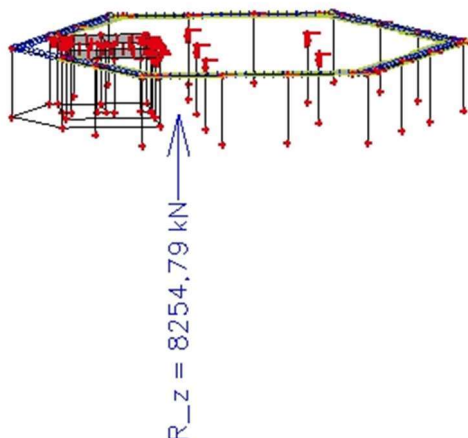
Redukcija uporabnog opterećenja – stubišta i podesti:

$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^S = 3 \times 1,0 \times 0,70 = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

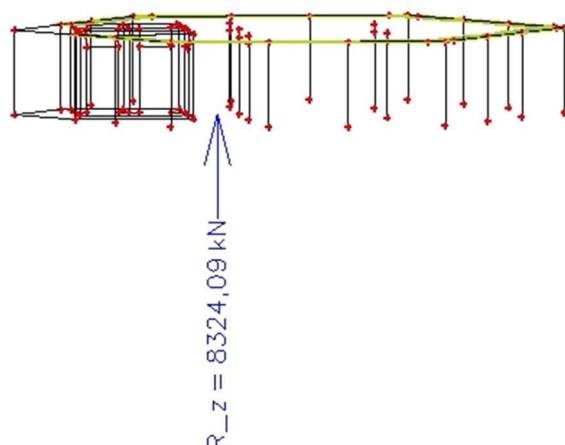
Redukcija uporabnog opterećenja – snijeg:

$$1,0 \times \psi_S = 1,0 \times 0,50 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

Suma vertikalnih sila na etažama je dobivena u računalnom programu SCIA Engineer [2].



Slika 25.: Prikaz rezultante reakcija u gornjem dijelu građevine (41-50)



Slika 26.: Prikaz rezultante reakcija na krovu građevine (50)

$$V_{z,Ed}^{41-5} = 8255 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}^{\text{krov}} = 8324 \text{ kN}$$

Proračun horizontalnih sila uslijed imperfekcije:

$$\Delta H_{1-30} = V_{z,Ed}^{1-30} \times \theta_i = 21737 \times 0,00238 = 51,7 \text{ kN}$$

$$\Delta H_{31-40} = V_{z,Ed}^{31-40} \times \theta_i = 15137 \times 0,00238 = 36,0 \text{ kN}$$

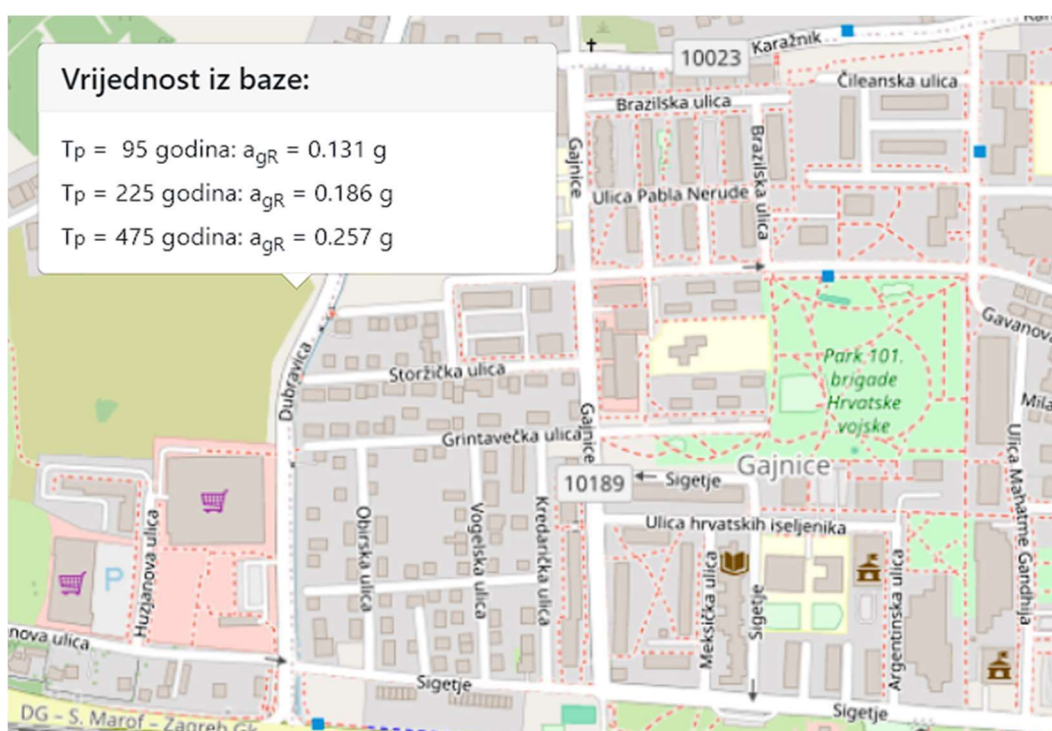
$$\Delta H_{41-50} = V_{z,Ed}^{41-50} \times \theta_i = 8255 \times 0,00240 = 19,8 \text{ kN}$$

$$\Delta H_{krov} = V_{z,Ed}^{krov} \times \theta_i = 8324 \times 0,00240 = 19,9 \text{ kN}$$

### 3.5.1.6. Seizmičko opterećenje

#### *Spektar odziva*

Za iskaz seizmičkog opterećenja na konstrukciju potrebno je odrediti horizontalno vršno ubrzanje tla, koje se usvaja iz seizmičke karte RH. Seizmička karta se nalazi na web stranici [11].



Slika 27.: Vrijednost horizontalnog vršnog ubrzanja tla za lokaciju građevine (Zagreb)

Za povratni period od 475 god.: vršno ubrzanje tla  $a_{gR} = 0,257 \text{ g}$ ; povratni period od 95 godina  $a_{gR} = 0,131 \text{ g}$ .

Detaljno određivanje kategorije tla bez geotehničkih ispitivanja nije moguće pa je za potrebe rada pretpostavljena kategorija temeljnog tla B (naslage vrlo zbijenog pijeska, šljunka ili tvrde gline, najmanje dubine nekoliko desetaka metara s postupnim povećanjem mehaničkih karakteristika tih materijala s dubinom, iz norme [12]).

Prema normi [13], u Republici Hrvatskoj se koristi elastični spektar odziva tipa I za odgovarajuća temeljna tla. Vrijednosti parametara kojim je određen elastični spektar odziva se uzimaju iz norme [12].

**Tablica 9.:** Vrijednosti parametara koje opisuju elastični spektar odziva tipa 1 (Izvor: [12])

| Tip temeljnog tla | $S$  | $T_B$ (s) | $T_C$ (s) | $T_D$ (s) |
|-------------------|------|-----------|-----------|-----------|
| A                 | 1,0  | 0,15      | 0,4       | 2,0       |
| B                 | 1,2  | 0,15      | 0,5       | 2,0       |
| C                 | 1,15 | 0,20      | 0,6       | 2,0       |
| D                 | 1,35 | 0,20      | 0,8       | 2,0       |
| E                 | 1,4  | 0,15      | 0,5       | 2,0       |

Prema normi [12] elastični spektar odziva  $S_e(T)$  definiran je za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja sljedećim:

**Tablica 10.:** Horizontalne komponente elastičnog spektra odziva (Izvor: [12])

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| $0 \leq T \leq T_B$           | $S_e(T) = a_g \times S \times \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \times (\eta \times 2,5 - 1) \right]$    |
| $T_B \leq T \leq T_C$         | $S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5$  |
| $T_C \leq T \leq T_D$         | $S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times \left[ \frac{T_C}{T} \right]$              |
| $T_D \leq T \leq 4 \text{ s}$ | $S_e(T) = a_g \times S \times \eta \times 2,5 \times \left[ \frac{T_C \times T_D}{T^2} \right]$ |

Prema normi [12] proračunski spektar odziva  $S_d(T)$  definiran je za horizontalnu komponentu potresnog djelovanja sljedećim:

Tablica 11.: Horizontalne komponente proračunskog spektra odziva (Izvor: [12])

|                               |  |
|-------------------------------|--|
| $0 \leq T \leq T_B$           | $S_d(T) = a_g \times S \times \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \times \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$  |
| $T_B \leq T \leq T_C$         | $S_d(T) = a_g \times S \times \frac{2,5}{q}$   |
| $T_C \leq T \leq T_D$         | $S_d(T) = \left\{ \begin{array}{l} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{array} \right\}$              |
| $T_D \leq T \leq 4 \text{ s}$ | $S_d(T) = \left\{ \begin{array}{l} a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \left[ \frac{T_C \times T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \times a_g \end{array} \right\}$ |

gdje su iz [12]:

- T period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode
- $T_B$  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
- $a_g$  proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu
- S faktor tla
- $\eta$  faktor korekcije prigušenja uz poredbenu vrijednost  $\eta = 1,0$  za 5%-tno viskozno prigušenje
- q faktor ponašanja
- $\beta$  donja vrijednost faktora horizontalnog spektra odziva, prema [13] preporučeno:  $\beta = 0,20$ .

### **Faktor ponašanja**

Faktor ponašanja je vrijednost kojom reduciramo elastični spektar odziva i njime se u obzir uzima duktilno ponašanje građevine tj. njime se reduciraju potresne sile iskorištavanjem duktilnih svojstava same konstrukcije (sposobnost trošenja energije u konstrukciji kontroliranim oštećenjem) [14]. Primjenom faktora ponašanja za analizu se može koristiti linearna analiza, dok se nelinearno ponašanje konstrukcije uzima u obzir preko faktora ponašanja.

Faktor ponašanja ovisi o geometriji, pravilnosti, materijalu, itd. [6], a računa se prema izrazu iz norme [12]:

$$q = q_0 \times k_w \geq 1,5$$

gdje je prema [12]:

- $q_0$  osnovna vrijednost faktora ponašanja, koja ovisi o tipu konstrukcije i pravilnosti po visini
- $k_w$  faktor kojim se odražava prevladavajući oblik sloma konstrukcijskog sustava sa zidovima

Osnovna vrijednost faktora ponašanja „ $q_0$ ” i faktor prevladavajućeg oblika sloma „ $k_w$ ” se uzimaju iz norme [12] prema sljedećem:

**Tablica 12.:** Osnovne vrijednosti faktora ponašanja  $q_0$  za sustave pravilne po visini (Izvor: [12])

| Tip konstrukcije                                       | DCM                     | DCH                     |
|--|-------------------------|-------------------------|
| Okvirni sustav, dvojni sustav, sustav povezanih zidova | 3,0 $\alpha_u/\alpha_1$ | 4,5 $\alpha_u/\alpha_1$ |
| Sustav nepovezanih zidova                              | 3,0                     | 4,0 $\alpha_u/\alpha_1$ |
| Torzijski savitljiv sustav                             | 2,0                     | 3,0                     |
| Sustav obrnutog njihala                                | 1,5                     | 2,0                     |

dok je faktor prevladavajućeg oblika sloma jednak, [12]:

$$k_w = \begin{cases} 1,00 \rightarrow \text{okvirni sustavi i dvojni sustavi istovijetni okvirnim} \\ 0,50 \leq \frac{(1 + \alpha_0)}{3} \leq 1,00 \rightarrow \text{zidni sustavi, sustavi istovrijedni zidnim i} \\ \text{torzijski savitljivi sustavi.} \end{cases}$$

Iz tablice 12. paramteri su:

- $\alpha_u$  Vrijednost kojom se horizontalno potresno proračunsko djelovanje množi kako bi u određenom broju presjeka nastali plastični zglobovi (dovoljni za razvoj ukupne nestabilnosti konstrukcije), pri čemu sva druga proračunska djelovanja ostaju stalna.
- $\alpha_1$  Vrijednost kojom se horizontalno potresno proračunsko djelovanje množi da se prvo postigne otpornost na savijanje u svakom elementu, dok sva druga proračunska djelovanja ostaju konstantna

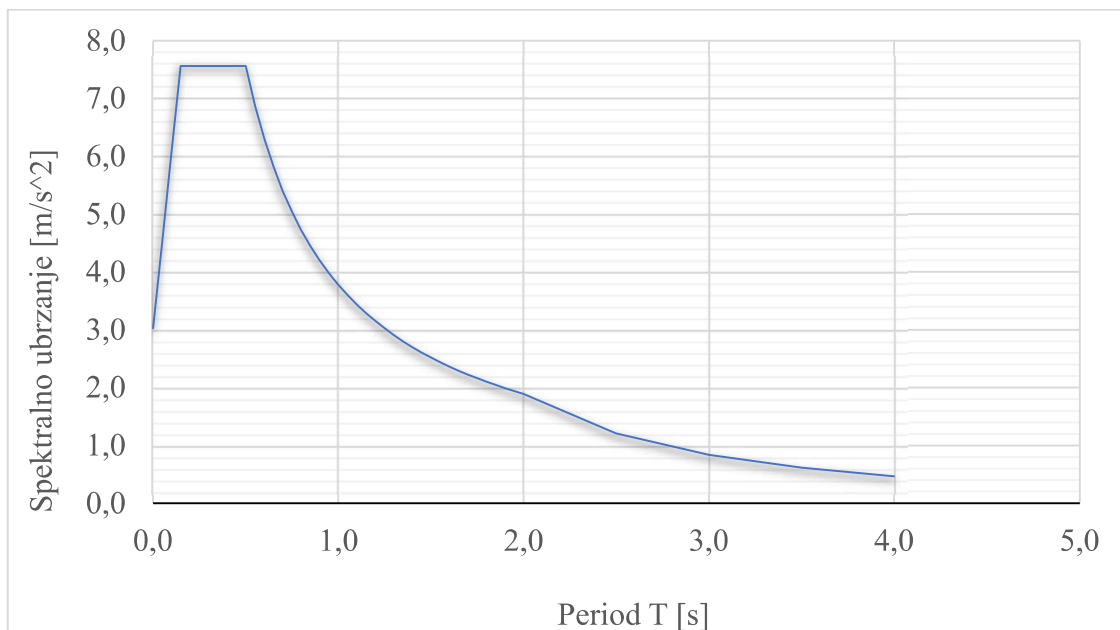
Prema normi [12], za okvirne sustave ili dvojne sustave istovrijedni okvirnim vrijednost  $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,30$ . Iz toga slijedi osnovna vrijednost faktora ponašanja za razred duktilnosti DCM:

$$q = 3,0 \times 1,3 = 3,9$$

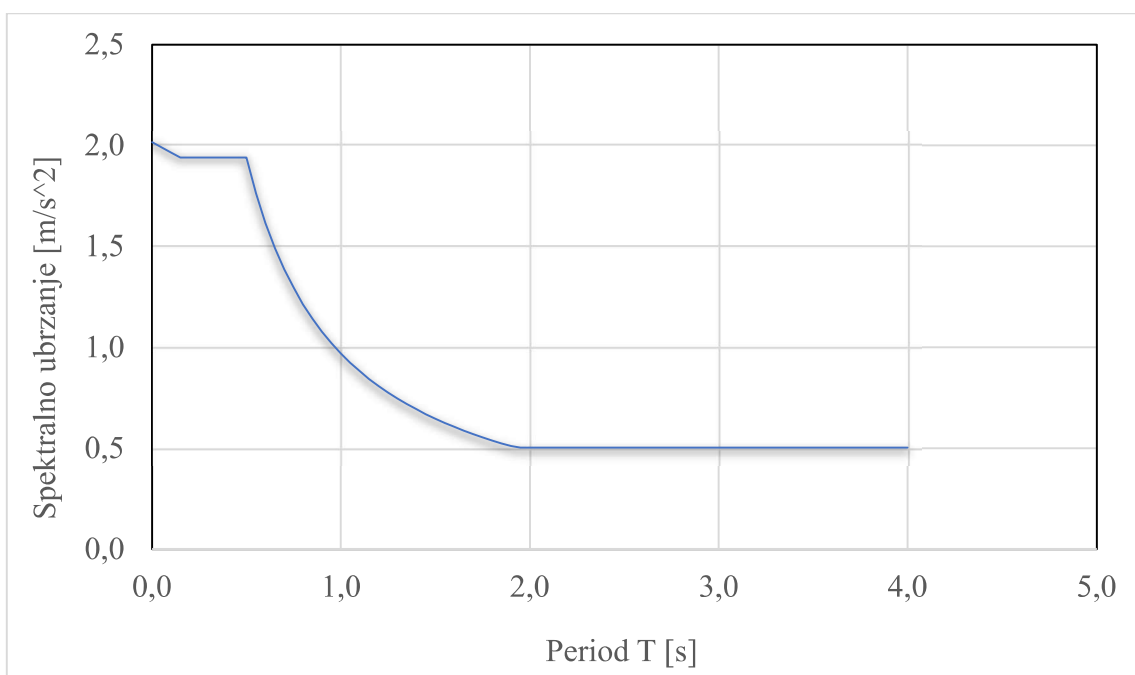
Faktor prevladavajućeg oblika sloma:  $k_w = 1,0$ :

Faktor ponašanja:

$$q = q_0 \cdot k_w = 3,90 \cdot 1,0 = 3,90$$

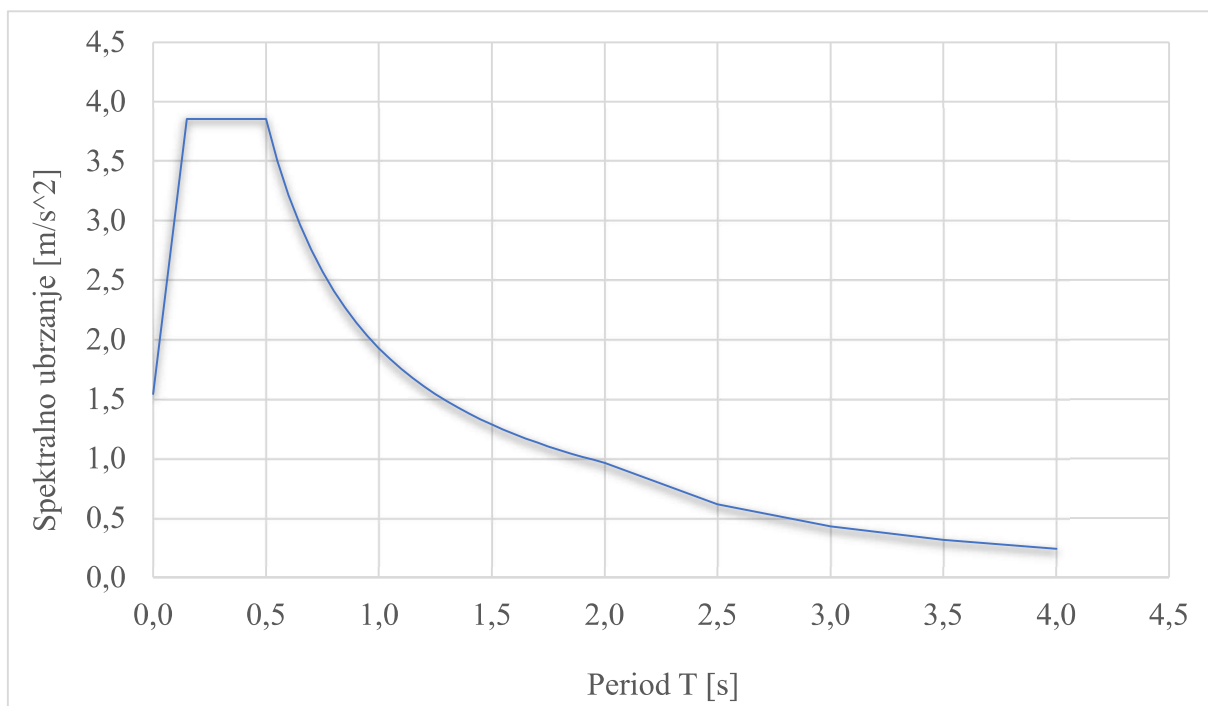


Slika 28.: Elastični spektar odziva (povratni period 475 godina)

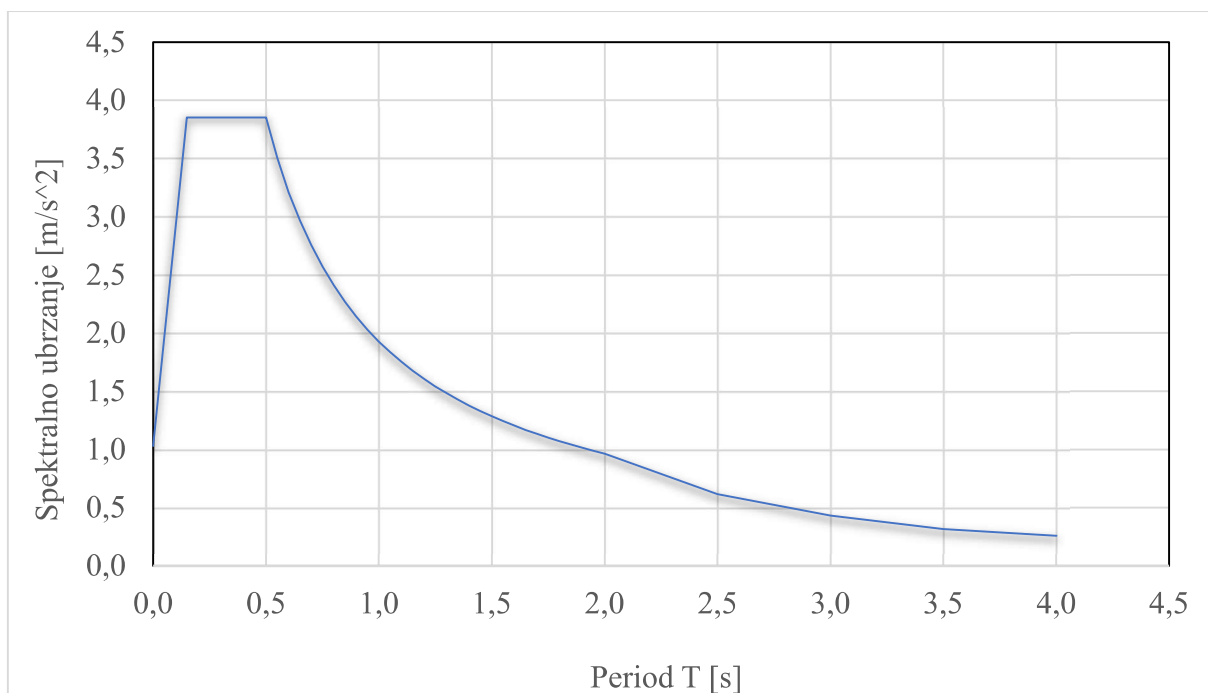


Slika 29.: Proračunski spektar odziva (povratni period 475 godina)





Slika 30.: Elastični spektar odziva (povratni period 95 godina)



Slika 31.: Proračunski spektar odziva (povratni period 95 godina)

## 3.5.1.7. Slučajni torzijski učinci

Prema normi [12] u obzir je potrebno uzeti i nesigurnost položaja masa i primjene seizmičkog djelovanja u prostoru, tj. ekscentricitet, koji za svaki smjer iznosi 5%.

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

gdje je:

$e_{ai}$  slučajna ekscentričnost mase od početnog položaja mase svake etaže

Ekscentričnost je obuhvaćena u programu SCIA Engineer [2], gdje se uz seizmičke slučajeve opterećenja formiraju i dodatni slučajevi koji uzimaju u obzir 5% ekscentričnosti za svaki smjer.

## 3.5.1.8. Kombinacije djelovanja za GSN i GSU

Za potrebe dimenzioniranja koriste se proračunske vrijednosti učinaka djelovanja. Oni se određuju kombiniranjem istovremenih djelovanja, a proračunavaju se za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti, definiranim u normi [10]. Parcijalni koeficijenti sigurnosti, definirani u [10], su idući:

- za stalne ili prolazne proračunske situacije, GSN:  $\gamma_G = 1,35$  (stalno) i  $\gamma_Q = 1,5$  (promjenjivo)
- GSU:  $\gamma_G = 1,0$  (stalno) i  $\gamma_Q = 1,0$  (promjenjivo)

Koeficijenti kombinacije su mjerodavni prema sljedećoj tablici [10]:

Tablica 13. Preporučene vrijednosti koeficijenta  $\psi$  za zgrade (Izvor: [10])

| Djelovanje  | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|---|----------|----------|----------|
| 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 $\leq 30$ kN   | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija G: prometna područja, 30 kN $\leq$ težina vozila $\leq 160$ 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 $\psi$ mogu se odrediti u nacionalnom dodatku.<br>* Za države koje nisu navedene, vidjeti odgovarajuće mjesne uvjete. |          |          |          |

Kombinacije djelovanja za GSN su iduće, [10]:

Kombinacija za stalne ili prolazne proračunske situacije:

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

Kombinacija za potresne proračunske situacije:

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

Kombinacije djelovanja za GSU su iduće, [10]:

Karakteristična kombinacija:

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

Česta kombinacija:

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

Nazovistalna kombinacija:

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

gdje je:

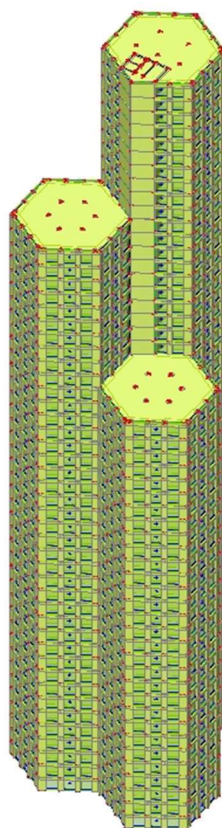
- $\gamma_{G,j}$  parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno djelovanje „j“
- $\gamma_P$  parcijalni koeficijent sigurnosti za djelovanja prednapinjanja
- $\gamma_{Q,1}$  parcijalni koeficijent sigurnosti za vodeće promjenjivo djelovanje „1“
- $\gamma_{Q,i}$  parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjivo djelovanje „i“
- $\psi_{0,i}$  faktor za kombinacijsku vrijednost promjenjivog djelovanja „i“
- $\psi_{2,i}$  faktor za nazovistalnu vrijednost promjenjivoga djelovanja „i“
- $\psi_{1,1}$  faktor za čestu nazovistalnu vrijednost vodećeg promjenjivoga djelovanja
- P odgovarajuća reprezentativna vrijednost prednapinjanja
- $Q_{k,1}$  karakteristična vrijednost vodećeg promjenjivog djelovanja „1“
- $Q_{k,i}$  karakteristična vrijednost pratećega promjenjivog djelovanja „i“
- $A_{Ed}$  proračunska vrijednost potresnog djelovanja

### 3.5.2. Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun

#### 3.5.2.1. Računalni model konstrukcije

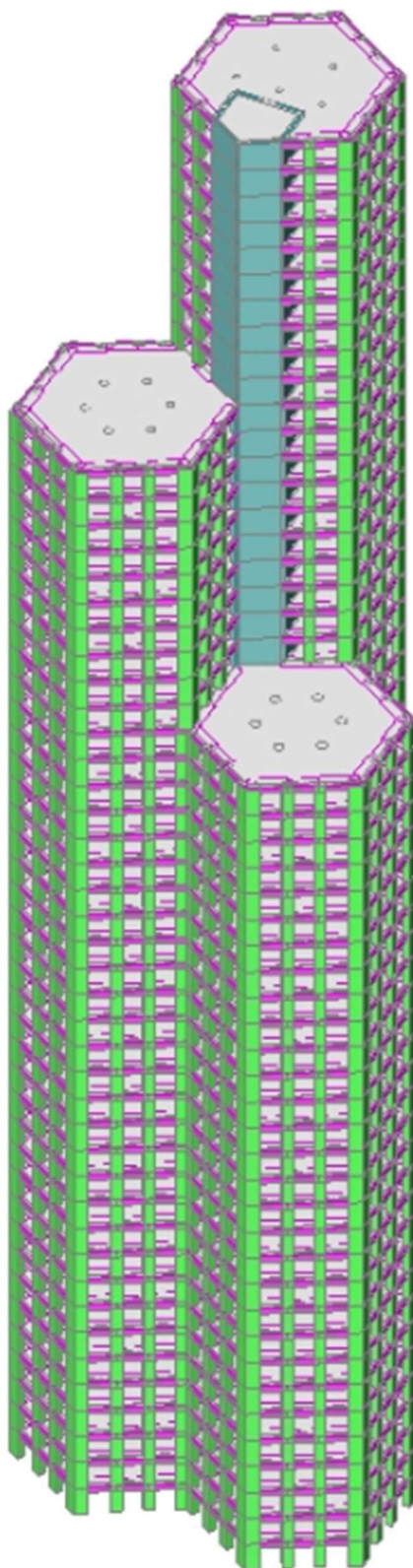
Računalni model je napravljen u programu Scia Engineer [2]. Računalni model je visoka zgrada koja se sastoji od tri povezane cijevi heksagonalnih presjeka. Prva (najniža) cijev ima 30 karakterističnih etaža, koje se oslanjaju na grede po ovojnici zgrade (oslanjene na vanjske stupove) te na unutarnje stupove, koji su postavljeni na razmaku  $\approx 5,5$  m od ovojnice cijevi. Druga cijev se sastoji od 40 karakterističnih etaža, oslonjene kao i etaže prve cijevi. Treća (najviša) cijev ima 50 karakterističnih etaža, oslonjene na grede (vanjski stupovi) i unutarnje stupove te na zidove jezgre, koja se nalazi unutar cijevi. Unutar jezgre se nalaze stepeništa i dizala.

Elementi stupova i zidovi jezgre su modelirani s klasom betona C55/67, a za ploče i grede je uzet beton klase C40/50. Moduli elastičnosti betona su smanjeni na 50% početne vrijednosti jer se na taj način obuhvaća mogući gubitak krutosti radi raspucavanja betona.

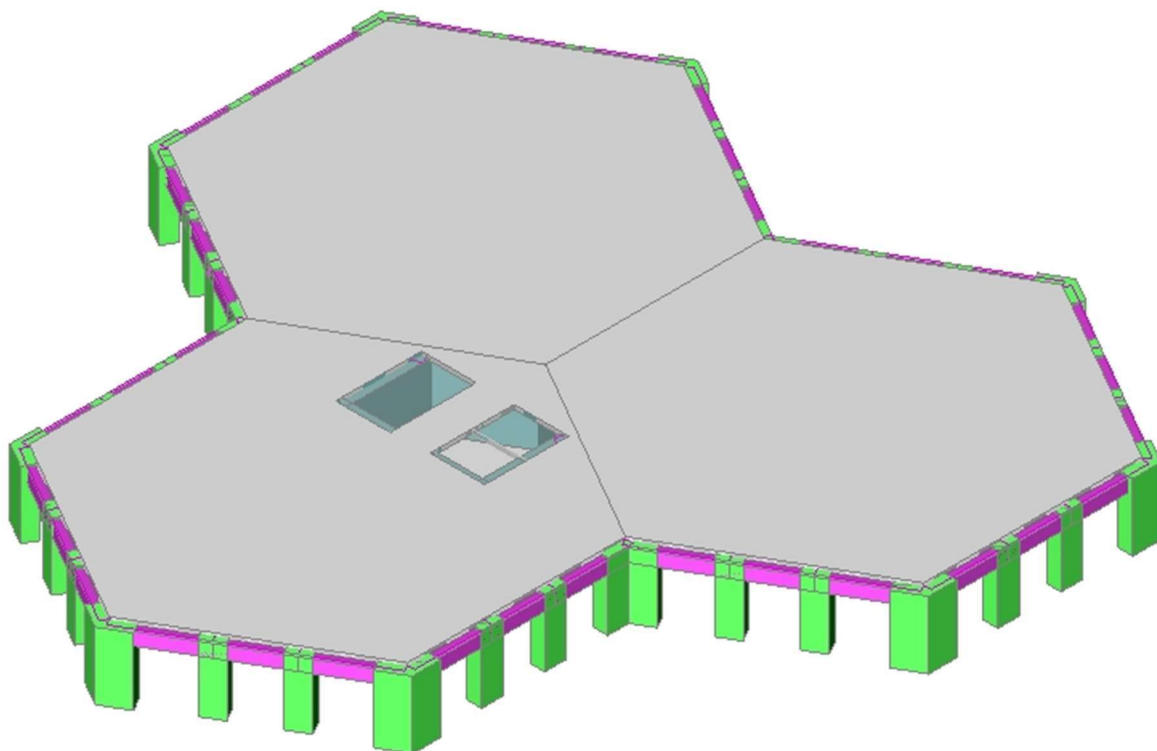


Slika 32.: Računalni model konstrukcije u programu Scia Engineer

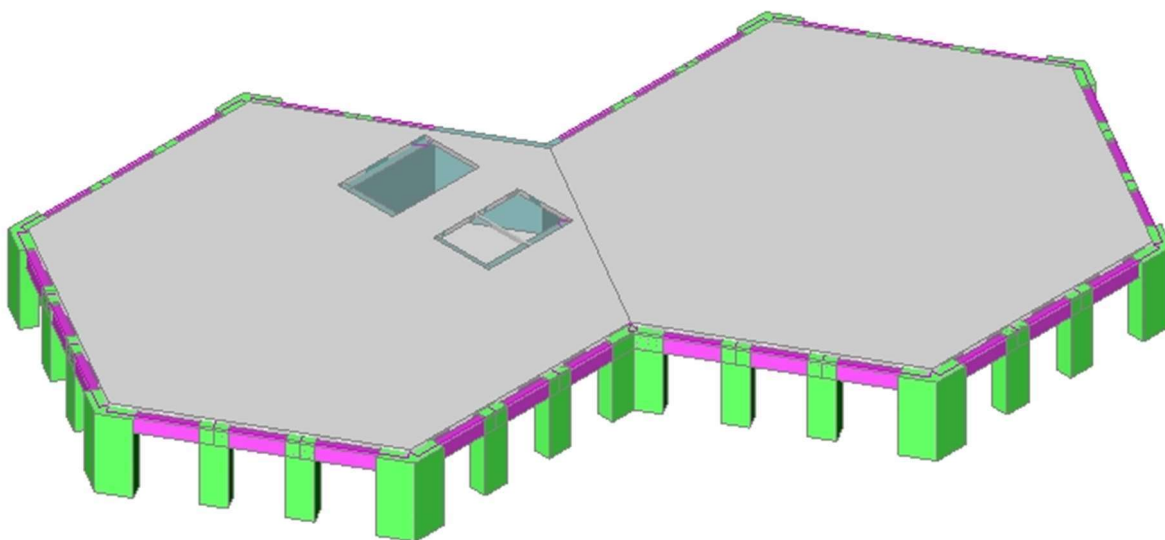
### 3.5.2.2. Elementi računalnog modela konstrukcije



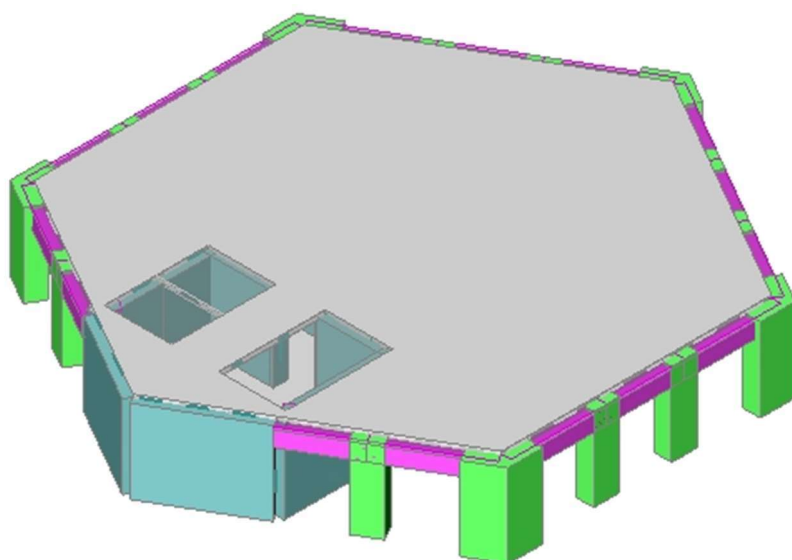
**Slika 33.:** 3D prikaz cijele konstrukcije



Slika 34.: Prikaz karakteristične etaže za donji dio građevine (etaže 1-30)



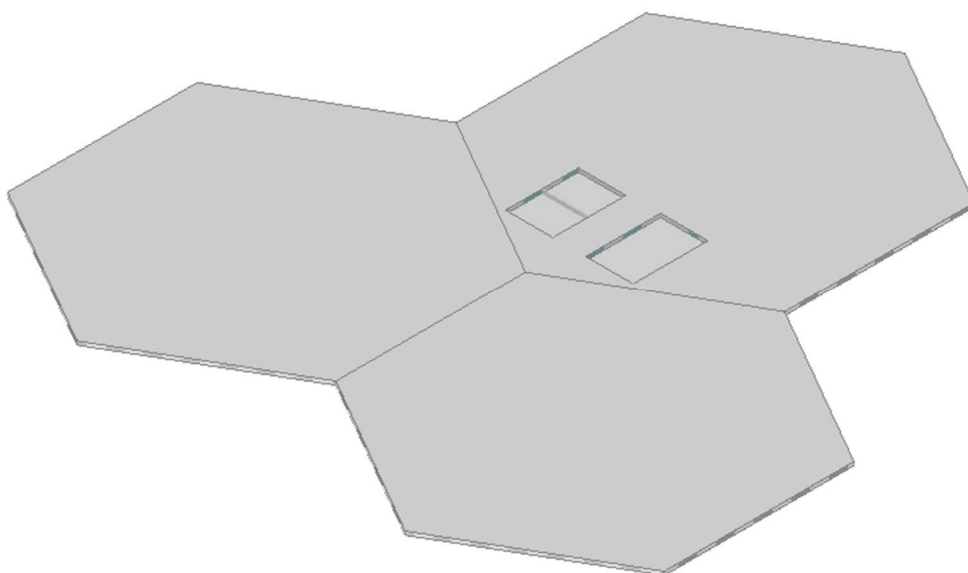
Slika 35.: Prikaz karakteristične etaže za srednji dio građevine (etaže 31-40)



**Slika 36.:** Prikaz karakteristične etaže za srednji dio građevine (etaže 41-50)

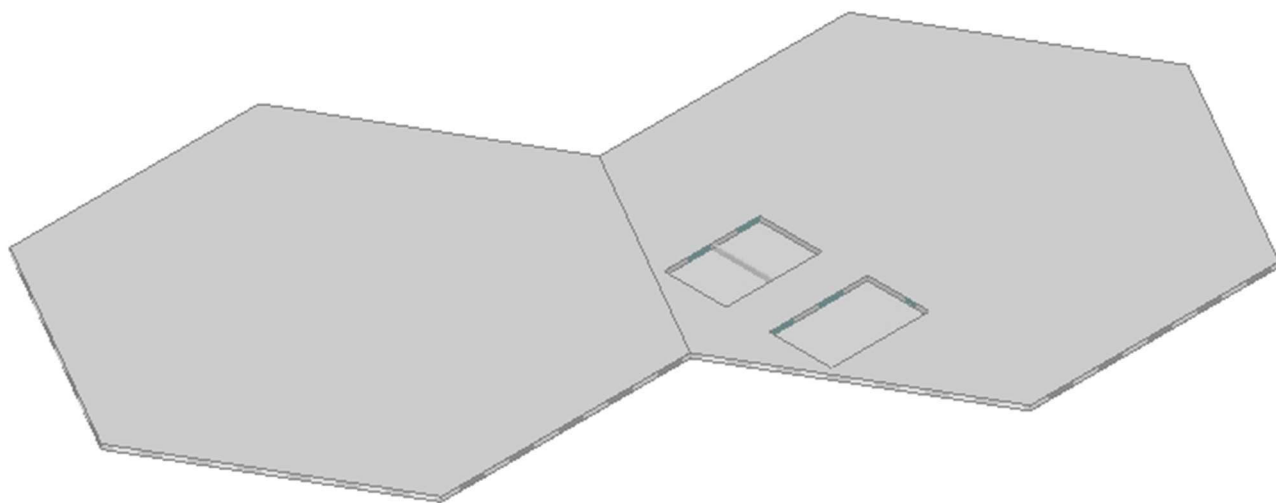
### *Ploča*

Ploča je heksagonalnog oblika konstantne debljine po visini od 20 cm. Oslonjena je linijski na grede po ovojnicama zgrade i između dvije cijevi te točkasto na mjestima unutarnjih stupova. U najvišoj cijevi ploča je također oslonjena linijski na zidove jezgre. Ploče su definirane naredbom „Plate“ te na mjestima dizala i stepeništa ima otvore.

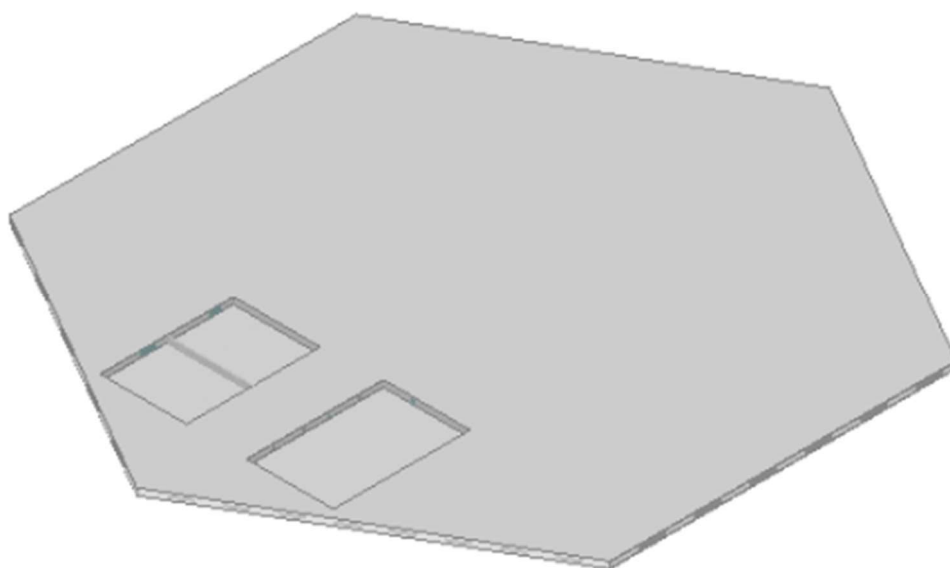


**Slika 37.:** Prikaz ploče donjeg dijela građevine (ploče etaža 1-30)





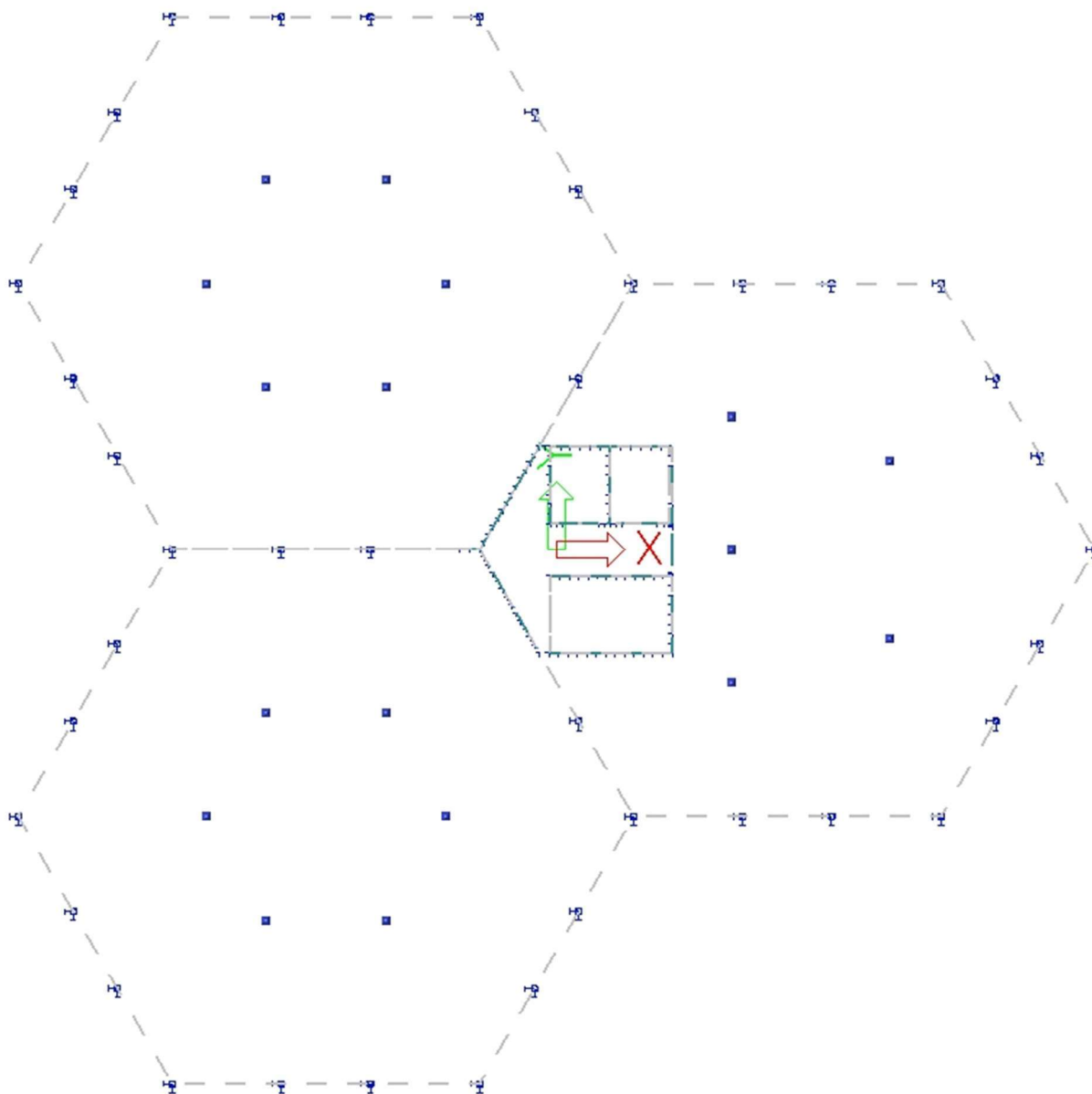
**Slika 38.:** Prikaz ploče srednjeg dijela građevine (ploče etaža 31-40)



**Slika 39.:** Prikaz ploče gornjeg dijela građevine (ploče etaža 41-50)

### Ležajevi

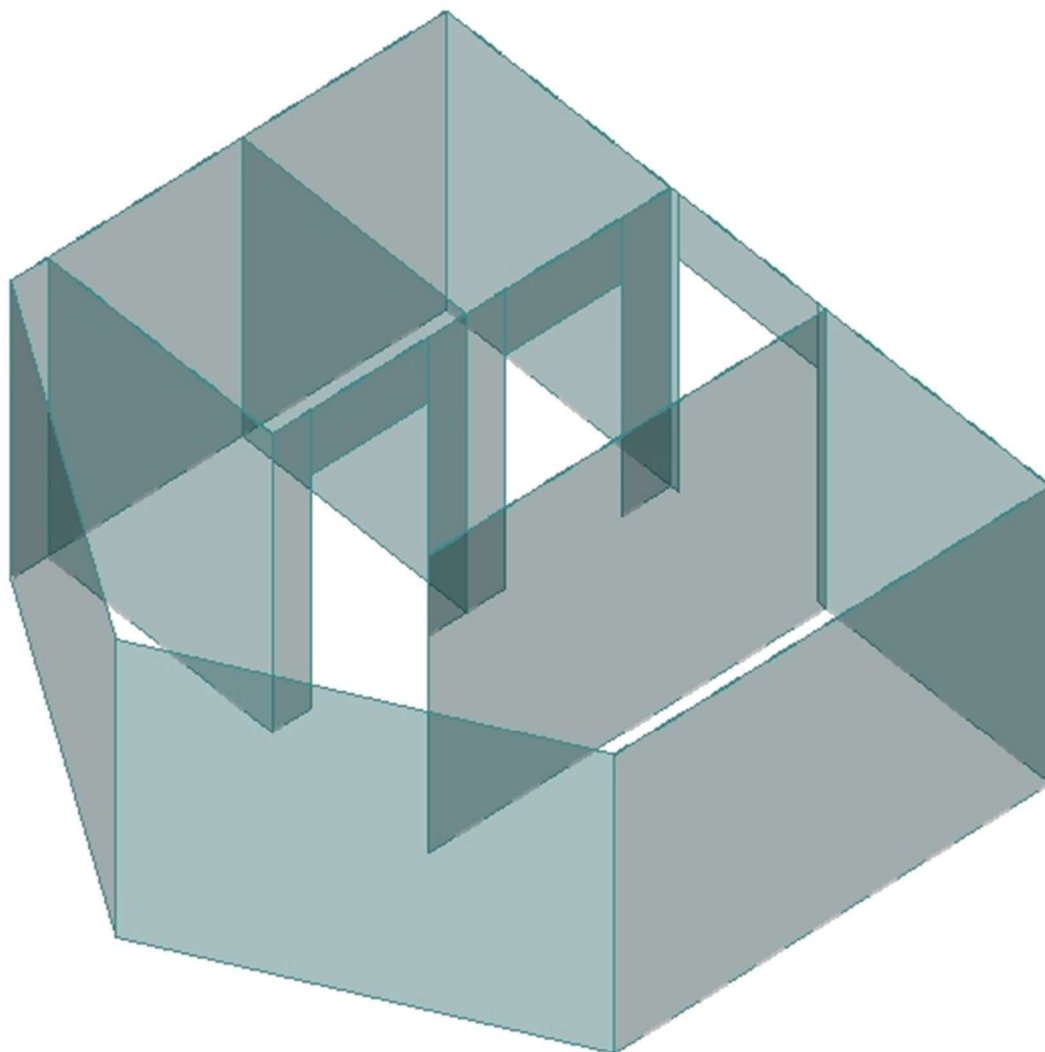
Na mjestima vanjskih stupova zadani su točkasti ležajevi naredbom „Support (Fixed)“, a na mjestima zidova linijski ležajevi naredbom „Line on 2D member edge (Fixed)“. Na donjoj razini prizemlja svi ležajevi su upeti, osim na mjestima unutarnjih stupova gdje su zglobovi (unutarnji stupovi prenose samo uzdužnu silu).



Slika 40.: Prikaz linijskih i točkastih ležajeva na razini temelja građevine

### *Jezgra*

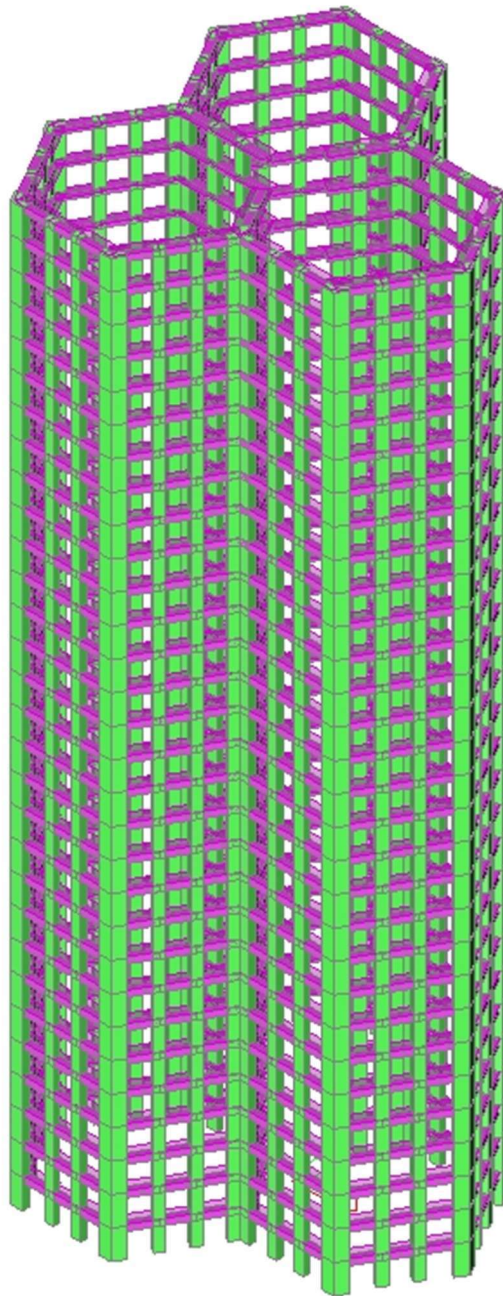
Jezgra je locirana u trećoj (najvišoj) cijevi zgrade i tlocrtno je nepravilnog oblika. Modelirana je zidovima promjenjive debljine po visini (80/70/60 cm), dok su unutarnji zidovi pregradni, debljine 30 cm. Uz formirane okvire na vanjskim ovojnica cijevi, jezgra je vodeći element za preuzimanje horizontalnog opterećenja. Unutar zidova na mjestima vrata su formirani otvori naredbom „Opening on 2D“, dok su sami zidovi definirani naredbom „Wall“.



**Slika 41.:** Prikaz jezgre građevine

### *Okviri cijevi*

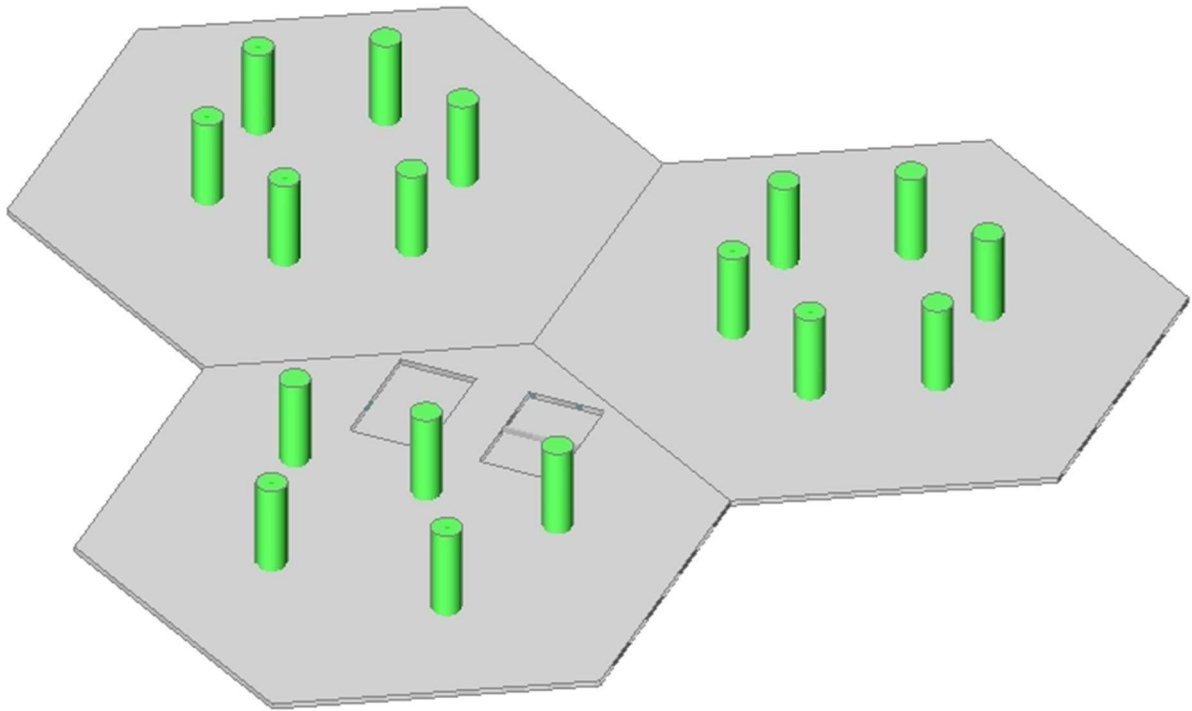
Okviri cijevi se nalaze na ovojnicama svih heksagona i formirani su od gusto postavljenih stupova povezanih gredama, te su vodeći element za preuzimanje horizontalnog djelovanja. Stupovi su konstantni po visini, različitih poprečnih presjeka (ovisno o lokaciji stupa) i zadani su naredbom „Column“. Grede su također konstantne po visini, poprečnog presjeka  $b/h=70/80$  cm, zadane naredbom „Rib“.



Slika 42.: Prikaz okvira donjeg dijela građevine (okviri etaža 1-30)

### *Unutarnji stupovi*

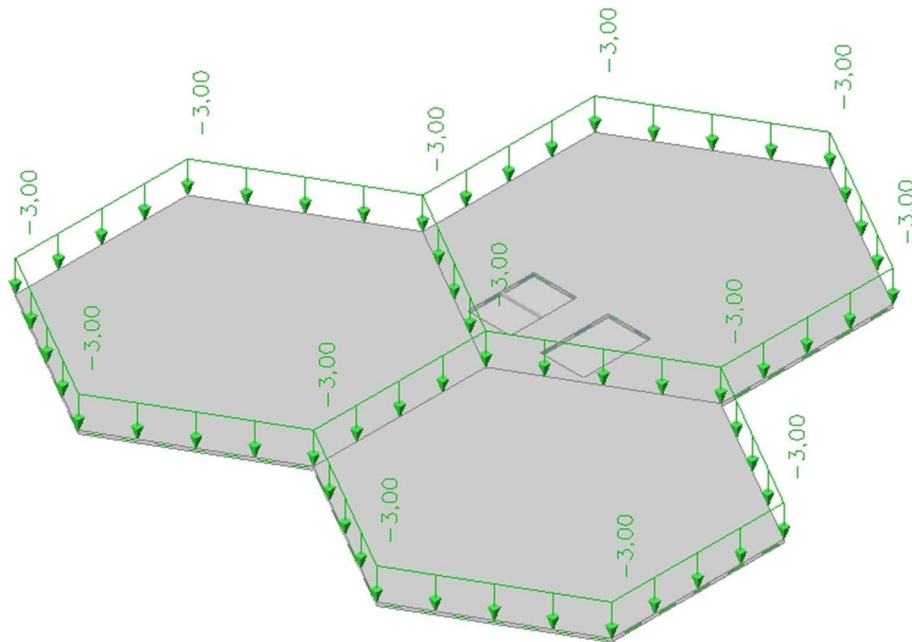
Unutarnji stupovi su modelirani kao „pendl“ stupovi, odnosno stupovi koji prenose samo uzdužnu silu. Stupovi su zadani naredbom „Column“, a poprečni presjek im se mijenja po visini (promjera 100/80/60 cm).



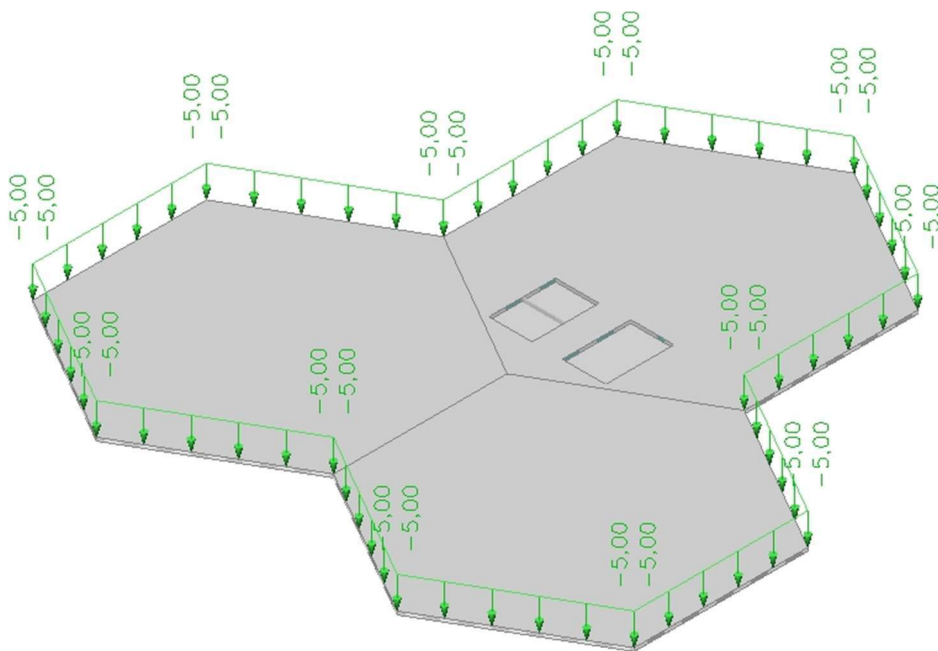
**Slika 43.:** Prikaz unutarnjih stupova građevine

### 3.5.2.3. Statički i dinamički proračun konstrukcije

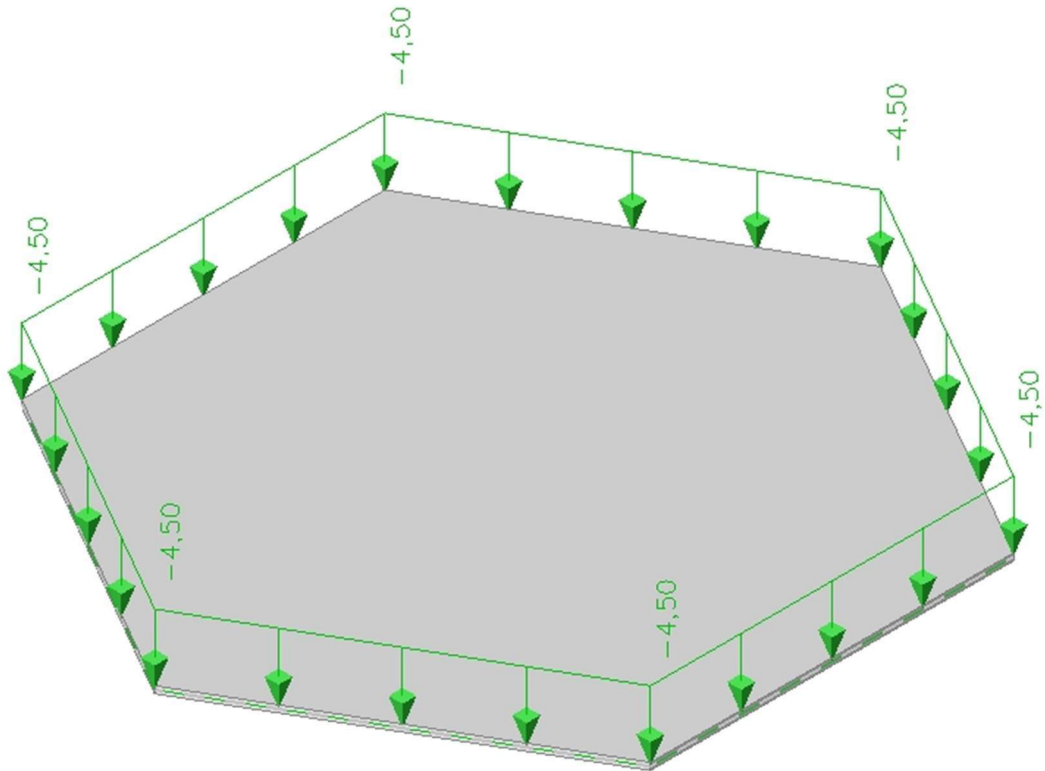
Vlastita težina generirana je u programu SCIA Engineer [2]. Osim vlastite težine, od vertikalnih djelovanja imamo dodatno stalno, uporabno i opterećenje snijegom.



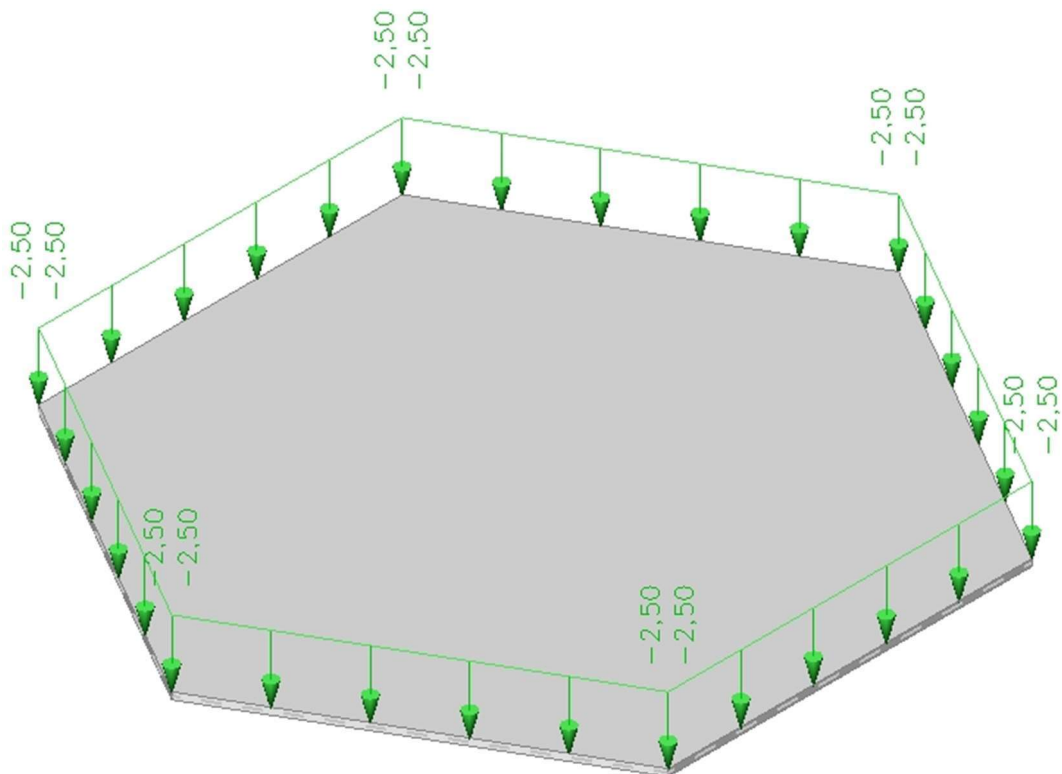
Slika 44.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja karakteristične etaže građevine



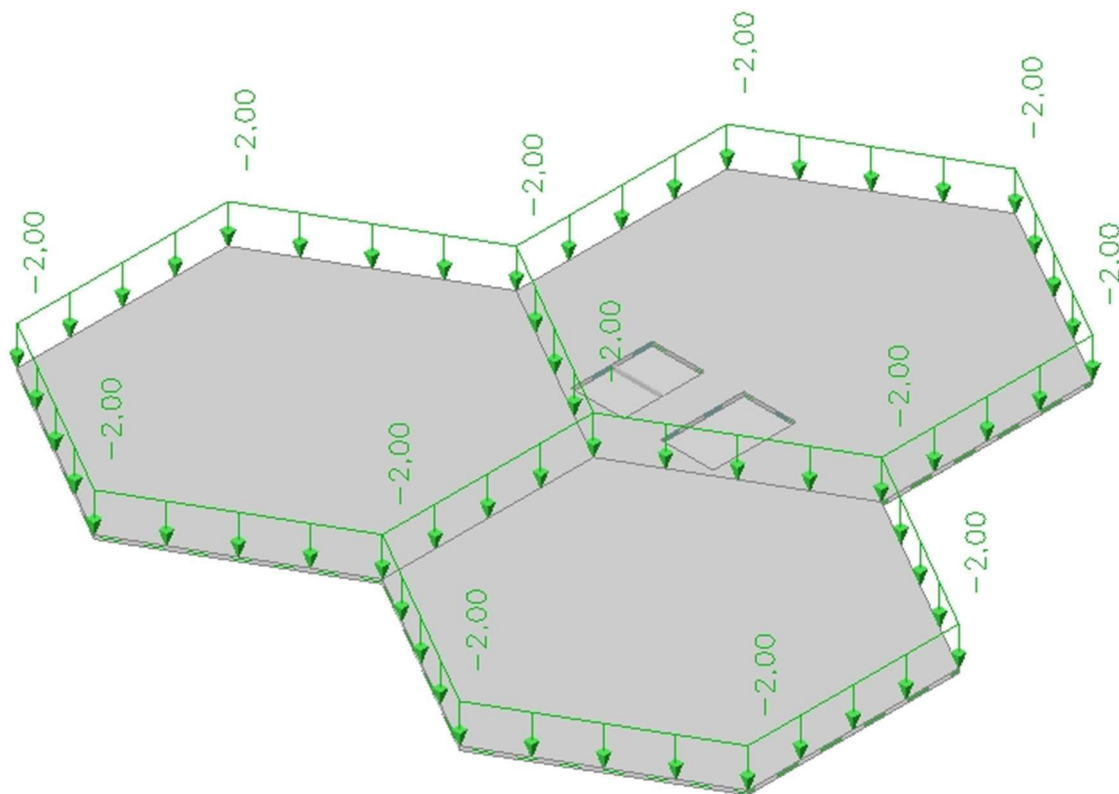
Slika 45.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade karakteristične etaže građevine



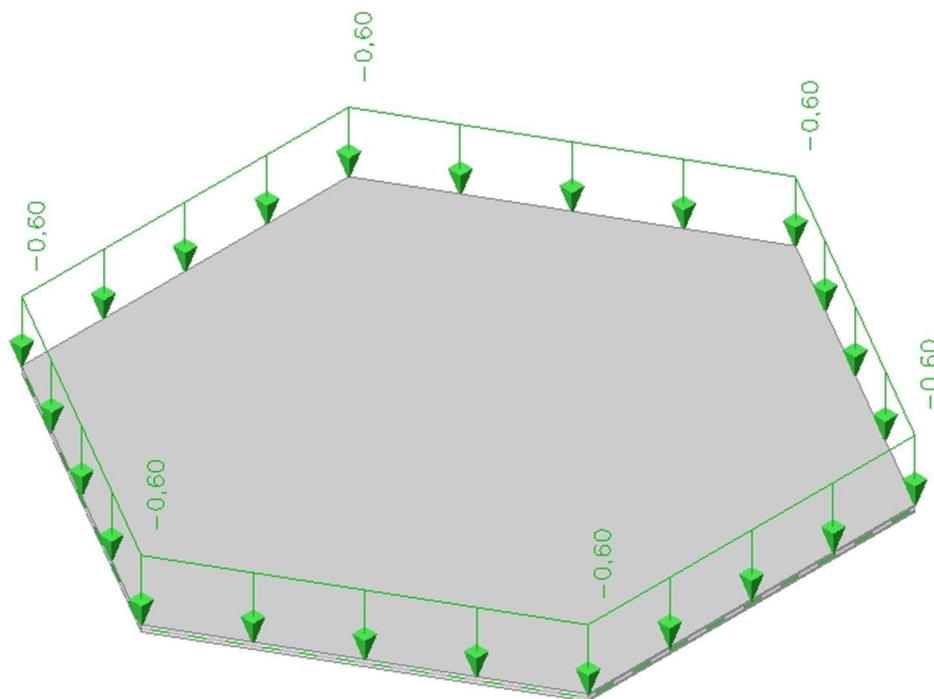
Slika 46.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja na krovu građevine



Slika 47.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade na krovu građevine

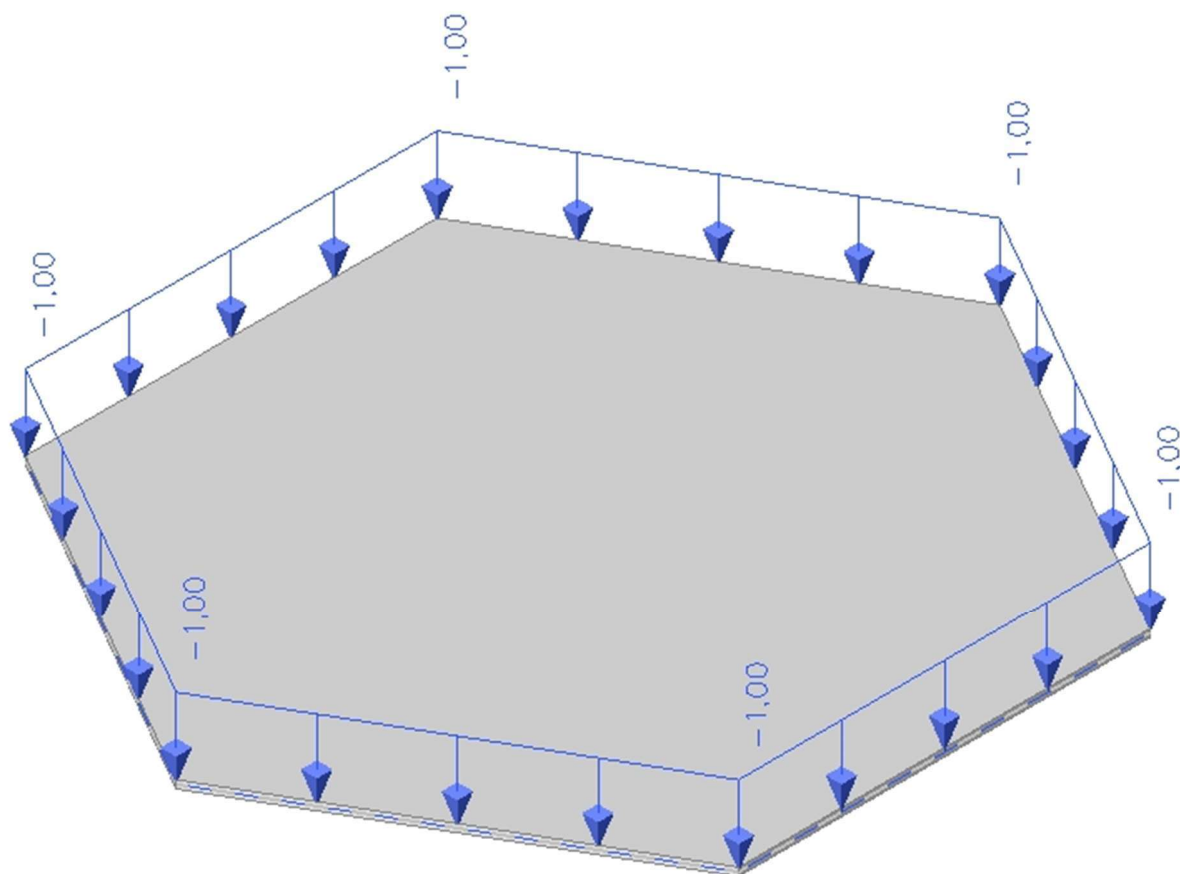


Slika 48.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže



Slika 49.: Prikaz uporabnog opterećenja na krovu građevine

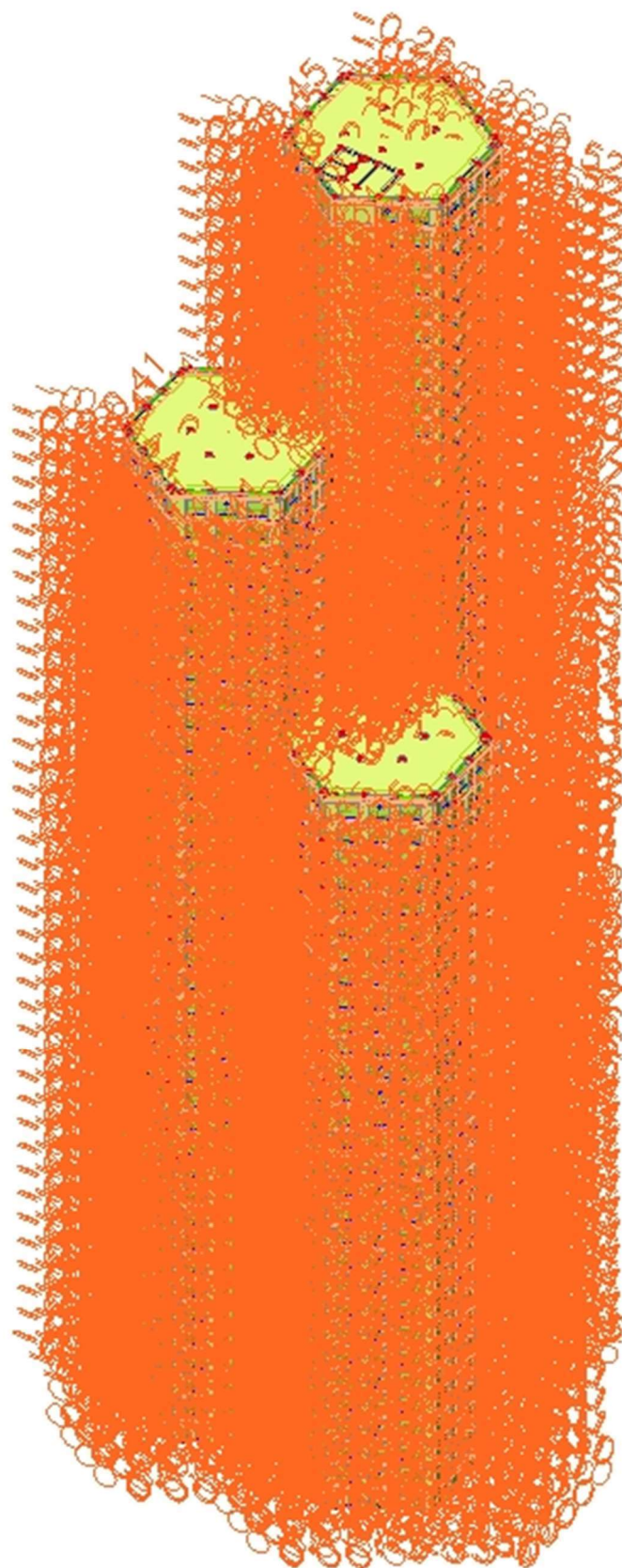




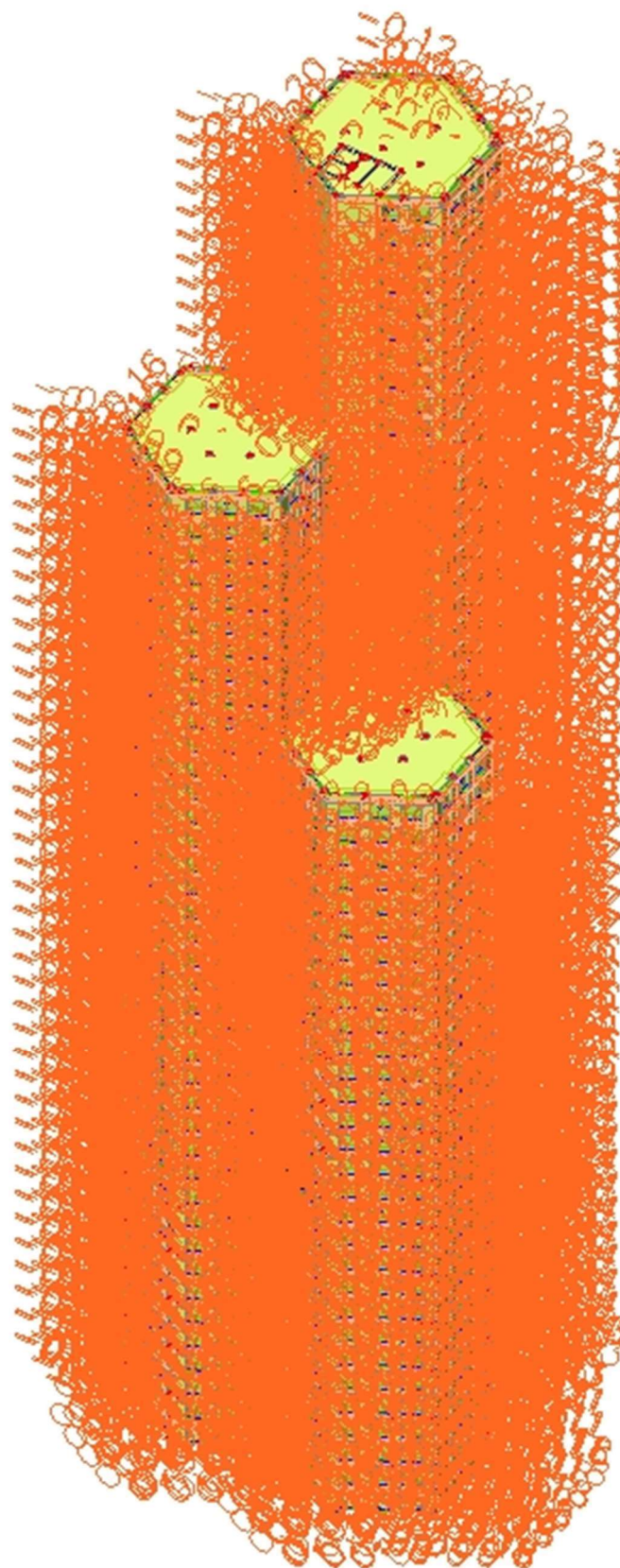
Slika 50.: Prikaz opterećenja snijega na krovu građevine

Sva opterećenja su definirana u analizi opterećenja te su zadana plošno na ploču, osim opterećenja od fasade koje je zadano linijski na rub ploče. Sva opterećenja su zadana prema analizi opterećenja u poglavlju 3.5.1.

Od horizontalnih djelovanja tu su: opterećenje vjetrom, imperfekcija i seizmičko opterećenje. Djelovanje vjetra je plošno, a način modeliranja opterećenja vjetrom je opisano u poglavlju 3.5.1.4. Vjetar je zadan pomoću 3D wind generatora koji daje četiri mjerodavne kombinacije, ovisno o koeficijentima vanjskog i unutarnjeg tlaka. Nakon proračunatog modela, opterećenja su automatski raspoređena po stupovima i gredama građevine. Imperfekcija je uzeta u obzir za dva glavna smjera (X i Y smjer) kao koncentrirana sila na razini svake etaže, kao što je opisano u poglavlju 3.5.1.5. Seizmičko djelovanje je zadano za povratna razdoblja od 475 i 95 godina u X i Y smjeru. Također su obuhvaćeni i nesigurnost položaja masa i primjena seizmičkog djelovanja u prostoru, tj. slučajni torzijski učinci od 5%.

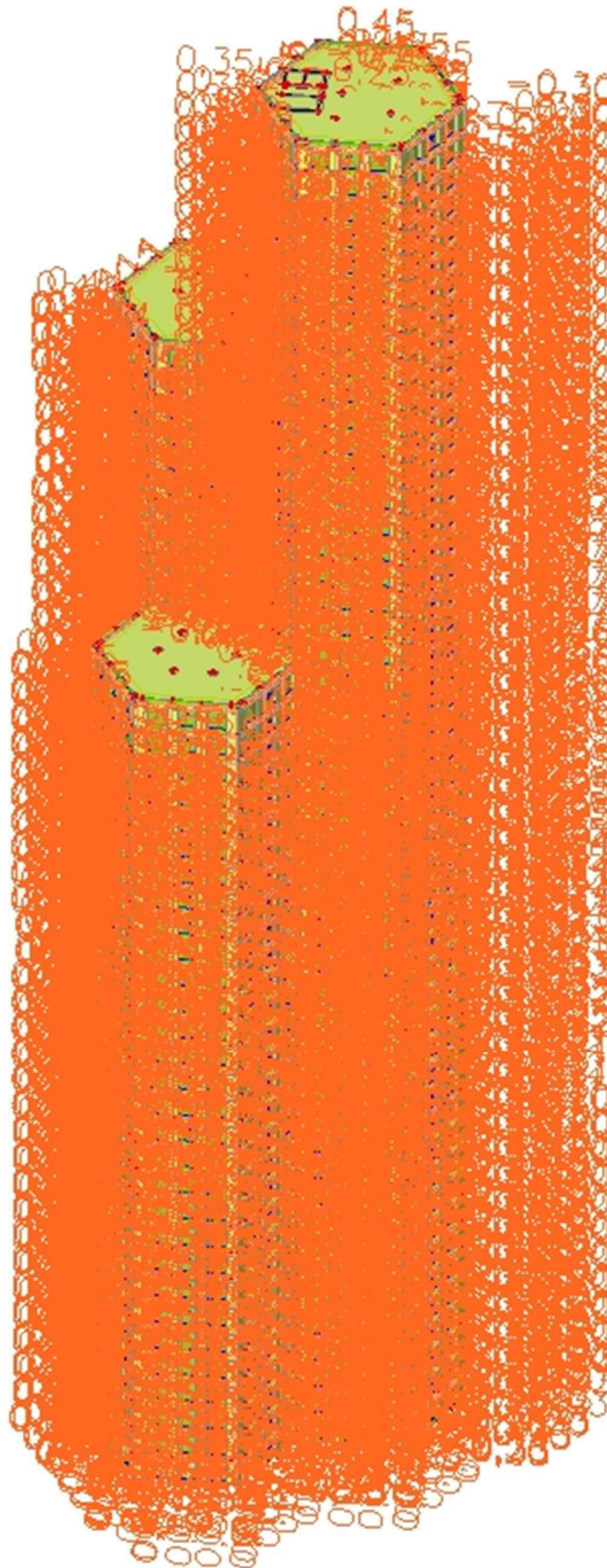


Slika 51.: Prikaz prvog slučaja opterećenja vjetrom

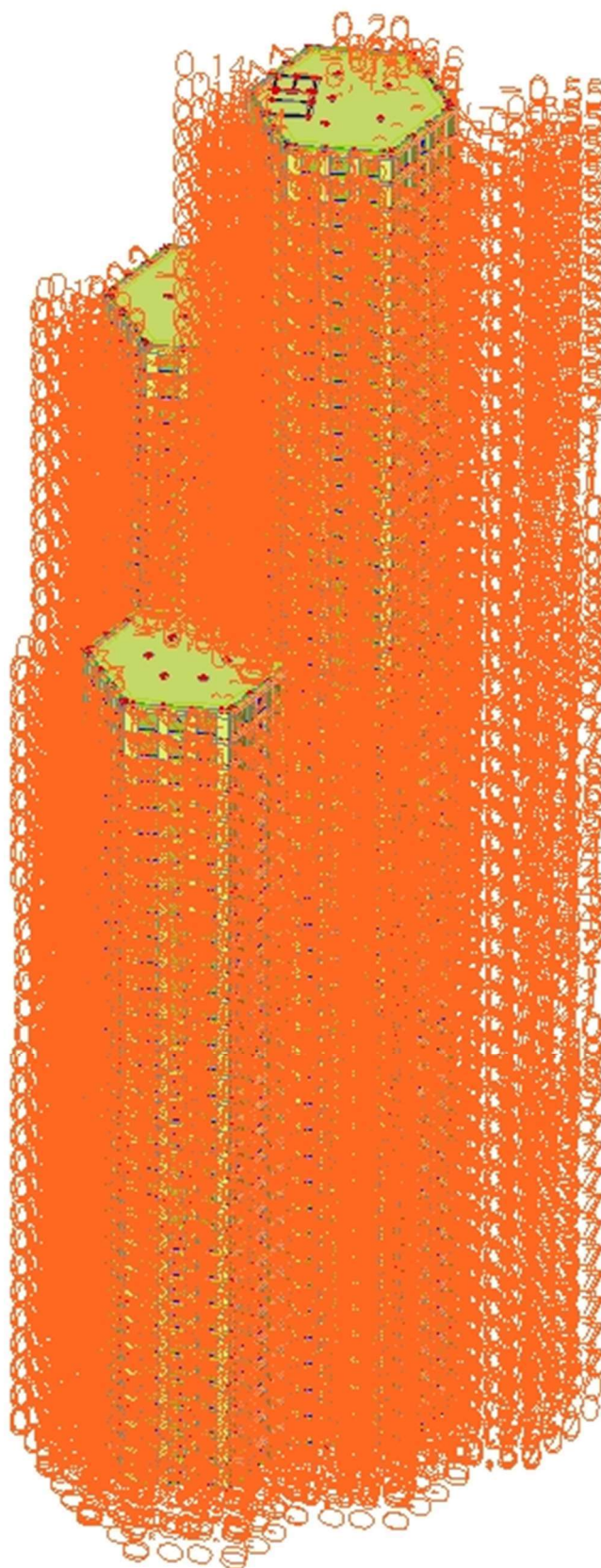


Slika 52.: Prikaz drugog slučaja opterećenja vjetrom



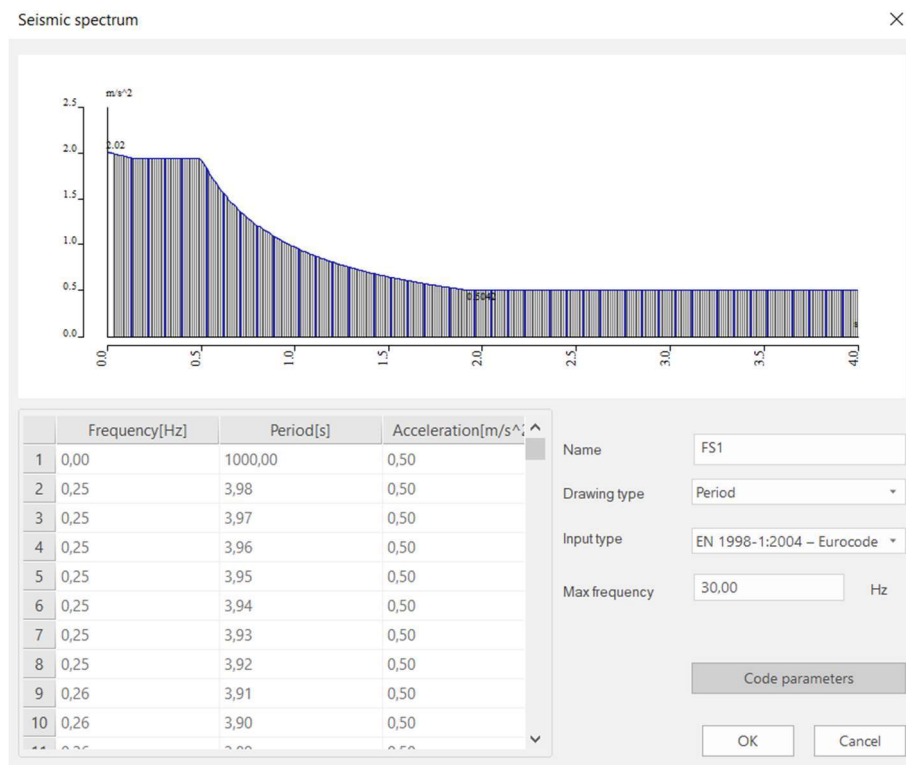


Slika 53.: Prikaz trećeg slučaja opterećenja vjetrom



Slika 54.: Prikaz četvrtog slučaja opterećenja vjetrom

Seizmičko djelovanje za 475 godina (x i y smjer)



Slika 55.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (475 god.) u programu Scia Engineer

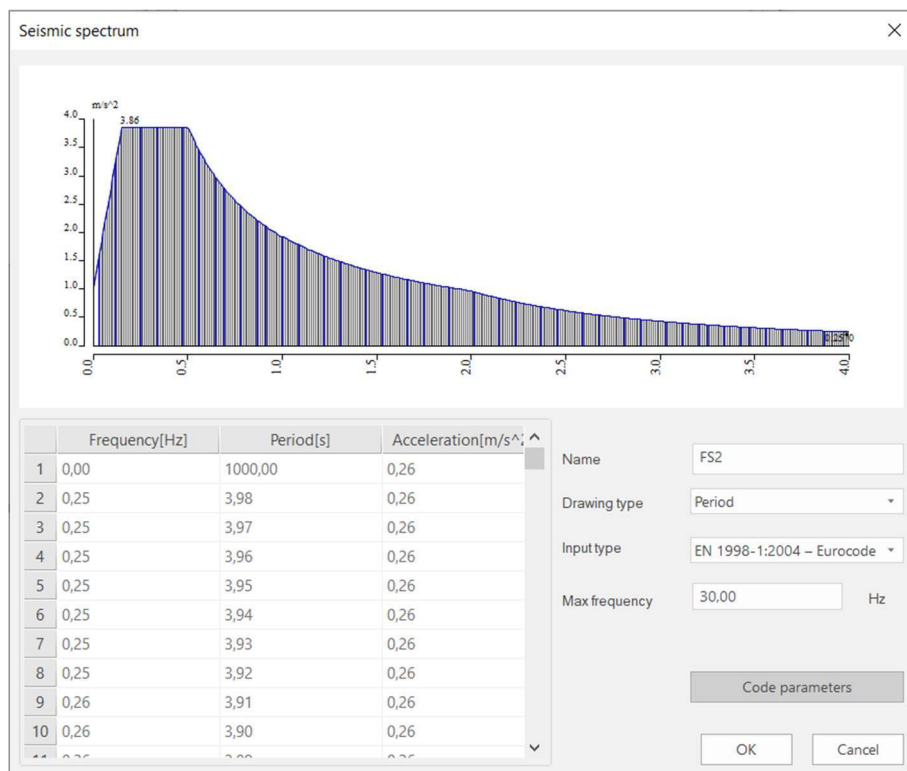
Code parameters

|                                |                  |
|--------------------------------|------------------|
| coeff accel. ag                | 0,257            |
| ag - design acceleration [...] | 2,521            |
| q - behaviour factor           | 3,900            |
| beta                           | 0,200            |
| S, Tb, Tc, Td manually?        | No               |
| Subsoil type                   | B                |
| Spectrum type                  | type 1           |
| Direction                      | Horizontal       |
| Direction factor               | 1                |
| S - soil factor                | 1,200            |
| Tb                             | 0,150            |
| Tc                             | 0,500            |
| Td                             | 2,000            |
| Note                           | NA not supported |

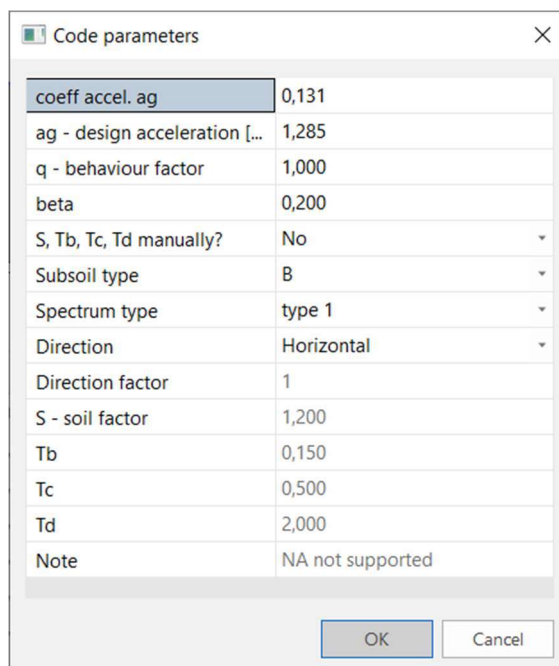
OK Cancel

Slika 56.: Zadavanje parametara seizmičkog opterećenja (475 god.)

Seizmičko djelovanje za 95 godina (x i y smjer)



Slika 57.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (95 god.) u programu Scia Engineer

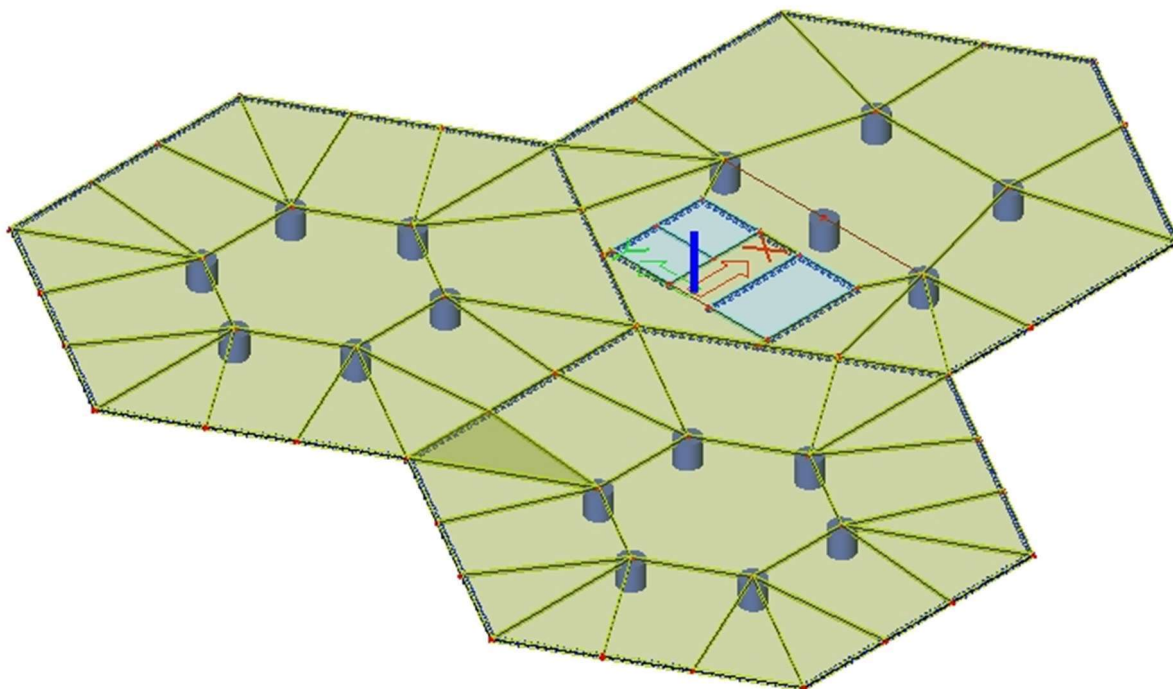


Slika 58.: Zadavanje parametara seizmičkog opterećenja (95 god.)



### 3.5.2.4. Statički proračun ploče visoke zgrade

Za potrebe statičkog proračuna ploče, napravljen je lokalni model ploče prve etaže (prisutne sve tri cijevi) zgrade. Razred betona ploče je uzet C40/50, a ploča je debljine 20 cm po cijeloj visini građevine. Ploča je u lokalnom modelu opterećenja dodatnim stalnim i uporabnim opterećenjem, dok je vlastita težina generirana u programu SCIA Engineer [2].



Slika 59.: Prikaz lokalnog modela ploče u programu SCIA Engineer



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

#### 3.5.3.1. Globalne provjere

##### *Provjere perioda titranja*

Potreban broj tonova, tj. vlastitih oblika titranja koje je potrebno obuhvatiti modalnom analizom, prema normi [12], treba zadovoljiti dva uvjeta:

$$k \geq 3 \times \sqrt{n} = 3 \times \sqrt{50} = 21,2$$

$$T_k \leq 0,20 \text{ s}$$

gdje je:

k broj promatranih vlastitih oblika titranja

n broj katova iznad temelja

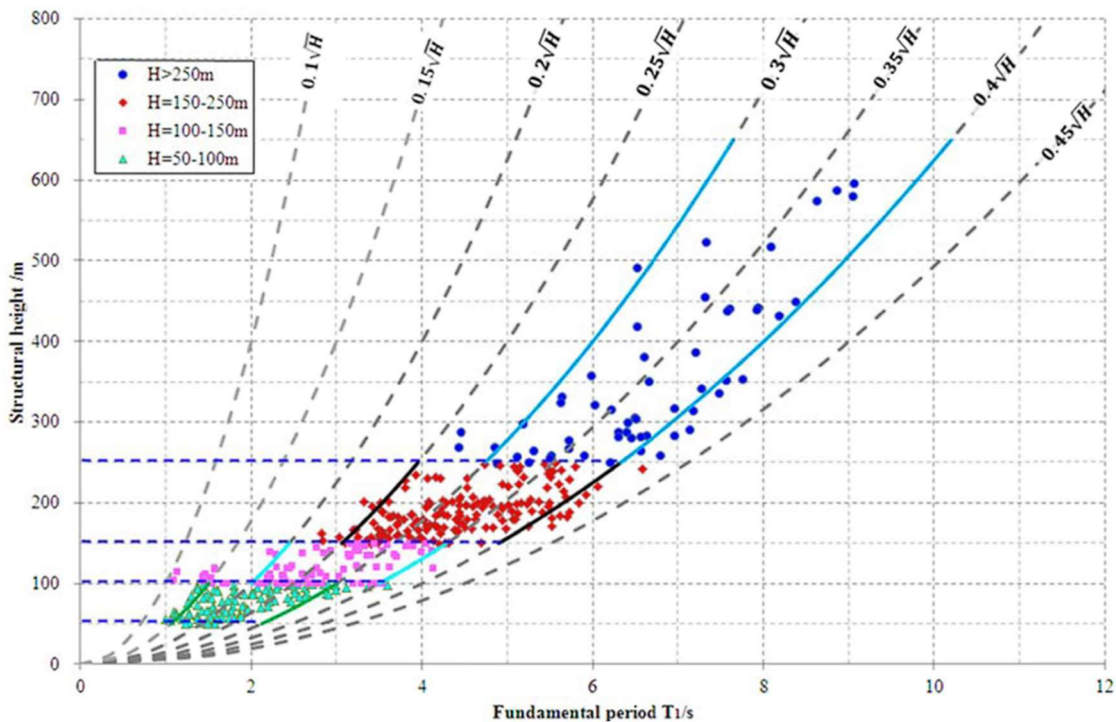
$T_k$  period vibracija k-tog oblika, tj. period posljednjeg razmotrenog oblika.

Period osciliranja se za betonske zgrade viših od 50 m može odrediti i približno, prema [15]:

$$T_1 = a \times \sqrt{H} = 0,25 \times \sqrt{170} \sim 0,4 \times \sqrt{170} = 3,26 \text{ s} \sim 5,21 \text{ s}$$

**Tablica 14.:** Odnos visine konstrukcije i koeficijenta a (Izvor: [15])

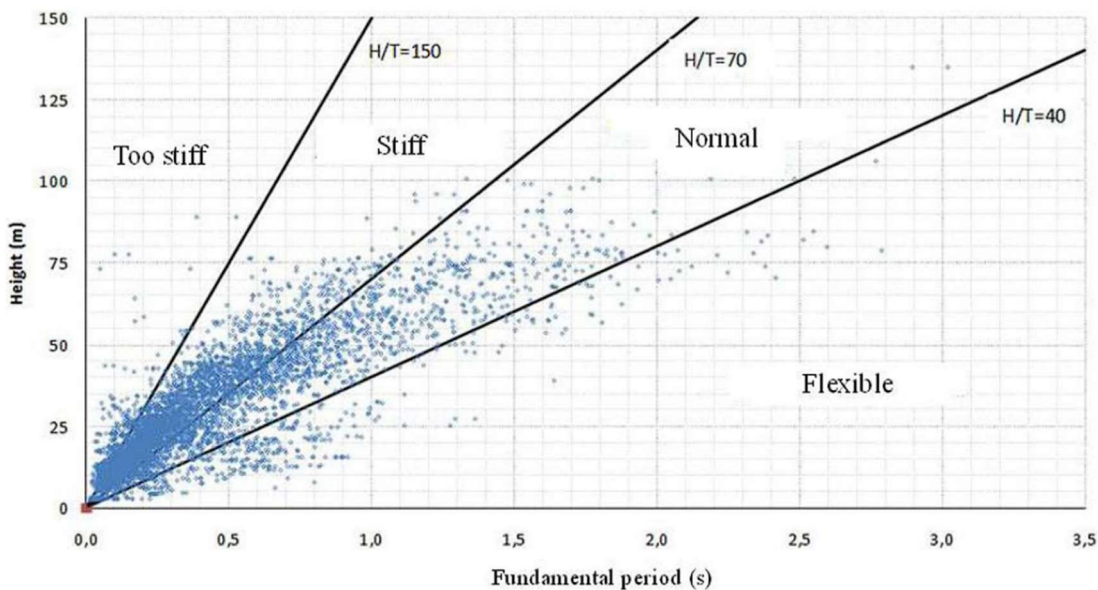
| VISINA ZGRADE                          | a          |
|--|------------|
| $50 \text{ m} \leq H < 100 \text{ m}$  | 0,15 – 0,3 |
| $100 \text{ m} \leq H < 150 \text{ m}$ | 0,2 – 0,35 |
| $150 \text{ m} \leq H < 250 \text{ m}$ | 0,25 – 0,4 |
| $H \geq 250 \text{ m}$                 | 0,3 – 0,4  |



Slika 60.: Odnos temeljnog perioda i visine zgrade (prema istraživanjima zgrada u Kini) (Izvor: [15])

Također, približno se period može odrediti i prema čileanskim istraživanjima, prema [15]:

$$T_1 = 0,014 \times H \sim 0,025 \times H = 2,38 \text{ s} \sim 4,25 \text{ s}$$



Slika 61.: Odnos temeljnog perioda i visine zgrade (prema istraživanjima zgrada u Čileu) (Izvor: [15])

Period konstrukcije dobiven modalnom analizom u programu Scia Engineer jednak je  $T_1 = 4,24$  s i nalazi u rasponu vrijednosti perioda i prema kineskim [15] i prema čileanskim istraživanjima [15].

Rezultati modalne analize za prvih 25 oblika titranja:

**Tablica 15.:** Aktivirane mase i periodi iz programa Scia Engineer

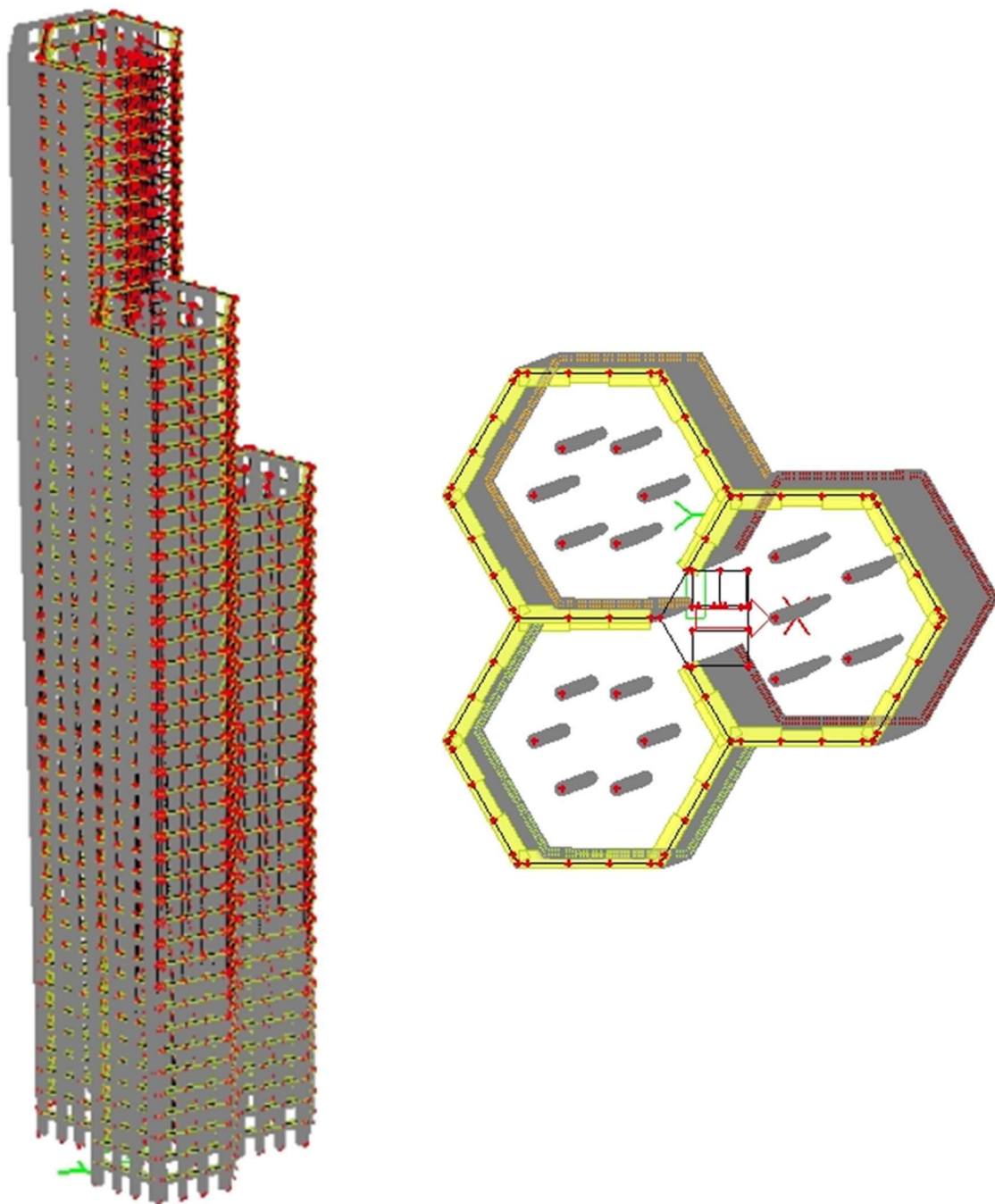
| Mode | mega [rad/s] | Period [s] | Freq. [Hz] | $W_{xi}/W_{xtot}$ | $W_{yi}/W_{ytot}$ | $W_{zi}/W_{ztot}$ | $N_{xi\_R}/W_{xtot\_R}$ | $W_{yi\_R}/W_{ytot\_R}$ | $W_{zi\_R}/W_{ztot\_R}$ |
|------|--------------|------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1    | 1.4835       | 4,24       | 0,24       | 0,5907            | 0,0765            | 0,0000            | 0,0417                  | 0,2804                  | 0,0000                  |
| 2    | 1.51989      | 4,13       | 0,24       | 0,0808            | 0,5517            | 0,0000            | 0,3003                  | 0,0354                  | 0,0488                  |
| 3    | 2.50747      | 2,51       | 0,40       | 0,0028            | 0,0442            | 0,0000            | 0,0024                  | 0,0002                  | 0,7284                  |
| 4    | 4.2073       | 1,49       | 0,67       | 0,1255            | 0,0207            | 0,0001            | 0,0263                  | 0,2401                  | 0,0063                  |
| 5    | 4.63826      | 1,35       | 0,74       | 0,0160            | 0,1215            | 0,0000            | 0,2182                  | 0,0431                  | 0,0117                  |
| 6    | 6.90713      | 0,91       | 1,10       | 0,0030            | 0,0152            | 0,0000            | 0,0338                  | 0,0056                  | 0,0717                  |
| 7    | 8.3854       | 0,75       | 1,33       | 0,0568            | 0,0015            | 0,0001            | 0,0025                  | 0,0961                  | 0,0026                  |
| 8    | 9.19289      | 0,68       | 1,46       | 0,0008            | 0,0450            | 0,0000            | 0,0778                  | 0,0022                  | 0,0096                  |
| 9    | 11.1702      | 0,56       | 1,78       | 0,0000            | 0,0094            | 0,0000            | 0,0170                  | 0,0000                  | 0,0323                  |
| 10   | 13.3346      | 0,47       | 2,12       | 0,0303            | 0,0006            | 0,0006            | 0,0009                  | 0,0595                  | 0,0002                  |
| 11   | 14.2414      | 0,44       | 2,27       | 0,0009            | 0,0211            | 0,0000            | 0,0424                  | 0,0019                  | 0,0049                  |
| 12   | 16.1036      | 0,39       | 2,56       | 0,0002            | 0,0073            | 0,0001            | 0,0151                  | 0,0003                  | 0,0143                  |
| 13   | 18.2569      | 0,34       | 2,91       | 0,0003            | 0,0000            | 0,5440            | 0,0000                  | 0,0014                  | 0,0001                  |
| 14   | 18.9948      | 0,33       | 3,02       | 0,0046            | 0,0017            | 0,0006            | 0,0037                  | 0,0103                  | 0,0070                  |
| 15   | 19.6685      | 0,32       | 3,13       | 0,0174            | 0,0009            | 0,0108            | 0,0016                  | 0,0373                  | 0,0025                  |
| 16   | 20.5703      | 0,31       | 3,27       | 0,0001            | 0,0168            | 0,0001            | 0,0348                  | 0,0003                  | 0,0011                  |
| 17   | 21.6236      | 0,29       | 3,44       | 0,0000            | 0,0000            | 0,1226            | 0,0042                  | 0,0106                  | 0,0000                  |
| 18   | 24.007       | 0,26       | 3,82       | 0,0008            | 0,0002            | 0,0000            | 0,0004                  | 0,0016                  | 0,0097                  |
| 19   | 26.4943      | 0,24       | 4,22       | 0,0000            | 0,0085            | 0,0310            | 0,0385                  | 0,0017                  | 0,0005                  |
| 20   | 26.7302      | 0,24       | 4,25       | 0,0059            | 0,0016            | 0,0500            | 0,0001                  | 0,0217                  | 0,0010                  |
| 21   | 27.1155      | 0,23       | 4,32       | 0,0074            | 0,0014            | 0,0290            | 0,0000                  | 0,0082                  | 0,0004                  |
| 22   | 29.9497      | 0,21       | 4,77       | 0,0009            | 0,0007            | 0,0001            | 0,0020                  | 0,0013                  | 0,0053                  |
| 23   | 30.9243      | 0,20       | 4,92       | 0,0006            | 0,0000            | 0,0001            | 0,0002                  | 0,0032                  | 0,0004                  |
| 24   | 31.8027      | 0,20       | 5,06       | 0,0002            | 0,0028            | 0,0078            | 0,0056                  | 0,0008                  | 0,0002                  |
| 25   | 32.6505      | 0,19       | 5,20       | 0,0002            | 0,0053            | 0,0041            | 0,0125                  | 0,0006                  | 0,0004                  |
|      |              |            |            | 0,9462            | 0,9545            | 0,8013            | 0,8823                  | 0,8637                  | 0,9596                  |

Iz tablice je vidljivo da je period posljednjeg razmotrenog oblika titranja  $T_k = 0,19$  s  $\leq 0,20$  s, čime je zadovoljen navedeni uvjet.

Za proračunatih 25 modalnih oblika zbroj proračunskih masa prema normi [12] mora biti veći od 90% ukupne mase konstrukcije. Iz tablice 15. je vidljivo da je za translaciju u X smjeru aktivirano 94,6 % mase, u Y smjeru 95,4 % mase, a u trećem tonu dominira torzija s 95,9 % mase.

Vlastiti oblici – dobiveni u programu Scia Engineer za prva 3 tona su sljedeći:

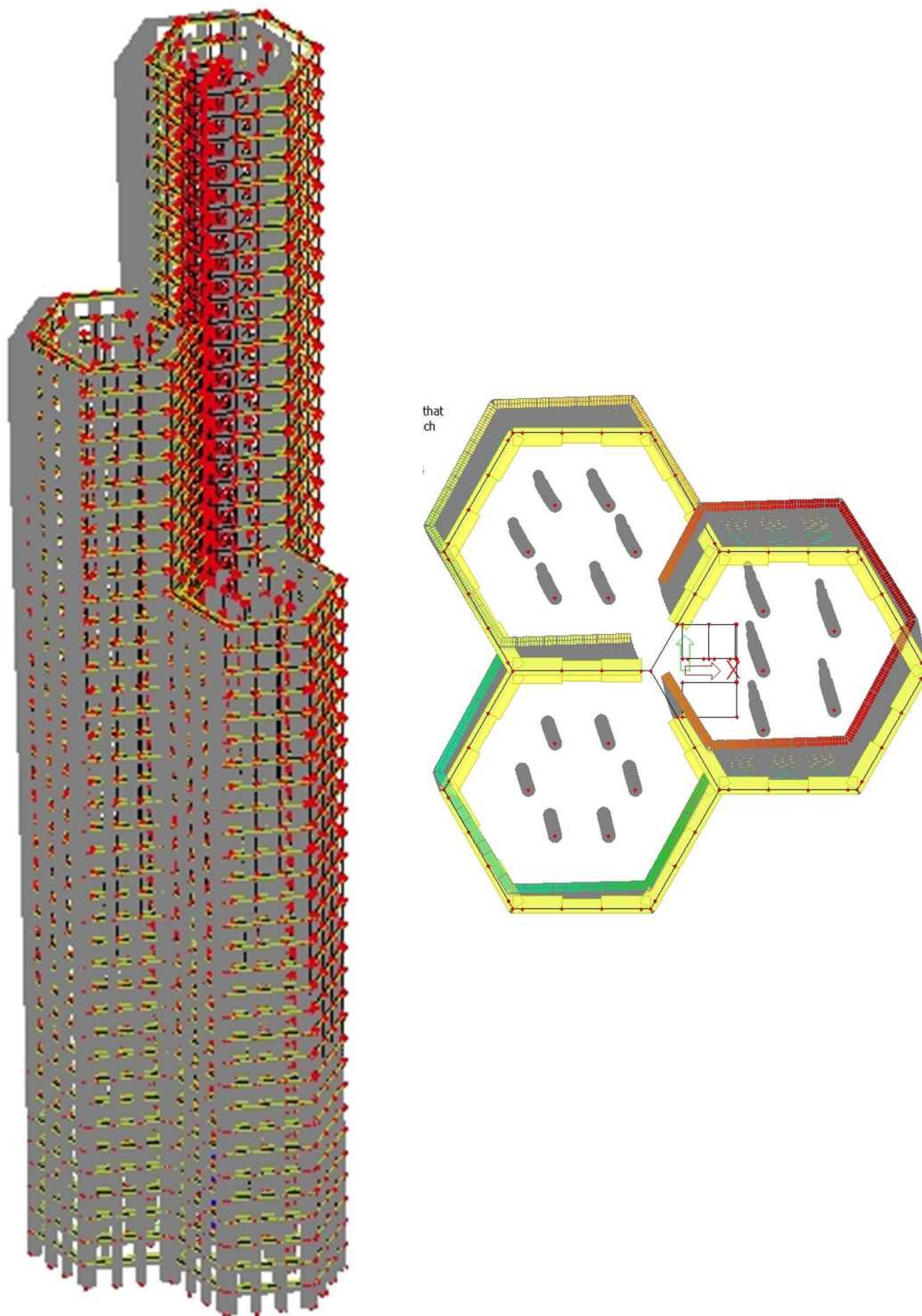
1. ton – translacija u X smjeru: 0,24 Hz (4,24 s)



Slika 62.: Prvi ton građevine

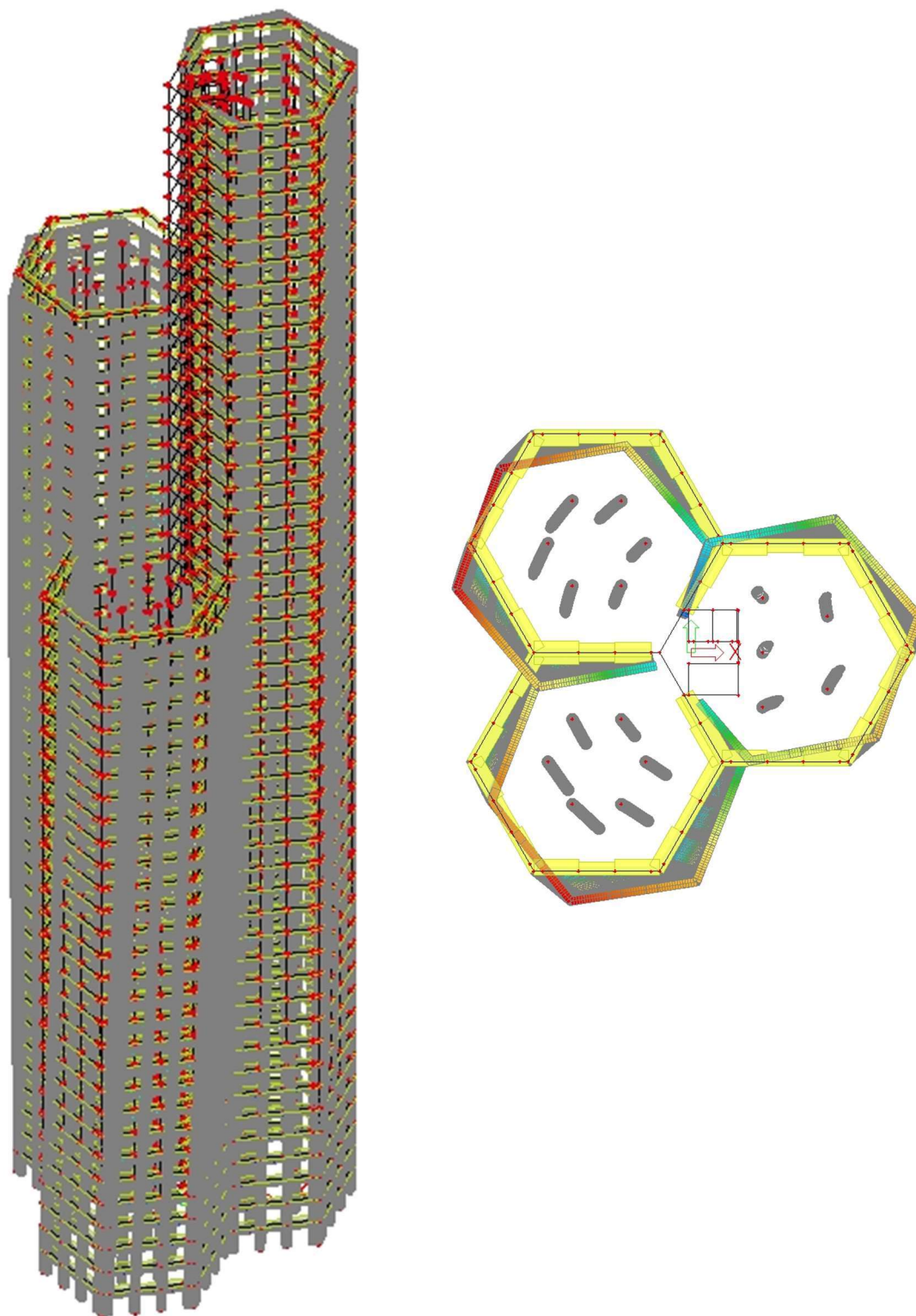


2. ton – translacija u Y smjeru: 0,24 Hz (4,13 s)



Slika 63.: Drugi ton građevine

3. ton – torzija: 0,40 Hz (2,51 s)



Slika 64.: Treći ton građevine

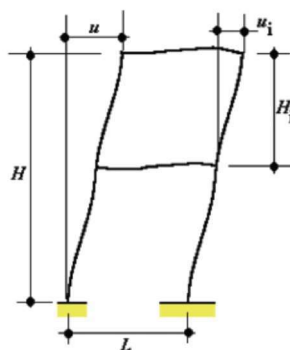
**Provjera ukupnog pomaka vrha zgrade za karakterističnu kombinaciju**

Iz tablice 16., najveći pomak vrha zgrade je ograničen na iznos  $H/500$ . Vrijednost pomaka vrha zgrade se kontrolira za karakterističnu kombinaciju.

**Tablica 16.:** Granične vrijednosti horizontalnih pomaka konstrukcije (Izvor: [16])

| Građevina  | Granične vrijednosti za karakteristične kombinacije djelovanja |         |
|--|--|---------|
|  | $u_i$  | $u$     |
| Prizemne industrijske građevine bez kрана i/ili 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 65.:** Prikaz ograničenja horizontalnih pomaka za karakteristične kombinacije djelovanja (Izvor: [10])

Najveći pomak vrha zgrade:

$$u < \frac{H}{500} = \frac{170}{500} = 0,34 \text{ m}$$

$$u = 0,199 \text{ m} < 0,34 \text{ m} \rightarrow \text{Zadovoljava.}$$

Najveći pomak zgrade vidljiv je iz slike 68.

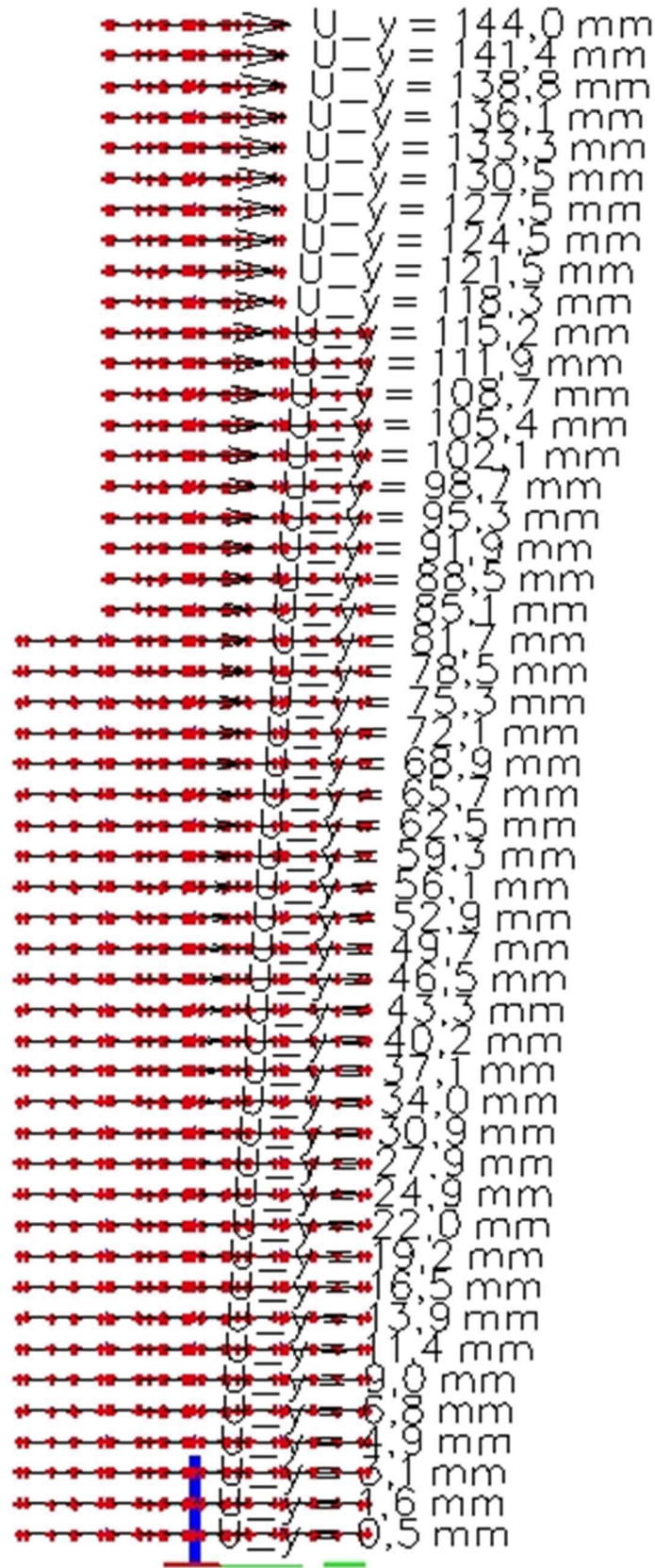
**Provjera međukatnog za karakterističnu kombinaciju**

Za višekatne zgrade međukatni pomaci su ograničeni vrijednostima danim u normi [16]. Međukatni pomaci se očitavaju za karakterističnu kombinaciju. Granične vrijednosti pomaka su dane u tablici 16. ovog rada.









Slika 67.: Prikaz pomaka za opterećenje vjetrom za Y smjer

Tablica 17.: Međukatni pomaci za opterećenje vjetrom za X i Y smjer

| ETAŽE   | $u_x$ [mm] | $d_r$ [mm] | $\leq h/300$<br>$\leq 11,33$ mm | ETAŽE   | $u_y$ [mm] | $d_r$ [mm] | $\leq h/300$<br>$\leq 11,33$ mm |
|---------|------------|------------|---------------------------------|---------|------------|------------|---------------------------------|
| 1. KAT  | 0,40       | 0,40       | Zadovoljava!                    | 1. KAT  | 0,50       | 0,50       | Zadovoljava!                    |
| 2. KAT  | 1,30       | 0,90       | Zadovoljava!                    | 2. KAT  | 1,60       | 1,10       | Zadovoljava!                    |
| 3. KAT  | 2,60       | 1,30       | Zadovoljava!                    | 3. KAT  | 3,10       | 1,50       | Zadovoljava!                    |
| 4. KAT  | 4,10       | 1,50       | Zadovoljava!                    | 4. KAT  | 4,90       | 1,80       | Zadovoljava!                    |
| 5. KAT  | 5,90       | 1,80       | Zadovoljava!                    | 5. KAT  | 6,80       | 1,90       | Zadovoljava!                    |
| 6. KAT  | 7,90       | 2,00       | Zadovoljava!                    | 6. KAT  | 9,00       | 2,20       | Zadovoljava!                    |
| 7. KAT  | 10,00      | 2,10       | Zadovoljava!                    | 7. KAT  | 11,40      | 2,40       | Zadovoljava!                    |
| 8. KAT  | 12,30      | 2,30       | Zadovoljava!                    | 8. KAT  | 13,90      | 2,50       | Zadovoljava!                    |
| 9. KAT  | 14,70      | 2,40       | Zadovoljava!                    | 9. KAT  | 16,50      | 2,60       | Zadovoljava!                    |
| 10. KAT | 17,20      | 2,50       | Zadovoljava!                    | 10. KAT | 19,20      | 2,70       | Zadovoljava!                    |
| 11. KAT | 19,70      | 2,50       | Zadovoljava!                    | 11. KAT | 22,00      | 2,80       | Zadovoljava!                    |
| 12. KAT | 22,40      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 12. KAT | 24,90      | 2,90       | Zadovoljava!                    |
| 13. KAT | 25,00      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 13. KAT | 27,90      | 3,00       | Zadovoljava!                    |
| 14. KAT | 27,70      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 14. KAT | 30,90      | 3,00       | Zadovoljava!                    |
| 15. KAT | 30,50      | 2,80       | Zadovoljava!                    | 15. KAT | 34,00      | 3,10       | Zadovoljava!                    |
| 16. KAT | 33,20      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 16. KAT | 37,10      | 3,10       | Zadovoljava!                    |
| 17. KAT | 36,00      | 2,80       | Zadovoljava!                    | 17. KAT | 40,20      | 3,10       | Zadovoljava!                    |
| 18. KAT | 38,70      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 18. KAT | 43,30      | 3,10       | Zadovoljava!                    |
| 19. KAT | 41,50      | 2,80       | Zadovoljava!                    | 19. KAT | 46,50      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 20. KAT | 44,30      | 2,80       | Zadovoljava!                    | 20. KAT | 49,70      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 21. KAT | 47,00      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 21. KAT | 52,90      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 22. KAT | 49,70      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 22. KAT | 56,10      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 23. KAT | 52,40      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 23. KAT | 59,30      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 24. KAT | 55,10      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 24. KAT | 62,50      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 25. KAT | 57,70      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 25. KAT | 65,70      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 26. KAT | 60,40      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 26. KAT | 68,90      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 27. KAT | 63,00      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 27. KAT | 72,10      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 28. KAT | 65,60      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 28. KAT | 75,30      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 29. KAT | 68,20      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 29. KAT | 78,50      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 30. KAT | 70,80      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 30. KAT | 81,70      | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 31. KAT | 73,50      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 31. KAT | 85,10      | 3,40       | Zadovoljava!                    |
| 32. KAT | 76,20      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 32. KAT | 88,50      | 3,40       | Zadovoljava!                    |
| 33. KAT | 78,90      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 33. KAT | 91,90      | 3,40       | Zadovoljava!                    |
| 34. KAT | 81,60      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 34. KAT | 95,30      | 3,40       | Zadovoljava!                    |
| 35. KAT | 84,30      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 35. KAT | 98,70      | 3,40       | Zadovoljava!                    |
| 36. KAT | 87,00      | 2,70       | Zadovoljava!                    | 36. KAT | 102,10     | 3,40       | Zadovoljava!                    |
| 37. KAT | 89,60      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 37. KAT | 105,40     | 3,30       | Zadovoljava!                    |
| 38. KAT | 92,20      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 38. KAT | 108,70     | 3,30       | Zadovoljava!                    |
| 39. KAT | 94,80      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 39. KAT | 111,90     | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 40. KAT | 97,40      | 2,60       | Zadovoljava!                    | 40. KAT | 115,20     | 3,30       | Zadovoljava!                    |
| 41. KAT | 100,00     | 2,60       | Zadovoljava!                    | 41. KAT | 118,30     | 3,10       | Zadovoljava!                    |
| 42. KAT | 102,60     | 2,60       | Zadovoljava!                    | 42. KAT | 121,50     | 3,20       | Zadovoljava!                    |
| 43. KAT | 105,20     | 2,60       | Zadovoljava!                    | 43. KAT | 124,50     | 3,00       | Zadovoljava!                    |
| 44. KAT | 107,80     | 2,60       | Zadovoljava!                    | 44. KAT | 127,50     | 3,00       | Zadovoljava!                    |
| 45. KAT | 110,30     | 2,50       | Zadovoljava!                    | 45. KAT | 130,50     | 3,00       | Zadovoljava!                    |
| 46. KAT | 112,80     | 2,50       | Zadovoljava!                    | 46. KAT | 133,30     | 2,80       | Zadovoljava!                    |
| 47. KAT | 115,20     | 2,40       | Zadovoljava!                    | 47. KAT | 136,10     | 2,80       | Zadovoljava!                    |
| 48. KAT | 117,60     | 2,40       | Zadovoljava!                    | 48. KAT | 138,80     | 2,70       | Zadovoljava!                    |
| 49. KAT | 119,90     | 2,30       | Zadovoljava!                    | 49. KAT | 141,40     | 2,60       | Zadovoljava!                    |
| 50. KAT | 122,20     | 2,30       | Zadovoljava!                    | 50. KAT | 144,00     | 2,60       | Zadovoljava!                    |

### ***Provjera međukatnog za ograničenje oštećenja od potresa***

Međukatni pomak treba biti manji od dozvoljenog kako bi bio zadovoljen zahtjev ograničenog oštećenja konstrukcije. Dozvoljeni pomak je dan u normi [12]. Za provjeru pomaka promatra se seizmičko opterećenje s elastičnim spektrom u oba smjera za povratni period od 95 godina,

Prema normi [12], maksimalni dozvoljeni pomak za građevine koje imaju nekonstrukcijske elemente od krhkih materijala pričvršćenih za konstrukciju je:

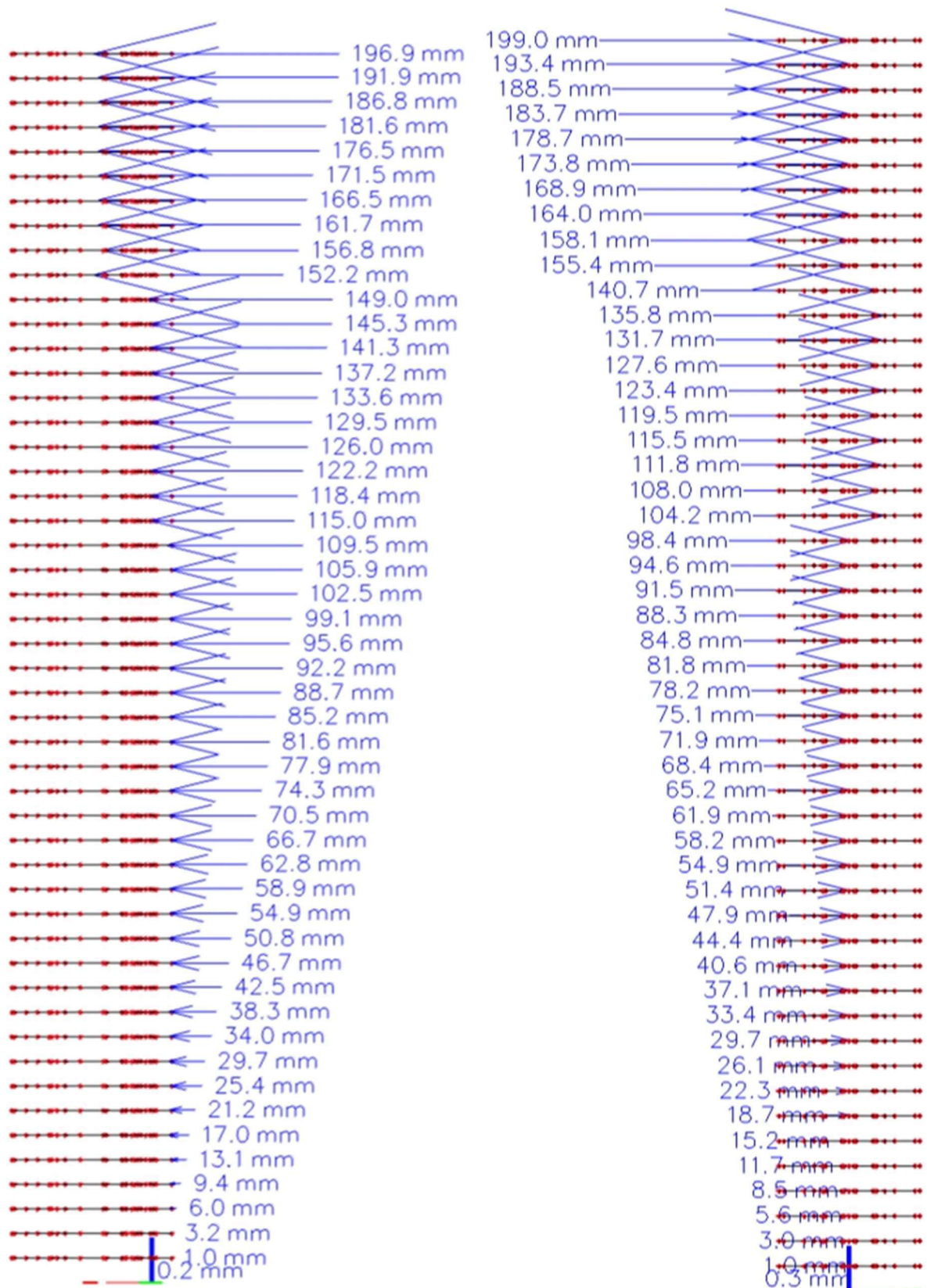
$$d_r \cdot v \leq 0,005 \cdot h$$

$$d_r \cdot 1,0 \leq 0,005 \cdot 3,4$$

$$d_r \leq 0,017 \text{ m}$$

gdje je:

- $d_r$  proračunski pomak kata
- $h$  visina kata
- $v$  faktor smanjenja kojim se u obzir uzima najkraće povratno razdoblje potresnog djelovanja vezano sa zahtjevom ograničenog oštećenja. Prema nacionalnom dodatku [13] iznosi  $v = 1,0$ .



Slika 68.: Prikaz pomaka za seizmičko opterećenje (95 godina) za X i Y smjer



Tablica 18.: Međukatni pomaci za seizmičko opterećenje (95 godina) za X i Y smjer

| ETAŽE   | $u_x$ [mm] | $d_r$ [mm] | $\leq 0,005 \times h$<br>$\leq 17,0$ mm | ETAŽE   | $u_y$ [mm] | $d_r$ [mm] | $\leq 0,005 \times h$<br>$\leq 17,0$ mm |
|---------|------------|------------|---|---------|------------|------------|---|
| 1. KAT  | 1,00       | 1,00       | Zadovoljava!                            | 1. KAT  | 1,00       | 1,00       | Zadovoljava!                            |
| 2. KAT  | 3,20       | 2,20       | Zadovoljava!                            | 2. KAT  | 3,00       | 2,00       | Zadovoljava!                            |
| 3. KAT  | 6,00       | 2,80       | Zadovoljava!                            | 3. KAT  | 5,60       | 2,60       | Zadovoljava!                            |
| 4. KAT  | 9,40       | 3,40       | Zadovoljava!                            | 4. KAT  | 8,50       | 2,90       | Zadovoljava!                            |
| 5. KAT  | 13,10      | 3,70       | Zadovoljava!                            | 5. KAT  | 11,70      | 3,20       | Zadovoljava!                            |
| 6. KAT  | 17,00      | 3,90       | Zadovoljava!                            | 6. KAT  | 15,20      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 7. KAT  | 21,20      | 4,20       | Zadovoljava!                            | 7. KAT  | 18,70      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 8. KAT  | 25,40      | 4,20       | Zadovoljava!                            | 8. KAT  | 22,30      | 3,60       | Zadovoljava!                            |
| 9. KAT  | 29,70      | 4,30       | Zadovoljava!                            | 9. KAT  | 26,10      | 3,80       | Zadovoljava!                            |
| 10. KAT | 34,00      | 4,30       | Zadovoljava!                            | 10. KAT | 29,70      | 3,60       | Zadovoljava!                            |
| 11. KAT | 38,30      | 4,30       | Zadovoljava!                            | 11. KAT | 33,40      | 3,70       | Zadovoljava!                            |
| 12. KAT | 42,50      | 4,20       | Zadovoljava!                            | 12. KAT | 37,10      | 3,70       | Zadovoljava!                            |
| 13. KAT | 46,70      | 4,20       | Zadovoljava!                            | 13. KAT | 40,60      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 14. KAT | 50,80      | 4,10       | Zadovoljava!                            | 14. KAT | 44,40      | 3,80       | Zadovoljava!                            |
| 15. KAT | 54,90      | 4,10       | Zadovoljava!                            | 15. KAT | 47,90      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 16. KAT | 58,90      | 4,00       | Zadovoljava!                            | 16. KAT | 51,40      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 17. KAT | 62,80      | 3,90       | Zadovoljava!                            | 17. KAT | 54,90      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 18. KAT | 66,70      | 3,90       | Zadovoljava!                            | 18. KAT | 58,20      | 3,30       | Zadovoljava!                            |
| 19. KAT | 70,50      | 3,80       | Zadovoljava!                            | 19. KAT | 61,90      | 3,70       | Zadovoljava!                            |
| 20. KAT | 74,30      | 3,80       | Zadovoljava!                            | 20. KAT | 65,20      | 3,30       | Zadovoljava!                            |
| 21. KAT | 77,90      | 3,60       | Zadovoljava!                            | 21. KAT | 68,40      | 3,20       | Zadovoljava!                            |
| 22. KAT | 81,60      | 3,70       | Zadovoljava!                            | 22. KAT | 71,90      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 23. KAT | 85,20      | 3,60       | Zadovoljava!                            | 23. KAT | 75,10      | 3,20       | Zadovoljava!                            |
| 24. KAT | 88,70      | 3,50       | Zadovoljava!                            | 24. KAT | 78,20      | 3,10       | Zadovoljava!                            |
| 25. KAT | 92,20      | 3,50       | Zadovoljava!                            | 25. KAT | 81,80      | 3,60       | Zadovoljava!                            |
| 26. KAT | 95,60      | 3,40       | Zadovoljava!                            | 26. KAT | 84,80      | 3,00       | Zadovoljava!                            |
| 27. KAT | 99,10      | 3,50       | Zadovoljava!                            | 27. KAT | 88,30      | 3,50       | Zadovoljava!                            |
| 28. KAT | 102,50     | 3,40       | Zadovoljava!                            | 28. KAT | 91,50      | 3,20       | Zadovoljava!                            |
| 29. KAT | 105,90     | 3,40       | Zadovoljava!                            | 29. KAT | 94,60      | 3,10       | Zadovoljava!                            |
| 30. KAT | 109,50     | 3,60       | Zadovoljava!                            | 30. KAT | 98,40      | 3,80       | Zadovoljava!                            |
| 31. KAT | 115,00     | 5,50       | Zadovoljava!                            | 31. KAT | 104,20     | 5,80       | Zadovoljava!                            |
| 32. KAT | 118,40     | 3,40       | Zadovoljava!                            | 32. KAT | 108,00     | 3,80       | Zadovoljava!                            |
| 33. KAT | 122,20     | 3,80       | Zadovoljava!                            | 33. KAT | 111,80     | 3,80       | Zadovoljava!                            |
| 34. KAT | 126,00     | 3,80       | Zadovoljava!                            | 34. KAT | 115,50     | 3,70       | Zadovoljava!                            |
| 35. KAT | 129,50     | 3,50       | Zadovoljava!                            | 35. KAT | 119,50     | 4,00       | Zadovoljava!                            |
| 36. KAT | 133,60     | 4,10       | Zadovoljava!                            | 36. KAT | 123,40     | 3,90       | Zadovoljava!                            |
| 37. KAT | 137,20     | 3,60       | Zadovoljava!                            | 37. KAT | 127,60     | 4,20       | Zadovoljava!                            |
| 38. KAT | 141,30     | 4,10       | Zadovoljava!                            | 38. KAT | 131,70     | 4,10       | Zadovoljava!                            |
| 39. KAT | 145,30     | 4,00       | Zadovoljava!                            | 39. KAT | 135,80     | 4,10       | Zadovoljava!                            |
| 40. KAT | 149,00     | 3,70       | Zadovoljava!                            | 40. KAT | 140,70     | 4,90       | Zadovoljava!                            |
| 41. KAT | 152,20     | 3,20       | Zadovoljava!                            | 41. KAT | 155,40     | 14,70      | Zadovoljava!                            |
| 42. KAT | 156,80     | 4,60       | Zadovoljava!                            | 42. KAT | 158,10     | 2,70       | Zadovoljava!                            |
| 43. KAT | 161,70     | 4,90       | Zadovoljava!                            | 43. KAT | 164,00     | 5,90       | Zadovoljava!                            |
| 44. KAT | 166,50     | 4,80       | Zadovoljava!                            | 44. KAT | 168,90     | 4,90       | Zadovoljava!                            |
| 45. KAT | 171,50     | 5,00       | Zadovoljava!                            | 45. KAT | 173,80     | 4,90       | Zadovoljava!                            |
| 46. KAT | 176,50     | 5,00       | Zadovoljava!                            | 46. KAT | 178,70     | 4,90       | Zadovoljava!                            |
| 47. KAT | 181,60     | 5,10       | Zadovoljava!                            | 47. KAT | 183,70     | 5,00       | Zadovoljava!                            |
| 48. KAT | 186,80     | 5,20       | Zadovoljava!                            | 48. KAT | 188,50     | 4,80       | Zadovoljava!                            |
| 49. KAT | 191,90     | 5,10       | Zadovoljava!                            | 49. KAT | 193,40     | 4,90       | Zadovoljava!                            |
| 50. KAT | 196,90     | 5,10       | Zadovoljava!                            | 50. KAT | 199,00     | 5,60       | Zadovoljava!                            |

**Potresna sila u podnožju građevine (BCS – Base Shear Coefficient)**

BCS, odnosno koeficijent potresne sile se računa kao omjer proračunske potresne kombinacije za 475-godišnji period i ukupne težine konstrukcije, prema [12]:

$$BCS = \frac{F_{b,i}}{W}$$

Ukupna težina konstrukcije određena je u programu SCIA Engineer [2] iz proračunske potresne kombinacije djelovanja, [12]:

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

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

gdje je iz [12]:

- $G_{k,j}$  karakteristično stalno djelovanje
- $\psi_{E,i}$  faktor kombinacije za promjenjivo djelovanje
- $Q_{k,i}$  karakteristično uporabno djelovanje
- $\varphi$  koeficijent uporabnog opterećenja, ovisi o vrsti građevine, zauzetosti i poziciji kata, prema []
- $\psi_{2,i}$  koeficijent kombinacije za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja

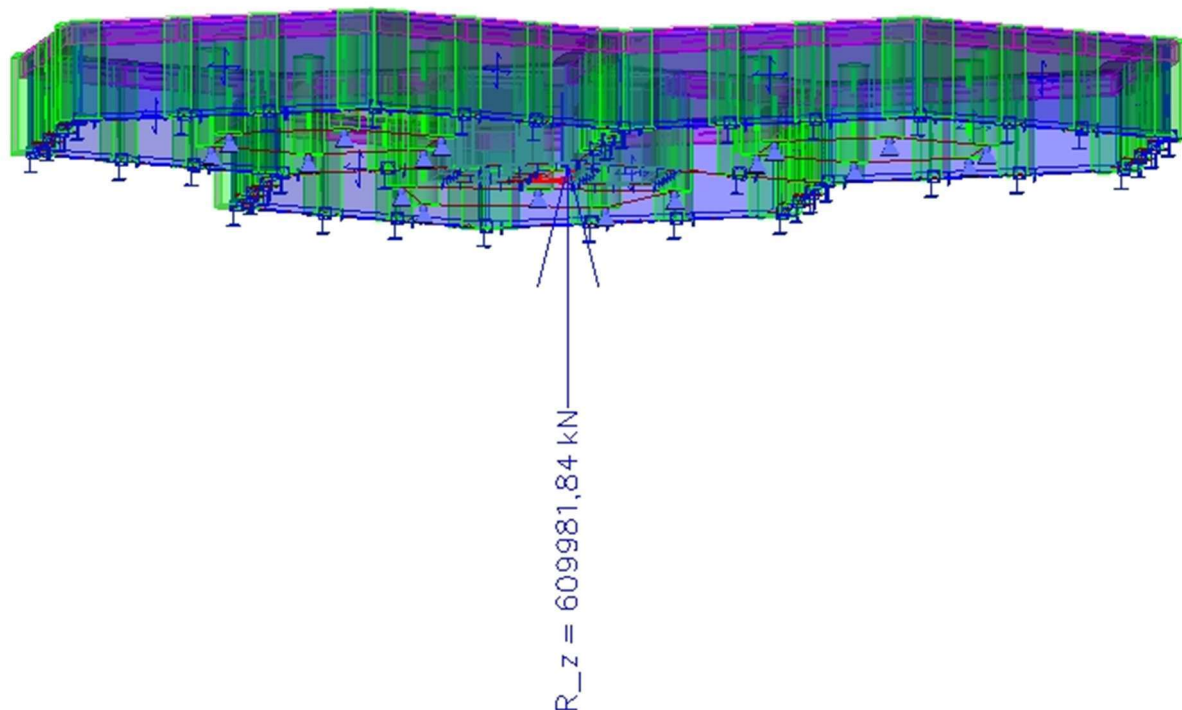
**Tablica 19.:** Koeficijent uporabnog opterećenja [13]

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

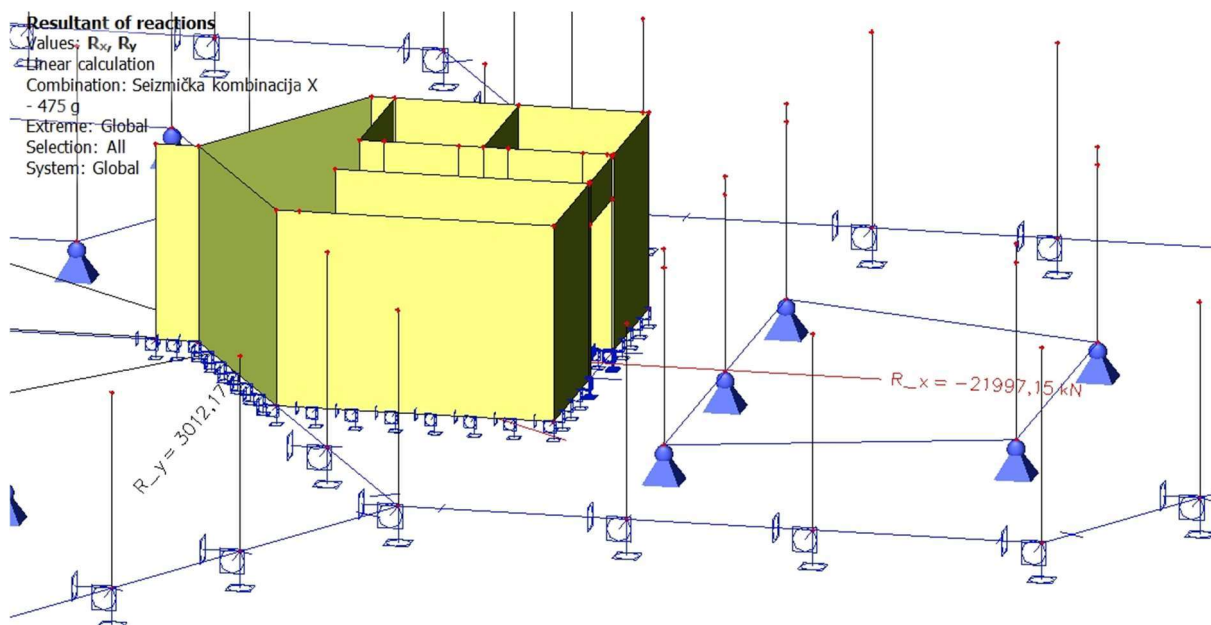
Uzimaju se vrijednosti  $\varphi = 0,5$  (kategorija B) i vrijednost  $\varphi = 1,0$  za krov.

Koeficijent kombinacije  $\psi_{2,i}$  se uzima prema tablici (br.) iz poglavlja 5.1.8.

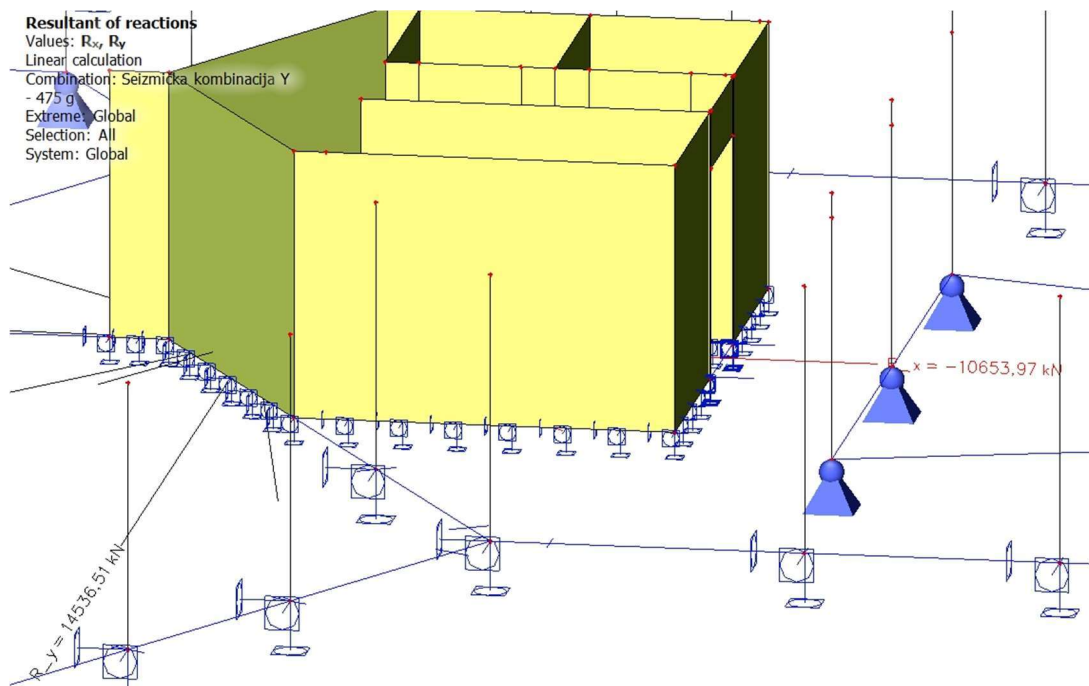
Za kategoriju B:  $\psi_{2,i} = 0,3$  za sve etaže osim krovne gdje je  $\psi_{2,i} = 0,0$ .



Slika 69.: Prikaz ukupne težine građevine



Slika 70.: Prikaz reakcija u X i Y smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina)



Slika 71.: Prikaz reakcija u X i Y smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina)

Tablica 20.: Reakcije u X i Y smjeru za seizmičke kombinacije (475 godina)

| KOMBINACIJA DJELOVANJA | $R_x$ [kN]  | $R_y$ [kN]  |
|------------------------|-------------|-------------|
| Potres X               | 21997,15 kN | 3012,17 kN  |
| Potres Y               | 10653,97 kN | 14536,51 kN |

Izračun BCS za smjer X:

$$BCS = \frac{F_{b,X}}{W} = \frac{21997,15}{609981,84} = 0,0361 = 3,61 \%$$

Izračun BCS za smjer Y:

$$BCS = \frac{F_{b,Y}}{W} = \frac{14536,51}{609981,84} = 0,0238 = 2,38 \%$$

### ***Stabilnost na bočni pomak***

Učinke drugog reda (učinke na deformiranom geometrijskom obliku) možemo zanemariti, ako je zadovoljen uvjet iz norme [17], a treba ih uzeti u obzir, ako povećavaju učinke



djelovanja ili mijenjaju ponašanje konstrukcije. Proračunsko djelovanje se povećava koeficijentom stabilnosti  $\alpha_{cr}$ , koji je prema [17], jednak:

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10,0 \rightarrow \text{elastična analiza}$$

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 15,0 \rightarrow \text{plastična analiza}$$

gdje je prema [17]:

$\alpha_{cr}$  faktor elastičnog kritičnog opterećenja

$F_{cr}$  elastično kritično opterećenje

$F_{Ed}$  Proračunsko opterećenje na konstrukciju

Ako je  $\alpha_{cr} \geq 10$ , konstrukcija se može proračunati po teoriji prvog reda.

U računalnom programu SCIA Engineer [2], zadaju se četiri kombinacije iz kojih se analizom stabilnosti dobivaju iznosi  $\alpha_{cr}$ .

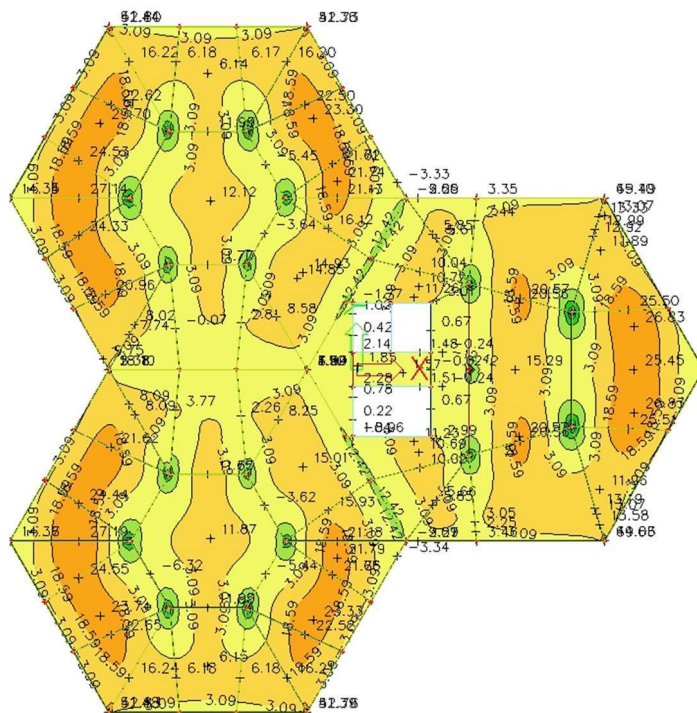
Tablica 21.: Faktori elastičnog kritičnog opterećenja  $\alpha_{cr}$

### Critical load coefficients

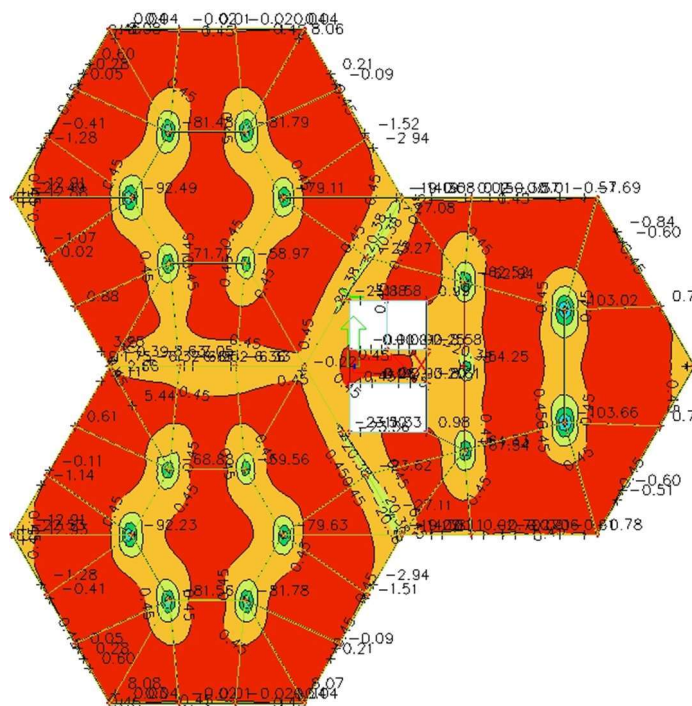
| N  | f     |
|--|-------|
| <b>Linear stability combination : Stabilnost_1</b> |       |
| 1  | 13,71 |
| 2  | 14,87 |
| <b>Linear stability combination : Stabilnost_2</b> |       |
| 1  | 13,68 |
| 2  | 14,95 |
| <b>Linear stability combination : Stabilnost_3</b> |       |
| 1  | 14,45 |
| 2  | 15,60 |
| <b>Linear stability combination : Stabilnost_4</b> |       |
| 1  | 14,38 |
| 2  | 15,76 |

Pošto je analizom dobiveno da su sve vrijednosti  $\alpha_{cr} \geq 10$ , proračun se provodi po teoriji prvog reda, tj. zanemareni su učinci drugog reda.

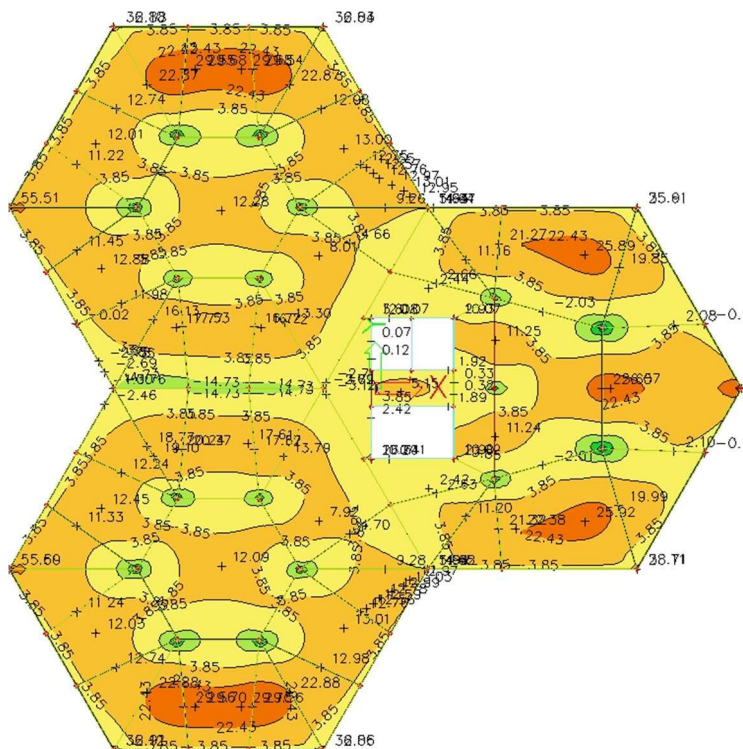
3.5.3.2. Ispis unutarnjih sila AB ploče



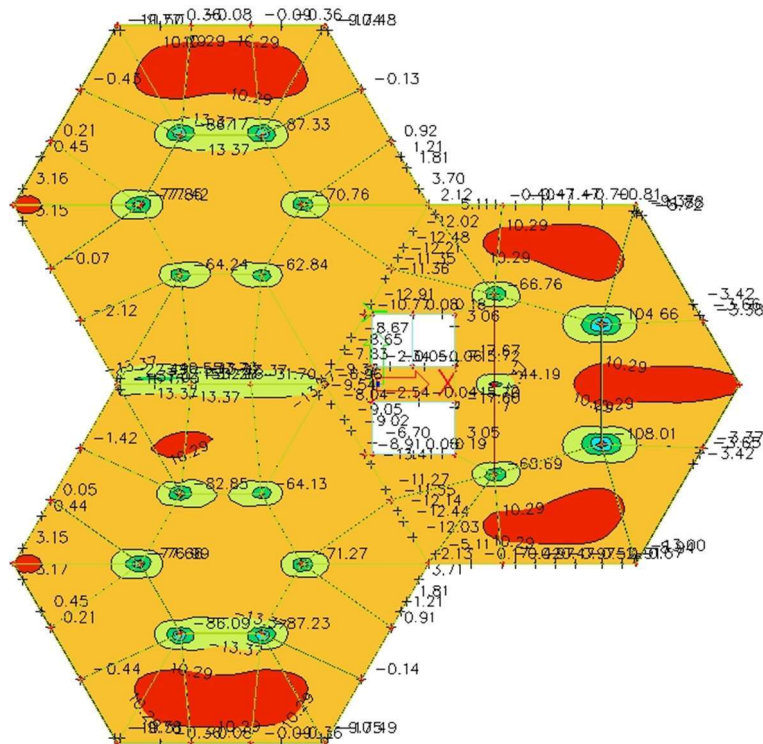
Slika 72.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSN) – polje



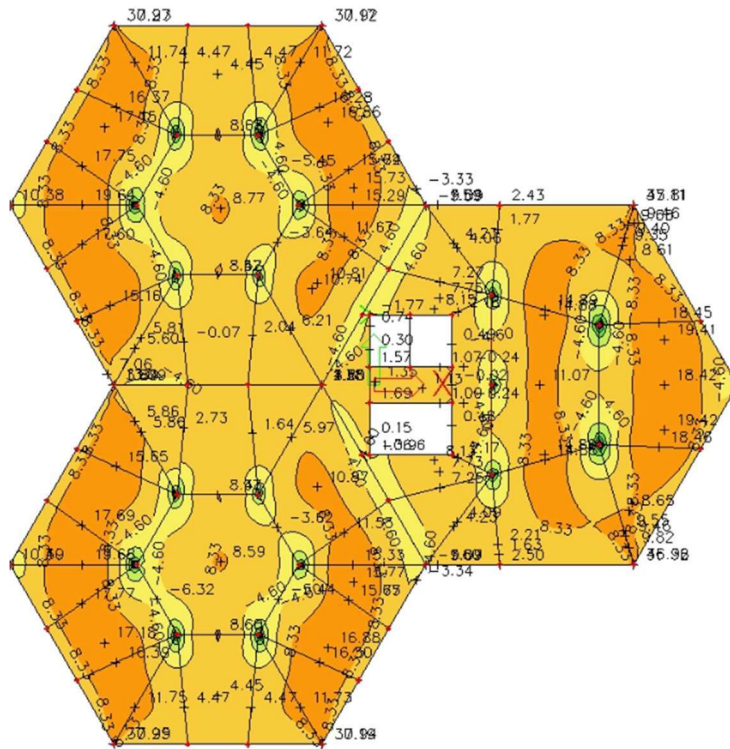
Slika 73.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSN) – ležaj



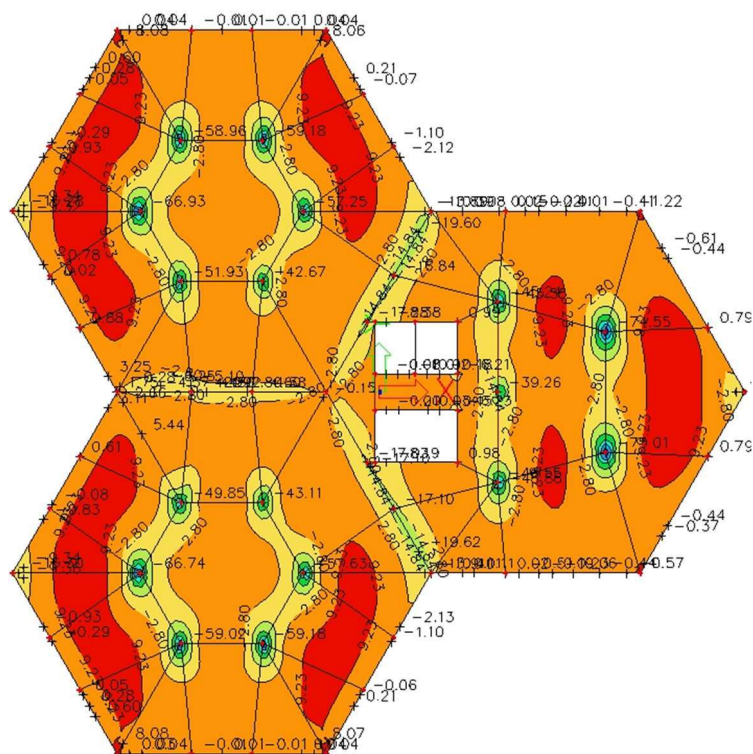
Slika 74.: Anelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSN) – polje



Slika 75.: Anelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSN) – ležaj

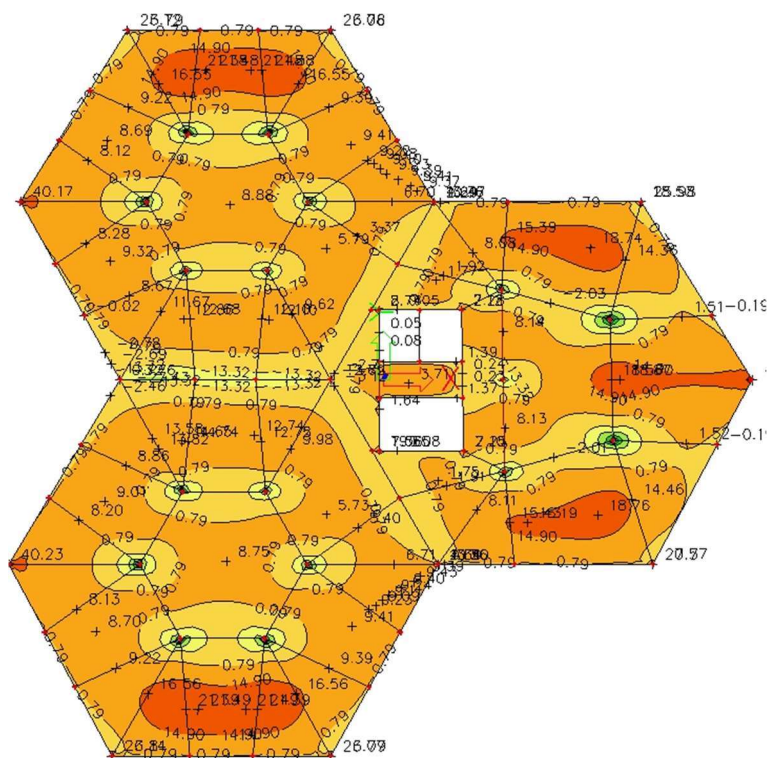


Slika 76.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – polje za  $t=0$

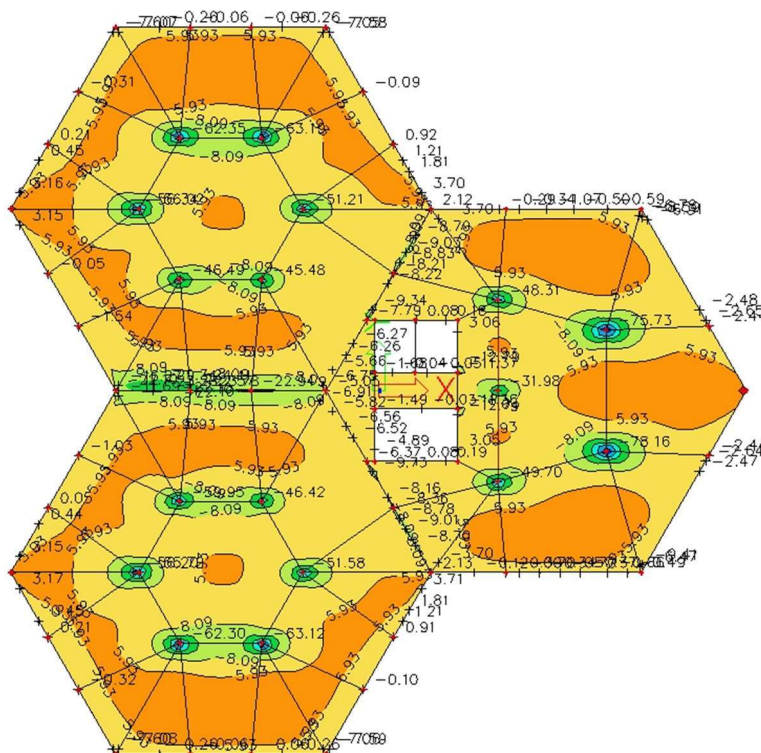


Slika 77.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – ležaj za  $t=0$

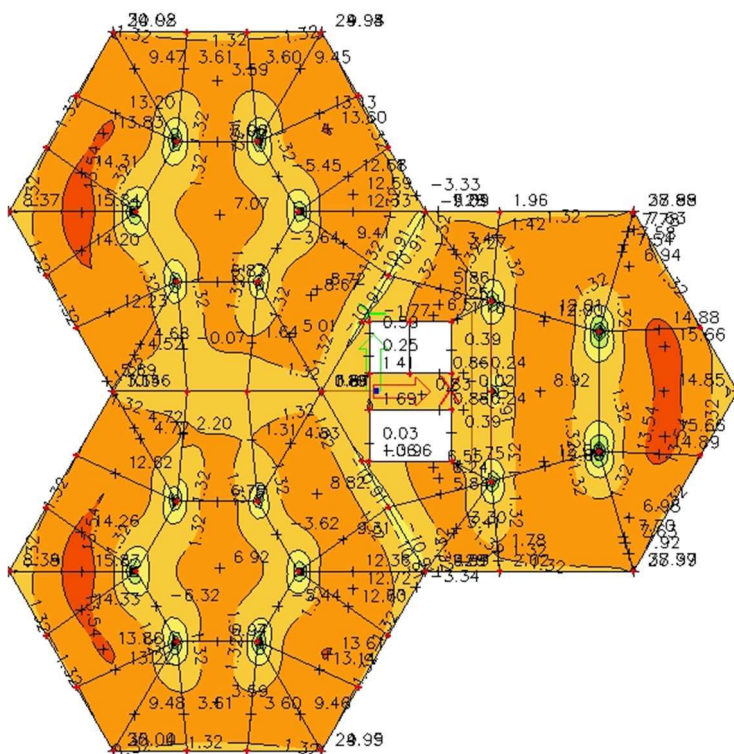




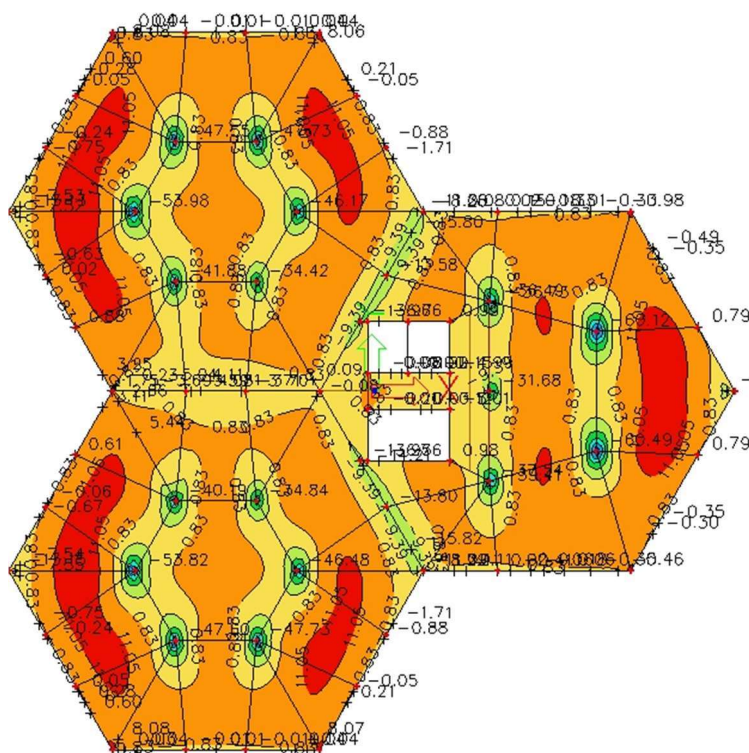
Slika 78.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – polje za t=0



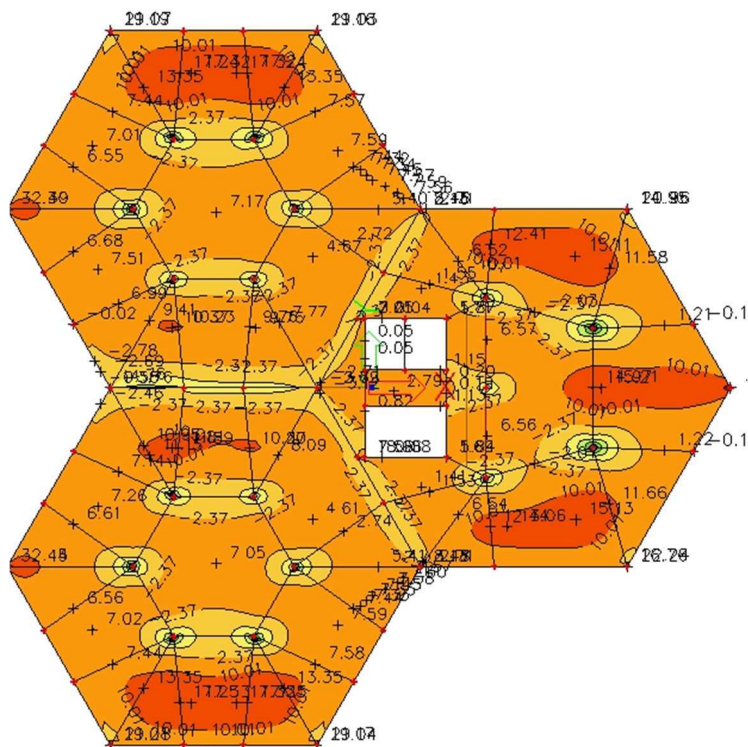
Slika 79.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – ležaj za t=0



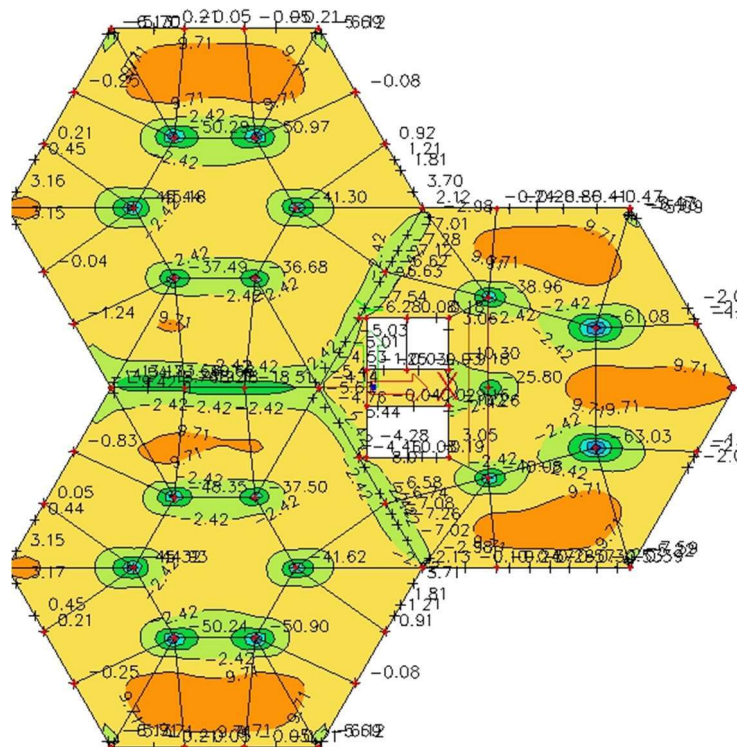
Slika 80.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – polje za  $t = \infty$



Slika 81.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – ležaj za  $t = \infty$

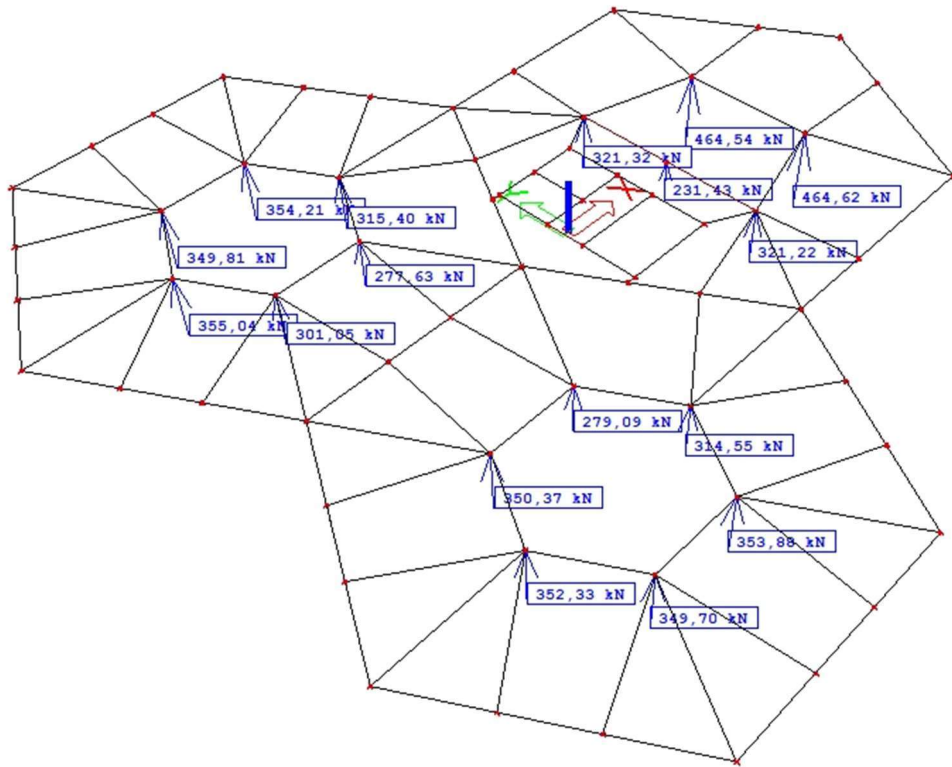


Slika 82.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – polje za  $t=\infty$

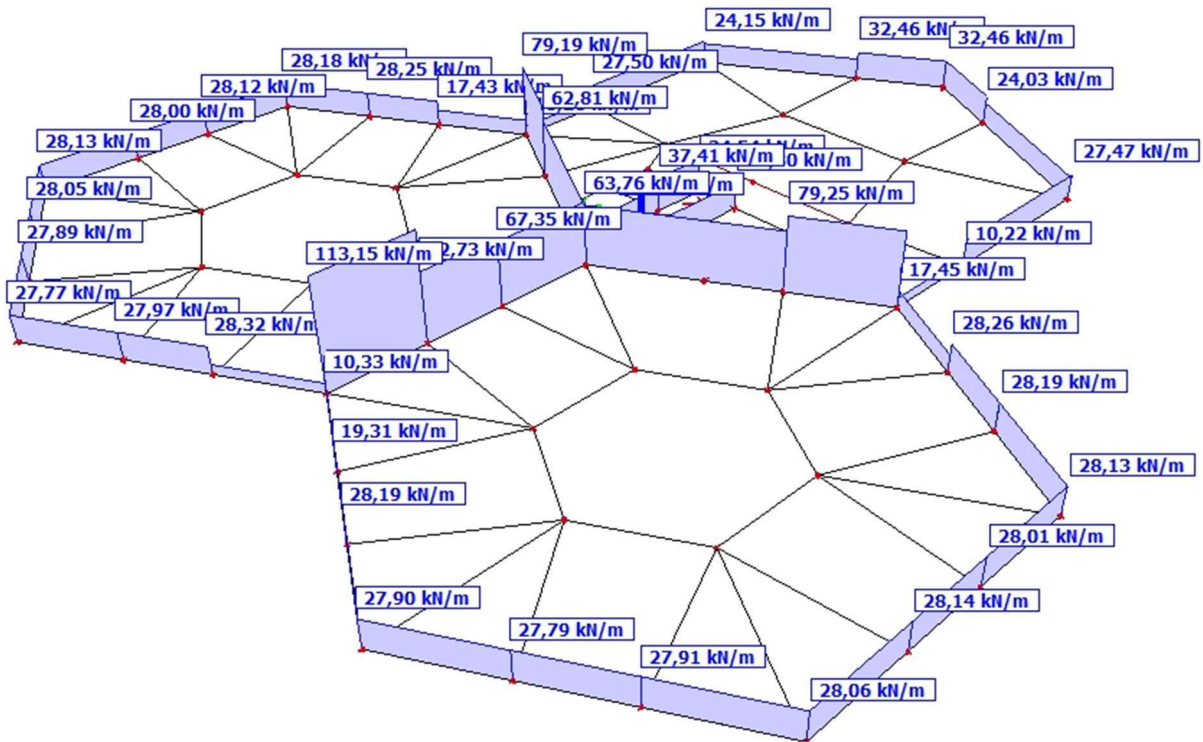


Slika 83.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – ležaj za  $t=\infty$



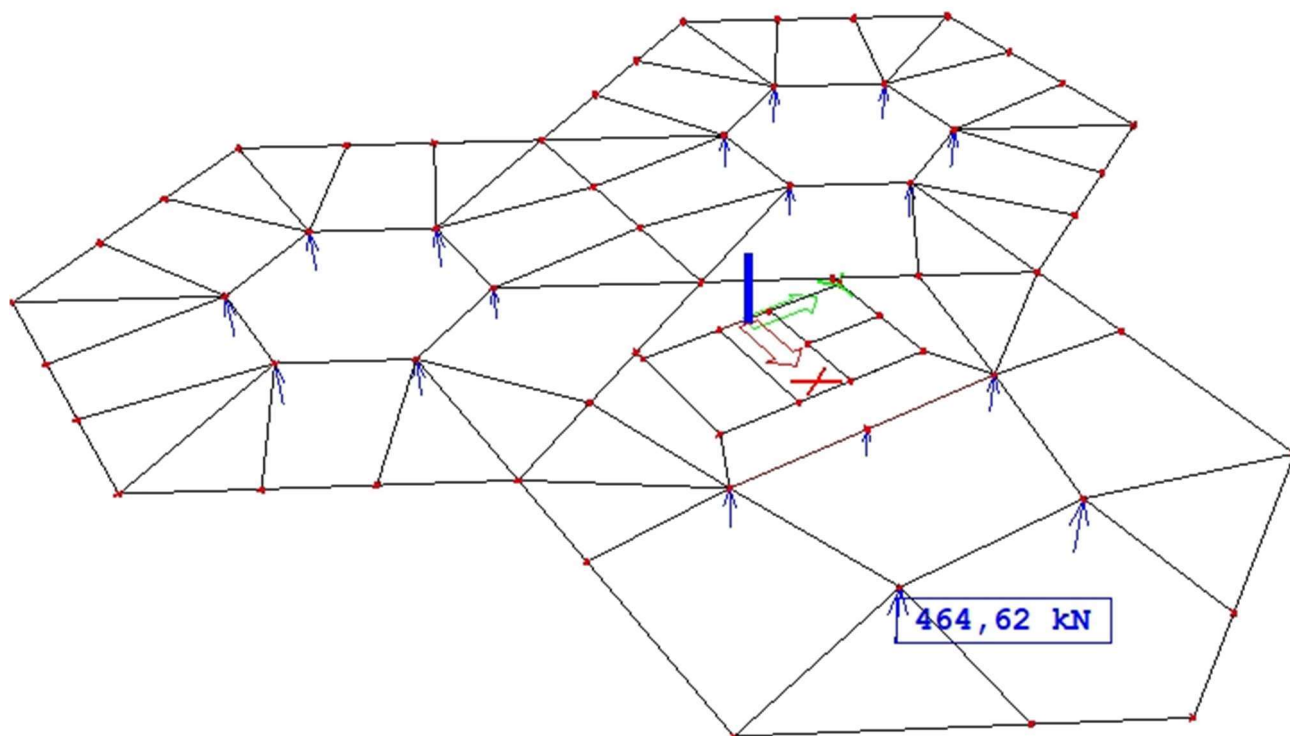


Slika 84.: Prikaz proračunske poprečne sile nad točkastim ležajevima

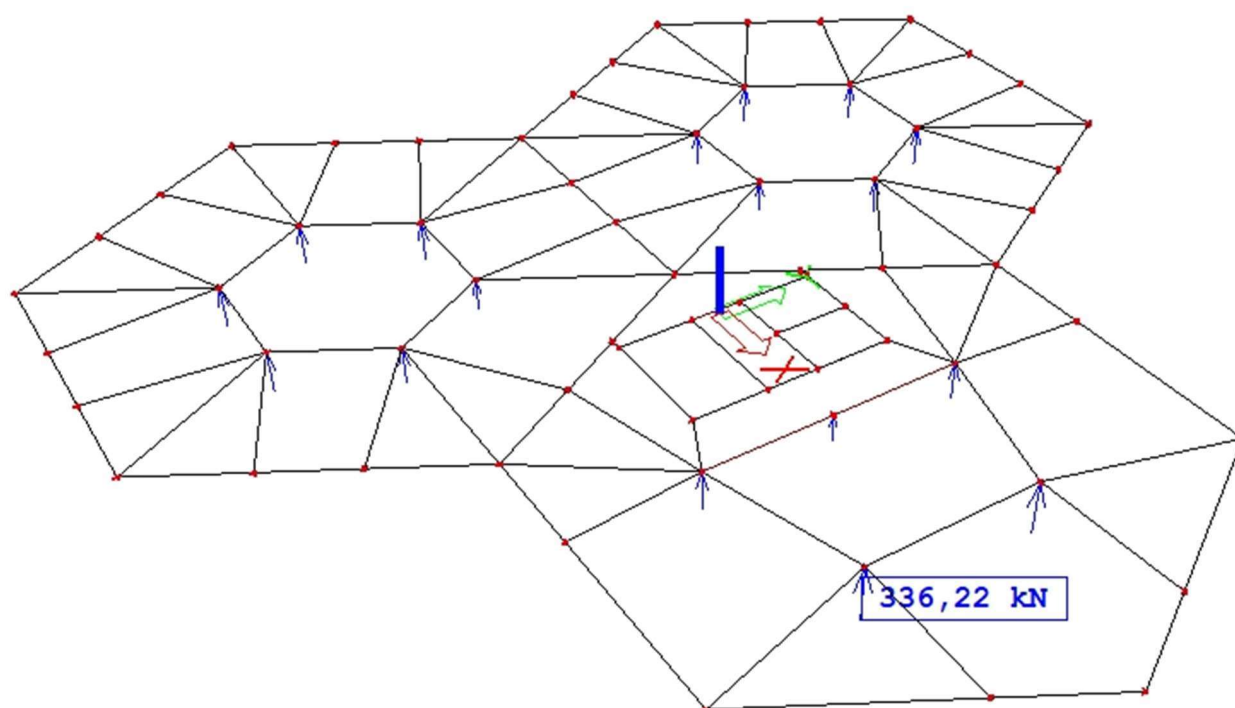


Slika 85.: Prikaz proračunske poprečne sile nad linijskim ležajevima



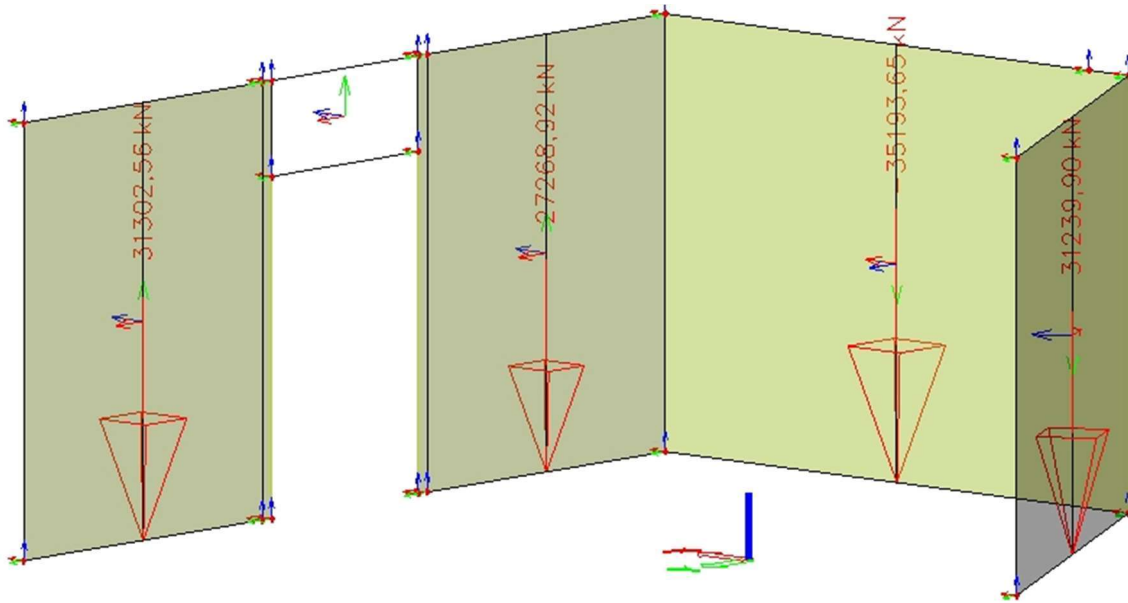


Slika 86.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem

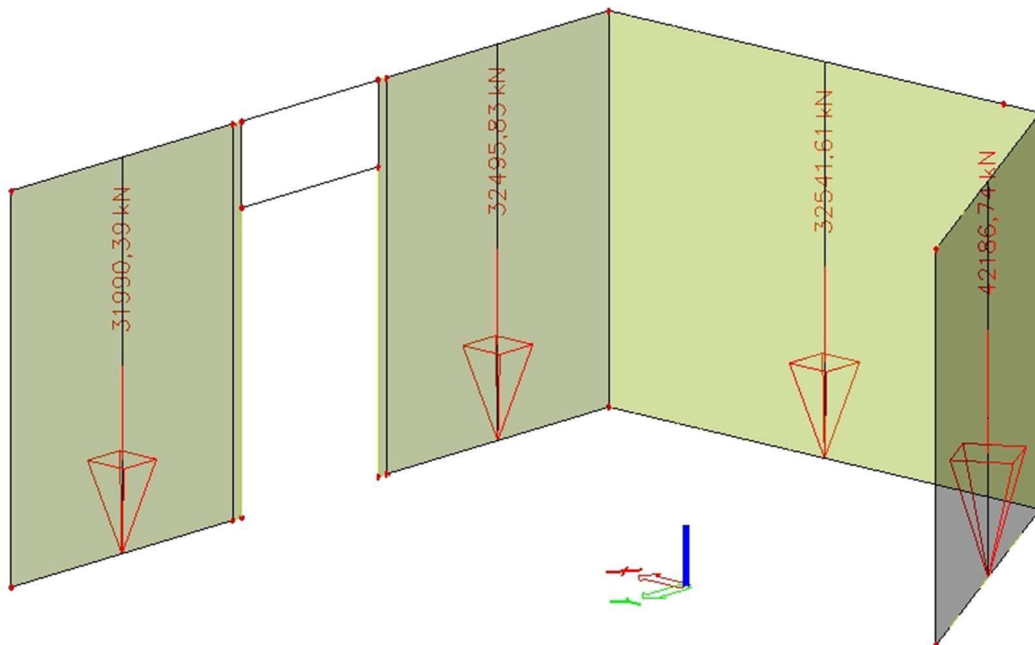


Slika 87.: Prikaz maksimalne karakteristične reakcije nad ležajem

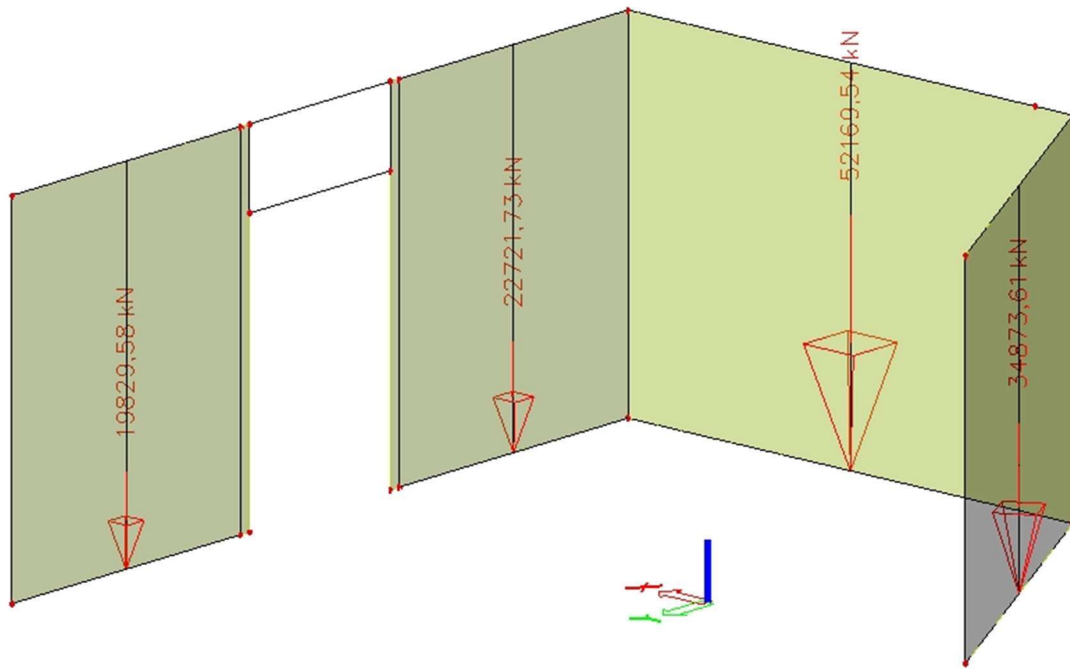
3.5.3.3. Ispis unutarnjih sila zidova AB jezgre



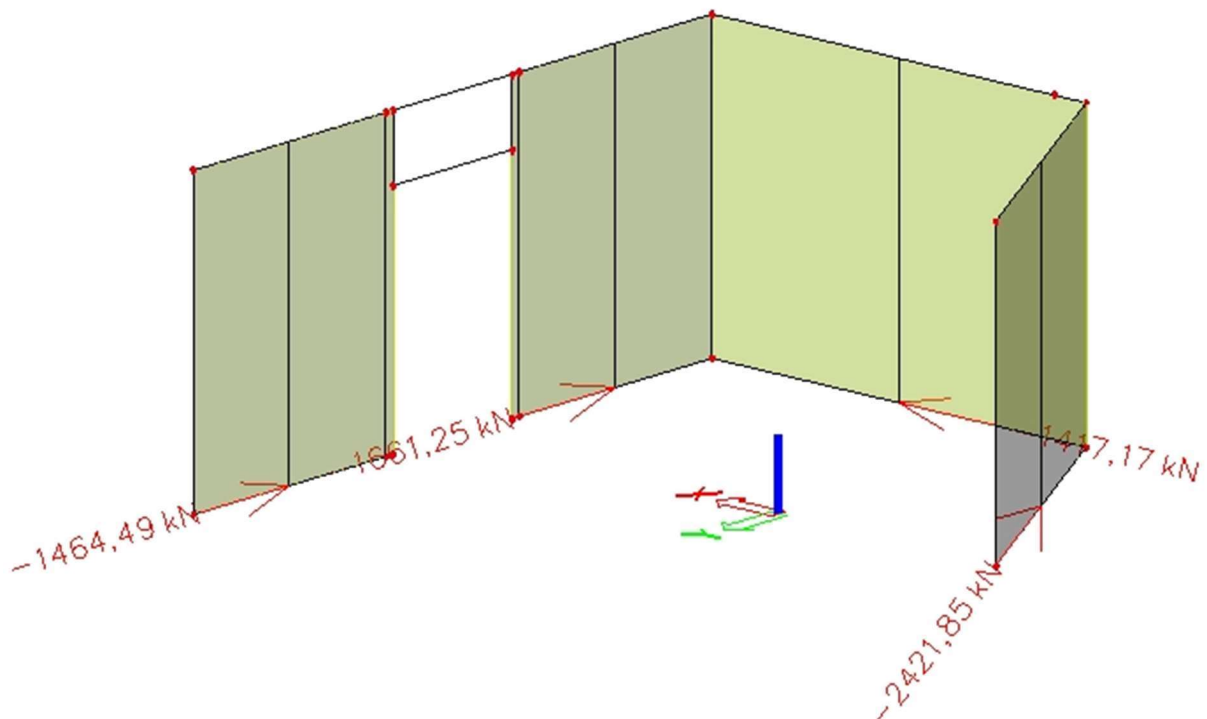
Slika 88.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN)



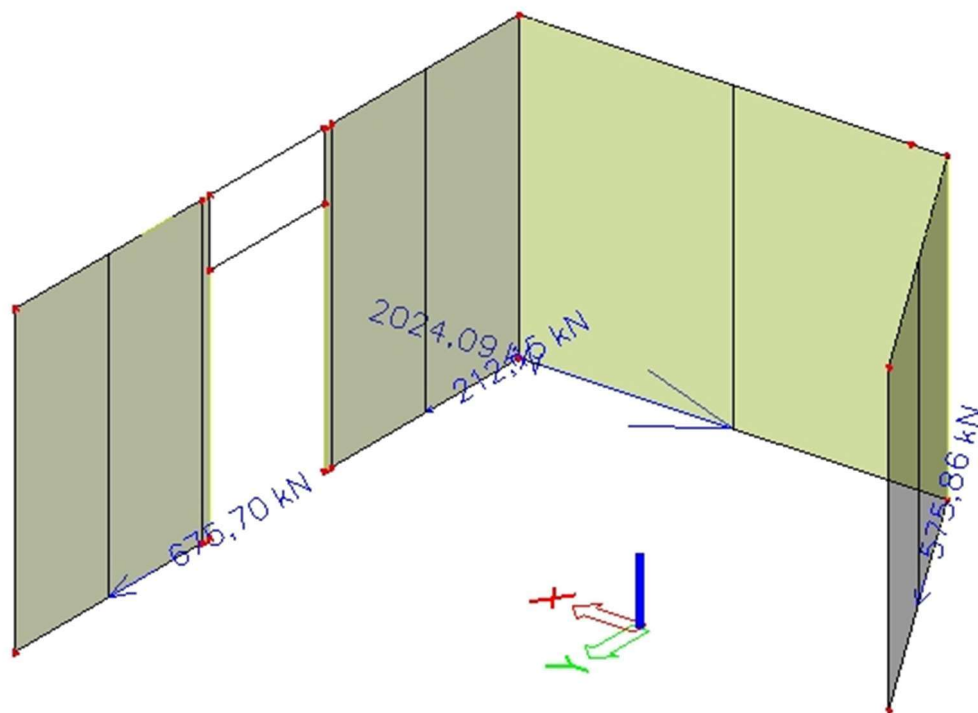
Slika 89.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – zid 1 i 3a/3b



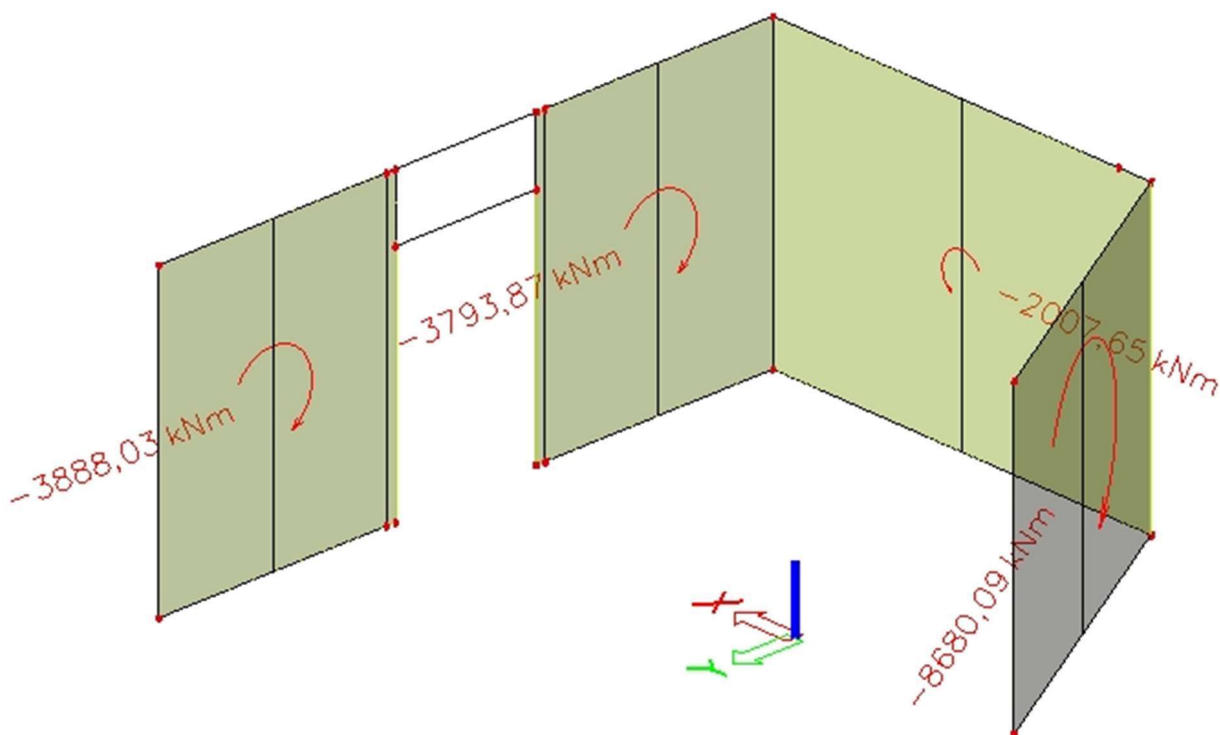
Slika 90.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – zid 2



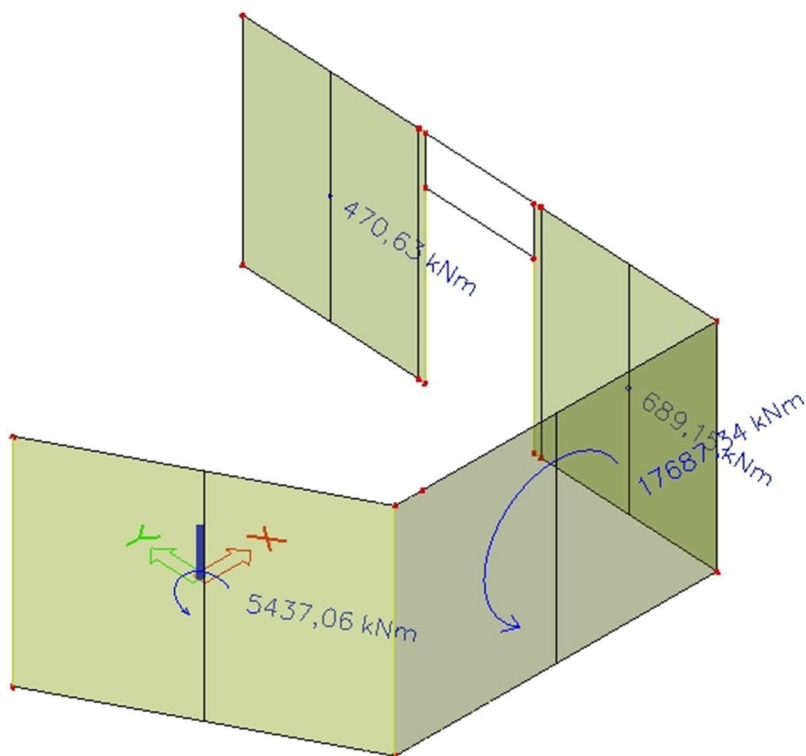
Slika 91.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija Y) – zid 1 i 3a/3b



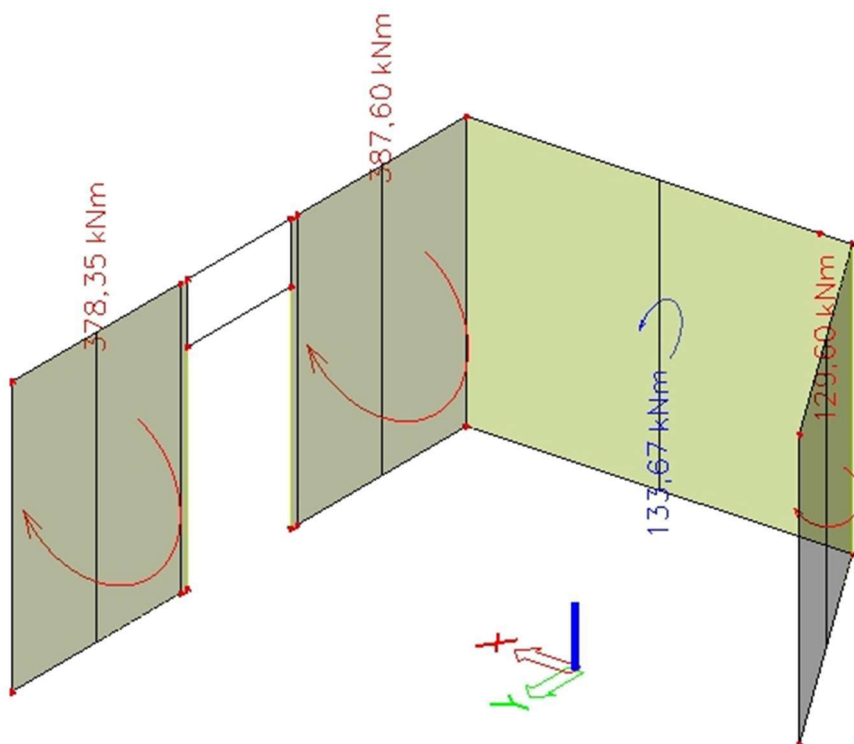
Slika 92.: Posmična sila u ravni (Seizmička kombinacija X) – zid 2



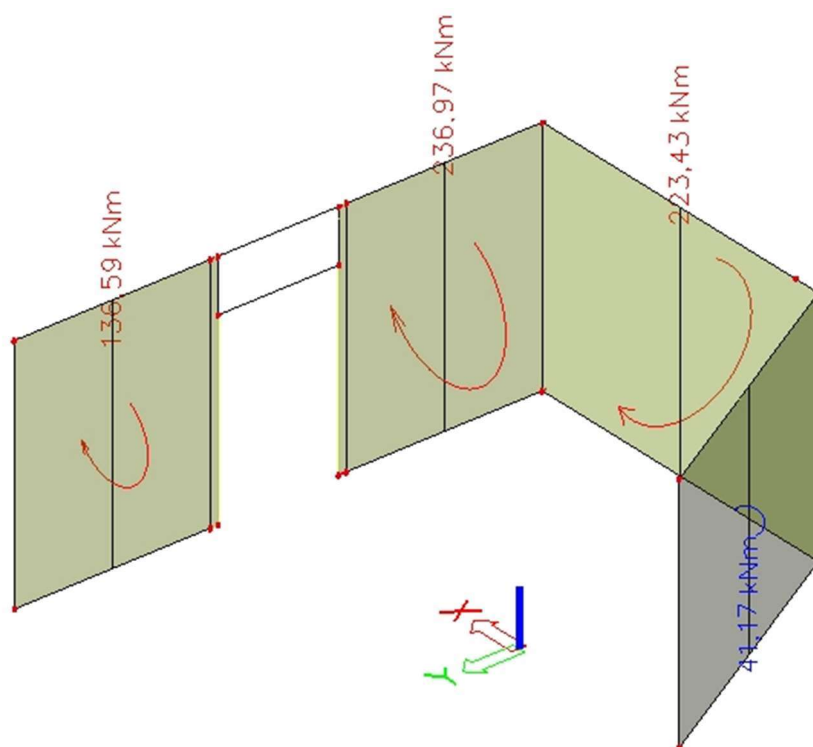
Slika 93.: Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija Y) - zid 1 i 3a/3b



Slika 94.: Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija X) - zid 2



Slika 95.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - zid 1 i 3a/3b



Slika 96.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - zid 2

## 3.5.3.4. Ispis unutarnjih sila vanjskog AB okvira

Tablica 22.: Prikaz unutarnjih sila grede B1481 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case                | N [kN]  | NEd [kN] | VEdy [kN] | VEdz [kN] | MEdx [kNm] | My [kNm] | MEdy [kNm] | MEdz [kNm] |
|-------|--------|---------------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|------------|
| B1481 | 0      | GSN kombinacija /1  | 36,36   | 0        | 0         | 20,21     | 0          | -12,12   | 0,78       | 0          |
| B1481 | 0      | GSN kombinacija /2  | 28,26   | 0        | 0         | 14,87     | 0          | -8,96    | 1,07       | 0          |
| B1481 | 0      | GSN kombinacija /3  | -119,92 | 0        | 0         | 41,13     | 0          | -72,1    | -114,67    | 0          |
| B1481 | 0      | GSN kombinacija /4  | -138,23 | 0        | 0         | 46,97     | 0          | -81,93   | -131       | 0          |
| B1481 | 0      | GSN kombinacija /5  | 26,75   | 0        | 0         | 14,99     | 0          | -8,98    | 0,52       | 0          |
| B1481 | 0      | GSN kombinacija /6  | -146,33 | 0        | 0         | 41,63     | 0          | -78,77   | -130,71    | 0          |
| B1481 | 1,848- | GSN kombinacija /15 | 49,37   | 0        | 0         | 52,34     | 0          | 1,02     | 38,67      | 0          |
| B1481 | 1,848- | GSN kombinacija /1  | 38,98   | 0        | 0         | -18,26    | 0          | 12,14    | 25,98      | 0          |
| B1481 | 1,848- | GSN kombinacija /16 | 57,45   | 0        | 0         | 5,44      | 0          | 10,15    | 31,64      | 0          |
| B1481 | 1,848- | GSN kombinacija /6  | 37      | 0        | 0         | 58,29     | 0          | -2,62    | -5,4       | 0          |
| B1481 | 1,848- | GSN kombinacija /18 | 64,28   | 0        | 0         | 46,9      | 0          | 3,72     | 43,53      | 0          |
| B1481 | 1,848- | GSN kombinacija /10 | 49,36   | 0        | 0         | 52,35     | 0          | 1,02     | 38,66      | 0          |
| B1481 | 1,848- | GSN kombinacija /14 | 25,07   | 0        | 0         | -11,5     | 0          | 8,16     | 17,06      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | GSN kombinacija /17 | 45,08   | 0        | 0         | 11,39     | 0          | 6,5      | 25,71      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | GSN kombinacija /15 | 49,37   | 0        | 0         | 52,34     | 0          | 1,02     | 38,67      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | GSN kombinacija /1  | 38,98   | 0        | 0         | -18,26    | 0          | 12,14    | 25,98      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | GSN kombinacija /16 | 57,45   | 0        | 0         | 5,44      | 0          | 10,15    | 31,64      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | GSN kombinacija /6  | 37      | 0        | 0         | 58,29     | 0          | -2,62    | -5,4       | 0          |
| B1481 | 1,848+ | GSN kombinacija /18 | 64,28   | 0        | 0         | 46,9      | 0          | 3,72     | 43,53      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | GSN kombinacija /10 | 49,36   | 0        | 0         | 52,35     | 0          | 1,02     | 38,66      | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /3  | 173,76  | 0        | 0         | 26,19     | 0          | 68,34    | 130,02     | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /22 | 149,29  | 0        | 0         | 29,01     | 0          | 78,88    | 131,87     | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /23 | 31,37   | 0        | 0         | -37,24    | 0          | -2,9     | 8,24       | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /20 | 49,65   | 0        | 0         | -21,29    | 0          | 5,31     | 28,9       | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /10 | 131,01  | 0        | 0         | 13,06     | 0          | 70,68    | 117,18     | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /6  | 157,59  | 0        | 0         | 34,3      | 0          | 82,48    | 138,43     | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /13 | -82,36  | 0        | 0         | -69,08    | 0          | -36,78   | -66,02     | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /12 | 173,75  | 0        | 0         | 26,18     | 0          | 68,33    | 130,01     | 0          |
| B1481 | 3,696  | GSN kombinacija /1  | -82,36  | 0        | 0         | -69,08    | 0          | -36,79   | -66,02     | 0          |

Tablica 23.: Prikaz unutarnjih sila grede B1481 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]  | NEd [kN] | VEdy [kN] | VEdz [kN] | MEdx [kNm] | My [kNm] | MEdy [kNm] | MEdz [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|------------|
| B1481 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | 327,01  | 0        | 0         | -40,66    | 0          | 125,62   | 241,71     | 0          |
| B1481 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -280,57 | 0        | 0         | 71,2      | 0          | -143,7   | -243,3     | 0          |
| B1481 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | -36,63  | 0        | 0         | -149,28   | 0          | 25,22    | 33,18      | 0          |
| B1481 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 86,93   | 0        | 0         | 126,2     | 0          | -8,87    | -6,17      | 0          |
| B1481 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 87,08   | 0        | 0         | 126,12    | 0          | -8,84    | -6,09      | 0          |
| B1481 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | -36,78  | 0        | 0         | -149,2    | 0          | 25,19    | 33,1       | 0          |
| B1481 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | -36,63  | 0        | 0         | -149,28   | 0          | 25,22    | 33,18      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 86,93   | 0        | 0         | 126,2     | 0          | -8,87    | -6,17      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 87,08   | 0        | 0         | 126,12    | 0          | -8,84    | -6,09      | 0          |
| B1481 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | -36,78  | 0        | 0         | -149,2    | 0          | 25,19    | 33,1       | 0          |
| B1481 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | 439,82  | 0        | 0         | 107,29    | 0          | 170,76   | 326,89     | 0          |
| B1481 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | -544,62 | 0        | 0         | -198,66   | 0          | -217,77  | -411,1     | 0          |
| B1481 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | 440,18  | 0        | 0         | 107,52    | 0          | 170,91   | 327,17     | 0          |
| B1481 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | -544,97 | 0        | 0         | -198,88   | 0          | -217,93  | -411,38    | 0          |

Tablica 24.: Prikaz unutarnjih sila grede B1480 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case                | N [kN]  | NEd [kN] | VEdy [kN] | VEdz [kN] | MEdx [kNm] | My [kNm] | MEdy [kNm] | MEdz [kNm] |
|-------|--------|---------------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|------------|
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /1  | 32,05   | 0        | 0         | 2,85      | 0          | -0,21    | 10,65      | 0          |
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /2  | -147,13 | 0        | 0         | 116,21    | 0          | -85,04   | -134,93    | 0          |
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /3  | 41,54   | 0        | 0         | -3,34     | 0          | 2,65     | 16,74      | 0          |
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /4  | -153,78 | 0        | 0         | 120,54    | 0          | -87,04   | -139,19    | 0          |
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /5  | -168,35 | 0        | 0         | 118,7     | 0          | -87,3    | -144,39    | 0          |
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /6  | -164,99 | 0        | 0         | 119,54    | 0          | -86,97   | -142,92    | 0          |
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /7  | 52,75   | 0        | 0         | -2,34     | 0          | 2,57     | 20,46      | 0          |
| B1480 | 0      | GSN kombinacija /8  | -179,56 | 0        | 0         | 117,7     | 0          | -87,23   | -148,12    | 0          |
| B1480 | 1,500- | GSN kombinacija /17 | 39,09   | 0        | 0         | 23,38     | 0          | 7,78     | 22,07      | 0          |
| B1480 | 1,500- | GSN kombinacija /18 | 26,17   | 0        | 0         | 38,15     | 0          | 8,57     | 21,45      | 0          |
| B1480 | 1,500- | GSN kombinacija /4  | 28,37   | 0        | 0         | 71,48     | 0          | 16,71    | 34,09      | 0          |
| B1480 | 1,500- | GSN kombinacija /2  | 32,07   | 0        | 0         | 69,76     | 0          | 15,84    | 34,74      | 0          |
| B1480 | 1,500- | GSN kombinacija /7  | 33,06   | 0        | 0         | -8,81     | 0          | 0,38     | 12,15      | 0          |
| B1480 | 1,500- | GSN kombinacija /6  | 21,17   | 0        | 0         | 73,13     | 0          | 16,29    | 32,12      | 0          |
| B1480 | 1,500- | GSN kombinacija /8  | 9,09    | 0        | 0         | 73,57     | 0          | 14,85    | 27,17      | 0          |
| B1480 | 1,500+ | GSN kombinacija /17 | 39,09   | 0        | 0         | 23,38     | 0          | 7,78     | 22,07      | 0          |
| B1480 | 1,500+ | GSN kombinacija /18 | 26,17   | 0        | 0         | 38,15     | 0          | 8,57     | 21,45      | 0          |
| B1480 | 1,500+ | GSN kombinacija /4  | 28,37   | 0        | 0         | 71,48     | 0          | 16,71    | 34,09      | 0          |
| B1480 | 1,500+ | GSN kombinacija /2  | 32,07   | 0        | 0         | 69,76     | 0          | 15,84    | 34,74      | 0          |
| B1480 | 1,500+ | GSN kombinacija /7  | 33,06   | 0        | 0         | -8,81     | 0          | 0,38     | 12,15      | 0          |
| B1480 | 1,500+ | GSN kombinacija /6  | 21,17   | 0        | 0         | 73,13     | 0          | 16,29    | 32,12      | 0          |
| B1480 | 1,500+ | GSN kombinacija /8  | 9,09    | 0        | 0         | 73,57     | 0          | 14,85    | 27,17      | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /15 | 211,27  | 0        | 0         | 23,31     | 0          | 47,04    | 118,69     | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /6  | 207,33  | 0        | 0         | 26,71     | 0          | 49,92    | 120,23     | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /13 | 198,49  | 0        | 0         | 30,33     | 0          | 50,9     | 118,21     | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /1  | 9,12    | 0        | 0         | -12,26    | 0          | -8,73    | -5,63      | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /2  | 211,26  | 0        | 0         | 23,31     | 0          | 47,04    | 118,68     | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /11 | 12,3    | 0        | 0         | -16,56    | 0          | -11,78   | -7,61      | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /10 | 198,48  | 0        | 0         | 30,32     | 0          | 50,9     | 118,21     | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /23 | 12,28   | 0        | 0         | -16,56    | 0          | -11,78   | -7,61      | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /24 | 208,09  | 0        | 0         | 27,6      | 0          | 50,09    | 120,66     | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /7  | 13,36   | 0        | 0         | -15,28    | 0          | -11,53   | -7         | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /8  | 197,73  | 0        | 0         | 29,43     | 0          | 50,72    | 117,78     | 0          |
| B1480 | 3      | GSN kombinacija /16 | 9,1     | 0        | 0         | -12,27    | 0          | -8,73    | -5,64      | 0          |

Tablica 25.: Prikaz unutarnjih sila grede B1480 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]  | NEd [kN] | VEdy [kN] | VEdz [kN] | MEdx [kNm] | My [kNm] | MEdy [kNm] | MEdz [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|------------|
| B1480 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | 459,41  | 0        | 0         | -253,04   | 0          | 188,81   | 344,61     | 0          |
| B1480 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -395,08 | 0        | 0         | 258,57    | 0          | -189,16  | -323,14    | 0          |
| B1480 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | 459,7   | 0        | 0         | -253,23   | 0          | 188,89   | 344,79     | 0          |
| B1480 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -395,36 | 0        | 0         | 258,76    | 0          | -189,24  | -323,32    | 0          |
| B1480 | 1,500- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 28,52   | 0        | 0         | -174,8    | 0          | -32,43   | -49,44     | 0          |
| B1480 | 1,500- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 12,76   | 0        | 0         | 165,32    | 0          | 34,79    | 60,7       | 0          |
| B1480 | 1,500+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 28,52   | 0        | 0         | -174,8    | 0          | -32,43   | -49,44     | 0          |
| B1480 | 1,500+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 12,76   | 0        | 0         | 165,32    | 0          | 34,79    | 60,7       | 0          |
| B1480 | 3      | Seizmička kombinacija Y - 475 | 445,95  | 0        | 0         | 71,88     | 0          | 118,65   | 269,89     | 0          |
| B1480 | 3      | Seizmička kombinacija Y - 475 | 445,98  | 0        | 0         | 71,92     | 0          | 118,66   | 269,91     | 0          |
| B1480 | 3      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -427,72 | 0        | 0         | -96,38    | 0          | -136,1   | -281,15    | 0          |
| B1480 | 3      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -427,75 | 0        | 0         | -96,42    | 0          | -136,1   | -281,17    | 0          |



Tablica 26.: Prikaz unutarnjih sila grede B1479 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case                | N [kN]  | NEd [kN] | VEdy [kN] | VEDz [kN] | MEdx [kNm] | My [kNm] | MEdy [kNm] | MEdz [kNm] |
|-------|--------|---------------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|------------|
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /1  | -279    | 0        | 0         | 160       | 0          | -140,54  | -239,58    | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /2  | -80,77  | 0        | 0         | 76,16     | 0          | -33,34   | -62,01     | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /3  | -59,83  | 0        | 0         | 56,41     | 0          | -24,69   | -45,93     | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /4  | -92,61  | 0        | 0         | 86,69     | 0          | -38,34   | -71,21     | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /5  | -270,71 | 0        | 0         | 152,63    | 0          | -137,04  | -233,14    | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /6  | -299,93 | 0        | 0         | 179,75    | 0          | -149,19  | -255,66    | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /7  | -299,94 | 0        | 0         | 179,75    | 0          | -149,19  | -255,66    | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /8  | -329,6  | 0        | 0         | 173,63    | 0          | -135,6   | -252,61    | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /9  | -59,84  | 0        | 0         | 56,42     | 0          | -24,69   | -45,94     | 0          |
| B1479 | 0      | GSN kombinacija /10 | -329,61 | 0        | 0         | 173,63    | 0          | -135,6   | -252,61    | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /20 | 33,02   | 0        | 0         | 30,55     | 0          | 9,3      | 24,92      | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /10 | -3,45   | 0        | 0         | 55,94     | 0          | 9,47     | 18,81      | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /19 | 24,99   | 0        | 0         | 28,02     | 0          | 7,74     | 21,03      | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /7  | 16,26   | 0        | 0         | 58,78     | 0          | 11,47    | 28,8       | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /6  | 16,26   | 0        | 0         | 58,78     | 0          | 11,47    | 28,8       | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /21 | 24,99   | 0        | 0         | 28,02     | 0          | 7,74     | 21,03      | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /8  | -3,45   | 0        | 0         | 55,94     | 0          | 9,47     | 18,81      | 0          |
| B1479 | 1,848- | GSN kombinacija /17 | -11,48  | 0        | 0         | 53,4      | 0          | 7,91     | 14,92      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /20 | 33,02   | 0        | 0         | 30,55     | 0          | 9,3      | 24,92      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /10 | -3,45   | 0        | 0         | 55,94     | 0          | 9,47     | 18,81      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /19 | 24,99   | 0        | 0         | 28,02     | 0          | 7,74     | 21,03      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /7  | 16,26   | 0        | 0         | 58,78     | 0          | 11,47    | 28,8       | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /6  | 16,26   | 0        | 0         | 58,78     | 0          | 11,47    | 28,8       | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /21 | 24,99   | 0        | 0         | 28,02     | 0          | 7,74     | 21,03      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /8  | -3,45   | 0        | 0         | 55,94     | 0          | 9,47     | 18,81      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | GSN kombinacija /17 | -11,48  | 0        | 0         | 53,4      | 0          | 7,91     | 14,92      | 0          |
| B1479 | 3,696  | GSN kombinacija /7  | 222,61  | 0        | 0         | 16,61     | 0          | 66,77    | 145,79     | 0          |
| B1479 | 3,696  | GSN kombinacija /23 | 137,77  | 0        | 0         | 5,27      | 0          | 34,06    | 82,97      | 0          |
| B1479 | 3,696  | GSN kombinacija /2  | 38,49   | 0        | 0         | -12,39    | 0          | -6,44    | 7,22       | 0          |
| B1479 | 3,696  | GSN kombinacija /1  | 212,63  | 0        | 0         | 19,82     | 0          | 68,44    | 143,92     | 0          |
| B1479 | 3,696  | GSN kombinacija /14 | 45,8    | 0        | 0         | -11,22    | 0          | -5,39    | 10,87      | 0          |
| B1479 | 3,696  | GSN kombinacija /13 | 207,51  | 0        | 0         | 19        | 0          | 67,7     | 141,36     | 0          |
| B1479 | 3,696  | GSN kombinacija /3  | 28,51   | 0        | 0         | -9,18     | 0          | -4,77    | 5,35       | 0          |

Tablica 27.: Prikaz unutarnjih sila grede B1479 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]  | NEd [kN] | VEdy [kN] | VEDz [kN] | MEdx [kNm] | My [kNm] | MEdy [kNm] | MEdz [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|----------|------------|------------|
| B1479 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | 378     | 0        | 0         | -154,58   | 0          | 226,15   | 360,34     | 0          |
| B1479 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -498,01 | 0        | 0         | 267,72    | 0          | -275,69  | -452,48    | 0          |
| B1479 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | 378,36  | 0        | 0         | -154,89   | 0          | 226,3    | 360,61     | 0          |
| B1479 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -498,37 | 0        | 0         | 268,04    | 0          | -275,84  | -452,75    | 0          |
| B1479 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 5,18    | 0        | 0         | 116,6     | 0          | 18,12    | 48,82      | 0          |
| B1479 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 27,27   | 0        | 0         | -105,19   | 0          | -9,77    | -32,68     | 0          |
| B1479 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 27,16   | 0        | 0         | -105,21   | 0          | -9,77    | -32,72     | 0          |
| B1479 | 1,848- | Seizmička kombinacija Y - 475 | 5,08    | 0        | 0         | 116,58    | 0          | 18,12    | 48,77      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 5,18    | 0        | 0         | 116,6     | 0          | 18,12    | 48,82      | 0          |
| B1479 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 27,27   | 0        | 0         | -105,19   | 0          | -9,77    | -32,68     | 0          |
| B1479 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 27,16   | 0        | 0         | -105,21   | 0          | -9,77    | -32,72     | 0          |
| B1479 | 1,848+ | Seizmička kombinacija Y - 475 | 5,08    | 0        | 0         | 116,58    | 0          | 18,12    | 48,77      | 0          |
| B1479 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | 427,87  | 0        | 0         | 52,18     | 0          | 156,28   | 308,17     | 0          |
| B1479 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | -370,41 | 0        | 0         | -70,47    | 0          | -165,76  | -297,25    | 0          |
| B1479 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | 427,65  | 0        | 0         | 52,14     | 0          | 156,25   | 308,06     | 0          |
| B1479 | 3,696  | Seizmička kombinacija Y - 475 | -370,63 | 0        | 0         | -70,51    | 0          | -165,79  | -297,36    | 0          |

Tablica 28.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1357 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case               | N [kN]    | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|--------------------|-----------|---------|----------|
| B1357 | 0      | GSN kombinacija /1 | -10591,71 | 54,77   | -152,03  |
| B1357 | 0      | GSN kombinacija /2 | -5607,47  | 33,37   | -98,57   |
| B1357 | 0      | GSN kombinacija /3 | -10567,92 | 89,56   | -246,58  |
| B1357 | 0      | GSN kombinacija /4 | -6812,19  | 1,82    | -6,87    |
| B1357 | 0      | GSN kombinacija /5 | -7495,42  | 88,86   | -243,72  |
| B1357 | 0      | GSN kombinacija /6 | -10179,64 | 2,54    | -9,93    |
| B1357 | 3,4    | GSN kombinacija /1 | -10517,55 | 54,77   | 23,22    |
| B1357 | 3,4    | GSN kombinacija /2 | -5552,54  | 33,37   | 8,21     |
| B1357 | 3,4    | GSN kombinacija /3 | -10493,75 | 89,56   | 40,01    |
| B1357 | 3,4    | GSN kombinacija /7 | -10110,81 | 2,54    | -1,79    |
| B1357 | 3,4    | GSN kombinacija /8 | -7435,15  | 88,86   | 40,64    |
| B1357 | 3,4    | GSN kombinacija /9 | -8611,14  | 34,07   | 7,58     |

Tablica 29.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1357 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]   | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| B1357 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8940,18 | 187,52  | -507,39  |
| B1357 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4713,7  | -183,87 | 493,62   |
| B1357 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8910,68 | 187,51  | -507,37  |
| B1357 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4743,2  | -183,86 | 493,6    |
| B1357 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8885,24 | 187,52  | 94,53    |
| B1357 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4658,77 | -183,87 | -96,62   |
| B1357 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4688,26 | -183,86 | -96,63   |
| B1357 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8855,75 | 187,51  | 94,54    |

Tablica 30.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1521 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case               | N [kN]    | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|--------------------|-----------|---------|----------|
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /1 | -10384,35 | 76,33   | -163,65  |
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /2 | -5474,67  | 45,81   | -102,84  |
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /3 | -9970,58  | -5,07   | -0,41    |
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /4 | -7355,6   | 132,72  | -272,86  |
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /5 | -9688,69  | 131,69  | -273,15  |
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /6 | -7637,49  | -4,04   | -0,13    |
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /7 | -10365,01 | 130,93  | -272,68  |
| B1521 | 0      | GSN kombinacija /8 | -5480     | 45,81   | -102,83  |
| B1521 | 3,4    | GSN kombinacija /1 | -10310,19 | 76,33   | 80,62    |
| B1521 | 3,4    | GSN kombinacija /2 | -5419,73  | 45,81   | 43,76    |
| B1521 | 3,4    | GSN kombinacija /3 | -9896,42  | -5,07   | -16,62   |
| B1521 | 3,4    | GSN kombinacija /4 | -7300,66  | 132,72  | 151,84   |
| B1521 | 3,4    | GSN kombinacija /9 | -8415,25  | 44,02   | 38,21    |

Tablica 31.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1521 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]   | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| B1521 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8750,44 | 275,13  | -550,18  |
| B1521 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4610,52 | -281,06 | 548,59   |
| B1521 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4639,5  | -281,09 | 548,61   |
| B1521 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8721,46 | 275,17  | -550,2   |
| B1521 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8695,51 | 275,13  | 330,95   |
| B1521 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4555,58 | -281,06 | -351,51  |
| B1521 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -4584,56 | -281,09 | -351,59  |
| B1521 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8666,52 | 275,17  | 331,03   |

Tablica 32.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1356 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case               | N [kN]    | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|--------------------|-----------|---------|----------|
| B1356 | 0      | GSN kombinacija /1 | -11788,68 | 92,82   | -252,36  |
| B1356 | 0      | GSN kombinacija /2 | -6248,06  | 40,29   | -107,01  |
| B1356 | 0      | GSN kombinacija /3 | -7121,33  | 4,92    | -11,13   |
| B1356 | 0      | GSN kombinacija /4 | -10362,99 | 93,32   | -252,06  |
| B1356 | 3,4    | GSN kombinacija /1 | -11714,51 | 92,82   | 44,67    |
| B1356 | 3,4    | GSN kombinacija /2 | -6193,13  | 40,29   | 21,91    |
| B1356 | 3,4    | GSN kombinacija /3 | -7066,39  | 4,92    | 4,61     |
| B1356 | 3,4    | GSN kombinacija /4 | -10288,83 | 93,32   | 46,56    |
| B1356 | 3,4    | GSN kombinacija /5 | -8495,92  | 90,27   | 41,76    |
| B1356 | 3,4    | GSN kombinacija /6 | -9411,72  | 42,84   | 24,82    |

Tablica 33.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1356 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]   | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| B1356 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -8030,42 | 198,32  | -521     |
| B1356 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6243,94 | -188,45 | 498,69   |
| B1356 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -7975,49 | 198,32  | 114,97   |
| B1356 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6189,01 | -188,45 | -105,71  |
| B1356 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -7943,78 | 198,28  | 114,92   |
| B1356 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6220,72 | -188,41 | -105,65  |

Tablica 34.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1520 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case               | N [kN]    | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|--------------------|-----------|---------|----------|
| B1520 | 0      | GSN kombinacija /1 | -11509,36 | 133,25  | -273,04  |
| B1520 | 0      | GSN kombinacija /2 | -6069,65  | 61,31   | -122,72  |
| B1520 | 0      | GSN kombinacija /3 | -11252,78 | 82,55   | -169,39  |
| B1520 | 0      | GSN kombinacija /4 | -6952,64  | 3,32    | -7,66    |
| B1520 | 0      | GSN kombinacija /5 | -10086,11 | 139,08  | -281,82  |
| B1520 | 0      | GSN kombinacija /6 | -11503,94 | 133,26  | -273,04  |
| B1520 | 0      | GSN kombinacija /7 | -6075,08  | 61,31   | -122,72  |
| B1520 | 3,4    | GSN kombinacija /1 | -11435,2  | 133,25  | 153,38   |
| B1520 | 3,4    | GSN kombinacija /2 | -6014,72  | 61,31   | 73,48    |
| B1520 | 3,4    | GSN kombinacija /3 | -11178,62 | 82,55   | 94,77    |
| B1520 | 3,4    | GSN kombinacija /4 | -6897,7   | 3,32    | 2,97     |
| B1520 | 3,4    | GSN kombinacija /5 | -10011,94 | 139,08  | 163,22   |
| B1520 | 3,4    | GSN kombinacija /8 | -8299,54  | 131,13  | 150,97   |
| B1520 | 3,4    | GSN kombinacija /9 | -9150,37  | 63,44   | 75,89    |

Tablica 35.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1520 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]   | Vz [kN] | My [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|----------|---------|----------|
| B1520 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -7861,08 | 296,18  | -578,07  |
| B1520 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6053,34 | -289,49 | 562,67   |
| B1520 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -7806,15 | 296,18  | 370,28   |
| B1520 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -5998,41 | -289,49 | -364,26  |
| B1520 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -7775,3  | 296,14  | 370,22   |
| B1520 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6029,26 | -289,45 | -364,2   |

Tablica 36.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1446 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case               | N [kN]    | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|-------|--------|--------------------|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| B1446 | 0      | GSN kombinacija /1 | -27783,67 | 175,76  | -98,34  | -29,69   | 385,63   | -1049,52 |
| B1446 | 0      | GSN kombinacija /2 | -14082,59 | 174,92  | 5,55    | -28,54   | -78,39   | -1049,01 |
| B1446 | 0      | GSN kombinacija /3 | -15729,09 | 0,16    | -19,73  | -0,16    | 41,31    | -19,7    |
| B1446 | 0      | GSN kombinacija /4 | -24188,8  | 276,29  | -46,29  | -45,38   | 139,38   | -1649,7  |
| B1446 | 3,4    | GSN kombinacija /1 | -27614,81 | 175,76  | -97,64  | -29,69   | 72,05    | -487,08  |
| B1446 | 3,4    | GSN kombinacija /2 | -13957,51 | 174,58  | 5,25    | -28,54   | -61,1    | -489,81  |
| B1446 | 3,4    | GSN kombinacija /4 | -24019,94 | 275,95  | -46,18  | -45,38   | -8,56    | -766,11  |
| B1446 | 3,4    | GSN kombinacija /5 | -20973,43 | 174,74  | -4,78   | -28,6    | -73,34   | -498,28  |
| B1446 | 3,4    | GSN kombinacija /6 | -20598,89 | 175,6   | -87,61  | -29,63   | 84,29    | -478,61  |
| B1446 | 3,4    | GSN kombinacija /7 | -24032,35 | 275,95  | -46,19  | -45,38   | -8,57    | -766,11  |
| B1446 | 3,4    | GSN kombinacija /8 | -15579,18 | 0,16    | -19,71  | -0,16    | -21,8    | -19,19   |

Tablica 37.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1446 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]    | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| B1446 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -16847,84 | 703,95  | -38,59  | -134,72  | 128      | -3876,05 |
| B1446 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -14627,14 | -703,63 | -0,96   | 134,39   | -45,23   | 3836,55  |
| B1446 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -16722,76 | 703,95  | -38,59  | -134,72  | 5,14     | -1632,34 |
| B1446 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -14502,06 | -703,63 | -0,96   | 134,39   | -48,93   | 1593,89  |
| B1446 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -14568,52 | -703,62 | -1,09   | 134,39   | -49,13   | 1593,81  |
| B1446 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -16656,3  | 703,95  | -38,46  | -134,72  | 5,34     | -1632,27 |

Tablica 38.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1447 – GSN kombinacija

| Name  | dx [m] | Case               | N [kN]    | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|-------|--------|--------------------|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| B1447 | 0      | GSN kombinacija /1 | -21316,65 | 218,54  | -28,65  | -36,64   | 39,43    | -1183,06 |
| B1447 | 0      | GSN kombinacija /2 | -10440,4  | 26,93   | 38,66   | -5,07    | -232,28  | -163     |
| B1447 | 0      | GSN kombinacija /3 | -14065,18 | 26,18   | -19,81  | -3,02    | 36,22    | -93,99   |
| B1447 | 0      | GSN kombinacija /4 | -21016,28 | 337,17  | -25,98  | -57,86   | 26,6     | -1875,95 |
| B1447 | 0      | GSN kombinacija /5 | -20908,3  | 38,98   | -30,83  | -4,57    | 55,65    | -138,51  |
| B1447 | 0      | GSN kombinacija /6 | -10905,28 | 205,7   | 39,94   | -36,73   | -244,42  | -1204,84 |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /1 | -21147,8  | 218,3   | -28,65  | -36,64   | -52,25   | -484,11  |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /2 | -10315,32 | 27,1    | 38,07   | -5,07    | -109,52  | -76,57   |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /4 | -20847,42 | 336,77  | -25,98  | -57,86   | -56,52   | -797,65  |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /6 | -10780,2  | 205,63  | 39,34   | -36,73   | -117,58  | -546,71  |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /7 | -17006,93 | 217,34  | 29,54   | -38,14   | -131,52  | -550,29  |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /3 | -13940,1  | 26,18   | -19,81  | -3,02    | -27,16   | -10,2    |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /8 | -20835,82 | 336,74  | -25,96  | -57,86   | -56,51   | -797,67  |
| B1447 | 3,4    | GSN kombinacija /9 | -13963,29 | 26,23   | -19,83  | -3,02    | -27,19   | -10,15   |

Tablica 39.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1447 – seizmička kombinacija Y (475 godina)

| Name  | dx [m] | Case                          | N [kN]    | Vy [kN] | Vz [kN] | Mx [kNm] | My [kNm] | Mz [kNm] |
|-------|--------|-------------------------------|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| B1447 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -21257,75 | 439,93  | -159,87 | -100,71  | 683      | -2382,72 |
| B1447 | 0      | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6929,86  | -387,46 | 120,13  | 94,66    | -610,35  | 2194,39  |
| B1447 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -21132,67 | 439,93  | -159,87 | -100,71  | 172,78   | -984,85  |
| B1447 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6804,78  | -387,46 | 120,13  | 94,66    | -227,28  | 964,44   |
| B1447 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -6862,04  | -387,35 | 120,01  | 94,64    | -227,47  | 964,44   |
| B1447 | 3,4    | Seizmička kombinacija Y - 475 | -21075,41 | 439,83  | -159,75 | -100,69  | 172,97   | -984,85  |

Rubni stupovi B1446 i B1447 su poligonalni stupovi, te su u programu SCIA Engineer [2] osi stupova u smjeru glavnih osi. Zato se javljaju značajni momenti u oba smjera. Prikaz dimenzioniranja ovih stupova iz SCIA Engineer [2] dan u poglavlju 3.6.5.14.

### 3.6. Dimenzioniranje elemenata ploče, stupova i greda okvira cijevi, provjera jezgre (GSN I GSU)

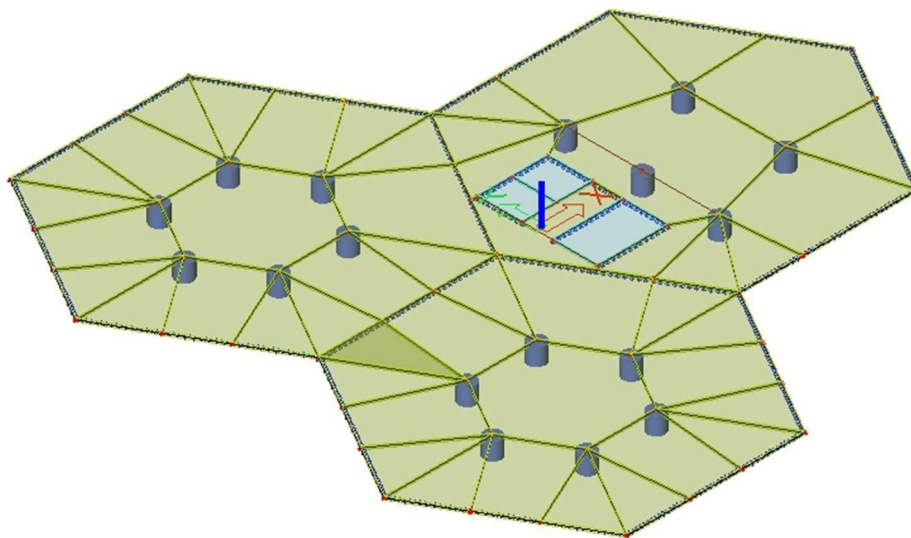
#### 3.6.1. Dimenzioniranje AB ploče (GSN) – lokalni model ploče

Za dimenzioniranje ploče izrađen je lokalni model ploče u programu SCIA Engineer [2]. Na mjestima unutarnjih stupova postavljeni su točkasti ležajevi, presjeka koji odgovaraju stvarnom stanju u glavnom modelu, a na mjestima greda i zidova postavljeni su linijski ležajevi. Na mjestima stepeništa i dizala postavljeni su otvori u ploči. Vlastita težina ploče je generirana u programu, a još je dodano dodatno stalno i uporabno opterećenje ploče, koje je raspoređeno u obliku šahovnice, kako bi se dobio maksimalni moment savijanja u polju. Za maksimalni moment nad osloncem opterećenje se postavlja na dva susjedna polja (između ležajeva).

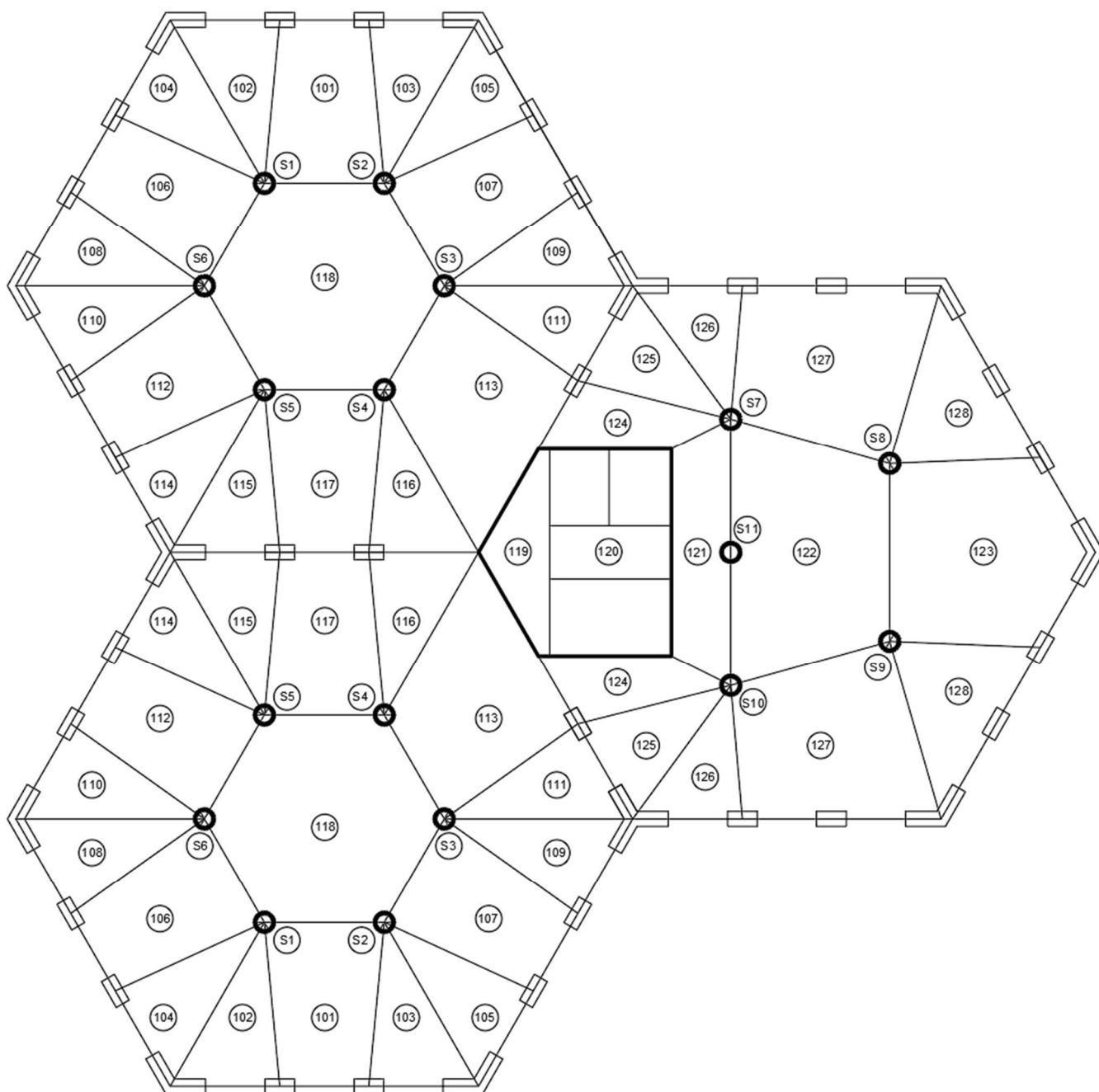
Ploča je podijeljena na pozicije 101-128, za koje je proračunata armature. Proračunate su samo određene pozicije jer je oko osi X ploča simetrična. Na mjestima oslonaca proveden je proračun uzdužne i poprečne armature te provjera na proboj na mjestima gdje se ploča oslanja direktno na unutarnje stupove.

Anvelope maksimalnih i minimalnih reznih sila su ispisane iz programa SCIA Engineer [2].

Za provjeru ploče za granično stanje uporabljivosti, provodi se proračun pukotina za dugotrajno i kratkotrajno djelovanje. Također se provjerava i progib ploče.



Slika 97.: Prikaz lokalnog modela ploče u programu SCIA Engineer



Slika 98.: Prikaz pozicija na tlocrtu ploče za dimenzioniranje



## 3.6.1.1. Rekapitulacija iznosa momenta savijanja ploče

Tablica 40.: Rekapitulacija momenata savijanja za dimenzioniranje ploče

| POZICIJE | $m_x$ [kNm] | $m_y$ [kNm] | POZICIJE    | $m_x$ [kNm] | $m_y$ [kNm] |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 101      | 6,14        | 29,68       | S1          | -81,48      | -86,17      |
| 102      | 16,22       | 24,76       | S2          | -81,79      | -87,33      |
| 103      | 16,20       | 24,76       | S3          | -79,11      | -70,76      |
| 104      | 18,59       | 22,87       | S4          | -58,97      | -62,84      |
| 105      | 18,59       | 22,87       | S5          | -71,77      | -64,24      |
| 106      | 23,70       | 12,01       | S6          | -92,49      | -77,85      |
| 107      | 23,30       | 13,00       | S7          | -62,94      | -66,76      |
| 108      | 27,14       | 13,14       | S8          | -103,02     | -104,66     |
| 109      | 21,74       | 13,01       | S9          | -103,66     | -108,01     |
| 110      | 27,14       | 13,14       | S10         | -67,54      | -68,69      |
| 111      | 21,13       | 9,26        | S11         | -54,25      | -44,19      |
| 112      | 18,59       | 12,88       | POZ 115-115 | -8,63       | -40,55      |
| 113      | 14,93       | 13,30       | POZ 117-117 | -7,05       | -33,73      |
| 114      | 20,96       | 16,13       | POZ 116-116 | -6,36       | -31,70      |
| 115      | 8,02        | 17,77       | POZ 111-125 | -27,08      | -12,48      |
| 116      | 8,58        | 16,72       | POZ 113-124 | -23,88      | -12,91      |
| 117      | 6,96        | 17,53       |             |             |             |
| 118      | 12,12       | 12,28       |             |             |             |
| 119      | 1,97        | 3,12        |             |             |             |
| 120      | 1,57        | 5,15        |             |             |             |
| 121      | 0,24        | 8,66        |             |             |             |
| 122      | 15,29       | 25,65       |             |             |             |
| 123      | 26,83       | 26,07       |             |             |             |
| 124      | 11,26       | 2,44        |             |             |             |
| 125      | 10,04       | 11,16       |             |             |             |
| 126      | 5,85        | 21,27       |             |             |             |
| 127      | 18,59       | 25,89       |             |             |             |
| 128      | 25,50       | 19,85       |             |             |             |

## 3.6.1.2. Proračun zaštitnog sloja AB ploče

Nominalni zaštitni sloj se prema [9] određuje kao:

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

gdje je iz [9]:

$c_{nom}$  nominalni zaštitni sloj

$c_{min}$  minimalni zaštitni sloj

$\Delta c_{dev}$  dopušteno odstupanje u izvedbi, prema [18]:  $\Delta c_{dev} = 10,0 \text{ mm}$

Za potrebe proračuna zaštitnog sloja određuje se razred izloženosti, koji je za betonske elemente unutar građevine prema [9]: XC1 (suh ili stalno vlažan okoliš, beton unutar građevina s niskom vlagom zraka).

Minimalni zaštitni sloj treba osigurati zaštitu armature od korozije, požarnu otpornost i prijenos sila prijanjanja, a određuje se prema [9] kao:

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

gdje je iz [9]:

$c_{min,b}$  najmanja debljina iz zahtjeva prionjivosti armature i betona,  $c_{min,b} = 20 \text{ mm}$

$c_{min,dur}$  najmanja debljina koja proizlazi iz uvjeta okoliša

$\Delta c_{dur,\gamma}$  dodatna sigurnost u ostvarenju trajnosti konstrukcije,  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$

$c_{dur,st}$  umanj enje zbog uporabe nehrđajućeg čelika,  $c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$

$c_{dur,add}$  umanj enje zbog uporabe dodatne zaštite,  $c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$ .

Za beton klase C40/50, razred izloženosti XC1 i pločasti element iz tablice 41. je određen razred konstrukcije S2. Iz tablice 42. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S2 i razreda izloženosti XC1, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša  $c_{min,dur}$ .

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

Tablica 41. Preporučeni razredi konstrukcije (Izvor: [9])

| 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 <sup>1(2)</sup>  | ≥ 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:

- Razred čvrstoće i vodocementni omjer međusobno su povezani. Smije se razmotriti poseban sastav (vrsta cementa, vodocementni omjer, fina punila) s namjerom postignuća male propusnosti.
- Ograničenje se smije smanjiti za jedan razred čvrstoće ako je uvučenoga zraka više od 4 %.

Tablica 42. Vrijednosti minimalnog zaštitnog sloja  $c_{min,dur}$  (Izvor: [9])

| 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      |

Slijedi:

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

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

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

### 3.6.1.3. Materijal i geometrija ploče

#### *Materijali*

Razred čvrstoće betona: C40/50

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona:  $f_{ck} = 40,0 \text{ N/mm}^2$

- Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća:  $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{40}{1,5} = 26,7 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća:  $f_{cm} = 48,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća:  $f_{ctm} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
- Karakteristična granica popuštanja čelika:  $f_{yk} = 500,0 \text{ N/mm}^2$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik:  $\gamma_s = 1,15$
- Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

### Geometrija

- Visina ploče:  $h = 20,0 \text{ cm}$
- Zaštitni sloj:  $c = 3,0 \text{ cm}$

Statička visina – polje:

- Udaljenost do težišta armature (X smjer):  $d_{1x} = 3,0 + 0,5 = 3,5 \text{ cm}$
- Statička visina (X smjer):  $d_x = 20,0 - 3,5 = 16,5 \text{ cm}$
- Udaljenost do težišta armature (Y smjer):  $d_{1y} = 3,0 + 1,0 + 0,5 = 4,5 \text{ cm}$
- Statička visina (Y smjer):  $d_y = 20,0 - 4,5 = 15,5 \text{ cm}$

Statička visina – ležaj:

- Udaljenost do težišta armature (X smjer):  $d_{1x} = 3,0 + 1,0 = 4,0 \text{ cm}$
- Statička visina (X smjer):  $d_x = 20,0 - 4,0 = 16,0 \text{ cm}$
- Udaljenost do težišta armature (Y smjer):  $d_{1y} = 3,0 + 2,0 + 1,0 = 6,0 \text{ cm}$
- Statička visina (Y smjer):  $d_y = 20,0 - 6,0 = 14,0 \text{ cm}$

#### 3.6.1.4. Proračun uzdužne armature u polju ploče

Za proračun armature u polju ploče kao mjerodavne pozicije su uzete pozicija 108 i 110 s maksimalnim momentom u smjeru X i pozicija 101 s maksimalnim momentom u smjeru Y. Mjerodavna pozicija za ploču u trećoj (najvišoj) cijevi je pozicija 123 s maksimalnim momentom savijanja u X i Y smjeru. Za granično stanje nosivosti ploča se dimenzionira prema [9] te prema knjizi [19].

POZICIJA 101 – smjer X

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 6,14 \text{ kNm/m} = 614 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{614,0}{100,0 \cdot 16,5^2 \cdot 2,67} = 0,009 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,010$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -0,7 & \xi &= 0,034 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,988 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{614,0}{0,988 \cdot 16,5 \cdot 43,478} = 0,87 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armature, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,min} &= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 16,5 = 2,15 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 16,5 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armature, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 16,5 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura: Q503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )Uvjet:  $A_{s1,min} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m}$

POZICIJA 101 – smjer Y

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,y} = 29,68 \text{ kNm/m} = 2968 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2968,0}{100,0 \cdot 15,5^2 \cdot 2,67} = 0,046 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,046$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,7 & \xi &= 0,078 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,971 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2968,0}{0,971 \cdot 15,5 \cdot 43,478} = 4,54 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,min} &= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 15,5 = 2,02 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 15,5 = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 15,5 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura: Q503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )Uvjet:  $A_{s1,min} = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m}$



POZICIJA 108/110 – smjer X

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 27,14 \text{ kNm/m} = 2714 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2714,0}{100,0 \cdot 16,5^2 \cdot 2,67} = 0,037 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,038$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,5 & \xi &= 0,070 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,975 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2714,0}{0,975 \cdot 16,5 \cdot 43,478} = 3,88 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,min} &= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 16,5 = 2,15 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 16,5 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 16,5 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura: Q503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )Uvjet:  $A_{s1,min} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m}$

POZICIJA 108/110 – smjer Y

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,y} = 13,14 \text{ kNm/m} = 1314 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1314,0}{100,0 \cdot 15,5^2 \cdot 2,67} = 0,021 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,023$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,1 & \xi &= 0,052 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,982 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1314,0}{0,982 \cdot 15,5 \cdot 43,478} = 1,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,min} &= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 15,5 = 2,02 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 15,5 = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 15,5 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura: Q503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )Uvjet:  $A_{s1,min} = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m}$

POZICIJA 123 – smjer X

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 26,83 \text{ kNm/m} = 2683 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2683,0}{100,0 \cdot 16,5^2 \cdot 2,67} = 0,037 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,038$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,5 & \xi &= 0,070 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,975 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2683,0}{0,975 \cdot 16,5 \cdot 43,478} = 3,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,min} &= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 16,5 = 2,15 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 16,5 = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 16,5 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura: Q503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )Uvjet:  $A_{s1,min} = 3,0 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 36,98 \text{ cm}^2/\text{m}$

POZICIJA 123 – smjer Y

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,y} = 26,07 \text{ kNm/m} = 2607 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2607,0}{100,0 \cdot 15,5^2 \cdot 2,67} = 0,041 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,042$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,6 & \xi &= 0,074 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,973 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2607,0}{0,973 \cdot 15,5 \cdot 43,478} = 3,98 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,min} &= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 15,5 = 2,02 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 15,5 = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 15,5 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura: Q503 ( $A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2$ )

Uvjet:  $A_{s1,min} = 2,82 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 34,74 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zaključak: Na mjestu najvećeg momenta savijanja odabrana armatura Q503. Radi jednostavnosti, ista armatura je odabrana za ostala polja ploče.

### 3.6.1.5. Proračun uzdužne nad ležajem ploče

Za proračun uzdužne armature nad ležajem ploče kao mjerodavna pozicija je uzete pozicija S9 s najvećim momentom u X i Y smjeru. Za granično stanje nosivosti ploča se dimenzionira prema [9] i [19]. Za ostale pozicije nad ležajevima je prikazana armatura iz računalnog programa SCIA Engineer [2].

#### POZICIJA S9 – smjer X

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 103,66 \text{ kNm/m} = 10366 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10366}{100,0 \cdot 16,0^2 \cdot 2,67} = 0,152 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,154$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -3,1 & \xi &= 0,228 \\ \varepsilon_{s1} &= 10,5 & \zeta &= 0,911 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10366}{0,911 \cdot 16,0 \cdot 43,478} = 16,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 16,0 = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 16,0 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 35,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 35,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura:  $\phi 20/18,5 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 16,98 \text{ cm}^2$ )

Uvjet:  $A_{s1,min} = 2,91 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 16,98 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 35,86 \text{ cm}^2/\text{m}$

### POZICIJA S9 – smjer Y

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,y} = 108,01 \text{ kNm/m} = 10801 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{10801}{100,0 \cdot 14,0^2 \cdot 2,67} = 0,206 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,207$$

Očitano, [19]:

$$\varepsilon_c = -3,5 \qquad \xi = 0,292$$

$$\varepsilon_{s1} = 8,5 \qquad \zeta = 0,879$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{10801}{0,879 \cdot 14,0 \cdot 43,478} = 20,19 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 14,0 = 1,82 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{3,5}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 14,0 = 2,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 2,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$A_{s1,max} = 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 14,0 \cdot \frac{26,7}{434,78} = 31,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

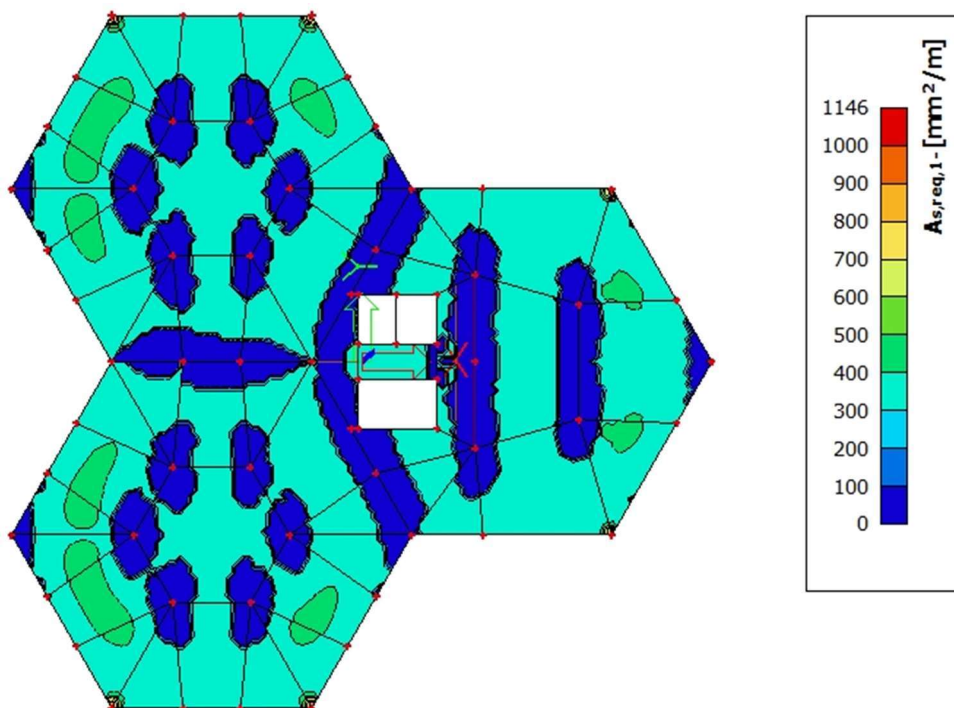
$$A_{s1,max} = 31,38 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrana armatura treba biti veća od potrebne proračunate te se treba nalaziti između minimalne i maksimalne armature.

Odabrana armatura:  $\phi 20/15,0 \text{ cm}$  ( $A_{s1,prov} = 20,94 \text{ cm}^2$ )

Uvjet:  $A_{s1,min} = 2,55 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 20,94 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 31,38 \text{ cm}^2/\text{m}$

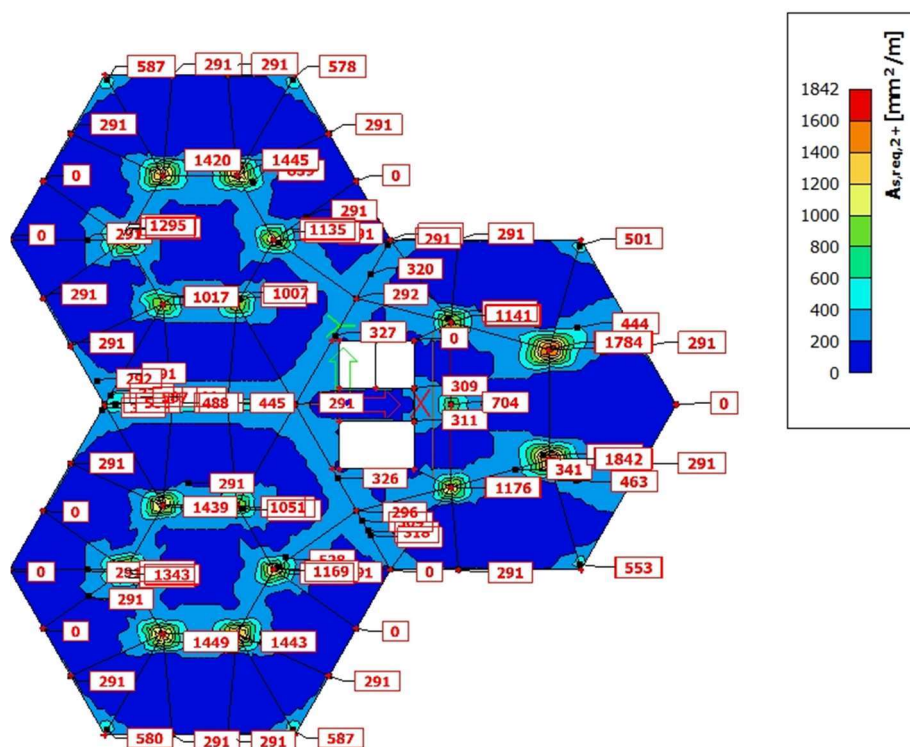
Usporedba proračunate armature odabranih pozicija s armaturom dobivenom u programu SCIA Engineer [2]:



Slika 99.: Prikaz potrebne armature u polju za X smjer – SCIA Engineer







Slika 102.: Prikaz potrebne armature nad osloncima za Y smjer – SCIA Engineer

Tablica 43.: Usporedba proračunate armature s armaturom iz programa SCIA Engineer

| POZICIJE        | PRORAČUN                 |                          | SCIA Engineer [ ]        |                          |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                 | Smjer X                  | Smjer Y                  | Smjer X                  | Smjer Y                  |
| 101 (polje)     | 3,0 cm <sup>2</sup> /m   | 4,54 cm <sup>2</sup> /m  | 3,09 cm <sup>2</sup> /m  | 4,26 cm <sup>2</sup> /m  |
| 108/110 (polje) | 3,88 cm <sup>2</sup> /m  | 2,82 cm <sup>2</sup> /m  | 4,12 cm <sup>2</sup> /m  | 2,91 cm <sup>2</sup> /m  |
| 123 (polje)     | 3,84 cm <sup>2</sup> /m  | 3,98 cm <sup>2</sup> /m  | 3,62 cm <sup>2</sup> /m  | 3,80 cm <sup>2</sup> /m  |
| S9 (oslonac)    | 16,36 cm <sup>2</sup> /m | 20,19 cm <sup>2</sup> /m | 16,38 cm <sup>2</sup> /m | 18,42 cm <sup>2</sup> /m |

Iz tablice 43. je vidljivo da se potrebna armatura dobivena u proračunu podudara s potrebnom armaturom dobivenom u programu SCIA Engineer [2]. Uvjeti su zadovoljeni.

Armatura nad osloncima (iznad ostalih stupova):

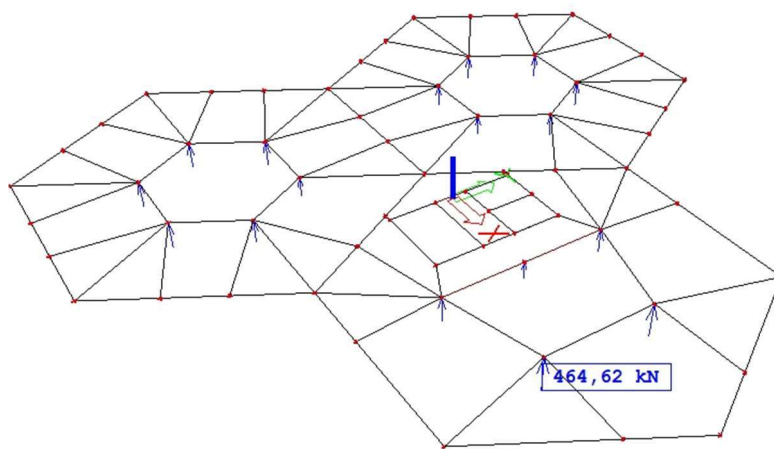
Tablica 44.: Potrebna i odabrana armatura nad ostalim stupovima

| POZICIJE | Potrebna armatura        |                          | Odabrana armatura                       |   |
|----------|--------------------------|--------------------------|---|---|
|          | Smjer X                  | Smjer Y                  | Smjer X                                 | Smjer Y                                 |
| S1       | 12,46 cm <sup>2</sup> /m | 14,20 cm <sup>2</sup> /m | 12,97 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/15,5 cm | 14,36 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/14,0 cm |
| S2       | 12,57 cm <sup>2</sup> /m | 14,45 cm <sup>2</sup> /m | 12,97 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/15,5 cm | 14,89 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/13,5 cm |
| S3       | 11,56 cm <sup>2</sup> /m | 11,35 cm <sup>2</sup> /m | 11,83 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/17,0 cm | 11,83 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/17,0 cm |
| S4       | 9,03 cm <sup>2</sup> /m  | 10,02 cm <sup>2</sup> /m | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm |
| S5       | 10,59 cm <sup>2</sup> /m | 10,17 cm <sup>2</sup> /m | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm |
| S6       | 14,35 cm <sup>2</sup> /m | 12,95 cm <sup>2</sup> /m | 14,89 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/13,5 cm | 13,40 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/15,0 cm |
| S7       | 9,96 cm <sup>2</sup> /m  | 11,41 cm <sup>2</sup> /m | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm | 11,83 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/17,0 cm |
| S8       | 16,28 cm <sup>2</sup> /m | 17,84 cm <sup>2</sup> /m | 16,98 cm <sup>2</sup> /m<br>φ20/18,5 cm | 20,94 cm <sup>2</sup> /m<br>φ20/15,0 cm |
| S9       | 16,38 cm <sup>2</sup> /m | 18,42 cm <sup>2</sup> /m | 16,98 cm <sup>2</sup> /m<br>φ20/18,5 cm | 20,94 cm <sup>2</sup> /m<br>φ20/15,0 cm |
| S10      | 10,43 cm <sup>2</sup> /m | 11,76 cm <sup>2</sup> /m | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm | 11,83 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/17,0 cm |
| S11      | 8,01 cm <sup>2</sup> /m  | 7,04 cm <sup>2</sup> /m  | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm | 10,87 cm <sup>2</sup> /m<br>φ16/18,5 cm |

## 3.6.1.6. Proboj ploče

Ploča je direktno oslonjena na unutarnje stupove, stoga je potrebno provesti kontrolu na proboj. Kod ploča koje su oslonjene direktno na stupove postoji mogućnost neduktilnog loma pri većim opterećenjima, što može dovesti do progresivnog sloma. Prema [9], potrebno je kontrolirati posmičnu otpornost na licu stupa i osnovnom kontrolnom opsegu. Ukoliko se tu zahtijeva poprečna armatura potrebno je naći dalji opseg gdje se posmična armatura više ne zahtijeva.

Maksimalna proračunska reakcija nad ležajem dobivena u programu SCIA Engineer [2]:



Slika 103.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem

## 3.6.1.7. Otpornost na posmični proboj ploče bez poprečne armature

**Kontrola proboja na licu stupa**

Na opsegu stupa ili opsegu opterećene površine prema [9] i knjizi [20]:

$$v_{E,d} \leq v_{Rd,max}$$

$$v_{Ed,0} = \beta \times \frac{V_{Ed}}{d \times u_0} = 1,15 \times \frac{464,62}{15,0 \times 314,16} = 0,113 \text{ kN/cm}^2 = 1,13 \text{ N/mm}^2$$

$$u_0 = 2 \times r \times \pi = 2 \times 50,0 \times \pi = 314,16 \text{ cm}$$

gdje je iz [9]:

$v_{E,d}$  posmično proračunsko naprezanje

$v_{Rd,max}$  najveće proračunsko naprezanje (otpornost)

- $u_0$  opseg stupa u dodiru s pločom (duljina kontrolnog opsega koji se promatra)
- $d$  Srednja statička visina ploče. Smije se uzeti:  $d = \frac{16,0+14,0}{2} = 15,0$  cm
- $\beta$  koeficijent koji u obzir uzima ekscentričnost oslonačke reakcije u odnosu na kontrolni opseg. Prema [9]:  $\beta = 1,15$
- $V_{Ed}$  proračunska reakcija (proračunska sila proboja)

Prema knjizi [20] maksimalna proračunska otpornost ploče na proboj:

$$v_{Rd,max} = 0,40 \times v \times f_{cd} = 0,40 \times 0,504 \times 26,7 = 5,38 \text{ N/mm}^2$$

$$v = 0,60 \times \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,60 \times \left[ 1 - \frac{40}{250} \right] = 0,504$$

Uvjet [20] je zadovoljen:

$$1,13 \text{ N/mm}^2 < 5,38 \text{ N/mm}^2$$

### ***Kontrola proboja na osnovnom kontrolnom opsegu***

Prema [9], proračunska vrijednost otpornosti betona na proboj bez poprečne armature:

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} \times k \times \sqrt[3]{(100 \times \rho_1 \times f_{ck} + k_1 \times \sigma_{cp})} \geq (v_{min} + k_1 \times \sigma_{cp})$$

$$v_{Rd,c} = 0,12 \times 2,0 \times \sqrt[3]{(100 \times 0,00663 \times 40) + 0,1 \times 0} \geq (0,626 + 0,1 \times 0)$$

$$0,716 \text{ N/mm}^2 > 0,626 \text{ N/mm}^2$$

gdje je iz [9]:

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,50} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{150}} = 2,15 > 2,0 \rightarrow k = 2,0$$

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1,1} \times \rho_{1,2}} = \sqrt{0,00541 \times 0,00813} = 0,00663 \leq 0,02 \rightarrow \rho_1 = 0,00663$$

$$\rho_{1,1} = \frac{A_{s1,prov}^{ležaj}}{b \times d} = \frac{16,98}{(2 \times r + 3 \times d + 3 \times d) \times d} = \frac{16,98}{(2 \times 50 + 6 \times 16,0) \times 16,0}$$

$$\rho_{1,1} = 0,00541 = 0,541 \%$$

$$\rho_{1,2} = \frac{A_{s1,prov}^{ležaj}}{b \times d} = \frac{20,94}{(2 \times r + 3 \times d + 3 \times d) \times d} = \frac{20,94}{(2 \times 50 + 6 \times 14,0) \times 14,0}$$

$$\rho_{1,1} = 0,00813 = 0,813 \%$$

$$k_1 = 0,1$$

$$\sigma_{cp} = 0,0 \text{ N/mm}^2$$

$$v_{\min} = 0,035 \times k^{\frac{3}{2}} \times f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \times 2^{\frac{3}{2}} \times 40^{\frac{1}{2}} = 0,626 \text{ N/mm}^2$$

Prema [9], proračunsko naprezanje na osnovnom kontrolnom opsegu:

$$v_{Ed,1} = \beta \times \frac{V_{Ed}}{d \times u_0} = 1,15 \times \frac{464,62}{15,0 \times 502,65} = 0,0708 \text{ kN/cm}^2 = 0,708 \text{ N/mm}^2$$

$$u_1 = 2 \times r \times \pi = 2 \times (r + 2 \times d) \times \pi = 2 \times (50,0 + 2 \times 15,0) \times \pi = 502,65 \text{ cm}$$

Slijedi:

$$v_{Ed,1} = 0,708 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < v_{Rd,c} = 0,716 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nije potrebno proračunati armaturu protiv proboja.

Usporedba s rezultatima iz računalnog programa SCIA Engineer [2]:

Tablica 45.: Prikaz rezultata za proboj ploče iz programa SCIA Engineer

### Punching design

Values: UC  
Linear calculation  
Class: All ULS  
Extreme: Global  
Selection: N54

#### Summary

| Name | Case               | Punching case   | Punching shape | UC <sub>vRd,max</sub> [-] | UC <sub>vRd,c</sub> [-] | Shear reinforcement perimeters | UC <sub>vRd,cs</sub> [-] | UC <sub>Asw,det</sub> [-] | UC [-] Check |
|------|--------------------|-----------------|----------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------|
| N54  | ULS-Set B (auto)/1 | Internal column | Circle (1000)  | <b>0,19</b>               | <b>0,91</b>             | not required                   | -                        | -                         | 0,91 OK      |

#### Concrete

| Name | Case               | Punching case β [-]  | Punching shape | V <sub>Ed</sub> [kN]<br>ΔV <sub>Ed</sub> [kN] | M <sub>Ed,y</sub> [kNm]<br>M <sub>Ed,z</sub> [kNm] | Plate h [m]  | Material f <sub>cd</sub> [MPa] | d <sub>eff</sub> [m]<br>ρ <sub>1</sub> [%] | u <sub>0</sub> [m]<br>u <sub>1</sub> [m] | V <sub>Ed,u0</sub> [MPa]<br>V <sub>Ed,u1</sub> [MPa] | V <sub>Rd,max</sub> [MPa]<br>V <sub>Rd,c</sub> [MPa] | UC <sub>vRd,max</sub> [-]<br>UC <sub>vRd,c</sub> [-] |
|------|--------------------|----------------------|----------------|---|--|--------------|--------------------------------|--|--|--|--|--|
| N54  | ULS-Set B (auto)/1 | Internal column 1,15 | Circle (1000)  | <b>464,62</b><br>0,00                         | 5,78<br>7,36                                       | Ceiling 0,20 | C40/50 26,67                   | 0,17<br>0,58                               | 3,142<br>5,215                           | 1,03<br>0,62   | 5,38<br>0,68   | <b>0,19</b><br><b>0,91</b>                           |

Vidljivo je da u programu SCIA Engineer [] nije potrebno proračunati armaturu protiv proboja.

### 3.6.2. Dimenzioniranje AB ploče (GSU) – granično stanje pukotina

Kod provjere pukotina razlikujemo granično stanje pojave pukotina i granično stanje širine pukotina betona. Granično stanje pojave pukotina je stanje gdje za predviđenu kombinaciju, vlačno naprezanje poprečnog presjeka doseže vlačnu čvrstoću betona. Granično stanje širine pukotina je stanje gdje je za određenu kombinaciju, karakteristična širina pukotina jednaka graničnoj širini, koja je dana propisima [9].

Prema tablici norme [9] karakteristična širina pukotina je  $w_k = 0,4$  mm, (za AB elemente koji su naprezani savijanjem bez značajnog uzdužnog osnog vlaka).

**Tablica 46.:** Preporučene vrijednosti širine pukotina  $w_{max}$  (Izvor: [9])

| Razred izloženosti   | Armirani elementi i prednapeti elementi s neprianjajućim nategama | Prednapeti elementi s prijanjajućim nategama |
|--|---|--|
|  | Nazovistalna kombinacija opterećenja                              | Česta kombinacija opterećenja                |
| X0, XC1  | 0,4 <sup>1</sup>  | 0,2  |
| XC2, XC3, XC4  | 0,3   | 0,4 <sup>2</sup>                             |
| XD1, XD2, XD3,<br>XS1, XS2, XS3  |   | Rastlačenje                                  |
| <p>NAPOMENA 1: Za razrede izloženosti X0, XC1, širina pukotine nema utjecaja na trajnost i ovo ograničenje je postavljeno da bi se dobio općenito prihvatljiv izgled. Ako nema uvjeta za izgled, ovaj uvjet se može zanemariti.</p> <p>NAPOMENA 2: Za ove razrede izloženosti, dodatno treba kontrolirati rastlačenje za nazovistalnu kombinaciju opterećenja.</p> |   |  |

Proračun i svi izrazi u idućim proračunima (širina pukotina) su preuzeti iz norme [9] i iz knjige [20].



## 3.6.2.1. Proračun pukotina ploče

**Provjera dolazi li do pojave pukotina**

Pri pojavi prve pukotine, naprezanje vlačnog ruba poprečnog presjeka doseže vlačnu čvrstoću betona (kod AB elemenata opterećenih na savijanje). Prema [20], moment savijanja kod pojave prve pukotine jednak je:

$$M_{cr} = f_{ctm} \times \frac{b \times h^2}{6} = 0,35 \times \frac{100,0 \times 20,0^2}{6} = 2333,33 \text{ kNcm} = 23,33 \text{ kNm}$$

Iz računalnog programa SCIA Engineer [2] su dobiveni proračunski momenti savijanja za sljedeće kombinacije:

$$M_{Ed}^{t=0} = \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times Q_k = 1,0 \times G_k + 1,0 \times Q_k$$

$$M_{Ed}^{t=\infty} = \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times \Psi_2 \times Q_k = 1,0 \times G_k + 1,0 \times 0,3 \times Q_k$$

gdje je faktor kombinacije za nazovistalnu kombinaciju uzet iz tablice 13. ovog rada, prema [10].

Proračunski moment savijanja za polje:

$$M_{Ed}^{t=0} = 21,48 \text{ kNm} < 23,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{t=\infty} = 17,33 \text{ kNm} < 23,33 \text{ kNm}$$

Zaključak: u polju ne treba proračun pukotina jer su proračunski momenti manji od  $M_{cr}$ .

Proračunski moment savijanja za oslonac:

$$M_{Ed}^{t=0} = 78,16 \text{ kNm} > 23,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{t=\infty} = 63,03 \text{ kNm} > 23,33 \text{ kNm}$$

Zaključak: nad osloncem treba proračun pukotina jer su proračunski momenti veći od  $M_{cr}$ .

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

Sekantni modul elastičnosti betona, [9]:

$$E_{cm} = 22000 \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \times \left(\frac{48}{10}\right)^{0,3} = 35220,46 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona, [20]:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{35220} = 5,68$$

Koeficijent armiranja za  $t = 0$ , [20]:

$$A_{s1,prov} = 20,94 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s2,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_I = \frac{A_{s1,prov}}{b \times h} = \frac{20,94}{100 \times 20} = 0,0105$$

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1,prov}}{b \times d} = \frac{20,94}{100 \times 14,0} = 0,0149$$

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za  $t = 0$ , [20]:

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d}\right) = 5,68 \times 10,5 \times 10^{-3} \times \frac{14,0}{20} \times \left(1 + \frac{5,03 \times 6,0}{20,94 \times 14,0}\right)$$

$$A_I = 0,05$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 5,68 \times 10,5 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,03}{20,94}\right) = 0,07$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d}\right) = 5,68 \times 14,9 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,03 \times 6,0}{20,94 \times 14,0}\right) = 0,09$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 5,68 \times 14,9 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,03}{20,94}\right) = 0,10$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,05}{1 + 0,07} = 0,51$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,10 + \sqrt{0,10^2 + 2 \times 0,09} = 0,336$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploča za  $t = 0$ , [20]:

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

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

$$y_{IIg} = k_{xII} \times d = 0,336 \times 14,0 = 4,70 \text{ cm}$$

Moment tromosti poprečnog presjeka ploče za  $t = 0$ , [20]:

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

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,8^3 + 10,2^3) + (5,68 - 1) \times [20,94 \times (14,0 - 10,2)^2 + ]$$

$$= [+5,03 \times (10,2 - 6,0)^2] = 68577,03 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 4,70^3 + 5,68 \times 20,94 \times (14,0 - 4,70)^2 +$$

$$= +(5,68 - 1) \times 5,03 \times (4,70 - 6,0)^2 = 13787,60 \text{ cm}^4$$

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

Određivanje konačne vrijednosti koeficijenta puzanja se određuje prema [9]:

Površina presjeka:

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

Zbroj rubova presjeka koji su izloženi zraku:

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

Srednji polumjer ploče:

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

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

$$\varphi_t(\infty, t_0) = 1,9$$

Proračunski modul elastičnosti za  $t = \infty$ , [9]:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t(\infty, t_0)} = \frac{35220}{1 + 1,9} = 12144,83 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona za  $t = \infty$ , [20]:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200000,0}{12145} = 16,5$$

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

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za  $t = \infty$ , [20]:

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left( 1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 16,5 \times 10,5 \times 10^{-3} \times \frac{14,0}{20} \times \left( 1 + \frac{5,03 \times 6,0}{20,94 \times 14,0} \right)$$

$$A_I = 0,13$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left( 1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 16,5 \times 10,5 \times 10^{-3} \times \left( 1 + \frac{5,03}{20,94} \right) = 0,21$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left( 1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 16,5 \times 14,9 \times 10^{-3} \times \left( 1 + \frac{5,03 \times 6,0}{20,94 \times 14,0} \right) = 0,27$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 16,5 \times 14,9 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,03}{20,94}\right) = 0,30$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,13}{1 + 0,21} = 0,52$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,30 + \sqrt{0,30^2 + 2 \times 0,27} = 0,49$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploče za  $t = \infty$ , [20]:

$$y_{Ig} = k_{xI} \times h = 0,52 \times 20,0 = 10,4 \text{ cm}$$

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

$$y_{IIg} = k_{xII} \times d = 0,49 \times 14,0 = 6,86 \text{ cm}$$

Momenti tromosti poprečnog presjeka ploče za  $t = \infty$ , [20]:

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,6^3 + 10,4^3) + (16,5 - 1) \times [20,94 \times (14,0 - 10,4)^2 + 5,03 \times (10,4 - 6,0)^2] = 72702,50 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 6,86^3 + 16,5 \times 20,94 \times (14,0 - 6,86)^2 + 5,03 \times (6,86 - 6,0)^2 = 28432,59 \text{ cm}^4$$

Statički momenti površina armature za  $t = \infty$ , [20]:

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

$$S_I = 20,94 \times (14,0 - 10,4) - 5,03 \times (10,4 - 6,0) = 53,25 \text{ cm}^3$$

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

$$S_{II} = 20,94 \times (14,0 - 6,86) - 5,03 \times (6,86 - 6,0) = 145,19 \text{ cm}^3$$

### **Minimalna površina armature za ograničenje širine pukotina**

U području vlačnih naprezanja je potrebna minimalna količina prijanjuće armature za kontrolu raspucavanja. Prema [9]:

$$A_{s,min} = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,40 \times 1,0 \times 0,35 \times \frac{1000}{50} = 2,80 \text{ cm}^2$$

gdje je iz [9]:

- $k_c$  koeficijent kojim u obzir uzimamo raspodjelu naprezanja unutar presjeka neposredno prije raspucavanja. Prema [9]:  $k_c = 0,40$
- $k$  koeficijent za učinak nejednolikih samouravnoteženih naprezanja. Prema [9]:  $k = 1,0$
- $f_{ct,eff}$  srednja vlačna čvrstoća betona. Prema [9]:  $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
- $A_{ct}$  Površina betona u vlačnom području neposredno prije pojave pukotina,  
 $A_{ct} = b \times \frac{h}{2} = 100 \times \frac{20}{2} = 1000 \text{ cm}^2$
- $\sigma_s$  apsolutna vrijednost najvećeg dopuštenog naprezanja u armaturi neposredno nakon pojave pukotina. Prema [9]:  $\sigma_s = f_{yk} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$ .

Odabrana armatura ( $\phi 20/15 \text{ cm}$ ),  $A_{s1,prov} = 20,94 \text{ cm}^2 > A_{s1,min} = 2,80 \text{ cm}^2$ .

Uvjet je zadovoljen.

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

Prema izrazu iz norme [9], karakteristična širina pukotina jednaka je:

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

gdje je iz [9]:

- $s_{r,max}$  maksimalni konačni razmak pukotina
- $\varepsilon_{sm}$  srednja deformacija armature za određenu kombinaciju djelovanja
- $\varepsilon_{cm}$  srednja deformacija betona između pukotina

Prema [9], razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona između dviju pukotina:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

gdje je iz [9]:

- $\Sigma_s$  apsolutna vrijednost najvećeg dopuštenog naprezanja u armaturi neposredno nakon pojave pukotina.
- $k_1$  faktor koji ovisi o trajanju opterećenja. Prema [9]:  $k_1 = 0,60$  za kratkotrajno opterećenje i  $k_1 = 0,40$  za dugotrajno opterećenje
- $f_{ct,eff}$  srednja vlačna čvrstoća betona

$\rho_{p,eff}$  koeficijent armiranja za glavnu armaturu

$\alpha_e$  omjer modula elastičnosti čelika i betona.

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 14,0 - \frac{4,70}{3} = 12,43 \text{ cm}$$

Naprezanje u armature prema [20]:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{7816}{20,94 \times 12,43} = 30,03 \text{ kN/cm}^2$$

Sudjelujuća vlačna površina presjeka:

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

$h_{c,eff}$  – visina sudjelujuće vlačne površine presjeka prema [9]:

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

$$h_{c,eff} = \min\left(2,5 \times (20 - 14,0) = 15,0; \frac{20 - 4,70}{3} = 5,1; \frac{20}{2} = 10,0\right)$$

Uzima se:

$$h_{c,eff} = 5,1 \text{ cm}$$

Izračun sudjelujuće vlačne površine presjeka:

$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff} = 100,0 \times 5,1 = 510,0 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja, [9]:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{20,94}{510} = 0,041$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{30,03 - 0,6 \times \frac{0,35}{0,041} \times (1 + 5,68 \times 0,041)}{20000,0} = 11,85 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 11,85 \times 10^{-4} \geq 0,6 \times \frac{30,03}{20000,0} = 9,01 \times 10^{-4}$$

Uzima se:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 11,85 \times 10^{-4}$$

Razmak glavne armature:

$$5 \times \left( c + \frac{\phi}{2} \right) = 5 \times \left( 3,0 + \frac{2,0}{2} \right) = 20,0 \text{ cm} > 15,0 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak pukotina, [9]:

$$s_{r,\max} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times \frac{\phi}{\rho_{p,\text{eff}}} = 3,4 \times 3,0 + 0,8 \times 0,5 \times 0,425 \times \frac{2,0}{0,04} = 18,5 \text{ cm}$$

Karakteristična širina pukotine za kratkotrajno djelovanje:

$$w_{k,t=0} = s_{r,\max} \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 185 \times 11,85 \times 10^{-4} = 0,22 \text{ mm} < w_{\max} = 0,4 \text{ mm}$$

Širina pukotina za kratkotrajno djelovanje zadovoljava jer je manja od  $w_{\max}$ .

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

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 14,0 - \frac{6,86}{3} = 11,71 \text{ cm}$$

Naprezanje u armature, [20]:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,\text{prov}} \times z} = \frac{6303}{20,94 \times 11,71} = 25,70 \text{ kN/cm}^2$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona između dviju pukotina:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,\text{eff}}}{\rho_{p,\text{eff}}} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,\text{eff}})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Sudjelujuća vlačna površina presjeka prema [9]:

$$A_{c,\text{eff}} = b \times h_{c,\text{eff}}$$

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

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

$$h_{c,\text{eff}} = \min \left( 2,5 \times (20 - 14,0) = 15,0; \frac{20 - 6,86}{3} = 4,38; \frac{20}{2} = 10,0 \right)$$

Uzima se:

$$h_{c,\text{eff}} = 4,38 \text{ cm}$$

Izračun sudjelujuće vlačne površine presjeka:



$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff} = 100,0 \times 4,38 = 438,0 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja, [9]:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{20,94}{438,0} = 0,048$$

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{25,70 - 0,4 \times \frac{0,35}{0,048} \times (1 + 16,5 \times 0,048)}{20000,0} = 10,24 \times 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 10,24 \times 10^{-4} > 0,6 \times \frac{25,70}{20000,0} = 7,71 \times 10^{-4}$$

Uzima se:

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

Razmak glavne armature:

$$5 \times \left( c + \frac{\phi}{2} \right) = 5 \times \left( 3,0 + \frac{2,0}{2} \right) = 20,0 \text{ cm} > 15,0 \text{ cm}$$

Maksimalni razmak pukotina, [9]:

$$s_{r,max} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \times 3,0 + 0,8 \times 0,5 \times 0,425 \times \frac{2,0}{0,048}$$

$$s_{r,max} = 17,28 \text{ cm}$$

Karakteristična širina pukotine za dugotrajno djelovanje:

$$w_{k,t=\infty} = s_{r,max} \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 172,8 \times 10,24 \times 10^{-4} = 0,18 \text{ mm} < w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

Širina pukotina za dugotrajno djelovanje zadovoljava jer je manja od  $w_{max}$ .

## 3.6.2.2. Proračun progiba ploče

Za zadovoljenje zahtjeva uporabljivosti konstrukcije, potrebno je da maksimalni progib elemenata bude manji od  $1/250$  proračunskog raspona  $L_{eff}$ . Provjera progiba je potrebna, ako vitkost elementa na savijanje  $L_{eff}/d$  prelazi graničnu vrijednost prema [20].

Tablica 47.: Granični omjer  $L_{eff}/d$  kada proračun progiba nije potreban (Izvor: [20])

| Konstruktivni sustav  | $\kappa$ | Jako napregnut beton<br>$\rho = 1,5 \%$ | Slabo napregnut beton<br>$\rho = 0,5 \%$ |
|---|----------|---|--|
| 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 dulji raspon.  
 NAPOMENA 3: Granične vrijednosti dane za ploče bez greda odnose se na manje strogo ograničenje nego što je progib u sredini raspona veći rasipon/250 vezan za razmak stupova. Iskustvo je pokazalo da je to zadovoljavajuće.

Koeficijent armiranja, [20]:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b \times d} = \frac{Q_{503}}{(2 \times r + 3 \times d + 3 \times d) \times d} = \frac{5,03}{(2 \times 50 + 6 \times 16,5) \times 16,5} = 0,0015$$

$$\rho = 0,15\% < 0,50\% \rightarrow \text{slabo napregnuti beton}$$

Vitkost elementa, [20]:

$$\frac{L_{eff}}{d} = \frac{700,0}{16,5} = 42,4 > 26$$

Potrebno je provesti proračun progiba.

Provjera progiba se provjerava na poziciji 123.

Potrebno je provjeriti progib za kratkotrajno i dugotrajno djelovanje, za dva krajnja stanja naprezanja: neraspucano stanje (armatura i beton zajedno djeluju u nošenju opterećenja) i raspucano stanje (zanemarena nosivost betona u vlaku).

Iz računalnog programa SCIA Engineer [2] su dobivene proračunske vrijednosti momenata savijanja za kratkotrajno i dugotrajno djelovanje.

Kombinacije su sljedeće:

$$M_{Ed}^{t=0} = \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times Q_k = 1,0 \times G_k + 1,0 \times Q_k$$

$$M_{Ed}^{t=\infty} = \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times \Psi_2 \times Q_k = 1,0 \times G_k + 1,0 \times 0,3 \times Q_k$$

gdje je faktor kombinacije za nazovistalnu kombinaciju uzet iz tablice 13. ovog rada, prema [10].

### **Mehaničke i geometrijske karakteristike polja ploče za kratkotrajno djelovanje ( $t = 0$ )**

Sekantni modul elastičnosti betona prema [9]:

$$E_{cm} = 22000 \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \times \left(\frac{48}{10}\right)^{0,3} = 35220,46 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona, [20]:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{35220} = 5,68$$

Koeficijent armiranja za  $t = 0$ , [20]:

$$A_{s1,prov} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_I = \frac{A_{s1,prov}}{b \times h} = \frac{5,03}{100 \times 20} = 0,0025$$

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1,prov}}{b \times d} = \frac{5,03}{100 \times 16,5} = 0,0030$$

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za  $t = 0$ , [20]:

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d}\right) = 5,68 \times 2,5 \times 10^{-3} \times \frac{16,5}{20,0} = 0,012$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 5,68 \times 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,014$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d}\right) = 5,68 \times 3,0 \cdot 10^{-3} = 0,017$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 5,68 \times 3,0 \times 10^{-3} = 0,017$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,012}{1 + 0,014} = 0,505$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,017 + \sqrt{0,017^2 + 2 \times 0,017} = 0,168$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploča za  $t = 0$ , [20]:

$$y_{Ig} = k_{xI} \times h = 0,505 \times 20 = 10,1 \text{ cm}$$

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

$$y_{IIg} = k_{xII} \times d = 0,168 \times 16,5 = 2,77 \text{ cm}$$

Moment tromosti poprečnog presjeka ploče za  $t = 0$ , [20]:

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

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,9^3 + 10,1^3) + (5,68 - 1) \times [5,03 \times (16,5 - 10,1)^2] = 67650,88 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 2,77^3 + 5,68 \times 5,03 \times (16,5 - 2,77)^2 = 6094,35 \text{ cm}^4$$

### ***Mehaničke i geometrijske karakteristike polja ploče za kratkotrajno djelovanje ( $t = \infty$ )***

Određivanje konačne vrijednosti koeficijenta puzanja prema [9]:

Površina presjeka:

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

Zbroj rubova presjeka koji su izloženi zraku:

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

Srednji polumjer ploče:

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

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

$$\varphi_t(\infty, t_0) = 1,9$$

Proračunski modul elastičnosti za  $t = \infty$ , [9]:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t(\infty, t_0)} = \frac{35220}{1 + 1,9} = 12144,83 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona za  $t = \infty$ , [20]:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200000,0}{12145} = 16,5$$

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

Koeficijenti za proračun položaja neutralne osi poprečnog presjeka za  $t = \infty$ , [20]:

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left( 1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 16,5 \times 2,5 \times 10^{-3} \times \frac{16,5}{20,0} = 0,034$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left( 1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 16,5 \times 2,5 \times 10^{-3} = 0,041$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left( 1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 16,5 \times 3,0 \cdot 10^{-3} = 0,050$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left( 1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 16,5 \times 3,0 \times 10^{-3} = 0,050$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,034}{1 + 0,041} = 0,513$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,050 + \sqrt{0,050^2 + 2 \times 0,050} = 0,270$$

Udaljenost neutralne osi od gornjeg ruba poprečnog presjeka ploče za  $t = \infty$ , [20]:

$$y_{Ig} = k_{xI} \times h = 0,513 \times 20,0 = 10,3 \text{ cm}$$

$$y_{Id} = h - y_{Ig} = 20,0 - 10,3 = 9,7 \text{ cm}$$

$$y_{IIg} = k_{xII} \times d = 0,270 \times 16,5 = 4,46 \text{ cm}$$

Momenti tromosti poprečnog presjeka ploče za  $t = \infty$ , [20]:

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,7^3 + 10,3^3) + (16,5 - 1) \times [5,03 \times (16,5 - 10,3)^2] = 69843,64 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 4,46^3 + 16,5 \times 5,03 \times (16,5 - 4,46)^2 = 14988,31 \text{ cm}^4$$

Statički momenti površina armature za  $t = \infty$ , [20]:

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

$$S_I = 5,03 \times (16,5 - 10,3) = 31,19 \text{ cm}^3$$

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

$$S_{II} = 5,03 \cdot (16,5 - 4,46) = 60,56 \text{ cm}^3$$

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

Za kratkotrajno djelovanje proračunski moment savijanja u polju iznosi:

$$M_{Ed}^{t=0} = 18,42 \text{ kNm}$$

Ukupna zakrivljenost sastoji se od zakrivljenosti poprečnog presjeka ploče za stanja naprezanja I i II, prema [20]:

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

Zakrivljenost poprečnog presjeka za stanje naprezanja I, [20]:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{cm} \times I_I} = \frac{1842}{35220 \times 67650,9} = 7,73 \times 10^{-7} \frac{1}{\text{cm}}$$

Krak unutarnjih sila za stanje naprezanja II:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 16,5 - \frac{2,77}{3} = 15,58 \text{ cm}$$

Naprezanje i relativna deformacija armature za stanje naprezanja II, [20]:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{1842}{5,03 \times 15,58} = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{23,5}{20000,0} = 1,175 \times 10^{-3}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka ploče za stanje naprezanja II, [20]:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - y_{IIg}} = \frac{1,175 \times 10^{-3}}{16,5 - 2,77} = 8,56 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{cm}}$$

Naprezanje u armaturi prilikom pojave prve pukotine, [20]:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{2333}{5,03 \times 15,58} = 29,77 \text{ kN/cm}^2$$

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

Koeficijent raspodjele zakrivljenosti, [9]:

$$\zeta = 0,0$$

Ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka ploče, [20]:

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \times \frac{1}{r_I} + \zeta \times \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0,0) \times 7,73 \times 10^{-7} = 7,73 \times 10^{-7} \frac{1}{\text{cm}}$$

Progib ploče od kratkotrajnog djelovanja, [20]:

$$v_{tot,t=0} = k \times L^2 \times \frac{1}{r_m} = 0,104 \times 700,0^2 \times 7,73 \times 10^{-7} = 0,039 \text{ cm}$$

$$v_{\text{tot},t=0} = 0,039 \text{ cm} < v_{\text{lim}} = \frac{L_{\text{eff}}}{250} = \frac{700,0}{250} = 2,80 \text{ cm}$$

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

Za dugotrajno djelovanje proračunski moment savijanja u polju iznosi:

$$M_{\text{Ed}}^{t=\infty} = 14,85 \text{ kNm}$$

Ukupna zakrivljenost sastoji se od zakrivljenosti poprečnog presjeka ploče za stanja naprezanja I i II prema [20]:

$$\frac{1}{r_{\text{tot}}} = \frac{1}{r_{\text{m}}} = (1 - \zeta) \times \frac{1}{r_{\text{I}}} + \zeta \times \frac{1}{r_{\text{II}}}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka za stanje naprezanja I, [20]:

$$\frac{1}{r_{\text{I}}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{E_{\text{c,eff}} \times I_{\text{I}}} = \frac{1485}{12144,8 \times 69843,6} = 1,75 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Krak unutarnjih sila za stanje naprezanja II:

$$z = d - \frac{y_{\text{IIg}}}{3} = 16,5 - \frac{4,46}{3} = 15,01 \text{ cm}$$

Naprezanje i relativna deformacija armature za stanje naprezanja II, [20]:

$$\sigma_{\text{s}} = \frac{M_{\text{Ed}}}{A_{\text{s1,prov}} \times z} = \frac{1485}{5,03 \times 15,01} = 19,67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon_{\text{s1}} = \frac{\sigma_{\text{s}}}{E_{\text{s}}} = \frac{19,67}{20000,0} = 9,84 \times 10^{-4}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka ploče za stanje naprezanja II, [20]:

$$\frac{1}{r_{\text{II}}} = \frac{\varepsilon_{\text{s1}}}{d - y_{\text{IIg}}} = \frac{9,84 \times 10^{-4}}{16,5 - 4,46} = 8,17 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{cm}}$$

Naprezanje u armaturi prilikom pojave prve pukotine, [20]:

$$\sigma_{\text{sr}} = \frac{M_{\text{cr}}}{A_{\text{s1,prov}} \times z} = \frac{2333}{5,03 \times 15,01} = 30,9 \text{ kN/cm}^2$$

Budući da je vrijednost  $M_{\text{Ed}} < M_{\text{cr}}$  tada je vrijednost koeficijenta raspodjele zakrivljenosti  $\zeta = 0,0$  (prema [9]).

Srednja zakrivljenost poprečnog presjeka ploče, [20]:

$$\frac{1}{r_{\text{m}}} = (1 - \zeta) \times \frac{1}{r_{\text{I}}} + \zeta \times \frac{1}{r_{\text{II}}} = (1 - 0,0) \times 1,75 \times 10^{-6} = 1,75 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Konačna vrijednost relativne deformacije od skupljanja betona, [9]:



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

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

$$k_h = 0,85$$

Relativna deformacija skupljanja zbog sušenja betona, [9]:

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,00042$$

$$\varepsilon_{cd,\infty} = 0,85 \times 0,00042 = 3,57 \times 10^{-4}$$

Relativna deformacija od autogenog skupljanja zbog sušenja betona, [9]:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2,5 \times (40,0 - 10) \times 10^{-6} = 7,5 \times 10^{-5}$$

Izračun konačne vrijednosti relativne deformacije od skupljanja betona za razred betona C40/50 i relativnu vlažnost zraka od 50%:

$$\varepsilon_{cs,\infty} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca,\infty} = 3,57 \times 10^{-4} + 7,5 \times 10^{-5} = 4,32 \times 10^{-4}$$

Zakrivljenosti poprečnog presjeka ploče od skupljanja betona za stanja naprezanja I i II, [20]:

$$\frac{1}{r_{csI}} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} \times \alpha_e \times S_I}{I_I} = \frac{4,32 \times 10^{-4} \times 16,5 \times 31,19}{69843,6} = 3,18 \times 10^{-6}$$

$$\frac{1}{r_{csII}} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} \times \alpha_e \times S_{II}}{I_{II}} = \frac{4,32 \times 10^{-4} \times 16,5 \times 60,56}{14988,3} = 2,88 \times 10^{-5}$$

Srednja zakrivljenost poprečnog presjeka ploče od skupljanja betona, [20]:

$$\frac{1}{r_{csm}} = (1 - \zeta) \times \frac{1}{r_{csI}} + \zeta \times \frac{1}{r_{csII}} = (1 - 0,0) \times 3,18 \times 10^{-6} = 3,18 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka ploče, [20]:

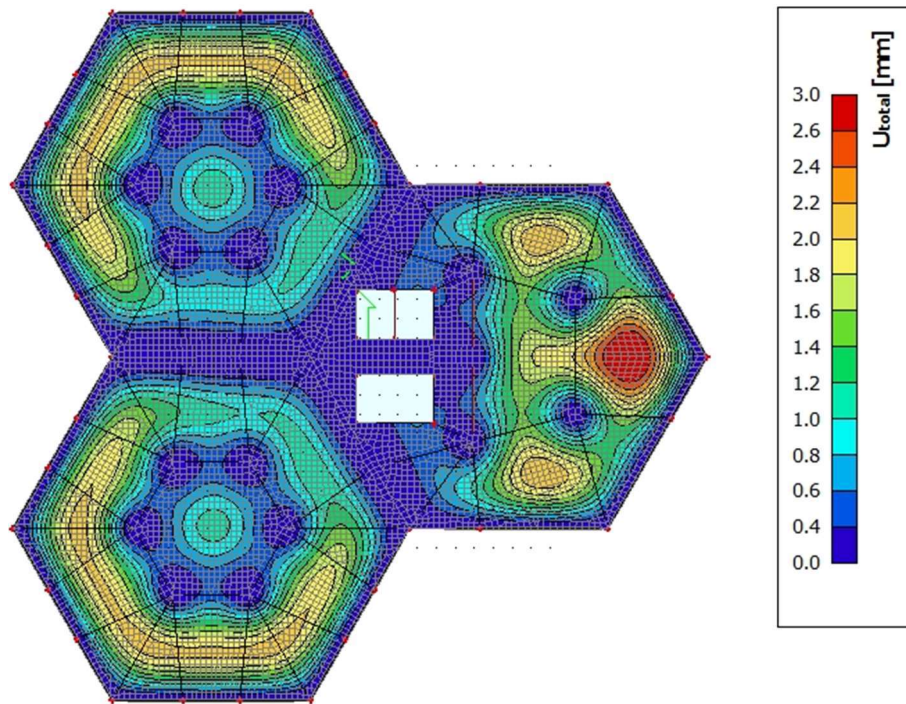
$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}} = 1,75 \times 10^{-6} + 3,18 \times 10^{-6} = 4,93 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Progib ploče od dugotrajnog djelovanja, [20]:

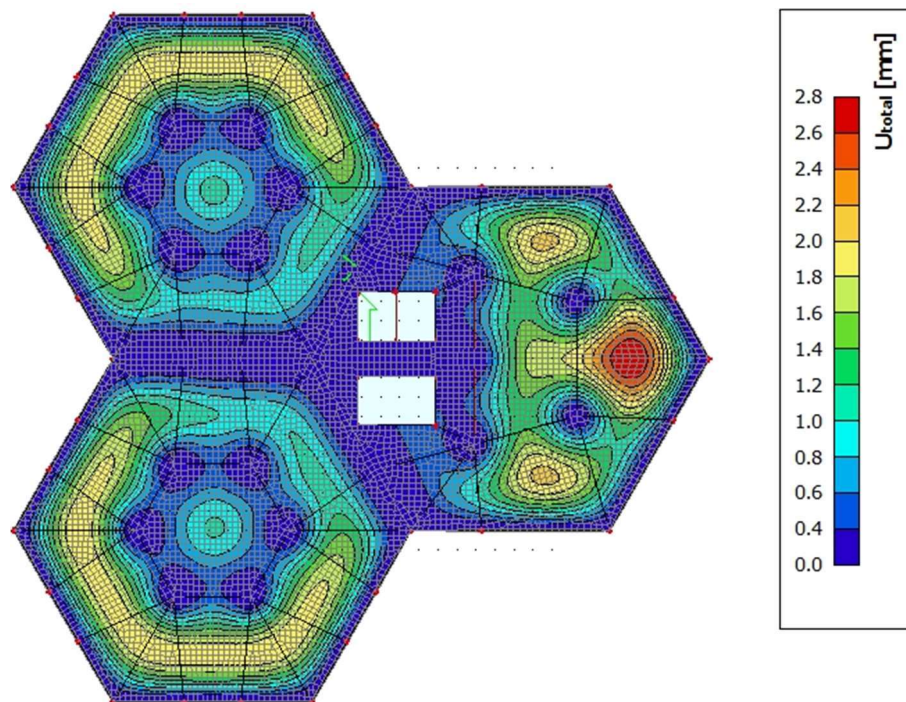
$$v_{tot,t=\infty} = k \times L^2 \times \frac{1}{r_{tot}} = 0,104 \times 700,0^2 \times 4,93 \times 10^{-6} = 0,25 \text{ cm}$$

$$v_{tot,t=\infty} = 0,25 \text{ cm} < v_{lim} = \frac{L_{eff}}{250} = \frac{700,0}{250} = 2,8 \text{ cm}$$

Progib iz računalnog programa SCIA Engineer [2]:



Slika 104.: Prikaz progiba za kratkotrajno djelovanje ( $t=0$ )

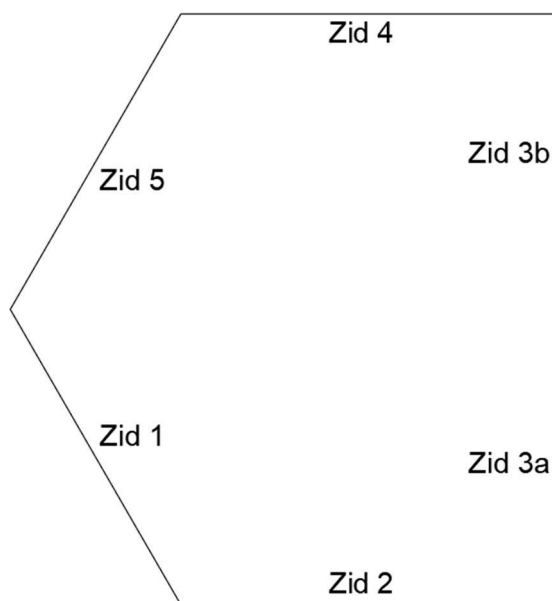


Slika 105.: Prikaz progiba za dugotrajno djelovanje ( $t=\infty$ )

### 3.6.3. Dimenzioniranje zidova AB jezgre (GSN)

Jezgra se sastoji od pet zidova unutar kojih se nalaze dizala i stepenište. Zidovi su promjenjive debljine po visini. Zidovi jezgre se dimenzioniraju prema normi [9] za GSN i GSU, a prema [12] zidovi jezgre trebaju biti u mogućnosti disipirati seizmičku energiju bez gubitka nosivosti.

U poglavlju (ispis rez) prikazani su ispisi unutarnjih sila za zidove jezgre 1, 2 i 3a/3b, a kao primjer za dimenzioniranje odabran je zid 2.



Slika 106.: Prikaz oznaka zidova jezgre

#### 3.6.3.1. Proračun zaštitnog sloja AB zida jezgre

Nominalni zaštitni sloj se prema [9] određuje kao:

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

gdje je:

$c_{\text{nom}}$  nominalni zaštitni sloj

$c_{\text{min}}$  minimalni zaštitni sloj

$\Delta c_{\text{dev}}$  dopušteno odstupanje u izvedbi, prema [18]:  $\Delta c_{\text{dev}} = 10,0 \text{ mm}$

Za potrebe proračuna zaštitnog sloja određuje se razred izloženosti, koji je za betonske elemente unutar građevine prema [9]: XC1 (suh ili stalno vlažan okoliš, beton unutar građevina s niskom vlagom zraka).

Minimalni zaštitni sloj treba osigurati zaštitu armature od korozije, požarnu otpornost i prijenos sila prijanjanja, a određuje se prema [9] kao:

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

gdje je:

$c_{\min,b}$  najmanja debljina iz zahtjeva prionjivosti armature i betona,  $c_{\min,b} = 20 \text{ mm}$

$c_{\min,dur}$  najmanja debljina koja proizlazi iz uvjeta okoliša

$\Delta c_{dur,\gamma}$  dodatna sigurnost u ostvarenju trajnosti konstrukcije,  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$

$c_{dur,st}$  umanjene zbog uporabe nehrđajućeg čelika,  $c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$

$c_{dur,add}$  umanjene zbog uporabe dodatne zaštite,  $c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$

Za beton klase C55/67, razred izloženosti XC1 i pločasti element iz tablice 41. je određen razred konstrukcije S2. Iz tablice 42. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S2 i razreda izloženosti XC1, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša  $c_{\min,dur}$ .

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

Slijedi:

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

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

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

### 3.6.3.2. Materijali i geometrija zidova jegre

#### **Materijali**

Razred čvrstoće betona: C55/67

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona:  $f_{ck} = 55,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$

- Proračunska tlačna čvrstoća:  $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{55}{1,5} = 36,7 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća:  $f_{cm} = 63,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća:  $f_{ctm} = 4,2 \text{ N/mm}^2$
- Karakteristična granica popuštanja čelika:  $f_{yk} = 500,0 \text{ N/mm}^2$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik:  $\gamma_s = 1,15$
- Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

### Geometrija – zid 2

- Debljina zida:  $b_w = 80,0 \text{ cm}$
- Duljina zida:  $l_w = 450,0 \text{ cm}$
- Visina etaže:  $h_e = 340,0 \text{ cm}$
- Svijetla visina etaže:  $h_s = 340,0 - 20,0 = 320 \text{ cm}$
- Visina zida:  $h_w = 320,0 \text{ cm}$
- Zaštitni sloj:  $c = 3,0 \text{ cm}$

### 3.6.3.3. Kontrola izvijanja i vitkosti zida

Prema [9], vitkost zida jednaka je:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

Proračunska duljina izvijanja zida [9]:

$$l_0 = \beta \times h_s = 0,664 \times 320,0 = 212,5 \text{ cm}$$

gdje je koeficijent za određivanje duljine izvijanja za zid pridržan na četiri ruba, [9]:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_s}{l_w}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,2}{4,5}\right)^2} = 0,664$$

Površina zida:

$$A = l_w \times b_w = 4,50 \times 0,80 = 3,60 \text{ m}^2$$

Moment tromosti:

$$I = \frac{l_w \times b_w^3}{12} = \frac{4,50 \times 0,8^3}{12} = 0,192 \text{ m}^4$$

Polumjer tromosti:

$$i^2 = \frac{I}{A} = \frac{0,192}{3,60} = 0,053 \text{ m}^2 \rightarrow i = 0,230 \text{ m}$$

Prema [9], učinci drugog reda se mogu zanemariti, ako je proračunska vitkost manja od granične vitkosti, koja je prema [18], jednaka:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{|v_{\text{Ed}}|}} = \frac{20 \times 0,7 \times 1,1 \times 0,7}{\sqrt{0,266}} = 20,90$$

gdje je iz [18]:

$$A = 0,70$$

$$B = 1,10$$

$$C = 0,70$$

$v_{\text{Ed}}$  normalizirana vrijednost uzdužne sile

Normalizirana vrijednost uzdužne sile, [9]:

$$v_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{l_w \times b_w \times f_{\text{cd}}} = \frac{35,19}{4,50 \cdot 0,80 \cdot 36,70} = 0,266 \text{ kN}$$

Konačno:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2,125}{0,230} = 9,24 \leq \lambda_{\text{lim}} = 20,90$$

Proračunska vitkost manja od granične. Nije potreban proračun po teoriji drugog reda.

#### 3.6.3.4. Proračun nosivosti u potresnom području prema EN 1998

Zahtijevana duktilnost se postiže ako potencijalna područja formiranja plastičnih zglobova posjeduju veliku sposobnost zakretanja. Razred duktilnosti je DCM (Ductility Class Medium), tj. razred umjerene duktilnosti. Uzdužna sila ne smije biti prevelika jer se time smanjuje raspoloživa duktilnost zida. Stoga je za DCM zidove bezdimenzijska uzdužna sila ograničena na  $v_{\text{Ed}} \leq 0,4$ , prema [12].

$$v_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{b_w \times l_w \times f_{\text{cd}}} = \frac{32542}{80 \times 450 \times 3,67} = 0,25 < 0,4$$

Zahtijevana duktilnost je određena izrazima, [12]:

$$\mu_\phi = 2 \times q_0 - 1 \text{ za } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_\phi = 1 + 2 \times (q_0 - 1) \times \frac{T_C}{T_1} \text{ za } T_1 < T_C$$

gdje je iz [12]:

$q_0$  osnovni iznos faktora ponašanja,  $q_0 = 3,9$

$T_1$  Osnovni period osciliranja u promatranom smjeru,  $T_1 = 4,24$  s

$T_C$  Period na gornjoj granici konstantnog dijela spektra,  $T_C = 0,50$ .

Ako se koristi armaturni čelik razreda B, duktilnost se uvećava za 50%.

$$\mu_\phi = (2 \times q_0 - 1) \times 1,5 = (2 \times 3,9 - 1) \times 1,5 = 10,2$$

### 3.6.3.5. Armatura hrpta zida

Potrebna je i vertikalna i horizontalna armatura zida. Vertikalna armatura preuzima moment savijanja van ravnine, a horizontalna za preuzimanje poprečne sile.

#### **Horizontalna armatura hrpta**

Horizontalna armatura preuzima poprečnu silu. Proračunsku poprečnu silu je potrebno povećati (za DCM 50%). Armatura se postavlja uz svaki rub zida.

$$V_{Ed} = 1,5 \times 2024,09 = 3036,14 \text{ kN}$$

Razmak armature, [9]:

$$s = 2 \times A_{sh} \times f_{yd} \times \frac{z \times \cot \theta}{V_{Ed}} = 2 \times 1,13 \times 43,478 \times \frac{0,8 \times 450,0 \times 1,0}{3036,14} = 11,65 \text{ cm}$$

Minimalna horizontalna armatura hrpta, [9]:

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

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

$$A_{sh,min} = 0,25 \times A_{sv} = 0,25 \times 22,62 = 5,66 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

Odabrana horizontalna armatura:

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

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

#### **Vertikalna armatura hrpta**

Služi za preuzimanje momenta van ravnine:



$$M_{Ed} = 223,43 \text{ kNm}$$

Statička visina zida (horizontalna armatura se postavlja bliže 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, [19]:

$$\omega' = \frac{A_{sv} \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}} = \frac{22,62 \times 43,478}{100,0 \times 75,2 \times 3,67} = 0,036$$

Za  $\omega' = 0,036$  očitana je iz [19] vrijednost  $\mu_{Rd} = 0,034$

Nosivost na moment savijanja, [19]:

$$M_{Rd} = \mu_{Rd} \times I_w \times d^2 \times f_{cd} = 0,034 \times 450,0 \times 75,2^2 \times 3,67 = 3175,36 \text{ kNm}$$

Uvjet:  $M_{Ed} = 223,43 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 3175,36 \text{ kNm}$

Minimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

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

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

Maksimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

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

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

Odabrana vertikalna armatura:

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

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

### 3.6.3.6. Određivanje armature kritičnog područja

#### ***Uzdužna armatura kritičnog područja***

Na osnovi interakcije momenta savijanja i uzdužne sile određuje se armatura kritičnog područja.

Proračunske vrijednosti reznih sila:

$$N_{Ed} = 32542 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 17687,34 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vrijednost uzdužne sile prema [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \times l_w \times f_{cd}} = \frac{32542}{80,0 \times 450,0 \times 3,67} = -0,25$$

Bezdimenzijski moment savijanja prema [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b_w \cdot l_w^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1768734}{80,0 \cdot 450,0^2 \cdot 3,67} = 0,030$$

Kako mehanički koeficijent armiranja pada u područje bez vrijednosti, odabrano iz [19] za beton C55/67:

$$\omega_{min} = 0,0178$$

Potrebna armatura (za svaki kraj zida) prema [19]:

$$A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 0,0178 \cdot \frac{3,67}{43,478} \cdot 80,0 \cdot 450,0 = 60,78 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura (za svaki kraj zida):

$$13\phi 25 (A_{s,prov} = 63,83 \text{ cm}^2)$$

### **Visina kritičnog područja**

Proračunava se prema [12]:

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

$$h_{cr} = \max\left(450,0; \frac{17000}{6} = 2833,33\right)$$

$$h_{cr} = 2833,33 \text{ cm}$$

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

$$h_{cr} \leq \min(2 \times 450,0 = 900; 2 \times 320,0 = 640,0)$$

Odabrana visina kritičnog područja  $h_{cr}$ :

$$h_{cr} = 640,0 \text{ cm}$$

### **Duljina kritičnog područja**

Za pretpostavljene sponne  $\phi 16$  vrijedi:

$$b_0 = b_w - 2 \times c - \phi_w = 80,0 - 2 \times 3,0 - 1,6 = 72,4 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu:

$$\varepsilon_{cu2} = 3,1 \text{ ‰}$$

Relativna deformacija armature pri popuštanju, [19]:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \times 10^{-3}$$

Mehanički omjer vertikalne armature hrpta, prema [12]:

$$\omega_v = \rho_v \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,00283 \times \frac{43,478}{3,67} = 0,034$$

Minimalni koeficijent armiranja treba biti u rasponu vrijednosti:

$$0,20\% \leq \rho_v \leq 4,0\%$$

$$\rho_v = \frac{A_{sv}}{b_w \times d} = \frac{2 \times 11,31}{80 \times 100} = 0,00283 = 0,28\% \geq 0,20\%$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times \mu_\phi \times (v_d + \omega_v) \times \varepsilon_{sy,d} \times \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times 10,2 \times (0,25 + 0,034) \times 2,17 \times 10^{-3} \times \frac{80,0}{72,4} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,173$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu, [9]:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0031 + 0,1 \times \alpha \times \omega_{wd} = 0,0031 + 0,1 \times 0,173 = 0,0204$$

Duljina tlačnog područja pri slomu, [12]:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \times \frac{l_w \times b_w}{b_0} = (0,25 + 0,034) \times \frac{450,0 \times 80,0}{72,4} = 141,2 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja, [12]:

$$h_0 = l_c = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 141,2 \times \left(1 - \frac{0,0031}{0,0204}\right) = 119,7 \text{ cm}$$

Minimalna duljina kritičnog područja prema [12]:

$$l_c \geq \max(0,15 \times l_w; 1,5 \times b_w)$$

$$l_c \geq \max(0,15 \times 450,0 = 67,5; 1,5 \cdot 80,0 = 120,0)$$

$$l_c \geq 120,0 \text{ cm}$$

Mjerodavna duljina kritičnog područja:

$$l_c = 120,0 \text{ cm}$$

### **Minimalna i maksimalna uzdužna armatura**

Koeficijent armiranja treba biti veći od 0,5% i manji od 4% .

Koeficijent armiranja:

$$\rho_v = \frac{A_{s,prov}}{l_c \times b_0} = \frac{2 \times 63,83}{120 \times 72,4} = 0,015 = 1,5 \%$$

### ***Debljina kritičnog područja***

Prema [12], debljina hrpta zidova:

$$b_w = \max \left\{ 15,0 \text{ cm}; \frac{h_s}{20} \right\} = \max \left( 15,0 \text{ cm}; \frac{320}{15} \right) = 21,3 \text{ cm}$$

$$b_w = 80,0 \text{ cm} > 21,3 \text{ cm}$$

Prema [12], debljina zida zadovoljava:

Ako je  $l_c \leq 2 \times b_w$  ili  $l_c \leq 0,2 \times l_w$  tada  $b_w$  ne smije biti manji od  $\frac{h_s}{15}$

Ako je  $l_c > 2 \times b_w$  ili  $l_c > 0,2 \times l_w$  tada  $b_w$  ne smije biti manji od  $\frac{h_s}{10}$

$$l_c = 120,0 \text{ cm}$$

$$l_c = 120,0 < 2 \times b_w = 2 \times 80,0 = 160,0 \text{ cm} \rightarrow b_w = 80,0 \text{ cm} > \frac{h_s}{15} = \frac{320,0}{15} = 21,3 \text{ cm}$$

### ***Spone kritičnog područja***

Mehanički volumenski koeficijent armiranja sponama u kritičnom području, prema [12]:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Faktor djelotvornosti, prema [12]:

$$\alpha = \alpha_n \times \alpha_s$$

gdje je iz [12]:

$\alpha_n$  gubitak ovijenog područja u horizontalnoj ravnini

$\alpha_s$  gubitak ovijenog područja u vertikalnoj ravnini

Odabrana uzdužna armatura kritičnog područja:  $13\phi 25$  ( $A_{s,prov} = 63,83 \text{ cm}^2$ ) - za svaki kraj zida.

Razmak dvije šipke:

$$b_{i,h} = \frac{l_c - c - 2 \times \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{120 - 3,0 - 2 \times 1,6 - 2,5}{12} = 9,3 \text{ cm}$$

Razmak vertikalne armature okomito na zid:

$$b_{i,v} = \frac{b_o - \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{72,4 - 1,6 - 2,5}{1} = 68,3 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka, [12]:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \times b_o \times h_o} = 1 - \frac{2 \times 12 \times 9,3^2 + 2 \times 68,3^2}{6 \times 72,4 \times 120} = 0,78$$

Najveći dopušteni razmak spona, [12]:

$$s_{\max} = \min\left(\frac{b_o}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \times d_{bl}\right)$$

$$s_{\max} = \min\left(\frac{72,4}{2} = 36,2; 17,5; 8 \times 2,5 = 20,0\right)$$

$$s_{\max} = \min(36,2; 17,5; 20,0)$$

$$s_{\max} = 17,5 \text{ cm}$$

Za pretpostavljeni razmak spona vrijedi, [12]:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \times b_o}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_o}\right) = \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 72,4}\right) \times \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 120}\right) = 0,89$$

Obujam spona:

$$\frac{\phi^2 \times \pi}{4} \times (10 \times b_o + 2 \times h_o) = \frac{1,6^2 \times \pi}{4} \times (10 \times 72,4 + 2 \times 120) = 1938,2 \text{ cm}^3$$

Obujam ovijenoga betona:

$$s \times b_o \times h_o = 10,0 \times 72,4 \times 120 = 86880 \text{ cm}^2$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{1938,2}{86880} \times \frac{43,478}{3,67} = 0,264 \geq 0,08$$

Faktor djelotvornosti:

$$\alpha = 0,78 \times 0,89 = 0,694$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,173$$

$$0,694 \times 0,264 \geq 0,173$$

$$0,183 \geq 0,173$$

Odabrana armatura:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

Tablica 48.: Rekapitulacija armature zida 2

|   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| Vertikalna armatura hrpta                       | $\phi$ 12/10,0 cm                     |
| Horizontalna armatura hrpta                     | $\phi$ 12/10,0 cm                     |
| Vertikalna armatura<br>(kritično područje zida) | 13 $\phi$ 25<br>(13 $\phi$ 25/9,3 cm) |
| Spone   | $\phi$ 16/10,0 cm                     |

### 3.6.4. Dimenzioniranje zidova AB jezgre (GSU)

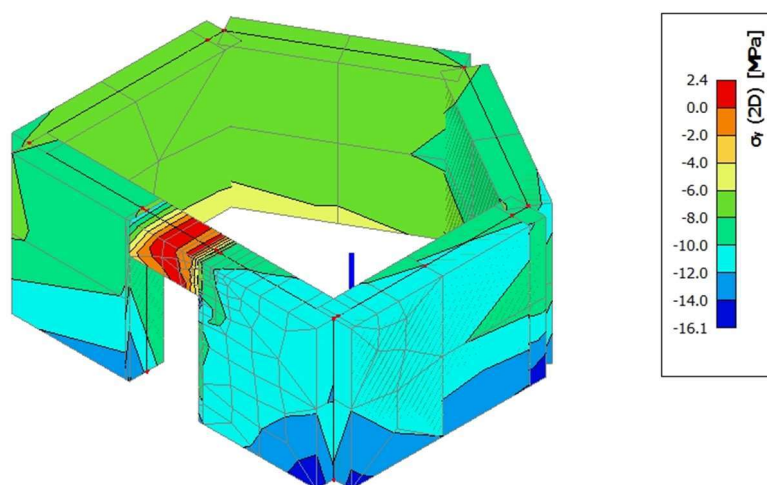
#### 3.6.4.1. Kontrola naprezanja u betonu zidova jezgre

Kontrola naprezanja se provjerava prema normi [9]. Treba se ograničiti tlačno naprezanje da se izbjegne pojava pukotina, mikropukotina i velike plastične deformacije, čime se narušava trajnost i funkcionalnost konstrukcije. Za karakterističnu kombinaciju djelovanja se provjerava pojava uzdužnih pukotina, gdje je ograničenje naprezanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck}$$

Za ograničenje tlačnog naprezanja za izbjegavanje velikih plastičnih deformacija koristi se nazovistalna kombinacija djelovanja, a ograničenje naprezanja glasi:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck}$$

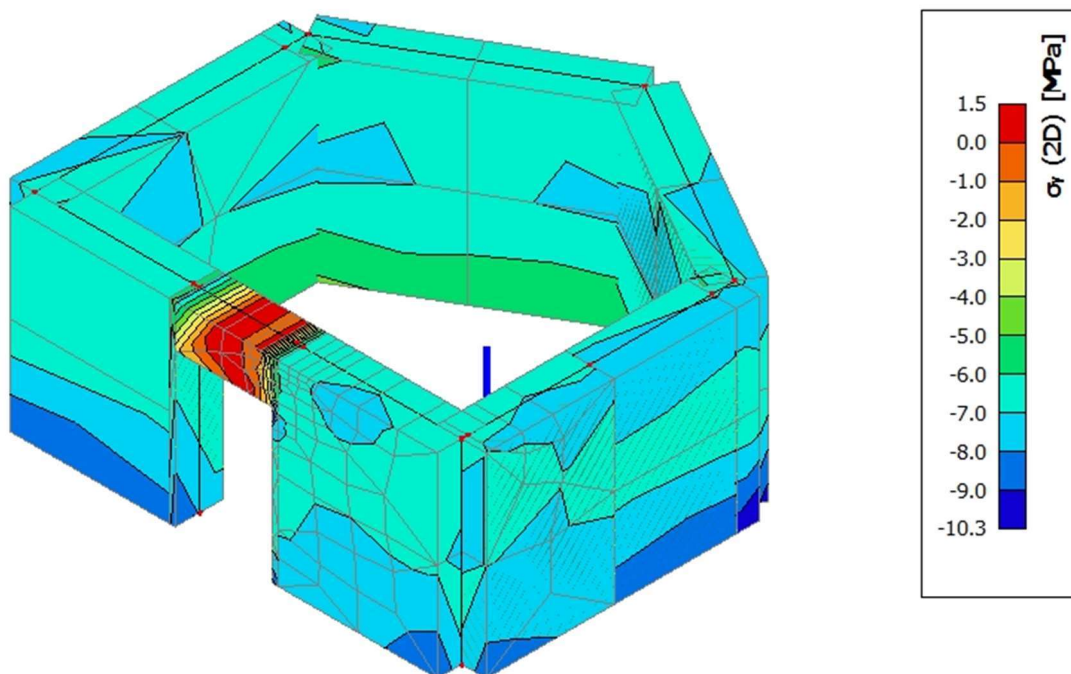


Slika 107.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih napreznja za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 55 = 33 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 16,1 \text{ N/mm}^2 \leq 33 \text{ N/mm}^2$$



Slika 108.: Prikaz napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,45 \times 55 = 24,75 \text{ N/mm}^2$$

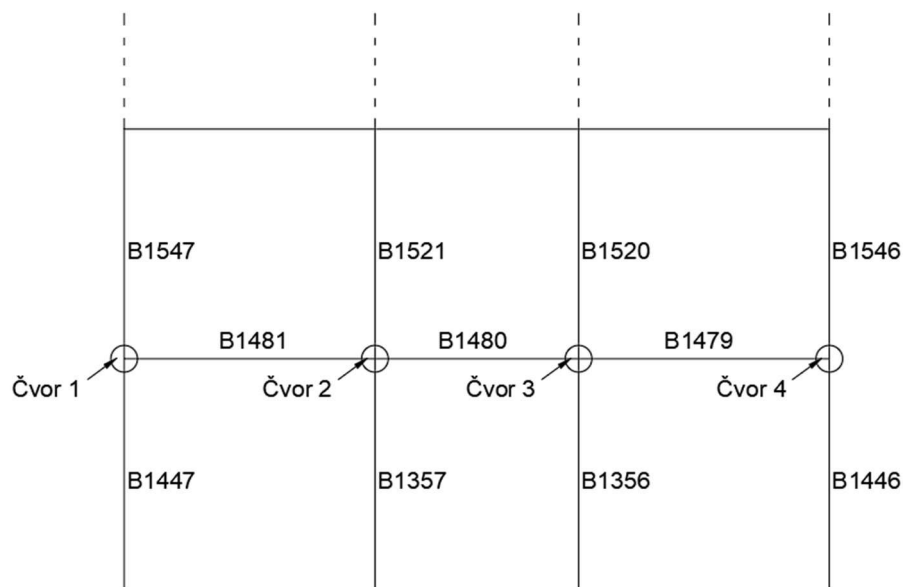
$$\sigma_c = 10,3 \text{ N/mm}^2 \leq 24,75 \text{ N/mm}^2$$



### 3.6.5. Dimenzioniranje okvira građevine (GSN)

Ovojnici zgrade čine AB okviri načinjeni od stupova i greda. Za usvojeni razred duktilnosti su odabrani materijali elemenata okvira (prema [12], za DCM nije dopušten razred betona manji od C20/25). Za stupove je odabran materijal C55/67, a za grede C40/50.

U poglavlju (ispis) prikazan je tablični ispis unutarnjih sila za dimenzioniranje stupova i grede. U programu SCIA Engineer [2] jedna od mogućnosti za opciju „rib“, kojom su zadane grede, je mogućnost zanemarivanja uzdužne sile u dimenzioniranju, tako da se uzdužna sila preračuna u dodatni moment savijanja. Kao rezultat toga daljni se proračun može izvesti koristeći samo proračunski moment savijanja. Također, preračunavanjem aksijalne sile se u obzir uzima i efektivna širina [2]. Elementi okvira su radi lakšeg snalaženja naznačeni pozicijama jednako kao u programu SCIA Engineer [2]. Kao primjer dimenzioniranja su dane grede i stupovi označeni na slici 109., za koje je prikazana i usporedba s rezultatima iz programa, a za ostale okvire su dani rezultati iz programa SCIA Engineer [2].



Slika 109.: Prikaz oznaka stupova i greda okvira

#### 3.6.5.1. Kontrola naprezanja u betonu zidova jezgre

Nominalni zaštitni sloj se prema [9] određuje kao:

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

gdje je iz [9]:

$c_{nom}$  nominalni zaštitni sloj

$c_{min}$  minimalni zaštitni sloj

$\Delta c_{dev}$  dopušteno odstupanje u izvedbi, prema [18]:  $\Delta c_{dev} = 10,0 \text{ mm}$

Za potrebe proračuna zaštitnog sloja određuje se razred izloženosti, koji je za vanjske elemente građevine prema [9]: XC4 (naizmjenično vlažan i suh, vanjski elementi izloženi kiši).

Minimalni zaštitni sloj treba osigurati zaštitu armature od korozije, požarnu otpornost i prijenos sila prijanjanja, a određuje se prema [9] kao:

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

gdje je iz [9]:

$c_{min,b}$  najmanja debljina iz zahtjeva prionjivosti armature i betona,  $c_{min,b} = 20 \text{ mm}$

$c_{min,dur}$  najmanja debljina koja proizlazi iz uvjeta okoliša

$\Delta c_{dur,\gamma}$  dodatna sigurnost u ostvarenju trajnosti konstrukcije,  $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$

$c_{dur,st}$  umanjenje zbog uporabe nehrđajućeg čelika,  $c_{dur,st} = 0 \text{ mm}$

$c_{dur,add}$  umanjenje zbog uporabe dodatne zaštite,  $c_{dur,add} = 0 \text{ mm}$

Za beton klase C55/67 i razred izloženosti XC4 je određen razred konstrukcije S3. Iz tablice 42. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S3 i razreda izloženosti XC4, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša  $c_{min,dur}$ .

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

Slijedi:

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

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

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

### 3.6.5.2. Materijali i geometrija okvira

#### **Materijali - grede**

Razred čvrstoće betona: C40/50

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona:  $f_{ck} = 40,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća:  $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{40}{1,5} = 26,7 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća:  $f_{cm} = 48,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća:  $f_{ctm} = 3,5 \text{ N/mm}^2$
- Karakteristična granica popuštanja čelika:  $f_{yk} = 500,0 \text{ N/mm}^2$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik:  $\gamma_s = 1,15$
- Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

### **Materijali - stupovi**

Razred čvrstoće betona: C55/67

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona:  $f_{ck} = 55,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka:  $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton:  $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća:  $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{55}{1,5} = 36,7 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća:  $f_{cm} = 63,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća:  $f_{ctm} = 4,2 \text{ N/mm}^2$
- Karakteristična granica popuštanja čelika:  $f_{yk} = 500,0 \text{ N/mm}^2$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za čelik:  $\gamma_s = 1,15$
- Proračunska granica popuštanja:  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2$

### **Geometrija – grede**

Prema [12], širina grede mora biti:

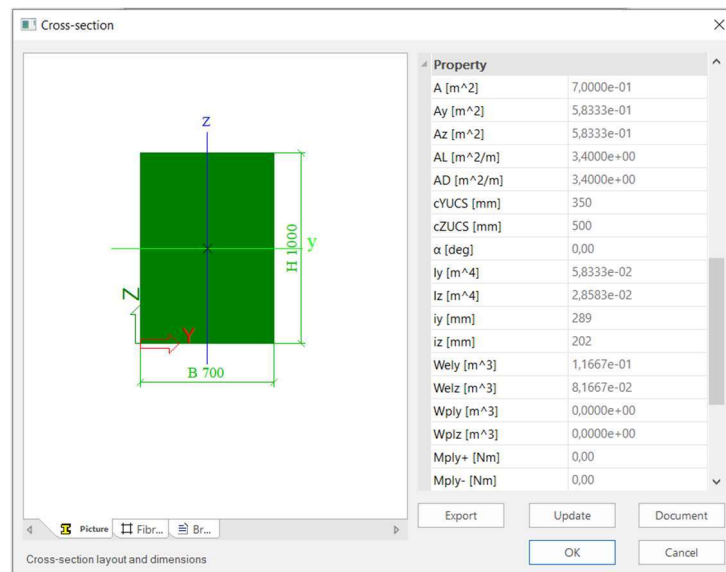
$$b_w \leq \{b_c + h_w; 2 \times b_c\} = \{70 + 80 = 150; 2 \times 70 = 140\}$$

- Širina hrpta grede:  $b_w = 70,0 \text{ cm} \leq 140 \text{ cm}$
- Visina presjeka grede:  $h = 80,0 \text{ cm}$
- Debljina ploče:  $d = 20,0 \text{ cm}$
- Rasponi: grede B1479 i B1481:  $L = 370 \text{ cm}$   
greda B1480:  $L = 300 \text{ cm}$

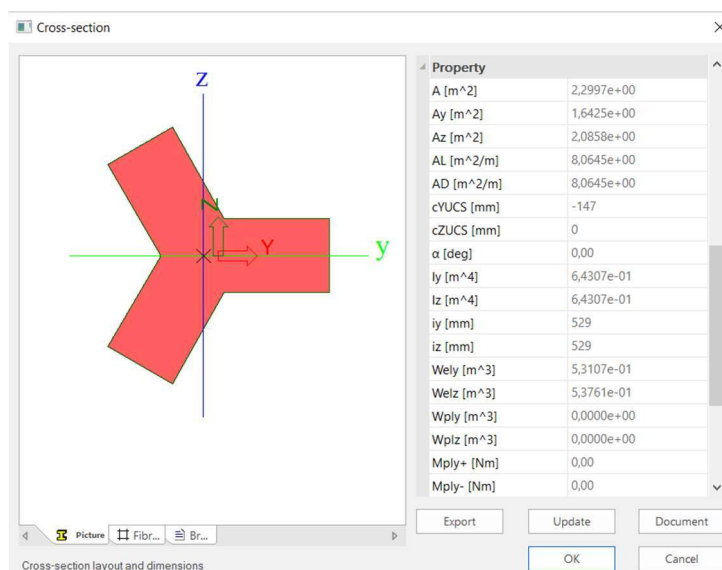
- Svijetli raspon greda:  $l_{cl} = 200 \text{ cm}$
- Zaštitni sloj:  $c = 3,5 \text{ cm}$

### Geometrija – stupovi

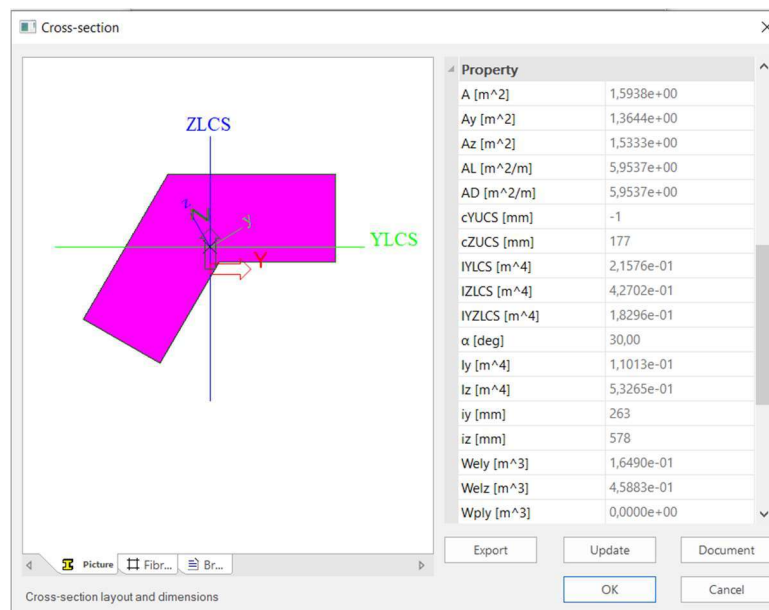
- Visina etaže:  $h_e = 340,0 \text{ cm}$
- Svijetla visina stupa:  $h_s = 340,0 - 80,0 = 260 \text{ cm}$
- Zaštitni sloj:  $c = 3,5 \text{ cm}$
- Poprečni presjeci stupova:



Slika 110.: Prikaz poprečnog presjeka stupa u sredini okvira



Slika 111.: Prikaz poprečnog presjeka rubnog stupa 1



Slika 112.: Prikaz poprečnog presjeka rubnog stupa 2

### ***Najveći dopušteni promjer uzdužne armature***

Kako bi se spriječio slom prijanjanja, promjer uzdužnih šipki grede koje prolaze kroz čvor, mora biti ograničen [12]:

- unutarnji čvor greda – stup:

$$\frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \times f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \times f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0,8 \times v_d}{1 + 0,75 \times k_D \times \frac{\rho'}{\rho_{max}}}$$

- vanjski čvor greda – stup:

$$\frac{d_{bl}}{h_c} \leq \frac{7,5 \times f_{ctm}}{\gamma_{Rd} \times f_{yd}} \times (1 + 0,8 \times v_d)$$

gdje je prema [12]:

- $h_c$  širina stupa usporedno sa šipkama
- $f_{ctm}$  srednja vlačna čvrstoća betona
- $v_d$  normalizirana proračunska uzdužna sila u stupu uzeta s najmanjom vrijednosti za proračunsku potresnu situaciju
- $k_D$  faktor kojim se u obzir uzima razred duktilnosti (za DCM 2/3)

|               |   |
|---------------|---|
| $\rho'$       | omjer armiranja tlačne armature za šipke grede koje prolaze kroz čvor                           |
| $\rho_{\max}$ | maksimalni dopušteni omjer armiranja vlačnom armaturom  |
| $\gamma_{Rd}$ | faktor nesigurnosti modela proračunske otpornosti koji se uzima kao 1,0 za razred duktilnosti M |

### ***Najveći dopušteni promjer uzdužne armature – čvor 1***

Normalizirana uzdužna sila se određuje iz najmanje uzdužne sile u stupu iznad i ispod čvora koji se promatra.

Mjerodavna minimalna uzdužna sila u stupu:  $N_{Ed} = 6804,8 \text{ Kn}$

Normalizirana proračunska uzdužna sila [19]:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{6804,8}{15938 \times 3,67} = 0,12$$

Maksimalni promjer uzdužne armature za vanjski čvor prema [12]:

$$d_{bl} \leq 70 \times \frac{7,5 \times 0,35}{1,0 \times 43,478} \times (1 + 0,8 \times 0,12) \rightarrow d_{bl} \leq 4,63 \text{ cm}$$

### ***Najveći dopušteni promjer uzdužne armature – čvor 2***

Normalizirana uzdužna sila se određuje iz najmanje uzdužne sile u stupu iznad i ispod čvora koji se promatra.

Mjerodavna minimalna uzdužna sila u stupu:  $N_{Ed} = 4639,5 \text{ Kn}$

Normalizirana proračunska uzdužna sila [19]:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{4639,5}{100 \times 70 \times 3,67} = 0,18$$

Maksimalni promjer uzdužne armature za unutarnji čvor prema [12]:

$$d_{bl} \leq 70 \times \frac{7,5 \times 0,35}{1,0 \times 43,478} \cdot \frac{1 + 0,8 \times 0,18}{1 + 0,75 \times \frac{2}{3} \times 0,5} \rightarrow d_{bl} \leq 3,87 \text{ cm}$$

U gornjoj jednadžbi jedina nepoznanica je  $\frac{\rho'}{\rho_{\max}}$ . U startu nije poznata točna količina armature, ali je dopušteno pretpostaviti  $\rho' = 0,5 \times \rho_{\max}$ , jer tlačna armatura uvijek mora biti barem 50% vlačne armature u gredi. Kasnije u proračunu će se provjeriti navedeni izraz za točnu količinu armature.

**Najveći dopušteni promjer uzdužne armature – čvor 3**

Normalizirana uzdužna sila se određuje iz najmanje uzdužne sile u stupu iznad i ispod čvora koji se promatra.

Mjerodavna minimalna uzdužna sila u stupu:  $N_{Ed} = 6053,3 \text{ Kn}$

Normalizirana proračunska uzdužna sila [19]:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{6053,3}{100 \times 70 \times 3,67} = 0,24$$

Maksimalni promjer uzdužne armature za unutarjni čvor prema [12]:

$$d_{bl} \leq 70 \times \frac{7,5 \times 0,35}{1,0 \times 43,478} \cdot \frac{1 + 0,8 \times 0,24}{1 + 0,75 \times \frac{2}{3} \times 0,5} \rightarrow d_{bl} \leq 4,03 \text{ cm}$$

U gornjoj jednadžbi jedina nepoznanica je  $\frac{\rho'}{\rho_{max}}$ . U startu nije poznata točna količina armature, ali je dopušteno pretpostaviti  $\rho' = 0,5 \times \rho_{max}$ , jer tlačna armatura uvijek mora biti barem 50% vlačne armature u gredi. Kasnije u proračunu će se provjeriti navedeni izraz za točnu količinu armature.

**Najveći dopušteni promjer uzdužne armature – čvor 4**

Normalizirana uzdužna sila se određuje iz najmanje uzdužne sile u stupu iznad i ispod čvora koji se promatra.

Mjerodavna minimalna uzdužna sila u stupu:  $N_{Ed} = 14403,9 \text{ Kn}$

Normalizirana proračunska uzdužna sila [19]:

$$v_d = \frac{N_{Ed}}{A_c \times f_{cd}} = \frac{14403,9}{15938 \times 3,67} = 0,25$$

Maksimalni promjer uzdužne armature za vanjski čvor prema [12]:

$$d_{bl} \leq 70 \times \frac{7,5 \times 0,35}{1,0 \times 43,478} \times (1 + 0,8 \times 0,25) \rightarrow d_{bl} \leq 5,07 \text{ cm}$$

**3.6.5.3. Zahtijevana duktilnost**

Zahtijevana duktilnost je određena izrazima, [12]:

$$\mu_\phi = 2 \times q_0 - 1 \text{ za } T_1 \geq T_C$$

$$\mu_{\phi} = 1 + 2 \times (q_0 - 1) \times \frac{T_C}{T_1} \text{ za } T_1 < T_C$$

gdje je iz [12]:

$q_0$  osnovni iznos faktora ponašanja,  $q_0 = 3,9$

$T_1$  Osnovni period osciliranja u promatranom smjeru,  $T_1 = 4,24$  s

$T_C$  Period na gornjoj granici konstantnog dijela spektra,  $T_C = 0,50$ .

Ako se koristi armaturni čelik razreda B, duktilnost se uvećava za 50%.

$$\mu_{\phi} = (2 \times q_0 - 1) \times 1,5 = (2 \times 3,9 - 1) \times 1,5 = 10,2$$

#### 3.6.5.4. Uzdužna armatura greda

##### ***Greda B1481 - pozitivni moment savijanja***

Sudjelujuća širina za dimenzioniranje na potresna djelovanja se određuje drugačije nego za analizu. Prema [12], kada okomito na okvir ne postoje grede (što je ovdje slučaj) sudjelujuća širina jednaka je širini stupa (70 cm).

Za potresnu kombinaciju maksimalni pozitivni preračunati moment :  $M_{Ed} = 327,2$  kNm.

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{32720}{70 \times 74,1^2 \times 2,67} = 0,032$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,034$$

Očitano, [19]:

$$\varepsilon_c = -1,4 \qquad \xi = 0,065$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \qquad \zeta = 0,977$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{32720}{0,977 \times 74,1 \times 43,478} = 10,4 \text{ cm}^2$$

##### ***Minimalna armatura***

Prema [12], duž cijele potresne grede omjer armiranja u vlačnom području ne smije biti manji od:



$$\rho = 0,5 \times \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

Prema tome:

$$A_{s,min} = 0,5 \times \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \times b \times d = 0,5 \times \frac{3,5}{500} \times 70 \times 74,1 = 18,15 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u polju:  $7\phi 20$  ( $A_{s,prov} = 21,98 \text{ cm}^2$ )

### ***Greda B1481 – negativni moment savijanja***

Za potresnu kombinaciju maksimalni negativni preračunati moment:  $M_{Ed} = 411,4 \text{ kNm}$ .

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{41140}{70 \cdot 74,1^2 \cdot 2,67} = 0,040$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,042$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,6 & \xi &= 0,074 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,973 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{39880}{0,973 \times 74,1 \times 43,478} = 12,72 \text{ cm}^2$$

### ***Maksimalna armatura***

Ako se pretpostavi jednaka armatura u donjoj zoni duž cijele grede, tj  $7\phi 20$ , vrijedi:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \times d} = \frac{21,98}{70 \times 74,1} = 4,40 \times 10^{-3}$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području iznosi:

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\phi} \times \varepsilon_{sy,d}} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \\ \rho_{max} &= 4,40 \times 10^{-3} + \frac{0,0018}{10,2 \times \frac{43,478}{20000}} \times \frac{2,67}{43,478} = 0,0094 \end{aligned}$$

Maksimalna armatura iznosi:

$$A_{s,max} = \rho_{max} \times b_w \times d = 0,0094 \cdot 70 \cdot 71,4 = 46,98 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura nad osloncem:  $7\phi 20$  ( $A_{s,prov} = 21,98 \text{ cm}^2$ )

### ***Greda B1480 - pozitivni moment savijanja***

Sudjelujuća širina za dimenzioniranje na potresna djelovanja se određuje drugačije nego za analizu. Prema [], kada okomito na okvir ne postoje grede (što je ovdje slučaj) sudjelujuća širina jednaka je širini stupa (70 cm).

Za potresnu kombinaciju maksimalni pozitivni preračunati moment:  $M_{Ed} = 323,1 \text{ kNm}$ .

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{32310}{70 \times 74,1^2 \times 2,67} = 0,031$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,034$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,4 & \xi &= 0,065 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,977 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{32310}{0,977 \times 74,1 \times 43,478} = 10,3 \text{ cm}^2$$

### ***Minimalna armatura***

Prema [12], duž cijele potresne grede omjer armiranja u vlačnom području ne smije biti manji od:

$$\rho = 0,5 \times \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

Prema tome:

$$A_{s,min} = 0,5 \times \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \times b \times d = 0,5 \times \frac{3,5}{500} \times 70 \times 74,1 = 18,15 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u polju:  $7\phi 20$  ( $A_{s,prov} = 21,98 \text{ cm}^2$ )

**Greda B1480 - negativni moment savijanja**

Za potresnu kombinaciju maksimalni negativni preračunati moment:  $M_{Ed} = 371,2 \text{ kNm}$ .

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{37120}{70 \cdot 74,1^2 \cdot 2,67} = 0,036$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,038$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,5 & \xi &= 0,070 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,975 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{37120}{0,975 \times 74,1 \times 43,478} = 11,82 \text{ cm}^2$$

**Maksimalna armatura**

Ako se pretpostavi jednaka armatura u donjoj zoni duž cijele grede, tj  $7\phi 20$ , vrijedi:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \times d} = \frac{21,98}{70 \times 74,1} = 4,40 \times 10^{-3}$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području iznosi:

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= \rho' + \frac{0,0018}{\mu_{\Phi} \times \varepsilon_{sy,d}} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \\ \rho_{max} &= 4,40 \times 10^{-3} + \frac{0,0018}{10,2 \times \frac{43,478}{20000}} \times \frac{2,67}{43,478} = 0,0094 \end{aligned}$$

Maksimalna armatura iznosi:

$$A_{s,max} = \rho_{max} \times b_w \times d = 0,0094 \cdot 70 \cdot 71,4 = 46,98 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura nad osloncem:  $7\phi 20$  ( $A_{s,prov} = 21,98 \text{ cm}^2$ )

**Greda B1479 - pozitivni moment savijanja**

Sudjelujuća širina za dimenzioniranje na potresna djelovanja se određuje drugačije nego za analizu. Prema [12], kada okomito na okvir ne postoje grede (što je ovdje slučaj) sudjelujuća širina jednaka je širini stupa (70 cm).

Za potresnu kombinaciju maksimalni pozitivni preračunati moment:  $M_{Ed} = 360,3 \text{ kNm}$ .

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \times d^2 \times f_{cd}} = \frac{36030}{70 \times 74,1^2 \times 2,67} = 0,035$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,038$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -1,5 & \xi &= 0,070 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,975 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{36030}{0,975 \times 74,1 \times 43,478} = 11,5 \text{ cm}^2$$

### **Minimalna armatura**

Prema [12], duž cijele potresne grede omjer armiranja u vlačnom području ne smije biti manji od:

$$\rho = 0,5 \times \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right)$$

Prema tome:

$$A_{s,min} = 0,5 \times \left( \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) \times b \times d = 0,5 \times \frac{3,5}{500} \times 70 \times 74,1 = 18,15 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura u polju:  $7\phi 20$  ( $A_{s,prov} = 21,98 \text{ cm}^2$ )

### **Greda B1479 - negativni moment savijanja**

Za potresnu kombinaciju maksimalni negativni preračunati moment:  $M_{Ed} = 452,5 \text{ kNm}$ .

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{45250}{70 \cdot 74,1^2 \cdot 2,67} = 0,044$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,046$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_c &= -1,7 & \xi &= 0,078 \\ \varepsilon_{s1} &= 20,0 & \zeta &= 0,971\end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \times d \times f_{yd}} = \frac{45250}{0,971 \times 74,1 \times 43,478} = 14,7 \text{ cm}^2$$

### **Maksimalna armatura**

Ako se pretpostavi jednaka armatura u donjoj zoni duž cijele grede, tj  $7\phi 20$ , vrijedi:

$$\rho' = \frac{A'_{s,prov}}{b_w \times d} = \frac{21,98}{70 \times 74,1} = 4,40 \times 10^{-3}$$

Maksimalna dopuštena količina vlačne armature u kritičnom području iznosi:

$$\begin{aligned}\rho_{max} &= \rho' + \frac{0,0018}{\mu_\Phi \times \varepsilon_{sy,d}} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \\ \rho_{max} &= 4,40 \times 10^{-3} + \frac{0,0018}{10,2 \times \frac{43,478}{20000}} \times \frac{2,67}{43,478} = 0,0094\end{aligned}$$

Maksimalna armatura iznosi:

$$A_{s,max} = \rho_{max} \times b_w \times d = 0,0094 \cdot 70 \cdot 71,4 = 46,98 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura nad osloncem:  $7\phi 20$  ( $A_{s,prov} = 21,98 \text{ cm}^2$ )

Provjera izraza za maksimalni promjer uzdužne šipke:

$$d_{bl} \leq 70 \times \frac{7,5 \times 0,35}{1,0 \times 43,478} \cdot \frac{1 + 0,8 \times 0,24}{1 + 0,75 \times \frac{2}{3} \times \frac{4,40 \times 10^{-3}}{0,0094}} \rightarrow d_{bl} \leq 4,08 \text{ cm}$$

Odabrana šipka zadovoljava navedeni uvjet.

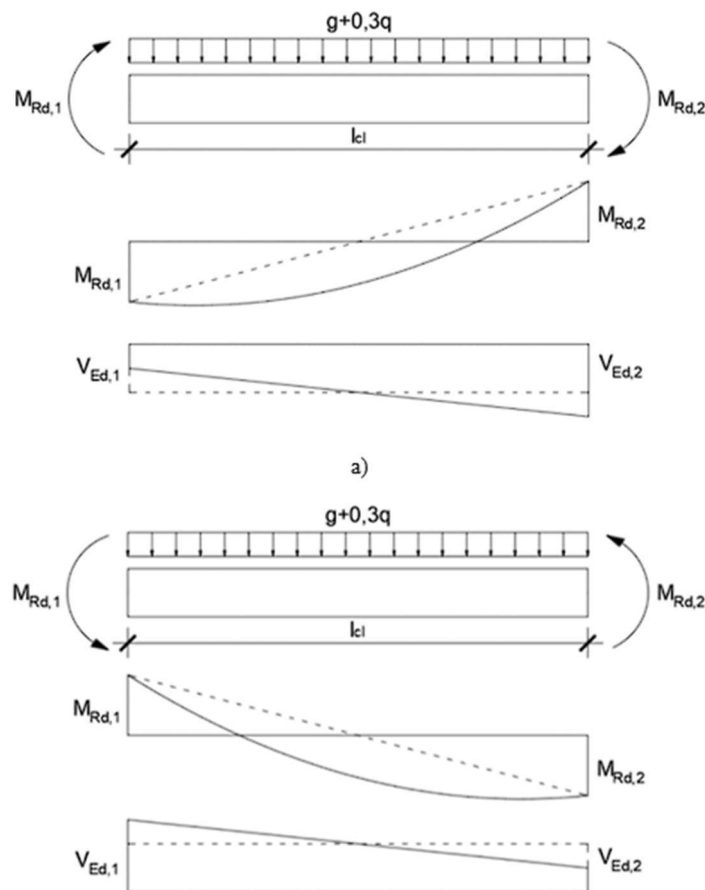
### 3.6.5.5. Nosivost greda na poprečnu silu

Kod okvira je potrebno osigurati da greda otkáže savijanjem prije nego posmikom te se zbog toga osigurava da pri opterećenju koje uzrokuje otkazivanje savijanjem ne dođe do sloma posmikom. Kada potres djeluje na jednom kraju grede se razvlači donja zona, a na drugom kraju gornja zona. Poprečna sila se može odrediti kao [12]:

$$V_{Ed} = \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{l_{cl}} \pm V_{Ed,g+0,3q}$$

gdje je:

- $V_{Ed,g+0,3q}$  vertikalno opterećenje koje djeluje tijekom potresa  
 $M_{Rd,i}$  momenti nosivosti greda  
 $l_{cl}$  svijetli raspon grede



Slika 113.: Prikaz grede s poprečnim opterećenjem i momentima na krajevima []

Za okvir je bolje oblikovati da prvo otkazu grede, a zatim stupovi, pa se zato momenti nosivosti određuju kao:

$$M_{Rd,1} = \gamma_{Rd} \times M_{Rb,1} = M_{Rb,1}$$

$$M_{Rd,2} = \gamma_{Rd} \times M_{Rb,2} = M_{Rb,2}$$

### **Nosivost grede na lijevom i desnom kraju**

Na oba kraja svih greda odabrana armatura je: ( $A_{s,1} = 21,98 \text{ cm}^2$  i  $A_{s,1} = 21,98 \text{ cm}^2$ ). Za određivanje nosivosti na moment savijanja koristi se dijagram interakcije.

Bezdimenzijska uzdužna sila (za preračunate sile prema SCIA Engineer [2]):

$$v_{Ed} = 0$$

Mehanički koeficijent armiranja iznosi, [19]:

$$\omega_{prov} = \frac{A_{s,prov} \times f_{yd}}{b_w \times h \times f_{cd}} = \frac{21,98 \times 43,478}{70 \times 80 \times 2,67} = 0,06$$

Iz dijagrama interakcije [19] je očitano:

$$\mu_{Rd} \approx 0,06.$$

Nosivost na moment savijanja iznosi [19]:

$$M_{Rd}^L = M_{Rd}^D = \mu_{Rd} \times b_w \times h^2 \times f_{cd} = 0,06 \cdot 70 \cdot 80^2 \cdot 2,67 = 71770 \text{ kNcm}$$

### **Proračunska poprečna sila u gredama**

Poprečna sila od vertikalnog djelovanja na gredu, očitana iz programa SCIA Engineer [2]:

**Tablica 49.:** Prikaz poprečnih sila od vertikalnog djelovanja

| Name         | dx [m] | Case   | NEd [kN] | VEdy [kN] | VEdz [kN] |
|--------------|--------|--------|----------|-----------|-----------|
| <b>B1479</b> | 3,696  | g+0,3c | 0        | 0         | -13,14    |
| <b>B1479</b> | 0      | g+0,3c | 0        | 0         | 63,47     |
| <b>B1480</b> | 3      | g+0,3c | 0        | 0         | -5,05     |
| <b>B1480</b> | 0      | g+0,3c | 0        | 0         | 3,99      |
| <b>B1481</b> | 3,696  | g+0,3c | 0        | 0         | -49,27    |
| <b>B1481</b> | 0      | g+0,3c | 0        | 0         | 12,29     |

Ako se greda optereti samo momentima nosivosti, poprečne sile su jednake:

$$V_{Ed,M}^L = V_{Ed,M}^D = \frac{71770 + 71770}{200} = 717,7 \text{ kN}$$

Ukupna poprečna sila u gredama jednaka je zbroju sila od potresa i vertikalnog djelovanja.

### **Ukupna sila u gredi B1481**

Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,1} = 49,27 - 717,7 = -668 \text{ kN}$$

Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{D,1} = -12,29 - 717,7 = -730 \text{ kN}$$

Kada potres djeluje u suprotnom smjeru razvlače se suprotni krajevi, a poprečne sile su za taj smjer jednake:

Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,2} = 49,27 + 717,7 = 767 \text{ kN}$$

Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{D,2} = -12,29 + 717,29 = 705 \text{ kN}$$

### ***Ukupna sila u gredi B1480***

Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,1} = 5,05 - 717,7 = -713 \text{ kN}$$

Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{D,1} = -4,0 - 717,7 = -722 \text{ kN}$$

Kada potres djeluje u suprotnom smjeru razvlače se suprotni krajevi, a poprečne sile su za taj smjer jednake:

Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,2} = 5,05 + 717,7 = 723 \text{ kN}$$

Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{D,2} = -4,0 + 717,29 = 714 \text{ kN}$$

### ***Ukupna sila u gredi B1479***

Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,1} = 13,1 - 717,7 = -705 \text{ kN}$$

Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{D,1} = -63,5 - 717,7 = -781 \text{ kN}$$

Kada potres djeluje u suprotnom smjeru razvlače se suprotni krajevi, a poprečne sile su za taj smjer jednake:

Poprečna sila na lijevom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{L,2} = 13,1 + 717,7 = 731 \text{ kN}$$



Poprečna sila na desnom rubu iznosi:

$$V_{Ed}^{D,2} = -63,5 + 717,29 = 654 \text{ kN}$$

### 3.6.5.6. Maksimalni razmak spona

Prema [12] kritično područje grede iznosi  $l_{cr} = h_w = 80 \text{ cm}$ , gdje je  $h_w$  visina presjeka. U kritičnom području najveći razmak spona je prema [12]:

$$s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \times \Phi_{s,min}; 24 \times \Phi_{sw}; \frac{h_w}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\}$$

Uvrštavanjem u izraz za lijevi rub vrijedi:

$$s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot 2,0; 24 \cdot 1,4; \frac{80}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = \min \{16,0; 33,6; 20,0; 22,5 \text{ cm}\}$$

Uvrštavanjem u izraz za desni rub vrijedi:

$$s_{cr,max} = \min \left\{ 8 \cdot 2,0; 24 \cdot 1,4; \frac{80}{4}; 22,5 \text{ cm} \right\} = \min \{16,0; 33,6; 20,0; 22,5 \text{ cm}\}$$

Maksimalni razmak spona u kritičnom području lijevo i desno iznosi  $s_{cr,max} = 16,0 \text{ cm}$ .

Van kritičnog područja je maksimalni razmak spona određen normom [9].

Prvi razmak se prema [12] ne smije postaviti na udaljenosti većoj od 5 cm.

### 3.6.5.7. Poprečna armatura greda

#### **Greda B1481**

Pretpostave li se spona  $\phi 14$  zahtijevani prvi razmak na lijevom rubu iznosi, [19]:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta = \frac{4 \times 1,54}{767} \times 0,9 \times 71,4 \times 43,478 \times 1,2 = 26,9 \text{ cm}$$

Zahtijevani prvi razmak na desnom rubu iznosi, [19]:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta = \frac{4 \times 1,54}{730} \times 0,9 \times 71,4 \times 43,478 \times 1,2 = 28,3 \text{ cm}$$

#### **Greda B1480**

Pretpostave li se spona  $\phi 14$  zahtijevani prvi razmak na lijevom rubu iznosi, [19]:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta = \frac{4 \times 1,54}{723} \times 0,9 \times 71,4 \times 43,478 \times 1,2 = 28,5 \text{ cm}$$

Zahtijevani prvi razmak na desnom rubu iznosi, [19]:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta = \frac{4 \times 1,54}{722} \times 0,9 \times 71,4 \times 43,478 \times 1,2 = 28,6 \text{ cm}$$

### **Greda B1479**

Pretpostave li se spona  $\phi 14$  zahtijevani prvi razmak na lijevom rubu iznosi, [19]:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta = \frac{2 \times 1,54}{731} \times 0,9 \times 71,4 \times 43,478 \times 1,2 = 28,3 \text{ cm}$$

Zahtijevani prvi razmak na desnom rubu iznosi, [19]:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta = \frac{2 \times 1,54}{781} \times 0,9 \times 71,4 \times 43,478 \times 1,2 = 26,4 \text{ cm}$$

ODABRANO: Za sve grede na svim krajevima će se prva spona postaviti na udaljenosti 4,0 cm od lica stupa, a duž cijele grede će se spona postaviti na razmaku 12,0 cm. (Razmaci 4,0 cm i 12,0 cm su odabrani da se na svijetlom rasponu dobije puni broj šipki i da udovolje maksimalni dozvoljeni razmaci prema [12]).

### 3.6.5.8. Uzdužna armatura stupova

#### **Stup B1357**

Određuje se pomoću dijagrama interakcije [19].

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{50740}{70 \times 100^2 \times 3,67} = 0,020$$

Bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-8940,2}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,35$$

Iz dijagrama interakcije je očitani mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 0,05$$

Prema tome je zahtijevana armatura [19]:

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,05 \times \frac{70 \times 100 \times 3,67}{43,478} = 29,54 \text{ cm}^2$$

**Stup B1521**

Određuje se pomoću dijagrama interakcije [19].

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{55020}{70 \times 100^2 \times 3,67} = 0,021$$

Bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-8750,4}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,34$$

Iz dijagrama interakcije je očitani mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 0,05$$

Prema tome je zahtijevana armatura [19]:

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,05 \times \frac{70 \times 100 \times 3,67}{43,478} = 29,54 \text{ cm}^2$$

**Stup B1356**

Određuje se pomoću dijagrama interakcije [19].

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{52100}{70 \times 100^2 \times 3,67} = 0,021$$

Bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-8030,4}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,31$$

Iz dijagrama interakcije je očitani mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 0,05$$

Prema tome je zahtijevana armatura [19]:

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,05 \times \frac{70 \times 100 \times 3,67}{43,478} = 29,54 \text{ cm}^2$$

**Stup B1520**

Određuje se pomoću dijagrama interakcije [19].

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{57800}{70 \times 100^2 \times 3,67} = 0,022$$

Bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-7861,0}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,30$$

Iz dijagrama interakcije je očitano mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 0,05$$

Prema tome je zahtijevana armatura [19]:

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,05 \times \frac{70 \times 100 \times 3,67}{43,478} = 29,54 \text{ cm}^2$$

**Minimalna uzdužna armatura**

Prema [12] minimalna uzdužna armatura za potresne stupove iznosi:

$$A_{s,min} = 0,01 \times A_c = 0,01 \times 70 \times 100 = 70 \text{ cm}^2$$

Prema normi [12], za potresne stupove je potrebno postaviti šipku u svaki kut, kao i na bočna lica stupa.

**Maksimalna armatura**

Prema [12], maksimalna armatura za stupove je:

$$A_{s,max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 70 \times 100 = 280 \text{ cm}^2$$

**Odabrana armatura**

Vidljivo je da je potrebna armatura za svaki stup dobivena jednaka. Odabrana armatura se treba nalaziti u sljedećem rasponu [19]:

$$A_{s,min} \leq A_{s1} + A_{s2} + A_{s,dod} \leq A_{s,max}$$

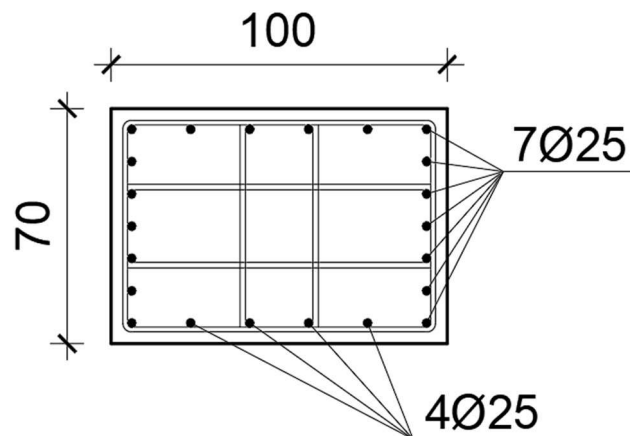
Odabrana armatura na stranama stupa koje se odupiru savijanju oko osi y:

$$A_{s1} = A_{s2} = 7\phi 25 \quad (A_{s,prov} = 34,37 + 34,37 = 68,74 \text{ cm}^2)$$

Na preostalim bočnim stranama stupa također potrebno prema [12] staviti po jednu šipku. Ako se postavi po jedna šipka na sredini stranice, onda je između te šipke i šipke u kutu razmak veći od 20 cm. Prema [12], razmak između šipki potresnog stupa mora biti manji od 20 cm. Zato se na preostale dvije strane postavljaju šipke na razmacima manjem od 20 cm (ukupno se na postojećih 14 šipki dobije još po 4 dodatne šipke na jednoj strani).

Konačno:

$$A_{s1} + A_{s2} + A_{s,dod} = 7\phi25 + 7\phi25 + 8\phi25 = 108,02 \text{ cm}^2$$



Slika 114.: Prikaz armature stupa

Svijetli razmak šipki armature postignut armiranjem na ovaj način je:

$$s = 71 \text{ mm}$$

Prema [9], razmak šipki armature, kako bi se beton mogao ugraditi i zbiti na prikladan način, ne smije biti manji od:

$$s_{\min} \geq \max (\Phi_s = 25 \text{ mm}; d_g + 5,0 = 32 + 5 = 37 \text{ mm}; 20 \text{ mm})$$

Zahtjev zadovoljen jer je:

$$s = 71 \text{ mm} > s_{\min} = 37 \text{ mm}$$

### 3.6.5.9. Spojevi greda i stupova

Kod okvira je prema normi [12] potrebno osigurati da prvo otkாžu grede, a tek nakon njih stupovi. Da se taj redoslijed i ostvari, potrebno je zadovoljiti izraz [12]:

$$\sum M_{Rc} \geq 1,3 \times \sum M_{Rb}$$

gdje je iz [12]:

$\Sigma M_{RC}$  zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru

$\Sigma M_{Rb}$  zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru

Nosivost greda je određena u prethodnom poglavlju, a ovisi o smjeru djelovanja seizmičke sile. Nosivost stupa ovisi o vrijednosti tlačne sile, a što je ona manja, manja je i nosivost. Zato se u izrazima za bezdimenzijsku uzdužnu silu uzima najmanja uzdužna sila iz tablica u ispisu rezultata za stupove.

### ***Nosivost stupa B1357 na savijanje***

Na vrhu stupa B1357 bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-4688,3}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,18$$

Odabrana armatura stupa:  $A_{s1} = 34,37 \text{ cm}^2$

Mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 34,37 \times \frac{43,478}{70 \times 100 \times 3,67} = 0,06$$

Iz dijagrama interakcije [19] očitani bezdimenzijski moment nosivosti:

$$\mu_{Rd} = 0,16$$

Nosivost stupa na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd} = 0,16 \times 70 \times 100^2 \times 3,67 = 411040 \text{ kNcm}$$

### ***Nosivost stupa B1521 na savijanje***

Na dnu stupa B1521 bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-4610,5}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,18$$

Odabrana armatura stupa:  $A_{s1} = 34,37 \text{ cm}^2$

Mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 34,37 \times \frac{43,478}{70 \times 100 \times 3,67} = 0,06$$

Iz dijagrama interakcije [19] očitani bezdimenzijski moment nosivosti:

$$\mu_{Rd} = 0,16$$

Nosivost stupa na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd} = 0,16 \times 70 \times 100^2 \times 3,67 = 411040 \text{ kNcm}$$

### ***Nosivost stupa B1356 na savijanje***

Na vrhu stupa B1356 bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-6189,0}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,24$$

Odabrana armatura stupa:  $A_{s1} = 34,37 \text{ cm}^2$

Mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 34,37 \times \frac{43,478}{70 \times 100 \times 3,67} = 0,06$$

Iz dijagrama interakcije [19] očitano bezdimenzijski moment nosivosti:

$$\mu_{Rd} = 0,18$$

Nosivost stupa na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd} = 0,18 \times 70 \times 100^2 \times 3,67 = 462420 \text{ kNcm}$$

### ***Nosivost stupa B1520 na savijanje***

Na dnu stupa B1520 bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-6053,3}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,24$$

Odabrana armatura stupa:  $A_{s1} = 34,37 \text{ cm}^2$

Mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 34,37 \times \frac{43,478}{70 \times 100 \times 3,67} = 0,06$$

Iz dijagrama interakcije [19] očitano bezdimenzijski moment nosivosti:

$$\mu_{Rd} = 0,18$$

Nosivost stupa na moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd} = 0,18 \times 70 \times 100^2 \times 3,67 = 462420 \text{ kNcm}$$

***Spoj greda B1481 i B1480 sa stupovima B1357 i B1521***

Zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru:

$$\sum M_{Rc} = 4110,4 + 4110,4 = 8220,8 \text{ kNm}$$

Zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru:

$$\sum M_{Rb} = 717,7 + 717,7 = 1435,4 \text{ kNm}$$

Treba vrijediti:

$$\begin{aligned} \sum M_{Rc} &\geq 1,3 \times \sum M_{Rb} \\ 8220,8 &\geq 1,3 \times 1435,4 = 1866,02 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Uvjet zadovoljen.

***Spoj greda B1480 i B1479 sa stupovima B1356 i B1520***

Zbroj nosivosti na savijanje svih stupova u čvoru:

$$\sum M_{Rc} = 4624,2 + 4624,2 = 9248,4 \text{ kNm}$$

Zbroj nosivosti na savijanje svih greda u čvoru:

$$\sum M_{Rb} = 717,7 + 717,7 = 1435,4 \text{ kNm}$$

Treba vrijediti:

$$9248,4 \geq 1,3 \times 1435,4 = 1866,02 \text{ kNm}$$

Uvjet zadovoljen.

## 3.6.5.10. Nosivost stupova na poprečnu silu

Kod stupova je također potrebno osigurati da otkazu prvo savijanjem, a zatim posmikom pa se za stupove također određuje opterećenje koje izaziva slom savijanjem.

Proračunska poprečna sila se može odrediti kao [12]:

$$V_{Ed} = \gamma_{Rd} \cdot \frac{\kappa_1 \times M_{Rd,1} + \kappa_2 \times M_{Rd,2}}{l_{cl}}$$

gdje je:

$\gamma_{Rd}$  faktor kojim se u obzir uzima činjenica da do sloma mora doći prije otkazivanjem savijanjem nego posmikom. Prema [], za DCM,  $\gamma_{Rd} = 1,1$



$\kappa_i$  faktori kojim se u obzir uzima je li prvo otkazuje greda ili stup na spoju greda-stup.

$l_{cl}$  svijetla visina stupa

Za čvor na dnu stupa se konzervativno može uzeti da je  $\kappa_2 = 1,0$ . To je na strani sigurnosti, jer je najveća vrijednost koju faktor  $\kappa_i$  može preuzeti jednaka 1 (to znači da prvo otkazuje stup. Kada prvo otkazuje greda faktor je manji od 1).

### **Određivanje poprečne sile za stupove B1357 i B1521**

Iz proračunatih momenata nosivosti za stupove B1357 i B1521 slijedi:

$$\kappa_1 = \frac{1435,4}{8220,8} = 0,175$$

Iz proračunatih momenata nosivosti za stupove B1356 i B1520 slijedi:

$$\kappa_1 = \frac{1435,4}{9248,4} = 0,155$$

Stupovi B1357 i B1521:

$$V_{Ed} = 1,1 \times \frac{0,175 \times 4110,4 + 1,0 \times 4110,4}{2,6} = 2043 \text{ kN}$$

Stupovi B1356 i B1520 :

$$V_{Ed} = 1,1 \times \frac{0,155 \times 4624,2 + 1,0 \times 4624,2}{2,6} = 2260 \text{ Kn}$$

U usporedbi s rezultatima iz tablica (br.tablica), vidljivo je da su poprečne sile dobivene na ovaj način veće pa će se prema njima izvršiti dimenzioniranje.

#### 3.6.5.11. Maksimalni razmak spona

Prema [12] visina kritičnog područja (kritično područje su svi spojevi s gredama i spojevi s temeljom) stupa iznosi:

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_{cl}/6; 45\text{cm}\}$$

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_c/6; 45\text{cm}\} = \max\{100; 56,7; 45\text{cm}\} = 100 \text{ cm}$$

Prema [18], maksimalni razmak spona izvan kritičnog područja je:

$$s_{\max} = \min\{12 \times \Phi_{s,\min}; b; 30 \text{ cm}\} = \min\{12 \times 2,5 = 30; b; 70 \text{ cm}\} = 30,0 \text{ cm}$$

U kritičnom području stupa razmak spona ne smije biti veći od [12]:

$$s_{cr,max} = \min\{8 \times \Phi_{s,min}; b_0/2; 17,5 \text{ cm}\} = \min\{8 \times 2,5 = 20; 61,4/2 = 30,7; 17,5 \text{ cm}\}$$

$$s_{cr,max} = 17,5 \text{ cm}$$

gdje je  $b_0$  najmanja dimenzija betonske jezgre (do osi spona).

$$b_0 = b - 2 \times c - \phi_w = 70 - 7 - 1,6 = 61,4 \text{ cm}$$

### 3.6.5.12. Poprečna armatura stupova

Određuje se prema [19] kao:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta$$

#### **Stupovi B1357 i B1521**

Pretpostavit će se četverorezne spona  $\phi 14$ .

Zahtijevani razmak spona, [19]:

$$s = \frac{4 \times 2,01}{2043} \times 0,9 \times 93,65 \times 43,478 \times 1,2 = 17,3 \text{ cm}$$

#### **Stupovi B1356 i B1520**

Zahtijevani razmak spona, [19]:

$$s = \frac{4 \times 2,01}{2260} \times 0,9 \times 93,85 \times 43,478 \times 1,2 = 15,6 \text{ cm}$$

ODABRANO: Spona se postavljaju na razmaku 10 cm (unutar i izvan kritičnog područja) da se dobije puni broj spona.

Odabrane spona  $\phi 16/10$  cm.

Prema [12], kako bi se osigurala dovoljna razina ovijanja treba biti zadovoljeno:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times \mu_{\phi} \times v_d \times \epsilon_{sy,d} \times \frac{b}{b_0} - 0,035$$

U čvorovima greda-stup disipacija energije se vrši u gredama pa je potrebno da razmak spona bude manji od maksimalnog, ali nije nužno da navedeni izraz bude zadovoljen. Na dnu stupova (spojevi s temeljem) je potrebno da navedeni izraz bude zadovoljen.

Za dno stupa B1357 bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-8940,2}{70 \times 100 \times 3,67} = -0,34$$

Relativna deformacija armature pri popuštanju, [19]:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \times 10^{-3}$$

Vrijedi [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times 10,2 \times 0,34 \times 2,17 \times 10^{-3} \times \frac{70}{61,6} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,222$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja sponama u kritičnom području, prema [12]:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

Faktor djelotvornosti, prema [12]:

$$\alpha = \alpha_n \times \alpha_s$$

Obujam spona:

$$V_{sw} = \sum A_{sw} \times l = \frac{1,6^2 \times \pi}{4} \times [(4 \times 61,4 + 4 \times 91,4 + 2 \times 23,3 + 2 \times 21,6)]$$

$$V_{sw} = 1409,4 \text{ cm}^3$$

Volumen obavijenog betona iznosi:

$$V_c = b_0 \cdot h_0 \cdot s = 61,4 \cdot 91,4 \cdot 10,0 = 56119,6 \text{ cm}^3$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{1409,4}{56119,6} \times \frac{43,478}{3,67} = 0,298$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka, [12]:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \times b_0 \times h_0} = 1 - \frac{2 \times 6 \times 9,6^2 + 2 \times 5 \times 17,5^2}{6 \times 61,4 \times 91,4} = 0,88$$

Za pretpostavljeni razmak spona vrijedi, [12]:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \times b_0}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_0}\right) = \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 61,4}\right) \times \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 91,4}\right) = 0,87$$

Faktor djelotvornosti:

$$\alpha = 0,88 \times 0,87 = 0,77$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,173$$

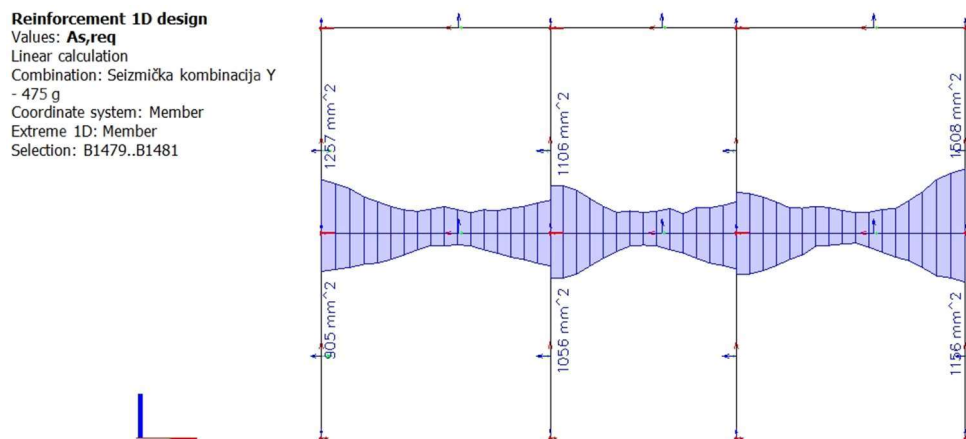
$$0,77 \times 0,298 \geq 0,222$$

$$0,230 \geq 0,222$$

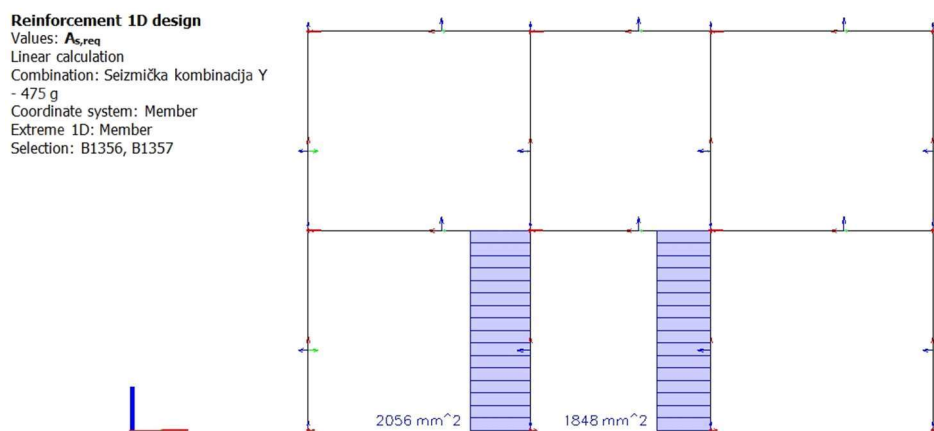
Izraz je zadovoljen pa su spone prikladne.

### 3.6.5.13. Usporedba rezultata s rezultatima iz programa SCIA Engineer

Prikazani rezultati su rezultati panela (stranice okvira) najviše cijevi za potresno djelovanje u smjeru Y, za koji je i proveden proračun.



Slika 115.: Prikaz potrebne armature greda iz programa SCIA Engineer



Slika 116.: Prikaz potrebne armature greda iz programa SCIA Engineer

Tablica 50.: Prikaz usporedbe potrebne armature za grede

| GREDA | MOMENT/POZICIJA  | PRORAČUN                         | SCIA Engineer []                 |
|-------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| B1481 | Pozitivni moment | $A_{s1,req} = 10,4 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 9,1 \text{ cm}^2$  |
|       | Negativni moment | $A_{s1,req} = 12,7 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 12,6 \text{ cm}^2$ |
| B1480 | Pozitivni moment | $A_{s1,req} = 10,3 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 10,6 \text{ cm}^2$ |
|       | Negativni moment | $A_{s1,req} = 11,8 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 11,1 \text{ cm}^2$ |
| B1479 | Pozitivni moment | $A_{s1,req} = 11,5 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 11,6 \text{ cm}^2$ |
|       | Negativni moment | $A_{s1,req} = 14,7 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 15,1 \text{ cm}^2$ |

Tablica 51.: Prikaz usporedbe potrebne armature za stupove

| STUP  | PRORAČUN                         | SCIA Engineer []                 |
|-------|----------------------------------|----------------------------------|
| B1357 | $A_{s1,req} = 29,5 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 20,6 \text{ cm}^2$ |
| B1356 | $A_{s1,req} = 29,5 \text{ cm}^2$ | $A_{s1,req} = 18,5 \text{ cm}^2$ |

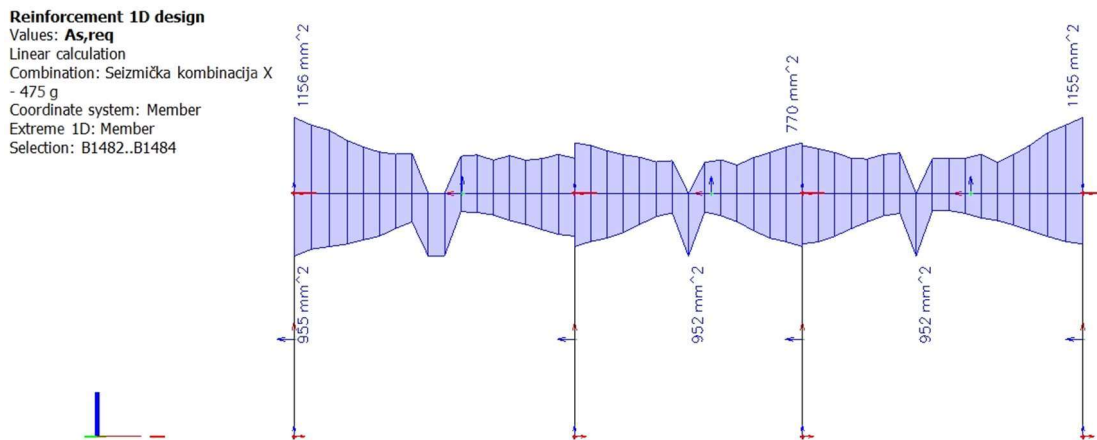
Vidljivo je da se rezultati potrebne armature dobivene proračunom i u SCIA Engineer [2] podudaraju. Razlike kod potrebne armature stupova je dobivena jer se u proračunu koristio mehanički koeficijent armiranja vrijednosti 0,05, a ne minimalni. Kada bi se koristio minimalni (0,0356 za beton C55/67) dobila bi se vrijednost potrebne armature od 21,04  $\text{cm}^2$ , što je bliže rezultatima iz programa.

Prikazani rezultati su rezultati panela (stranice okvira) najviše cijevi za potresno djelovanje u smjeru Y.

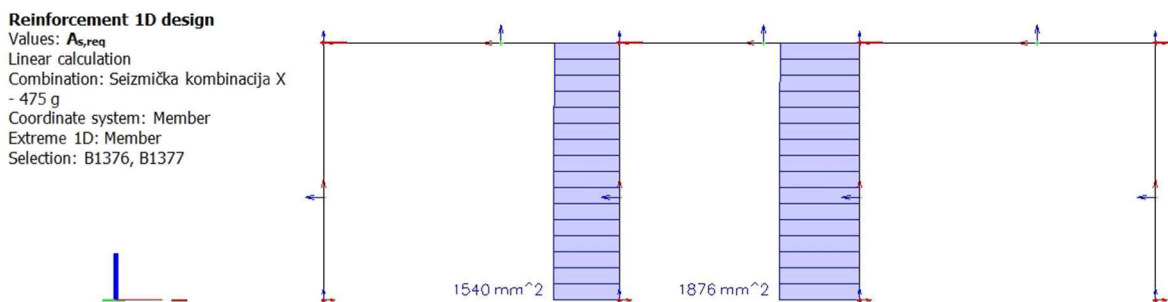
Naknadno će se prikazati ispisi rezultata potrebne armature za po jedan panel koji se proteže u X smjeru i za po jedan panel koji se proteže u Y smjeru za svaku pojedinu cijev.

Ukoliko odabrana armatura u proračunu bude veća od potrebne dobivene u programu SCIA Engineer [2], za sve grede i stupove će se prihvatiti odabrana armatura prema proračunu.

**Panel u X smjeru – najviša cijev**

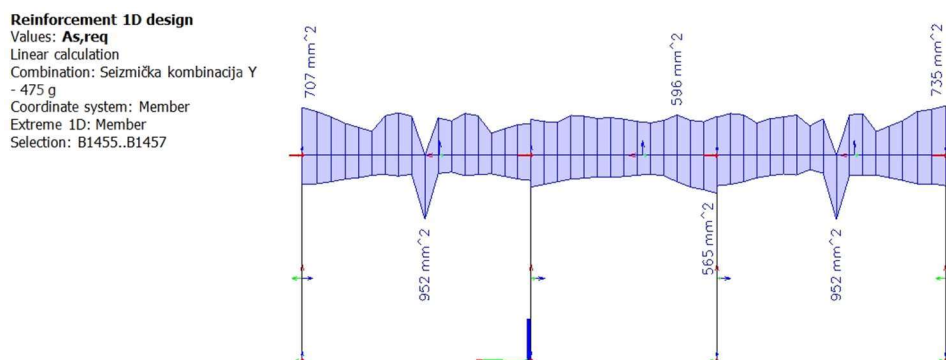


Slika 117.: Prikaz potrebne armature greda za X smjer – najviša cijev



Slika 118.: Prikaz potrebne armature stupova za X smjer – najviša cijev

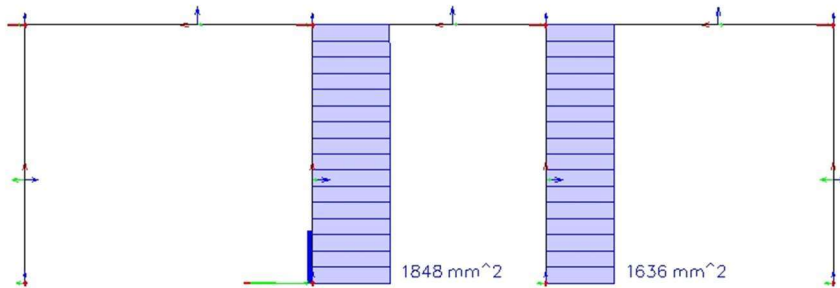
**Panel u Y smjeru – srednja cijev**



Slika 119.: Prikaz potrebne armature greda za Y smjer – srednja cijev

**Reinforcement 1D design**

Values:  $A_{s,req}$   
 Linear calculation  
 Combination: Seizmička kombinacija Y  
 - 475 g  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: B1350, B1351

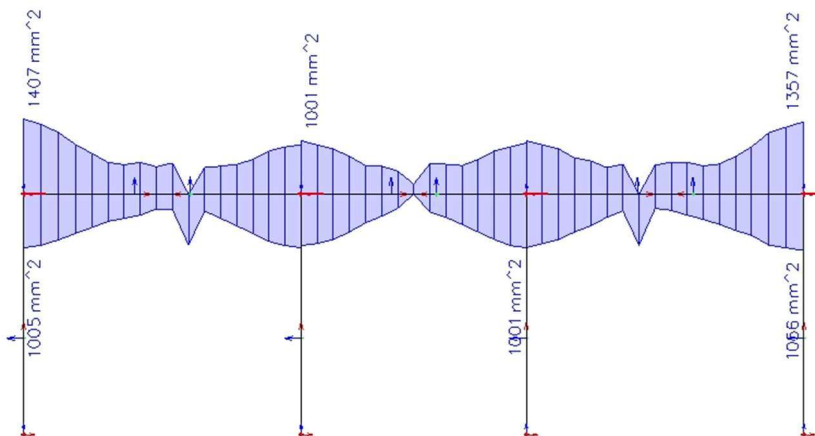


Slika 120.: Prikaz potrebne armature stupova za Y smjer – srednja cijev

**Panel u X smjeru – srednja cijev**

**Reinforcement 1D design**

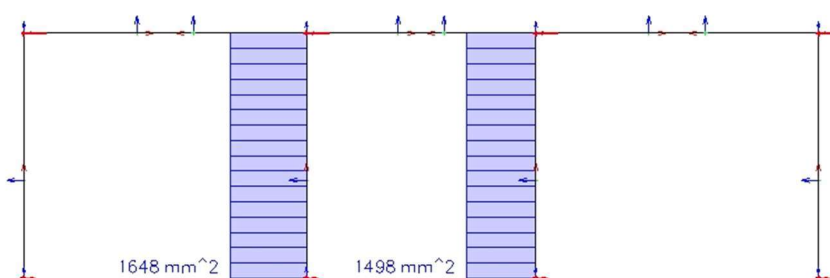
Values:  $A_{s,req}$   
 Linear calculation  
 Combination: Seizmička kombinacija X  
 - 475 g  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: B1458..B1460



Slika 121.: Prikaz potrebne armature greda za X smjer – srednja cijev

**Reinforcement 1D design**

Values:  $A_{s,req}$   
 Linear calculation  
 Combination: Seizmička kombinacija X  
 - 475 g  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: B1346, B1347

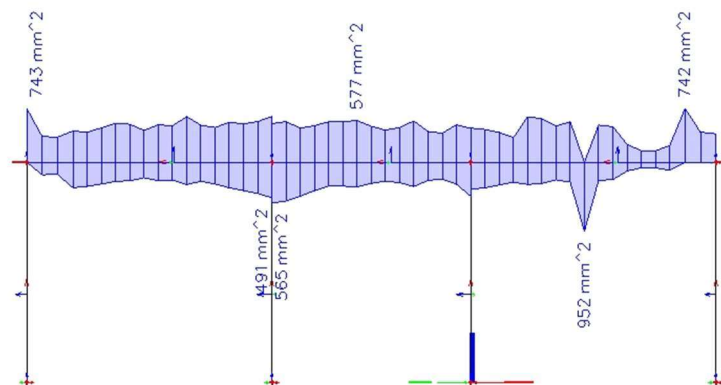


Slika 122.: Prikaz potrebne armature stupova za Y smjer – srednja cijev

**Panel u Y smjeru – najniža cijev**

**Reinforcement 1D design**

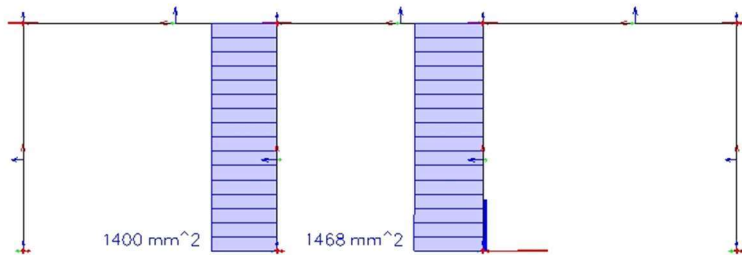
Values:  $A_{s,req}$   
 Linear calculation  
 Combination: Seizmička kombinacija Y  
 - 475 g  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: B1467..B1469



Slika 123.: Prikaz potrebne armature greda za Y smjer – najniža cijev

**Reinforcement 1D design**

Values:  $A_{s,req}$   
 Linear calculation  
 Combination: Seizmička kombinacija Y  
 - 475 g  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: B1396, B1397

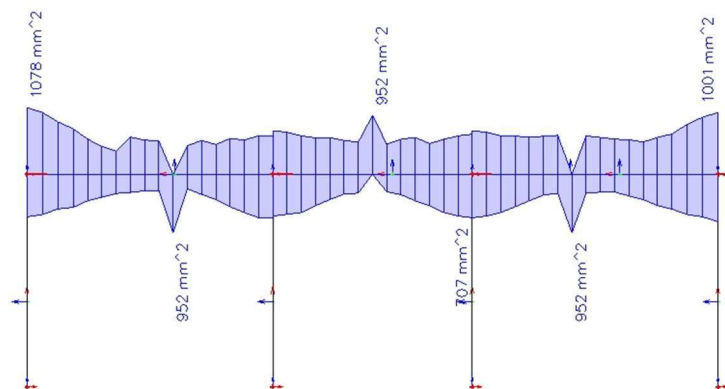


Slika 124.: Prikaz potrebne armature stupova za Y smjer – najniža cijev

**Panel u X smjeru – najniža cijev**

**Reinforcement 1D design**

Values:  $A_{s,req}$   
 Linear calculation  
 Combination: Seizmička kombinacija X  
 - 475 g  
 Coordinate system: Member  
 Extreme 1D: Member  
 Selection: B1473..B1475



Slika 125.: Prikaz potrebne armature greda za X smjer – najniža cijev



**Reinforcement 1D design**

Values:  $A_{s,req}$

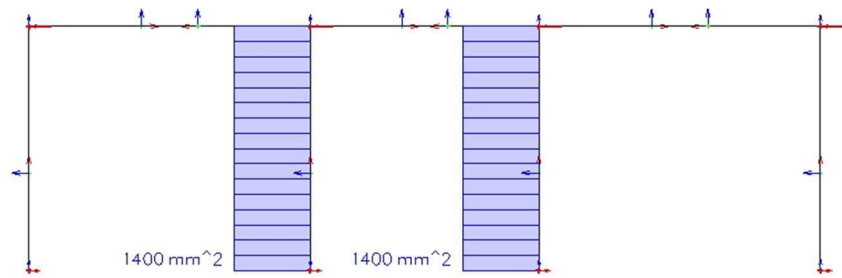
Linear calculation

Combination: Seizmička kombinacija X  
- 475 g

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: B1372, B1373

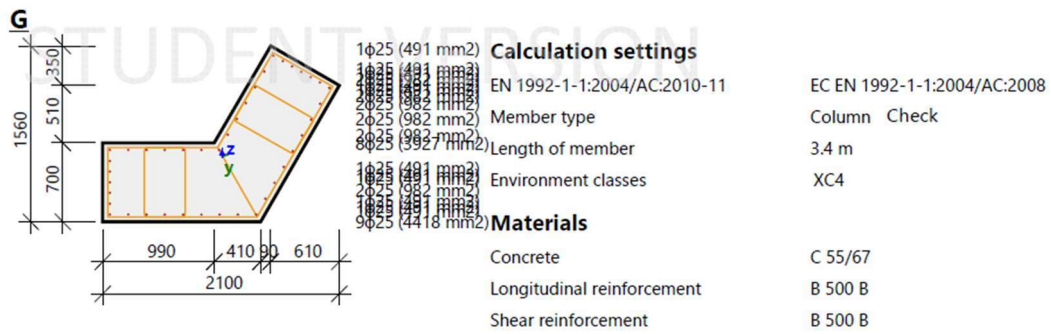


**Slika 126.:** Prikaz potrebne armature stupova za X smjer – najniža cijev

Zaključak: sve prikazane potrebne armature su manje nego odabrane proračunom. Za sve elemente se prihvaća odabrana armatura dobivena proračunom.



Stup B1447



Calculation Summary

| Check                | Combination  | N <sub>Ed</sub> [kN] | V <sub>Edy</sub> [kN] | V <sub>Edz</sub> [kN] | T <sub>Ed</sub> [kNm] | M <sub>Edy,rec</sub> [kNm] | M <sub>Edz,rec</sub> [kNm] | Unity check | Status |
|----------------------|--------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|-------------|--------|
| N+My+Mz - Diagram    | ULS / 1      | -21258               | 160                   | 440                   | 101                   | 2383                       | 683                        | 0,40        | OK     |
| N+My+Mz - Response   | ULS / 1      | -21258               | 160                   | 440                   | 101                   | 2383                       | 683                        | 0,56        | OK     |
| Interaction V+T      | ULS / 1      | -21258               | 160                   | 440                   | 101                   | 2383                       | 683                        | 0,10        | OK     |
| Stress limitation    | SLS - Ch / 1 | 0                    | 0                     | 0                     | 0                     | 0                          | 0                          | 0,00        | OK     |
|                      | SLS - QP / 1 | 0                    | 0                     | 0                     | 0                     | 0                          | 0                          |             |        |
| Crack width          | SLS - Ch / 1 | 0                    | 0                     | 0                     | 0                     | 0                          | 0                          | 0,00        | OK     |
|                      | SLS - QP / 1 | 0                    | 0                     | 0                     | 0                     | 0                          | 0                          |             |        |
| Detailing provisions | ULS / 1      | -21258               | 160                   | 440                   | 101                   | 2383                       | 683                        | 0,65        | OK     |

Detailing provisions

Column - Detailing provisions of longitudinal reinforcement

| Detailing provisions                               | Code        | Unit               | Calc. value | Req. value | Unity check [-] | Check |
|--|-------------|--------------------|-------------|------------|-----------------|-------|
| Minimal bar distance                               | 8.2(2)      | [mm]               | 70          | 37         | 0.53            | OK    |
| Maximal bar distance                               | Code Indep. | [mm]               | 163         | 350        | 0.47            | OK    |
| Maximal bar distance based on torsion requirements | 9.2.3(4)    | [mm]               | 163         | 250        | 0.65            | OK    |
| Minimal area of reinforcement                      | 9.5.2(2)    | [mm <sup>2</sup> ] | 19635       | 4889       | 0.25            | OK    |
| Maximal area of reinforcement                      | 9.5.2(3)    | [mm <sup>2</sup> ] | 19635       | 67174      | 0.29            | OK    |
| Minimal bar diameter                               | 9.5.2(1)    | [mm]               | 25          | 8          | 0.32            | OK    |
| Check minimal number of bars in column             | 9.5.2(4)    | [-]                | 40          | 6          | 0.15            | OK    |

Column - Detailing provisions of transverse reinforcement

| Detailing provisions       | Code     | Unit | Calc. value | Req. value | Unity check [-] | Check |
|----------------------------|----------|------|-------------|------------|-----------------|-------|
| Min. mandrel diameter      | 8.3(2)   | [mm] | 0           | 0          | 0               | OFF   |
| Max. long. spacing (shear) | 9.5.3(3) | [mm] | 100         | 400        | 0.25            | OK    |
| Min. bar diameter          | 9.5.3(1) | [mm] | 16          | 8          | 0.5             | OK    |

Slika 128.: Prikaz dimenzioniranja stupa B1447

Za oba stupa vrijedi:  $A_{s,min} = 159 \text{ cm}^2 \leq A_{s,prov} = 196,4 \text{ cm}^2 \leq A_{s,max} = 636 \text{ cm}^2$

**Rekapitulacija odabrane armature okvira**

Odabrana armatura greda:

**Tablica 52.:** Rekapitulacija odabrane armature greda okvira

| OZNAKA GREDE | UZDUŽNA ARMATURA |            |         | SPONE       |
|--------------|------------------|------------|---------|-------------|
|              | Gornja zona      | Donja zona | Dodatna |             |
| <b>B1481</b> | 7Ø20             | 7Ø20       | 6Ø16    | Ø14/12,0 cm |
| <b>B1480</b> | 7Ø20             | 7Ø20       | 6Ø16    | Ø14/12,0 cm |
| <b>B1479</b> | 7Ø20             | 7Ø20       | 6Ø16    | Ø14/12,0 cm |

Odabrana armatura stupova:

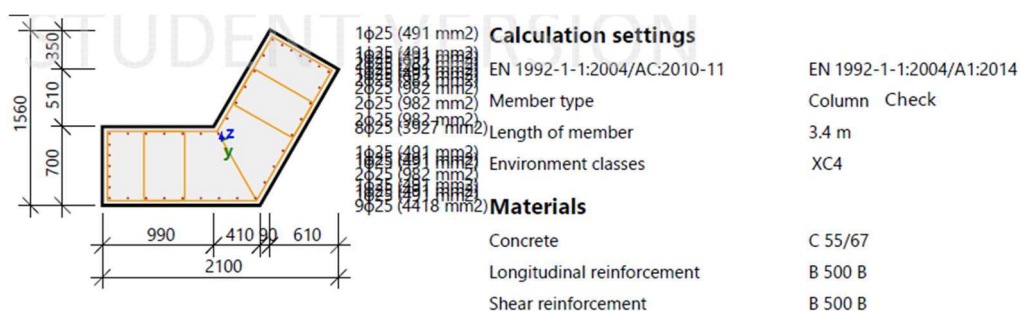
**Tablica 53.:** Rekapitulacija odabrane armature stupova okvira

| OZNAKA STUPA | UZDUŽNA ARMATURA | SPONE       |
|--------------|------------------|-------------|
| <b>B1447</b> | 40Ø25            | Ø16/10,0 cm |
| <b>B1357</b> | 22Ø25            | Ø16/10,0 cm |
| <b>B1356</b> | 22Ø25            | Ø16/10,0 cm |
| <b>B1446</b> | 40Ø25            | Ø16/10,0 cm |
| <b>B1547</b> | 40Ø25            | Ø16/10,0 cm |
| <b>B1521</b> | 22Ø25            | Ø16/10,0 cm |
| <b>B1520</b> | 22Ø25            | Ø16/10,0 cm |
| <b>B1546</b> | 40Ø25            | Ø16/10,0 cm |

### 3.6.6. Dimenzioniranje okvira građevine (GSU)

#### 3.6.6.1. Prikaz dimenzioniranja rubnih stupova prema programu SCIA Engineer

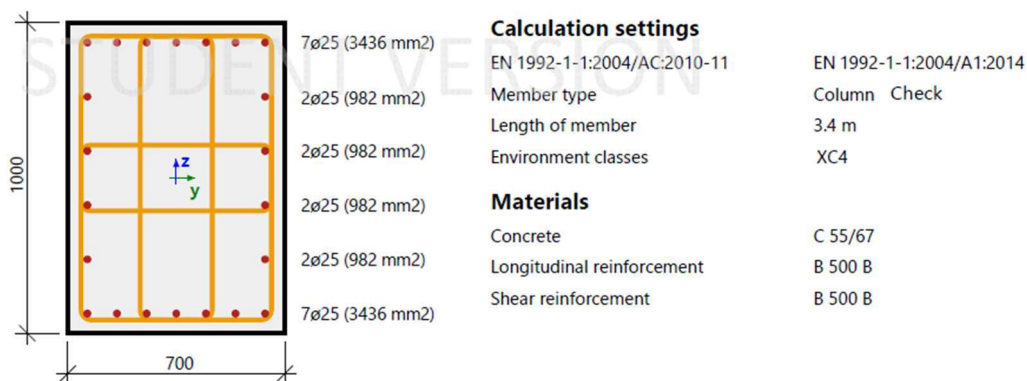
Za kontrolu pukotina elemenata okvira izdvojen je po jedan rubni i po jedan unutarnji stup te jedna rubna i unutarnja greda s mjerodavnim naprezanjima. Rezultati provjere pukotina su dani iz programa SCIA Engineer, tj. dodatnog alata SCIA Concrete Section 22.1 [21].



#### Calculation Summary

| Check             | Combination  | $N_{Ed}$ [kN] | $V_{Edy}$ [kN] | $V_{Edz}$ [kN] | $T_{Ed}$ [kNm] | $M_{Edy,rec}$ [kNm] | $M_{Edz,rec}$ [kNm] | Unity check | Status |
|-------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|-------------|--------|
| Stress limitation | SLS - Ch / 1 | -20093        | 67.5           | 184            | 30.3           | 1273                | 432                 | 0,38        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | -16147        | 0.2            | 20.6           | 0.2            | 180                 | 157                 |             |        |
| Crack width       | SLS - Ch / 1 | -20093        | 67.5           | 184            | 30.3           | 1273                | 432                 | 0,00        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | -16147        | 0.2            | 20.6           | 0.2            | 180                 | 157                 |             |        |

Slika 129. Prikaz provjere GSU rubnog stupa

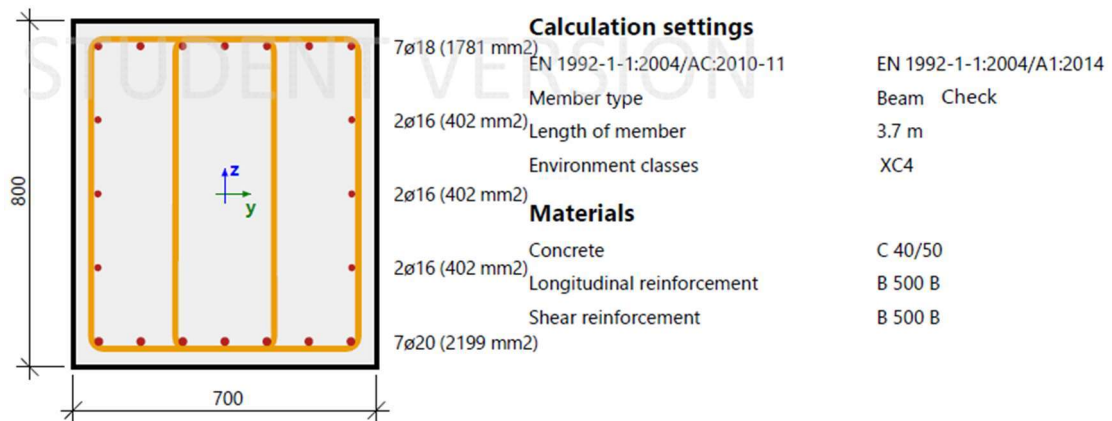


#### Calculation Summary

| Check             | Combination  | $N_{Ed}$ [kN] | $V_{Edy}$ [kN] | $V_{Edz}$ [kN] | $T_{Ed}$ [kNm] | $M_{Edy,rec}$ [kNm] | $M_{Edz,rec}$ [kNm] | Unity check | Status |
|-------------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|-------------|--------|
| Stress limitation | SLS - Ch / 1 | -8571         | 0              | 62.4           | 0              | -169                | 0                   | 0,40        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | -7333         | 0              | 17.8           | 0              | -32.3               | 0                   |             |        |
| Crack width       | SLS - Ch / 1 | -8571         | 0              | 62.4           | 0              | -169                | 0                   | 0,00        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | -7333         | 0              | 17.8           | 0              | -32.3               | 0                   |             |        |

Slika 130.: Prikaz provjere GSU unutarnjeg stupa

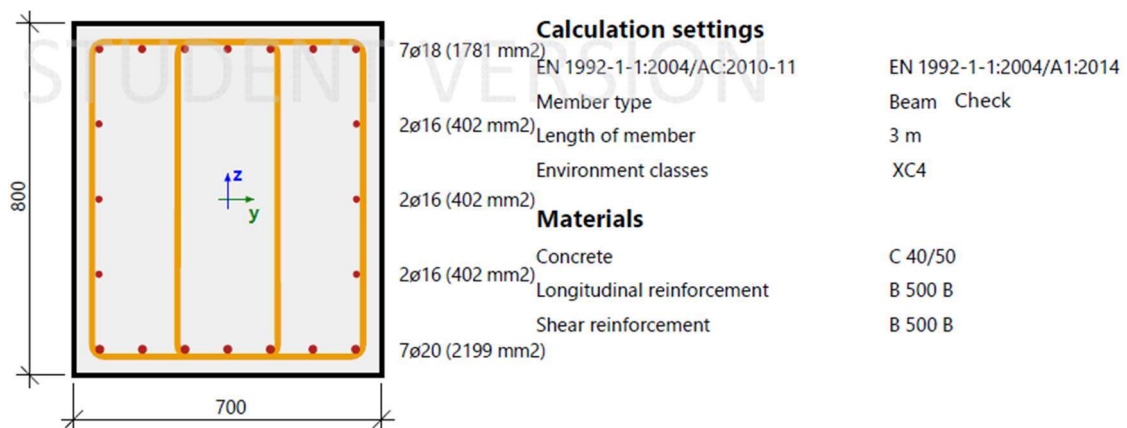




**Calculation Summary**

| Check             | Combination  | N <sub>Ed</sub><br>[kN] | V <sub>E<sub>dy</sub></sub><br>[kN] | V <sub>E<sub>dz</sub></sub><br>[kN] | T <sub>Ed</sub><br>[kNm] | M <sub>E<sub>dy</sub>,rec</sub><br>[kNm] | M <sub>E<sub>dz</sub>,rec</sub><br>[kNm] | Unity check | Status |
|-------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|--|-------------|--------|
| Stress limitation | SLS - Ch / 1 | 0                       | 0                                   | 53.1                                | 0                        | 89.3                                     | 0  | 0,13        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | 0                       | 0                                   | 49.3                                | 0                        | 45.1                                     | 0  |             |        |
| Crack width       | SLS - Ch / 1 | 0                       | 0                                   | 53.1                                | 0                        | 89.3                                     | 0  | 0,10        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | 0                       | 0                                   | 49.3                                | 0                        | 45.1                                     | 0  |             |        |
| Deflections       | SLS - Ch / 1 | 0                       | 0                                   | 53.1                                | 0                        | 89.3                                     | 0  | 0,00        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | 0                       | 0                                   | 49.3                                | 0                        | 45.1                                     | 0  |             |        |

Slika 131.: Prikaz provjere GSU rubne grede



**Calculation Summary**

| Check             | Combination  | N <sub>Ed</sub><br>[kN] | V <sub>E<sub>dy</sub></sub><br>[kN] | V <sub>E<sub>dz</sub></sub><br>[kN] | T <sub>Ed</sub><br>[kNm] | M <sub>E<sub>dy</sub>,rec</sub><br>[kNm] | M <sub>E<sub>dz</sub>,rec</sub><br>[kNm] | Unity check | Status |
|-------------------|--------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|--|-------------|--------|
| Stress limitation | SLS - Ch / 1 | 0                       | 0                                   | 81.7                                | 0                        | 96.3                                     | 0  | 0,15        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | 0                       | 0                                   | 6                                   | 0                        | 19.4                                     | 0  |             |        |
| Crack width       | SLS - Ch / 1 | 0                       | 0                                   | 81.7                                | 0                        | 96.3                                     | 0  | 0,04        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | 0                       | 0                                   | 6                                   | 0                        | 19.4                                     | 0  |             |        |
| Deflections       | SLS - Ch / 1 | 0                       | 0                                   | 81.7                                | 0                        | 96.3                                     | 0  | 0,00        | OK     |
|                   | SLS - QP / 1 | 0                       | 0                                   | 6                                   | 0                        | 19.4                                     | 0  |             |        |

Slika 132.: Prikaz provjere GSU unutarnje grede

### 3.6.6.2. Provjera progiba greda okvira

Kontrola progiba nije potrebna ukoliko je vitkost elementa na savijanje manja od granične vitkosti danij u tablici 47. ovog rada, koju je potrebno reducirati odgovarajućim faktorima. Vitkost je jednaka, prema [20]:

- rubna greda:

$$\frac{L}{d} = \frac{370}{74,1} = 4,99$$

- unutarnja greda:

$$\frac{L}{d} = \frac{300}{74,1} = 4,05$$

Pošto se radi o relativno kratkim gredama vitkost je mala, tako da i ako se granična vitkost reducira dobit će se znatno manje vrijednosti vitkosti u odnosu na graničnu vitkost.

Proračun progiba nije potreban.

## 3.7. Skica armature vanjskog cijevnog okvira

### 3.7.1. Proračun duljine sidrenja armaturnih šipki okvira

Prema normi [9] proračunava se osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{\Phi}{4} \times \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}}$$

$$f_{bd} = 2,25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctd}$$

gdje je iz [9]:

- $\Phi$  promjer šipke
- $\sigma_{sd}$  proračunsko naprezanje šipke na položaju od kojeg se mjeri sidrenje,  
 $\sigma_{sd} = f_{yd} = 43,478 \text{ N/mm}^2$
- $f_{bd}$  proračunska vrijednost graničnog naprezanja prijanjanja
- $\eta_1$  faktor koji u obzir uzima kvalitetu uvjeta prijanjanja i položaj šipke u vrijeme betoniranja. Za dobre uvjete, prema [9],  $\eta_1 = 1,0$

$\eta_2$  faktor koji u obzir uzima promjer šipke. Za  $\Phi \leq 32$  mm  $\rightarrow$   
 $\eta_2 = 1,0$ .

Proračunska vlačna čvrstoća betona prema [9] je:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \times \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}$$

gdje je prema [9]:

$\alpha_{ct}$  koeficijent kojim u obzir uzimamo dugotrajne učinke na vlačnu čvrstoću i nepovoljne učinke od načina opterećivanja. Prema [9],  $\alpha_{ct} = 1,0$

$\gamma_c$  parcijalni koeficijent sigurnosti za beton. Prema [9],  $\gamma_c = 1,5$

$f_{ctk,0,05}$  karakteristična vlačna čvrstoća betona s 5% fraktilom. Iz [9], za beton:

- C40/50,  $f_{ctk,0,05} = 2,5$  N/mm<sup>2</sup>

- C55/67,  $f_{ctk,0,05} = 3,0$  N/mm<sup>2</sup>

Konačno, proračunska duljina sidrenja je prema [9] jednaka:

$$l_{bd} = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_4 \times \alpha_5 \times l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

$$\alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \geq 0,70$$

gdje je iz [9]:

$\alpha_1$  učinak oblika šipki uz odgovarajući zaštitni sloj

$\alpha_2$  učinak minimalnog zaštitnog sloja

$\alpha_3$  učinak ovijanja sponama (poprečnom armaturom)

$\alpha_4$  učinak jedne ili više zavarenih poprečnih šipki duž proračunske duljine sidrenja

$\alpha_5$  učinak tlačnog naprezanja okomito na ravninu cijepanja duž proračunske duljine sidrenja

Minimalna duljina sidrenja prema [9]:

- Za sidrenje u vlaku:

$$l_{b,min} \geq \max (0,30 \times l_{b,rqd}; 10 \times \Phi; 100 \text{ mm})$$

- Za sidrenje u tlaku:

$$l_{b,min} \geq \max (0,60 \times l_{b,rqd}; 10 \times \Phi; 100 \text{ mm})$$



## 3.7.1.1. Šipke Ø20

Šipke Ø20 se koriste za armiranje grede. Za gredu je korišten beton razreda čvrstoće C40/50.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,67 = 3,76 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0}{4} \times \frac{43,478}{0,376} = 57,82 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 57,82 \geq 34,69 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 57,82; 10 \times 2,0; 10 \text{ cm}) = \max(34,69; 20; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 34,69 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 60,0 \text{ cm}$$

## 3.7.1.2. Šipke Ø16

Šipke Ø16 se koriste za dodatnu armaturu grede. Za gredu je korišten beton razreda čvrstoće C40/50.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,6}{4} \times \frac{43,478}{0,376} = 46,25 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 46,25 \geq 34,69 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 46,25; 10 \times 1,6; 10 \text{ cm}) = \max(27,75; 16; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 27,75 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 50,0 \text{ cm}$$

## 3.7.1.3. Šipke Ø25

Šipke Ø25 se koriste za armiranje stupova. Za stupove je korišten beton razreda čvrstoće C55/67.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{3,0}{1,5} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 2,0 = 4,5 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,5}{4} \times \frac{43,478}{0,450} = 60,39 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 60,39 \geq 34,69 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 60,39; 10 \times 2,5; 10 \text{ cm}) = \max(36,23; 25; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 36,23 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 65,0 \text{ cm}$$

## 3.7.2. Proračunska duljina preklopa armaturnih šipki

Prema normi [9], proračunska duljina preklopa jednaka je:

$$l_0 = \alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \alpha_5 \times \alpha_6 \times l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

Minimalna duljina treba biti prema [9]:

$$l_{0,min} \geq \max(0,30 \times \alpha_6 \times l_{b,rqd}; 15 \times \Phi; 200 \text{ mm})$$

## 3.7.2.1. Šipke Ø20

Šipke Ø20 se koriste za armiranje grede. Za gredu je korišten beton razreda čvrstoće C40/50.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{2,5}{1,5} = 1,67 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,67 = 3,76 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0}{4} \times \frac{43,478}{0,376} = 57,82 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 57,82 \geq 30,0 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 86,73 \text{ cm} \geq 30,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (vlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 57,82; 15 \times 2,0; 20 \text{ cm}) = \max(26,02; 30; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 30,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 90,0 \text{ cm}$$

### 3.7.2.2. Šipke Ø16

Šipke Ø16 se koriste za armiranje grede. Za gredu je korišten beton razreda čvrstoće C40/50.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,6}{4} \times \frac{43,478}{0,376} = 46,25 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 46,25 \geq 30,0 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 69,38 \text{ cm} \geq 30,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (vlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 46,25; 15 \times 1,6; 20 \text{ cm}) = \max(20,81; 24; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 24,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 70,0 \text{ cm}$$

3.7.2.3. Šipke  $\emptyset 25$ 

Šipke  $\emptyset 20$  se koriste za armiranje stupova. Za stupove je korišten beton razreda čvrstoće C55/67.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{3,0}{1,5} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 2,0 = 4,5 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,5}{4} \times \frac{43,478}{0,450} = 60,39 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 60,39 \geq 30,0 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 90,59 \text{ cm} \geq 30,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (vlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 60,39; 15 \times 2,5; 20 \text{ cm}) = \max(27,17; 37,5; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 37,5 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 95,0 \text{ cm}$$

## 4. ZAKLJUČAK

Glavni predmet ovog rada je proračun konstrukcije visoke zgrade i dimenzioniranje elemenata konstrukcije prema važećim normama i propisima. Modeliranje konstrukcije je izvršeno u računalnom programu SCIA Engineer []. Modeliranje konstrukcije je također provedeno u skladu s normama, a svi rezultati potrebni za dimenzioniranje su iz programa dani grafički ili tablično i na temelju tih rezultata se izvršio proračun nosivih elemenata. Proračunom su dokazana granična stanja nosivosti i uporabljivosti za elemente ploče, zidova, okvira (greda i stupova) i unutarnjih stupova, za osnovna i za seizmička opterećenja. Pokazano je da su odabrani elementi i njihove dimenzije prikladne za odabrani konstrukcijski sustav. Odabrani raspored elemenata i visina cijevi konstrukcije su također prihvatljivi za visoku građevinu poslovne namjene.

---

## POPIS LITERATURE

- [1] Vlašić A., Puž G., Skokandić D. Skripta iz kolegija visoke građevine, Sveučilište u Zagrebu. Građevinski fakultet, 2018.
- [2] SCIA Engineer, ver. 22.1. Structural design and analysis software, Nemetschek Group, 2023. Dostupno: <https://www.scia.net/en/scia-engineer>  
[Pristupljeno 02. lipnja 2024.]
- [3] nHRN 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: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self – weight, imposed loads for buildings – National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [4] 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: Actions on structures – Part 1-1: General actions – Densities, self – weight, imposed loads for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- [5] HRN EN 1991-1-3:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenja snijegom, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads. European Committee for Standardization, Brussels.
- [6] nHRN EN 1991-1-3:2012/NA:2016. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenja snijegom – Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads – National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [7] HRN EN 1991-1-4:2012. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions. European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] nHRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012/Ispr.1:2023. Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra – Nacionalni dodatak, Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions – Wind actions – National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.

- 
- [9] HRN EN 1992-1-1:2023. Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, mostove i građevinske konstrukcije, Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings, bridges and civil engineering structures. European Committee for Standardization, Brussels.
- [10] HRN EN 1990:2011. Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija, Eurocode: Basis of structural design. European Committee for Standardization, Brussels.
- [11] 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. Dostupno: <https://seizkarta.gfz.hr/hazmap/>  
[Pristupljeno 17. svibnja 2024.]
- [12] 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.
- [13] nHRN 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.
- [14] Mitrović S., Primjena nelinearnog statičkog proračuna u seizmičkoj analizi postojećih konstrukcija, Obnova Grada Zagreba nakon potresa, Ciklus predavanja: Znanjem za Zagreb (i Hrvatsku) – Zagrebu od Rlijeke, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet.
- [15] Xu P., Xiao C., Li J. Relationship between Natural Vibration Periods and Structural Heights for High – rise Building sin China. *International Journal of High – Rise Buildings*. 2014; 3(1): 49 – 64.
- [16] nHRN EN 1990:2011/NA:2011. Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija – Nacionalni dodatak, Eurocode: Basis of structural design – National Annex. European Committee for Standardization, Brussels.
- [17] HRN EN 1993-1-1:2022. Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija – Dio 1–1: Opća pravila i pravila za zgrade, Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.

- [18] nHRN 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.
- [19] Sorić Z., Kišićek T. *Betonske konstrukcije 1*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 2014.
- [20] Sorić Z., Kišićek T. *Betonske konstrukcije 2*. Zagreb: Sveučilište u Zagrebu; 2018.
- [21] SCIA Concrete Section, ver. 22.1., Nemetschek Group, 2023. Dostupno: <https://www.scia.net/en/scia-engineer>  
[Pristupljeno 24. lipnja 2024.]



## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| Slika 1.: Prikaz tlocrtnog rješenja i rasporeda vertikalnih elemenata građevine.....                                | 5  |
| Slika 2.: Prikaz pogleda 1 i pogleda 2 na građevinu .....   | 9  |
| Slika 3.: Prikaz pogleda 3 i pogleda 4 na građevinu .....   | 10 |
| Slika 4.: Prikaz pogleda 5 i pogleda 6 na građevinu .....   | 11 |
| Slika 5.: Prikaz 3D pogleda na građevinu .....  | 12 |
| Slika 6.: Prikaz 3D pogleda na građevinu .....  | 13 |
| Slika 7.: Prikaz tlocrta donjeg dijela građevine .....  | 14 |
| Slika 8.: Prikaz tlocrta srednjeg dijela građevine.....   | 14 |
| Slika 9.: Prikaz tlocrta gornjeg dijela građevine.....  | 15 |
| Slika 10.: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom (Izvor: [5]) .....  | 18 |
| Slika 11.: Karta snježnih područja (Izvor: [6]).....  | 19 |
| Slika 12.: Karta osnovne brzine vjetra (Izvor: [8]) .....   | 20 |
| Slika 13.: Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja kao funkcije omjera punoće i vitkosti (Izvor: [7]) ..... | 23 |
| Slika 14.: Prikaz rezultante u donjem dijelu građevine.....   | 30 |
| Slika 15.: Prikaz rezultante u srednjem dijelu građevine .....  | 30 |
| Slika 16.: Prikaz rezultante u gornjem dijelu građevine .....   | 31 |
| Slika 17.: Prikaz rezultante na krovu građevine .....   | 31 |
| Slika 18.: Prikaz promjene tlaka vjetra u ovisnosti o visini građevine.....   | 33 |
| Slika 19.: Prvi modalni oblik.....  | 34 |
| Slika 20.: Drugi modalni oblik .....  | 34 |
| Slika 21.: Prikaz zadavanja parametara u programu SCIA Engineer.....  | 35 |
| Slika 22.: Prikaz zadavanja tlaka vjetra u programu SCIA Engineer.....  | 35 |
| Slika 23.: Prikaz rezultante reakcija u donjem dijelu građevine (1-30) .....  | 38 |
| Slika 24.: Prikaz rezultante reakcija u srednjem dijelu građevine (31-40) .....                                     | 39 |
| Slika 25.: Prikaz rezultante reakcija u gornjem dijelu građevine (41-50) .....                                      | 40 |
| Slika 26.: Prikaz rezultante reakcija na krovu građevine (50) .....   | 40 |
| Slika 27.: Vrijednost horizontalnog vršnog ubrzanja tla za lokaciju građevine (Zagreb).....                         | 41 |
| Slika 28.: Elastični spektar odziva (povratni period 475 godina) .....  | 45 |
| Slika 29.: Proračunski spektar odziva (povratni period 475 godina).....   | 45 |
| Slika 30.: Elastični spektar odziva (povratni period 95 godina).....  | 46 |
| Slika 31.: Proračunski spektar odziva (povratni period 95 godina) .....   | 46 |
| Slika 32.: Računalni model konstrukcije u programu Scia Engineer .....  | 49 |

|   |    |
|---|----|
| Slika 33.: 3D prikaz cijele konstrukcije .....  | 50 |
| Slika 34.: Prikaz karakteristične etaže za donji dio građevine (etaže 1-30) .....                               | 51 |
| Slika 35.: Prikaz karakteristične etaže za srednji dio građevine (etaže 31-40) .....                            | 51 |
| Slika 36.: Prikaz karakteristične etaže za srednji dio građevine (etaže 41-50) .....                            | 52 |
| Slika 37.: Prikaz ploče donjeg dijela građevine (ploče etaža 1-30).....   | 52 |
| Slika 38.: Prikaz ploče srednjeg dijela građevine (ploče etaža 31-40).....                                      | 53 |
| Slika 39.: Prikaz ploče gornjeg dijela građevine (ploče etaža 41-50).....                                       | 53 |
| Slika 40.: Prikaz linijskih i točkastih ležajeva na razini temelja građevine.....                               | 54 |
| Slika 41.: Prikaz jezgre građevine.....   | 55 |
| Slika 42.: Prikaz okvira donjeg dijela građevine (okviri etaža 1-30).....                                       | 56 |
| Slika 43.: Prikaz unutarnjih stupova građevine .....  | 57 |
| Slika 44.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja karakteristične etaže građevine .....                            | 58 |
| Slika 45.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade karakteristične etaže građevine .....                  | 58 |
| Slika 46.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja na krovu građevine.....  | 59 |
| Slika 47.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade na krovu građevine .....                               | 59 |
| Slika 48.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže .....   | 60 |
| Slika 49.: Prikaz uporabnog opterećenja na krovu građevine.....   | 60 |
| Slika 50.: Prikaz opterećenja snijega na krovu građevine.....   | 61 |
| Slika 51.: Prikaz prvog slučaja opterećenja vjetrom.....  | 62 |
| Slika 52.: Prikaz drugog slučaja opterećenja vjetrom .....  | 63 |
| Slika 53.: Prikaz trećeg slučaja opterećenja vjetrom.....   | 64 |
| Slika 54.: Prikaz četvrtog slučaja opterećenja vjetrom.....   | 65 |
| Slika 55.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (475 god.) u programu Scia Engineer.....                            | 66 |
| Slika 56.: Zadavanje parametara seizmičkog opterećenja (475 god.) .....   | 66 |
| Slika 57.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (95 god.) u programu Scia Engineer .....                            | 67 |
| Slika 58.: Zadavanje parametara seizmičkog opterećenja (95 god.).....   | 67 |
| Slika 59.: Prikaz lokalnog modela ploče u programu SCIA Engineer.....   | 68 |
| Slika 60.: Odnos temeljnog perioda i visine zgrade (prema istraživanjima zgrada u Kini) (Izvor: [15]) .....     | 70 |
| Slika 61.: Odnos temeljnog perioda i visine zgrade (prema istraživanjima zgrada u Čileu) (Izvor: [15]).....     | 70 |
| Slika 62.: Prvi ton građevine .....   | 72 |
| Slika 63.: Drugi ton građevine .....  | 73 |
| Slika 64.: Treći ton građevine.....   | 74 |
| Slika 65.: Prikaz ograničenja horizontalnih pomaka za karakteristične kombinacije djelovanja (Izvor: [10])..... | 75 |

|   |     |
|---|-----|
| Slika 66.: Prikaz pomaka za opterećenje vjetrom za X smjer .....                                | 76  |
| Slika 67.: Prikaz pomaka za opterećenje vjetrom za Y smjer .....                                | 77  |
| Slika 68.: Prikaz pomaka za seizmičko opterećenje (95 godina) za X i Y smjer.....               | 80  |
| Slika 69.: Prikaz ukupne težine građevine .....   | 83  |
| Slika 70.: Prikaz reakcija u X i Y smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina) .....         | 83  |
| Slika 71.: Prikaz reakcija u X i Y smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina).....          | 84  |
| Slika 72.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSN) – polje .....               | 86  |
| Slika 73.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSN) – ležaj.....                | 86  |
| Slika 74.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSN) – polje .....               | 87  |
| Slika 75.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSN) – ležaj.....                | 87  |
| Slika 76.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – polje za $t=0$ .....      | 88  |
| Slika 77.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – ležaj za $t=0$ .....      | 88  |
| Slika 78.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – polje za $t=0$ .....      | 89  |
| Slika 79.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – ležaj za $t=0$ .....      | 89  |
| Slika 80.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – polje za $t=\infty$ ..... | 90  |
| Slika 81.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u X smjeru (GSU) – ležaj za $t=\infty$ ..... | 90  |
| Slika 82.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – polje za $t=\infty$ ..... | 91  |
| Slika 83.: Anvelopa maksimalnih momenata savijanja u Y smjeru (GSU) – ležaj za $t=\infty$ ..... | 91  |
| Slika 84.: Prikaz proračunske poprečne sile nad točkastim ležajevima.....                       | 92  |
| Slika 85.: Prikaz proračunske poprečne sile nad linijskim ležajevima .....                      | 92  |
| Slika 86.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem.....                              | 93  |
| Slika 87.: Prikaz maksimalne karakteristične reakcije nad ležajem.....                          | 93  |
| Slika 88.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN).....   | 94  |
| Slika 89.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – zid 1 i 3a/3b .....              | 94  |
| Slika 90.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – zid 2 .....                      | 95  |
| Slika 91.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija Y) – zid 1 i 3a/3b .....              | 95  |
| Slika 92.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija X) – zid 2.....                       | 96  |
| Slika 93.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija Y) - zid 1 i 3a/3b .....           | 96  |
| Slika 94.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija X) - zid 2.....                    | 97  |
| Slika 95.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - zid 1 i 3a/3b .....         | 97  |
| Slika 96.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - zid 2 .....                 | 98  |
| Slika 97.: Prikaz lokalnog modela ploče u programu SCIA Engineer.....                           | 106 |
| Slika 98.: Prikaz pozicija na tlocrtu ploče za dimenzioniranje.....                             | 107 |
| Slika 99.: Prikaz potrebne armature u polju za X smjer – SCIA Engineer .....                    | 120 |
| Slika 100.: Prikaz potrebne armature u polju za Y smjer – SCIA Engineer.....                    | 121 |
| Slika 101.: Prikaz potrebne armature nad osloncima za X smjer – SCIA Engineer.....              | 121 |
| Slika 102.: Prikaz potrebne armature nad osloncima za Y smjer – SCIA Engineer.....              | 122 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Slika 103.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem .....                | 124 |
| Slika 104.: Prikaz progiba za kratkotrajno djelovanje ( $t=0$ ) .....               | 143 |
| Slika 105.: Prikaz progiba za dugotrajno djelovanje ( $t=\infty$ ).....             | 143 |
| Slika 106.: Prikaz oznaka zidova jezgre .....                                       | 144 |
| Slika 107.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja.....        | 154 |
| Slika 108.: Prikaz naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja.....           | 155 |
| Slika 109.: Prikaz oznaka stupova i greda okvira .....                              | 156 |
| Slika 110.: Prikaz poprečnog presjeka stupa u sredini okvira.....                   | 159 |
| Slika 111.: Prikaz poprečnog presjeka rubnog stupa 1 .....                          | 159 |
| Slika 112.: Prikaz poprečnog presjeka rubnog stupa 2 .....                          | 160 |
| Slika 113.: Prikaz grede s poprečnim opterećenjem i momentima na krajevima [] ..... | 169 |
| Slika 114.: Prikaz armature stupa.....  | 176 |
| Slika 115.: Prikaz potrebne armature greda iz programa SCIA Engineer .....          | 183 |
| Slika 116.: Prikaz potrebne armature greda iz programa SCIA Engineer .....          | 183 |
| Slika 117.: Prikaz potrebne armature greda za X smjer – najviša cijev .....         | 185 |
| Slika 118.: Prikaz potrebne armature stupova za X smjer – najviša cijev.....        | 185 |
| Slika 119.: Prikaz potrebne armature greda za Y smjer – srednja cijev.....          | 185 |
| Slika 120.: Prikaz potrebne armature stupova za Y smjer – srednja cijev .....       | 186 |
| Slika 121.: Prikaz potrebne armature greda za X smjer – srednja cijev .....         | 186 |
| Slika 122.: Prikaz potrebne armature stupova za Y smjer – srednja cijev .....       | 186 |
| Slika 123.: Prikaz potrebne armature greda za Y smjer – najniža cijev .....         | 187 |
| Slika 124.: Prikaz potrebne armature stupova za Y smjer – najniža cijev.....        | 187 |
| Slika 125.: Prikaz potrebne armature greda za X smjer – najniža cijev .....         | 187 |
| Slika 126.: Prikaz potrebne armature stupova za X smjer – najniža cijev.....        | 188 |
| Slika 127.: Prikaz dimenzioniranja stupa B1446 .....                                | 189 |
| Slika 128.: Prikaz dimenzioniranja stupa B1447 .....                                | 190 |
| Slika 129. Prikaz provjere GSU rubnog stupa .....                                   | 192 |
| Slika 130.: Prikaz provjere GSU unutarnjeg stupa .....                              | 192 |
| Slika 131.: Prikaz provjere GSU rubne grede.....                                    | 193 |
| Slika 132.: Prikaz provjere GSU unutarnje grede .....                               | 193 |

## POPIS TABLICA

|  |     |
|--|-----|
| Tablica 1.: Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta u zgradama (Izvor: [3]) .....                    | 16  |
| Tablica 2.: Uporabna opterećenja krovova kategorije H (Izvor: [3]).....  | 17  |
| Tablica 3.: Kategorije krovova (Izvor: [4]).....   | 17  |
| Tablica 4.: Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (Izvor: [6]).....          | 19  |
| Tablica 5.: Kategorije terena i parametri terena (Izvor: [7]).....   | 22  |
| Tablica 6.: Koeficijenti sile <b>cf, 0</b> za pravilne poligonalne profile (Izvor: [7]) .....                  | 23  |
| Tablica 7.: Ekvivalentne mase po etažama građevine .....   | 29  |
| Tablica 8.: Tlak i brzina vjetra po visini građevine .....   | 32  |
| Tablica 9.: Vrijednosti parametara koje opisuju elastični spektar odziva tipa 1 (Izvor: [12])                  | 42  |
| Tablica 10.: Horizontalne komponente elastičnog spektra odziva (Izvor: [12]).....                              | 42  |
| Tablica 11.: Horizontalne komponente proračunskog spektra odziva (Izvor: [12]).....                            | 43  |
| Tablica 12.: Osnovne vrijednosti faktora ponašanja <b>q0</b> za sustave pravilne po visini (Izvor: [12]) ..... | 44  |
| Tablica 13. Preporučene vrijednosti koeficijenta $\Psi$ za zgrade (Izvor: [10]).....                           | 47  |
| Tablica 14.: Odnos visine konstrukcije i koeficijenta $\alpha$ (Izvor: [15]) .....                             | 69  |
| Tablica 15.: Aktivirane mase i periodi iz programa Scia Engineer.....  | 71  |
| Tablica 16.: Granične vrijednosti horizontalnih pomaka konstrukcije (Izvor: [16]).....                         | 75  |
| Tablica 17.: Međukatni pomaci za opterećenje vjetrom za X i Y smjer.....                                       | 78  |
| Tablica 18.: Međukatni pomaci za seizmičko opterećenje (95 godina) za X i Y smjer .....                        | 81  |
| Tablica 19.: Koeficijent uporabnog opterećenja [13] .....  | 82  |
| Tablica 20.: Reakcije u X i Y smjeru za seizmičke kombinacije (475 godina).....                                | 84  |
| Tablica 21.: Faktori elastičnog kritičnog opterećenja <b><math>\alpha_{cr}</math></b> .....                    | 85  |
| Tablica 22.: Prikaz unutarnjih sila grede B1481 – GSN kombinacija .....  | 99  |
| Tablica 23.: Prikaz unutarnjih sila grede B1481 – seizmička kombinacija Y (475 godina) ..                      | 99  |
| Tablica 24.: Prikaz unutarnjih sila grede B1480 – GSN kombinacija .....  | 100 |
| Tablica 25.: Prikaz unutarnjih sila grede B1480 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                         | 100 |
| Tablica 26.: Prikaz unutarnjih sila grede B1479 – GSN kombinacija .....  | 101 |
| Tablica 27.: Prikaz unutarnjih sila grede B1479 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                         | 101 |
| Tablica 28.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1357 – GSN kombinacija .....  | 102 |
| Tablica 29.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1357 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                         | 102 |
| Tablica 30.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1521 – GSN kombinacija .....  | 102 |
| Tablica 31.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1521 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                         | 103 |

---

|  |     |
|--|-----|
| Tablica 32.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1356 – GSN kombinacija .....                                      | 103 |
| Tablica 33.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1356 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                       | 103 |
| Tablica 34.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1520 – GSN kombinacija .....                                      | 104 |
| Tablica 35.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1520 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                       | 104 |
| Tablica 36.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1446 – GSN kombinacija .....                                      | 104 |
| Tablica 37.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1446 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                       | 105 |
| Tablica 38.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1447 – GSN kombinacija .....                                      | 105 |
| Tablica 39.: Prikaz unutarnjih sila stupa B1447 – seizmička kombinacija Y (475 godina)                       | 105 |
| Tablica 40.: Rekapitulacija momenata savijanja za dimenzioniranje ploče .....                                | 108 |
| Tablica 41. Preporučeni razredi konstrukcije (Izvor: [9]) .....  | 110 |
| Tablica 42. Vrijednosti minimalnog zaštitnog sloja <b>c<sub>min, dur</sub></b> (Izvor: [9]) .....            | 110 |
| Tablica 43.: Usporedba proračunate armature s armaturom iz programa SCIA Engineer                            | 122 |
| Tablica 44.: Potrebna i odabrana armatura nad ostalim stupovima .....  | 123 |
| Tablica 45.: Prikaz rezultata za proboj ploče iz programa SCIA Engineer .....                                | 126 |
| Tablica 46.: Preporučene vrijednosti širine pukotina $w_{max}$ (Izvor: [9]) .....                            | 127 |
| Tablica 47.: Granični omjer <b>L<sub>eff</sub>/d</b> kada proračun progiba nije potreban (Izvor: [20]) ..... | 136 |
| Tablica 48.: Rekapitulacija armature zida 2 .....  | 154 |
| Tablica 49.: Prikaz poprečnih sila od vertikalnog djelovanja .....   | 170 |
| Tablica 50.: Prikaz usporedbe potrebne armature za grede .....   | 184 |
| Tablica 51.: Prikaz usporedbe potrebne armature za stupove .....   | 184 |
| Tablica 52.: Rekapitulacija odabrane armature greda okvira .....   | 191 |
| Tablica 53.: Rekapitulacija odabrane armature stupova okvira .....   | 191 |

## PRILOZI

Prilog 1 - Tlocrt karakterističnog kata – etaže 1 – 30

Prilog 2 - Tlocrt karakterističnog kata – etaže 31 – 40

Prilog 3 - Tlocrt karakterističnog kata – etaže 41 – 50

Prilog 4 – Presjek visoke zgrade

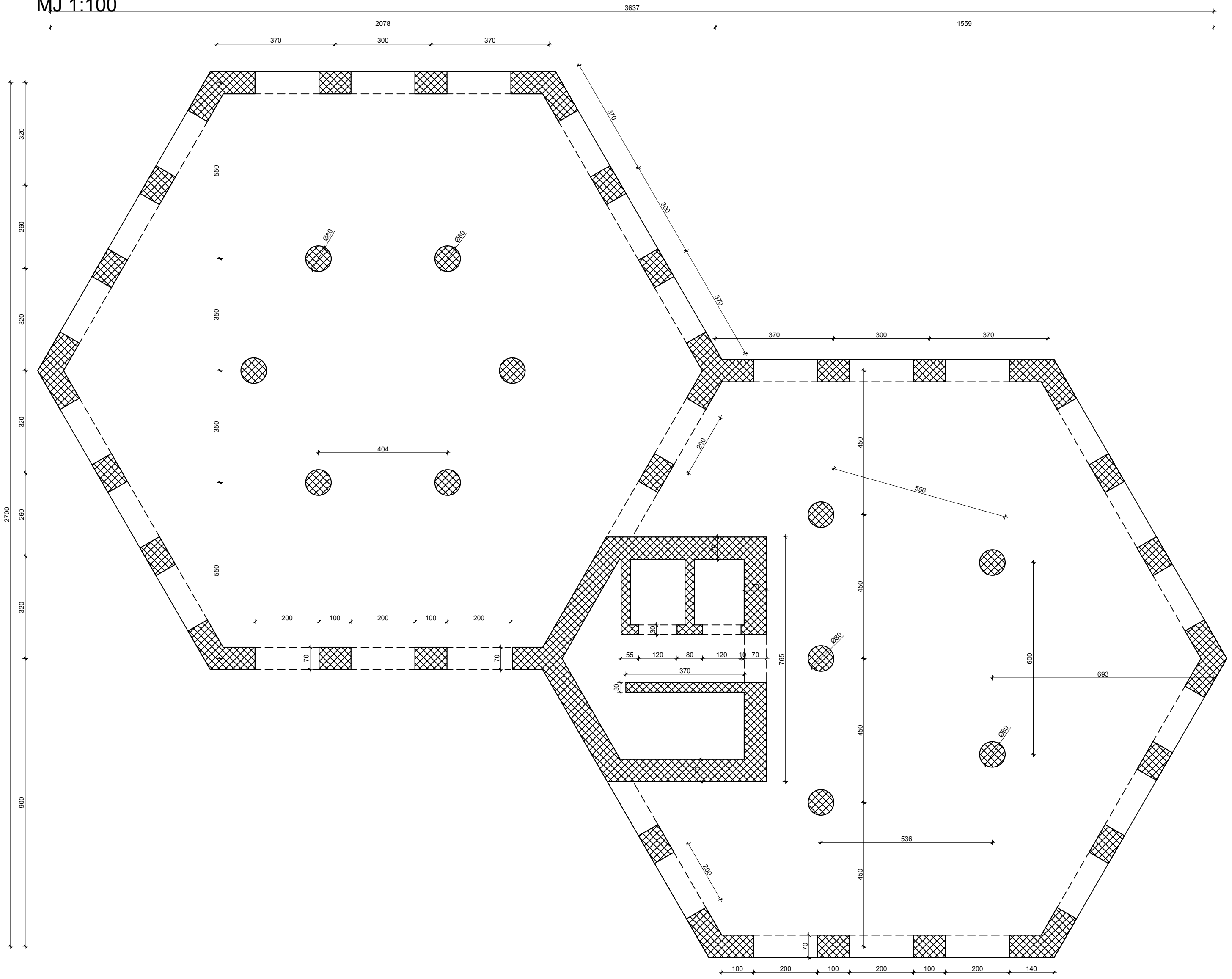
Prilog 5 – Plan armature vanjskog cijevnog okvira





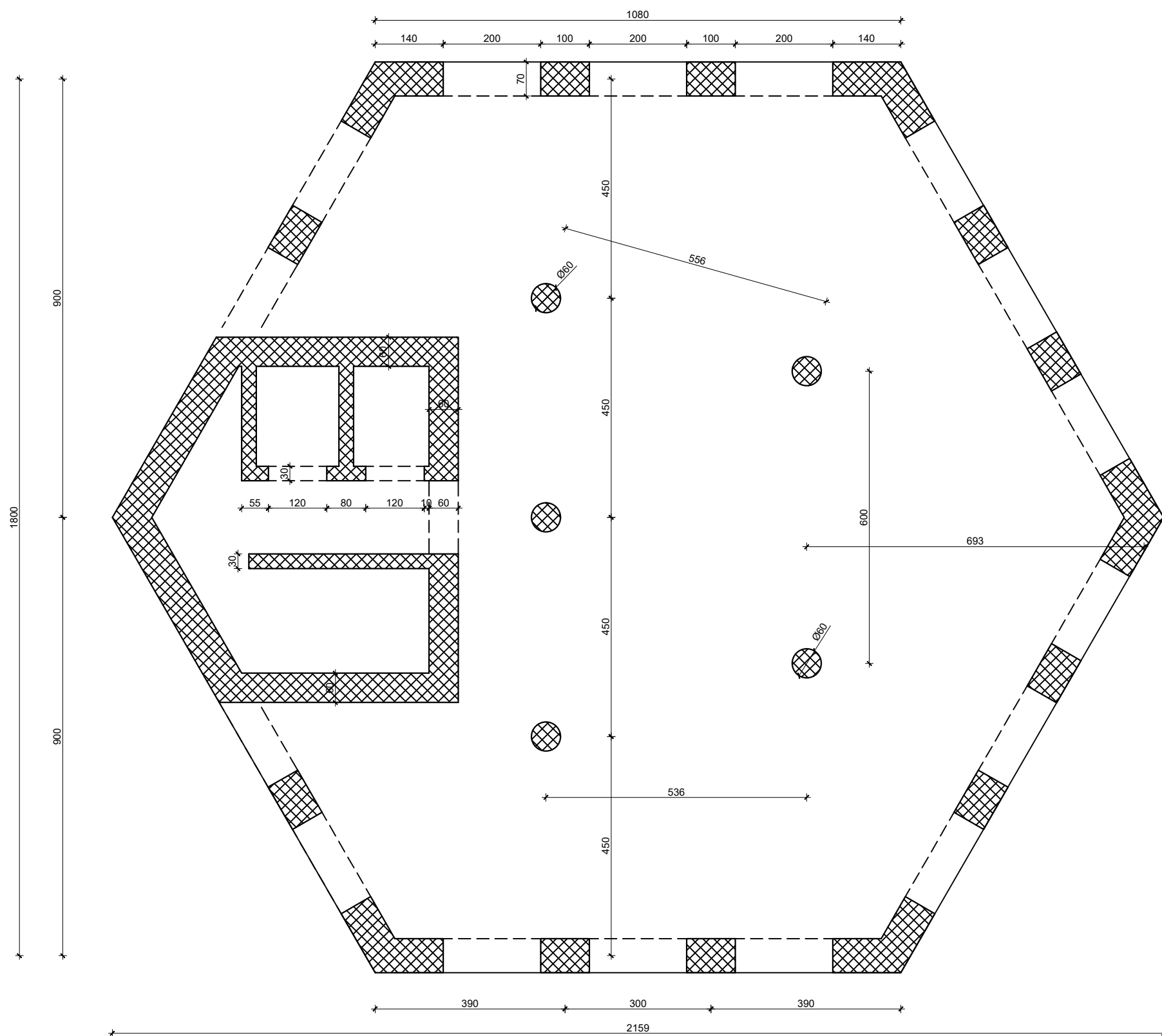
TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA - ETAŽE 31-40

MJ 1:100



TLOCRT KARAKTERISTIČNOG KATA - ETAŽE 41-50

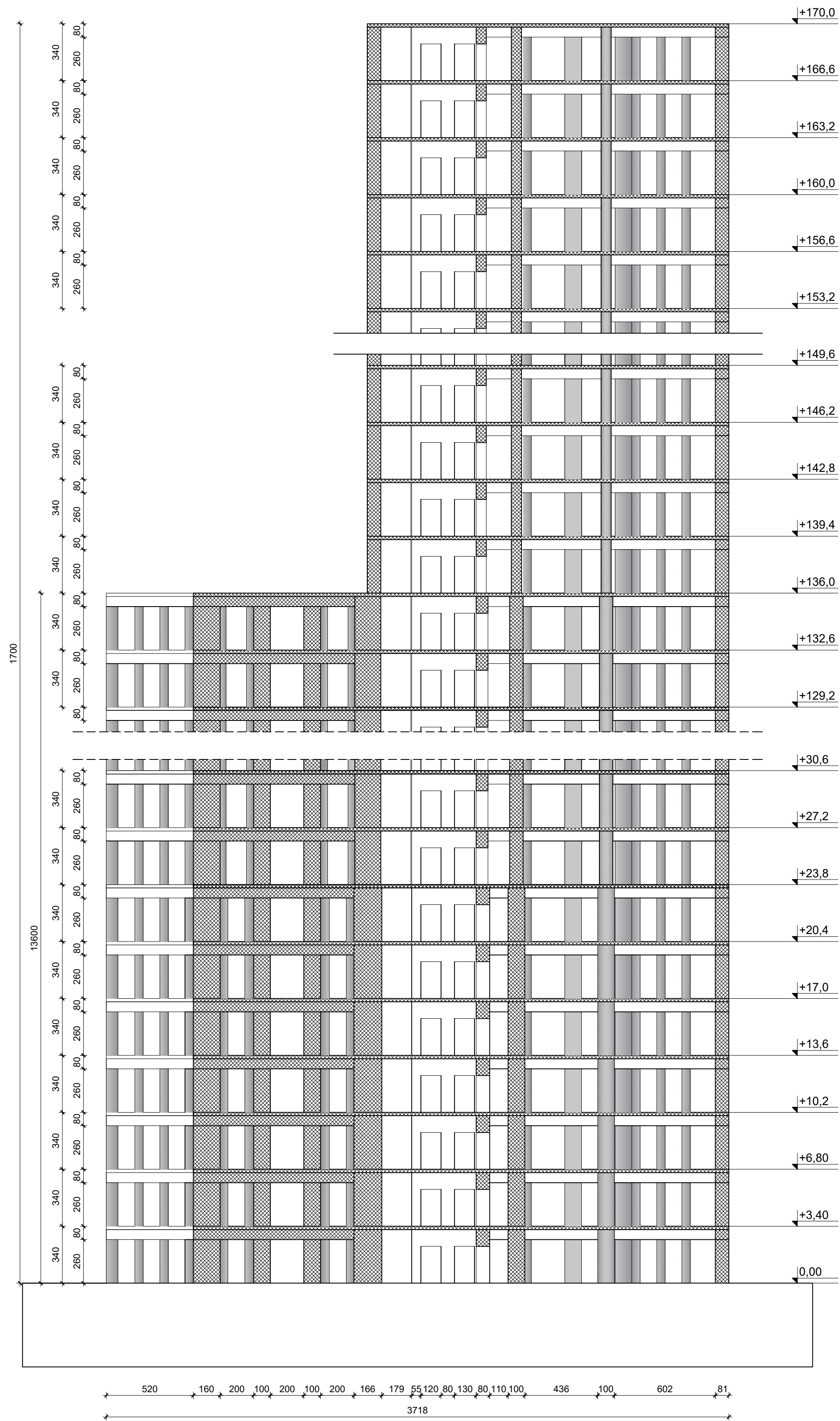
MJ 1:100



|  |  |                       |  |
|--|--|-----------------------|--|
| SVEUČILITE U ZAGREBU<br>GRAĐEVINSKI FAKULTET<br>ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE      |  | Prilog 2<br>Prilog 3  |  |
| Predmet: <b>VISOKE GRAĐEVINE</b>   |  |                       |  |
| Razina obrade: <b>DIPLOMSKI RAD</b>  |  |                       |  |
| Sadržaj nacrt: <b>Tlocrt karakterističnog kata - etaže 31 - 40 / 41-50</b> |  |                       |  |
| Asistent:  |  | Pregledao:            |  |
| Datum: <b>25.06.2024.</b>  |  | Mjerilo: <b>1:100</b> |  |
| Školska godina: <b>2023./2024.</b>   |  |                       |  |
| Izdavatelj: <b>Leonarda Marić, 0082061308</b>                              |  |                       |  |

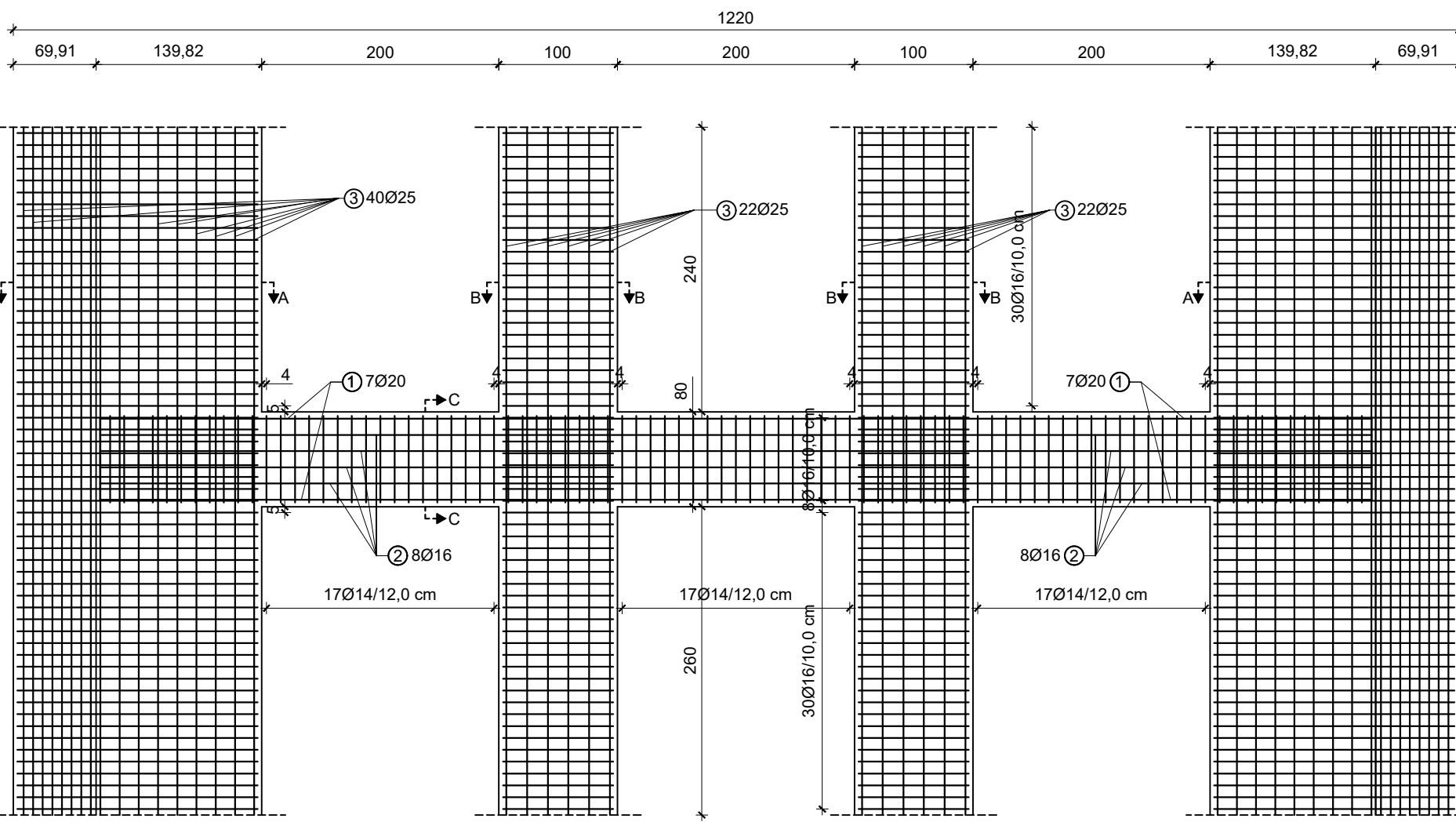
# PRESJEK VISOKE ZGRADE

MJ 1:200

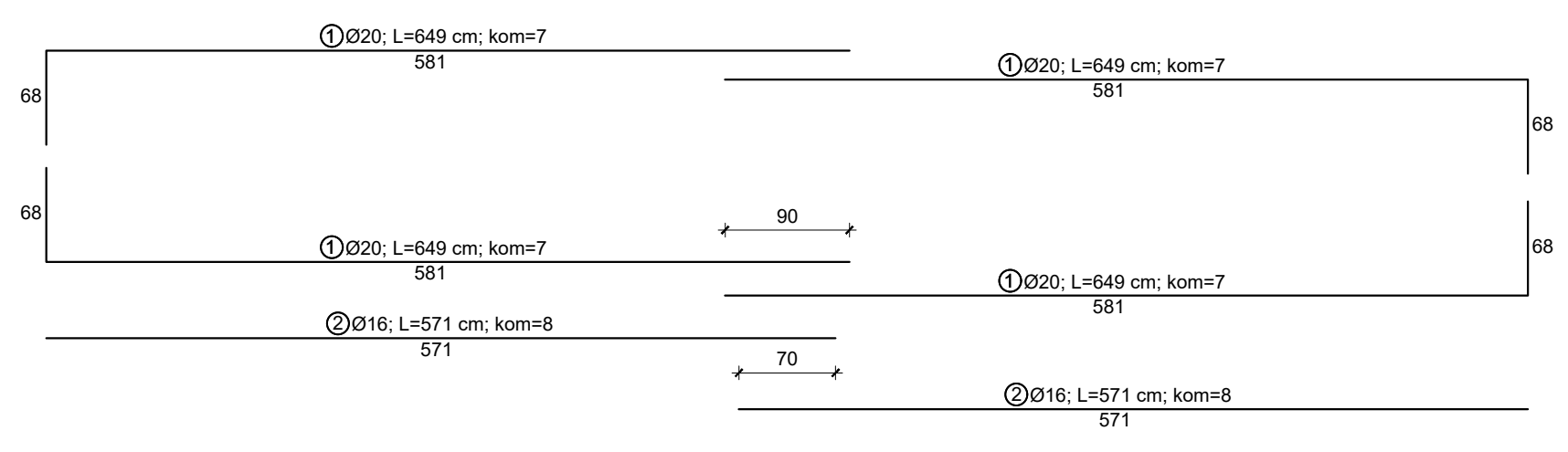


|   |                            |          |       |
|---|----------------------------|----------|-------|
| SVEUČILITE U ZAGREBU<br>GRAĐEVINSKI FAKULTET<br>ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE | Prilog 4                   |          |       |
| Predmet:  | VISOKE GRAĐEVINE           |          |       |
| Razina obrade:  | DIPLOMSKI RAD              |          |       |
| Sadržaj nacrt:  | Presjek visoke zgrade      |          |       |
| Asistent:   | Pregledao:                 |          |       |
| Datum:  | 25.06.2024.                | Mjerilo: | 1:200 |
| Školska godina:   | 2023./2024.                |          |       |
| Izradila:   | Leonarda Marić, 0082061308 |          |       |

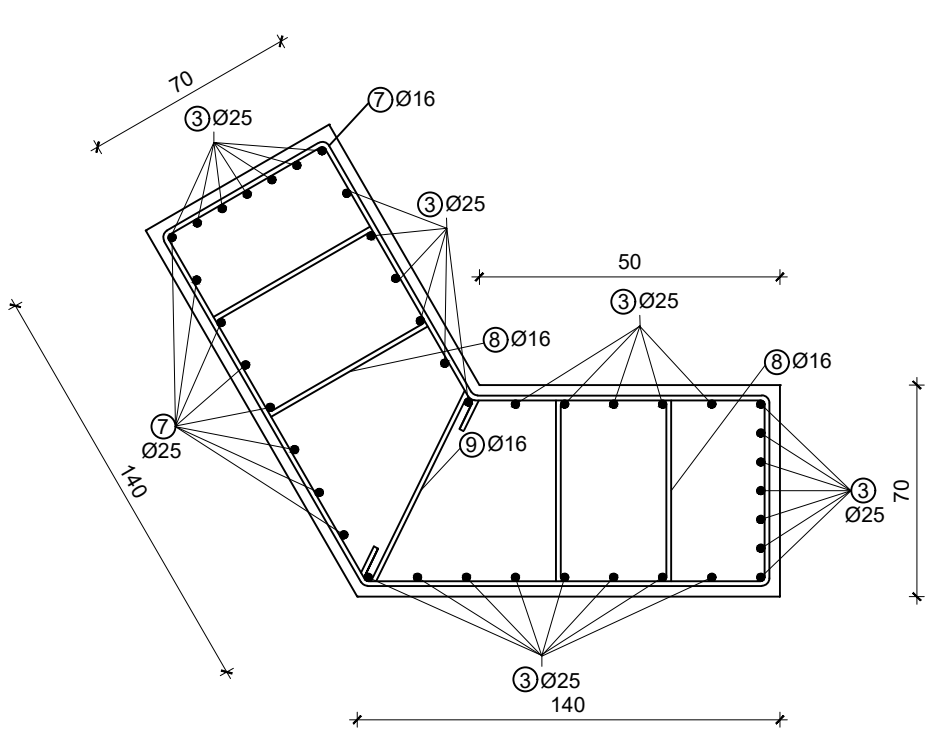
PRESJEK MJ 1:50



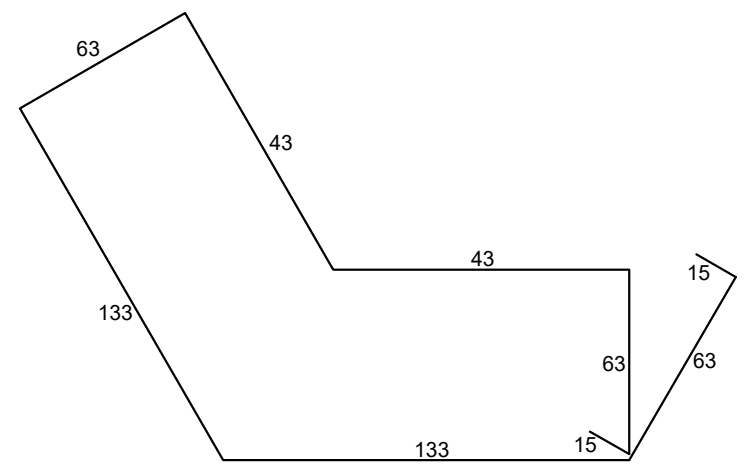
| Iskaz armature stupova i greda prizemlja okvira (za jedan panel) |    |       |     |                    |        |       |
|--|----|-------|-----|--------------------|--------|-------|
| B500B (rebrasta)   |    |       |     |                    |        |       |
| Poz.   | Ø  | L (m) | kom | Ukupna duljina (m) |        |       |
|  |    |       |     | Ø 14               | Ø 16   | Ø 20  |
| 1  | 20 | 6,49  | 28  |                    |        | 181,7 |
| 2  | 16 | 5,71  | 16  | 91,36              |        |       |
| 3  | 25 | 6,0   | 124 |                    |        | 744,0 |
| 4  | 16 | 4,35  | 136 | 591,6              |        |       |
| 5  | 16 | 2,16  | 136 | 293,8              |        |       |
| 6  | 16 | 2,85  | 136 | 387,6              |        |       |
| 7  | 16 | 5,71  | 136 | 776,6              |        |       |
| 8  | 16 | 2,70  | 272 | 734,4              |        |       |
| 9  | 16 | 1,00  | 136 | 136,0              |        |       |
| 10   | 16 | 3,59  | 89  | 319,5              |        |       |
| 11   | 14 | 2,39  | 89  | 212,7              |        |       |
| 12   | 14 | 2,01  | 89  | 178,9              |        |       |
| Ukupno (m)   |    |       |     | 391,6              | 3330,9 | 181,7 |
| Masa (kg/m)  |    |       |     | 1,242              | 1,621  | 2,536 |
| UKUPNO- po profilima (kg)  |    |       |     | 486,4              | 5399,4 | 460,8 |
| SVEUKUPNO (kg)   |    |       |     | 9286,1             |        |       |



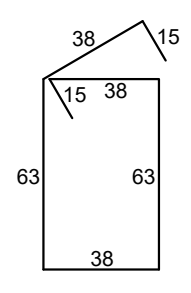
PRESJEK A-A MJ 1:25



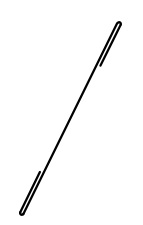
Ø16/10; L=571 cm; kom=136



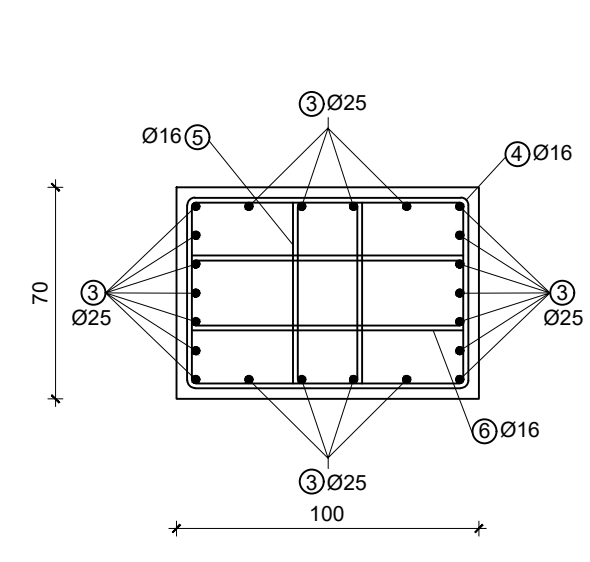
Ø16/10; L=270 cm; kom=272



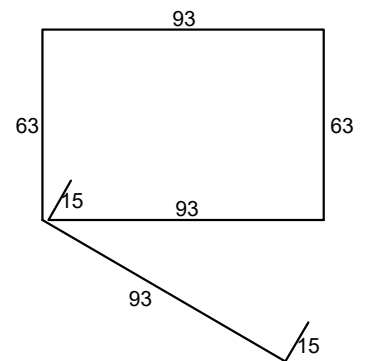
Ø16/10; L=100 cm; kom=136



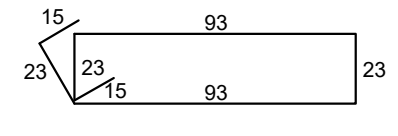
PRESJEK B-B MJ 1:25



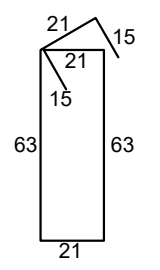
Ø16/10; L=435 cm; kom=136



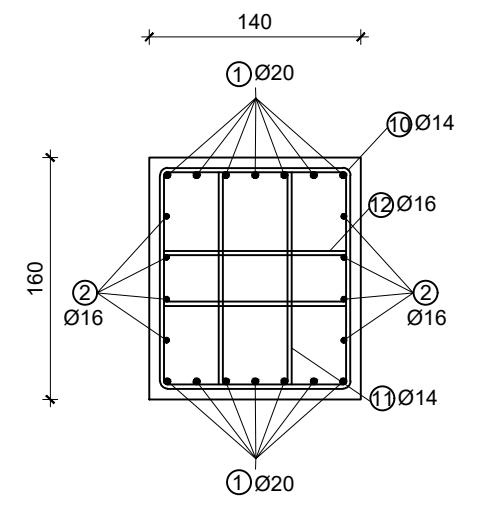
Ø16/10; L=285 cm; kom=136



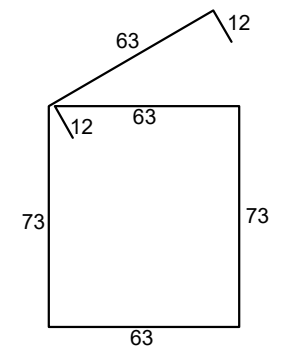
Ø16/10; L=216 cm; kom=136



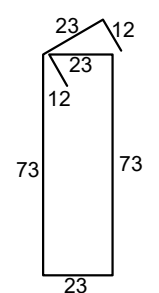
PRESJEK C-C MJ 1:25



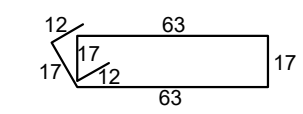
Ø14/12; L=359 cm; kom=89



Ø14/12; L=239 cm; kom=89



Ø14/12; L=201 cm; kom=89



PLAN ARMATURE OKVIRA MJ 1:50

Beton: C40/50 - greda  
 Beton: C55/57 - stup  
 Čelik: B500B  
 Zaštitni sloj c=3,5 cm

|   |                      |
|---|----------------------|
| SVEUČILITE U ZAGREBU<br>GRAĐEVINSKI FAKULTET<br>ZAVOD ZA KONSTRUKCIJE | Prilog 5             |
| Predmet: <b>VISOKE GRAĐEVINE</b>                                      |                      |
| Razina obrade: <b>DIPLOMSKI RAD</b>                                   |                      |
| Sadržaj nacrt: <b>Plan armature vanjskog cijevnog okvira</b>          |                      |
| Asistent:   | Pregledao:           |
| Datum: <b>25.06.2024.</b>   | Mjerilo: <b>1:50</b> |
| Školska godina: <b>2023./2024.</b>                                    |                      |
| Izradila: <b>Leonarda Marić, 0082061308</b>                           |                      |