

Proračun visoke zgrade sustava mega okvira sa pojasnim zidovima

Vidović, Mihael

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:237:881408>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-01**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Mihael Vidović

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA MEGA
OKVIRA SA POJASNIM ZIDOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Mihael Vidović

**PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA MEGA
OKVIRA SA POJASNIM ZIDOVIMA**

DIPLOMSKI RAD

Mentor: prof. dr. sc. Anđelko Vlašić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Mihael Vidović

**STRUCTURAL DESIGN OF MEGA FRAME TALL
BUILDING WITH BELT WALLS**

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 :

Mihael Vidović

(Ime i prezime)

0082062919

(JMBAG)

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

Proračun visoke zgrade sustava mega okvira sa pojasnim zidovima

(Naslov teme diplomskog rada na hrvatskom jeziku)

Structural design of mega frame tall building with belt walls

(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:

13.11.2024.

Mentor:

Anđelko Vlašić

Potpis mentora:

Komentor:

Dominik Skokandić

Građevinski fakultet
Fra Andrije Kacića-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 :

Mihael Vidović, 0082062919

(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 mega okvira sa pojasnim zidovima

(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:

13.11.2024.

Potpis:

Mihael Vidović

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 :

Mihael Vidović, 23948651537

(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 mega okvira sa pojasnim zidovima

(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:

21.11.2024.

(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: 13.11.2024.

Potpis: *Mihael Vidović*

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 zahvaljujem svom mentoru, prof. dr. sc. Anđelku Vlašiću, na njegovom izuzetnom znanju, strpljenju i iznimnoj podršci koju je pružio tijekom izrade ovog rada.

Zahvaljujem i svojoj voljenoj obitelji i dragim prijateljima koji su bili moj oslonac i inspiracija kroz cijeli studij. Posebno hvala mojoj djevojci Mirjani, čija nesebična pomoć, razumijevanje i podrška tijekom svih godina studiranja nisu imale cijenu.

Na kraju, zahvaljujem svojim roditeljima, Kati i Iliji, čija nepokolebljiva ljubav, žrtva i vjera u mene omogućili su da ostvarim svoje obrazovne ciljeve. Hvala Vam što ste mi uvijek bili čvrst temelj, što ste mi pružali svu potrebnu podršku i bez čega moj put ne bi bio moguć.

Bez svih Vas, ovaj rad i moje obrazovanje ne bi bili ostvarivi. Od srca Vam hvala na svemu!

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu proveden je proračun visoke zgrade koja se temelji na sustavu mega okvira s pojasnim zidovima. Zgrada ima simetričan tlocrt, a njezin glavni nosivi sustav čine mega stupovi, uz pojaseve od poprečnih i obodnih zidova. Za statičku i dinamičku analizu korišten je računalni program SCIA Engineer 22.1. Djelovanja koja djeluju na konstrukciju odabrana su prema specifičnoj lokaciji u Zagrebu, kao i prema odgovarajućim tehničkim normama. Armirano – betonski elementi, uključujući ploče, poprečne i obodne zidove, te stupove, dimenzionirani su prema graničnim stanjima nosivosti i uporabljivosti, na temelju podataka dobivenih iz računalnih programa. Proračuni su izvedeni u skladu s važećim normama i propisima. Na temelju provedenih analiza, zaključeno je da svi provjereni nosivi elementi zadovoljavaju uvjete za granična stanja nosivosti i uporabljivosti.

Ključne riječi: visoka zgrada, mega okvir, pojasni zidovi, simetričan tlocrt, statička i dinamička analiza, armirano – betonski elementi, granična stanja nosivosti i uporabljivosti

SUMMARY

In this master's thesis, presents the calculation of a high-rise building based on a mega-frame system with belt walls. The building has a symmetrical floor plan, and its main load-bearing system consists of mega columns, along with shear walls made up of transverse and perimeter walls. Static and dynamic analysis was carried out using the SCIA Engineer 22.1 software. The actions applied to the structure were determined based on its specific location in Zagreb, as well as the relevant technical standards. Reinforced concrete elements, including slabs, transverse and perimeter walls, and columns, were designed for ultimate and serviceability limit states based on the results obtained from the software. All calculations were made in accordance with the applicable codes and regulations. Based on the conducted analyses, it was concluded that all verified load-bearing elements meet the requirements for ultimate and serviceability limit states.

Key words: tall building, mega frame, belt walls, symmetrical floor plan, static and dynamic analysis, reinforced concrete elements, ultimate and serviceability limit states

SADRŽAJ

ZAHVALE	iv
SAŽETAK	v
SUMMARY	vi
SADRŽAJ	vii
1. UVOD	1
2. METODE I TEHNIKE RADA	2
3. PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA Mega okvira sa pojasnim zidovima	3
3.1. Projektni zadatak visoke zgrade sustava mega okvira sa pojasnim zidovima.....	4
3.2. Tlocrtno rješenje zgrade – odabir i raspored vertikalnih nosivih elemenata (stupovi, zidovi).....	5
3.3. Tehnički opis konstrukcije zgrade.....	6
3.3.1. Općenito	6
3.3.2. Konstrukcija.....	6
3.3.3. Statički proračun i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije.....	8
3.4. Osnovni nacrti zgrade.....	9
3.5. Proračun konstrukcije.....	12
3.5.1. Analiza opterećenja	12
3.5.1.1. Vlastita težina i dodatno stalno opterećenje.....	12
3.5.1.2. Uporabno opterećenje.....	14
3.5.1.3. Opterećenje snijegom.....	15
3.5.1.4. Opterećenje vjetrom	17
3.5.1.5. Horizontalno opterećenje uslijed imperfekcija.....	33
3.5.1.6. Seizmičko opterećenje.....	36
3.5.1.7. Slučajni torzijski učinci	42
3.5.1.8. Kombinacije djelovanja za GSN i GSU.....	42
3.5.2. Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun.....	44
3.5.2.1. Računalni model konstrukcije.....	44
3.5.2.2. Elementi računalnog modela konstrukcije	46
3.5.2.3. Statički i dinamički proračun konstrukcije.....	55
3.5.2.4. Statički proračun ploče visoke zgrade.....	66

3.5.3.	Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna (rezne sile, naprezanja, progibi i dinamika).....	67
3.5.3.1.	Globalne provjere	67
3.5.4.	Učinci drugog reda $\mathbf{P} - \Delta$	87
3.5.4.1.	Ispis unutrašnjih sila AB ploče	91
3.5.4.2.	Ispis unutrašnjih sila poprečnih zidova.....	97
3.5.4.3.	Ispis unutrašnjih sila obodnih zidova.....	106
3.5.4.4.	Ispis unutrašnjih sila malih stupova.....	111
3.5.4.5.	Ispis unutrašnjih sila velikih stupova.....	116
3.6.	Dimenzioniranje elemenata ploče, poprečnih i obodnih zidova, te malih i velikih stupova (GSN I GSU).....	121
3.6.1.	Dimenzioniranje AB ploče (GSN) – lokalni model ploče.....	121
3.6.1.1.	Proračun zaštitnog sloja AB ploče.....	123
3.6.1.2.	Materijal i geometrija ploče	125
3.6.1.3.	Proračun uzdužne armature u polju ploče.....	126
3.6.1.4.	Proračun uzdužne nad ležajem ploče	128
3.6.1.5.	Proboj ploče.....	136
3.6.1.6.	Otpornost na posmični proboj ploče bez poprečne armature.....	137
3.6.2.	Dimenzioniranje AB ploče (GSU) – granično stanje pukotina	139
3.6.2.1.	Proračun pukotina ploče.....	140
3.6.2.2.	Proračun progiba ploče	150
3.6.3.	Dimenzioniranje poprečnog zida 2c.....	158
3.6.3.1.	Proračun zaštitnog sloja AB zida.....	158
3.6.3.2.	Materijali i geometrija poprečnih zidova	159
3.6.3.3.	Kontrola izvijanja i vitkosti zida	160
3.6.3.4.	Proračun nosivosti u potresnom području prema EN 1998.....	161
3.6.3.5.	Armatura hrpta zida	162
3.6.3.6.	Određivanje armature kritičnog područja.....	164
3.6.4.	Dimenzioniranje poprečnog zida 2c (GSU).....	169
3.6.4.1.	Kontrola naprezanja u betonu poprečnog zida 2c.....	169
3.6.5.	Dimenzioniranje poprečnog zida 3d	171
3.6.5.1.	Materijali i geometrija poprečnih zidova	171
3.6.5.2.	Kontrola izvijanja i vitkosti zida	171
3.6.5.3.	Proračun nosivosti u potresnom području prema EN 1998.....	173

3.6.5.4.	Armatura hrpta zida	174
3.6.5.5.	Određivanje armature kritičnog područja	176
3.6.6.	Dimenzioniranje poprečnog zida 3d (GSU)	181
3.6.6.1.	Kontrola naprezanja u betonu poprečnog zida 3d	181
3.6.7.	Dimenzioniranje obodnog zida 6a	183
3.6.7.1.	Proračun zaštitnog sloja AB zida	183
3.6.7.2.	Materijali i geometrija obodnih zidova	184
3.6.7.3.	Kontrola izvijanja i vitkosti zida	185
3.6.7.4.	Proračun nosivosti u potresnom području prema EN 1998	188
3.6.7.5.	Armatura hrpta zida	189
3.6.7.6.	Određivanje armature kritičnog područja	191
3.6.8.	Dimenzioniranje poprečnog zida 6a (GSU)	196
3.6.8.1.	Kontrola naprezanja u betonu obodnog zida	196
3.6.9.	Dimenzioniranje unutrašnjeg stupa	198
3.6.9.1.	Proračun zaštitnog sloja AB stupa	198
3.6.9.2.	Materijali i geometrija malih stupova	199
3.6.9.3.	Zahtijevana duktilnost	201
3.6.9.4.	Uzdužna armatura stupova	201
3.6.9.5.	Maksimalni razmak spona	203
3.6.9.6.	Poprečna armatura stupova	203
3.6.9.7.	Usporedba rezultata s rezultatima iz programa SCIA Engineer	205
3.6.10.	Dimenzioniranje malog stupa M1 (GSU)	207
3.6.10.1.	Kontrola naprezanja u betonu stupa M1	207
3.6.11.	Dimenzioniranje vanjskog stupa	209
3.6.11.1.	Proračun zaštitnog sloja AB stupa S1	209
3.6.11.2.	Materijali i geometrija malih stupova	210
3.6.11.3.	Zahtijevana duktilnost	212
3.6.11.4.	Uzdužna armatura stupova	212
3.6.11.5.	Maksimalni razmak spona	214
3.6.11.6.	Poprečna armatura stupova	215
3.6.11.7.	Usporedba rezultata s rezultatima iz programa SCIA Engineer	217
3.6.12.	Dimenzioniranje velikog stupa S1 (GSU)	218
3.6.12.1.	Kontrola naprezanja u betonu stupa S1	218
3.7.	Skica armature	221

3.7.1.	Proračun duljine sidrenja armaturnih šipki.....	221
3.7.1.1.	Šipke $\emptyset 20$	222
3.7.1.2.	Šipke $\emptyset 16$	223
3.7.1.3.	Šipke $\emptyset 20$	223
3.7.1.4.	Šipke $\emptyset 25$	224
3.7.1.5.	Šipke $\emptyset 28$	224
3.7.1.6.	Šipke $\emptyset 36$	225
3.7.2.	Proračunska duljina preklopa armaturnih šipki	225
3.7.2.1.	Šipke $\emptyset 20$	225
3.7.2.2.	Šipke $\emptyset 16$	226
3.7.2.3.	Šipke $\emptyset 20$	227
3.7.2.4.	Šipke $\emptyset 25$	227
3.7.2.5.	Šipke $\emptyset 28$	228
3.7.2.6.	Šipke $\emptyset 36$	228
4.	ZAKLJUČAK.....	229
	POPIS LITERATURE.....	230
	POPIS SLIKA.....	233
	POPIS TABLICA	238
	PRILOZI	240

1. UVOD

Visoke građevine, poznate i kao neboderi, predstavljaju ključnu komponentu modernih urbanih sredina. S obzirom na brzo rastuće urbane populacije i ograničene prostore u velikim gradovima, visoke zgrade postale su ne samo odgovor na potrebu za prostornim štednjama, već i simbol napretka u arhitekturi i inženjeringu. Ove građevine omogućuju kompaktnu organizaciju života i rada, smanjujući potrebu za širenjem u širinu, te omogućujući koncentraciju resursa i usluga u visini.

Razvoj visokih zgrada započeo je krajem 19. stoljeća u Sjedinjenim Američkim Državama, s prvim neboderima u Chicago i New Yorku, koji su predstavljali tehnološki iskorak zahvaljujući novim materijalima. Od prvih pokušaja projektiranja i izgradnje visokih objekata pa do danas, razvijeni su brojni konstrukcijski sustavi koji omogućuju zadovoljenje različitih potreba korisnika. Jedan od sustava koji se očekuje da će postati sve češći izbor u budućnosti je sustav mega okvira s pojasnim zidovima, a proračun tog sustava obrađuje se u ovom diplomskom radu.

Sustav mega okvira s pojasnim zidovima sastoji se od velikih mega stupova, te pojasnih zidova smještenih svakih petnaestak etaža, koji uključuju obodne i poprečne zidove. Ploča zgrade ima relativno malu debljinu u odnosu na ukupnu veličinu objekta, a prijenos opterećenja s ploče na mega okvir odvija se preko manjih stupova unutar tlocrta. Unatoč velikoj visini zgrade, razvoj učinkovitih rješenja za osiguranje nosivosti i stabilnosti nije bio ometen. Etaže su dizajnirane kao otvorene, što ih čini pogodnim za uredske prostore, dok su pojasni zidovi predviđeni za servisne etaže. Vertikalna komunikacija omogućena je putem liftova i stubišta.

Za potrebe ovog diplomskog rada, izabrana je lokacija grada Zagreba kao primjer najviše izgrađenog područja u Hrvatskoj. Cilj ovog rada bio je prikazati kako bi se zgrada s ovakvim konstrukcijskim sustavom ponašala u specifičnim uvjetima ove lokacije, te predstaviti osnovne proračune i pristupe modeliranju i dimenzioniranju.

2. METODE I TEHNIKE RADA

Ovaj diplomski rad bavi se proračunom i dimenzioniranjem visoke zgrade temeljenog na sustavu mega okvira s pojasnim zidovima, smještene u Gradu Zagrebu. Cilj je provedba proračuna za vertikalna i horizontalna opterećenja u skladu s važećim normama i propisima. Rezultat rada trebao bi biti određivanje optimalnih dimenzija nosivih elemenata koji zadovoljavaju granična stanja nosivosti i uporabljivosti za specifična opterećenja, kako u globalnom, tako i u lokalnom ponašanju konstrukcije.

Na samom početku izvedena su istraživanja o konstrukcijskom sustavu mega okvira sa pojasnim zidovima, kao i o stvarnim primjerima koji su već realizirani. U sklopu istraživanja pregledane su relevantne norme i propisi koji su potrebni za analizu i dimenzioniranje ove vrste objekta. Nakon toga, istražena su karakteristična opterećenja specifična za lokaciju, koja su kasnije implementirana u modelu i proračunu. Također, izvršeno je i upoznavanje s računalnim programom SCIA Engineer 22.1, koji je korišten za modeliranje visoke zgrade. Kao priprema za modeliranje, kreirana je podloga u AutoCadu 2024.

Nakon početnih istraživanja i definicije konfiguracije AB nosivih elemenata, pristupilo se modeliranju. Tijekom procesa modeliranja, model je više puta prilagođavan kako bi se postigao što bolji globalni i lokalni odgovor konstrukcije. Nakon što je analiza provedena u računalnom programu, izvršen je proračun i dimenzioniranje nosivih elemenata zgrade. Posebna pažnja posvećena je potresnoj otpornosti elemenata koji prenose horizontalna opterećenja, u skladu s odgovarajućim propisima i normama. Neki od elemenata nisu zadovoljili početne dimenzije prilikom dimenzioniranja, zbog čega su izvršene potrebne promjene.

Konačno, rezultati proračuna pokazali su da globalno ponašanje konstrukcije odgovara očekivanjima temeljenim na provedenim istraživanjima, te da svi provjereni nosivi elementi zadovoljavaju granična stanja nosivosti i uporabljivosti.

3. PRORAČUN VISOKE ZGRADE SUSTAVA MEGA OKVIRA SA POJASNIM ZIDOVIMA

Ovo poglavlje obuhvaća kompletan proces proračuna visoke zgrade, počevši od modeliranja konstrukcije, preko analize rezultata, statičkog i dinamičkog izračuna, sve do dimenzioniranja ključnih nosivih elemenata.

Prvo je predstavljen projektni zadatak, koji omogućuje uvid u sve zahtjeve i smjernice postavljene za izradu ovog rada. Zatim je prikazano tlocrtno rješenje zgrade, uz detaljno obrazloženje odabira i rasporeda nosivih elemenata unutar zgrade. Sljedeći dio poglavlja obuhvaća tehnički opis projekta i nacрте, koji daju osnovne informacije o građevinskim specifikacijama objekta.

Nakon toga slijedi analiza konstrukcije koja uključuje procjenu svih opterećenja, izradu računalnog modela, te interpretaciju rezultata proračuna. Na temelju tih podataka provedeni su proračuni dimenzioniranja nosivih elemenata poput ploča, zidova i stupova, uzimajući u obzir granična stanja nosivosti i uporabljivosti, te potrebne izračune za optimalno armiranje.

U konačnici, kao prilog, priloženi su grafički materijali s nacrtima, uključujući karakteristične tlocрте, presjeke i poglede zgrade, te raspored armature vanjskog okvira prema zahtjevima projektne dokumentacije.

3.1. Projektni zadatak visoke zgrade sustava mega okvira sa pojasnim zidovima



OBRAZAC 2



TEMA DIPLOMSKOG RADA



Ime i prezime studenta:

JMBAG:

Diplomski rad iz kolegija:

Naslov teme diplomskog rada (HR):

Naslov teme diplomskog rada (ENG):

Opis teme diplomskog rada:

1. Opis projektnog zadatka
2. Tlocrtno rješenje zgrade - odabir dimenzija stupova i zidova mega okvira, i položaja pojasnih zidova po visini
Potrebno je tlocrtno riješiti sa smještanjem vertikalnih elemenata nosivih i pregradnih zidova i otvora.
3. Tehnički opis konstrukcije zgrade
4. Osnovni nacrti zgrade: pogledi, karakteristični katni tlocrti i karakteristični uzdužni presjeci
5. Proračun konstrukcije
- 5.1 Analiza opterećenja
- 5.2 Izrada računalnog modela, statički i dinamički proračun
- 5.3 Ispis i provjera relevantnih rezultata proračuna (rezne sile, naprezanja, progibi, dinamika)
6. Dimenzioniranje elemenata mega stupova, unutarnjih stupova, pojasnih zidova i međukatne konstrukcije (GSN i GSU)
7. Armaturni nacrt odabranih elemenata mega stupova, pojasnih zidova i međukatne konstrukcije
8. Zaključak i literatura

Datum:

Mentor:

Potpis mentora:

Komentor:

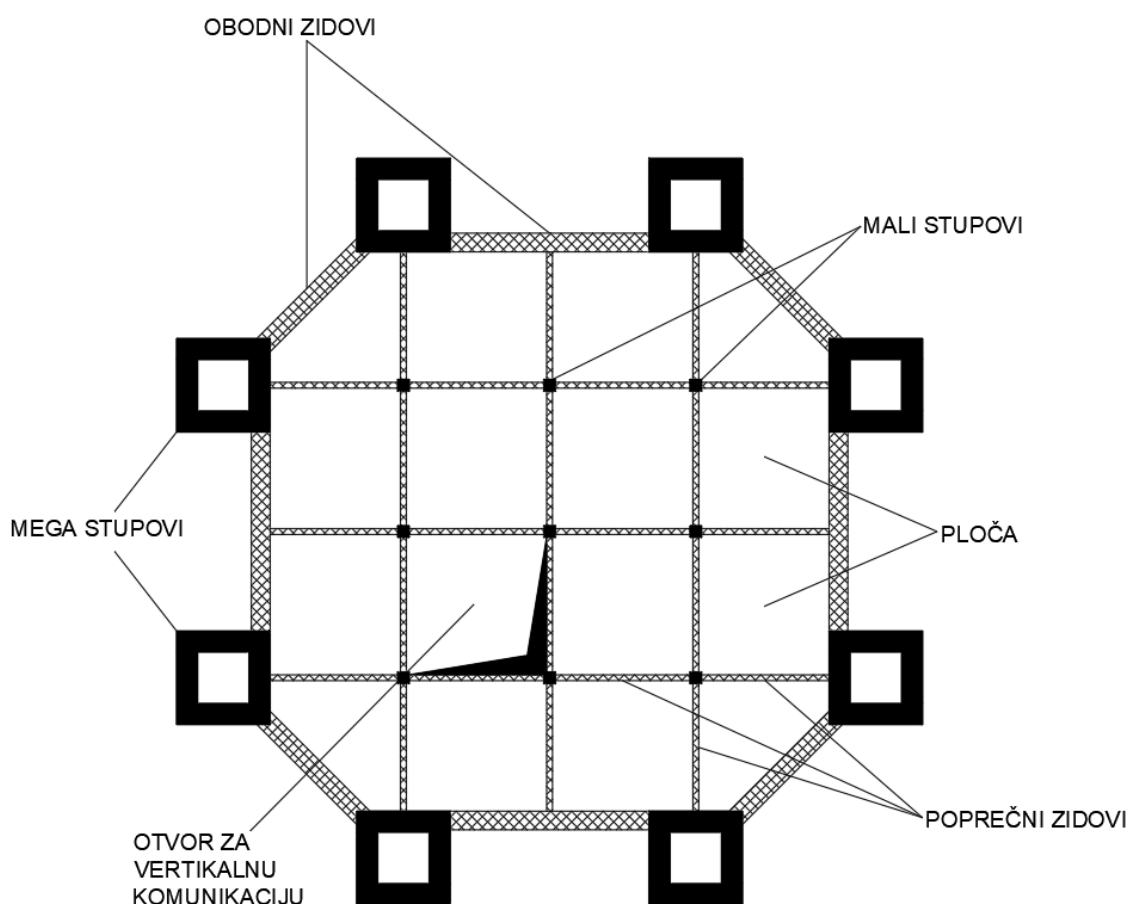
Građevinski fakultet
Fra Andrije Kačića-Miošića 26, HR-10000 Zagreb, OIB: 62924153420
TEL.: +385 (0) 1 4639 115, FAKS: +385 (0) 1 4828 051
www.grad.unizg.hr

3.2. Tlocrtno rješenje zgrade – odabir i raspored vertikalnih nosivih elemenata (stupovi, zidovi)

Odabrani sustav mega okvira sa pojasevima jest pravi primjer kako se može postići vrlo vitka građevina sa iznimno velikim brojem katova, što je u današnjem svijetu od velike važnosti za prenapučene lokacije. Jednostavnost i simetričnost građevine čine ju privlačnom.

Za ovaj tip nosivog sustava se može reći da je spoj tradicionalnog načina gradnje okvira sa novim tehnologijama.

Tlocrtno rješenje visoke zgrade



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

Građevina je oktagonalnog tlocrtnog rješenja, na čijim vrhovima su postavljeni šupli torzijski kruti mega stupovi. Zgrada ima 75 etaža, kroz koje je omogućena vertikalna komunikacija.

Postoji šest pojasa, odnosno poprečnih nosivih elemenata koja prenose opterećenja na stupove na mega stupove, te pridonose općoj krutosti.

Odabir i raspored elemenata

Najmanji vertikalni elementi su stupovi u unutrašnjosti presjeka koji prenose opterećenje ploče sve do poprečnih zidova, koji to opterećenje prenose na mega stupove. Ispod poprečnih zidova nema stupova, a sve s ciljem da se vertikalno opterećenje i prenese poprečnim zidovima, kako je i zamišljeno. Horizontalno opterećenje preuzimaju pojasevi, tj. skup obodnih i poprečnih zidova koji se nalaze na šest različitih lokacija po visini. Sva se opterećenja opet prenose do glavnih stupova, koji imaju vodeću ulogu u nosivosti okvira.

3.3. Tehnički opis konstrukcije zgrade

3.3.1. Općenito

Zadaća ovog projekta je izvedba visoke zgrade sustava mega okvira sa pojasnim zidovima, na našem području, odnosno u Gradu Zagrebu.

Građevina ima ukupno 75 etaža. Simetrična je u svim smjerovima, te su elementi nepromjenjivi po visini. Vanjske dimenzije zgrade su 31,9 m × 31,9 m, brutto površina svih etaža pojedinačno iznosi cca. 495,44 m², a brutto površina cijele visoke zgrade iznosi cca. 37158 m². Visina jedne etaže je 4,10 m, a ukupna visina objekta 307,5 m.

3.3.2. Konstrukcija

Glavni nosivi sustav zgrade čine 8 mega stupova, zatim 6 razina pojaseva, pojedinačno sa 24 poprečna zida u visini jedne etaže, te 16 obodnih zidova raspoređenih u 2 etaže simetrično po rubu tlocrta. Ploča je oslonjena na 13 vitkih stupova, 9 u središtu i 4 na rubovima tlocrta, a koji vertikalno opterećenje prenose do pojasa. Ploče se također oslanjanju na konstruktivne vezne grede po svome rubu, kojima se povezuju na mega stupove. Vezne grede u ovom radu nisu dimenzionirane, kao ni stubište.

Mega stupovi

Stupovi su AB nosivi elementi, kako je i ranije navedeno, raspoređeni su u obliku oktagona, što pridonosi torzijskoj krutosti. Šupljeg su poprečnog kvadratnog presjeka dimenzija 400×400×90 cm, što pridonosi lokalnoj krutosti na savijanje i izvijanje. Izrađeni su od betona C100/115 i armirani armaturom B500B. Nepromjenjivi su po visini.

Poprečni zidovi

Nosivi AB elementi postavljeni na 15., 27., 39., 51., 63., i 75. etažu građevine. Prvobitno su zamišljeni sa širinom od 25 cm, ali se dokazalo da se širina morala povećati na 50 cm, a na mjestima gdje se vežu na mega stupove, na čak 120 cm, a sve zbog iznimno velikih reznih sila, koje su uzrok upravo velikog transfera sila sa pojasa na velike stupove. Visine su 390 cm, a duljina se dijeli prema dvije različite vrste pozicije na tlocrtu, pa postoje zidovi od 545 i 575 cm. Izrađeni su od betona C100/115 i armirani B500B armaturom.

Obodni zidovi

Drugi dio pojasa čine obodni zidovi postavljeni na 14., 15., 26., 27., 38., 39., 50., 51., 62., 63., 74. i 75. etažu. Početna širina je bila 80 cm, te je povećana na 100 cm, zbog kritičnog područja. Visina je 390 cm, duljine u 2 varijante, jedna 523 cm, tj. zidovi na kraćoj stranici oktagona, te varijante duljine 850 cm, tj. zidovi na duljoj stranici. Korišten je beton C100/115, armatura B500B.

Mali stupovi

Unutrašnji mali stupovi su također izvedeni iz betona razreda čvrstoće C100/115 i armaturnog čelika B500B. Modelirani su da prenose i moment i uzdužnu silu, odnosno služe za preuzimanje vertikalnog opterećenja, te djelomično horizontalnog koje je zanemarivo. Stupovi su kvadratnog presjeka, nepromjenjivog po visini, prvobitno dimenzija 50×50 cm.

Ploča

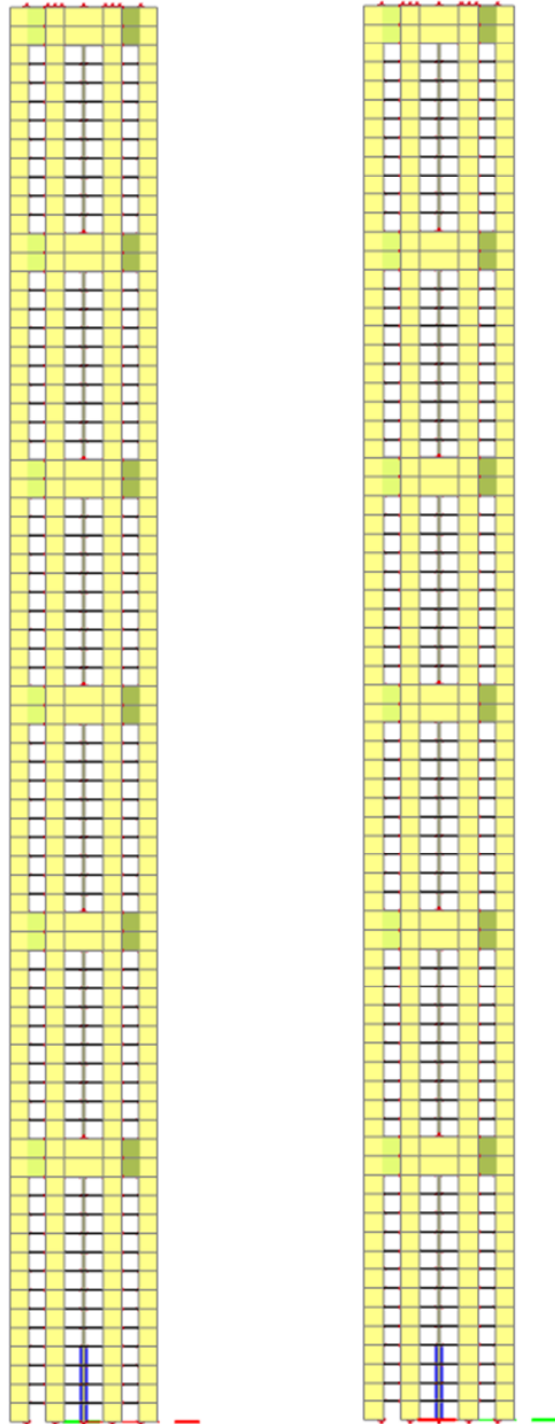
Jedini element konstrukcije izveden u betonu C40/50, armiran čelikom B500B. Oslonjena je na stupove, te vezne grede po svojim vanjskim rubovima i otvorima za vertikalnu komunikaciju, koje nisu dimenzionirane. Debljine je 20 cm, te je konstantna po visini.

3.3.3. Statički proračun i dimenzioniranje nosivih elemenata konstrukcije

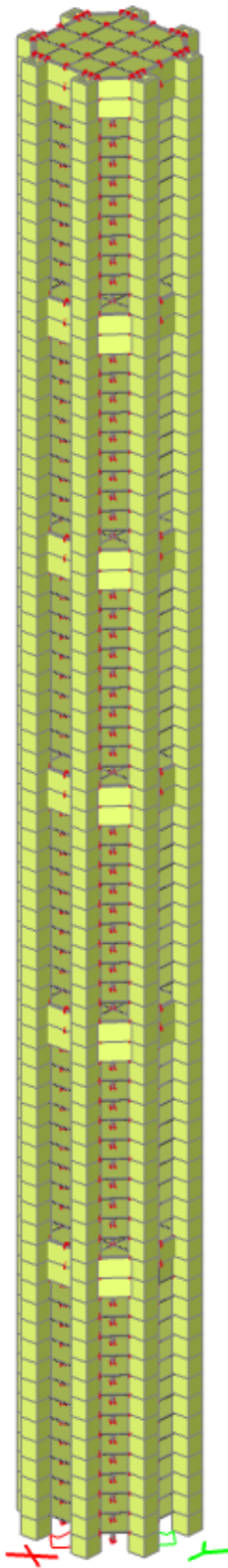
Statički model visoke zgrade i proračun provedeni su korištenjem računalnog alata SCIA Engineer 22.1 [2]. Dimenzioniranje svih nosivih elemenata temelji se na važećim Eurokod normama i nacionalnim dodacima. Proces statičkog proračuna obuhvatio je različite vrste opterećenja, uključujući težinu konstrukcije, stalna opterećenja, uporabna opterećenja, snijeg, vjetar, seizmičke utjecaje, te imperfekcije.

Za određivanje djelovanja na zgradu korišteni su specifični propisi koji odgovaraju karakteristikama lokacije. Prosječna nadmorska visina na kojoj se nalazi zgrada je oko 158 metara, a prema kategorijama opterećenja snijegom pripada III. zoni. Kategorija terena za opterećenje vjetrom definirana je kao III.. Za potresno opterećenje, uzeto je horizontalno ubrzanje tla prema seizmičkoj karti Republike Hrvatske. Za povratni period od 475 godina, vršno ubrzanje tla iznosi $a_{gR} = 0,257g$, a za povratni period od 95 godina, $a_{gR} = 0,131g$.

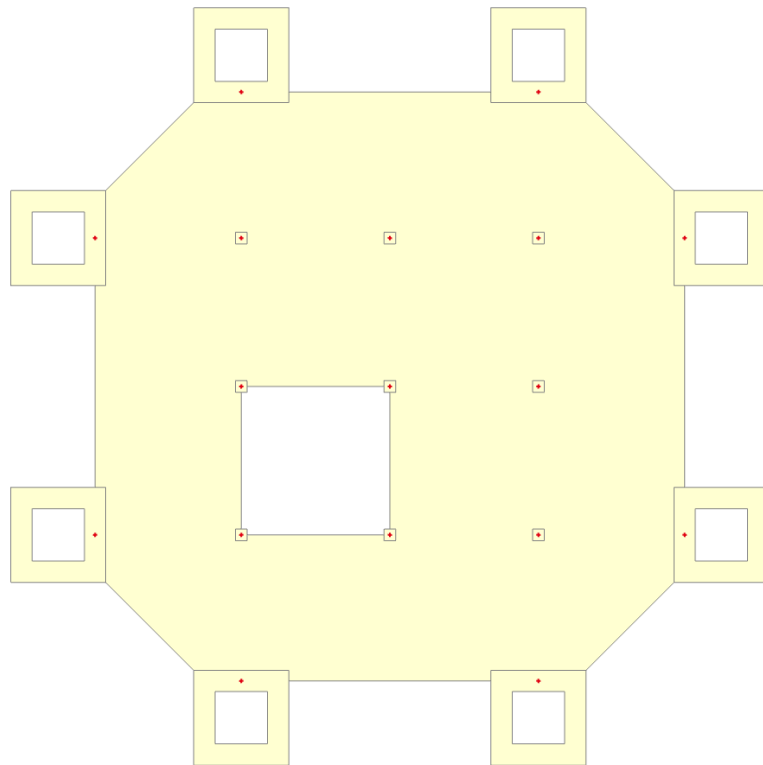
3.4. Osnovni nacrti zgrade



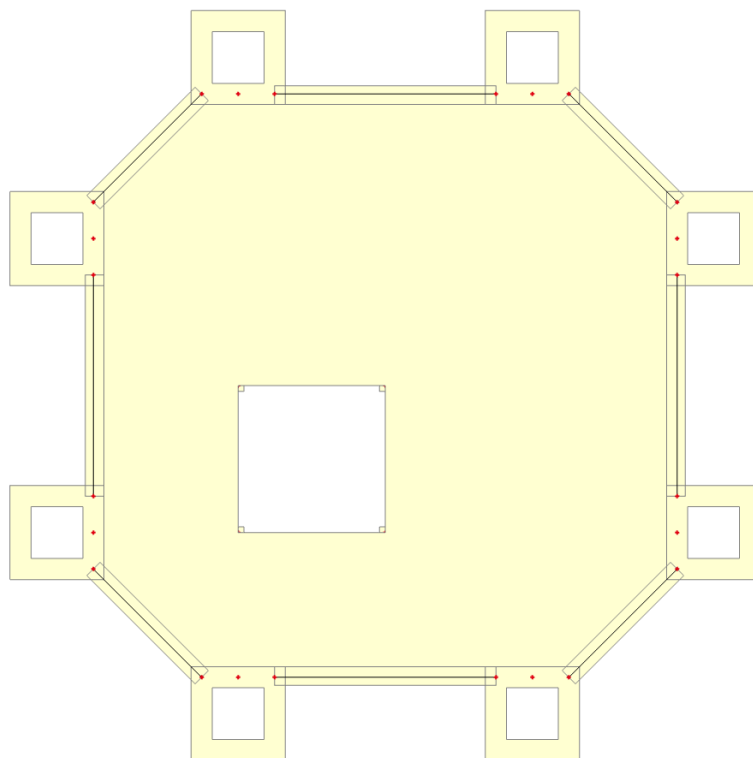
Slika 2.: Prikaz pogleda na građevinu



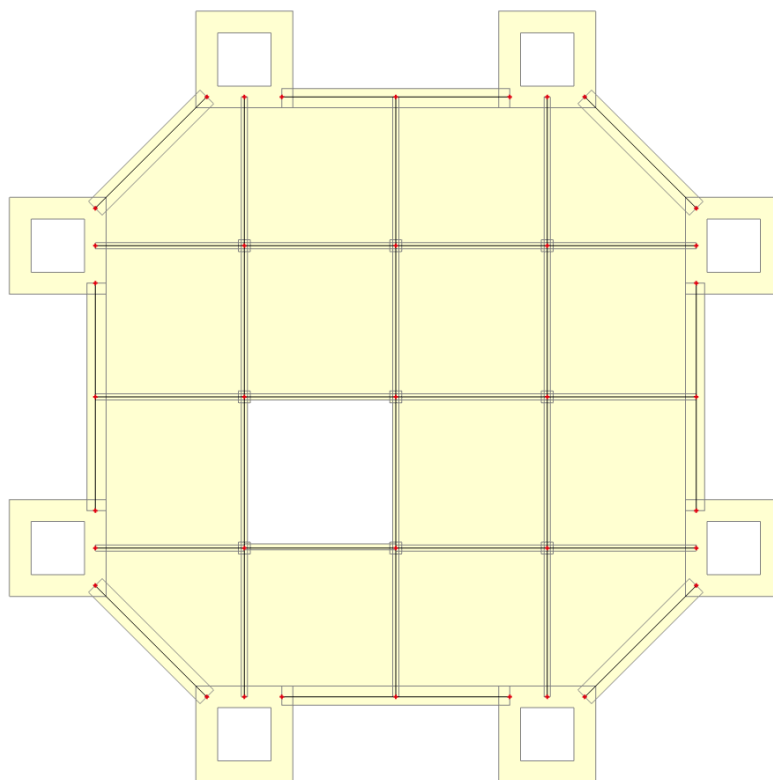
Slika 3.: Prikaz 3D pogleda na građevinu



Slika 4.: Prikaz tlocrta građevine bez pojasa



Slika 5.: Prikaz tlocrta građevine samo sa obodnim zidovima



Slika 6.: Prikaz tlocrta građevine sa obodnim i poprečnim zidovima

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 m²:

Etaže 01 – 74:

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 ³ ; d = 5,0 cm):	$\Delta g_2 = 1,10 \text{ kN/m}^2$
Toplinska izolacija XPS (30 kg/m ³ ; 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: $\Delta g_6 = 0,25 \text{ kN/m}^2$

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

Etaža 75 (krov):

AB ploča: definirano u software-u

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

Pokrov – šljunak (2000 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 [kN/m ²]	Q_k ^a [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 ^b u stambenim zgradama i kućama, sobama s krevetima, bolnicama (spavaonicama), sobama u hotelima i prenoćistima i pripadajuće kuhinje i kupaonice	1,5	–	
3				A3	A2, ali bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele opterećenja	2,0 ^c	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
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, podrumske prostorije u stambenim zgradama	3				3
6	B3	Svi prostori navedeni u B1 i B2, ali s teškom opremom ^d	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, ferase, 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 ² tlocrtnne ploštine u stambenim, uredskim i sličnim građevinama	2	2	
14				D2	Prostori u trgovinama i robnim kućama	5	4
15				D3	Prostori kao u D2, ali s većim opterećenjima zbog visokih polica za skladištenje	5	7

Tablica 1.: – nastavak (Izvor: [3])

Stupac	1	2	3	4	5		
Redak	Kategorija	Namjena	Primjer	q_k [kN/m ²]	Q_k ^a [kN]		
16	E	E1.1	Skladišta, tvornice i radionice, staje, skladišni prostori i pristupi	Prostori u tvornicama ^e i radionicama ^e s lakim proizvodnim pogonom, staje za krupnu stoku	5 ^f	4	
17		E1.2	Skladišni prostori opečnito, uključujući i knjižnice	6 ^f	7		
18		E2.1	Prostori u tvornicama ^e i radionicama ^e s umjereno teškim ili teškim proizvodnim pogonom	7,5	10		
19	S ^g	S1	Stubišta i stubišni podesti	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 ^g	Pristupi, balkoni i sl.	Krovne terase, trijemovi, lode, balkoni, izlazni podesti	4	2		

^a 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 rasporede opterećenje Q_k jesu 50 mm.

^b Stropovi sa zadovoljavajućom poprečnom raspodjelom opterećenja jesu armiranobetonske i prednapete betonske pune, šuplje i rebraste ploče.

^c Za prijenos sila sa stropova bez zadovoljavajuće poprečne raspodjele na potporne elemente navedena se vrijednost može umanjiti za 0,5 kN/m².

^d 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.

^e 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).

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

^g Ove kategorije vrijede za sve vrste građevina ili dijelova građevina. Koeficijenti kombinacije za promjenjiva djelovanja prema normi HRN EN 1990, tablica A.1.1, 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		$q_{k,3}$ [kN/m ²]	Q_k [kN]
Kategorija H	nagib krova $\leq 20^\circ$	0,6	1,0
	nagib krova $\geq 40^\circ$	0,0	1,0

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

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

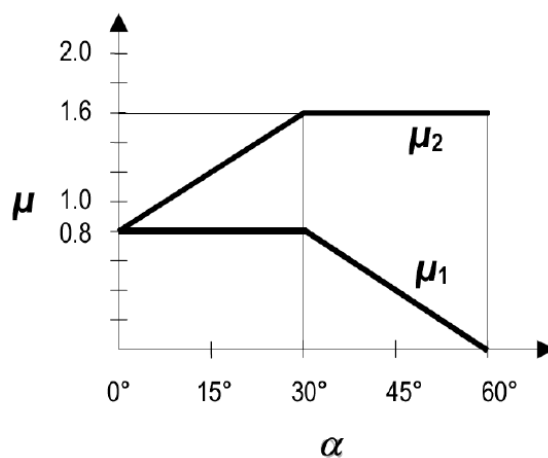
Karakteristično opterećenje snijegom na krov se određuje prema izrazu iz norme [5]:

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

gdje je:

- μ_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 μ_i , prema normi [5], gdje je za ravan krov očitana vrijednost koeficijenta oblika krova: $\mu_i = 0,80$.



Slika 7.: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom (Izvor: [5])

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



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

Zgrada se nalazi u Zagrebu, na prosječnoj nadmorskoj visini ≈ 158 m te na 3. području. kontinentalna Hrvatska. Karakteristično opterećenje snijegom na tlu za navedeno područje iznosi: $s_k = 1,25$ kN/m².

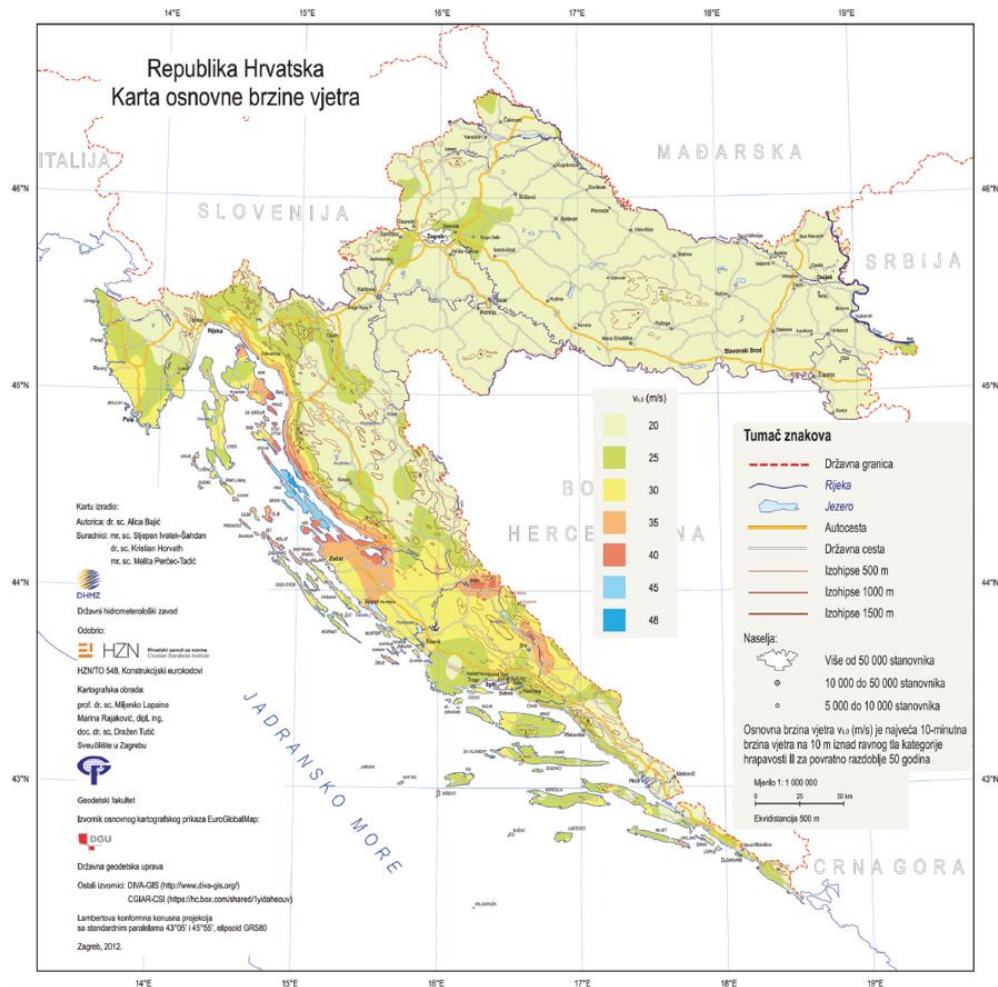
Karakteristično opterećenje snijegom na krov iznosi:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

gdje je:

- $c_e(z)$ koeficijent izloženosti
- ρ gustoća zraka definirana Nacionalnim dodatkom; u hrvatskom Nacionalnom dodatku [8] prihvaćena je preporučena vrijednost 1,25 kg/m³
- $v_m(z)$ 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 [m]	z_{min} [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine 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].

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

gdje je:

$I_v(z)$ intezitet turbulencije na visini z

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

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.

Ψ_λ faktor učinka kraja

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

Osmerokut:

$$\frac{r}{b} \geq 0,075 \text{ (glatka površina)}$$

$$0,224 > 0,075$$

Reynoldsov broj:

$$Re = \frac{b \times v(z_e)}{v} = \frac{29,67 \times 66,41}{1,5 \times 10^{-6}} = 1,31 \times 10^9$$

$$v(z_e) = \sqrt{\frac{2 \times q_p(z_e)}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 2756,41}{1,25}} = 66,41 \text{ m/s}$$

gdje je:

- r polumjer ugla
- b promjer
- v kinematska viskoznost zraka ($1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$)
- $v(z_e)$ vršna brzina vjetra
- ρ gustoća zraka definirana Nacionalnim dodatkom; u hrvatskom Nacionalnom dodatku [8] prihvaćena je preporučena vrijednost $1,25 \text{ kg/m}^3$

$$Re > 2,4 \times 10^5$$

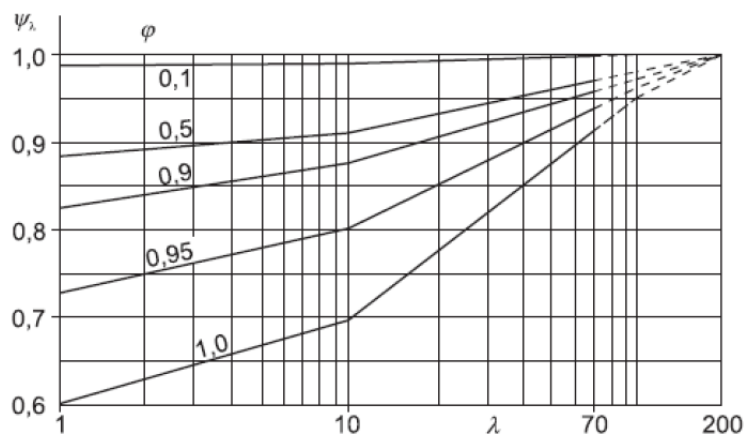
$$c_{f,0} = 1,10$$

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

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

^(a) Reynoldsov broj za $v = v_{10}$, gdje je v_{10} dan u točki 4.3, definiran je u točki 7.9.
^(b) r = polumjer ugla, b = promjer opisane kružnice, vidjeti sliku 7.26
^(c) Iz ispitivanja u vjetrovom tunelu na modelima profila s galvaniziranom čeličnom površinom i profila gdje je $b = 0,3 \text{ m}$ i polumjer zaobljenja ugla $0,06 \text{ b}$.

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



Slika 10.: 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_c ukupna omeđena površina

Za „b“ je uzeta vrijednost 32,0 m (u smjeru X i Y je ista vrijednost od 30,0 m), pa je:

$$\varphi = 1,00$$

Za visinu zgrade veću od 50,0 m vrijednost vitkosti određuje se kao minimalna vrijednost:

$$\lambda = \min. \left(1,4; \frac{l}{b} = 9,61; 70 \right)$$

$$\lambda = 1,4$$

Očitano:

$$\Psi_\lambda = 0,62$$

Konačno koeficijent sile:

$$c_f = 1,1 \times 0,62 = 0,68$$

Faktor konstrukcije $c_s c_d$

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_p vršni faktor određen kao omjer najveće vrijednosti kolebajućeg odziva i njegove standardne devijacije
- $I_v(z_s)$ intenzitet turbulencije
- z_s referentna visina za određivanje faktora konstrukcije
- B^2 faktor podloge koji obuhvaća pomanjkanje pune korelacije tlaka na površini konstrukcije
- R^2 faktor rezonantnog odziva koji obuhvaća pojavu turbulencije u rezonanciji s oblikom titranja

Pri tome je referentna visina [7]:

$$z_s = 0,6 \times h = 0,6 \times 307,5 = 184,5 \text{ m} \geq z_{\min} = 5,0 \text{ m}$$

Intezitet turbulencije, iz [7]:

$$I_v(z_s) = \frac{k_1}{c_0(z) + \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,00}{1,00 + \ln\left(\frac{184,5}{0,3}\right)} = 0,135$$

$$z_{\min} = 5,0 \text{ m} \leq z_s = 184,5 \text{ m} \leq z_{\max} = 200 \text{ m}$$

Turbulentna duljina [7]:

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

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

$$L(z_s) = L_t \times \left(\frac{z_s}{z_t}\right)^\alpha = 300 \times \left(\frac{184,5}{200}\right)^{0,61} = 285,60 \text{ m}$$

Prema [7], faktor podloge je:

Vjetar puše u X smjeru:

$$B^2 = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{b+h}{L(z_s)}\right)^{0,63}} = \frac{1}{1 + 0,9 \times \left(\frac{32 + 307,5}{285,60}\right)^{0,63}} = 0,499$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$B^2 = 0,499$$

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:

$$R^2 = \frac{\pi^2}{2 \times 0,10} \times 0,132 \times 0,142 \times 0,668 = 0,618$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$R^2 = 0,618$$

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:

$$S_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{6,8 \times 1,314}{(1 + 10,2 \times 1,314)^{5/3}} = 0,132$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$S_L(z_s, n_{1,y}) = 0,132$$

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:

$$f_L(z_s, n_{1,x}) = \frac{0,130 \times 285,60}{28,26} = 1,314$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$f_L(z_s, n_{1,y}) = 1,314$$

Osnovna frekvencija je očitana iz modela za pojedini smjer.

Vjetar puše u X smjeru:

$$\eta_{1,x} = 0,130 \text{ Hz}$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$\eta_{1,y} = 0,130 \text{ Hz}$$

Srednja brzina vjetra iznad terena [7]:

$$v_m(z_s) = c_r(z_s) \times v_b = 1,413 \times 20 = 28,26 \text{ m/s}$$

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

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

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

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

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

Vjetar puše u X smjeru:

$$R_h = \frac{1}{6,508} - \frac{1}{2 \times 6,508^2} (1 - e^{-2 \times 6,508}) = 0,142$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \times 307,5}{285,60} \times 1,314 = 6,508$$

$$R_b = \frac{1}{0,677} - \frac{1}{2 \times 0,677^2} (1 - e^{-2 \times 0,677}) = 0,668$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times 32,0}{285,60} \times 1,314 = 0,677$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$R_h = \frac{1}{6,508} - \frac{1}{2 \times 6,508^2} (1 - e^{-2 \times 6,508}) = 0,142$$

$$\eta_h = \frac{4,6 \times 307,5}{285,60} \times 1,314 = 6,508$$

$$R_b = \frac{1}{0,677} - \frac{1}{2 \times 0,677^2} (1 - e^{-2 \times 0,677}) = 0,668$$

$$\eta_b = \frac{4,6 \times 32,0}{285,60} \times 1,314 = 0,677$$

Logaritamski dekrement prigušenja prema [7]:

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

Vjetar puše u X smjeru:

$$\delta = 0,10 + 0,00 = 0,10$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$\delta = 0,10 + 0,00 = 0,10$$

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

$$\delta_s = 0,10$$

Logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja, prema [7]:

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

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 većim stupovima pridržanim za djelovanje poprečne sile $\zeta = 1,0$.

Budući da je masa građevine izrazito velika, logaritamski dekrement aerodinamičkog prigušenja teži u nulu, u X i Y smjeru.

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

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

Vjetar puše u X smjeru:

$$k_p = \sqrt{2 \times \ln(0,097 \times 600)} + \frac{0,60}{\sqrt{2 \times \ln(0,097 \times 600)}} = 3,06$$

Vjetar puše u Y smjeru:

$$k_p = 3,06$$

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:

$$v = 0,130 \times \sqrt{\frac{0,618}{0,499 + 0,618}} = 0,097 \text{ Hz} > 0,08 \text{ Hz}$$

Vjetar puše u Y smjeru:

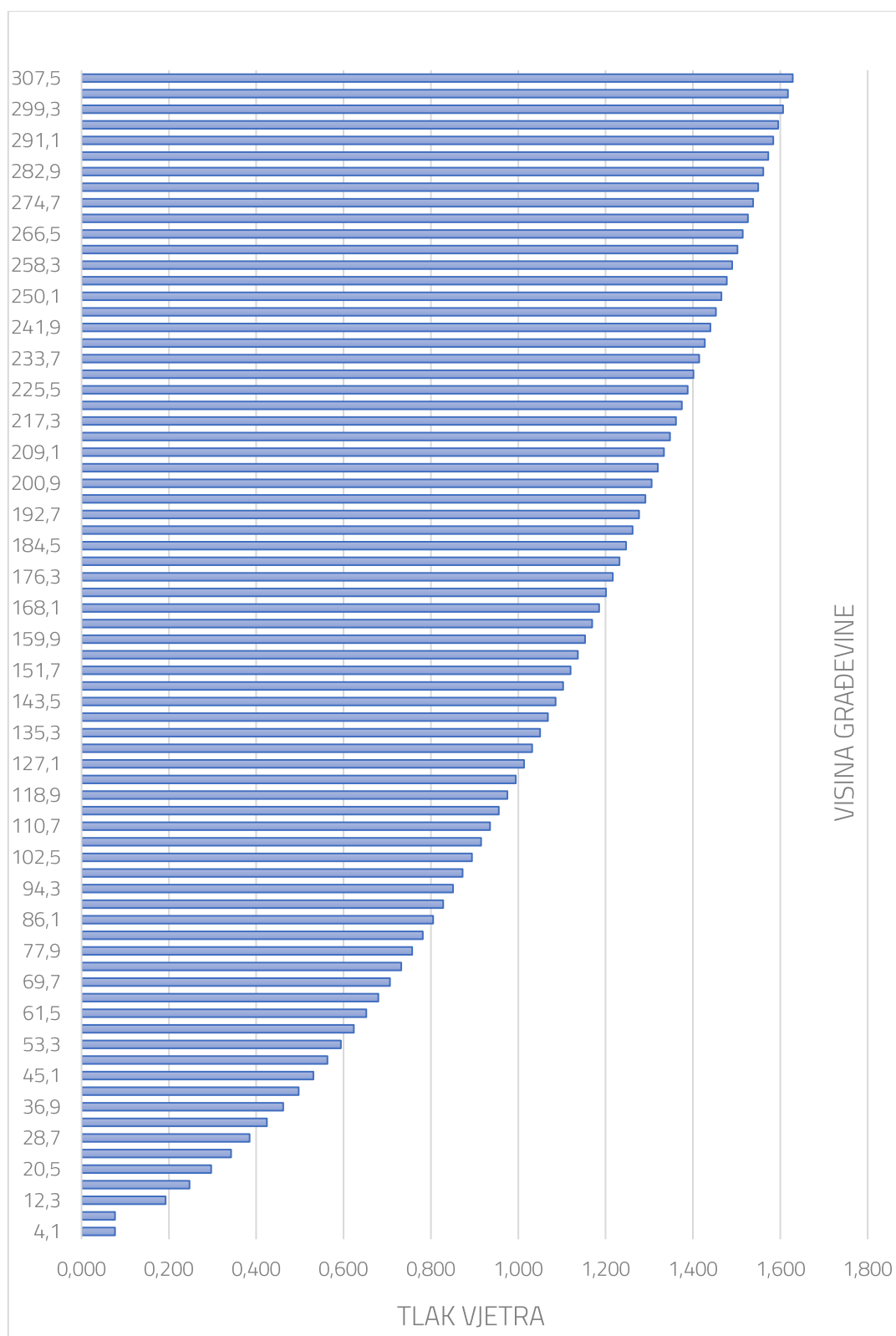
$$v = 0,097 \text{ Hz} > 0,08 \text{ Hz}$$

Faktor konstrukcije za slučaj kada vjetar puše u X smjeru:

$$c_s \times c_d = \frac{1 + 2 \times 3,06 \times 0,135 \times \sqrt{0,499 + 0,618}}{1 + 7 \times 0,135} = 0,963$$

Faktor konstrukcije za slučaj kada vjetar puše u Y smjeru:

$$c_s \times c_d = 0,963$$

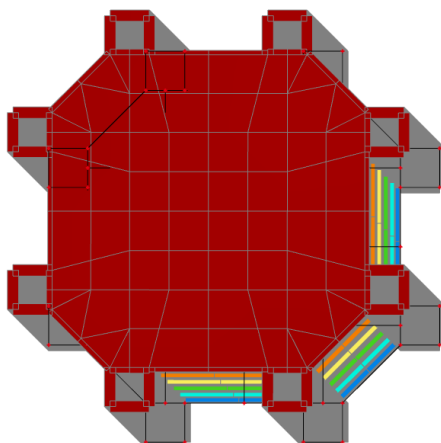


Slika 11.: Prikaz promjene tlaka vjetra u ovisnosti o visini građevine

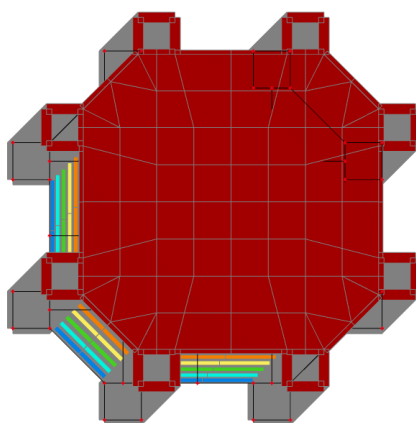
Zadavanje vjetra u programu SCIA Engineer [2]

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° i 90° (u X smjeru prvi mod, u Y smjeru drugi mod).

Prva dva modalna oblika su iduća:



Slika 12.: Prvi modalni oblik



Slika 13.: Drugi modalni oblik

Add Wind Load Cases

	Direction	+ CPE, + CPI	+ CPE, - CPI	- CPE, + CPI	- CPE, - CPI	+ CPI	- CPI
1	0	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,00	0,00
2	90	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	0,00	0,00

Calculation method: Standard

Additional load cases for duopitch roofs

Direction of ridge/trough of roofs: Both (X and Y)

Include torsional load case

OK Cancel

Slika 14.: Prikaz zadavanja parametara u programu SCIA Engineer

Wind pressure

Name: WP1

	Height[m]	Pressure[kN/m^2]
1	0,000	0,00
2	4,100	0,08
3	8,200	0,08
4	12,300	0,19
5	16,400	0,25
6	20,500	0,30
7	24,600	0,34
8	28,700	0,39
9	32,800	0,42
10	36,900	0,46
11	41,000	0,50
12	45,100	0,53
13	49,200	0,56
14	53,300	0,59
15	57,400	0,62

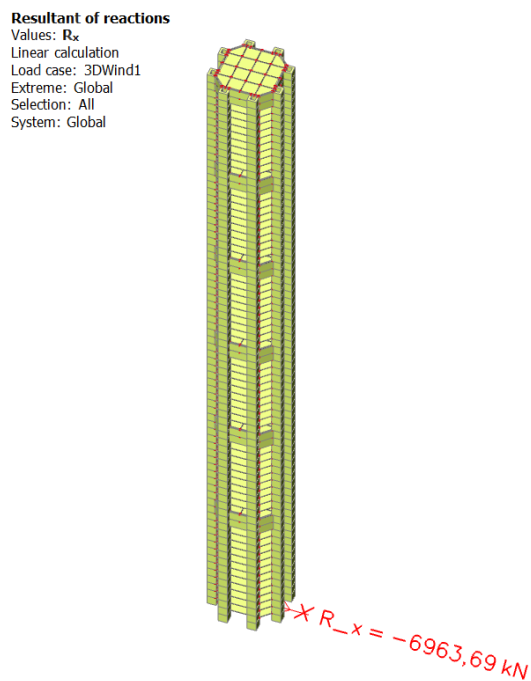
Curve type: user

Height range: 0,000 20,000 Step: 1,000 m

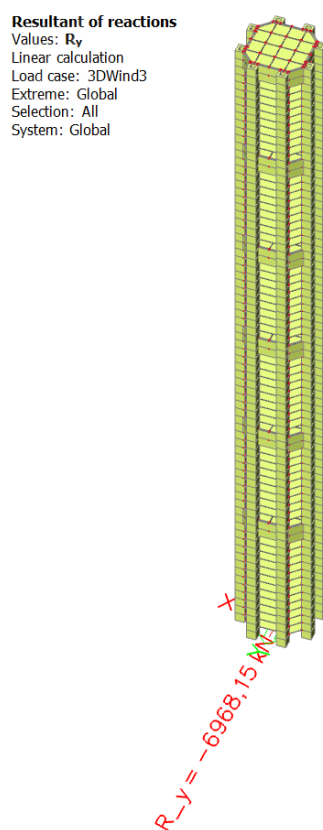
OK Cancel

Slika 15.: 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.



Slika 16.: Prikaz reakcijske sile od vjetra u X smjeru u podnožju građevine



Slika 17.: Prikaz reakcijske sile od vjetra u Y smjeru u podnožju građevine

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 θ_i . Prema [9], za osnovnu vrijednost θ_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:

θ_0 osnovna vrijednost

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

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

l duljina ili visina

m broj vertikalnih elemenata koji doprinose ukupnom učinku.

Pošto je zgrada nepromjenjiva po visini, broj vertikalnih elemenata koji doprinose ukupnom učinku se ne mijenja, pa je horizontalna sila uslijed imperfekcije proračunata samo za jedinstveni slučaj koji vrijedi za cijelu visinu.

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. ovoga rada, prema normi [10].

Faktor smanjenja (α_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 1-75

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{307,5}} = 0,114 < \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_h = 0,667$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \times \left(1 + \frac{1}{923}\right)} = 0,707$$

$$\theta_i = \frac{1}{200} \times 0,667 \times 0,707 = 0,00236$$

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

$$\alpha_n = 0,70 + \frac{0,60}{75} = 0,71$$

- 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:

$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^B = 3 \times 0,71 \times 0,70 = 1,49 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – stubišta i podesti:

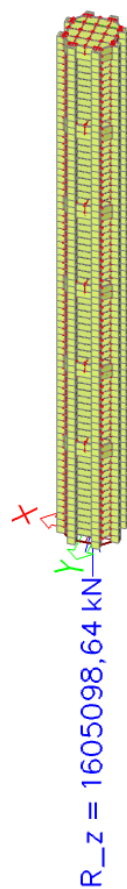
$$3 \times \alpha_n \times \psi_{0,Q}^S = 3 \times 1,0 \times 0,70 = 2,10 \text{ kN/m}^2$$

Redukcija uporabnog opterećenja – snijeg:

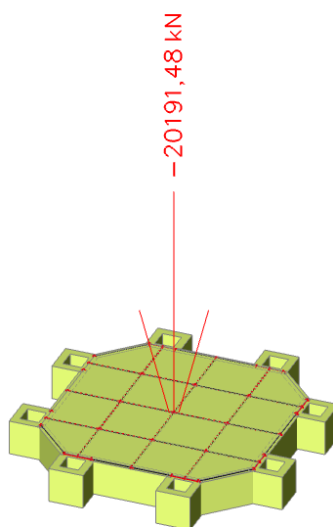
$$1,0 \times \psi_S = 1,0 \times 0,50 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

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

Resultant of reactions
Values: R_z
Linear calculation
Combination: Imperfekcija 1
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Slika 18.: Prikaz rezultante reakcija u donjem dijelu građevine (1-74)



Slika 19.: Prikaz rezultante reakcija na krovu građevine (75)

Slika 19.: Prikaz rezultante reakcija na krovu građevine (75)

$$V_{z,Ed}^{1-74} = \frac{1605098,64 \text{ kN}}{74} = 21690,53 \text{ kN}$$

$$V_{z,Ed}^{\text{krov}} = 20191,48 \text{ kN}$$

Proračun horizontalnih sila uslijed imperfekcije:

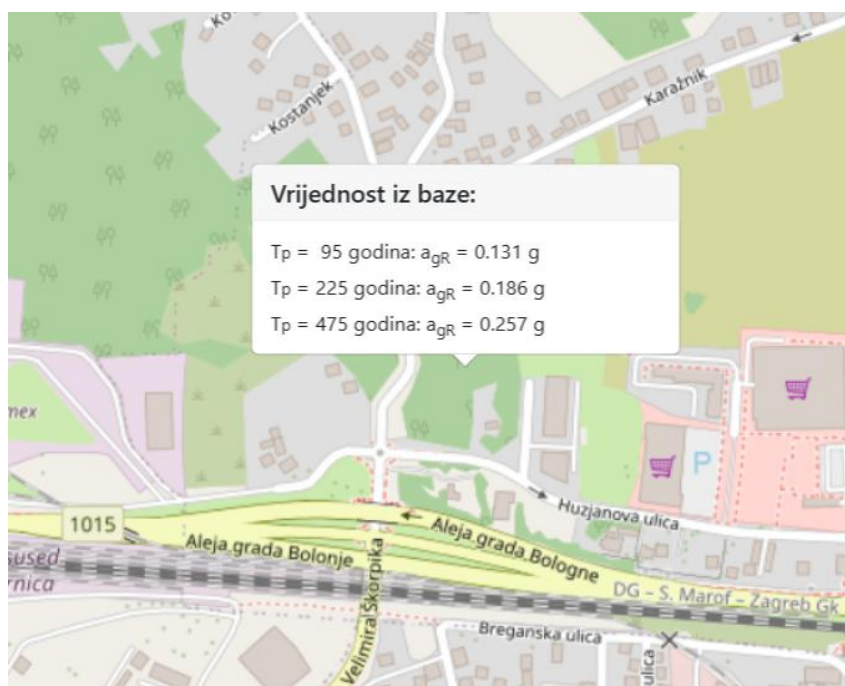
$$\Delta H_{1-74} = V_{z,Ed}^{1-74} \times \theta_i = 21690,53 \times 0,00236 = 51,19 \text{ kN}$$

$$\Delta H_{\text{krov}} = V_{z,Ed}^{\text{krov}} \times \theta_i = 20191,48 \times 0,00236 = 47,65 \text{ kN}$$

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 20.: 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 8: 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 9: 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 10.: 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
- η faktor korekcije prigušenja uz poredbenu vrijednost $\eta = 1,0$ za 5%-tno viskozno prigušenje
- q faktor ponašanja
- β 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 11.: 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 α_u / α_1	4,5 α_u / α_1
Sustav nepovezanih zidova	3,0	4,0 α_u / α_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:

- α_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.
- α_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

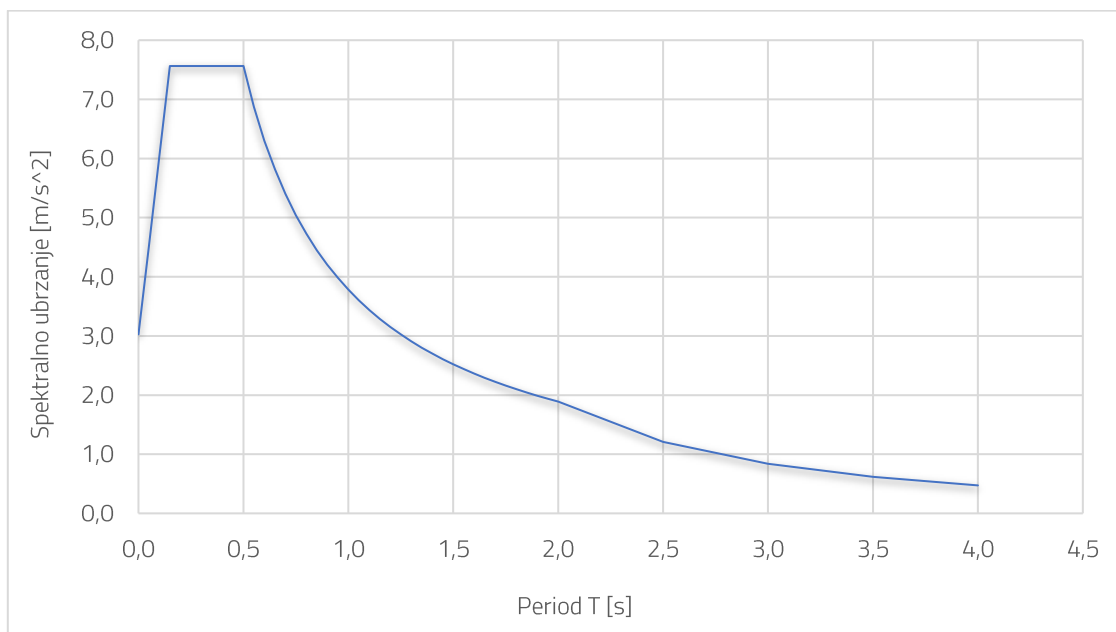
Prema normi [12], za okvirne sustave ili dvojne sustave istovrijedni okvirnim vrijednost $\frac{\alpha_u}{\alpha_1} = 1,30$. Iz toga slijedi osnovna vrijednost faktora ponašanja za razred duktilnosti DCM:

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

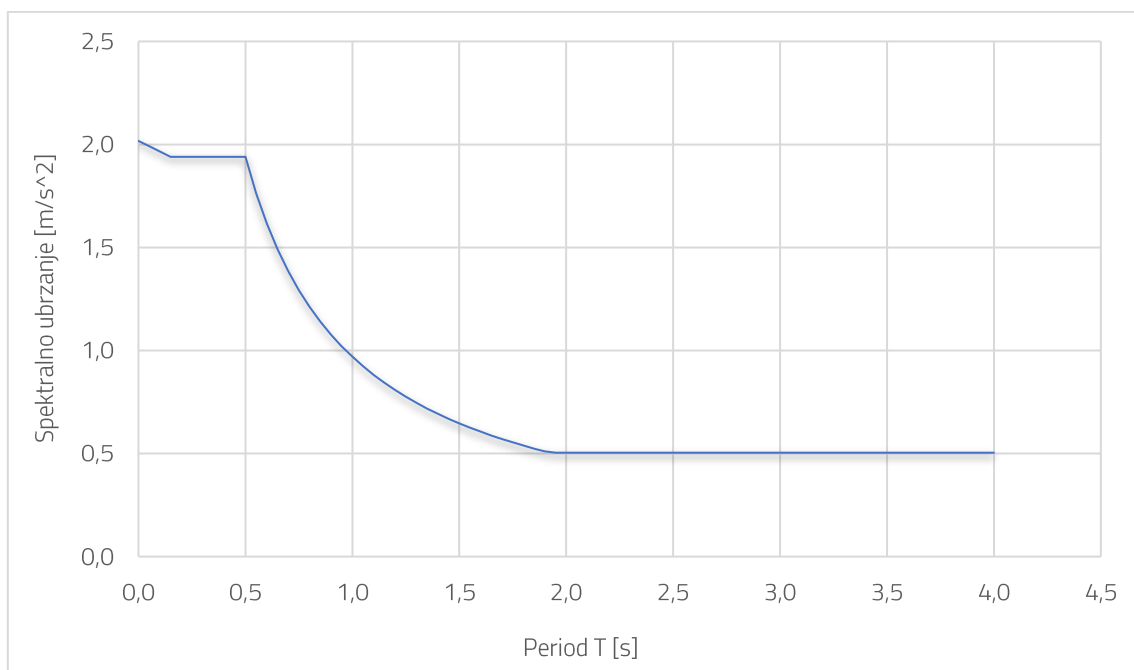
Faktor prevladavajućeg oblika sloma: $k_w = 1,0$:

Faktor ponašanja:

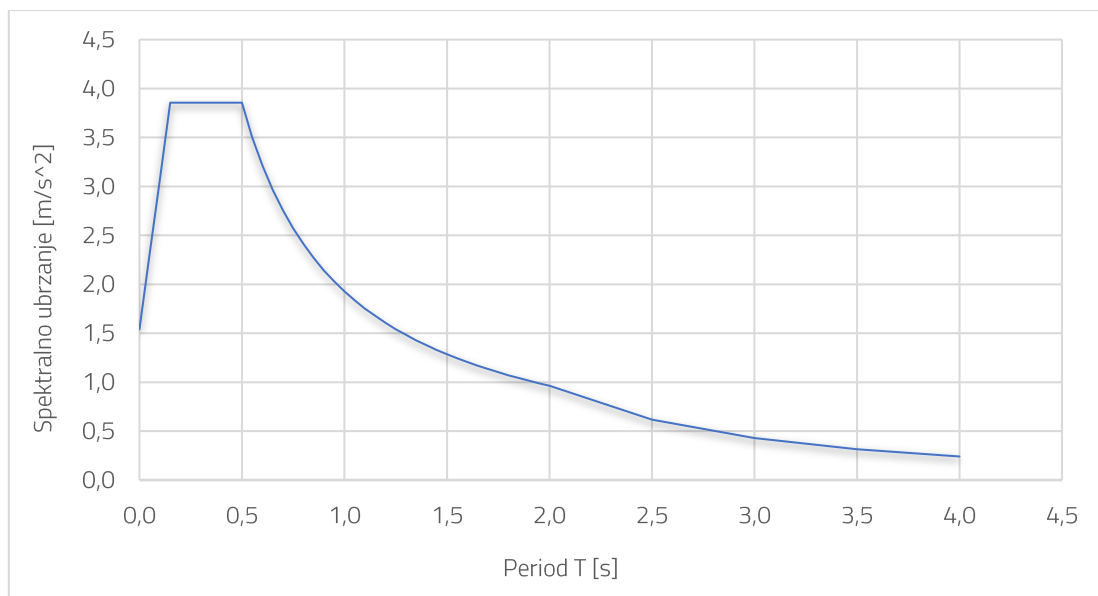
$$q = q_0 \cdot k_w = 3,90 \cdot 1,0 = 3,90$$



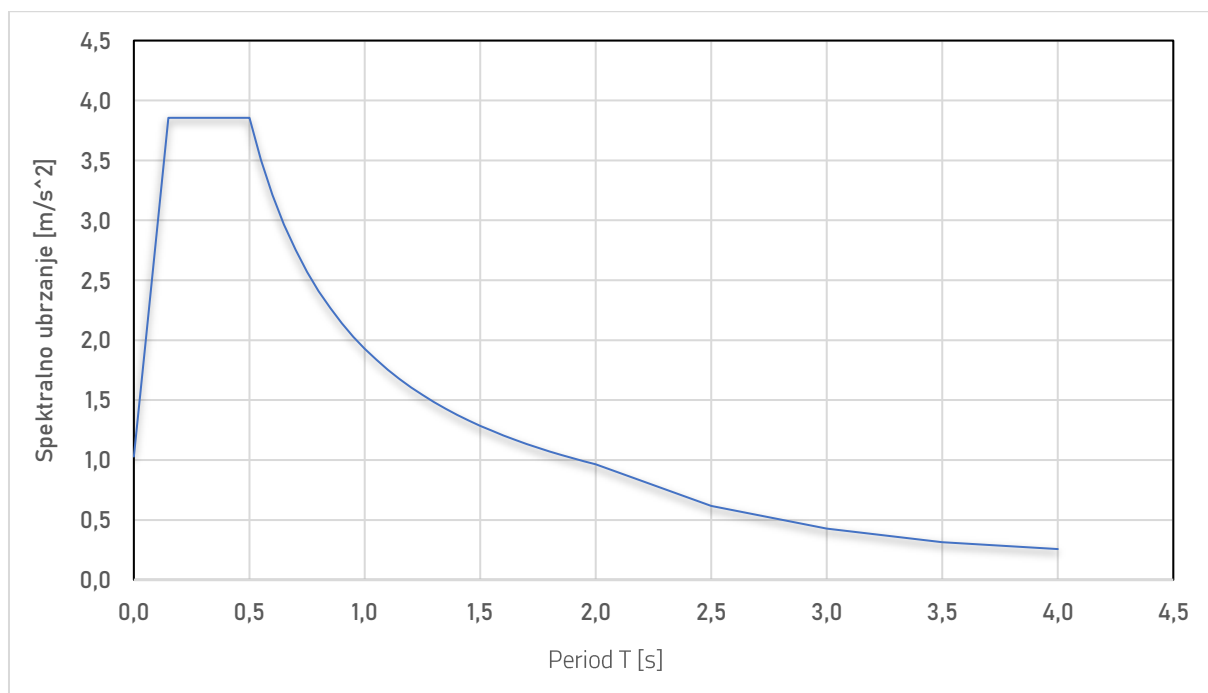
Slika 21.: Elastični spektar odziva (povratni period 475 godina)



Slika 22.: Proračunski spektar odziva (povratni period 475 godina)



Slika 23.: Elastični spektar odziva (povratni period 95 godina)



Slika 24.: 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 12.: Preporučene vrijednosti koeficijenta ψ za zgrade (Izvor: [10])

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

Kombinacije djelovanja za GSN su iduće, [10]:

Kombinacija za stalne ili prolazne proračunske situacije:

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

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:

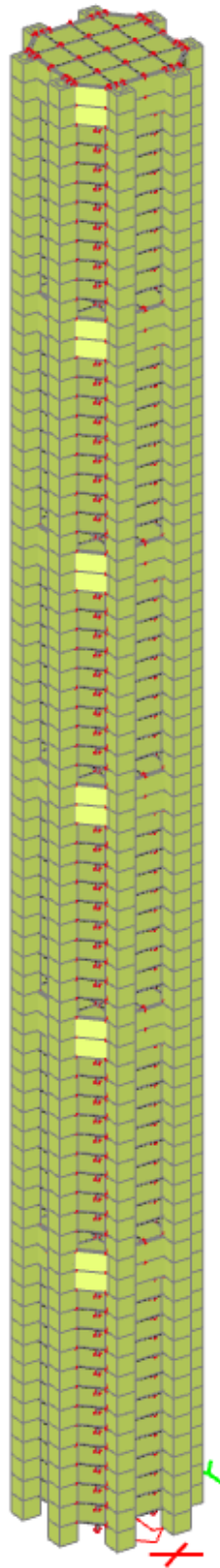
- $\gamma_{G,j}$ parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno djelovanje „j“
- γ_P parcijalni koeficijent sigurnosti za djelovanja prednapinjanja
- $\gamma_{Q,1}$ parcijalni koeficijent sigurnosti za vodeće promjenjivo djelovanje „1“
- $\gamma_{Q,i}$ parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjivo djelovanje „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

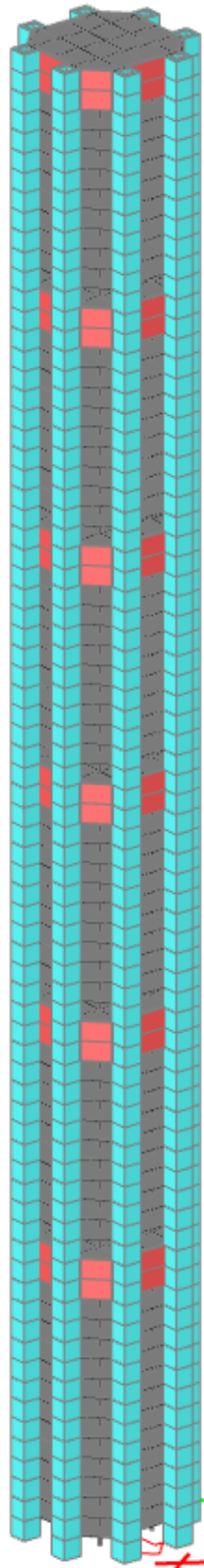
Računalni model je izrađen u programu Scia Engineer [2]. Računalni model je visoka zgrada koja ima tlocrt u obliku osmerokuta. Nosivi sustav je mega okvir koji se sastoji od osam mega stupova, dimenzija poprečnog presjeka 400x400 cm, debljine stijenke od 90 cm, zatim pojasnih zidova debljine 80 cm (100 cm) u visini od dvije etaže u šest zona po visini, te poprečnih zidova debljine 25 cm (50 cm i 120 cm) u visini od jedne etaže u šest zona po visini. Za prijenos vertikalnih opterećenja postavljeno je devet stupova dimenzija poprečnog presjeka 50x50 cm, te ploča debljine 20 cm. Unutar tlocrta presjeka se nalaze dizala i stubište kao vertikalna komunikacija.

Svi nosivi elementi su modelirani s klasom betona C100/115, osim ploče koja je klase C50/60. Moduli elastičnosti betona su smanjeni na 50% početne vrijednosti, jer se na taj način obuhvaća mogući gubitak krutosti radi raspucavanja betona. Ploča je modelirana kao kruta dijafragma, odnosno sa znatno povećanim modulom elastičnosti.

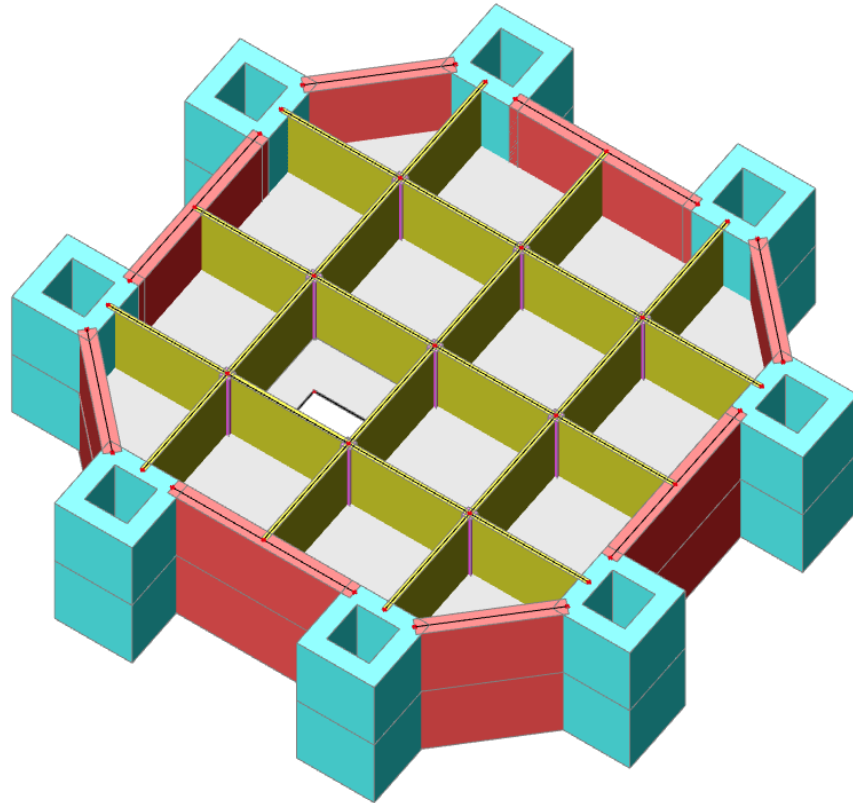


Slika 25.: Računalni model konstrukcije u programu Scia Engineer

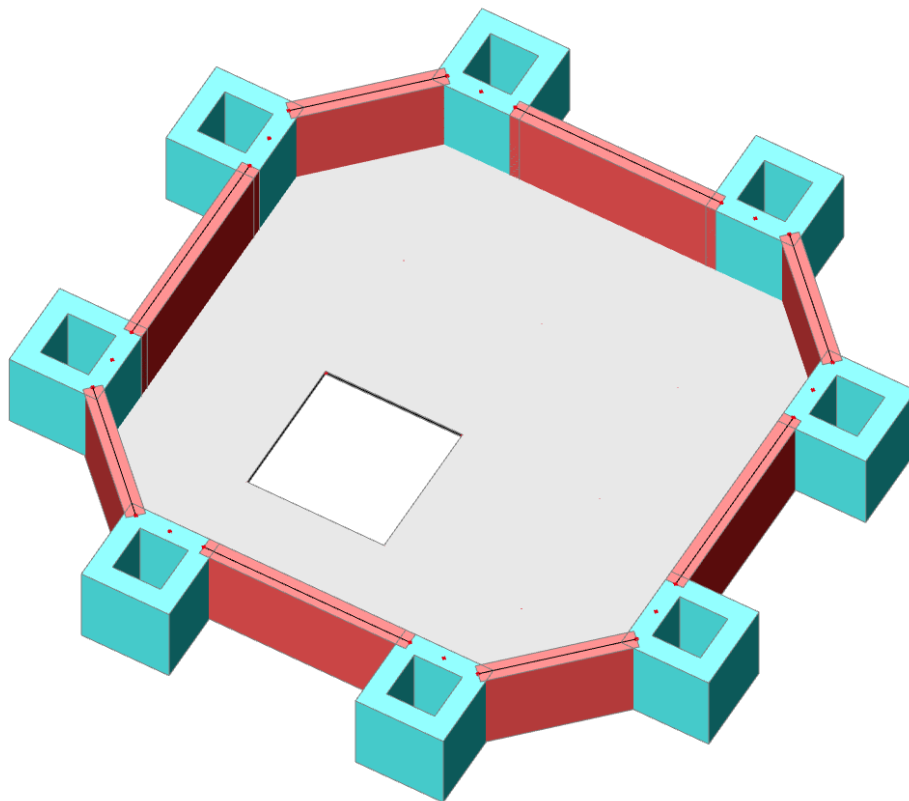
3.5.2.2. Elementi računalnog modela konstrukcije



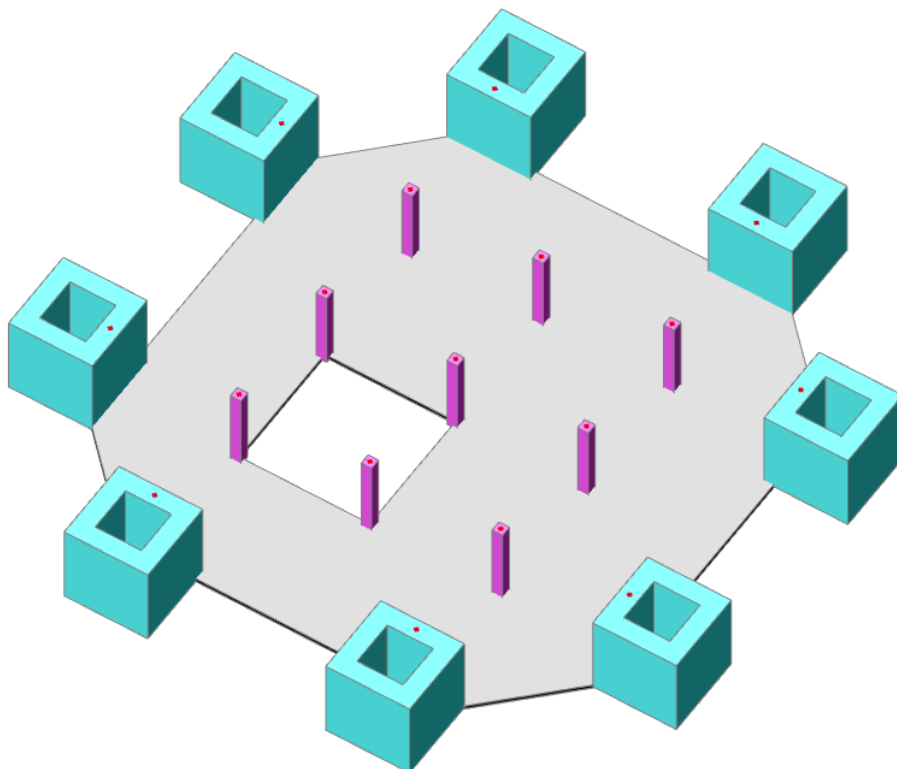
Slika 26.: 3D prikaz cijele konstrukcije



Slika 27.: Prikaz karakteristične etaže na mjestima pojasnih obodnih i poprečnih zidova



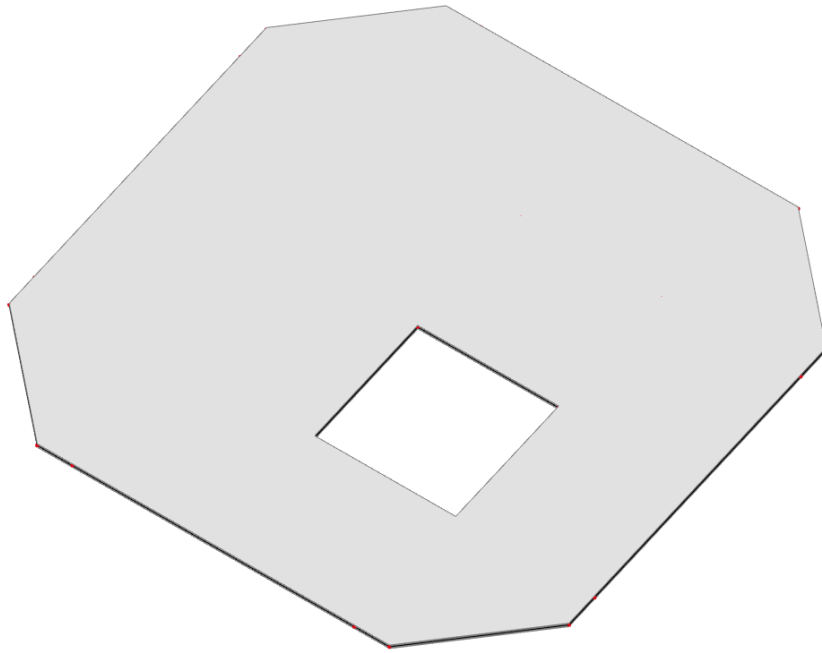
Slika 28.: Prikaz karakteristične etaže na mjestima samo pojasnih obodnih zidova



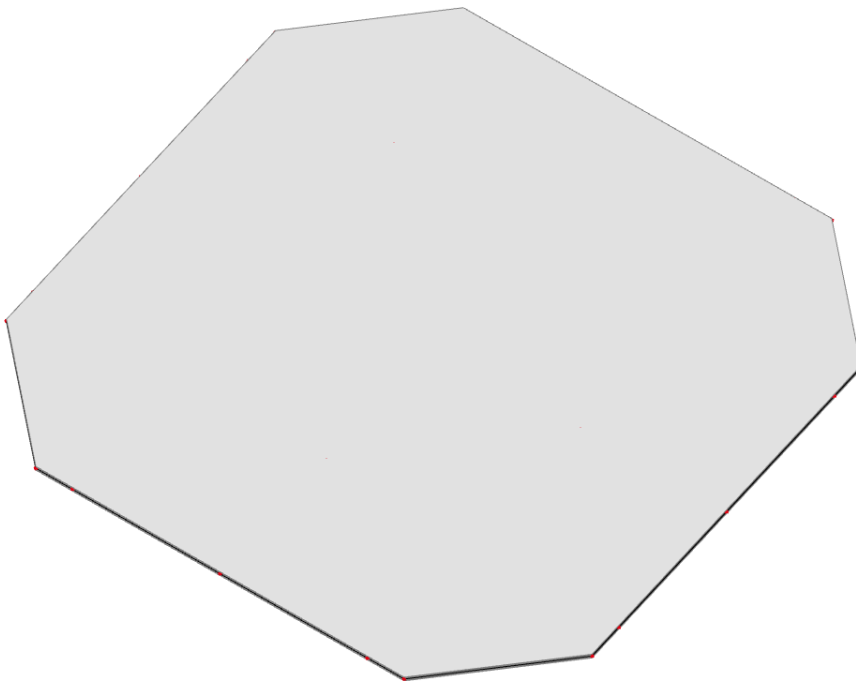
Slika 29.: Prikaz karakteristične etaže na mjestima bez pojasnih obodnih i poprečnih zidova

Ploča

Ploča je oktagoalnog oblika konstantne debljine po visini od 20 cm, izrađena od betona klase C50/60. Oslonjena je točkasto na male stupove, linijski na vezne grede po slobodnim rubovima, te linijski na poprečne i pojasne zidove. Ploče su definirane naredbom „Plate“ te na mjestima dizala i stubišta ima otvore.



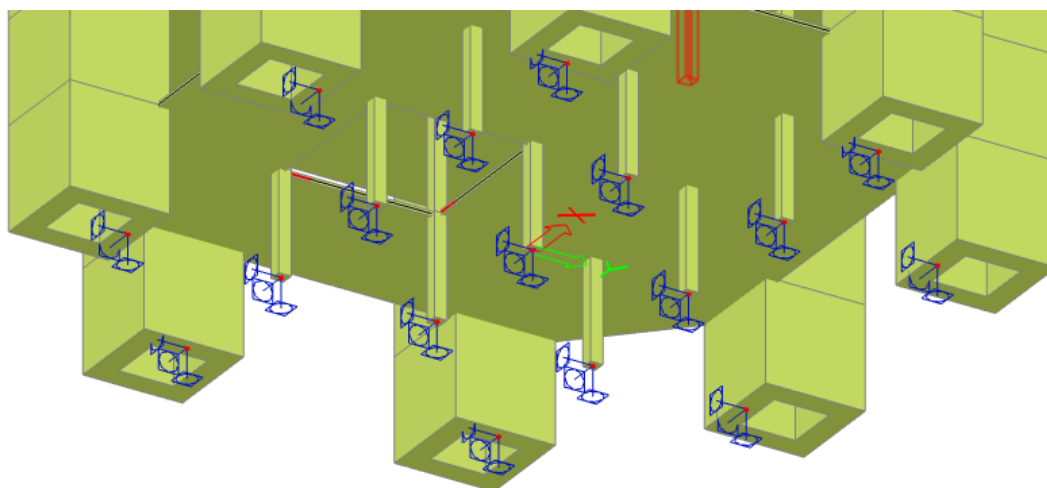
Slika 30.: Prikaz ploče građevine (ploče etaža 1-74)



Slika 31.: Prikaz krovne ploče građevine (ploče etaže 75)

Ležajevi

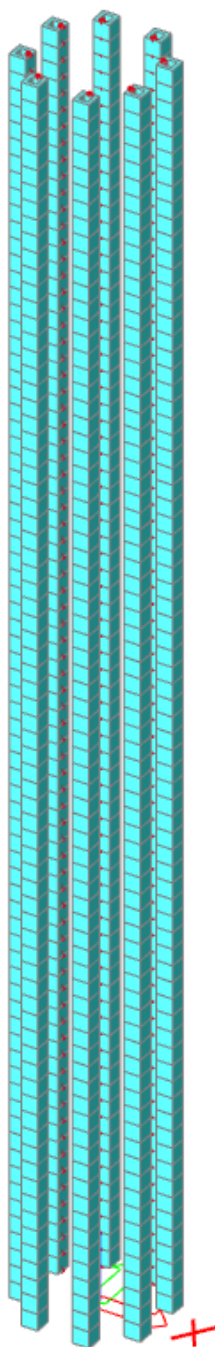
Na mjestima unutrašnjih malih stupova zadani su ležajevi naredbom „Column – Support in node“, a svi su upeti u temelje. Ploča je oslonjena na konstruktivne vezne grede koje se vežu na velike stupove mega okvira. Grede se nalaze na vanjskim rubovima ploče, te na rubovima otvora za vertikalnu komunikaciju. Na mjestima oslanjanja na gredu, zadani su linijski ležajevi naredbom „Fixed – Line support on 2D member edge“, što simulira upetu povezanost grede i ploče.



Slika 32.: Prikaz ležajeva na razini prizemlja građevine

Stupovi mega okvira

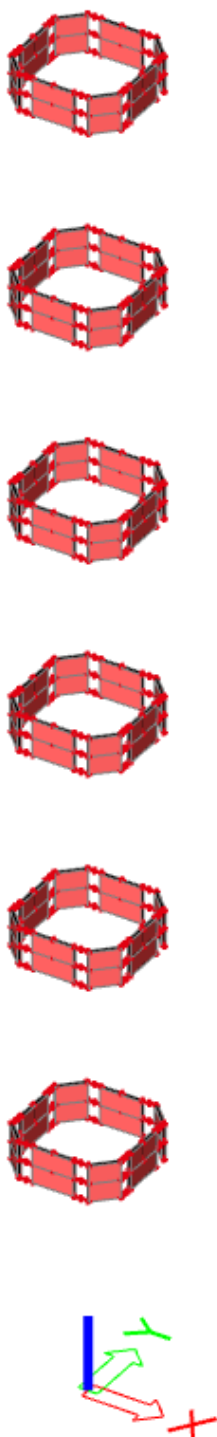
Stupovi se nalaze na vrhovima oktagona, te ih ima osam. Šupljeg su poprečnog presjeka, dimenzija su 400/400/90 cm, konstantni po visini, te su izrađeni od betona klase C 100/115. Modelirani su kao štapni elementi naredbom „Column“, a upeti su u temelje. Stupovi su jedni od glavnih dijelova za preuzimanje i prijenos horizontalnih i vertikalnih opterećenja.



Slika 33.: Prikaz velikih stupova mega okvira građevine

Pojasni obodni zidovi

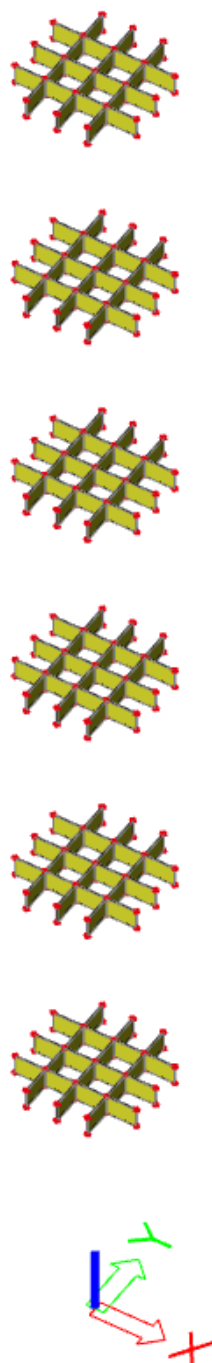
Pojasni obodni zidovi raspoređeni su u šest zona po visini građevine, u visini od dvije etaže. Debljine su 80 cm (100 cm), izrađeni od betona klase C 100/115. Također, jedni su od glavnih elemenata za preuzimanje i prijenos horizontalnih opterećenja, kao i pridonosenju krutosti građevine. Modelirani su kao zidovi naredbom „Wall“.



Slika 34.: Prikaz pojasnih zidova građevine

Poprečni zidovi

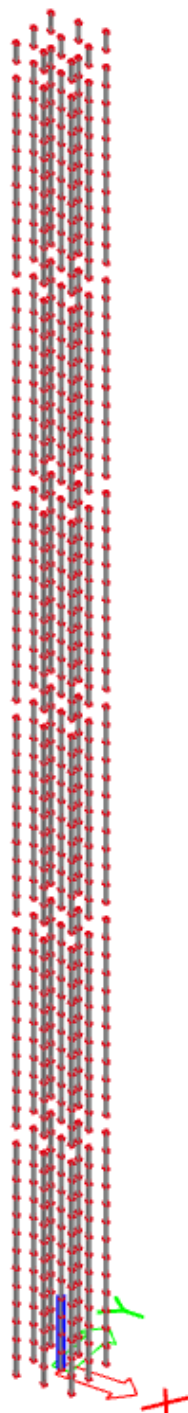
Poprečni zidovi raspoređeni su u šest zona po visini građevine, u visini od jedne etaže. Debljine su 25 cm (50 cm i 120 cm), izrađeni od betona klase C100/115. Uloga poprečnih zidova je prijenos vertikalnih i horizontalnih opterećenja sa ploče i unutrašnjih stupova na mega okvir, tj. velike stupove, kao i doprinos krutosti. Modelirani su kao zidovi naredbom „Wall“.



Slika 35.: Prikaz poprečnih zidova građevine

Unutrašnji mali stupovi

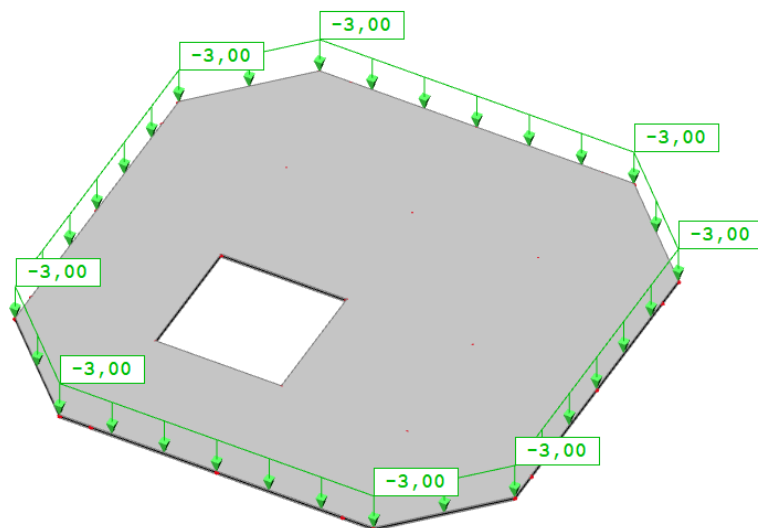
Unutrašnji mali stupovi su modelirani kao stupovi koji prenose uzdužnu silu, poprečnu silu i moment. Stupovi su zadani naredbom „Column“, a poprečni presjek 50/50 cm im se ne mijenja po visini. Prekid stupova u visini jedne etaže, po visini, događa se ispod svake etaže sa poprečnim zidovima, a sve kako bi poprečni zidovi prenijeli opterećenje na mega okvir.



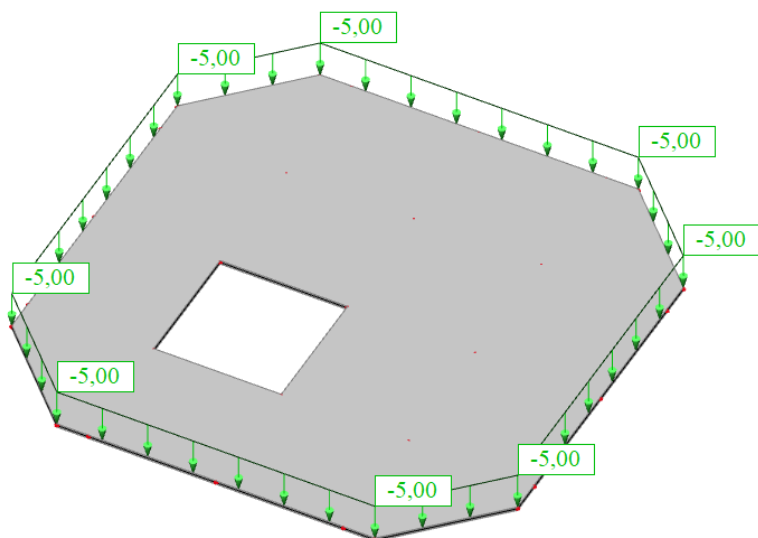
Slika 36.: Prikaz unutrašnjih stupova građevine

3.5.2.3. Statički i dinamički proračun konstrukcije

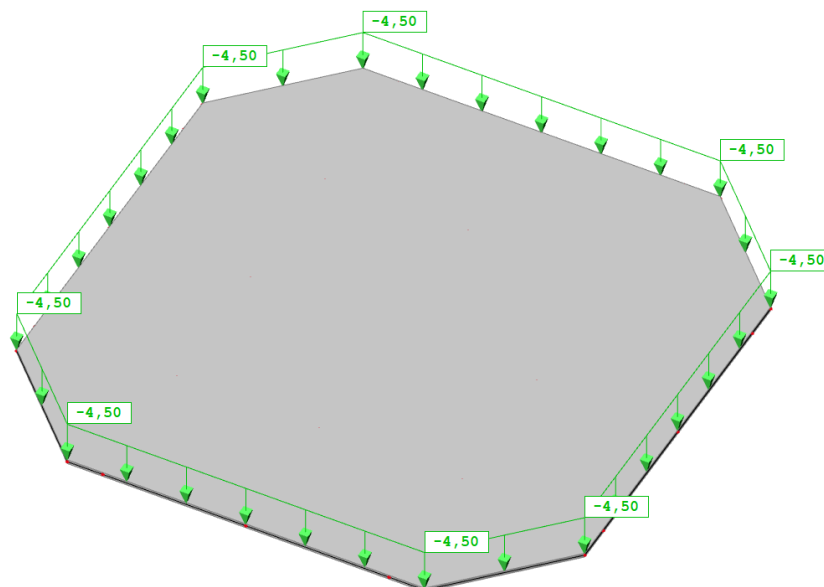
Vlastita težina generirana je u programu SCIA Engineer [2]. Osim vlastite težine, od vertikalnih djelovanja imamo dodatno stalno, uporabno i opterećenje snijegom.



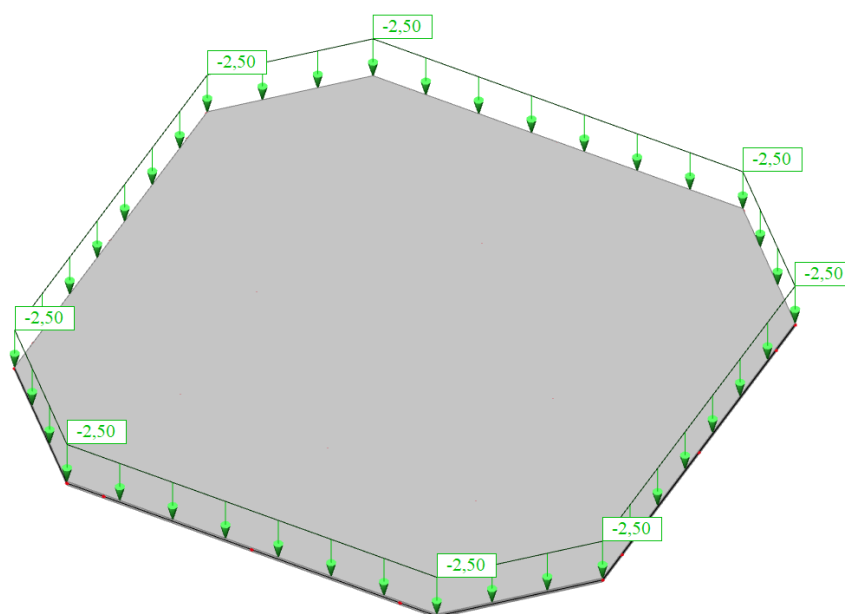
Slika 37.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja karakteristične etaže građevine



Slika 38.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade karakteristične etaže građevine

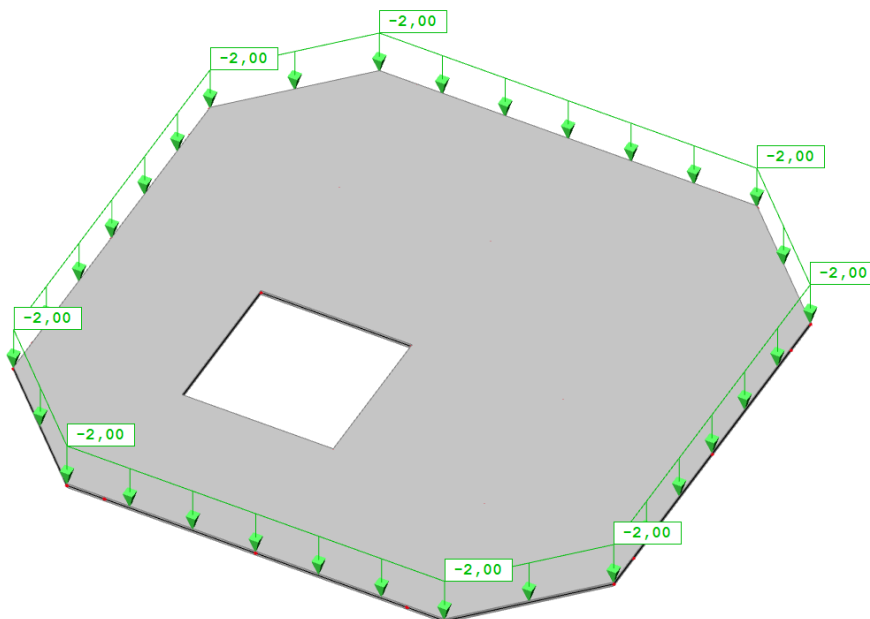


Slika 39.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja na krovu građevine

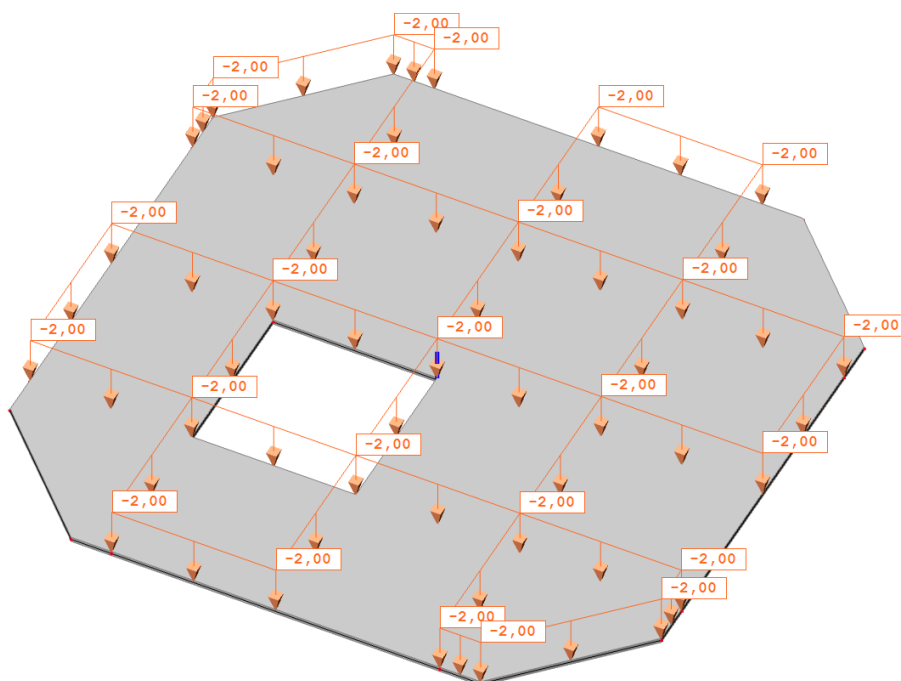


Slika 40.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade na krovu građevine

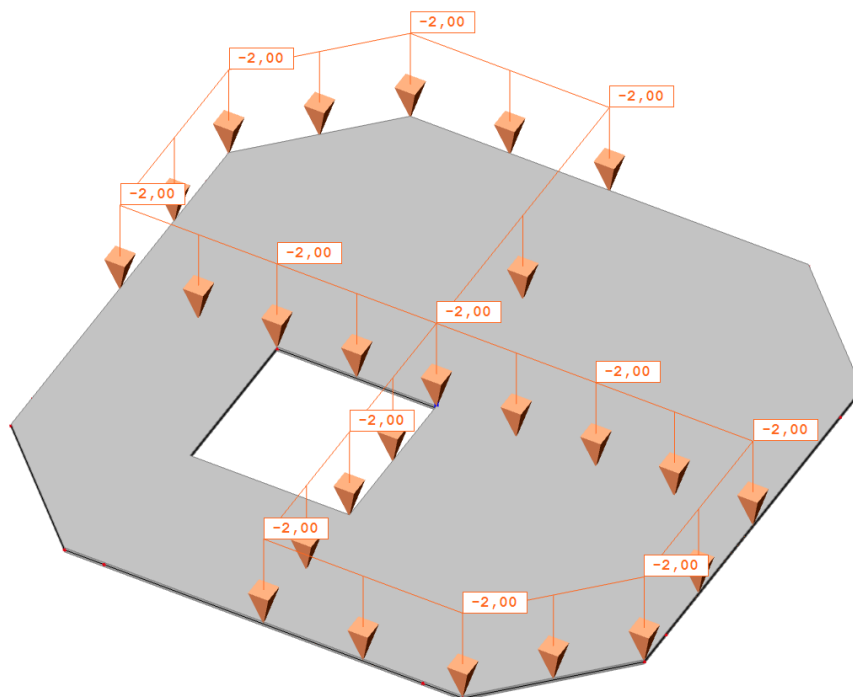
Ploča je opterećena uporabnim koje je raspoređeno šahovskom raspodjelom, odnosno s ciljem da se postigne maksimalan moment savijanja u polju, kao i varijanta sa opterećenim susjednim poljima u i cilju postizanja maksimalnog momenta savijanja nad ležajem. U nastavku su prikazane kombinacije šahovske preraspodjele koje su dale najveće rezultate reznih sila.



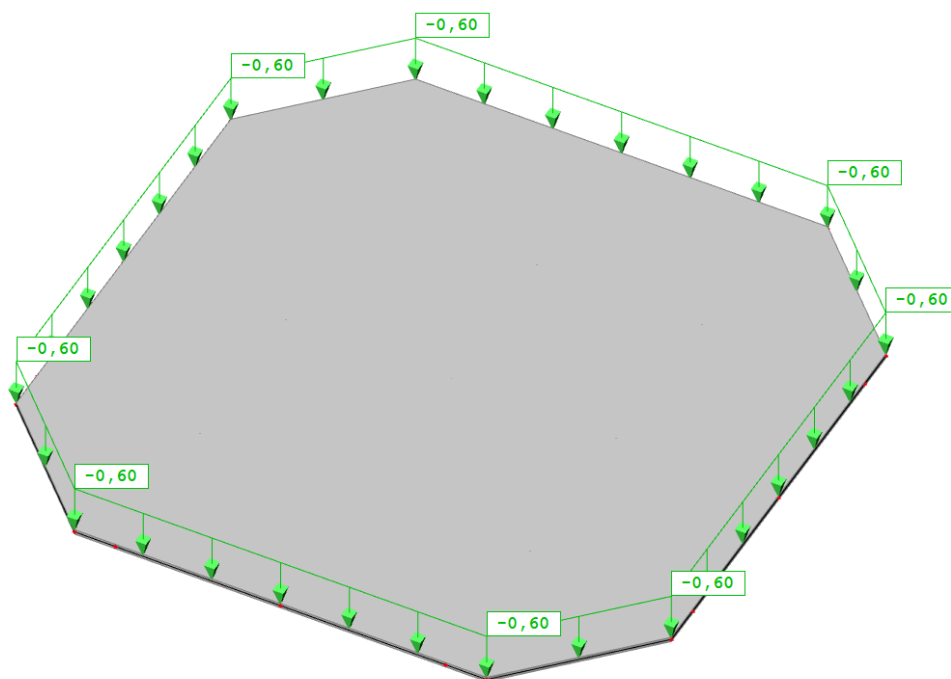
Slika 41.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže preko cijele ploče



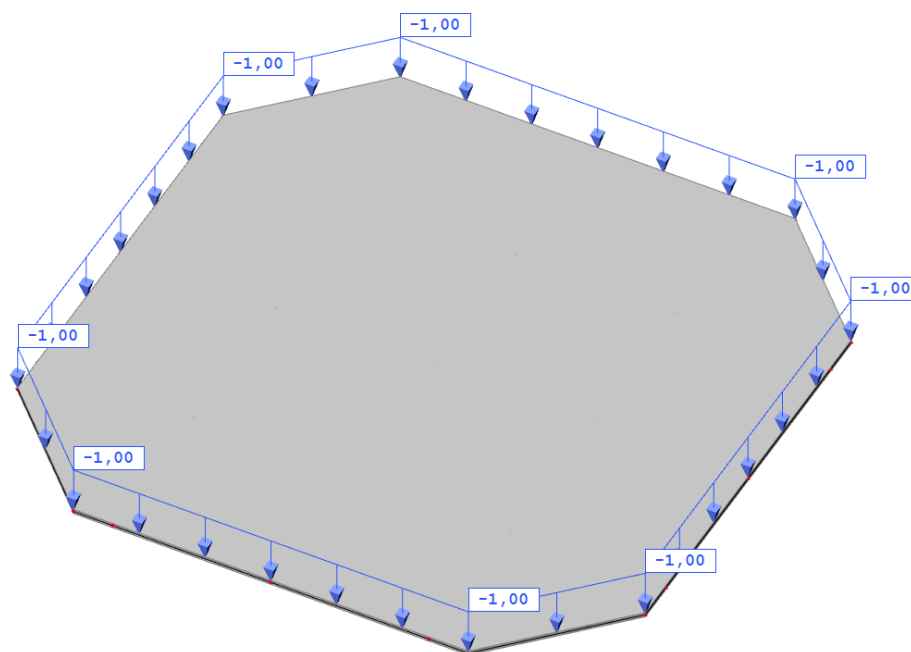
Slika 42.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže – polje



Slika 43.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže - oslonac



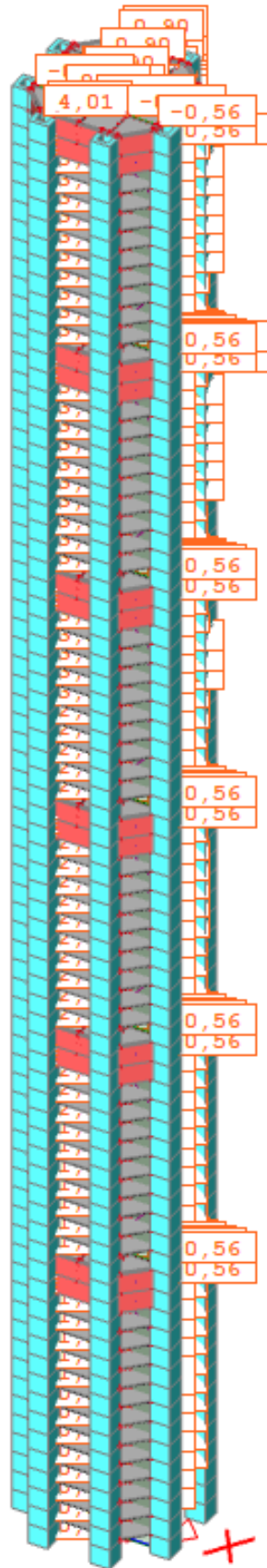
Slika 44.: Prikaz uporabnog opterećenja na krovu građevine



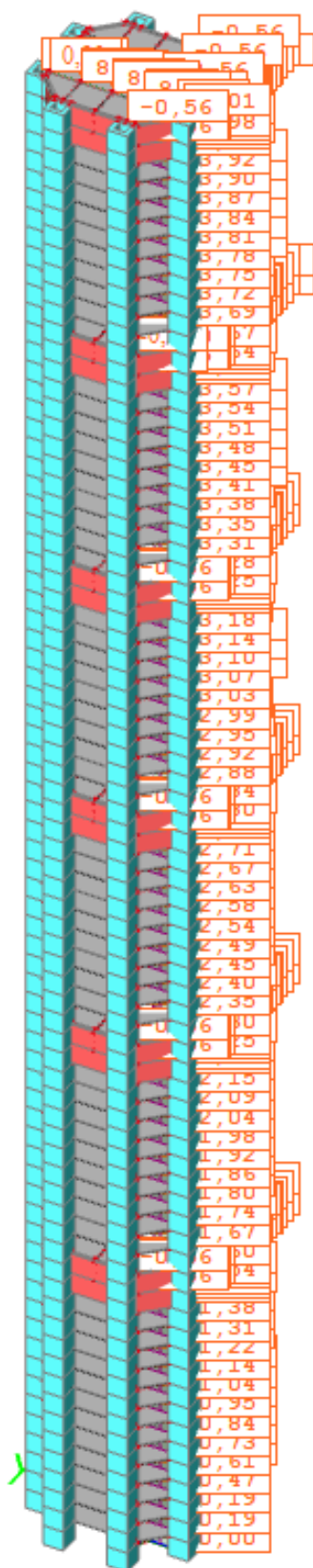
Slika 45.: Prikaz opterećenja snijega na krovu građevine

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..

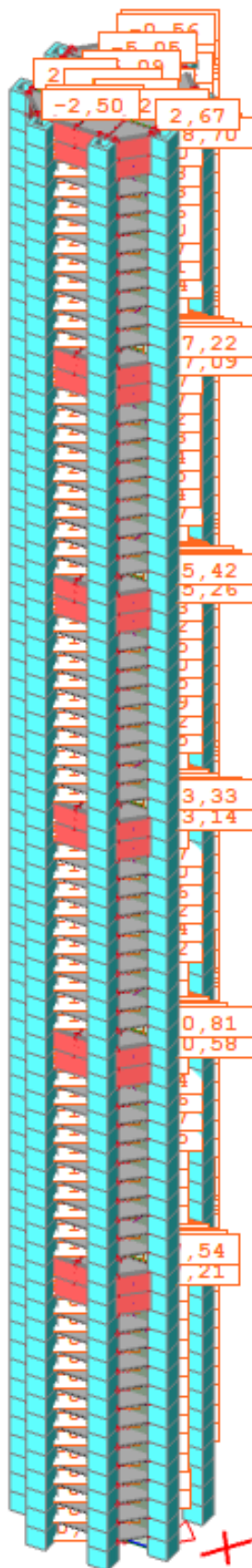
Od horizontalnih djelovanja tu su: opterećenje vjetrom, imperfekcija i seizmičko opterećenje, Djelovanje vjetra je plošno preko panela, a način modeliranja opterećenja vjetrom je opisano u poglavlju 3.5.1.4. Vjetar je zadan pomoću 3D wind generatora koji daje četiri mjerodavne kombinacije, ovisno o koeficijentima vanjskog i unutarnjeg tlaka. Obzirom da je zgrada vitka, prema normama i propisima, tablične vrijednosti unutrašnjeg i vanjskog tlaka ne vrijede. Koeficijent unutrašnjeg tlaka uzet je s vrijednošću nula, dok je koeficijent vanjskog tlaka uzet u obzir preko računalnog programa. Rezultat toga je da su dobivene četiri mjerodavne kombinacije zapravo dvije mjerodavne kombinacije, odnosno kombinacije gdje je koeficijent vanjskog tlaka u jednom slučaju pozitivan i u drugom negativan, a koeficijent unutrašnjeg tlaka je zanemaren. Nakon proračunatog modela, opterećenja su automatski raspoređena po stupovima i zidovima 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%.



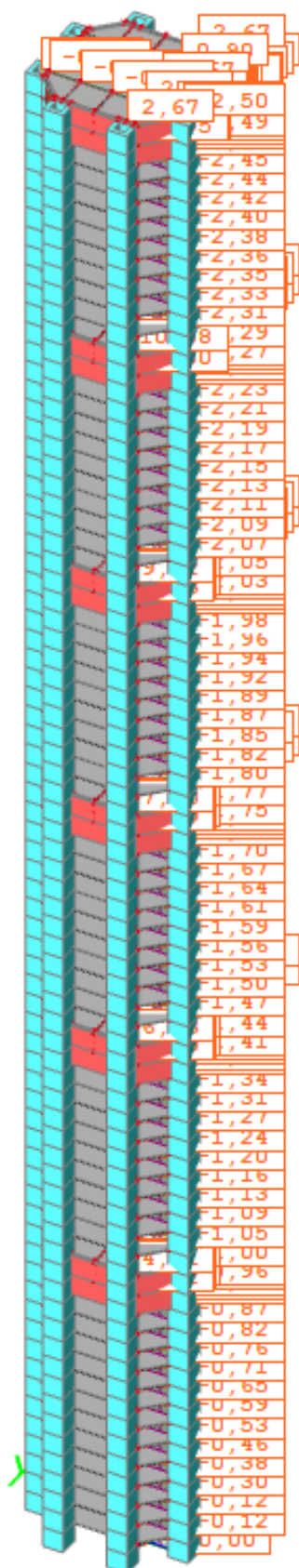
Slika 46.: Prikaz prvog slučaja opterećenja vjetrom



Slika 47.: Prikaz drugog slučaja opterećenja vjetrom

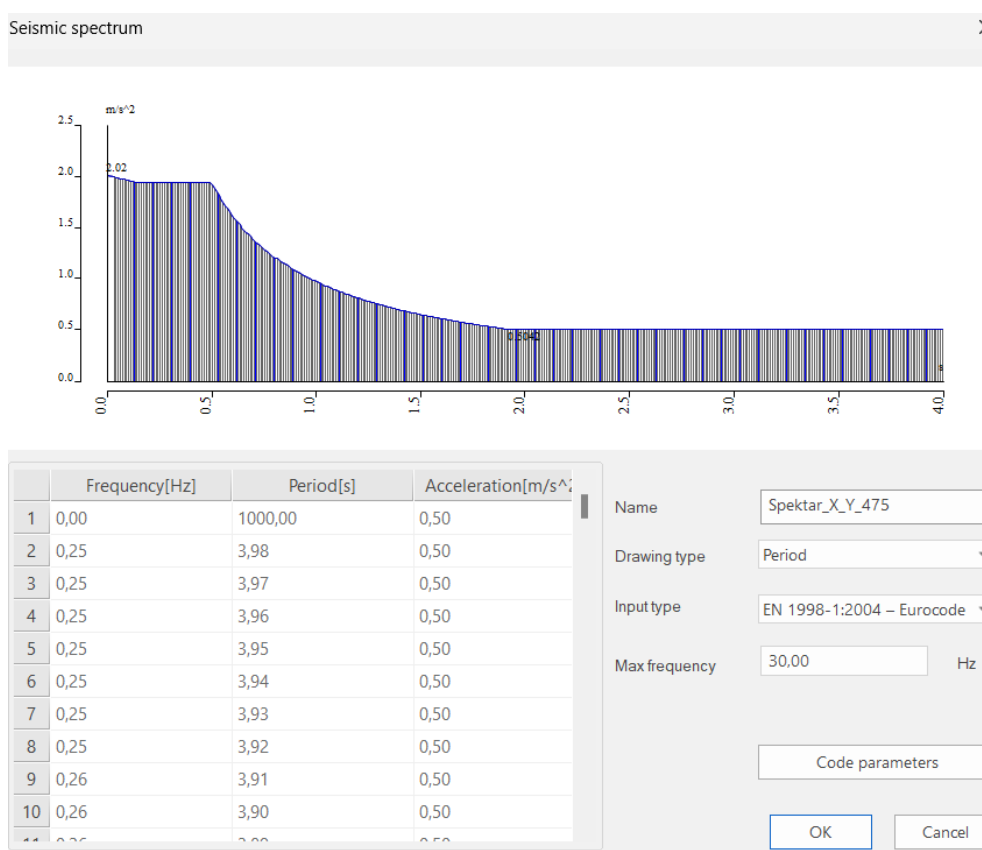


Slika 48.: Prikaz trećeg slučaja opterećenja vjetrom



Slika 49.: Prikaz četvrtog slučaja opterećenja vjetrom

Seizmičko djelovanje za 475 godina (x i y smjer)

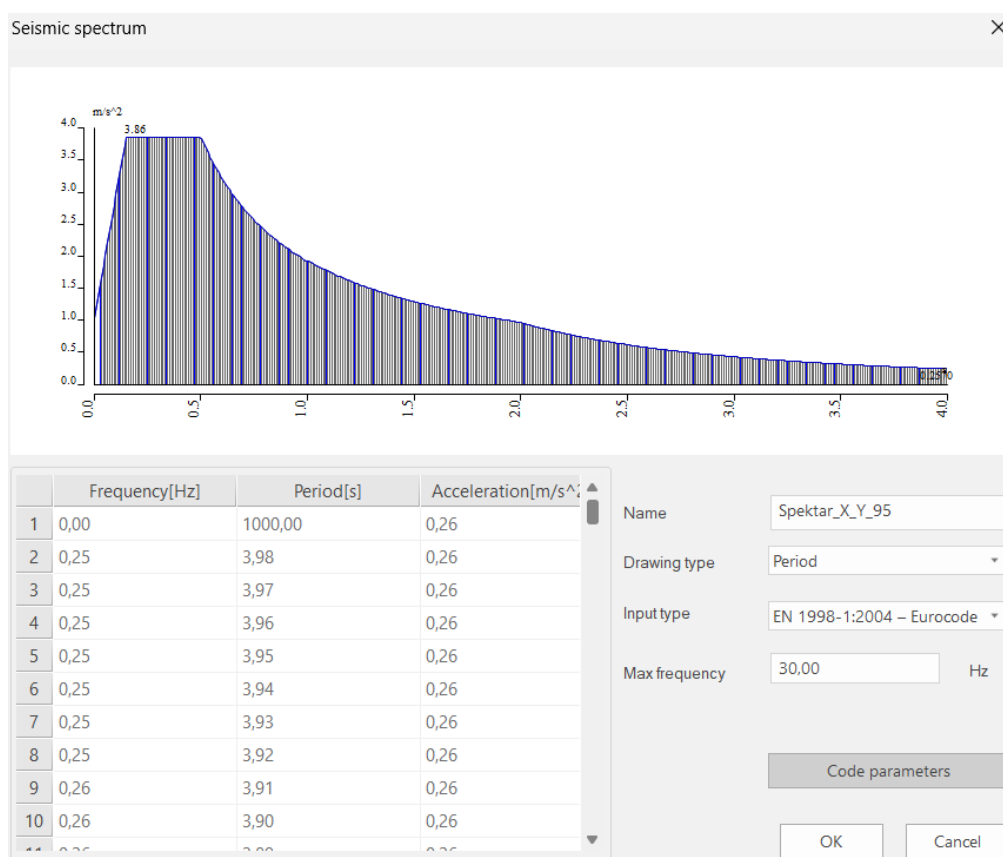


Slika 50.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (475 god.) u programu Scia Engineer

coeff accel. ag	0,257
ag - design acceleration [m/...	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

Slika 51.: Zadavanje parametara seizmičkog opterećenja (475 god.)

Seizmičko djelovanje za 95 godina (x i y smjer)



Slika 52.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (95 god.) u programu Scia Engineer

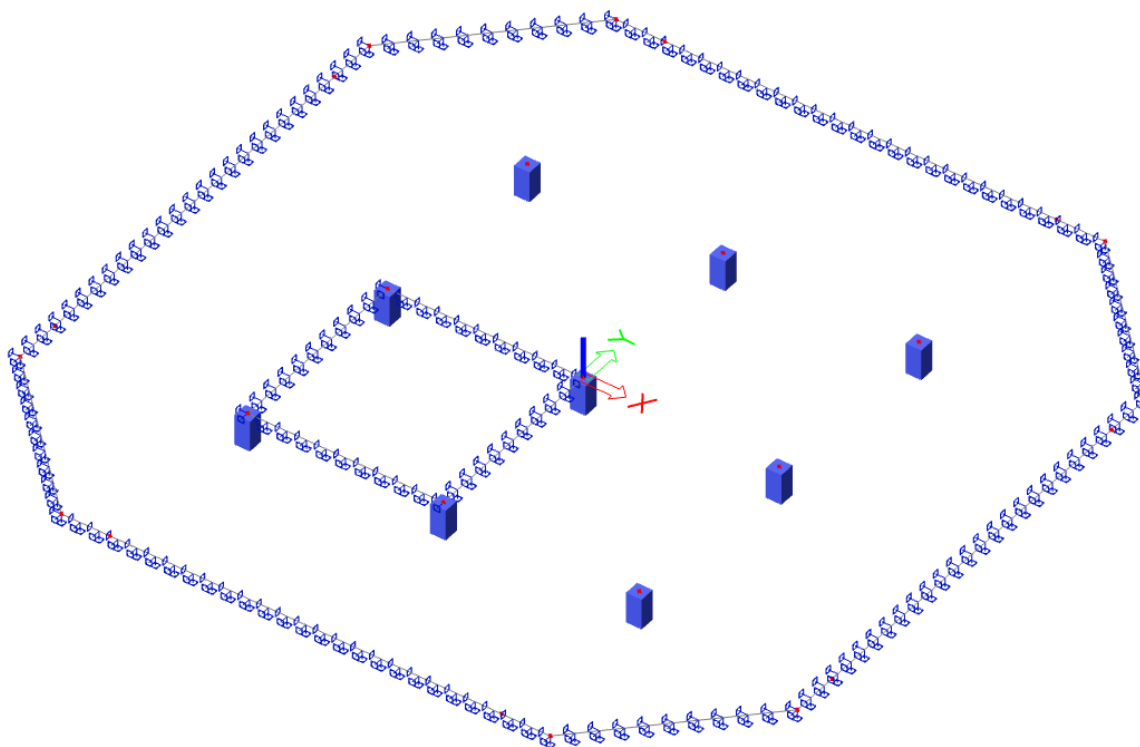
coeff accel. ag	0,131
ag - design acceleration [m/...	1,285
q - behaviour factor	1,000
beta	0,200
S, Tb, Tc, Td manually?	No
Subsoil type	B
Spectrum type	type 1
Direction	Horizontal
Direction factor	1
S - soil factor	1,200
Tb	0,150
Tc	0,500
Td	2,000

OK Cancel

Slika 53.: 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 zgrade, gdje je ploča oslonjena na unutrašnje male stupove dimenzija poprečnog presjeka 50/50 cm, te vanjske velike stupove šupljeg poprečnog presjeka, dimenzija 400/400/90 cm preko veznih greda. Razred betona ploče je uzet C50/60, 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 54.: 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:

$$k \geq 3 \times \sqrt{n} = 3 \times \sqrt{75} = 25,98$$

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

gdje je:

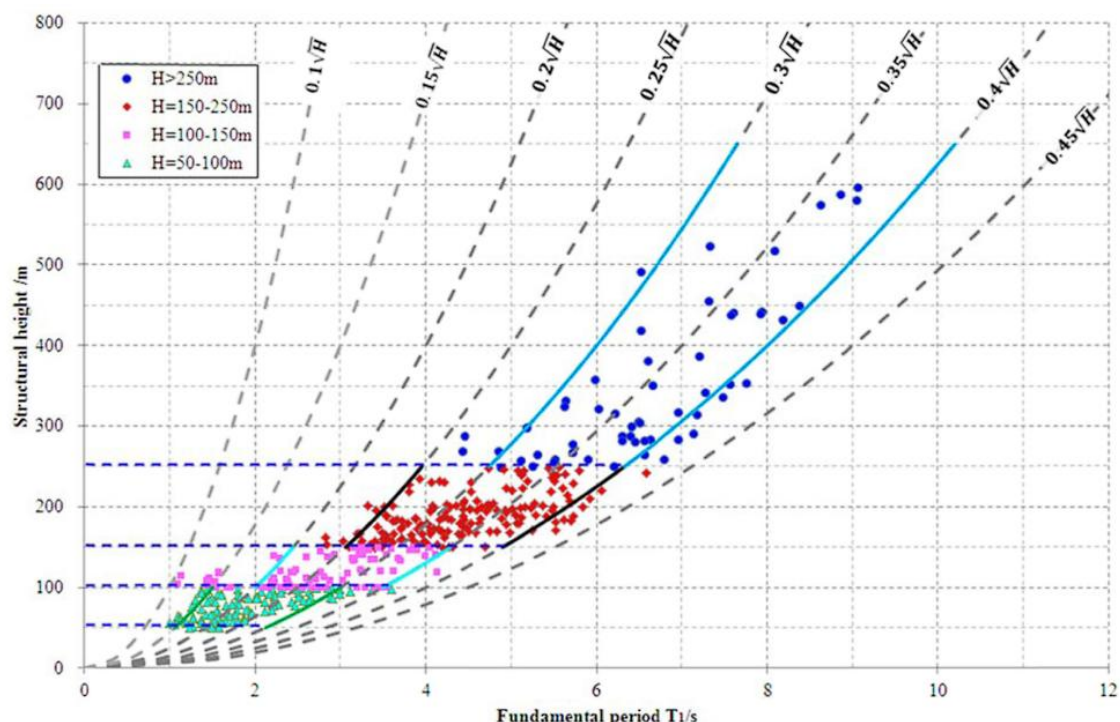
- k broj promatranih vlastitih oblika titranja
- n broj katova iznad temelja
- T_k period vibracija k-tog oblika, tj. period posljednjeg razmotrenog oblika.

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

$$T_1 = a \times \sqrt{H} = 0,3 \times \sqrt{307,5} \sim 0,4 \times \sqrt{307,5} = 5,26 \text{ s} \sim 7,01 \text{ s}$$

Tablica 13.: 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 55.: Odnos temeljnog perioda i visine zgrade (prema istraživanjima zgrada u Kini)
(Izvor: [15])

Period konstrukcije dobiven modalnom analizom u programu Scia Engineer jednak je $T_1 = 8,05$ s i sličan je približnoj vrijednosti perioda prema kineskim istraživanjima [15].

Rezultati modalne analize za prvih 26 oblika titranja:

Tablica 14.: Aktivirane mase i periodi iz programa Scia Engineer

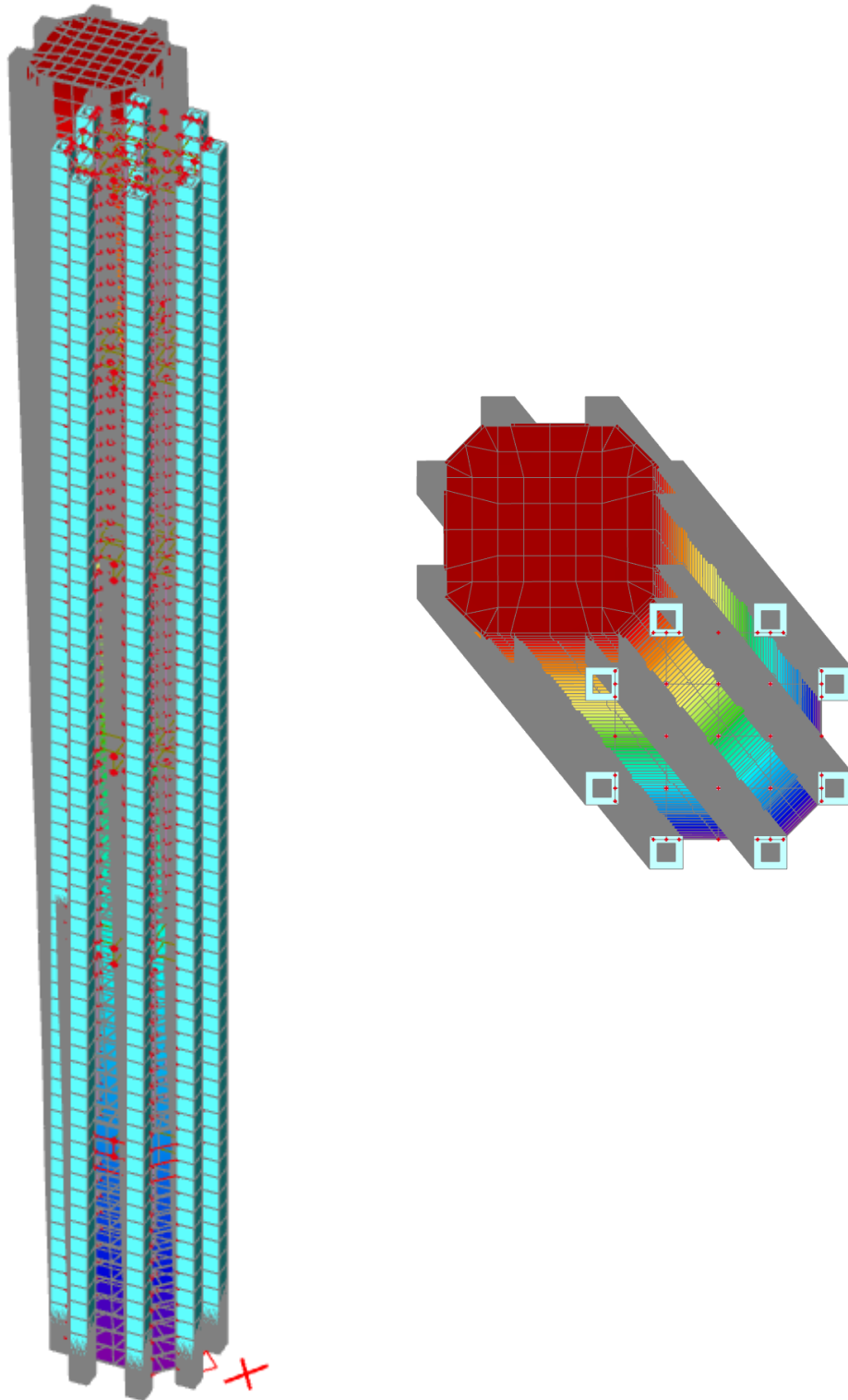
Mode	mega [rad/s]	Period [s]	Freq. [Hz]	W_{xi}/W_{xtot}	W_{yi}/W_{ytot}	W_{zi}/W_{ztot}	N_{xi_R}/W_{xtot_F}	N_{yi_R}/W_{ytot_F}	W_{zi_R}/W_{ztot_R}
1	0.780357	8,05	0,12	0,2882	0,4334	0,0000	0,1665	0,1108	0,0000
2	0.781607	8,04	0,12	0,4325	0,2876	0,0000	0,1113	0,1674	0,0000
3	1.71167	3,67	0,27	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,8398
4	2.72203	2,31	0,43	0,0519	0,1328	0,0000	0,3221	0,1262	0,0000
5	2.741	2,29	0,44	0,1337	0,0522	0,0000	0,1252	0,3211	0,0000
6	5.19471	1,21	0,83	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0778
7	5.6578	1,11	0,90	0,0075	0,0225	0,0000	0,0602	0,0200	0,0000
8	5.70007	1,10	0,91	0,0227	0,0076	0,0000	0,0203	0,0607	0,0000
9	8.52634	0,74	1,36	0,0024	0,0071	0,0000	0,0246	0,0083	0,0000
10	8.59121	0,73	1,37	0,0071	0,0025	0,0000	0,0084	0,0246	0,0000
11	8.796	0,71	1,40	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0216
12	11.3875	0,55	1,81	0,0009	0,0025	0,0000	0,0075	0,0028	0,0000
13	11.4701	0,55	1,83	0,0025	0,0010	0,0000	0,0028	0,0075	0,0000
14	12.4585	0,50	1,98	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0084
15	12.8807	0,49	2,05	0,0000	0,0000	0,8194	0,0000	0,0000	0,0000
16	13.5997	0,46	2,16	0,0003	0,0006	0,0000	0,0021	0,0009	0,0000
17	13.6936	0,46	2,18	0,0006	0,0003	0,0000	0,0009	0,0021	0,0000
18	15.9725	0,39	2,54	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0036
19	18.7238	0,34	2,98	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0009
20	25.0491	0,25	3,99	0,0031	0,0151	0,0000	0,0502	0,0105	0,0001
21	25.1929	0,25	4,01	0,0154	0,0035	0,0000	0,0113	0,0508	0,0000
22	26.3131	0,24	4,19	0,0013	0,0023	0,0000	0,0042	0,0024	0,0001
23	26.621	0,24	4,24	0,0021	0,0008	0,0000	0,0013	0,0035	0,0000
24	27.6136	0,23	4,39	0,0000	0,0001	0,0000	0,0003	0,0000	0,0207
25	32.3606	0,19	5,15	0,0001	0,0007	0,0000	0,0020	0,0002	0,0000
26	32.5342	0,19	5,18	0,0007	0,0001	0,0000	0,0002	0,0020	0,0000
				0,9728	0,9727	0,8194	0,9214	0,9216	0,9731

Iz tablice je vidljivo da je period posljednjeg razmotrenog oblika titranja $T_k = 0,17 \text{ s} \leq 0,20 \text{ s}$, čime je zadovoljen navedeni uvjet.

Za proračunatih 26 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 97,28 % mase, u Y smjeru 97,27 % mase, a u trećem tonu dominira torzija s 97,31% mase.

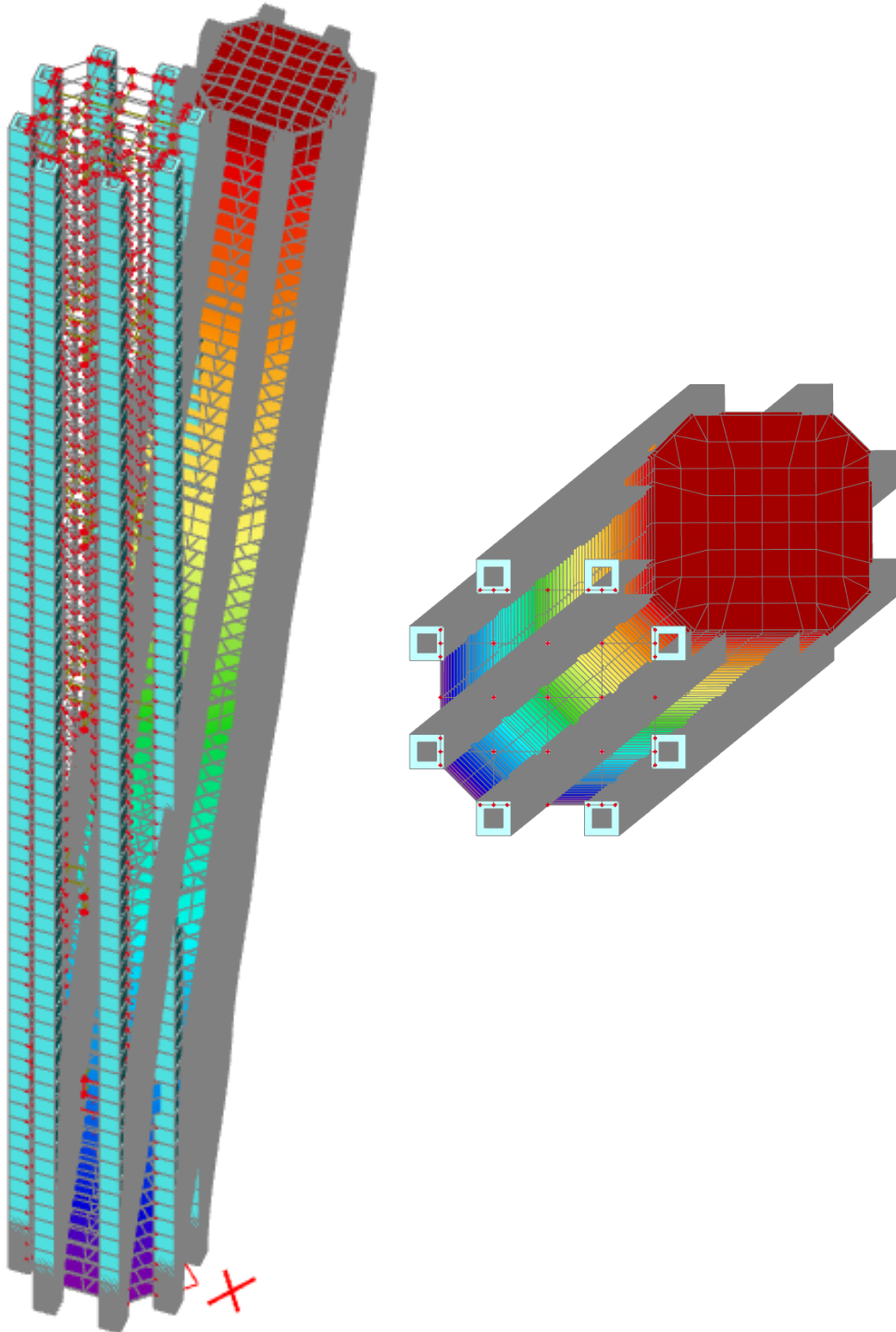
Vlastiti oblici – dobiveni u programu Scia Engineer za prva 3 tona su sljedeći:

1. ton – translacija u X smjeru: 0,12 Hz (8,05 s)



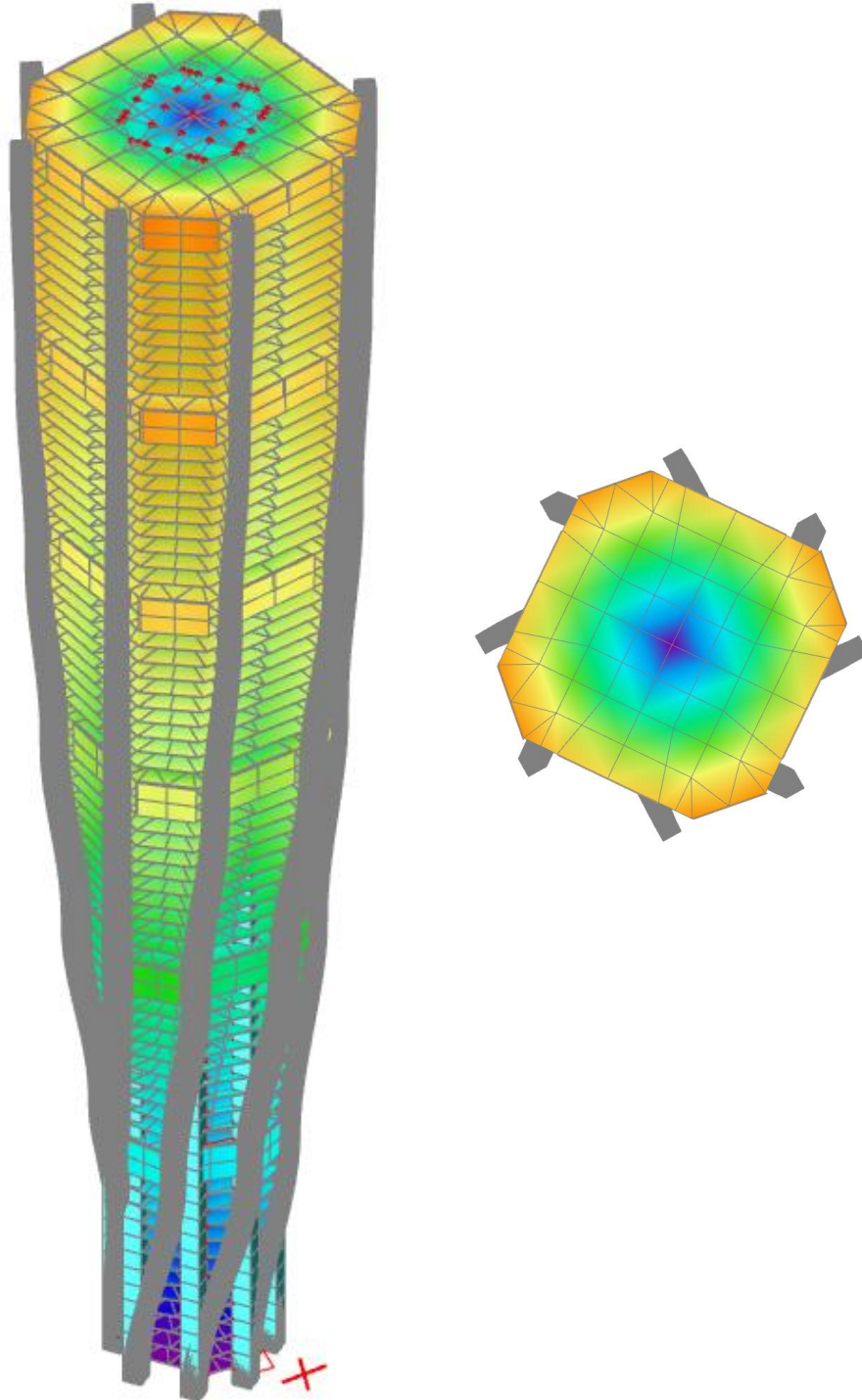
Slika 56.: Prvi ton građevine

2. ton – translacija u Y smjeru: 0,12 Hz (8,04 s)



Slika 57.: Drugi ton građevine

3. ton – torzija: 0,27 Hz (3,67 s)



Slika 58.: Treći ton građevine

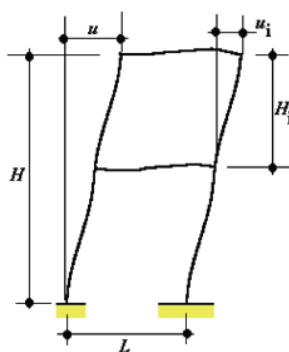
Provjera ukupnog pomaka vrha zgrade za karakterističnu kombinaciju

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

Tablica 15.: Granične vrijednosti horizontalnih pomaka konstrukcije (Izvor: [16])

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

NAPOMENA: H_1 – visina kata; H – visina građevine

**Slika 59.:** Prikaz ograničenja horizontalnih pomaka za karakteristične kombinacije djelovanja (Izvor: [10])

Najveći pomak vrha zgrade:

$$u < \frac{H}{500} = \frac{307,5}{500} = 0,615 \text{ m}$$

$$u = 0,161 \text{ m} < 0,615 \text{ m} \rightarrow \text{Zadovoljava.}$$

Najveći pomak zgrade vidljiv je iz slike 60.

Provjera međukatnog za karakterističnu kombinaciju

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

Displacement of nodes

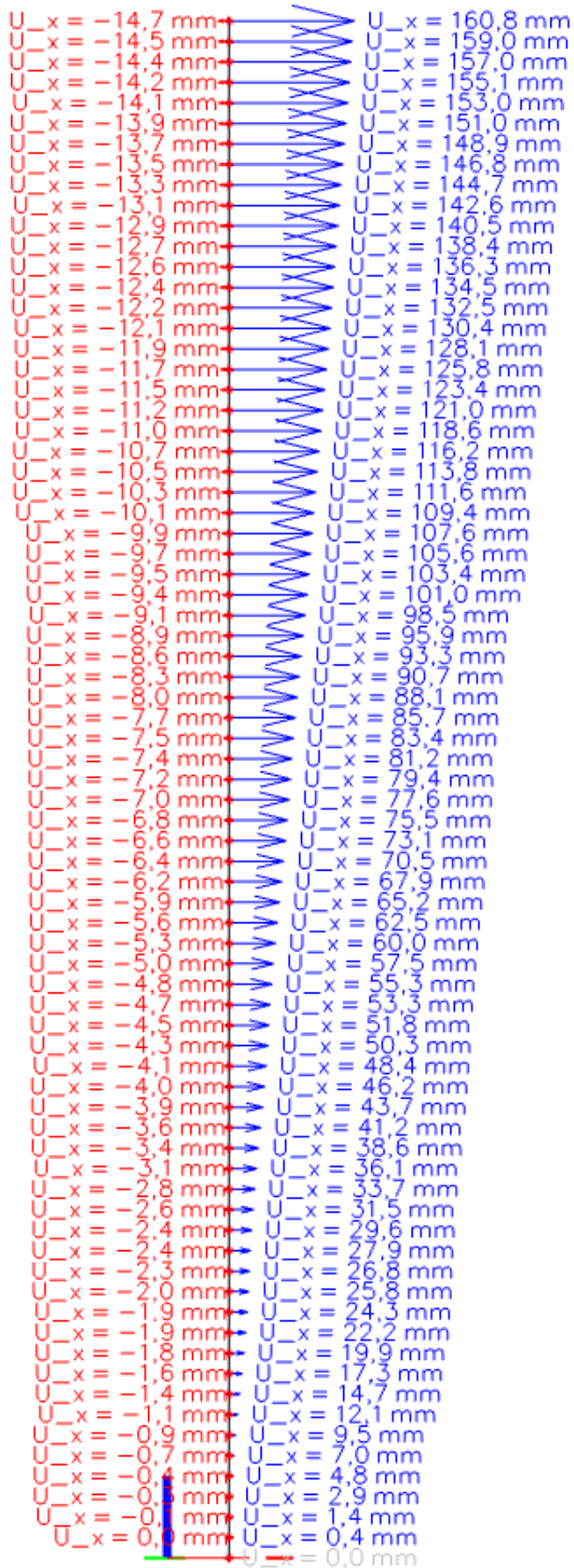
Values: U_x

Linear calculation

Combination: SLS-Char (auto)

Extreme: No

Selection: All



Slika 60.: Prikaz pomaka za karakterističnu kombinaciju za X smjer

Displacement of nodes

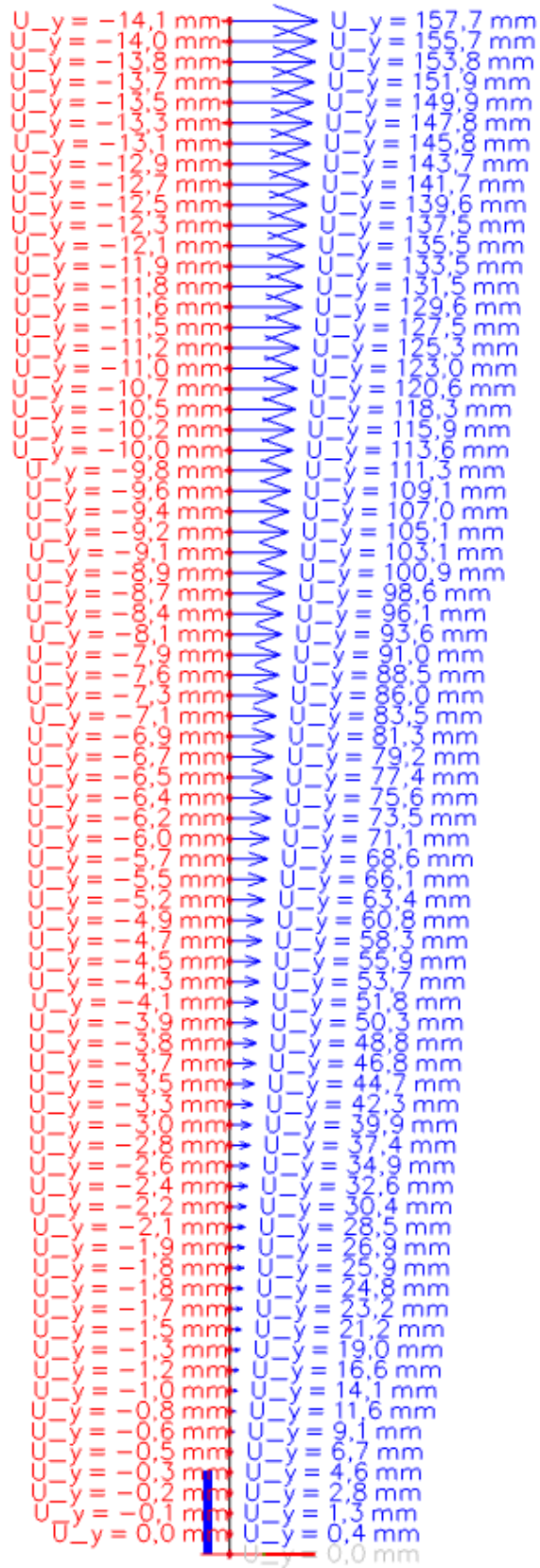
Values: U_y

Linear calculation

Combination: SLS-Char (auto)

Extreme: No

Selection: All



Slika 61.: Prikaz pomaka za karakterističnu kombinaciju za Y smjer

Tablica 16.: Međukatni pomaci za karakterističnu kombinaciju za X i Y smjer

ETAŽE	u_x [mm]	d_r [mm]	$\leq h/300$ $\leq 13,67$ mm
Etaža 1	0,4	0,4	Zadovoljava!
Etaža 2	1,4	1,0	Zadovoljava!
Etaža 3	2,9	1,5	Zadovoljava!
Etaža 4	4,8	1,9	Zadovoljava!
Etaža 5	7,0	2,2	Zadovoljava!
Etaža 6	9,5	2,5	Zadovoljava!
Etaža 7	12,1	2,6	Zadovoljava!
Etaža 8	14,7	2,6	Zadovoljava!
Etaža 9	17,3	2,6	Zadovoljava!
Etaža 10	19,9	2,6	Zadovoljava!
Etaža 11	22,2	2,3	Zadovoljava!
Etaža 12	24,3	2,1	Zadovoljava!
Etaža 13	25,8	1,5	Zadovoljava!
Etaža 14	26,8	1,0	Zadovoljava!
Etaža 15	27,9	1,1	Zadovoljava!
Etaža 16	29,6	1,7	Zadovoljava!
Etaža 17	31,5	1,9	Zadovoljava!
Etaža 18	33,7	2,2	Zadovoljava!
Etaža 19	36,1	2,4	Zadovoljava!
Etaža 20	38,6	2,5	Zadovoljava!
Etaža 21	41,2	2,6	Zadovoljava!
Etaža 22	43,7	2,5	Zadovoljava!
Etaža 23	46,2	2,5	Zadovoljava!
Etaža 24	48,4	2,2	Zadovoljava!
Etaža 25	50,3	1,9	Zadovoljava!
Etaža 26	51,8	1,5	Zadovoljava!
Etaža 27	53,3	1,5	Zadovoljava!
Etaža 28	55,3	2,0	Zadovoljava!
Etaža 29	57,5	2,2	Zadovoljava!
Etaža 30	60,0	2,5	Zadovoljava!
Etaža 31	62,5	2,5	Zadovoljava!
Etaža 32	65,2	2,7	Zadovoljava!
Etaža 33	67,9	2,7	Zadovoljava!
Etaža 34	70,5	2,6	Zadovoljava!
Etaža 35	73,1	2,6	Zadovoljava!
Etaža 36	75,5	2,4	Zadovoljava!
Etaža 37	77,6	2,1	Zadovoljava!
Etaža 38	79,4	1,8	Zadovoljava!
Etaža 39	81,2	1,8	Zadovoljava!
Etaža 40	83,4	2,2	Zadovoljava!
Etaža 41	85,7	2,3	Zadovoljava!
Etaža 42	88,1	2,4	Zadovoljava!
Etaža 43	90,7	2,6	Zadovoljava!
Etaža 44	93,3	2,6	Zadovoljava!
Etaža 45	95,9	2,6	Zadovoljava!
Etaža 46	98,5	2,6	Zadovoljava!
Etaža 47	101,0	2,5	Zadovoljava!
Etaža 48	103,4	2,4	Zadovoljava!
Etaža 49	105,6	2,2	Zadovoljava!
Etaža 50	107,6	2,0	Zadovoljava!
Etaža 51	109,4	1,8	Zadovoljava!
Etaža 52	111,6	2,2	Zadovoljava!
Etaža 53	113,8	2,2	Zadovoljava!
Etaža 54	116,2	2,4	Zadovoljava!
Etaža 55	118,6	2,4	Zadovoljava!
Etaža 56	121,0	2,4	Zadovoljava!
Etaža 57	123,4	2,4	Zadovoljava!
Etaža 58	125,8	2,4	Zadovoljava!
Etaža 59	128,1	2,3	Zadovoljava!
Etaža 60	130,4	2,3	Zadovoljava!
Etaža 61	132,5	2,1	Zadovoljava!
Etaža 62	134,5	2,0	Zadovoljava!
Etaža 63	136,3	1,8	Zadovoljava!
Etaža 64	138,4	2,1	Zadovoljava!
Etaža 65	140,5	2,1	Zadovoljava!
Etaža 66	142,6	2,1	Zadovoljava!
Etaža 67	144,7	2,1	Zadovoljava!
Etaža 68	146,8	2,1	Zadovoljava!
Etaža 69	148,9	2,1	Zadovoljava!
Etaža 70	151,0	2,1	Zadovoljava!
Etaža 71	153,0	2,0	Zadovoljava!
Etaža 72	155,1	2,1	Zadovoljava!
Etaža 73	157,0	1,9	Zadovoljava!
Etaža 74	159,0	2,0	Zadovoljava!
Etaža 75	160,8	1,8	Zadovoljava!

ETAŽE	u_x [mm]	d_r [mm]	$\leq h/300$ $\leq 13,67$ mm
Etaža 1	0,4	0,4	Zadovoljava!
Etaža 2	1,3	0,9	Zadovoljava!
Etaža 3	2,8	1,5	Zadovoljava!
Etaža 4	4,6	1,8	Zadovoljava!
Etaža 5	6,7	2,1	Zadovoljava!
Etaža 6	9,1	2,4	Zadovoljava!
Etaža 7	11,6	2,5	Zadovoljava!
Etaža 8	14,1	2,5	Zadovoljava!
Etaža 9	16,6	2,5	Zadovoljava!
Etaža 10	19,0	2,4	Zadovoljava!
Etaža 11	21,2	2,2	Zadovoljava!
Etaža 12	23,2	2,0	Zadovoljava!
Etaža 13	24,8	1,6	Zadovoljava!
Etaža 14	25,9	1,1	Zadovoljava!
Etaža 15	26,9	1,0	Zadovoljava!
Etaža 16	28,5	1,6	Zadovoljava!
Etaža 17	30,4	1,9	Zadovoljava!
Etaža 18	32,6	2,2	Zadovoljava!
Etaža 19	34,9	2,3	Zadovoljava!
Etaža 20	37,4	2,5	Zadovoljava!
Etaža 21	39,9	2,5	Zadovoljava!
Etaža 22	42,3	2,4	Zadovoljava!
Etaža 23	44,7	2,4	Zadovoljava!
Etaža 24	46,8	2,1	Zadovoljava!
Etaža 25	48,8	2,0	Zadovoljava!
Etaža 26	50,3	1,5	Zadovoljava!
Etaža 27	51,8	1,5	Zadovoljava!
Etaža 28	53,7	1,9	Zadovoljava!
Etaža 29	55,9	2,2	Zadovoljava!
Etaža 30	58,3	2,4	Zadovoljava!
Etaža 31	60,8	2,5	Zadovoljava!
Etaža 32	63,4	2,6	Zadovoljava!
Etaža 33	66,1	2,7	Zadovoljava!
Etaža 34	68,6	2,5	Zadovoljava!
Etaža 35	71,1	2,5	Zadovoljava!
Etaža 36	73,5	2,4	Zadovoljava!
Etaža 37	75,6	2,1	Zadovoljava!
Etaža 38	77,4	1,8	Zadovoljava!
Etaža 39	79,2	1,8	Zadovoljava!
Etaža 40	81,3	2,1	Zadovoljava!
Etaža 41	83,5	2,2	Zadovoljava!
Etaža 42	86,0	2,5	Zadovoljava!
Etaža 43	88,5	2,5	Zadovoljava!
Etaža 44	91,0	2,5	Zadovoljava!
Etaža 45	93,6	2,6	Zadovoljava!
Etaža 46	96,1	2,5	Zadovoljava!
Etaža 47	98,6	2,5	Zadovoljava!
Etaža 48	100,9	2,3	Zadovoljava!
Etaža 49	103,1	2,2	Zadovoljava!
Etaža 50	105,1	2,0	Zadovoljava!
Etaža 51	107,0	1,9	Zadovoljava!
Etaža 52	109,1	2,1	Zadovoljava!
Etaža 53	111,3	2,2	Zadovoljava!
Etaža 54	113,6	2,3	Zadovoljava!
Etaža 55	115,9	2,3	Zadovoljava!
Etaža 56	118,3	2,4	Zadovoljava!
Etaža 57	120,6	2,3	Zadovoljava!
Etaža 58	123,0	2,4	Zadovoljava!
Etaža 59	125,3	2,3	Zadovoljava!
Etaža 60	127,5	2,2	Zadovoljava!
Etaža 61	129,6	2,1	Zadovoljava!
Etaža 62	131,5	1,9	Zadovoljava!
Etaža 63	133,5	2,0	Zadovoljava!
Etaža 64	135,5	2,0	Zadovoljava!
Etaža 65	137,5	2,0	Zadovoljava!
Etaža 66	139,6	2,1	Zadovoljava!
Etaža 67	141,7	2,1	Zadovoljava!
Etaža 68	143,7	2,0	Zadovoljava!
Etaža 69	145,8	2,1	Zadovoljava!
Etaža 70	147,8	2,0	Zadovoljava!
Etaža 71	149,9	2,1	Zadovoljava!
Etaža 72	151,9	2,0	Zadovoljava!
Etaža 73	153,8	1,9	Zadovoljava!
Etaža 74	155,7	1,9	Zadovoljava!
Etaža 75	157,7	2,0	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 sa 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:

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

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

$$d_r \leq 0,0205 \text{ m}$$

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 $v = 1,0$.

Displacement of nodes

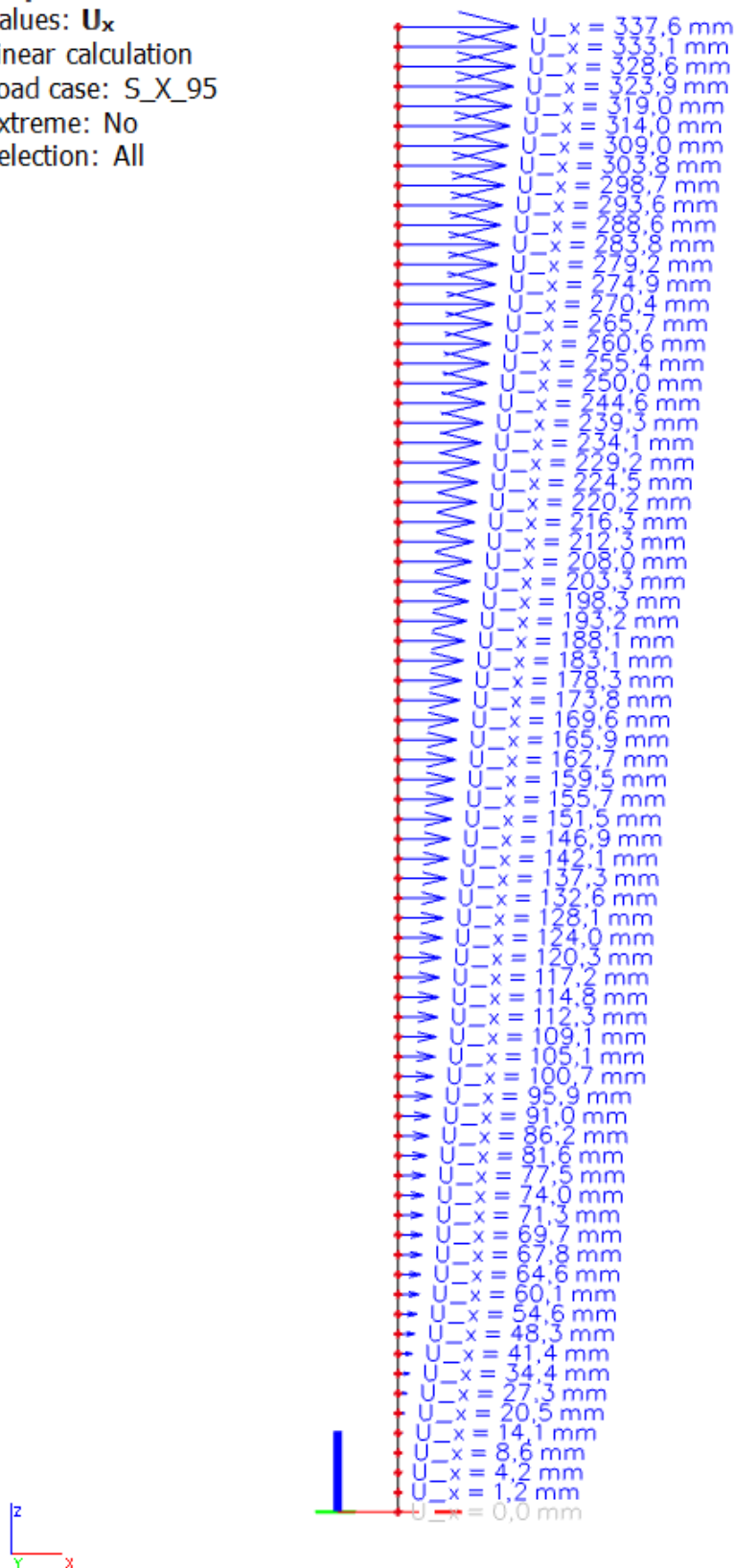
Values: U_x

Linear calculation

Load case: S_X_95

Extreme: No

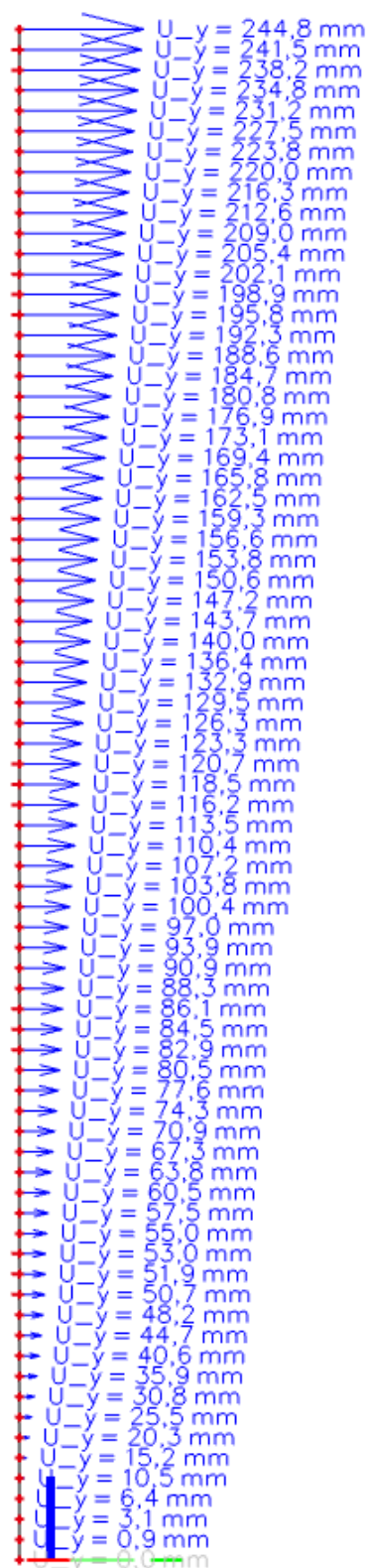
Selection: All



Slika 62.: Prikaz minimalnog i maksimalnog pomaka za seizmičko opterećenje (95 godina) za X smjer

Displacement of nodes

Values: U_y
 Linear calculation
 Load case: S_Y_95
 Extreme: No
 Selection: All



Slika 63.: Prikaz minimalnog i maksimalnog pomaka za seizmičko opterećenje (95 godina) za Y smjer

Tablica 17.: Međukatni pomaci za seizmičko opterećenje (95 godina) za X i Y smjer

ETAŽE	u_x [mm]	d_r [mm]	$\leq 0,005 \times h$ $\leq 20,5$ mm
Etaža 1	1,2	1,2	Zadovoljava!
Etaža 2	4,2	3,0	Zadovoljava!
Etaža 3	8,6	4,4	Zadovoljava!
Etaža 4	14,1	5,5	Zadovoljava!
Etaža 5	20,5	6,4	Zadovoljava!
Etaža 6	27,3	6,8	Zadovoljava!
Etaža 7	34,4	7,1	Zadovoljava!
Etaža 8	41,4	7,0	Zadovoljava!
Etaža 9	48,3	6,9	Zadovoljava!
Etaža 10	54,6	6,3	Zadovoljava!
Etaža 11	60,1	5,5	Zadovoljava!
Etaža 12	64,6	4,5	Zadovoljava!
Etaža 13	67,8	3,2	Zadovoljava!
Etaža 14	69,7	1,9	Zadovoljava!
Etaža 15	71,3	1,6	Zadovoljava!
Etaža 16	74,0	2,7	Zadovoljava!
Etaža 17	77,5	3,5	Zadovoljava!
Etaža 18	81,6	4,1	Zadovoljava!
Etaža 19	86,2	4,6	Zadovoljava!
Etaža 20	91,0	4,8	Zadovoljava!
Etaža 21	95,9	4,9	Zadovoljava!
Etaža 22	100,7	4,8	Zadovoljava!
Etaža 23	105,1	4,4	Zadovoljava!
Etaža 24	109,1	4,0	Zadovoljava!
Etaža 25	112,3	3,2	Zadovoljava!
Etaža 26	114,8	2,5	Zadovoljava!
Etaža 27	117,2	2,4	Zadovoljava!
Etaža 28	120,3	3,1	Zadovoljava!
Etaža 29	124,0	3,7	Zadovoljava!
Etaža 30	128,1	4,1	Zadovoljava!
Etaža 31	132,6	4,5	Zadovoljava!
Etaža 32	137,3	4,7	Zadovoljava!
Etaža 33	142,1	4,8	Zadovoljava!
Etaža 34	146,9	4,8	Zadovoljava!
Etaža 35	151,5	4,6	Zadovoljava!
Etaža 36	155,7	4,2	Zadovoljava!
Etaža 37	159,5	3,8	Zadovoljava!
Etaža 38	162,7	3,2	Zadovoljava!
Etaža 39	165,9	3,2	Zadovoljava!
Etaža 40	169,6	3,7	Zadovoljava!
Etaža 41	173,8	4,2	Zadovoljava!
Etaža 42	178,3	4,5	Zadovoljava!
Etaža 43	183,1	4,8	Zadovoljava!
Etaža 44	188,1	5,0	Zadovoljava!
Etaža 45	193,2	5,1	Zadovoljava!
Etaža 46	198,3	5,1	Zadovoljava!
Etaža 47	203,3	5,0	Zadovoljava!
Etaža 48	208,0	4,7	Zadovoljava!
Etaža 49	212,3	4,3	Zadovoljava!
Etaža 50	216,3	4,0	Zadovoljava!
Etaža 51	220,2	3,9	Zadovoljava!
Etaža 52	224,5	4,3	Zadovoljava!
Etaža 53	229,2	4,7	Zadovoljava!
Etaža 54	234,1	4,9	Zadovoljava!
Etaža 55	239,3	5,2	Zadovoljava!
Etaža 56	244,6	5,3	Zadovoljava!
Etaža 57	250,0	5,4	Zadovoljava!
Etaža 58	255,4	5,4	Zadovoljava!
Etaža 59	260,6	5,2	Zadovoljava!
Etaža 60	265,7	5,1	Zadovoljava!
Etaža 61	270,4	4,7	Zadovoljava!
Etaža 62	274,9	4,5	Zadovoljava!
Etaža 63	279,2	4,3	Zadovoljava!
Etaža 64	283,8	4,6	Zadovoljava!
Etaža 65	288,6	4,8	Zadovoljava!
Etaža 66	293,6	5,0	Zadovoljava!
Etaža 67	298,7	5,1	Zadovoljava!
Etaža 68	303,8	5,1	Zadovoljava!
Etaža 69	309,0	5,2	Zadovoljava!
Etaža 70	314,0	5,0	Zadovoljava!
Etaža 71	319,0	5,0	Zadovoljava!
Etaža 72	323,9	4,9	Zadovoljava!
Etaža 73	328,6	4,7	Zadovoljava!
Etaža 74	333,1	4,5	Zadovoljava!
Etaža 75	337,6	4,5	Zadovoljava!

ETAŽE	u_x [mm]	d_r [mm]	$\leq 0,005 \times h$ $\leq 20,5$ mm
Etaža 1	0,9	0,9	Zadovoljava!
Etaža 2	3,1	2,2	Zadovoljava!
Etaža 3	6,4	3,3	Zadovoljava!
Etaža 4	10,5	4,1	Zadovoljava!
Etaža 5	15,2	4,7	Zadovoljava!
Etaža 6	20,3	5,1	Zadovoljava!
Etaža 7	25,5	5,2	Zadovoljava!
Etaža 8	30,8	5,3	Zadovoljava!
Etaža 9	35,9	5,1	Zadovoljava!
Etaža 10	40,6	4,7	Zadovoljava!
Etaža 11	44,7	4,1	Zadovoljava!
Etaža 12	48,2	3,5	Zadovoljava!
Etaža 13	50,7	2,5	Zadovoljava!
Etaža 14	51,9	1,2	Zadovoljava!
Etaža 15	53,0	1,1	Zadovoljava!
Etaža 16	55,0	2,0	Zadovoljava!
Etaža 17	57,5	2,5	Zadovoljava!
Etaža 18	60,5	3,0	Zadovoljava!
Etaža 19	63,8	3,3	Zadovoljava!
Etaža 20	67,3	3,5	Zadovoljava!
Etaža 21	70,9	3,6	Zadovoljava!
Etaža 22	74,3	3,4	Zadovoljava!
Etaža 23	77,6	3,3	Zadovoljava!
Etaža 24	80,5	2,9	Zadovoljava!
Etaža 25	82,9	2,4	Zadovoljava!
Etaža 26	84,5	1,6	Zadovoljava!
Etaža 27	86,1	1,6	Zadovoljava!
Etaža 28	88,3	2,2	Zadovoljava!
Etaža 29	90,9	2,6	Zadovoljava!
Etaža 30	93,9	3,0	Zadovoljava!
Etaža 31	97,0	3,1	Zadovoljava!
Etaža 32	100,4	3,4	Zadovoljava!
Etaža 33	103,8	3,4	Zadovoljava!
Etaža 34	107,2	3,4	Zadovoljava!
Etaža 35	110,4	3,2	Zadovoljava!
Etaža 36	113,5	3,1	Zadovoljava!
Etaža 37	116,2	2,7	Zadovoljava!
Etaža 38	118,5	2,3	Zadovoljava!
Etaža 39	120,7	2,2	Zadovoljava!
Etaža 40	123,3	2,6	Zadovoljava!
Etaža 41	126,3	3,0	Zadovoljava!
Etaža 42	129,5	3,2	Zadovoljava!
Etaža 43	132,9	3,4	Zadovoljava!
Etaža 44	136,4	3,5	Zadovoljava!
Etaža 45	140,0	3,6	Zadovoljava!
Etaža 46	143,7	3,7	Zadovoljava!
Etaža 47	147,2	3,5	Zadovoljava!
Etaža 48	150,6	3,4	Zadovoljava!
Etaža 49	153,8	3,2	Zadovoljava!
Etaža 50	156,6	2,8	Zadovoljava!
Etaža 51	159,3	2,7	Zadovoljava!
Etaža 52	162,5	3,2	Zadovoljava!
Etaža 53	165,8	3,3	Zadovoljava!
Etaža 54	169,4	3,6	Zadovoljava!
Etaža 55	173,1	3,7	Zadovoljava!
Etaža 56	176,9	3,8	Zadovoljava!
Etaža 57	180,8	3,9	Zadovoljava!
Etaža 58	184,7	3,9	Zadovoljava!
Etaža 59	188,6	3,9	Zadovoljava!
Etaža 60	192,3	3,7	Zadovoljava!
Etaža 61	195,8	3,5	Zadovoljava!
Etaža 62	198,9	3,1	Zadovoljava!
Etaža 63	202,1	3,2	Zadovoljava!
Etaža 64	205,4	3,3	Zadovoljava!
Etaža 65	209,0	3,6	Zadovoljava!
Etaža 66	212,6	3,6	Zadovoljava!
Etaža 67	216,3	3,7	Zadovoljava!
Etaža 68	220,0	3,7	Zadovoljava!
Etaža 69	223,8	3,8	Zadovoljava!
Etaža 70	227,5	3,7	Zadovoljava!
Etaža 71	231,2	3,7	Zadovoljava!
Etaža 72	234,8	3,6	Zadovoljava!
Etaža 73	238,2	3,4	Zadovoljava!
Etaža 74	241,5	3,3	Zadovoljava!
Etaža 75	244,8	3,3	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
- φ koeficijent uporabnog opterećenja, ovisi o vrsti građevine, zauzetosti i poziciji kata, prema []
- $\psi_{2,i}$ koeficijent kombinacije za nazovistalnu vrijednost promjenjivog djelovanja

Tablica 18.: Koeficijent uporabnog opterećenja [13]

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

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 $\psi_{2,i} = 0,0$.

Resultant of reactions

Values: R_z

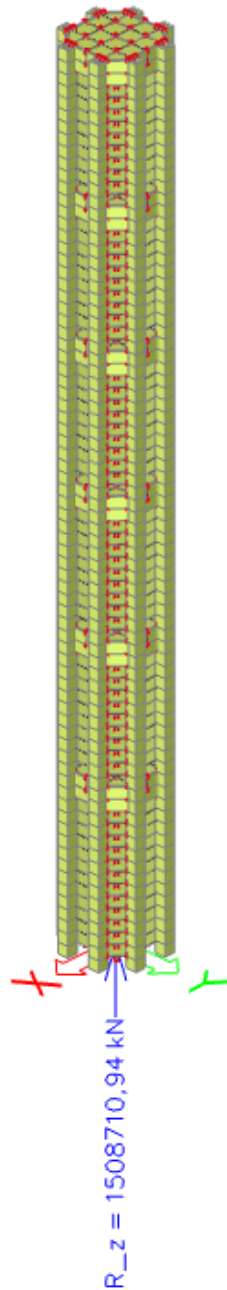
Linear calculation

Combination: ULS-Seis (auto)

Extreme: Global

Selection: All

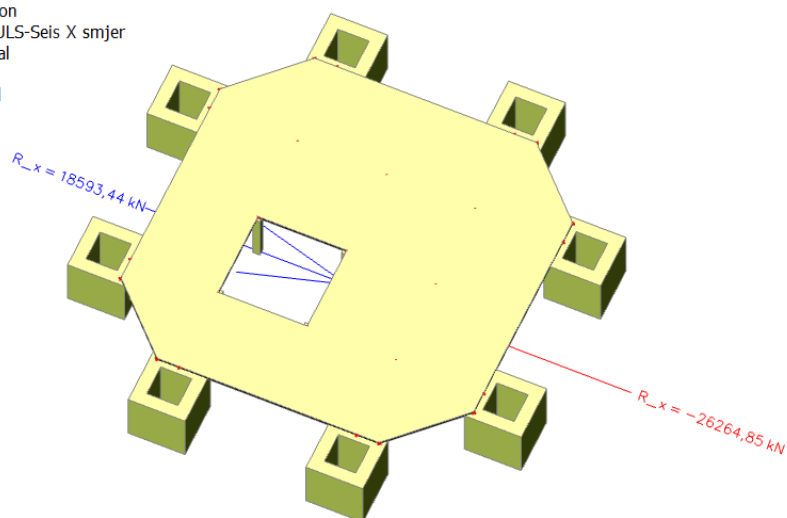
System: Global



Slika 64.: Prikaz ukupne težine građevine

Resultant of reactions

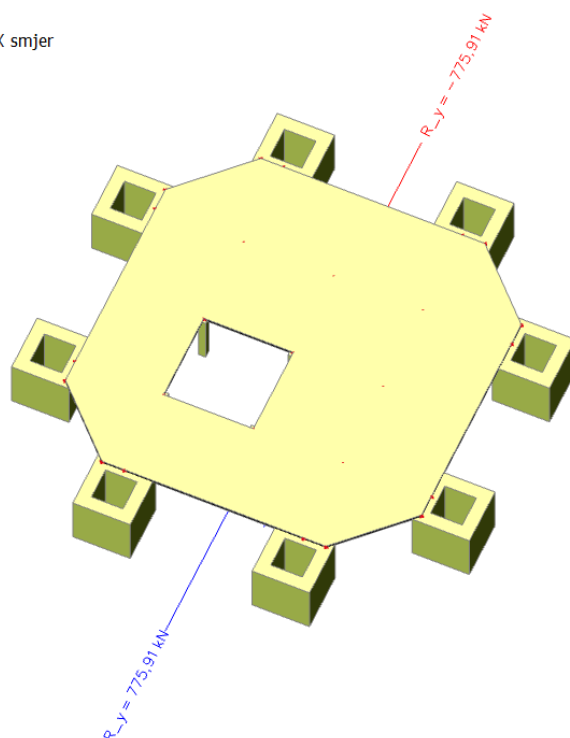
Values: R_x
Linear calculation
Combination: ULS-Seis X smjer
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Slika 65.: Prikaz reakcije u X smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina)

Resultant of reactions

Values: R_y
Linear calculation
Combination: ULS-Seis X smjer
Extreme: Global
Selection: All
System: Global

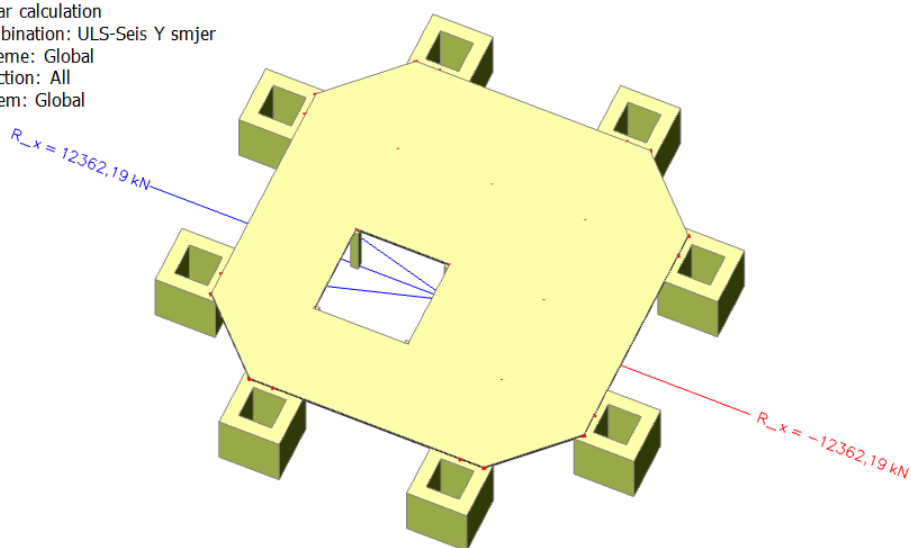


Slika 66.: Prikaz reakcije u Y smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina)

)

Resultant of reactions

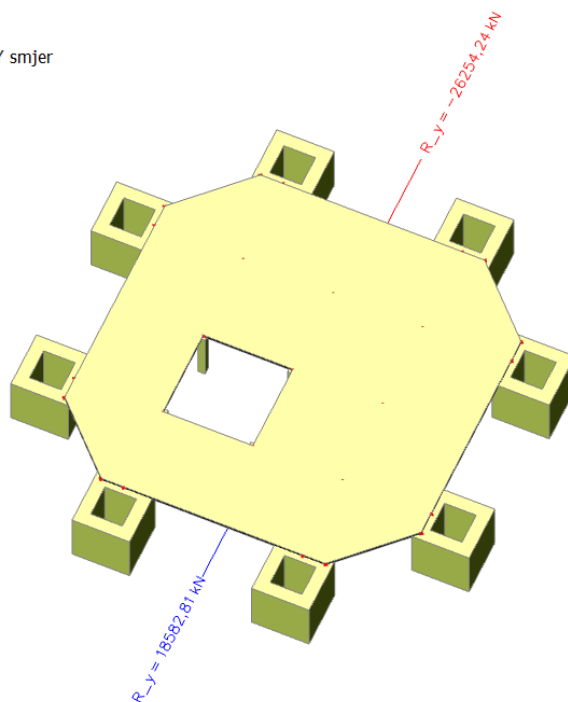
Values: R_x
Linear calculation
Combination: ULS-Seis Y smjer
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Slika 67.: Prikaz reakcija u X smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina)

Resultant of reactions

Values: R_y
Linear calculation
Combination: ULS-Seis Y smjer
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Slika 68.: Prikaz reakcija u Y smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina)

Tablica 19.: Reakcije u X i Y smjeru za seizmičke kombinacije (475 godina)

KOMBINACIJA DJELOVANJA	R_x [kN]	R_y [kN]
Potres X	26264,85 kN	775,91 kN
Potres Y	12362,19 kN	26254,24 kN

Izračun BCS za smjer X:

$$BCS = \frac{F_{b,X}}{W} = \frac{26264,85}{1508710,94} = 0,01741 = 1,74 \%$$

Izračun BCS za smjer Y:

$$BCS = \frac{F_{b,Y}}{W} = \frac{26254,24}{1508710,94} = 0,01740 = 1,74 \%$$

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 α_{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]:

α_{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 α_{cr} .

Tablica 20.: Kombinacije djelovanja za provjeru stabilnosti

Name	Load cases	Coeff. [1]
Stabilnost 1	VT - Vlastita težina	1,350
	DS_E - Dodatno stalno etaže	1,350
	DS_K - Dodatno stalno krova	1,350
	Q_E - Uporabno etaže	1,500
	Q_K - Uporabno krova	1,500
	S - Snijeg	0,750
	3DWind1 - 0, + CPE, + CPI	0,900
	3DWind2 - 0, - CPE, + CPI	0,900
	Stabilnost 2	VT - Vlastita težina
DS_E - Dodatno stalno etaže		1,350
DS_K - Dodatno stalno krova		1,350
Q_E - Uporabno etaže		1,500
Q_K - Uporabno krova		1,500
S - Snijeg		0,750
3DWind3 - 90, + CPE, + CPI		0,900
3DWind4 - 90, - CPE, + CPI		0,900
Stabilnost 3		VT - Vlastita težina
	DS_E - Dodatno stalno etaže	1,350
	DS_K - Dodatno stalno krova	1,350
	Q_E - Uporabno etaže	0,750
	Q_K - Uporabno krova	0,750
	S - Snijeg	0,750
	3DWind1 - 0, + CPE, + CPI	1,500
	3DWind2 - 0, - CPE, + CPI	1,500
	Stabilnost 4	VT - Vlastita težina
DS_E - Dodatno stalno etaže		1,350
DS_K - Dodatno stalno krova		1,350
Q_E - Uporabno etaže		0,750
Q_K - Uporabno krova		0,750
S - Snijeg		0,750
3DWind3 - 90, + CPE, + CPI		1,500
3DWind4 - 90, - CPE, + CPI		1,500

Tablica 21.: Faktori elastičnog kritičnog opterećenja α_{cr}

Critical load coefficients	
N	f
Linear stability combination : Stabilnost 1	
1	14,39
2	14,46
Linear stability combination : Stabilnost 2	
1	14,41
2	14,45
Linear stability combination : Stabilnost 3	
1	14,82
2	14,98
Linear stability combination : Stabilnost 4	
1	14,86
2	14,96

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

3.5.4. Učinci drugog reda $P - \Delta$

Učinke drugog reda je potrebno uzeti u obzir prema izrazu iz norme [12] ukoliko je na svim katovima ispunjen uvjet:

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

gdje su:

- θ koeficijent osjetljivosti međukatnog pomaka
- P_{tot} ukupno gravitacijsko opterećenje na promatranom katu i iznad njega u proračunskoj potresnoj situaciji
- d_r proračunski katni pomak određen kao razlika prosječnih bočnih pomaka d_s na vrhu i pri podnožju promatranog kata
- V_{tot} ukupna katna potresna poprečna sila
- h međukatna visina

Proračunski katni pomak:

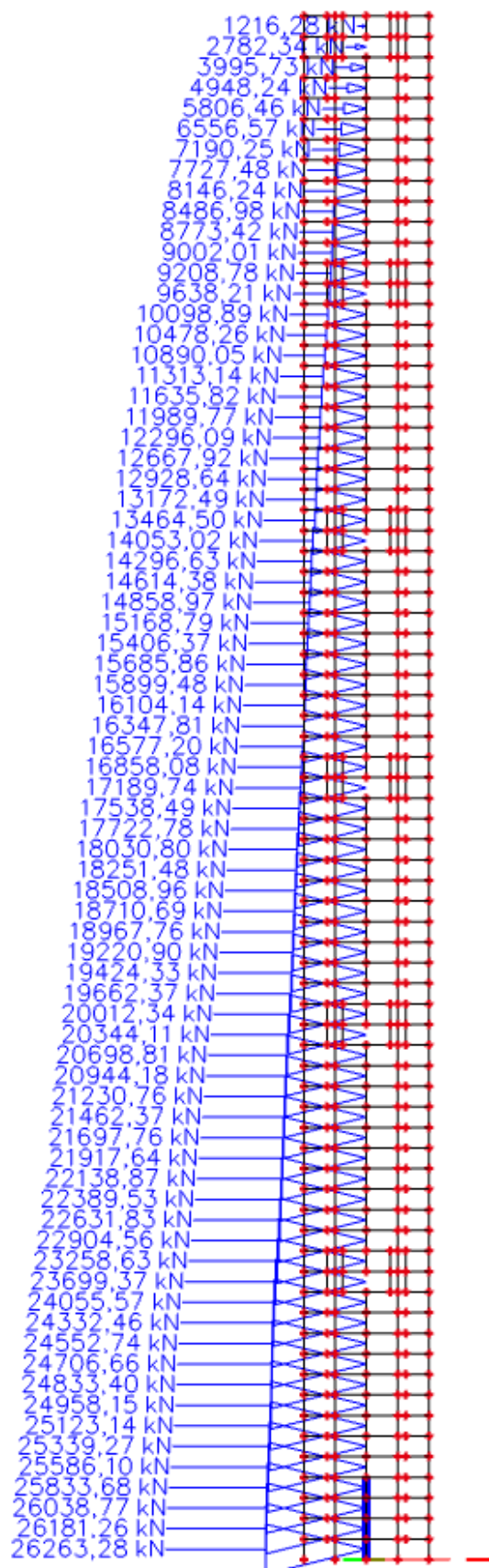
$$d_r = d_e \cdot q$$

gdje su:

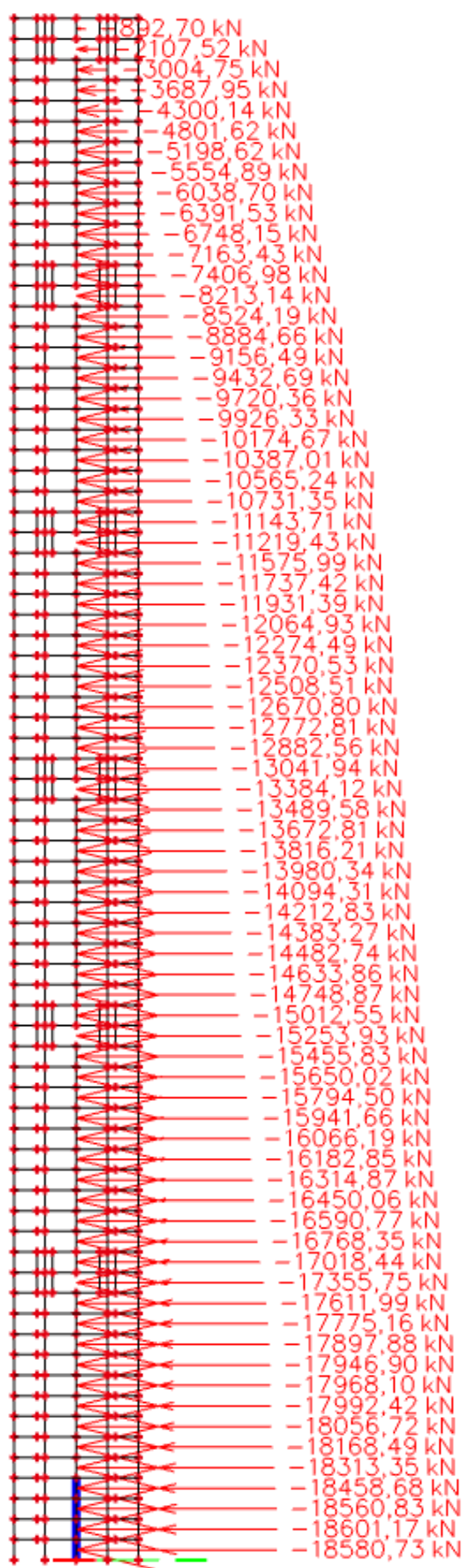
- d_e pomak dobivan elastičnom analizom proračunskog spektra odziva
- q faktor ponašanja za pripadni smjer

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

Vrijednosti koeficijenta θ ne smije premašiti vrijednost 0,3.



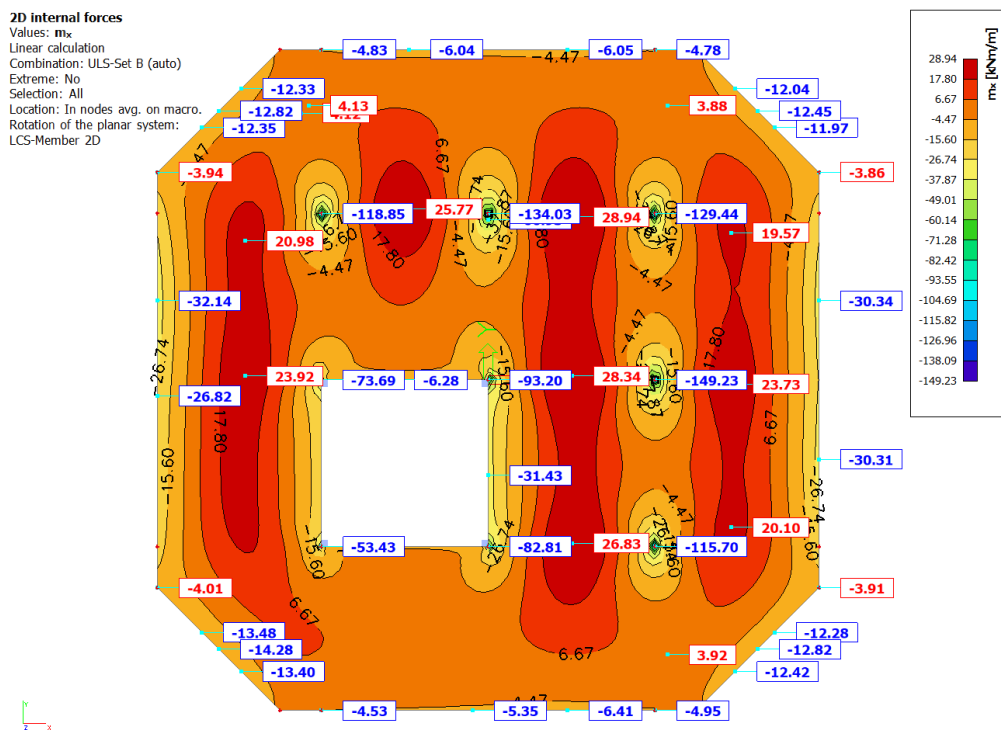
Slika 69.: Prikaz katne poprečne sile u X smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina)



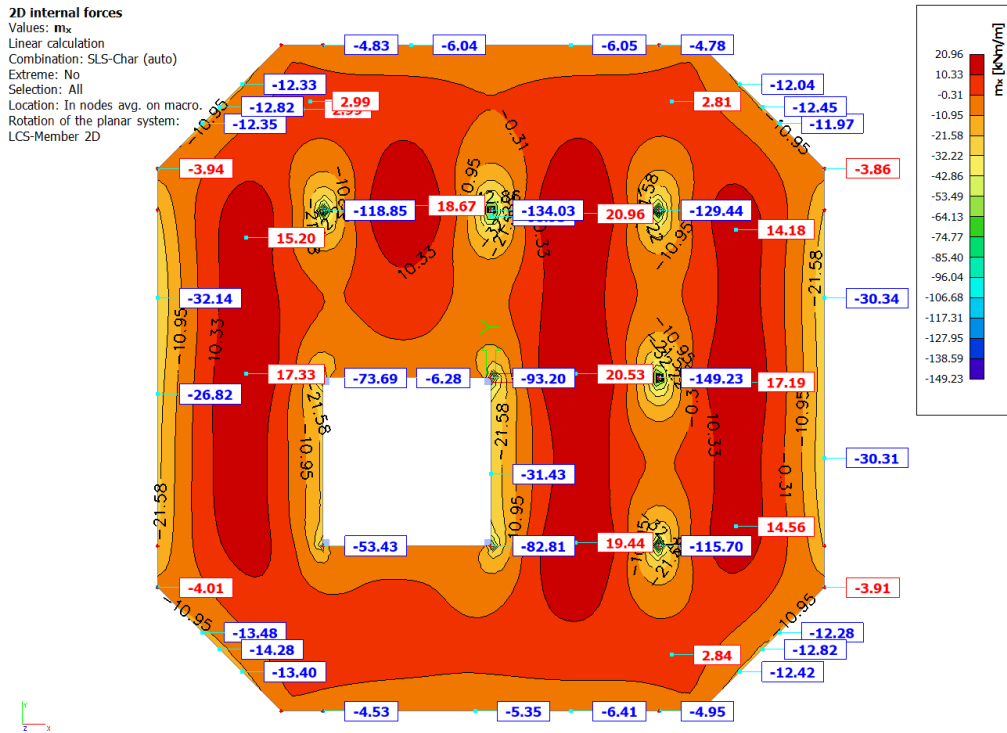
Slika 70.: Prikaz katne poprečne sile u Y smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina)

3.5.4.1. Ispis unutrašnjih sila AB ploče

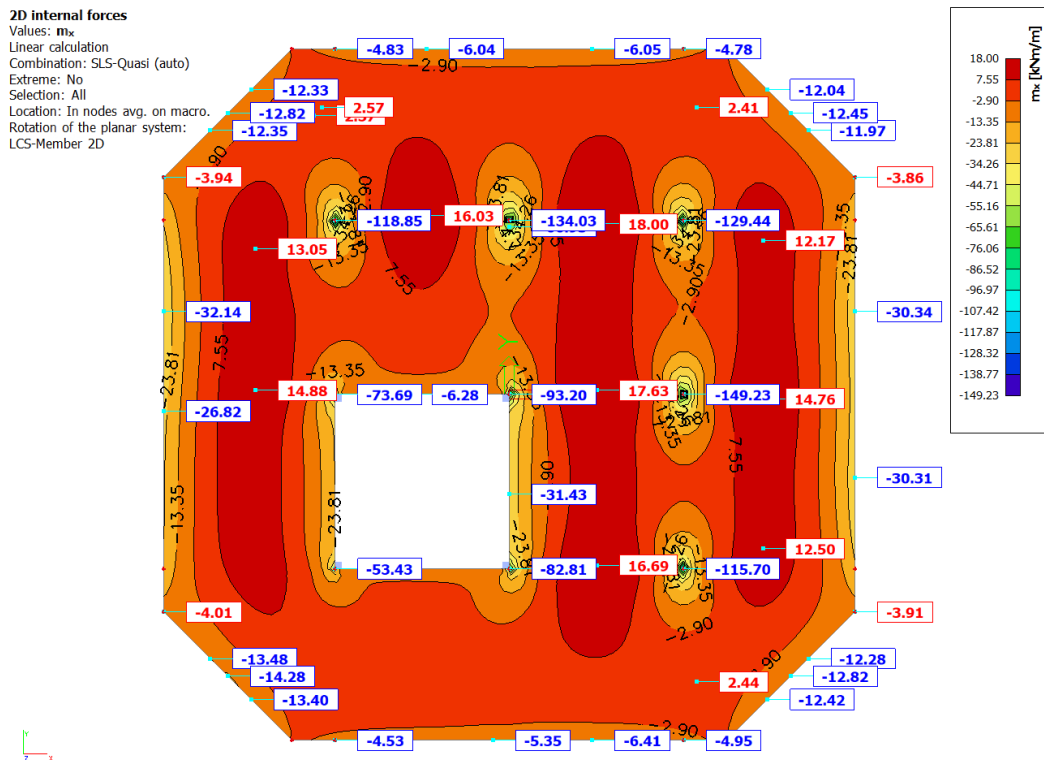
Na sljedećim ispisima unutrašnjih sila prikazana je ploča iznad prizemlja. Ploča je opterećena vlastitom težinom, dodatnim opterećenjem, te uporabnim koje je raspoređeno šahovskom raspodjelom, odnosno s ciljem da se postigne maksimalan moment savijanja u polju, kao i varijanta sa opterećenim susjednim poljima u i cilju postizanja maksimalnog momenta savijanja nad ležajem. Dobivene su vrlo slične vrijednosti tijekom proračuna navedene dvije kombinacije raspodjele uporabnog opterećenja, međutim najmjerodavniji rezultat je postignut raspodjelom svih opterećenja preko cijele površine ploče, zbog načina oslanjanja i položaja otvora za stubište i dizala.



Slika 71.: Momenti savijanja u X smjeru (GSM) – ploča



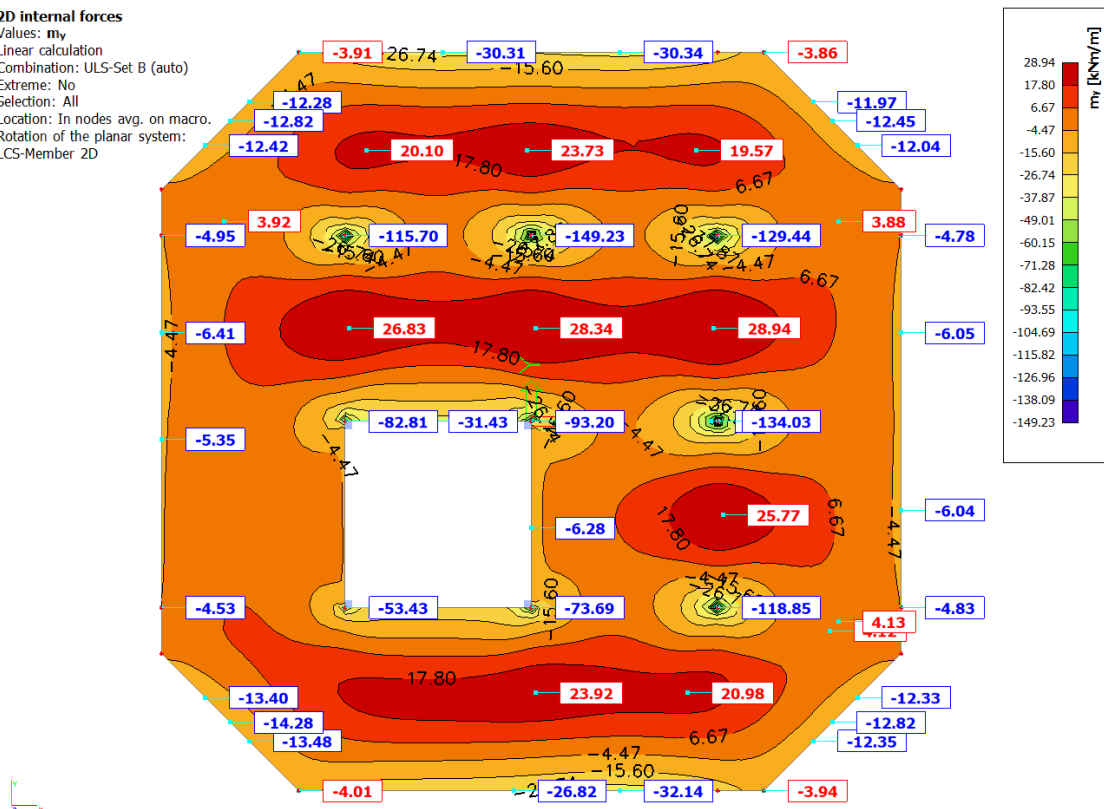
Slika 72.: Momenti savijanja u X smjeru (GSU - karakteristična) – ploča



Slika 73.: Momenti savijanja u X smjeru (GSU - nazovistalna) – ploča

2D internal forces

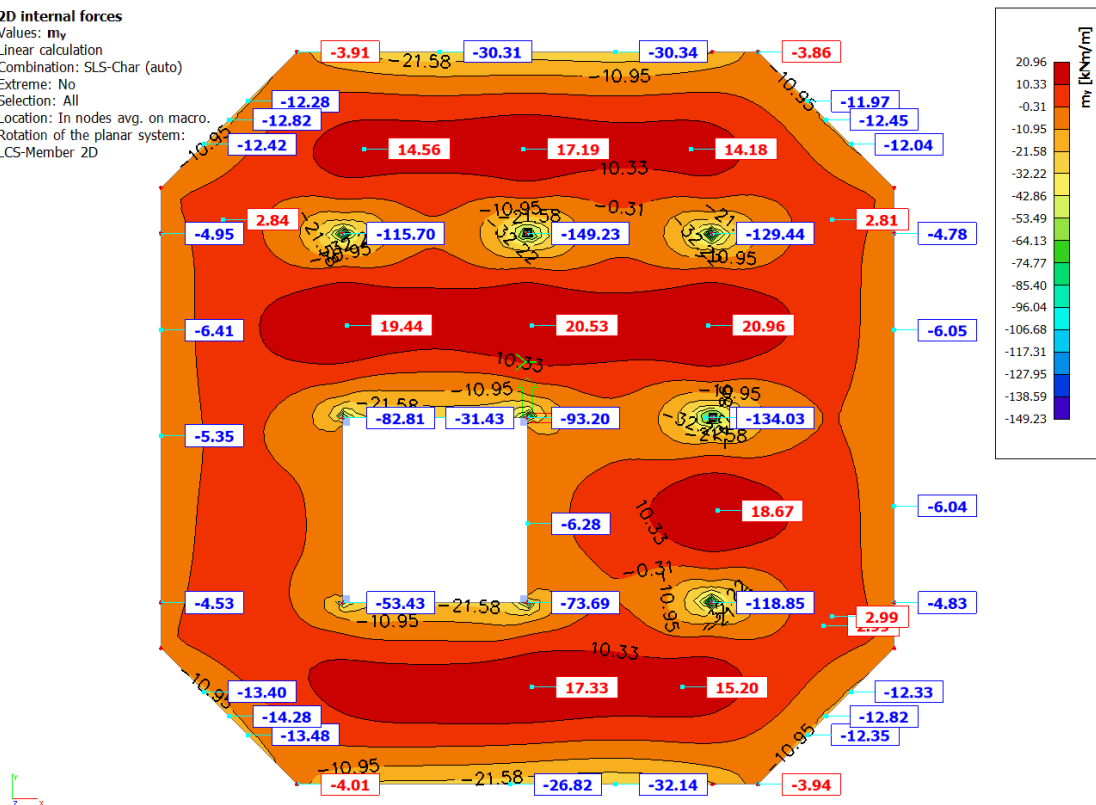
Values: m_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Set B (auto)
 Extreme: No
 Selection: All
 Location: In nodes avg. on macro.
 Rotation of the planar system:
 LCS-Member 2D



Slika 74.: Momenti savijanja u Y smjeru (GSN) – ploča

2D internal forces

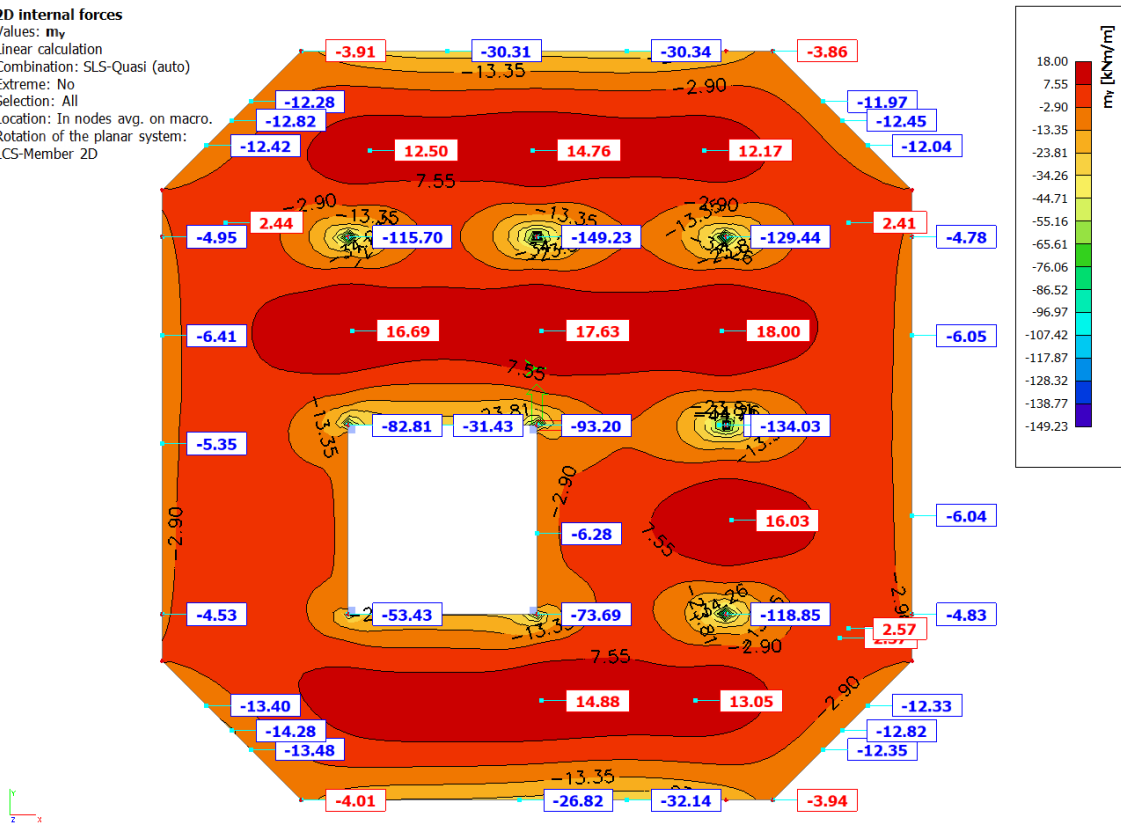
Values: m_y
 Linear calculation
 Combination: SLS-Char (auto)
 Extreme: No
 Selection: All
 Location: In nodes avg. on macro.
 Rotation of the planar system:
 LCS-Member 2D



Slika 75.: Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - karakteristična) – ploča

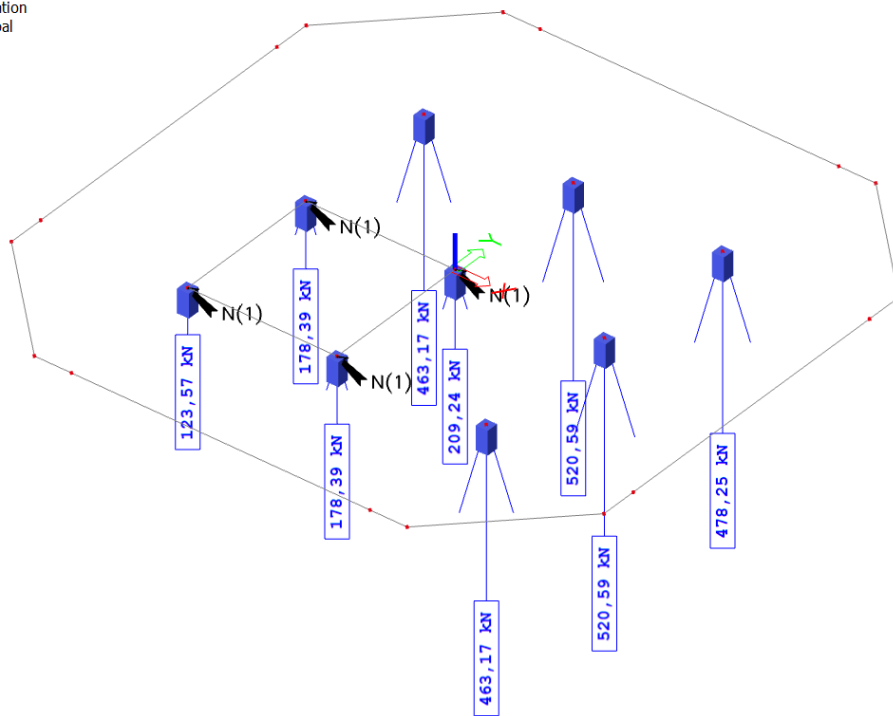
2D internal forces

Values: m_y
 Linear calculation
 Combination: SLS-Quasi (auto)
 Extreme: No
 Selection: All
 Location: In nodes avg. on macro.
 Rotation of the planar system:
 LCS-Member 2D



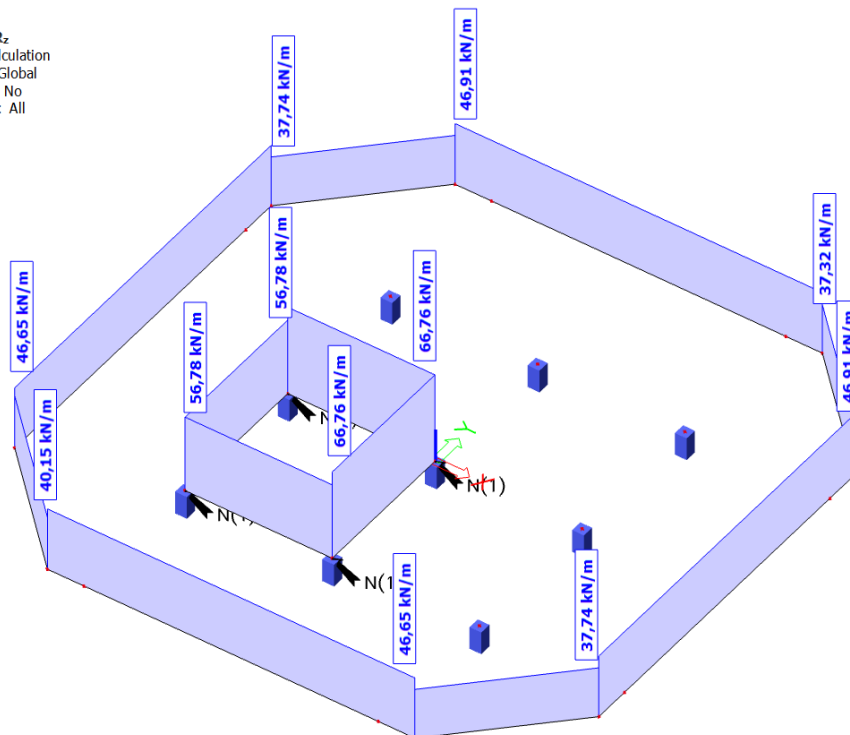
Slika 76.: Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - nazovistalna) – ploča

Actions
 Values: R_z
 Linear calculation
 System: Global
 Extreme: No
 Selection: All



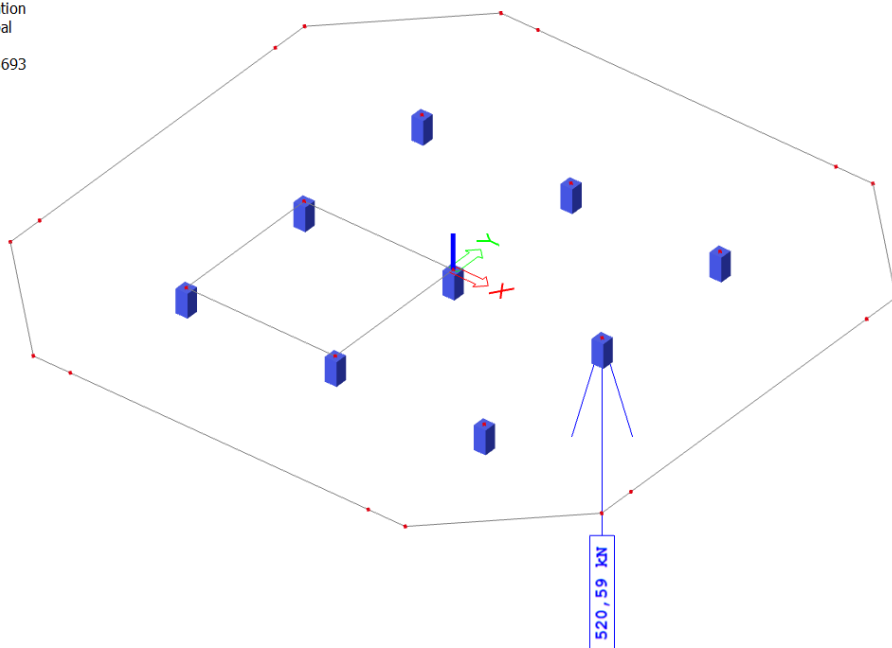
Slika 77.: Prikaz proračunske poprečne sile nad točkastim ležajevima

Actions
 Values: R_z
 Linear calculation
 System: Global
 Extreme: No
 Selection: All



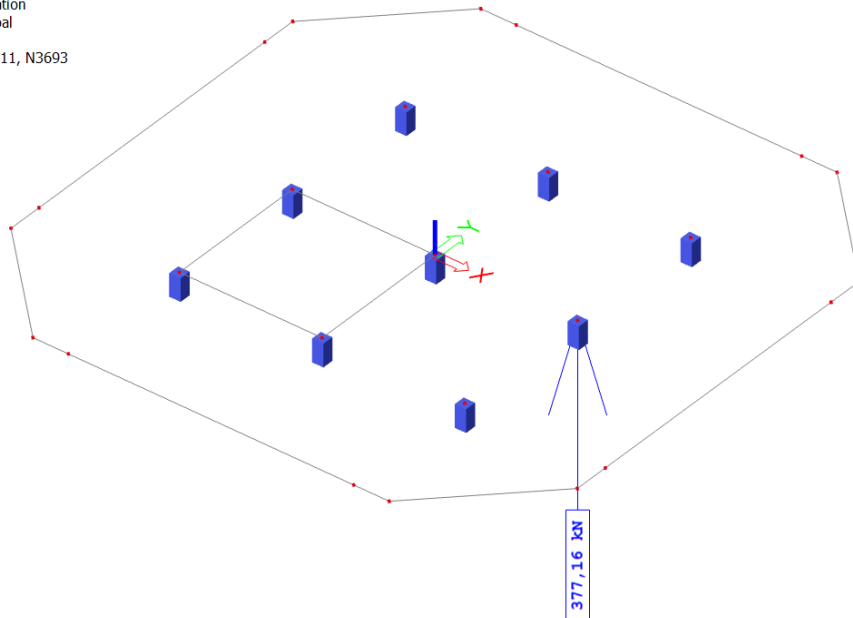
Slika 78.: Prikaz proračunske poprečne sile nad linijskim ležajevima

Actions
Values: R_z
Linear calculation
System: Global
Extreme: No
Selection: N3693



Slika 79.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem

Actions
Values: R_z
Linear calculation
System: Global
Extreme: No
Selection: Sn11, N3693

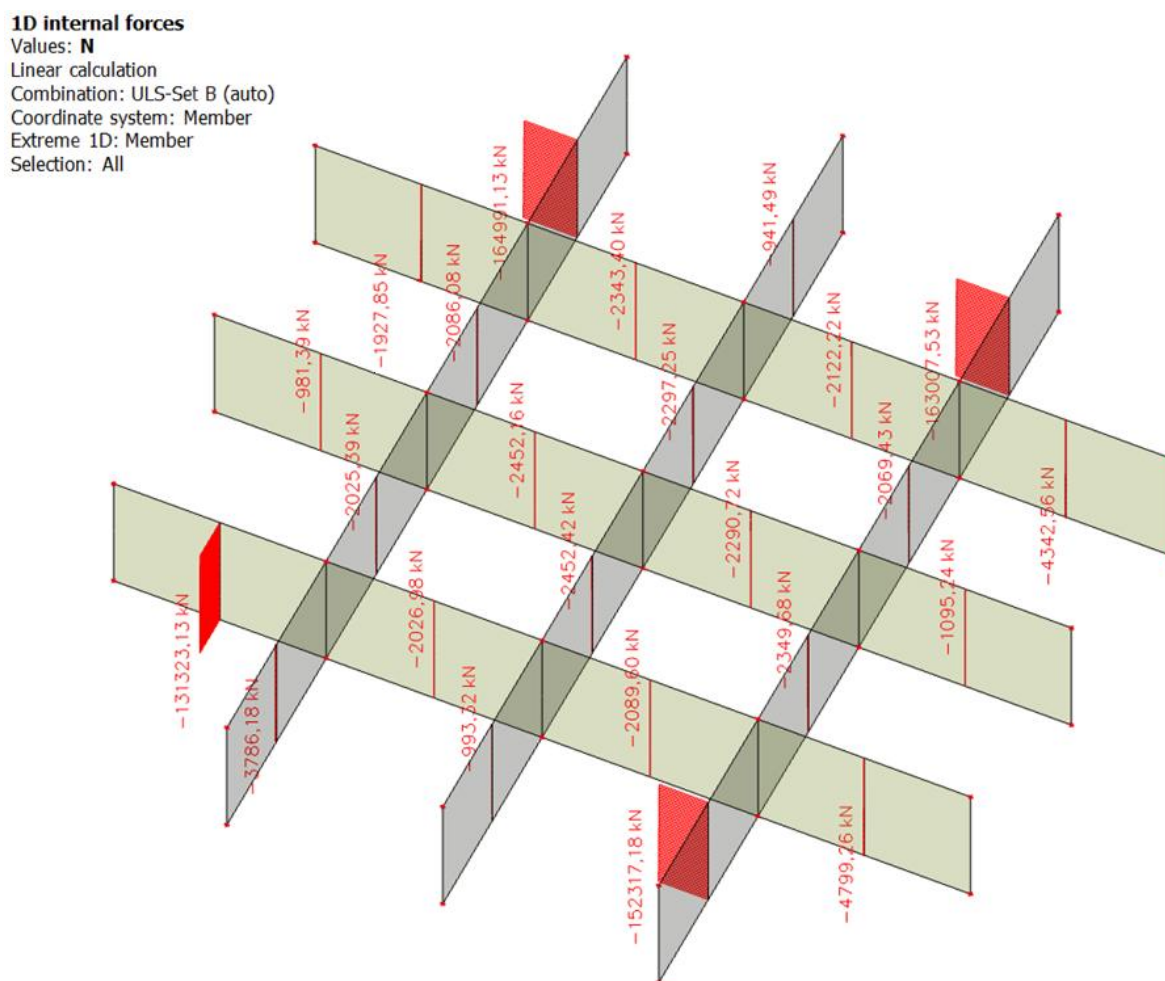


Slika 80.: Prikaz maksimalne karakteristične reakcije nad ležajem

3.5.4.2. Ispis unutrašnjih sila poprečnih zidova

Na sljedećim ispisima unutrašnjih sila prikazani su svi poprečni zidovi u prvom pojasu od razine temelja.

U opisu slike je izdvojen element sa mjerodavnom vrijednosti promatrane unutrašnje sile.



Slika 81.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – zid 1d

1D internal forces

Values: **N**

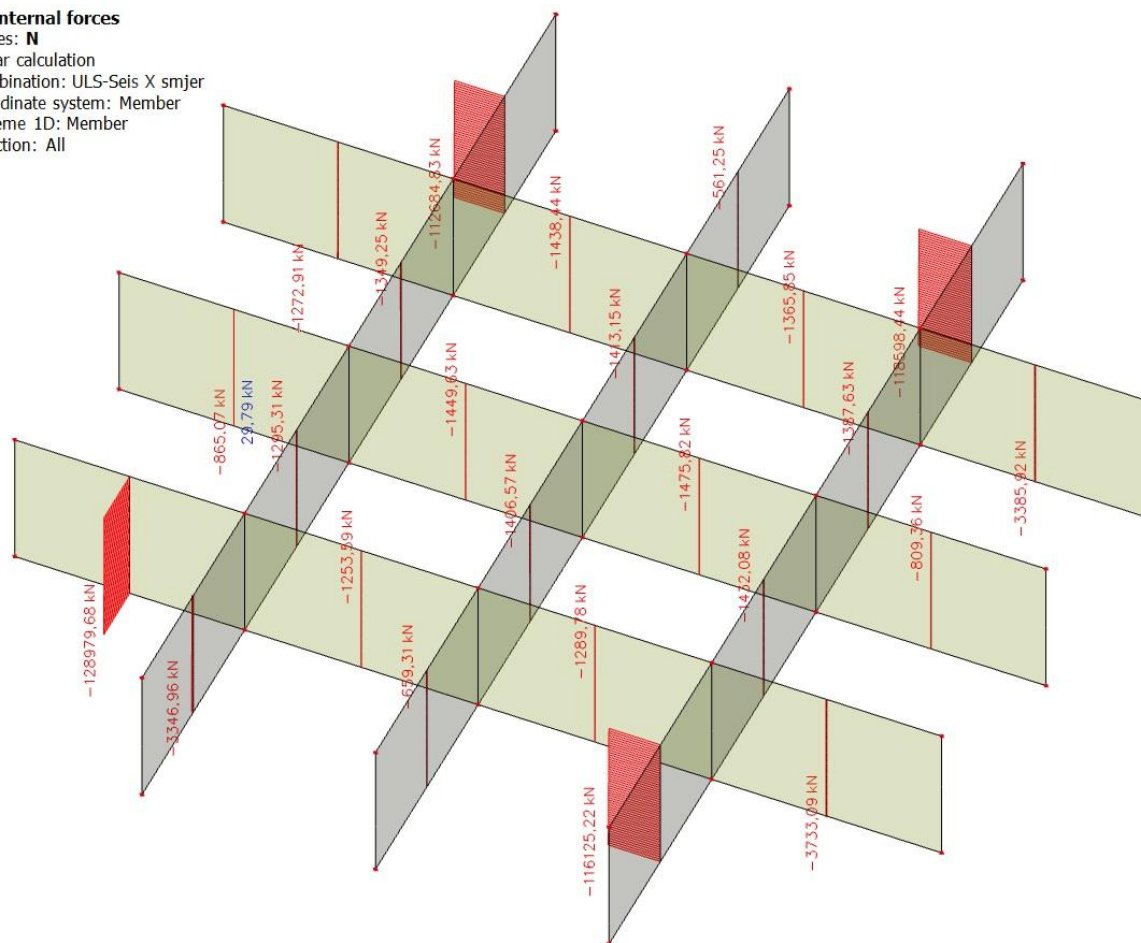
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 82.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – zid 1c

1D internal forces

Values: **N**

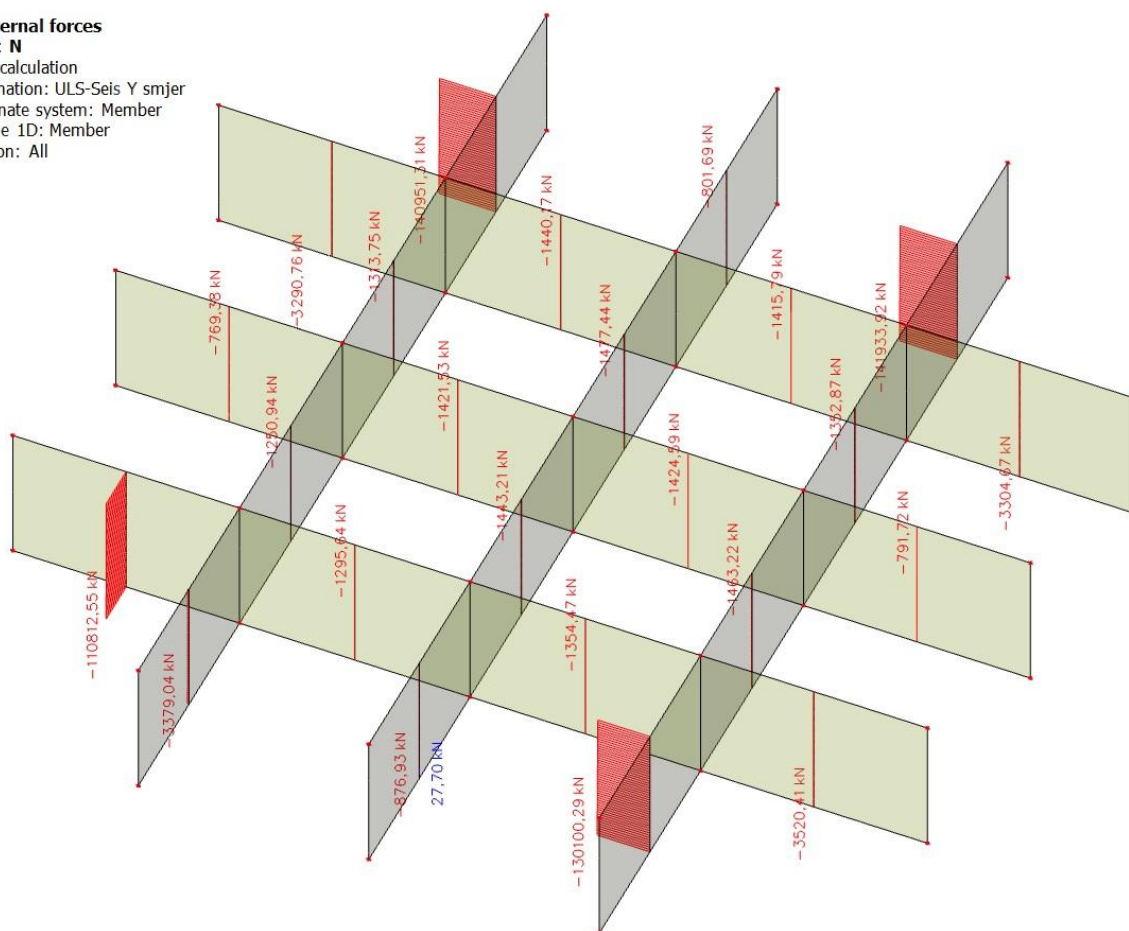
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

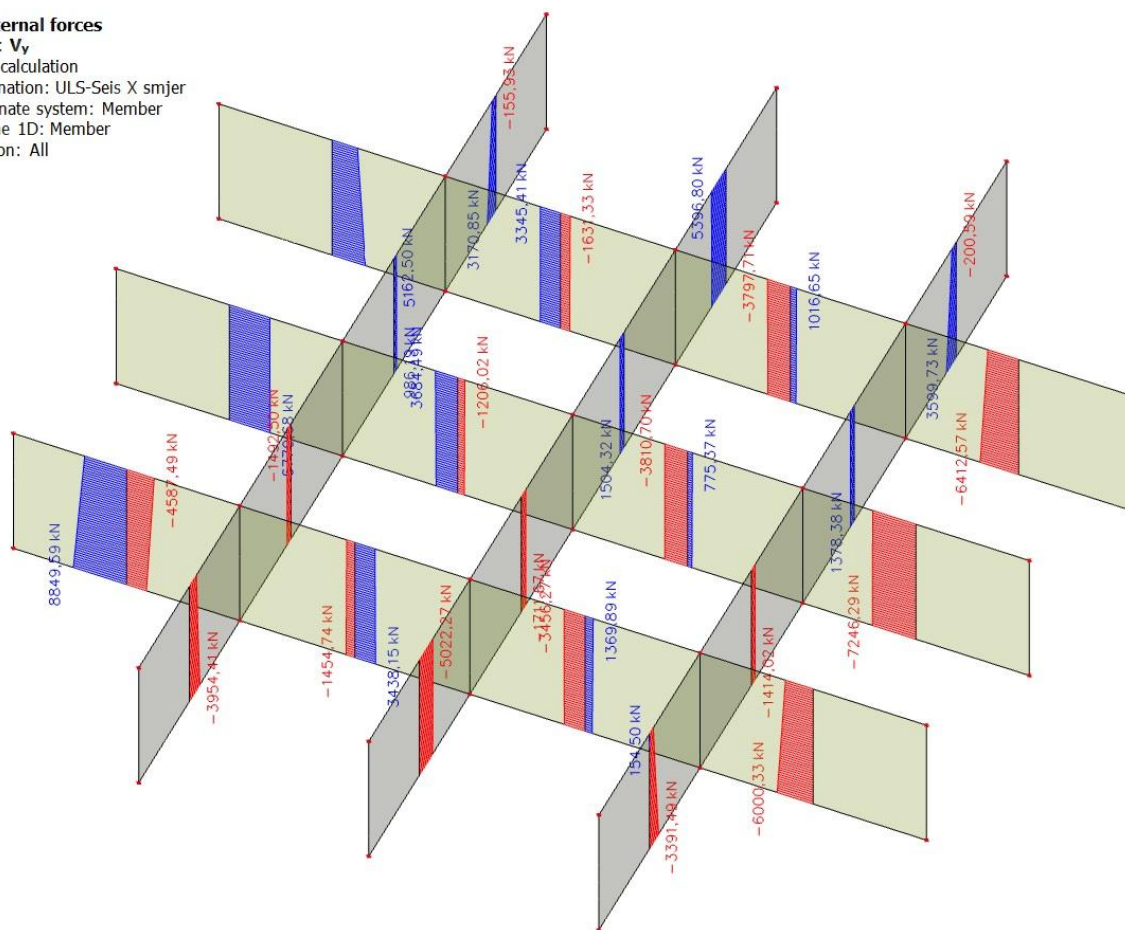
Selection: All



Slika 83.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – zid 2c

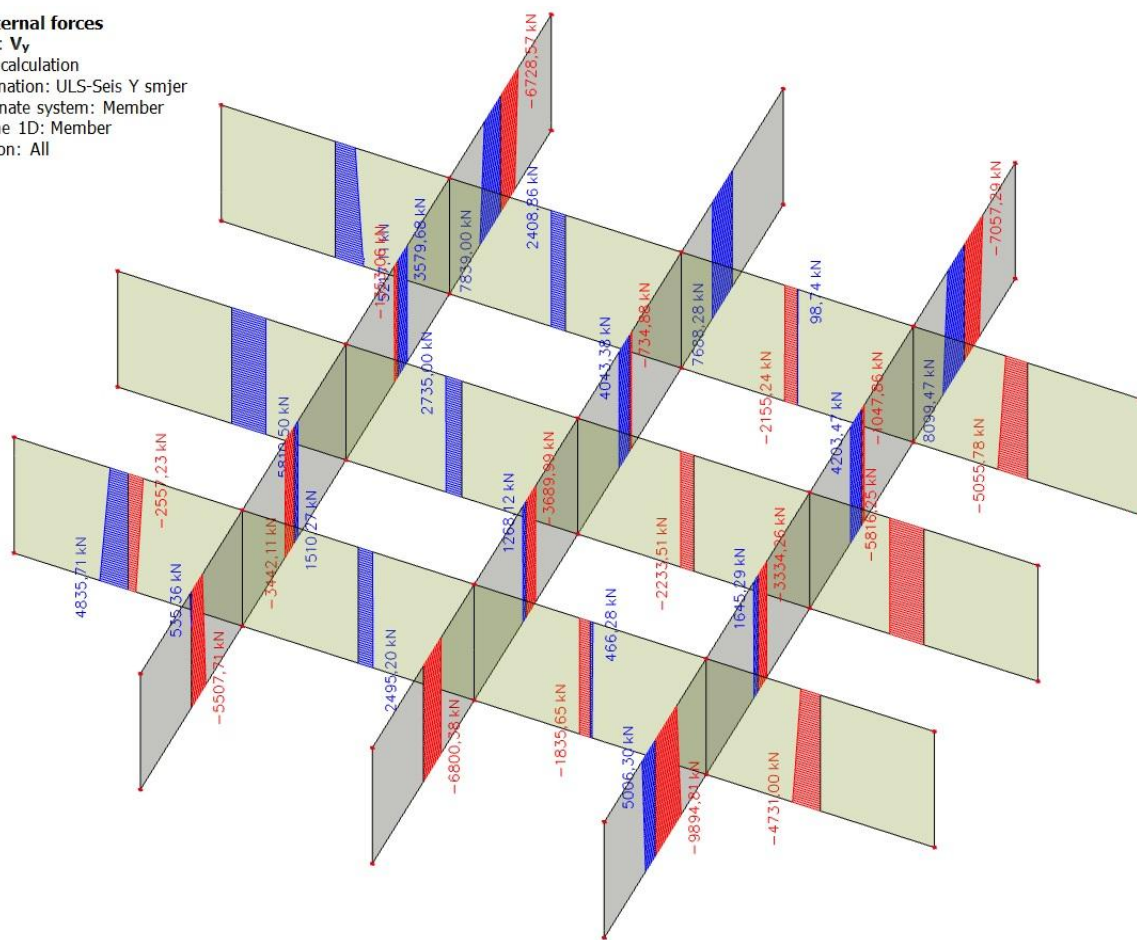
1D internal forces

Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 84.: Posmična sila u ravni (Seizmička kombinacija X) – zid 1c

1D internal forces
 Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 85.: Posmična sila u ravni (Seizmička kombinacija Y) – zid 1f

1D internal forces

Values: M_z

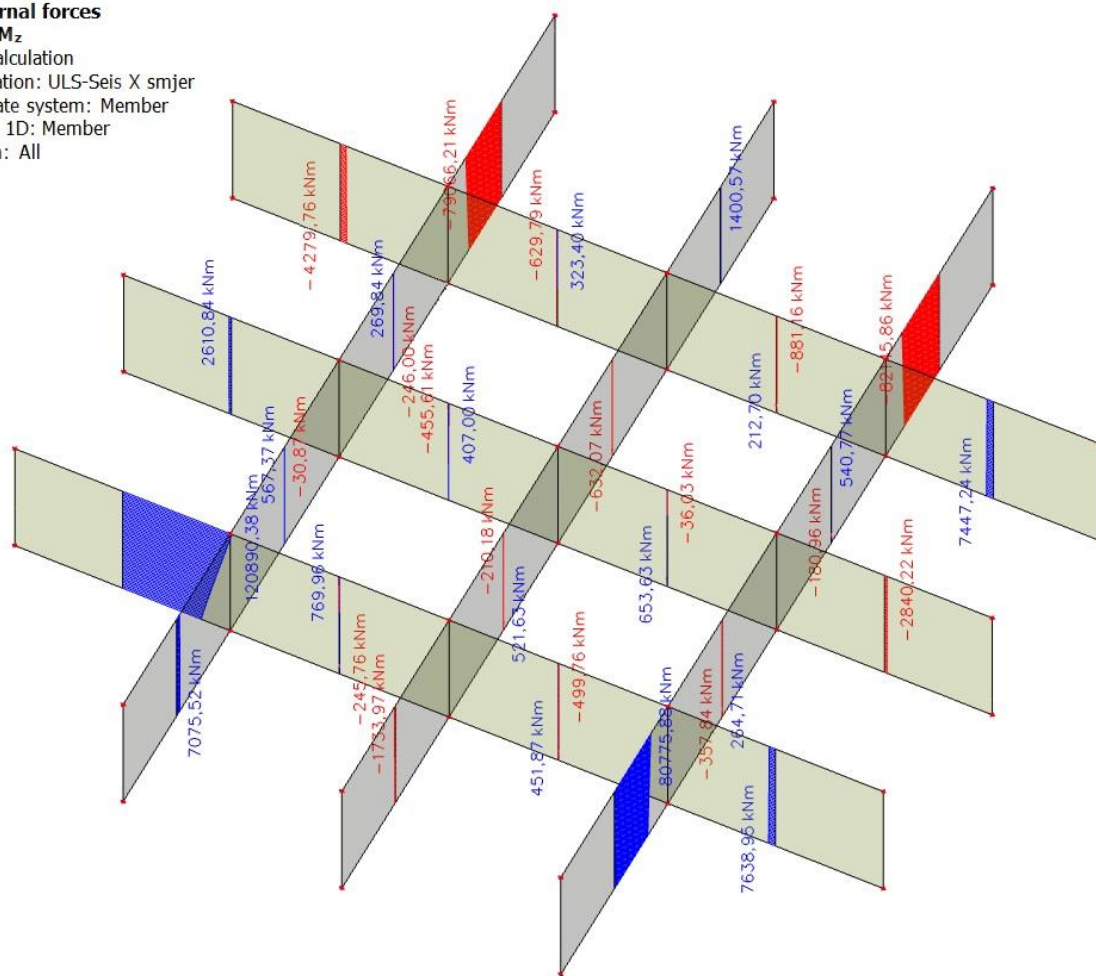
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 86. Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija X) - zid 1c

1D internal forces

Values: M_z

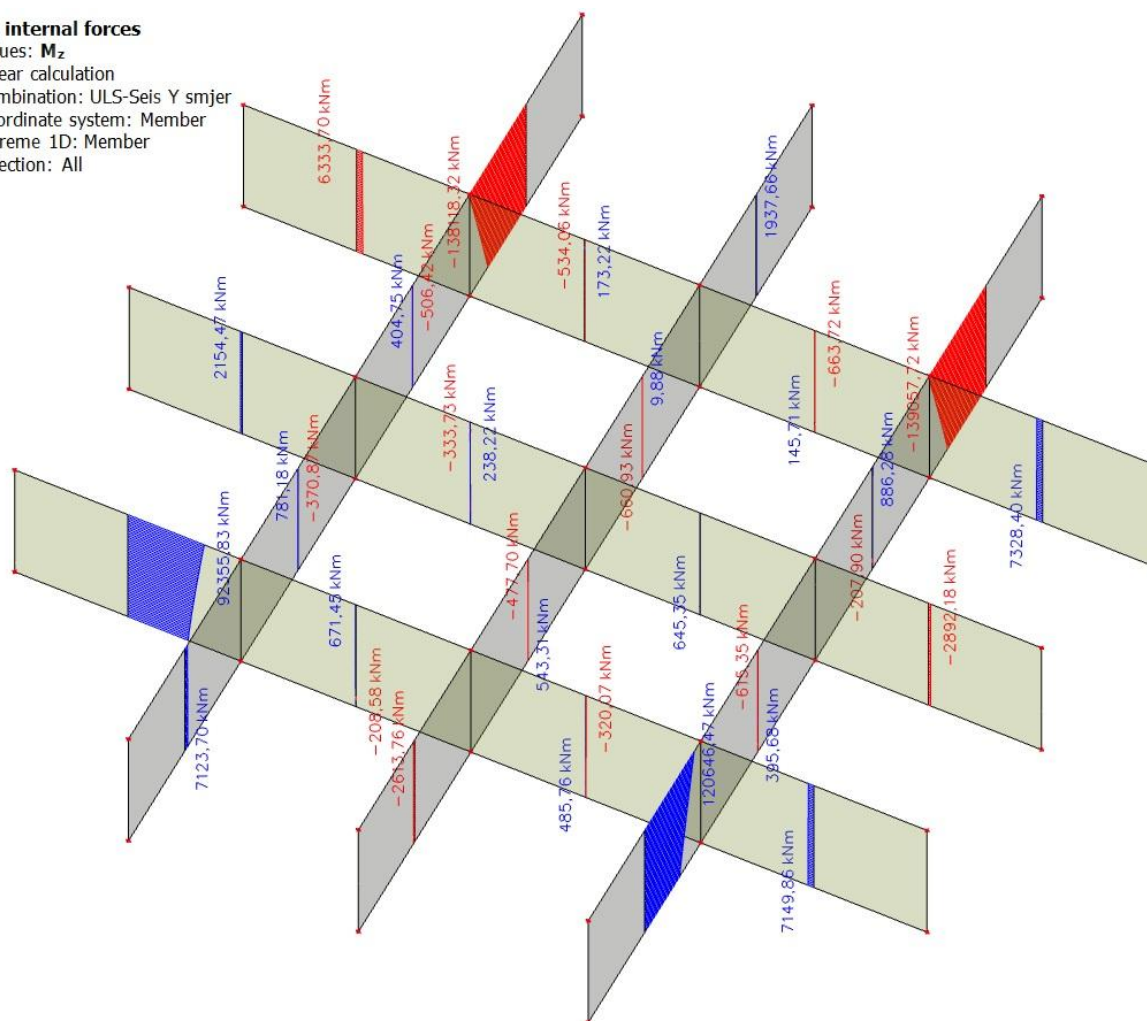
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 87.: Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija Y) - zid 2c

1D internal forces

Values: M_y

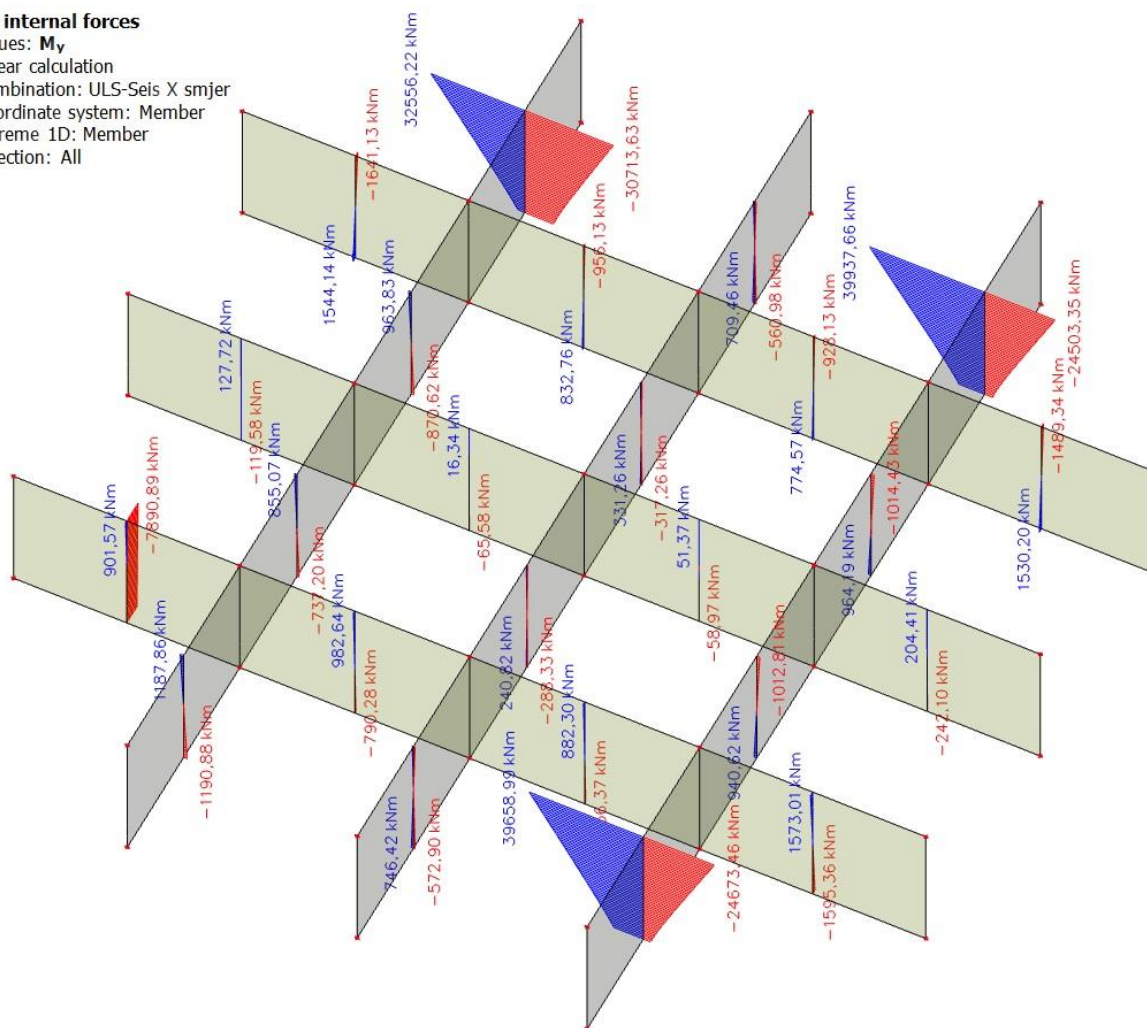
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 88.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - zid 2c

1D internal forces

Values: M_y

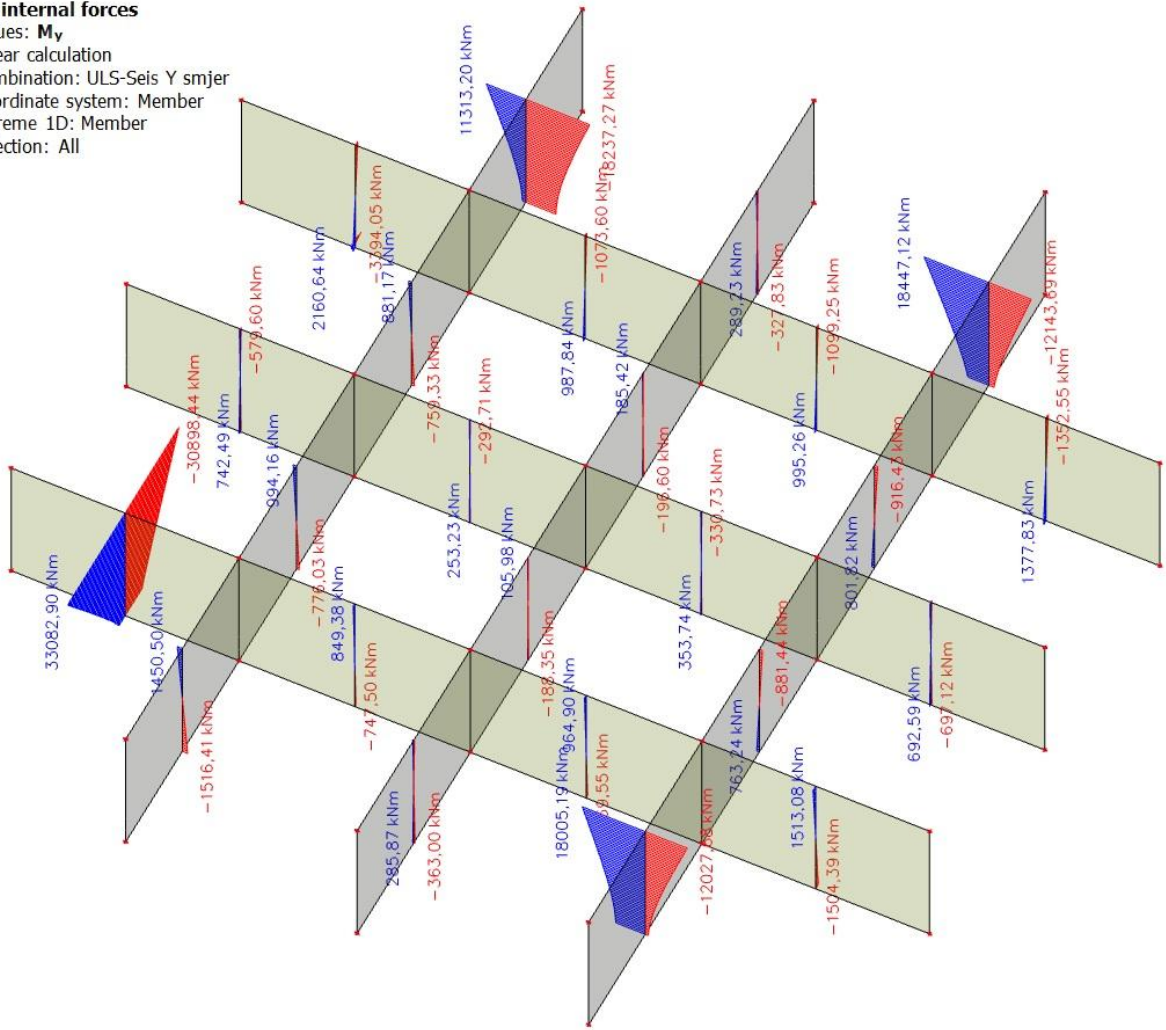
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All

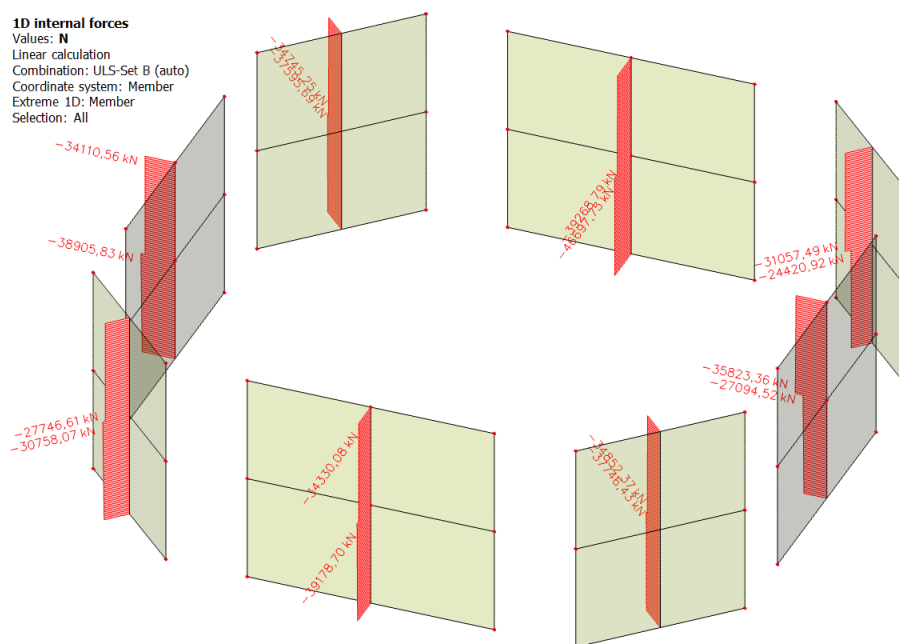


Slika 89.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - zid 1c

3.5.4.3. Ispis unutrašnjih sila obodnih zidova

Na sljedećim ispisima unutrašnjih sila prikazani su svi obodni zidovi obje razine zidova u prvom pojasu od razine temelja.

U opisu slike je izdvojen element sa mjerodavnom vrijednosti promatrane unutrašnje sile.



Slika 90.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – zid 6a

1D internal forces

Values: **N**

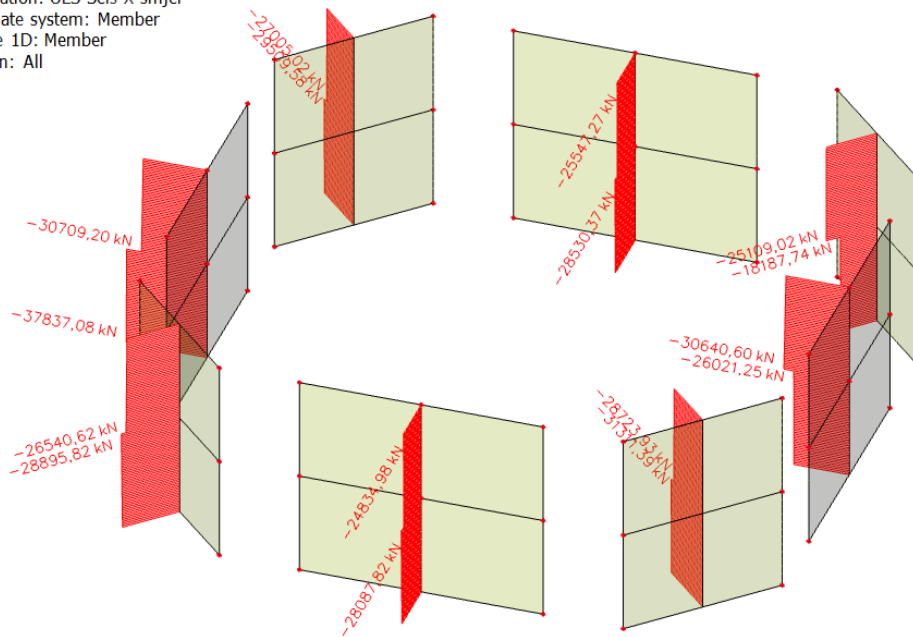
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 91.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – zid 6d

1D internal forces

Values: **N**

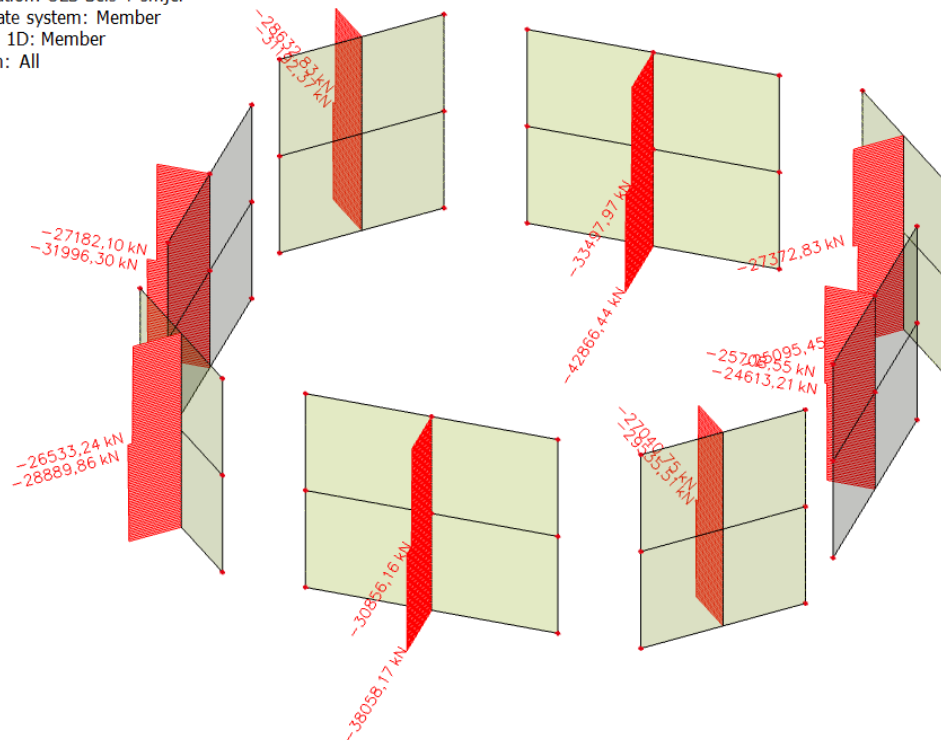
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

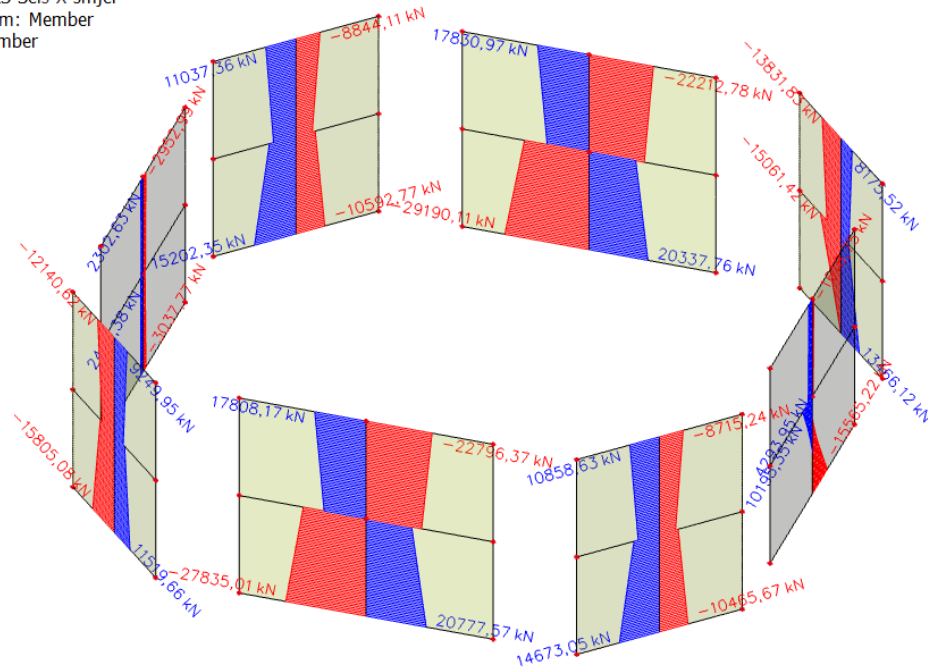
Selection: All



Slika 92.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – zid 6a

1D internal forces

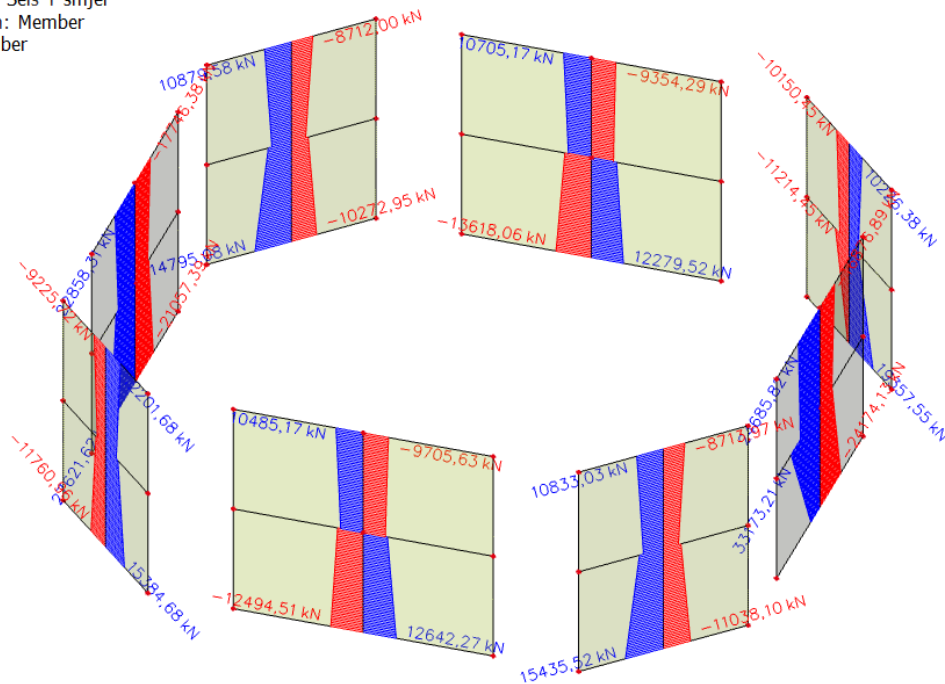
Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 93.: Posmična sila u ravni (Seizmička kombinacija X) – zid 6a

1D internal forces

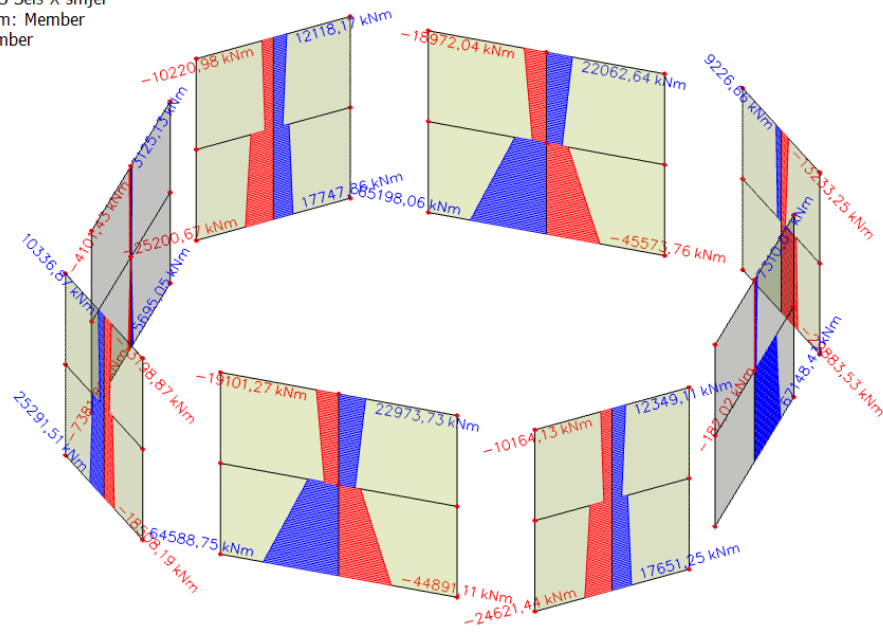
Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 94.: Posmična sila u ravni (Seizmička kombinacija Y) – zid 6b

1D internal forces

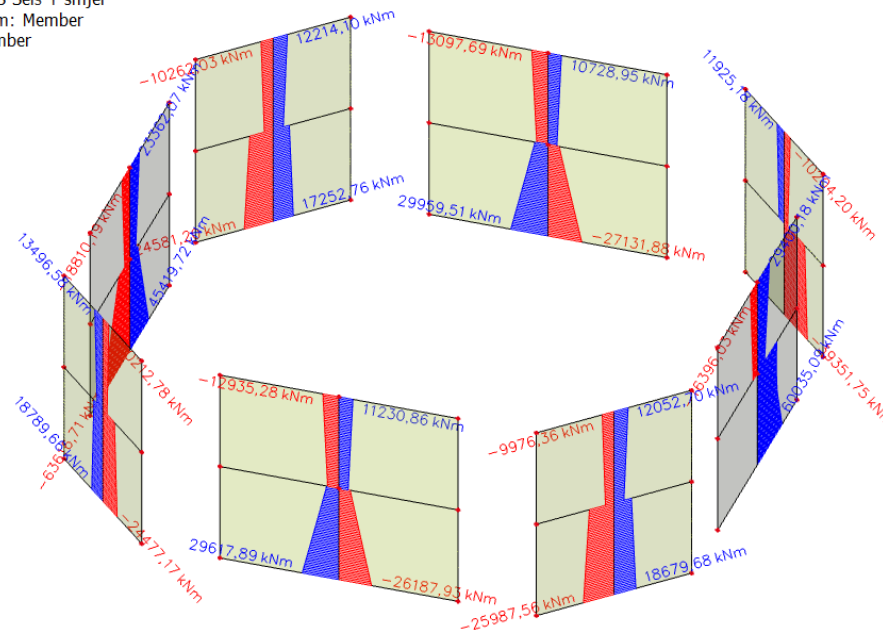
Values: M_z
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 95.: Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija X) - zid 6a

1D internal forces

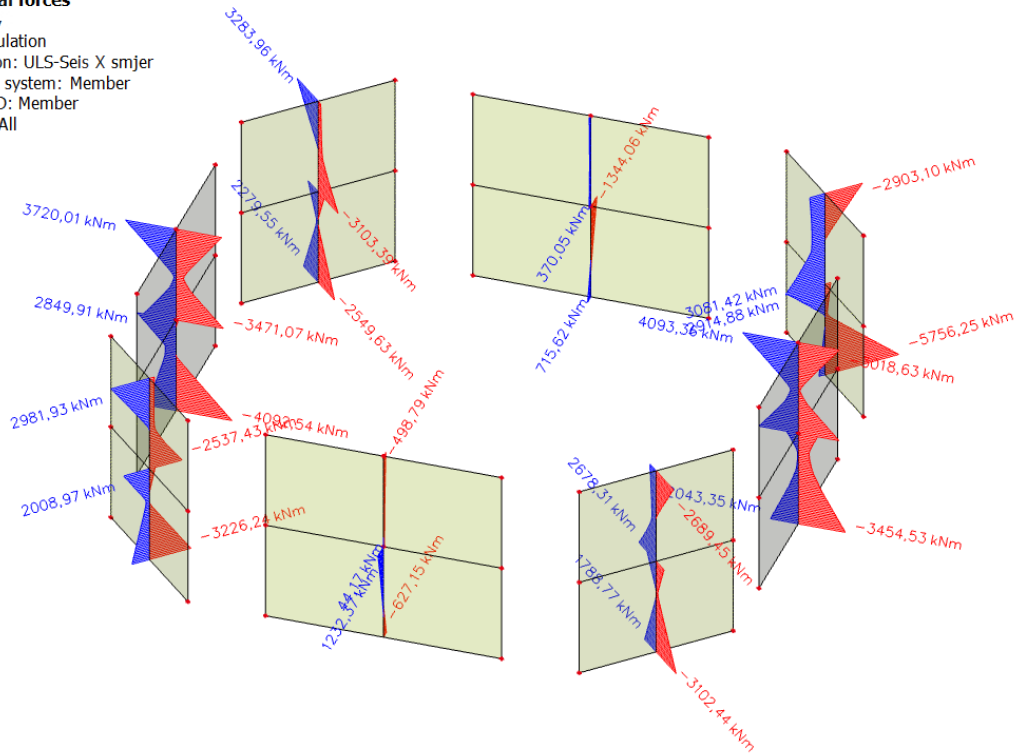
Values: M_z
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 96.: Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija Y) - zid 6b

1D internal forces

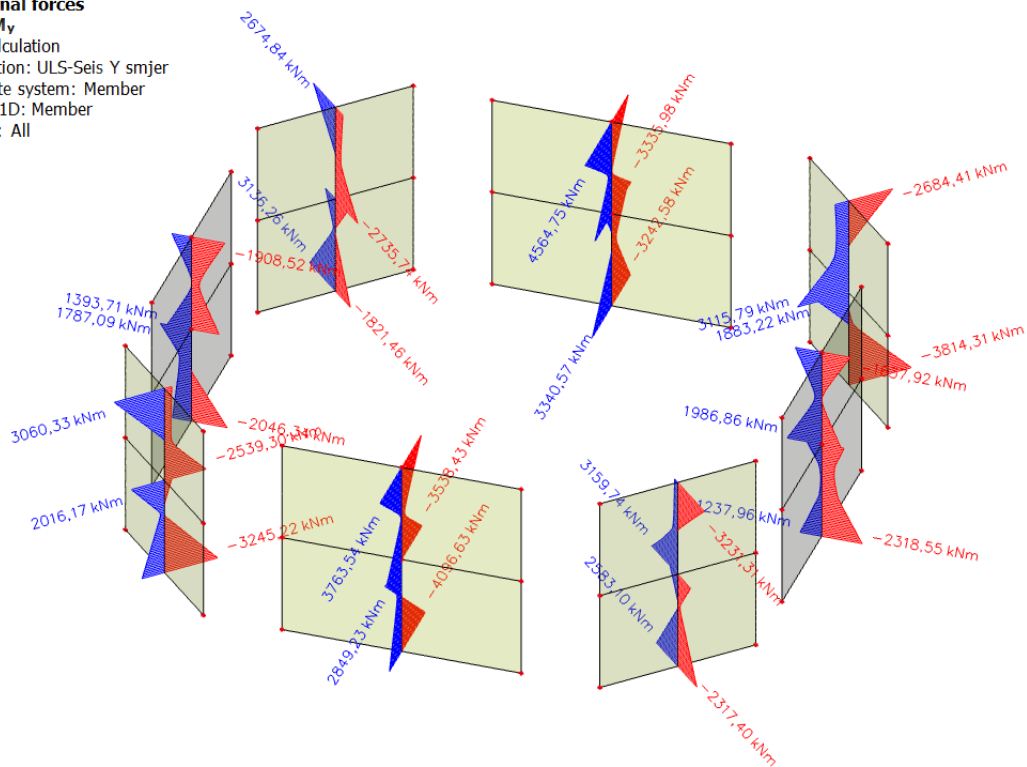
Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 97.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - zid 6b

1D internal forces

Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All

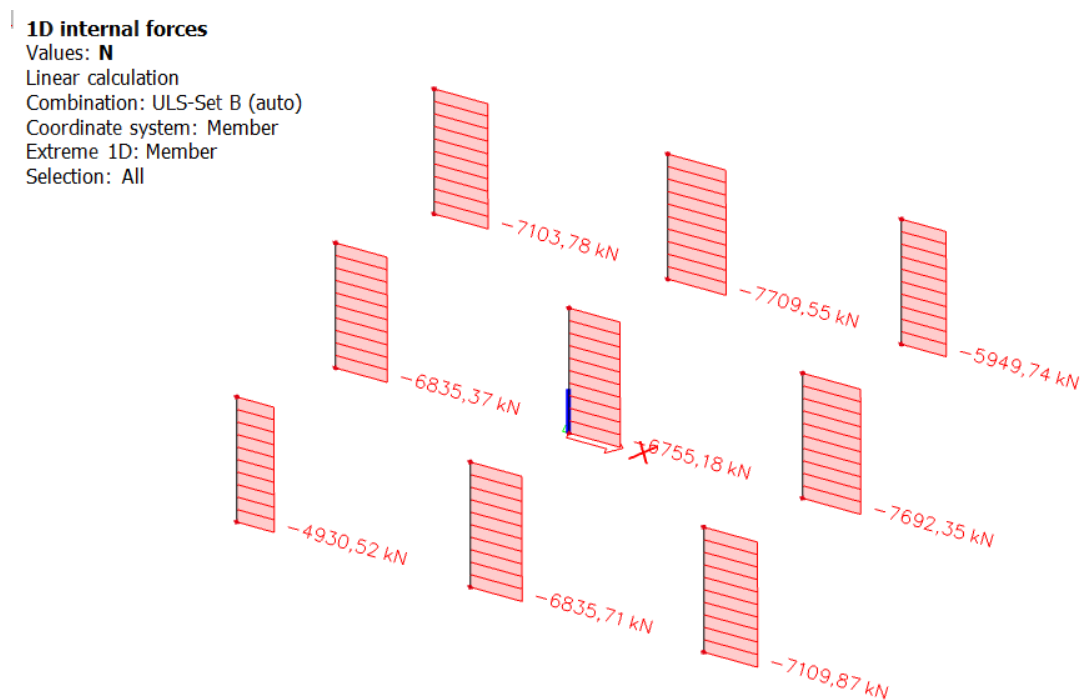


Slika 98.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - zid 6a

3.5.4.4. Ispis unutrašnjih sila malih stupova

Na sljedećim ispisima unutrašnjih sila prikazani su svi mali stupovi na razinama gdje se nalaze maksimalne vrijednosti unutrašnjih sila.

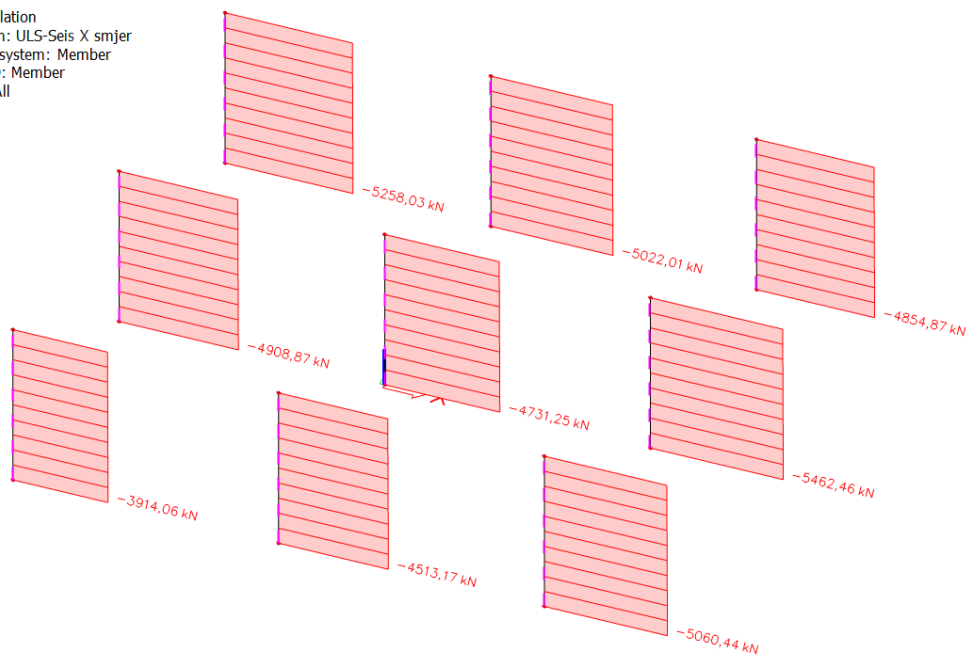
U opisu slike je izdvojen element sa mjerodavnom vrijednosti promatrane unutrašnje sile.



Slika 99. Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – etaža 1, stup M2

1D internal forces

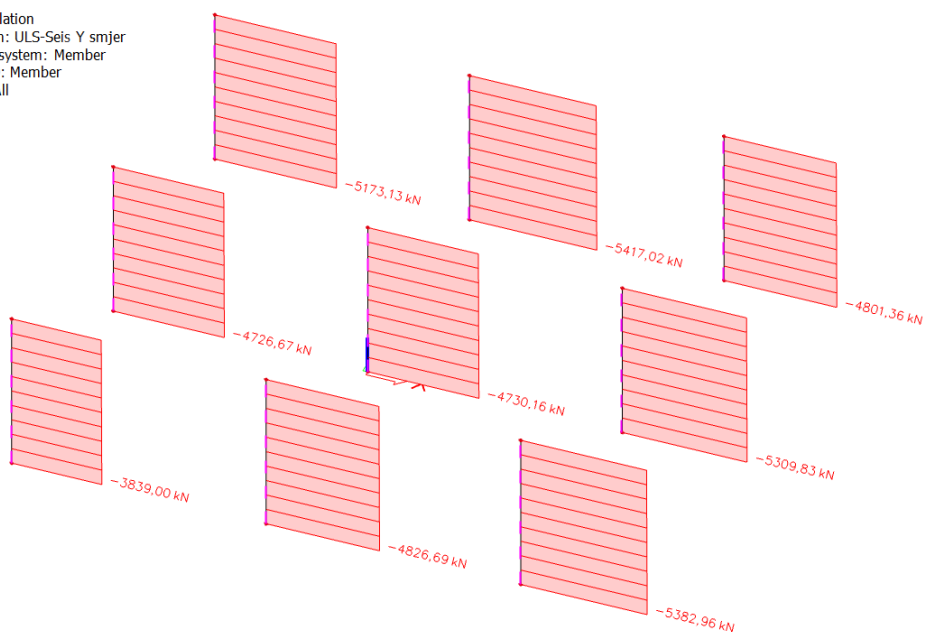
Values: **N**
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 100.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – etaža 1, stup M6

1D internal forces

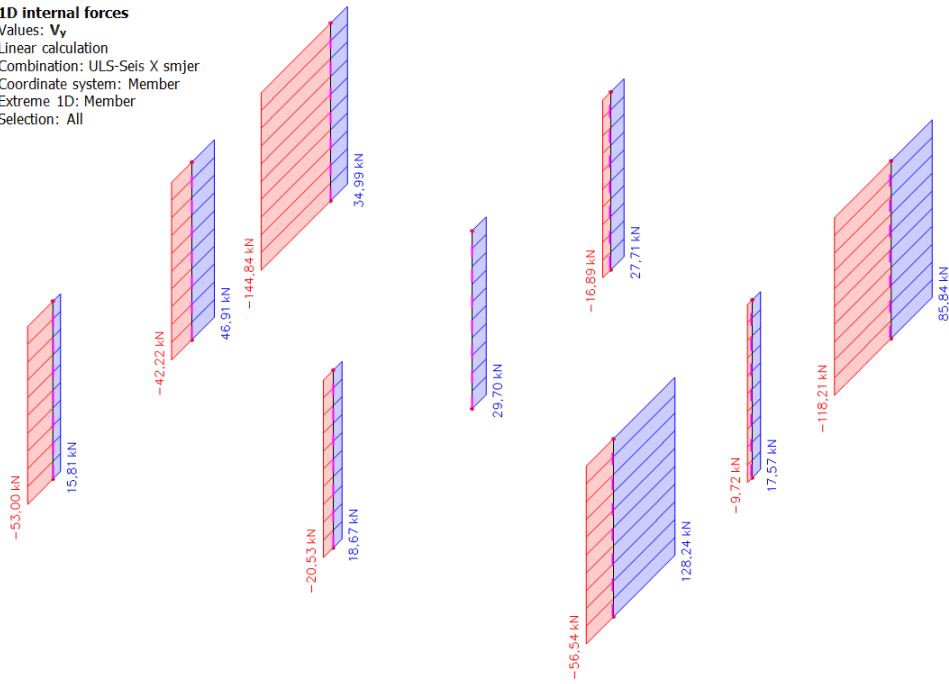
Values: **N**
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 101.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – etaža 1, stup M2

1D internal forces

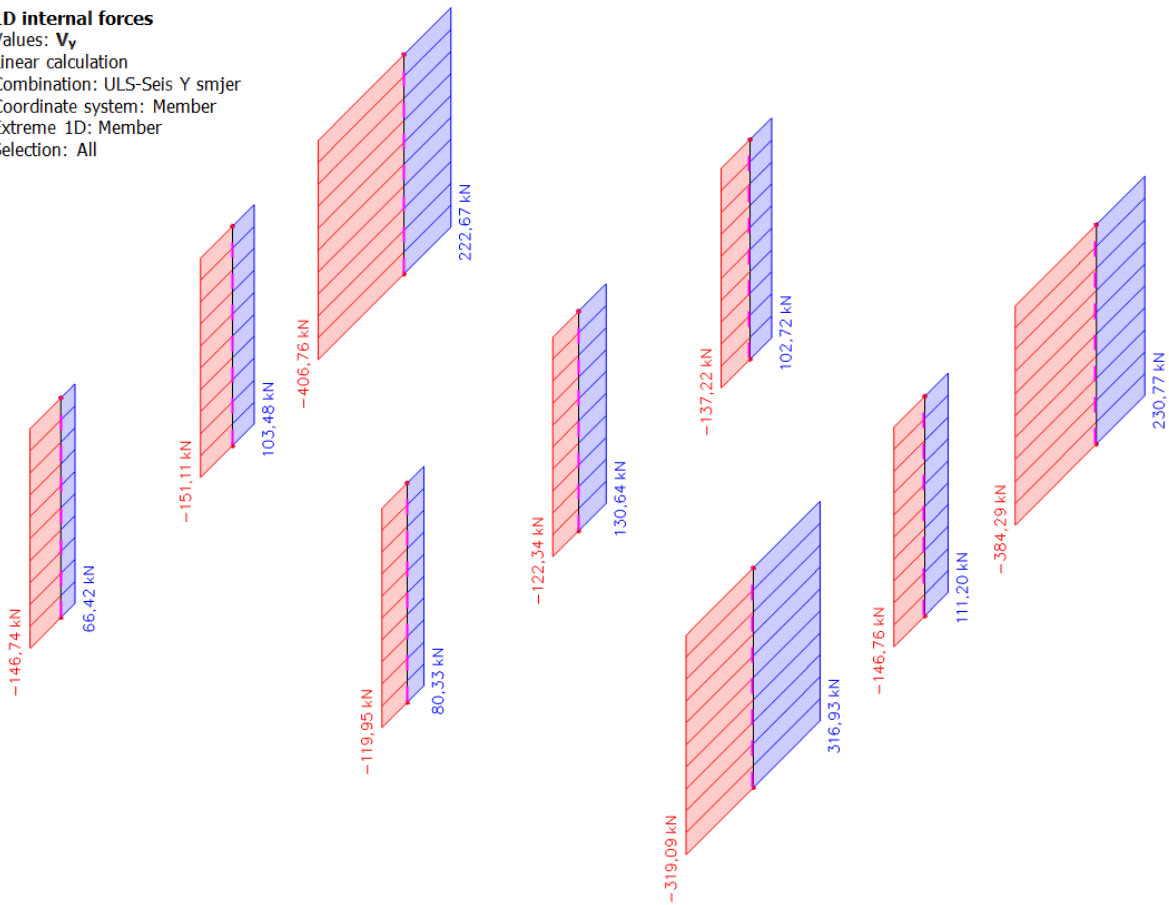
Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 102.: Posmična sila u ravni (Seizmička kombinacija X) – etaža 13, stup M1

1D internal forces

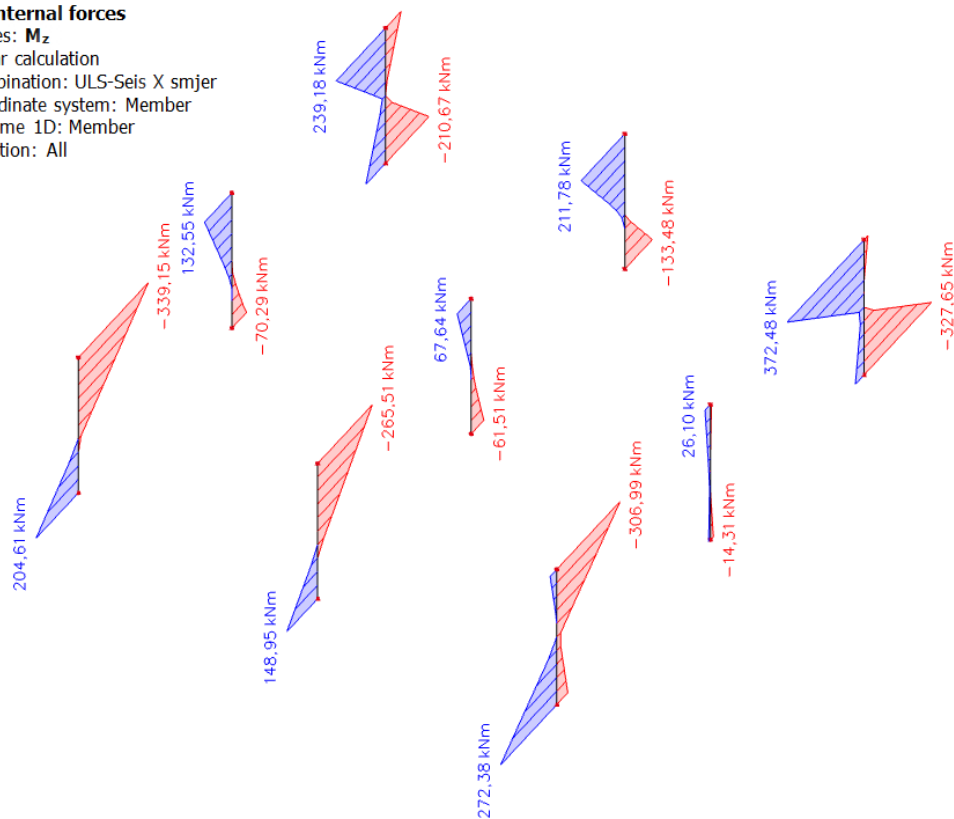
Values: V_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 103.: Posmična sila u ravni (Seizmička kombinacija Y) – etaža 13, stup M1

1D internal forces

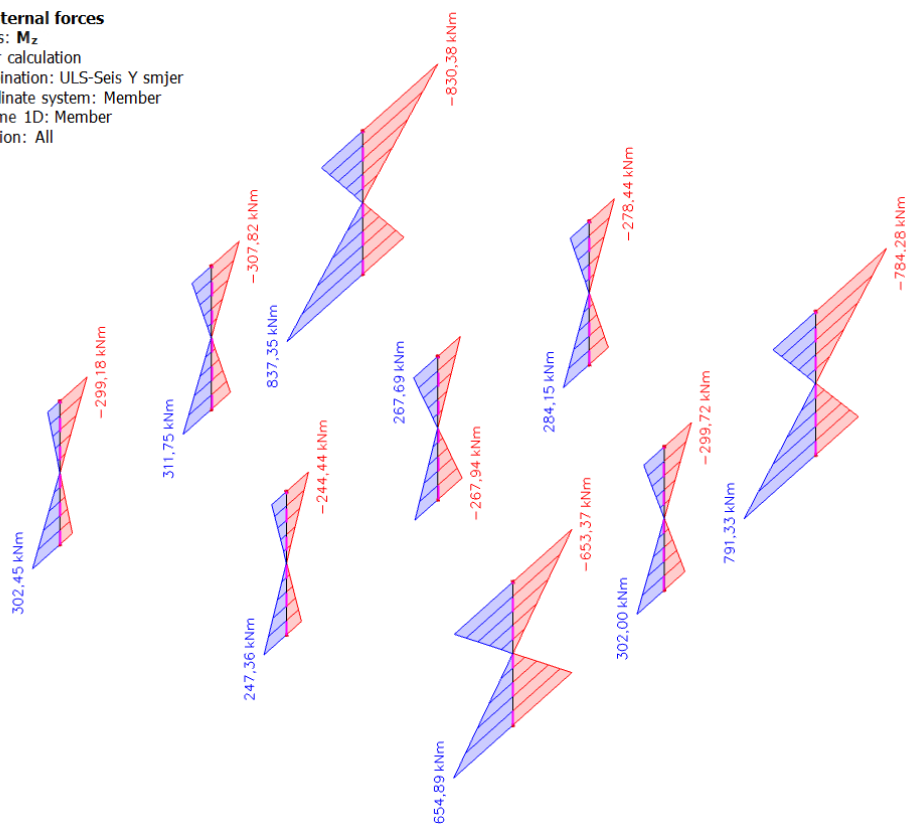
Values: M_z
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 104.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija X) – etaža 13, stup M7

1D internal forces

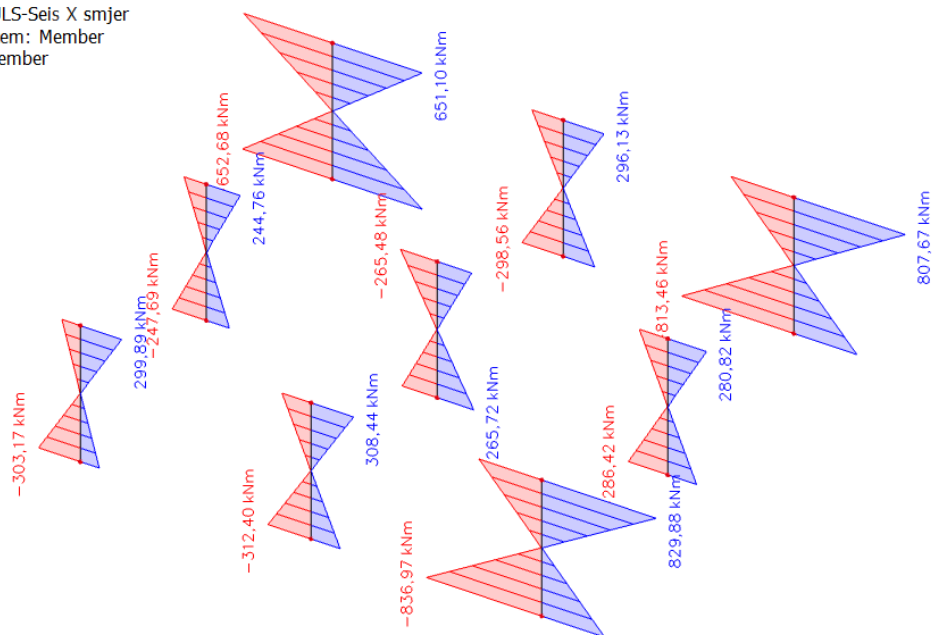
Values: M_z
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 105.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija Y) - etaža 7, stup M1

1D internal forces

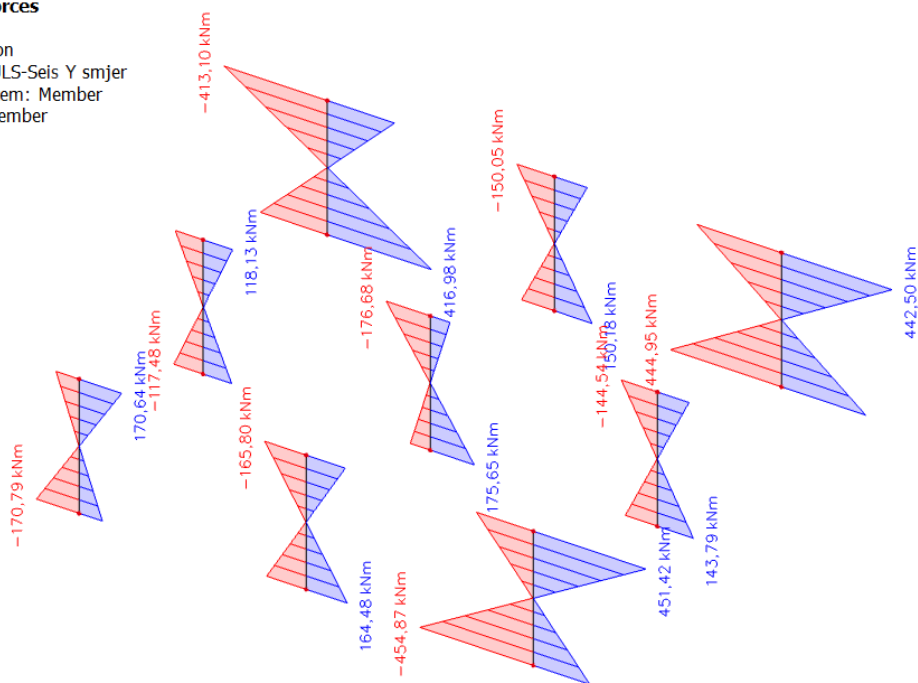
Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis X smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 106.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - etaža 7, stup M9

1D internal forces

Values: M_y
 Linear calculation
 Combination: ULS-Seis Y smjer
 Coordinate system: Member
 Extreme 1D: Member
 Selection: All



Slika 107.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - etaža 7, stup M9

3.5.4.5. Ispis unutrašnjih sila velikih stupova

Na sljedećim ispisima unutrašnjih sila prikazani su svi veliki stupovi na razinama gdje se nalaze maksimalne vrijednosti unutrašnjih sila.

U opisu slike je izdvojen element sa mjerodavnom vrijednosti promatrane unutrašnje sile.

1D internal forcesValues: **N**

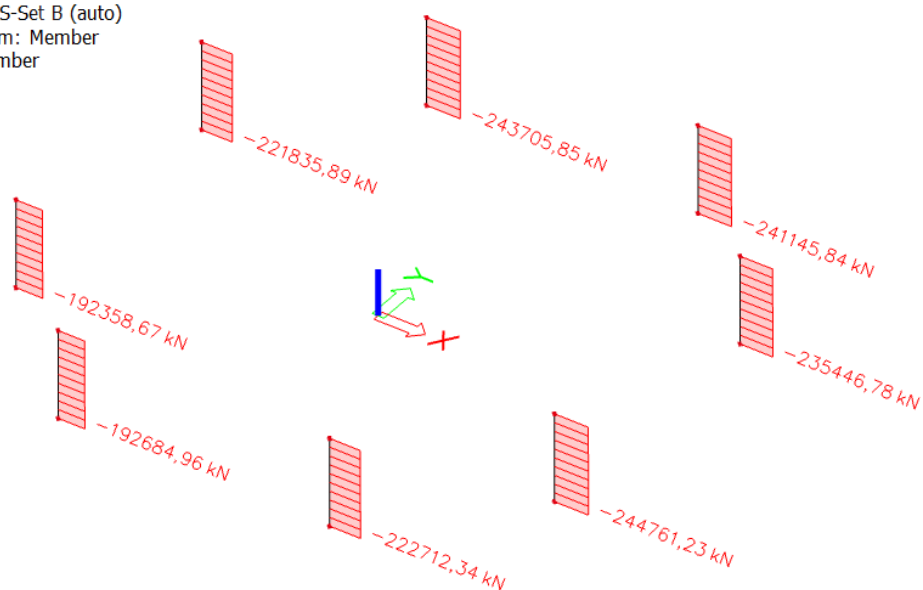
Linear calculation

Combination: ULS-Set B (auto)

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 108.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – etaža 1, stup S4

1D internal forces

Values: **N**

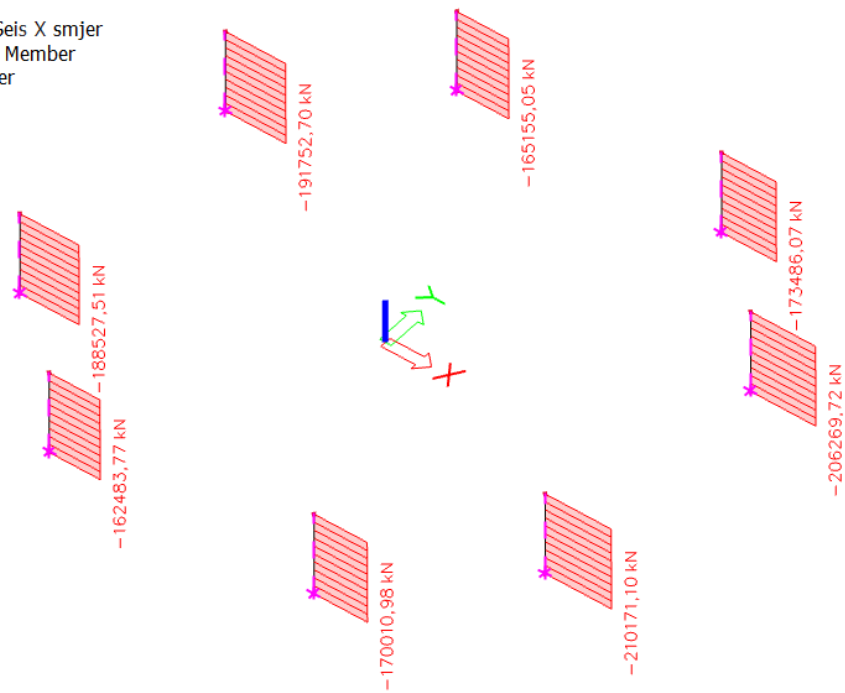
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 109.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – etaža 1, stup S4

1D internal forces

Values: **N**

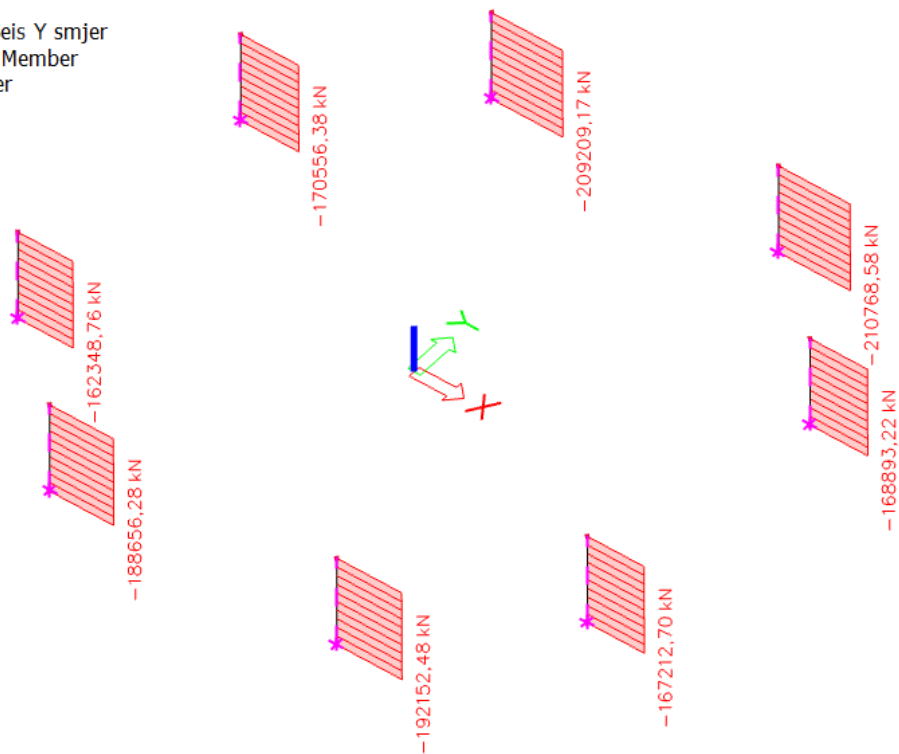
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 110.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – etaža 1, stup S2

1D internal forces

Values: V_y

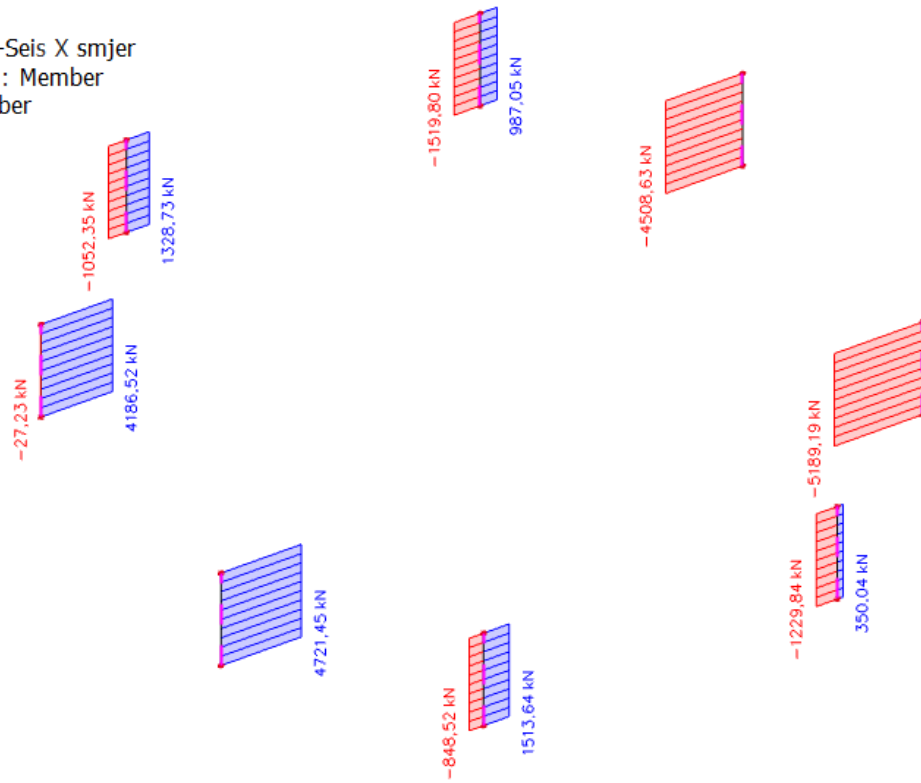
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 111.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija X) – etaža 14, stup S2

1D internal forces

Values: V_y

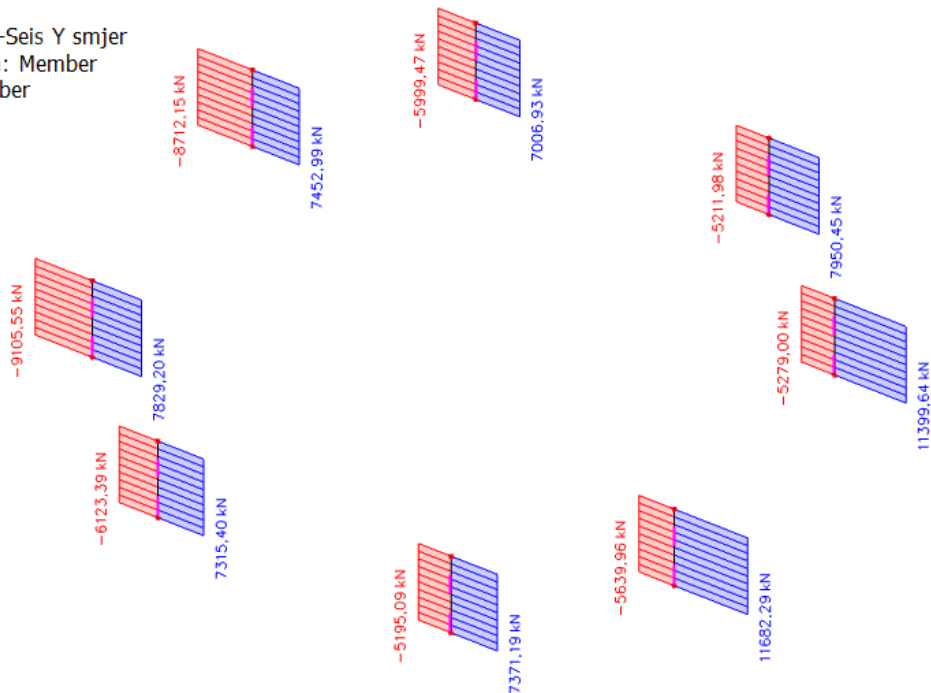
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 112.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija Y) – etaža 15, stup S2

1D internal forces

Values: M_z

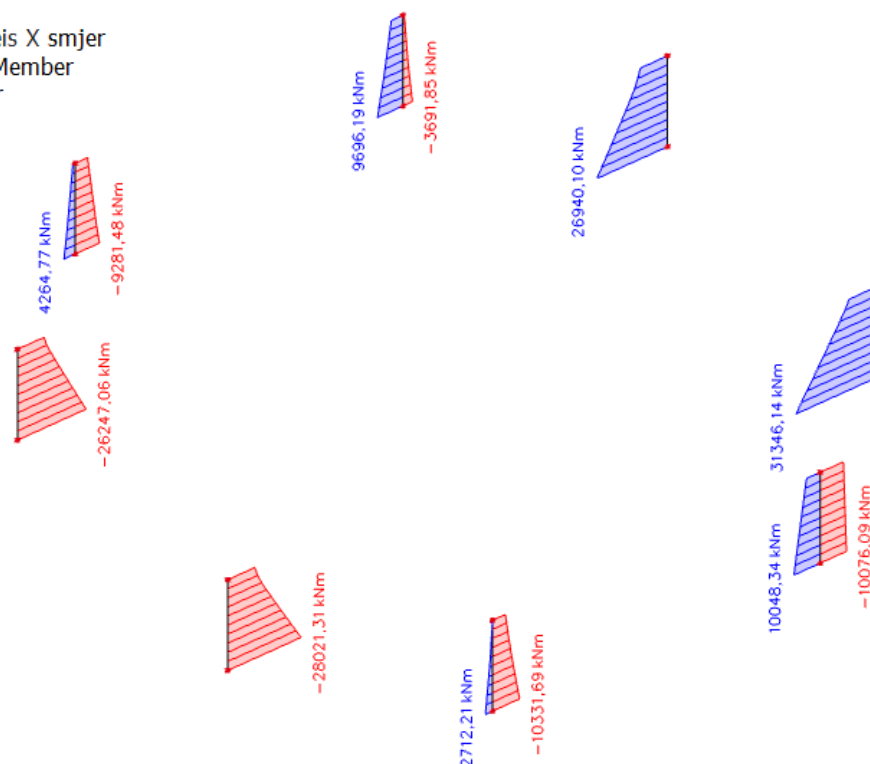
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 113.: Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija X) – etaža 14, stup S2

1D internal forces

Values: M_z

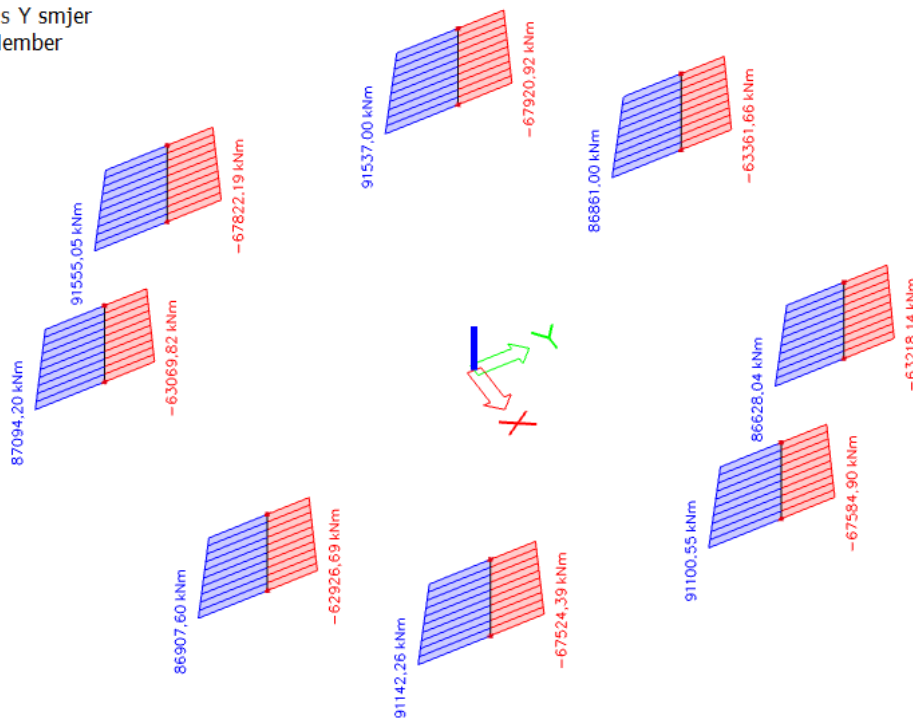
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 114.: Moment savijanja u ravni (Seizmička kombinacija Y) - etaža 1, stup S7

1D internal forces

Values: M_y

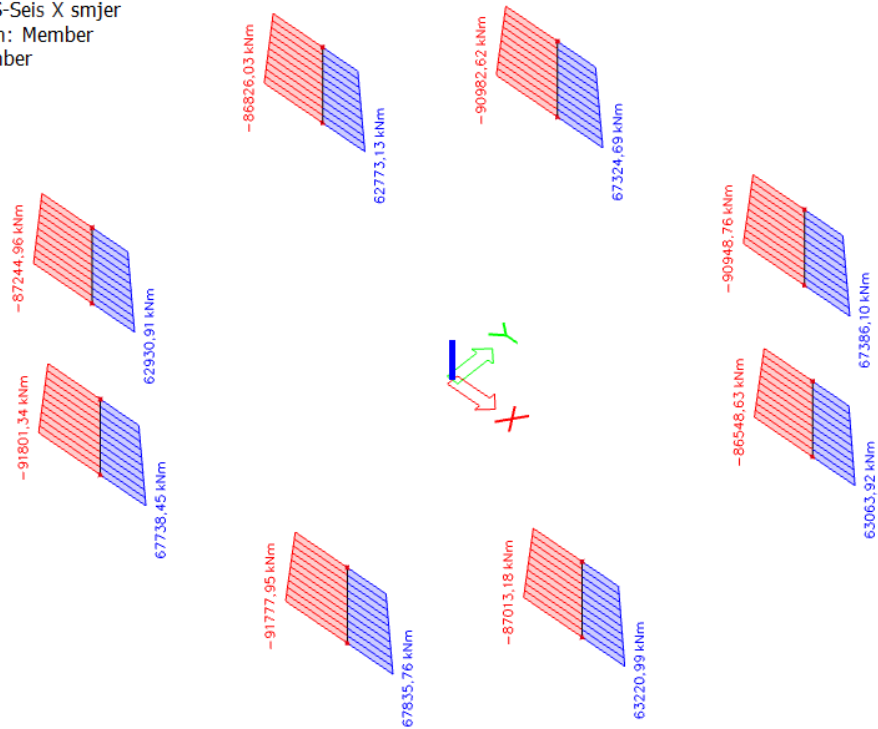
Linear calculation

Combination: ULS-Seis X smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 115.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - etaža 1, stup S6

1D internal forces

Values: M_y

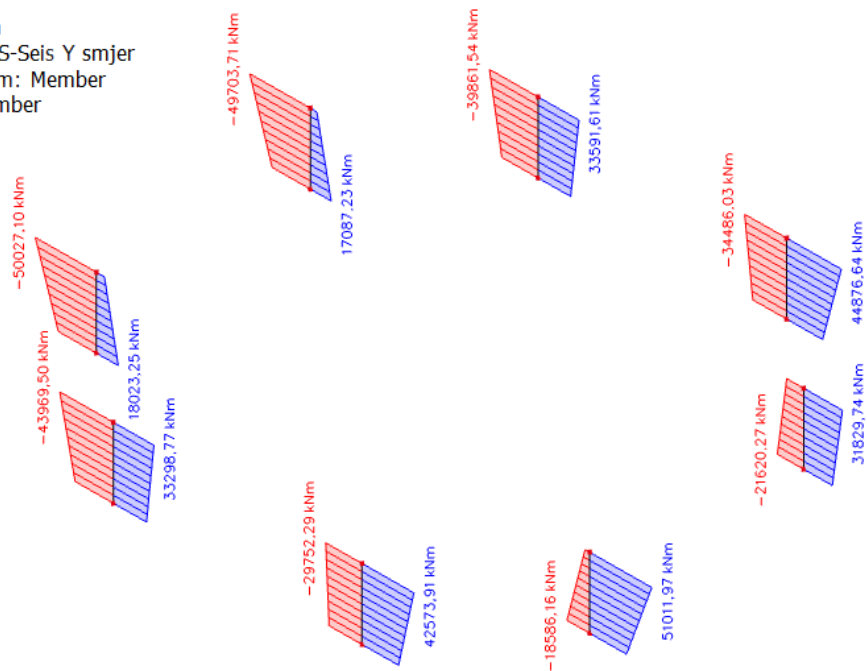
Linear calculation

Combination: ULS-Seis Y smjer

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Member

Selection: All



Slika 116.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - etaža 13, stup S7

3.6. Dimenzioniranje elemenata ploče, poprečnih i obodnih zidova, te malih i velikih stupova (GSN I GSU)

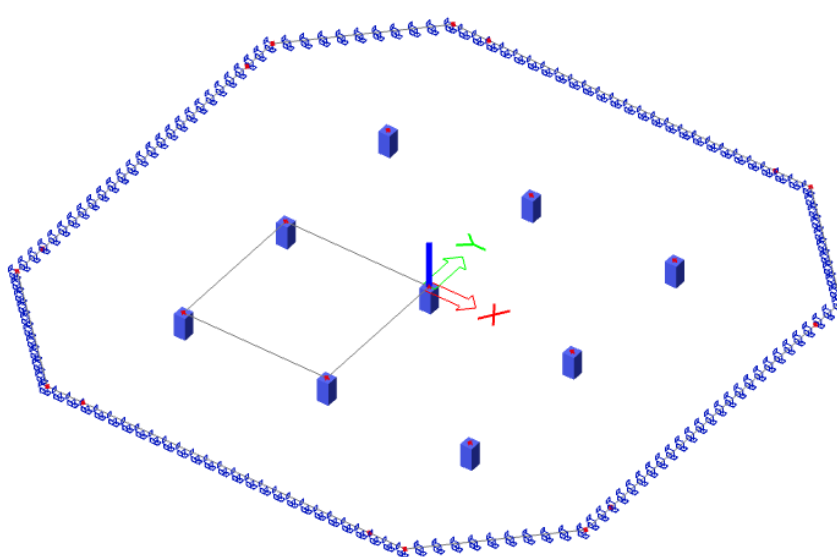
3.6.1. Dimenzioniranje AB ploče (GSN) – lokalni model ploče

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 konstrukcijskih greda koje povezuju ploču sa velikim stupovima, postavljeni su linijski ležajevi, kao i na rubovima otvora za stubište i dizala. Na mjestima stubišta 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).

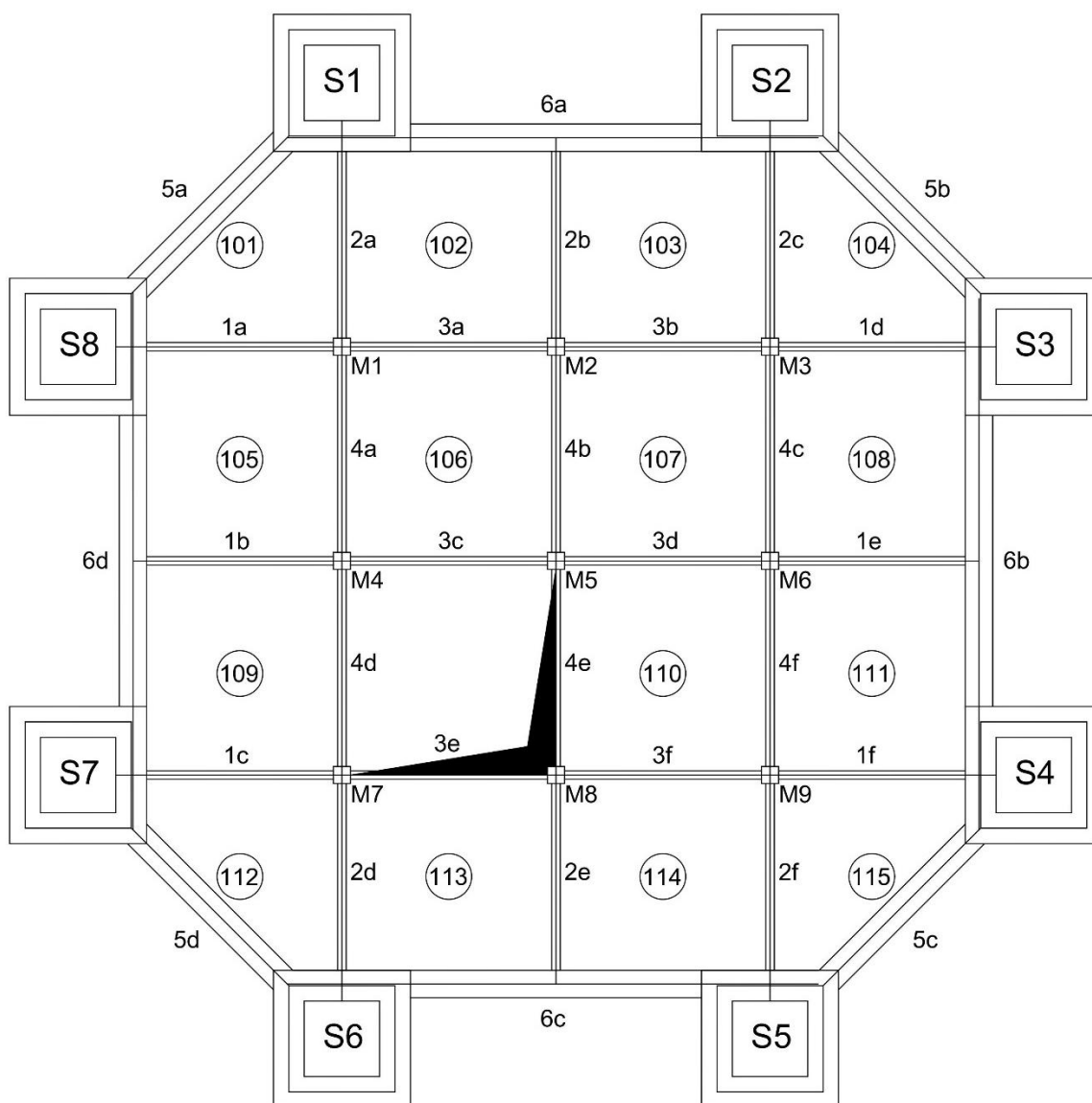
Ploča je podijeljena na pozicije 101-115 vidljivo na slici 118., za koje je proračunata armatura. Proračunate su samo određene pozicije, jer je oko osi X i Y ploča simetrična. Na mjestima oslonaca proveden je proračun uzdužne i poprečne armature, te provjera na proboj na mjestima gdje se ploča oslanja 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 117.: Prikaz lokalnog modela ploče u programu SCIA Engineer



Slika 118.: Prikaz oznaka elemenata na tlocrtu ploče za dimenzioniranje

3.6.1.1. 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

Δc_{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:

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

gdje je iz [9]:

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

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

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

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

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

Za beton klase C30/37,, razred izloženosti XC1 i pločasti element iz tablice 41. je određen razred konstrukcije S4. Iz tablice 42. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S4 i razreda izloženosti XC1, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša

$c_{\text{min,dur}}$

$$c_{\text{min,dur}} = 15,0 \text{ mm}$$

Tablica 23.: 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 ¹⁽²⁾	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C30/37 smanjiti razred za 1	≥ C35/45 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C40/50 smanjiti razred za 1	≥ C45/55 smanjiti razred za 1
Element pločaste geometrije (proces gradnje nema utjecaja na položaj armature)	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1
Osigurana posebna kontrola kvalitete proizvodnje betona	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1	smanjiti razred za 1
NAPOMENE: 1. Razred čvrstoće i vodocementni omjer međusobno su povezani. Smije se razmotriti poseban sastav (vrsta cementa, vodocementni omjer, fina punila) s namjerom postignuća male propusnosti. 2. Ograničenje se smije smanjiti za jedan razred čvrstoće ako je uvučenoga zraka više od 4 %.							

Tablica 24.: 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:

$$c_{min} = \max\{20,0; 15,0 + 0,0 - 0,0 - 0,0 = 15,0; 10,0 \text{ mm}\}$$

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

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

3.6.1.2. Materijal i geometrija ploče

Materijali

Razred čvrstoće betona: C50/60

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona: $f_{ck} = 50,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka: $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton: $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća: $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{50}{1,5} = 33,33 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća: $f_{cm} = 58,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
- 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): $d_y = 20,0 - 6,0 = 14,0 \text{ cm}$

3.6.1.3. Proračun uzdužne armature u polju ploče

Za proračun armature u polju ploče kao mjerodavna pozicija je uzeta poveznica pozicija 103/107 s maksimalnim momentom u smjeru X i poveznica pozicija 107/108 s maksimalnim momentom u smjeru Y. Za granično stanje nosivosti ploča se dimenzionira prema [9], te prema knjizi [19].

POZICIJA 103/107 – smjer X

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 28,94 \text{ kNm/m} = 2894,0 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2894,0}{100,0 \cdot 16,5^2 \cdot 3,33} = 0,0319 < \mu_{lim} = 0,296$$

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]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2894,0}{0,977 \cdot 16,5 \cdot 43,478} = 4,13 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armature, [19]:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 16,5 = 2,15 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{4,1}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 16,5 = 3,52 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 3,52 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armature, [19]:

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

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 16,5 \cdot \frac{33,33}{434,78} = 46,17 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura: Q524 ($A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2$)

Uvjet: $A_{s1,min} = 3,52 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$

POZICIJA 107/108 – smjer Y

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 28,94 \text{ kNm/m} = 2894,0 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2894,0}{100,0 \cdot 15,5^2 \cdot 3,33} = 0,0362 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

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

Očitano, [19]:

$$\varepsilon_c = -1,5 \qquad \xi = 0,070$$

$$\varepsilon_{s1} = 20,0 \qquad \zeta = 0,975$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2894,0}{0,975 \cdot 15,5 \cdot 43,478} = 4,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$A_{s1,min} = 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 15,5 = 2,02 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{4,1}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 15,5 = 3,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 3,31 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

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

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 15,5 \cdot \frac{33,33}{434,78} = 43,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 43,37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura: Q524 ($A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2$)

Uvjet: $A_{s1,min} = 3,31 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 43,37 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zaključak: Na mjestu najvećeg momenta savijanja odabrana je armatura Q524. Radi jednostavnosti, ista armatura je odabrana za ostala polja ploče.

3.6.1.4. Proračun uzdužne nad ležajem ploče

Za proračun uzdužne armature nad ležajem ploče kao mjerodavna pozicija je uzeta pozicija M6 s najvećim negativnim momentom u X smjeru, te pozicija M2 s najvećim negativnim momentom u Y smjeru. Obje vrijednosti momenta su iste. 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 M6 – smjer X

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,x} = 149,23 \text{ kNm/m} = 14923 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14923,0}{100,0 \cdot 16,0^2 \cdot 3,33} = 0,1751 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,176$$

Očitano, [19]:

$$\begin{array}{ll} \varepsilon_c = -3,5 & \xi = 0,241 \\ \varepsilon_{s1} = 11,0 & \zeta = 0,900 \end{array}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,x}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14923,0}{0,900 \cdot 16,0 \cdot 43,478} = 23,84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

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

$$A_{s1,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{4,1}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 16,0 = 3,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 3,41 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

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

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

$$A_{s1,max} = \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 16,0 \cdot \frac{33,33}{434,78} = 44,77 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura: $\phi 20/10,0 \text{ cm}$ ($A_{s1,prov} = 31,4 \text{ cm}^2$)

Uvjet: $A_{s1,min} = 3,41 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 31,4 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m}$

POZICIJA M2 – smjer Y

Proračunski moment savijanja:

$$M_{Ed,y} = 149,23 \text{ kNm/m} = 14923,0 \text{ kNcm/m}$$

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,y}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{14923}{100,0 \cdot 14,0^2 \cdot 3,33} = 0,229 < \mu_{lim} = 0,296$$

Bezdimenzijski moment otpornosti, [19]:

$$\mu_{Rd} = 0,232$$

Očitano, [19]:

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= -3,5 & \xi &= 0,333 \\ \varepsilon_{s1} &= 7,0 & \zeta &= 0,861 \end{aligned}$$

Potrebna površina armature, [19]:

$$A_{s1,req} = \frac{M_{Ed,y}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{14923,0}{0,861 \cdot 14,0 \cdot 43,478} = 28,47 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Minimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,min} &= 0,0013 \cdot b \cdot d = 0,0013 \cdot 100 \cdot 14,0 = 1,82 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,min} &= 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d = 0,26 \cdot \frac{4,1}{500,0} \cdot 100,0 \cdot 14,0 = 2,99 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,min} = 2,99 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura, [19]:

$$\begin{aligned} A_{s1,max} &= 0,040 \cdot A_c = 0,04 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= 0,022 \cdot A_c = 0,022 \cdot 100,0 \cdot 20,0 = 44,0 \text{ cm}^2/\text{m} \\ A_{s1,max} &= \omega_{lim} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,365 \cdot 100,0 \cdot 14,0 \cdot \frac{33,33}{434,78} = 39,17 \text{ cm}^2/\text{m} \end{aligned}$$

Odabrano:

$$A_{s1,max} = 39,17 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

Odabrana armatura: $\phi 20/10,0 \text{ cm}$ ($A_{s1,prov} = 31,4 \text{ cm}^2$)

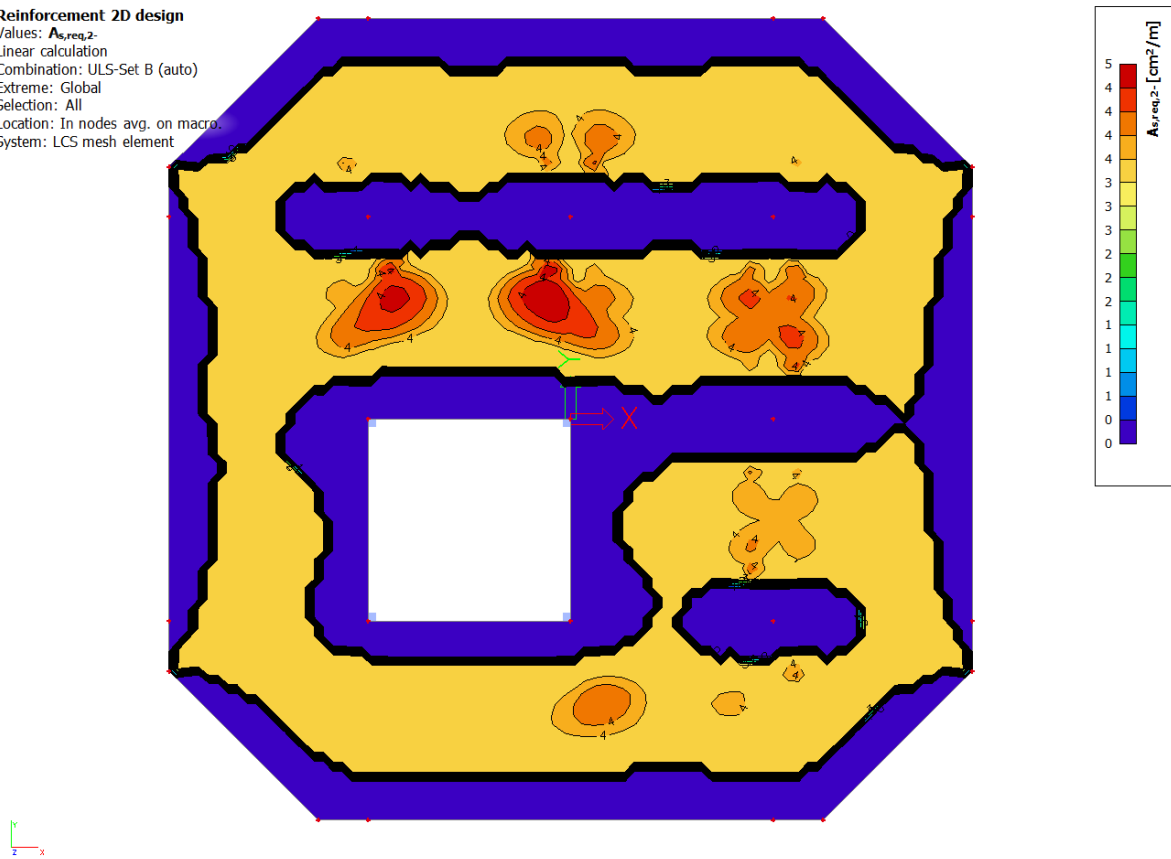
Uvjet: $A_{s1,min} = 2,99 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,prov} = 31,4 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{s1,max} = 39,17 \text{ cm}^2/\text{m}$

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



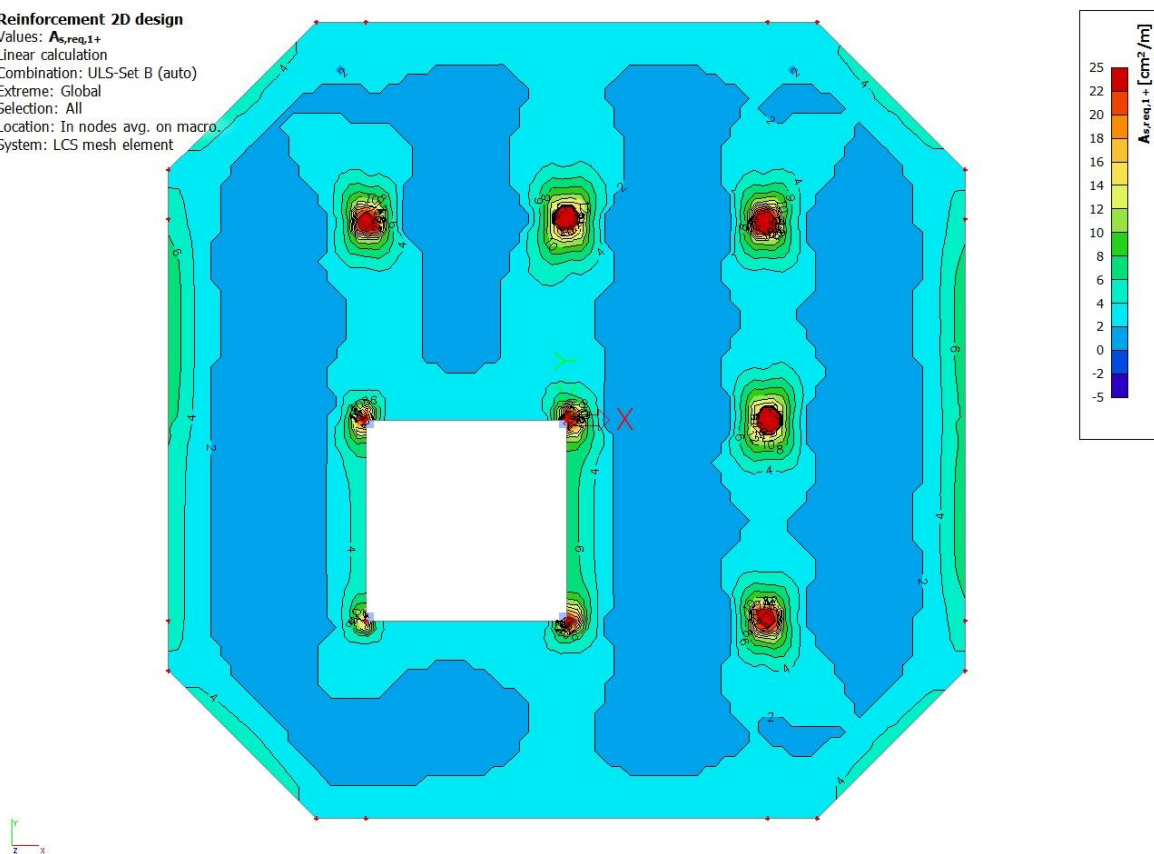
Slika 119.: Prikaz potrebne armature u polju za X smjer – SCIA Engineer

Reinforcement 2D design
Values: $A_{s,req,2}$
Linear calculation
Combination: ULS-Set B (auto)
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element

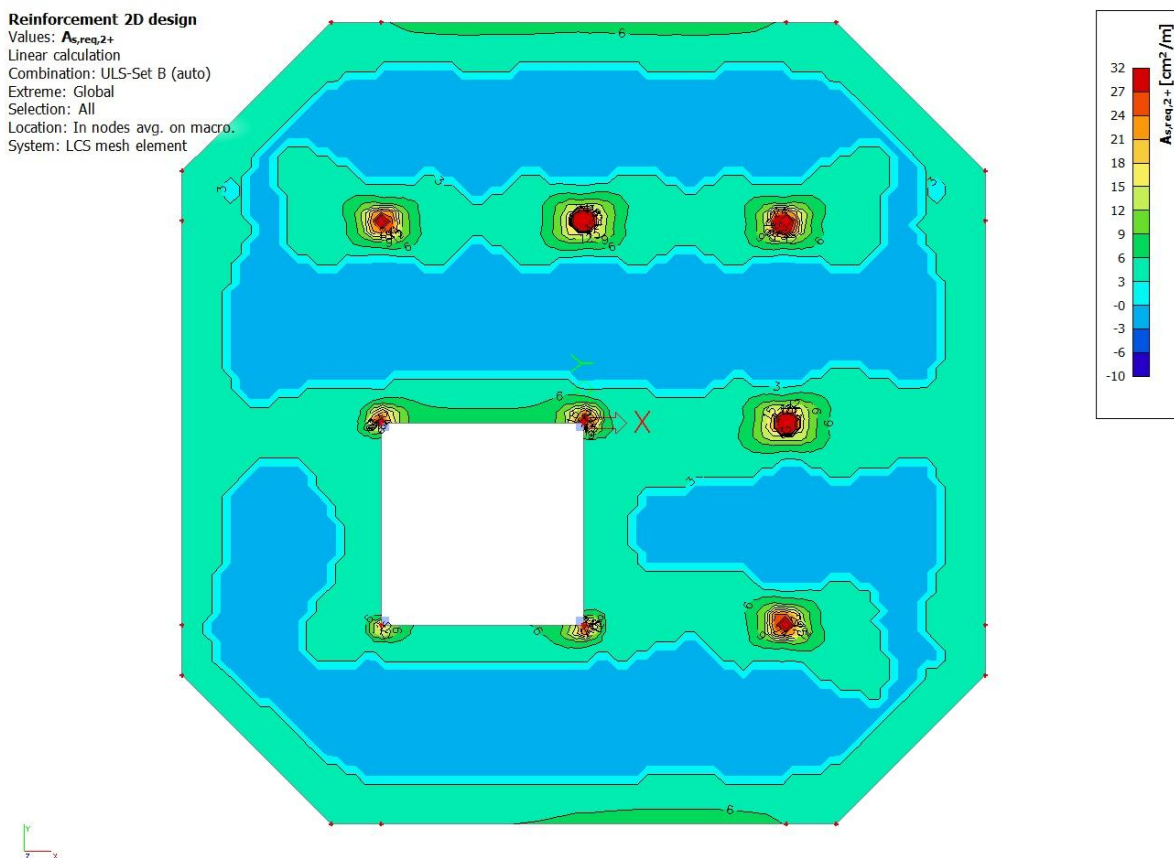


Slika 120.: Prikaz potrebne armature u polju za Y smjer – SCIA Engineer

Reinforcement 2D design
Values: $A_{s,req,1+}$
Linear calculation
Combination: ULS-Set B (auto)
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg. on macro
System: LCS mesh element



Slika 121.: Prikaz potrebne armature nad osloncima za X smjer – SCIA Engineer



Slika 122.: Prikaz potrebne armature nad osloncima za Y smjer – SCIA Engineer

Tablica 25.: Usporedba proračunate armature s armaturom iz programa SCIA Engineer

POZICIJE	PRORAČUN		SCIA Engineer [21]	
	Smjer X	Smjer Y	Smjer X	Smjer Y
POLJE	4,13 cm ² /m	4,41 cm ² /m	4,52 cm ² /m	4,88 cm ² /m
OSLONAC	23,84 cm ² /m	28,47 cm ² /m	24,52 cm ² /m	29,61 cm ² /m

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

Zbog simetričnosti zgrade u oba smjera, te podjednakih reznih sila u poljima i na osloncima, odabrana je ista armature za sva polja i oslonce.

Odabrana armatura:

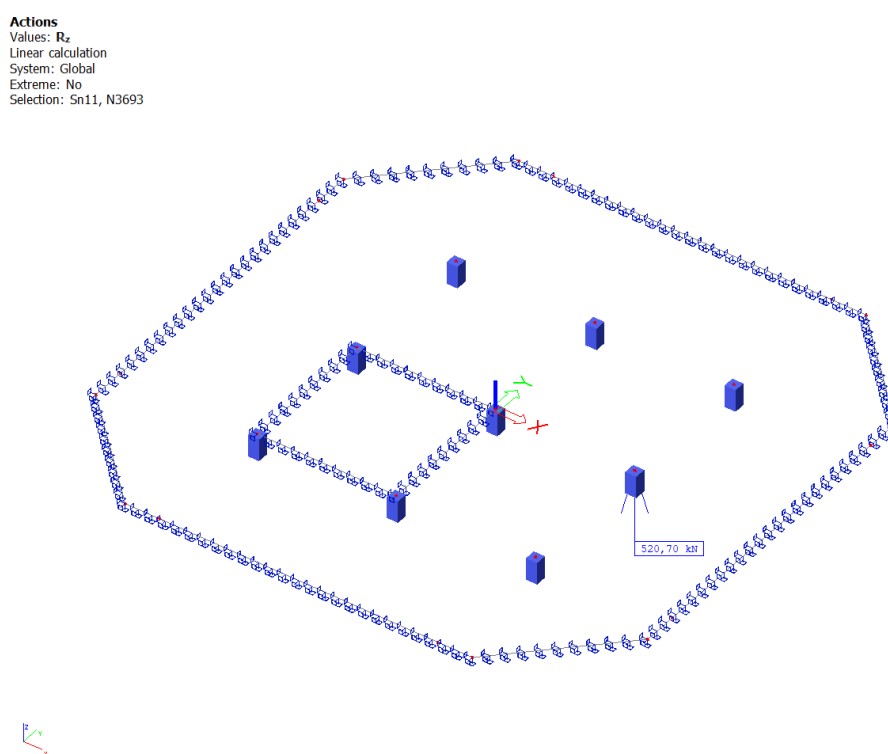
Tablica 26.: Potrebna i odabrana armatura nad svim elementima

POZICIJE	Potrebna armatura		Odabrana armatura	
	Smjer X	Smjer Y	Smjer X	Smjer Y
POLJE	4,52 cm ² /m	4,88 cm ² /m	5,24 cm ² /m (Q524)	5,24 cm ² /m (Q524)
OSLONAC	24,52 cm ² /m	29,61 cm ² /m	31,4 cm ² /m φ20/10,0 cm	31,4 cm ² /m φ20/10,0 cm

3.6.1.5. 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 123.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem

3.6.1.6. 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]:

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

$$v_{Ed,0} = \beta \times \frac{V_{Ed}}{d \times u_0} = 1,15 \times \frac{520,59}{15,0 \times 200,0} = 0,199 \text{ kN/cm}^2 = 1,99 \text{ N/mm}^2$$

$$u_0 = 4 \times a = 4 \times 50,0 = 200,0 \text{ cm}$$

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: $d = \frac{16,0+14,0}{2} = 15,0 \text{ cm}$

β 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:

$$v_{Rd,max} = 0,40 \times v \times f_{cd} = 0,40 \times 0,48 \times 33,33 = 6,40 \text{ N/mm}^2$$

$$v = 0,60 \times \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,60 \times \left[1 - \frac{50}{250} \right] = 0,48$$

Uvjet [20] je zadovoljen:

$$1,99 \text{ N/mm}^2 < 6,40 \text{ N/mm}^2$$

Kontrola proboja na osnovnom kontrolnom opsegu

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

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

$$v_{Rd,c} = 0,12 \times 2,0 \times \sqrt[3]{(100 \times 0,01499 \times 50) + 0,1 \times 0} \geq (0,7 + 0,1 \times 0)$$

$$1,26 \text{ N/mm}^2 > 0,542 \text{ N/mm}^2$$

gdje je iz [9]:

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

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

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{1,1} \times \rho_{1,2}} = \sqrt{0,01344 \times 0,01674} = 0,01499 \leq 0,02 \rightarrow \rho_1 = 0,01499$$

$$\rho_{1,1} = \frac{A_{s1,prov}^{ležaj}}{b \times d} = \frac{31,4}{(a + 3 \times d + 3 \times d) \times d} = \frac{31,4}{(50 + 6 \times 16,0) \times 16,0}$$

$$\rho_{1,1} = 0,01344 = 1,34 \%$$

$$\rho_{1,2} = \frac{A_{s1,prov}^{ležaj}}{b \times d} = \frac{31,4}{(a + 3 \times d + 3 \times d) \times d} = \frac{31,4}{(50 + 6 \times 14,0) \times 14,0}$$

$$\rho_{1,2} = 0,01674 = 1,67 \%$$

$$k_1 = 0,1$$

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

$$v_{\min} = 0,035 \times k^{\frac{3}{2}} \times f_{ck}^{\frac{1}{2}} = 0,035 \times 2^{\frac{3}{2}} \times 50^{\frac{1}{2}} = 0,7 \text{ N/mm}^2$$

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

$$v_{Ed,1} = \beta \times \frac{V_{Ed}}{d \times u_1} = 1,15 \times \frac{520,59}{15,0 \times 388,50} = 0,10273 \text{ kN/cm}^2 = 1,027 \text{ N/mm}^2$$

$$u_1 = 2 \times (x + y) + 2 \times (2 \times d) \times \pi = 2 \times (50,0 + 50,0) + 2 \times (2 \times 15,0) \times \pi = 388,50 \text{ cm}$$

Slijedi:

$$v_{Ed,1} = 1,027 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < v_{Rd,c} = 1,26 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Nije potrebno proračunati armaturu protiv proboja.

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

Tablica 27.: Prikaz rezultata za proboj ploče iz programa SCIA Engineer

Punching design
 Values: UC
 Linear calculation
 Combination: ULS-Set B (auto)
 Extreme: Global
 Selection: All
Summary

Name	Case	Punching case	Punching shape	$UC_{vRd,max}$ [-]	$UC_{vRd,c}$ [-]	Shear reinforcement perimeters	$UC_{vRd,cs}$ [-]	$UC_{Asw,det}$ [-]	UC [-] Check
N3691	ULS-Set B (auto)/1	Internal column	Rectangle (500;500)	0,29	0,99	not required	-	-	0,99 OK
N3692	ULS-Set B (auto)/1	Internal column	Rectangle (500;500)	0,26	1,00	not required	-	-	1,00 OK

Name	Combination key
ULS-Set B (auto)/1	1.35*VT + 1.35*DS_E + 1.50*Q_E + 1.35*DS_FE

Vidljivo je da u programu SCIA Engineer [2] 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 $w_k = 0,4 \text{ mm}$, (za AB elemente koji su naprezani savijanjem bez značajnog uzdužnog osnog vlaka).

Tablica 28.: 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 ¹	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,4 ²
XD1, XD2, XD3, 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:

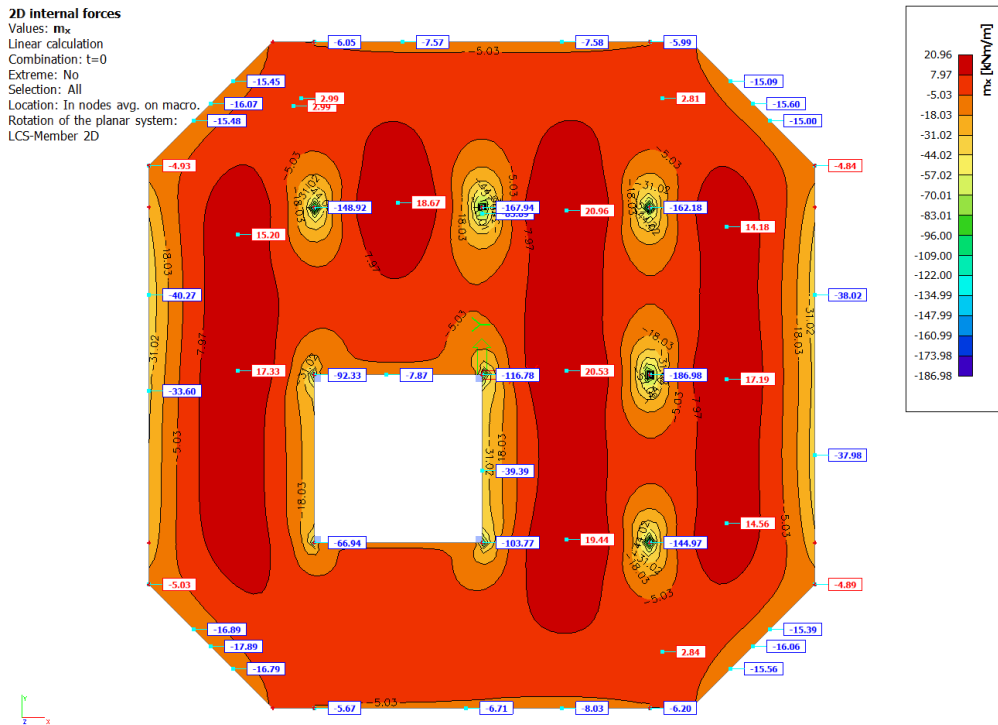
$$M_{cr} = f_{ctm} \times \frac{b \times h^2}{6} = 0,41 \times \frac{100,0 \times 20,0^2}{6} = 2733,33 \text{ kNcm} = 27,33 \text{ kNm}$$

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

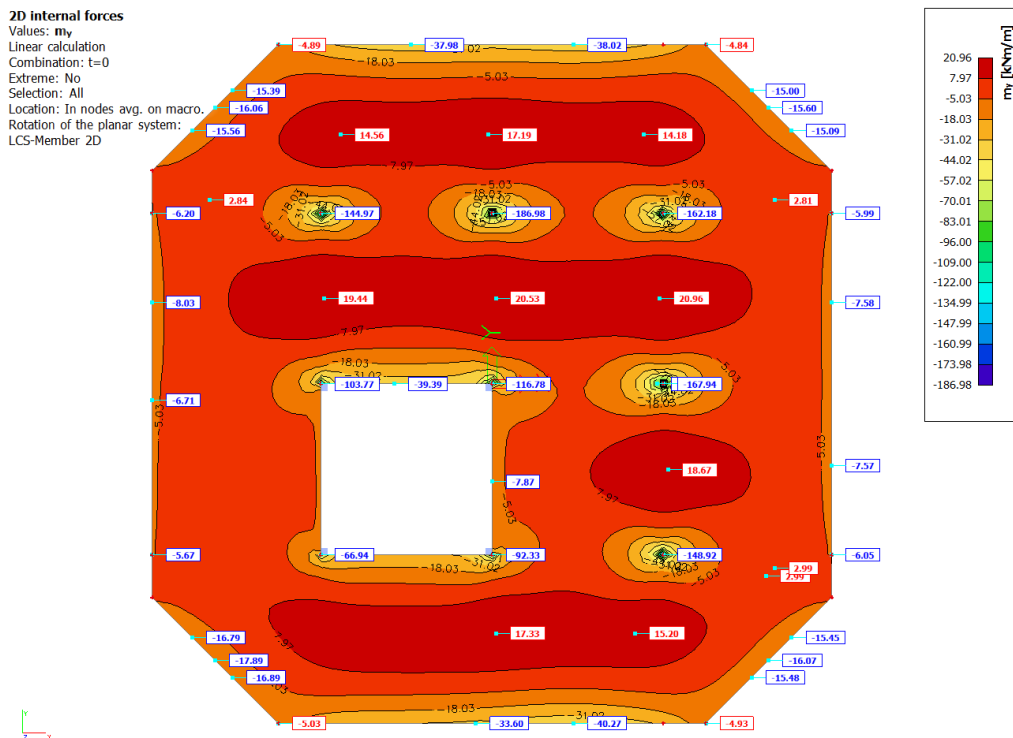
$$M_{Ed}^{t=0} = \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times Q_k = 1,0 \times G_k + 1,0 \times Q_k$$

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

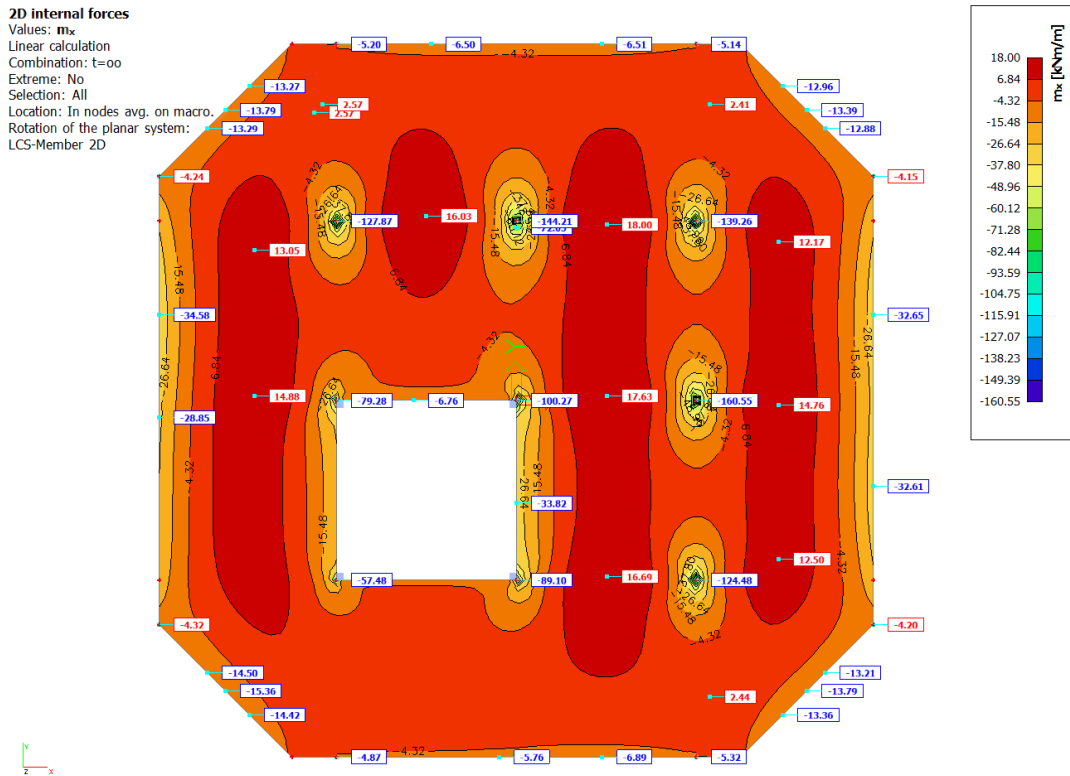
gdje je faktor kombinacije za nazovistalnu kombinaciju uzet iz tablice 13. ovog rada, prema [10].



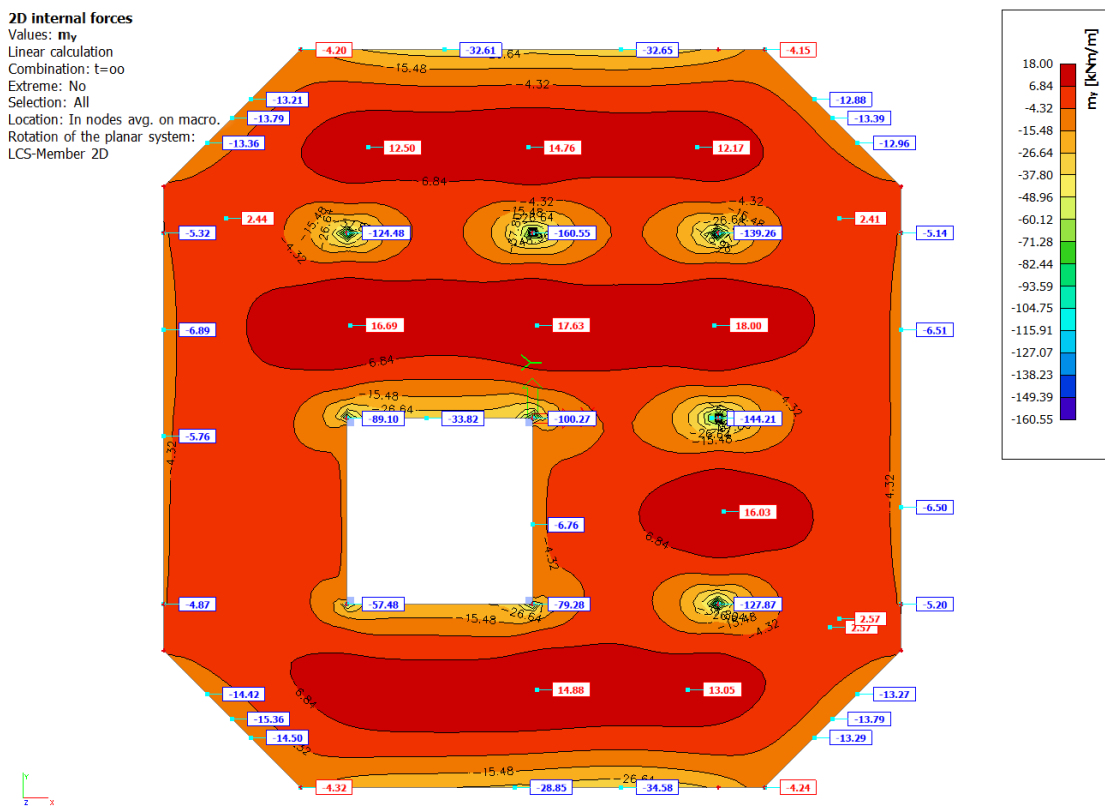
Slika 124.: Momenti savijanja u X smjeru ($t=0$) – ploča



Slika 125.: Momenti savijanja u Y smjeru ($t=0$) – ploča



Slika 126.: Momenti savijanja u X smjeru ($t=\infty$) – ploča



Slika 127.: Momenti savijanja u Y smjeru ($t=\infty$) – ploča

Proračunski moment savijanja za polje:

$$M_{Ed}^{t=0} = 20,96 \text{ kNm} < 27,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{t=\infty} = 18,00 \text{ kNm} < 27,33 \text{ kNm}$$

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

Proračunski moment savijanja za oslonac:

$$M_{Ed}^{t=0} = 186,98 \text{ kNm} > 23,33 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed}^{t=\infty} = 160,55 \text{ kNm} > 23,33 \text{ kNm}$$

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]:

$$E_{cm} = 22000 \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \times \left(\frac{58}{10}\right)^{0,3} = 37277,87 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona, [20]:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{37277,87} = 5,37$$

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

$$A_{s1,prov} = 31,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s2,prov} = 5,24 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_I = \frac{A_{s1,prov}}{b \times h} = \frac{31,4}{100 \times 20} = 0,0157$$

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1,prov}}{b \times d} = \frac{31,4}{100 \times 14,0} = 0,0224$$

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

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d}\right) = 5,37 \times 15,7 \times 10^{-3} \times \frac{14,0}{20} \times \left(1 + \frac{5,24 \times 6,0}{31,4 \times 14,0}\right)$$

$$A_I = 0,06$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}}\right) = 5,37 \times 15,7 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,24}{31,4}\right) = 0,10$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d}\right) = 5,37 \times 22,4 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,24 \times 6,0}{31,4 \times 14,0}\right) = 0,13$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 5,37 \times 22,4 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,24}{31,4} \right) = 0,14$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,06}{1 + 0,10} = 0,51$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,14 + \sqrt{0,14^2 + 2 \times 0,13} = 0,389$$

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

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

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

$$y_{IIg} = k_{xII} \times d = 0,389 \times 14,0 = 5,03 \text{ cm}$$

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

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

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,8^3 + 10,2^3) + (5,37 - 1) \times [31,4 \times (14,0 - 10,2)^2 + [5,24 \times (10,2 - 6,0)^2]] = 69132,03 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 5,03^3 + 5,37 \times 31,4 \times (14,0 - 5,03)^2 + [(5,37 - 1) \times 5,24 \times (5,03 - 6,0)^2] = 17830,82 \text{ cm}^4$$

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]:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t(\infty, t_0)} = \frac{37278}{1 + 1,9} = 12855 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200000,0}{12855} = 15,6$$

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

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

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 15,6 \times 15,7 \times 10^{-3} \times \frac{14,0}{20} \times \left(1 + \frac{5,24 \times 6,0}{31,4 \times 14,0} \right)$$

$$A_I = 0,18$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 15,6 \times 15,7 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,24}{31,4} \right) = 0,29$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 15,6 \times 22,4 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,24 \times 6,0}{31,4 \times 14,0} \right) = 0,37$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 15,6 \times 22,4 \times 10^{-3} \times \left(1 + \frac{5,24}{31,4} \right) = 0,41$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,18}{1 + 0,29} = 0,53$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,41 + \sqrt{0,41^2 + 2 \times 0,37} = 0,54$$

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

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

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

$$y_{IIg} = k_{xII} \times d = 0,54 \times 14,0 = 7,56 \text{ cm}$$

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

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,4^3 + 10,6^3) + (15,6 - 1) \times [31,4 \times (14,0 - 10,6)^2 +$$

$$= [+5,24 \times (10,6 - 6,0)^2] = 74305,06 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 7,56^3 + 15,6 \times 31,4 \times (14,0 - 7,56)^2 +$$

$$= +(15,6 - 1) \times 5,24 \times (7,56 - 6,0)^2 = 34904,32 \text{ cm}^4$$

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

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

$$S_I = 31,4 \times (14,0 - 10,6) - 5,24 \times (10,6 - 6,0) = 82,66 \text{ cm}^3$$

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

$$S_{II} = 31,4 \times (14,0 - 7,56) - 5,24 \times (7,56 - 6,0) = 194,04 \text{ cm}^3$$

Minimalna površina armature za ograničenje širine pukotina

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

$$A_{s,min} = k_c \times k \times f_{ct,eff} \times \frac{A_{ct}}{\sigma_s} = 0,40 \times 1,0 \times 0,41 \times \frac{1000}{50} = 3,28 \text{ cm}^2$$

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]: $f_{ct,eff} = f_{ctm} = 4,1 \text{ N/mm}^2$
- A_{ct} Površina betona u vlačnom području neposredno prije pojave pukotina,

$$A_{ct} = b \times \frac{h}{2} = 100 \times \frac{20}{2} = 1000 \text{ cm}^2$$
- σ_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 ($\phi 20/10 \text{ cm}$), $A_{s1,prov} = 31,4 \text{ cm}^2 > A_{s1,min} = 3,28 \text{ cm}^2$.

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
- ε_{sm} srednja deformacija armature za određenu kombinaciju djelovanja
- ε_{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]:

- Σ_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
- α_e omjer modula elastičnosti čelika i betona.

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 14,0 - \frac{5,03}{3} = 12,32 \text{ cm}$$

Naprezanje u armature prema [20]:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{18698}{31,4 \times 12,32} = 48,33 \text{ kN/cm}^2$$

Sudjelujuća vlačna površina presjeka:

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

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

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

$$h_{c,eff} = \min \left(2,5 \times (20 - 14,0) = 15,0; \frac{20 - 5,03}{3} = 4,99; \frac{20}{2} = 10,0 \right)$$

Uzima se:

$$h_{c,eff} = 4,99 \text{ cm}$$

Izračun sudjelujuće vlačne površine presjeka:

$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff} = 100,0 \times 4,99 = 499,0 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja, [9]:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{31,4}{499,0} = 0,063$$

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

$$\begin{aligned} \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \frac{\sigma_s - k_1 \times \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \times (1 + \alpha_e \times \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \times \frac{\sigma_s}{E_s} \\ \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= \frac{48,33 - 0,6 \times \frac{0,41}{0,063} \times (1 + 5,37 \times 0,063)}{20000,0} = 2,16 \times 10^{-3} \\ \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} &= 2,16 \times 10^{-3} \geq 0,6 \times \frac{48,33}{20000,0} = 1,45 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

Uzima se:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0,216 \times 10^{-4}$$

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]:

$$s_{r,max} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \times 3,0 + 0,8 \times 0,5 \times 0,425 \times \frac{2,0}{0,06} = 15,9 \text{ cm}$$

Karakteristična širina pukotine za kratkotrajno djelovanje:

$$w_{k,t=0} = s_{r,max} \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 159 \times 2,16 \times 10^{-3} = 0,34 \text{ mm} < w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

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

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

Krak unutarnjih sila:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 14,0 - \frac{7,56}{3} = 11,48 \text{ cm}$$

Naprezanje u armature, [20]:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{16055}{31,4 \times 11,48} = 44,54 \text{ kN/cm}^2$$

Razlika srednjih relativnih deformacija armature i betona između dviju pukotina:

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

Sudjelujuća vlačna površina presjeka prema [9]:

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

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

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

$$h_{c,eff} = \min \left(2,5 \times (20 - 14,0) = 15,0; \frac{20 - 7,56}{3} = 4,15; \frac{20}{2} = 10,0 \right)$$

Uzima se:

$$h_{c,eff} = 4,15 \text{ cm}$$

Izračun sudjelujuće vlačne površine presjeka:

$$A_{c,eff} = b \times h_{c,eff} = 100,0 \times 4,15 = 415,0 \text{ cm}^2$$

Koeficijent armiranja, [9]:

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{31,4}{415,0} = 0,076$$

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

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

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{44,54 - 0,4 \times \frac{0,41}{0,076} \times (1 + 15,6 \times 0,076)}{20000,0} = 1,99 \times 10^{-3}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 1,99 \times 10^{-3} > 0,6 \times \frac{44,54}{20000,0} = 1,34 \times 10^{-3}$$

Uzima se:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 1,99 \times 10^{-3}$$

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]:

$$s_{r,max} = k_3 \times c + k_1 \times k_2 \times k_4 \times \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3,4 \times 3,0 + 0,8 \times 0,5 \times 0,425 \times \frac{2,0}{0,076}$$

$$s_{r,max} = 14,67 \text{ cm}$$

Karakteristična širina pukotine za dugotrajno djelovanje:

$$w_{k,t=\infty} = s_{r,max} \times (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 146,7 \times 1,99 \times 10^{-3} = 0,29 \text{ mm} < w_{max} = 0,4 \text{ mm}$$

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

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

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

Koeficijent armiranja, [20]:

$$\rho = \frac{A_{s1}}{b \times d} = \frac{Q_{524}}{(a + 3 \times d + 3 \times d) \times d} = \frac{5,24}{(50 + 6 \times 16,5) \times 16,5} = 0,0021$$

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

Vitkost elementa, [20]:

$$\frac{L_{eff}}{d} = \frac{625,0}{16,5} = 37,88 > 24$$

Potrebno je provesti proračun progiba.

Provjera progiba se provjerava na poziciji 107.

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]:

$$E_{cm} = 22000 \times \left(\frac{f_{cm}}{10}\right)^{0,3} = 22000 \times \left(\frac{58}{10}\right)^{0,3} = 37278 \text{ N/mm}^2$$

Omjer modula elastičnosti čelika i betona, [20]:

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200000}{37278} = 5,37$$

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

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

$$\rho_I = \frac{A_{s1,prov}}{b \times h} = \frac{5,24}{100 \times 20} = 0,0026$$

$$\rho_{II} = \frac{A_{s1,prov}}{b \times d} = \frac{5,24}{100 \times 16,5} = 0,0032$$

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

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 5,37 \times 2,6 \times 10^{-3} \times \frac{16,5}{20,0} = 0,012$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 5,37 \times 2,6 \cdot 10^{-3} = 0,014$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 5,37 \times 3,2 \cdot 10^{-3} = 0,017$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 5,37 \times 3,2 \times 10^{-3} = 0,017$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,012}{1 + 0,014} = 0,505$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,017 + \sqrt{0,017^2 + 2 \times 0,017} = 0,168$$

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]:

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

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,9^3 + 10,1^3) + (5,37 - 1) \times [5,24 \times (16,5 - 10,1)^2] = 67624,60 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 2,77^3 + 5,37 \times 5,24 \times (16,5 - 2,77)^2 = 6012,99 \text{ cm}^4$$

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]:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi_t(\infty, t_0)} = \frac{37278}{1 + 1,9} = 12855 \text{ N/mm}^2$$

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

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{200000,0}{12855} = 15,6$$

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

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

$$A_I = \alpha_e \times \rho_I \times \frac{d}{h} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 15,6 \times 2,6 \times 10^{-3} \times \frac{16,5}{20,0} = 0,034$$

$$B_I = \alpha_e \times \rho_I \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 15,6 \times 2,6 \times 10^{-3} = 0,041$$

$$A_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2} \times d_2}{A_{s1,prov} \times d} \right) = 15,6 \times 3,2 \cdot 10^{-3} = 0,050$$

$$B_{II} = \alpha_e \times \rho_{II} \times \left(1 + \frac{A_{s2}}{A_{s1,prov}} \right) = 15,6 \times 3,2 \times 10^{-3} = 0,050$$

$$k_{xI} = \frac{0,5 + A_I}{1 + B_I} = \frac{0,5 + 0,034}{1 + 0,041} = 0,513$$

$$k_{xII} = -B_{II} + \sqrt{B_{II}^2 + 2 \times A_{II}} = -0,050 + \sqrt{0,050^2 + 2 \times 0,050} = 0,270$$

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]:

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

$$I_I = \frac{100}{3} \times (9,7^3 + 10,3^3) + (15,6 - 1) \times [5,24 \times (16,5 - 10,3)^2] = 69787,48 \text{ cm}^4$$

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

$$I_{II} = \frac{100}{3} \times 4,46^3 + 15,6 \times 5,24 \times (16,5 - 4,46)^2 = 14806,96 \text{ cm}^4$$

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

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

$$S_I = 5,24 \times (16,5 - 10,3) = 32,49 \text{ cm}^3$$

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

$$S_{II} = 5,24 \cdot (16,5 - 4,46) = 63,09 \text{ cm}^3$$

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

Za kratkotrajno djelovanje proračunski moment savijanja u polju iznosi:

$$M_{Ed}^{t=0} = 20,96 \text{ kNm}$$

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]:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{cm} \times I_I} = \frac{2096}{37278 \times 67625} = 8,31 \times 10^{-7} \frac{1}{\text{cm}}$$

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]:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{2096}{5,24 \times 15,58} = 25,67 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{25,67}{20000,0} = 1,284 \times 10^{-3}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka ploče za stanje naprezanja II, [20]:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - y_{IIg}} = \frac{1,284 \times 10^{-3}}{16,5 - 2,77} = 9,35 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{cm}}$$

Naprezanje u armaturi prilikom pojave prve pukotine, [20]:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{2733}{5,24 \times 15,58} = 33,48 \text{ kN/cm}^2$$

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]:

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \times \frac{1}{r_I} + \zeta \times \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0,0) \times 8,31 \times 10^{-7} = 8,31 \times 10^{-7} \frac{1}{\text{cm}}$$

Progib ploče od kratkotrajnog djelovanja, [20]:

$$v_{tot,t=0} = k \times L^2 \times \frac{1}{r_m} = 0,104 \times 625,0^2 \times 8,31 \times 10^{-7} = 0,039 \text{ cm}$$

$$v_{tot,t=0} = 0,034 \text{ cm} < v_{lim} = \frac{L_{eff}}{250} = \frac{625,0}{250} = 2,50 \text{ cm}$$

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

Za dugotrajno djelovanje proračunski moment savijanja u polju iznosi:

$$M_{Ed}^{t=\infty} = 18,00 \text{ kNm}$$

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]:

$$\frac{1}{r_I} = \frac{M_{Ed}}{E_{c,eff} \times I_I} = \frac{1800}{12855 \times 69788} = 2,01 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Krak unutarnjih sila za stanje naprezanja II:

$$z = d - \frac{y_{IIg}}{3} = 16,5 - \frac{4,46}{3} = 15,01 \text{ cm}$$

Naprezanje i relativna deformacija armature za stanje naprezanja II, [20]:

$$\sigma_s = \frac{M_{Ed}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{1800}{5,24 \times 15,01} = 22,89 \text{ kN/cm}^2$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\sigma_s}{E_s} = \frac{22,89}{20000,0} = 1,15 \times 10^{-3}$$

Zakrivljenost poprečnog presjeka ploče za stanje naprezanja II, [20]:

$$\frac{1}{r_{II}} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - y_{IIg}} = \frac{1,15 \times 10^{-3}}{16,5 - 4,46} = 9,55 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{cm}}$$

Naprezanje u armaturi prilikom pojave prve pukotine, [20]:

$$\sigma_{sr} = \frac{M_{cr}}{A_{s1,prov} \times z} = \frac{2733}{5,24 \times 15,01} = 34,75 \text{ kN/cm}^2$$

Budući da je vrijednost $M_{Ed} < M_{cr}$ tada je vrijednost koeficijenta raspodjele zakrivljenosti $\zeta = 0,0$ (prema [9]).

Srednja zakrivljenost poprečnog presjeka ploče, [20]:

$$\frac{1}{r_m} = (1 - \zeta) \times \frac{1}{r_I} + \zeta \times \frac{1}{r_{II}} = (1 - 0,0) \times 2,01 \times 10^{-6} = 2,01 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

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]:

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

$$\varepsilon_{cd,\infty} = 0,85 \times 0,00042 = 3,83 \times 10^{-4}$$

Relativna deformacija od autogenog skupljanja zbog sušenja betona, [9]:

$$\varepsilon_{ca,\infty} = 2,5 \times (f_{ck} - 10) \times 10^{-6} = 2,5 \times (50,0 - 10) \times 10^{-6} = 1,0 \times 10^{-4}$$

Izračun konačne vrijednosti relativne deformacije od skupljanja betona za razred betona C40/50 i relativnu vlažnost zraka od 50%:

$$\varepsilon_{cs,\infty} = \varepsilon_{cd,\infty} + \varepsilon_{ca,\infty} = 3,83 \times 10^{-4} + 1,0 \times 10^{-4} = 4,83 \times 10^{-4}$$

Zakrivljenosti poprečnog presjeka ploče od skupljanja betona za stanja naprezanja I i II, [20]:

$$\frac{1}{r_{csI}} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} \times \alpha_e \times S_I}{I_I} = \frac{4,83 \times 10^{-4} \times 15,6 \times 32,49}{69787,48} = 3,51 \times 10^{-6}$$

$$\frac{1}{r_{csII}} = \frac{\varepsilon_{cs,\infty} \times \alpha_e \times S_{II}}{I_{II}} = \frac{4,83 \times 10^{-4} \times 15,6 \times 63,09}{14806,96} = 3,21 \times 10^{-5}$$

Srednja zakrivljenost poprečnog presjeka ploče od skupljanja betona, [20]:

$$\frac{1}{r_{csm}} = (1 - \zeta) \times \frac{1}{r_{csI}} + \zeta \times \frac{1}{r_{csII}} = (1 - 0,0) \times 3,51 \times 10^{-6} = 3,51 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

Ukupna zakrivljenost poprečnog presjeka ploče, [20]:

$$\frac{1}{r_{tot}} = \frac{1}{r_m} + \frac{1}{r_{csm}} = 2,01 \times 10^{-6} + 3,51 \times 10^{-6} = 5,52 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{cm}}$$

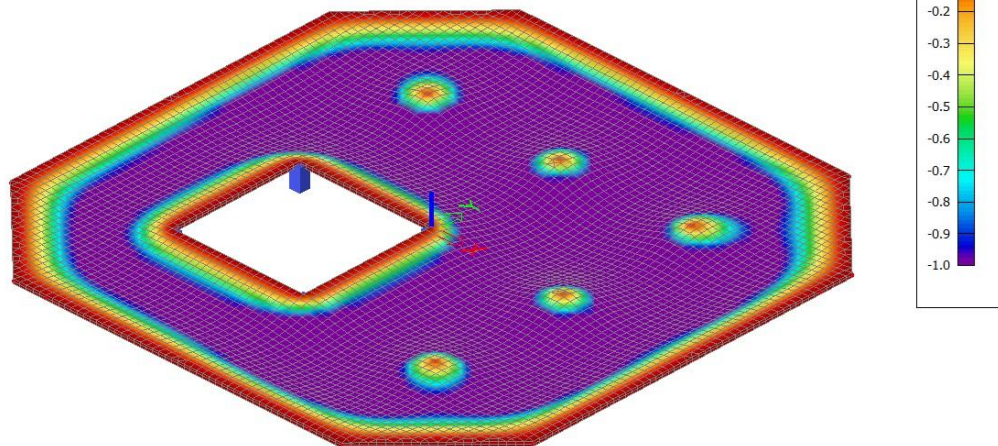
Progib ploče od dugotrajnog djelovanja, [20]:

$$v_{tot,t=\infty} = k \times L^2 \times \frac{1}{r_{tot}} = 0,104 \times 625,0^2 \times 5,52 \times 10^{-6} = 0,22 \text{ cm}$$

$$v_{tot,t=\infty} = 0,22 \text{ cm} < v_{lim} = \frac{L_{eff}}{250} = \frac{625,0}{250} = 2,5 \text{ cm}$$

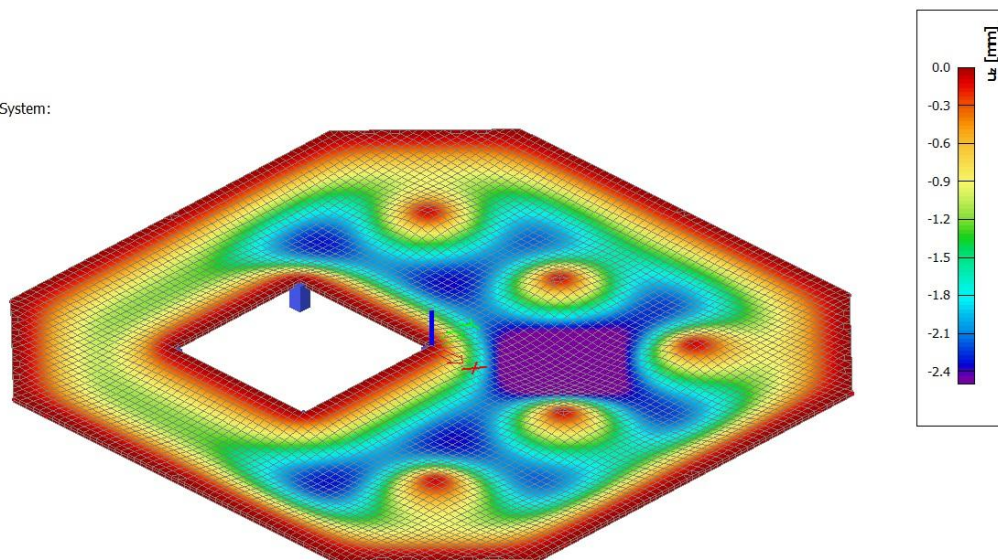
Progib iz računalnog programa SCIA Engineer [2]:

3D displacement
 Values: u_z
 Linear calculation
 Combination: t=0
 Selection: All
 Location: In nodes avg.. System:
 Global



Slika 128.: Prikaz progiba za kratkotrajno djelovanje (t=0)

3D displacement
 Values: u_z
 Linear calculation
 Combination: $t=\infty$
 Selection: All
 Location: In nodes avg.. System:
 Global



Slika 129.: Prikaz progiba za dugotrajno djelovanje ($t=\infty$)

3.6.3. Dimenzioniranje poprečnog zida 2c

Poprečni zidovi se nalaze na 6 razina po visini građevine. Postavljeni su u obliku rešetke, tj. okomiti jedan na drugi. Konstantne su debljine od 25 cm, te konstantne visine od 390 cm. Zidovi prema pozicijama na slici 118. dijele se na 2 skupine po duljini. Zidovi na pozicijama 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 4a, 4b, 4c, 4d, 4e i 4f, imaju duljinu od 575 cm. Zidovi na pozicijama 1a, 1b, 1c, 1d, 1e, 1f, 2a, 2b, 2c, 2d, 2e i 2f, imaju duljinu od 545 cm. Zidovi se dimenzioniraju prema normi [9] za GSN i GSU, a prema [12] zidovi trebaju biti u mogućnosti disipirati seizmičku energiju bez gubitka nosivosti.

U poglavlju (ispis rezultata) prikazani su ispisi unutarnjih sila za poprečne zidove, a kao primjer za dimenzioniranje odabran je zid 2c na prvoj pojasu, koji je najmjerodavniji.

3.6.3.1. Proračun zaštitnog sloja AB zida

Nominalni zaštitni sloj se prema [9] određuje kao:

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

gdje je:

c_{nom} nominalni zaštitni sloj

c_{min} minimalni zaštitni sloj

Δc_{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, $\Delta c_{dur,\gamma} = 0 \text{ mm}$

$c_{dur,st}$ 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 C100/115, razred izloženosti XC1 i pločasti element iz tablice 41. je određen razred konstrukcije S4. Iz tablice 42. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S4 i razreda izloženosti XC1, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša $c_{\min,dur}$.

$$c_{\min,dur} = 15,0 \text{ mm}$$

Slijedi:

$$c_{\min} = \max\{20,0; 15,0 + 0,0 - 0,0 - 0,0 = 10,0; 10,0 \text{ mm}\}$$

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

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

3.6.3.2. Materijali i geometrija poprečnih zidova

Materijali

Razred čvrstoće betona: C100/115 [22]

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona: $f_{ck} = 100,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka: $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton: $\gamma_c = 1,5$

- Proračunska tlačna čvrstoća: $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{100}{1,5} = 66,67 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća: $f_{cm} = 108,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 5,2 \text{ N/mm}^2$
- 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

- Debljina zida: $b_w = 75,0 \text{ cm}$ (početno 25,0 cm, promijenjeno zbog velikih sila)
- Duljina zida: $l_w = 545,0 \text{ cm}$
- Visina etaže: $h_e = 410,0 \text{ cm}$
- Svijetla visina etaže: $h_s = 410,0 - 20,0 = 390,0 \text{ cm}$
- Visina zida: $h_w = 390,0 \text{ cm}$
- 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]:

$$l_0 = \beta \times h_s = 0,661 \times 390,0 = 257,79 \text{ cm}$$

gdje je koeficijent za određivanje duljine izvijanja za zid pridržan na četiri ruba, [9]:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_s}{l_w}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,9}{5,45}\right)^2} = 0,661$$

Površina zida:

$$A = l_w \times b_w = 5,45 \times 0,75 = 4,09 \text{ m}^2$$

Moment tromosti:

$$I = \frac{l_w \times b_w^3}{12} = \frac{5,45 \times 0,75^3}{12} = 0,19 \text{ m}^4$$

Polumjer tromosti:

$$i^2 = \frac{I}{A} = \frac{0,19}{4,09} = 0,0465 \text{ m}^2 \rightarrow i = 0,216 \text{ m}$$

Prema [9], učinci drugog reda se mogu zanemariti, ako je proračunska vitkost manja od granične vitkosti, koja je prema [18], jednaka:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{|v_{\text{Ed}}|}} = \frac{20 \times 0,7 \times 1,1 \times 0,7}{\sqrt{0,605}} = 13,86$$

gdje je iz [18]:

$$A = 0,70$$

$$B = 1,10$$

$$C = 0,70$$

v_{Ed} normalizirana vrijednost uzdužne sile

Normalizirana vrijednost uzdužne sile, [9]:

$$v_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{l_w \times b_w \times f_{\text{cd}}} = \frac{164,99}{5,45 \cdot 0,75 \cdot 66,67} = 0,605 \text{ kN}$$

Konačno:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2,58}{0,216} = 11,94 < \lambda_{\text{lim}} = 14,18$$

Proračunska vitkost manja je 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].

$$v_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{b_w \times l_w \times f_{\text{cd}}} = \frac{164991}{75 \times 545 \times 6,67} = 0,605 > 0,4$$

Budući da uvjet nije zadovoljen, izvršena je ponovna promjena debljine na 120 cm.

$$v_{\text{Ed}} = \frac{N_{\text{Ed}}}{b_w \times l_w \times f_{\text{cd}}} = \frac{164991}{120 \times 545 \times 6,67} = 0,378 < 0,4$$

Uvjet je zadovoljen!

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, $T_1 = 8,05$ 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.

$$V_{Ed} = 1,5 \times 9894,81 = 14842,22 \text{ kN}$$

Razmak armature, [9]:

$$s = 2 \times A_{sh} \times f_{yd} \times \frac{z \times \cot \theta}{V_{Ed}} = 2 \times 6,15 \times 43,478 \times \frac{0,8 \times 545,0 \times 1,0}{14842,22} = 15,70 \text{ cm}$$

Minimalna horizontalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sh,min} = 0,002 \times A_c = 0,002 \times 100,0 \times 120,0 = 24,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 12,00 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

$$A_{sh,min} = 0,25 \times A_{sv} = 0,25 \times 203,47 = 50,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

Odabrana horizontalna armatura:

$\phi 28/10,0$ cm ($A_{s,prov} = 61,54 \text{ cm}^2/\text{m}$) uz svako lice zida

Uvjet: $A_{sh,min} = 50,86 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sh,prov} = 61,54 \text{ cm}^2/\text{m}$

Vertikalna armatura hrpta

Služi za preuzimanje momenta van ravnine:

$$M_{Ed} = 39937,66 \text{ kNm}$$

Zbog iznimno velikog momenta savijanja, koristit će se armiranje u dvije zone sa šipkama promjera 36 mm. Odabran razmak između šipki u dvije zone je 10 cm.

Statička visina zida (horizontalna armatura se postavlja bliže licu zida) u težištu armature u dvije zone:

$$d = h - c - \phi_h - \phi_v - \frac{10}{2} = 120,0 - 3,0 - 2,8 - 3,6 - 5 = 105,6 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega' = \frac{A_{sv} \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}} = \frac{203,47 \times 43,478}{100,0 \times 105,6 \times 6,67} = 0,126$$

Za $\omega' = 0,125$ očitana je iz [19] vrijednost $\mu_{Rd} = 0,116$

Korištene su tablice za beton C90/105.

Nosivost na moment savijanja, [19]:

$$M_{Rd} = \mu_{Rd} \times l_w \times d^2 \times f_{cd} = 0,116 \times 545,0 \times 106,4^2 \times 6,67 = 47737,92 \text{ kNm}$$

Uvjet: $M_{Ed} = 39937,66 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 47737,92 \text{ kNm}$

Minimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sv,min} = 0,002 \times A_c = 0,002 \times 100,0 \times 120,0 = 24,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sv,min} = 12,0 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

Maksimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sv,max} = 0,04 \times A_c = 0,02 \times 100,0 \times 120,0 = 240 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura za svako lice hrpta.

Odabrana vertikalna armatura:

$2 \times \phi 36/10,0 \text{ cm}$ ($A_{s,prov} = 203,47 \text{ cm}^2/\text{m}$) – za svako lice zida

Uvjet: $A_{sv,min} = 12,0 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,prov} = 203,47 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,max} = 240 \text{ cm}^2/\text{m}$

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:

$$N_{Ed} = 128979,68 \text{ kN (minimalna)}$$

$$M_{Ed} = 139057,72 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vrijednost uzdužne sile prema [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \times l_w \times f_{cd}} = \frac{-128979,68}{120,0 \times 545,0 \times 6,67} = -0,296$$

Bezdimenzijski moment savijanja prema [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b_w \cdot l_w^2 \cdot f_{cd}} = \frac{13905772}{120,0 \cdot 545,0^2 \cdot 6,67} = 0,059$$

Kako mehanički koeficijent armiranja pada u područje bez vrijednosti, odabrano iz [19] za beton C90/105 (C100/115):

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

Potrebna armatura (za svaki kraj zida) prema [19]:

$$A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 0,005 \cdot \frac{6,67}{43,478} \cdot 120,0 \cdot 545,0 = 50,17 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura (za svaki kraj zida):

$$12\phi 25 (A_{s,prov} = 58,88 \text{ cm}^2)$$

Visina kritičnog područja

Proračunava se prema [12]:

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

$$h_{cr} = \max\left(545,0; \frac{30750}{6} = 5125,0\right)$$

$$h_{cr} = 5125,0 \text{ cm}$$

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

$$h_{cr} \leq \min(2 \times 545,0 = 1090,0; 2 \times 390,0 = 780,0)$$

Odabrana visina kritičnog područja h_{cr} :

$$h_{cr} = 780,0 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja

Za pretpostavljene spone $\phi 25$ vrijedi:

$$b_0 = b_w - 2 \times c - \phi_w = 120,0 - 2 \times 3,0 - 2,5 = 111,5 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu [22]:

$$\varepsilon_{cu2} = 2,6 \text{ ‰}$$

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]:

$$\omega_v = \rho_v \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,00622 \times \frac{43,478}{6,67} = 0,0405$$

Minimalni koeficijent armiranja treba biti u rasponu vrijednosti:

$$0,20\% \leq \rho_v \leq 4,0\%$$

$$\rho_v = \frac{A_{sv}}{I_w \times b_w} = \frac{2 \times 203,47}{545,0 \times 120,0} = 0,00622 = 0,622\% \geq 0,20\%$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times \mu_\phi \times (v_d + \omega_v) \times \varepsilon_{sy,d} \times \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times 10,2 \times (0,296 + 0,0405) \times 2,17 \times 10^{-3} \times \frac{120,0}{111,5} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,200$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu, [9]:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0026 + 0,1 \times \alpha \times \omega_{wd} = 0,0026 + 0,1 \times 0,200 = 0,0226$$

Duljina tlačnog područja pri slomu, [12]:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \times \frac{l_w \times b_w}{b_0} = (0,296 + 0,0405) \times \frac{545,0 \times 120,0}{111,5} = 197,37 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja, [12]:

$$h_0 = l_c = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 197,37 \times \left(1 - \frac{0,0026}{0,0226}\right) = 174,66 \text{ cm}$$

Minimalna duljina kritičnog područja prema [12]:

$$l_c \geq \max(0,15 \times l_w; 1,5 \times b_w)$$

$$l_c \geq \max(0,15 \times 545,0 = 81,75; 1,5 \cdot 120,0 = 180,0)$$

$$l_c \geq 180,0 \text{ cm}$$

Mjerodavna duljina kritičnog područja:

$$l_c = 180,0 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura

Koeficijent armiranja treba biti veći od 0,5% i manji od 4%.

Koeficijent armiranja:

$$\rho_v = \frac{A_{s,prov}}{l_c \times b_0} = \frac{2 \times 58,88}{180,0 \times 111,5} = 0,00587 = 0,59 \%$$

Debljina kritičnog područja

Prema [12], debljina hrpta zidova:

$$b_w = \max\left\{15,0 \text{ cm}; \frac{h_s}{20}\right\} = \left\{15,0 \text{ cm}; \frac{390}{15} = 26,0 \text{ cm}\right\}$$

$$b_w = 120,0 \text{ cm} > 26,0 \text{ cm}$$

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 $\frac{h_s}{10}$

$$l_c = 330,75 \text{ cm}$$

$$l_c = 180,0 < 2 \times b_w = 2 \times 120,0 = 240,0 \text{ cm} \rightarrow b_w = 120,0 \text{ cm} > \frac{h_s}{15} = \frac{390,0}{15}$$

$$= 26,0 \text{ cm}$$

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]:

α_n gubitak ovijenog područja u horizontalnoj ravnini

α_s gubitak ovijenog područja u vertikalnoj ravnini

Odabrana uzdužna armatura kritičnog područja: $12\phi 25$ ($A_{s,prov} = 58,88 \text{ cm}^2$) - za svaki kraj zida.

Razmak dvije šipke:

$$b_{i,h} = \frac{l_c - c - 2 \times \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{180,0 - 3,0 - 2 \times 2,5 - 2,5}{11} = 15,41 \text{ cm}$$

Razmak vertikalne armature okomito na zid:

$$b_{i,v} = \frac{b_o - \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{111,5 - 2,5 - 2,5}{1} = 106,5 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka, [12]:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \times b_o \times h_o} = 1 - \frac{2 \times 11 \times 15,41^2 + 2 \times 106,5^2}{6 \times 111,5 \times 180,0} = 0,77$$

Najveći dopušteni razmak spona, [12]:

$$s_{\max} = \min\left(\frac{b_o}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \times d_{bl}\right)$$

$$s_{\max} = \min\left(\frac{112,2}{2} = 56,1; 17,5; 8 \times 2,5 = 20,0\right)$$

$$s_{\max} = \min(56,2; 17,5; 20,0)$$

$$s_{\max} = 17,5 \text{ cm}$$

Za pretpostavljeni razmak spona vrijedi, [12]:

$$s = \phi 25 / 8,0 \text{ cm}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \times b_o}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_o}\right) = \left(1 - \frac{8,0}{2 \times 112,4}\right) \times \left(1 - \frac{8,0}{2 \times 180,0}\right) = 0,95$$

Obujam spona:

$$\frac{\phi^2 \times \pi}{4} \times (10 \times b_0 + 2 \times h_0) = \frac{2,5^2 \times \pi}{4} \times (10 \times 111,5 + 2 \times 180,0) = 7240,39 \text{ cm}^3$$

Obujam ovijenoga betona:

$$s \times b_0 \times h_0 = 8,0 \times 111,5 \times 180,0 = 160560,0 \text{ cm}^2$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{7240,39}{160560} \times \frac{43,478}{6,67} = 0,294 > 0,08$$

Faktor djelotvornosti:

$$\alpha = 0,77 \times 0,95 = 0,73$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,200$$

$$0,73 \times 0,294 \geq 0,200$$

$$0,215 \geq 0,200$$

Odabrana armatura:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

Tablica 30.: Rekapitulacija armature zida 2c

Vertikalna armatura hrpta	$\phi 36/10,0 \text{ cm}$
Horizontalna armatura hrpta	$\phi 28/10,0 \text{ cm}$
Vertikalna armatura (kritično područje zida)	12 ϕ 25 (12 ϕ 25/15,0 cm)
Spone	$\phi 25/8,0 \text{ cm}$

Dobivena armature za spone je izrazito velika. Razlog tomu je vrlo visok umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja. Potrebno je osigurati industrijsko savijanje armature.

3.6.4. Dimenzioniranje poprečnog zida 2c (GSU)

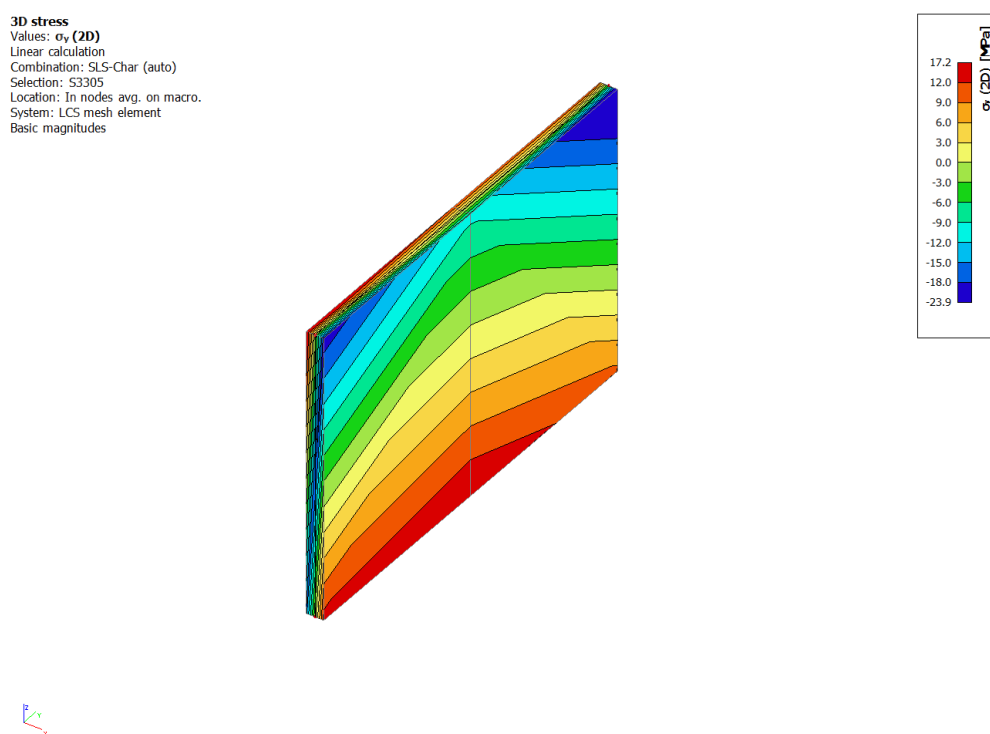
3.6.4.1. Kontrola naprezanja u betonu poprečnog zida 2c

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:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck}$$

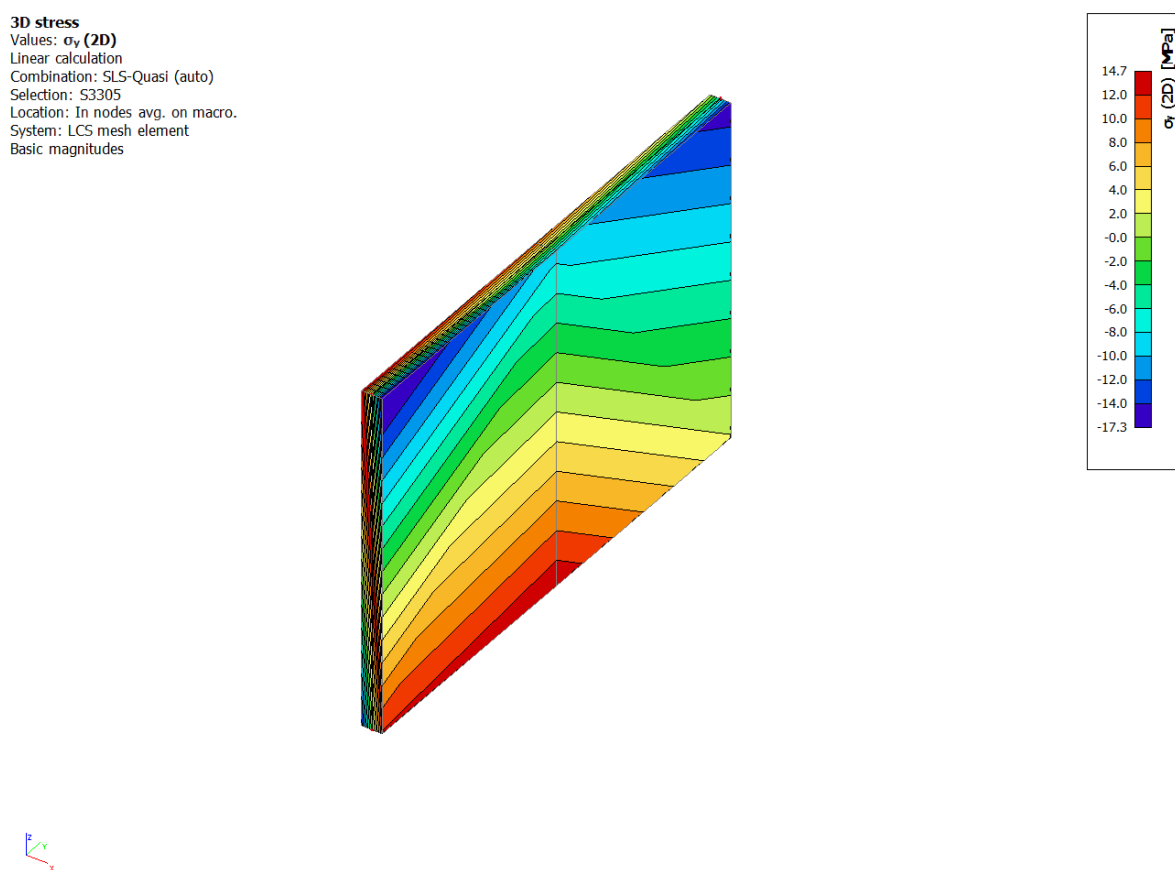


Slika 130.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 100,0 = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 23,9 \text{ N/mm}^2 \leq 60,0 \text{ N/mm}^2$$



Slika 131.: Prikaz napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 100,0 = 45,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 17,3 \text{ N/mm}^2 \leq 45,0 \text{ N/mm}^2$$

Zaključak: Zidovi na pozicijama 1a, 1c, 1d, 1f, 2a, 2c, 2d i 2f nisu zadovoljili uvjete sa prvobitno postavljenom širinom od 25 cm. Širina je povećana na 120 cm zbog iznimno velikih unutrašnjih sila, te kako bi se ispoštovali uvjeti nosivosti, duktilnosti i rasporeda armature.

Zbog drastičnog povećanja širine poprečnog zida, u nastavku je izvršena provjera zida na poziciji 3d, tj. jedan od unutrašnjih poprečnih zidova, kako bi se provjerilo zadovoljavali uvjete sa pretpostavljenim dimenzijama.

3.6.5. Dimenzioniranje poprečnog zida 3d

3.6.5.1. Materijali i geometrija poprečnih zidova

Materijali

Razred čvrstoće betona: C100/115 [22]

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona: $f_{ck} = 100,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka: $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton: $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća: $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{100}{1,5} = 66,67 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća: $f_{cm} = 108,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 5,2 \text{ N/mm}^2$
- 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

- Debljina zida: $b_w = 50,0 \text{ cm}$ (početno 25,0 cm, povećano zbog kritičnog područja)
- Duljina zida: $l_w = 575,0 \text{ cm}$
- Visina etaže: $h_e = 410,0 \text{ cm}$
- Svijetla visina etaže: $h_s = 410,0 - 20,0 = 390,0 \text{ cm}$
- Visina zida: $h_w = 390,0 \text{ cm}$
- Zaštitni sloj: $c = 3,0 \text{ cm}$

3.6.5.2. Kontrola izvijanja i vitkosti zida

Prema [9], vitkost zida jednaka je:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

Proračunska duljina izvijanja zida [9]:

$$l_0 = \beta \times h_s = 0,681 \times 390,0 = 267,15 \text{ cm}$$

gdje je koeficijent za određivanje duljine izvijanja za zid pridržan na četiri ruba, [9]:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_s}{l_w}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,9}{5,75}\right)^2} = 0,685$$

Površina zida:

$$A = l_w \times b_w = 5,75 \times 0,50 = 2,88 \text{ m}^2$$

Moment tromosti:

$$I = \frac{l_w \times b_w^3}{12} = \frac{5,75 \times 0,5^3}{12} = 0,060 \text{ m}^4$$

Polupjerm tromosti:

$$i^2 = \frac{I}{A} = \frac{0,060}{2,88} = 0,021 \text{ m}^2 \rightarrow i = 0,145 \text{ m}$$

Prema [9], učinci drugog reda se mogu zanemariti, ako je proračunska vitkost manja od granične vitkosti, koja je prema [18], jednaka:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{|v_{Ed}|}} = \frac{20 \times 0,7 \times 1,1 \times 0,7}{\sqrt{0,112}} = 32,21$$

gdje je iz [18]:

$$A = 0,70$$

$$B = 1,10$$

$$C = 0,70$$

v_{Ed} normalizirana vrijednost uzdužne sile

Normalizirana vrijednost uzdužne sile, [9]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{l_w \times b_w \times f_{cd}} = \frac{22,91}{5,75 \cdot 0,50 \cdot 66,67} = 0,112 \text{ kN}$$

Konačno:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{2,67}{0,145} = 18,41 < \lambda_{lim} = 27,83$$

Proračunska vitkost manja je od granične. Nije potreban proračun po teoriji drugog reda.

3.6.5.3. 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 $v_{Ed} \leq 0,4$, prema [12].

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \times l_w \times f_{cd}} = \frac{2290,72}{50 \times 575 \times 6,67} = 0,012 < 0,4$$

Uvjet je zadovoljen!

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, $T_1 = 8,05$ 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. 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.

$$V_{Ed} = 1,5 \times 3810,70 = 5716,05 \text{ kN}$$

Razmak armature, [9]:

$$s = 2 \times A_{sh} \times f_{yd} \times \frac{z \times \cot \theta}{V_{Ed}} = 2 \times 2,01 \times 43,478 \times \frac{0,8 \times 575,0 \times 1,0}{5716,05} = 14,07 \text{ cm}$$

Minimalna horizontalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sh,min} = 0,002 \times A_c = 0,002 \times 100,0 \times 50,0 = 10,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 5,00 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ – za svako lice zida}$$

$$A_{sh,min} = 0,25 \times A_{sv} = 0,25 \times 49,06 = 12,27 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 2,83 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ – za svako lice zida}$$

Odabrana horizontalna armatura:

$\phi 16/10,0 \text{ cm}$ ($A_{s,prov} = 20,10 \text{ cm}^2/\text{m}$) uz svako lice zida

Uvjet: $A_{sh,min} = 12,27 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sh,prov} = 20,10 \text{ cm}^2/\text{m}$

Vertikalna armatura hrpta

Služi za preuzimanje momenta van ravnine:

$$M_{Ed} = 353,74 \text{ kNm}$$

Statička visina zida (horizontalna armatura se postavlja bliže licu zida):

$$d = h - c - \phi_h - \frac{\phi_v}{2} = 50,0 - 3,0 - 1,6 - \frac{2,0}{2} = 44,40 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega' = \frac{A_{sv} \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}} = \frac{3,14 \times 43,478}{100,0 \times 44,40 \times 6,67} = 0,046$$

Za $\omega' = 0,046$ očitana je iz [19] vrijednost $\mu_{Rd} = 0,042$

Korištene su tablice za beton C90/105 (C100/115).

Nosivost na moment savijanja, [19]:

$$M_{Rd} = \mu_{Rd} \times l_w \times d^2 \times f_{cd} = 0,042 \times 575,0 \times 44,40^2 \times 6,67 = 3175,48 \text{ kNm}$$

Uvjet: $M_{Ed} = 353,74 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 3175,48 \text{ kNm}$

Minimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sv,min} = 0,002 \times A_c = 0,002 \times 100,0 \times 50,0 = 10,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sv,min} = 5,00 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

Maksimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sv,max} = 0,04 \times A_c = 0,02 \times 100,0 \times 50,0 = 100,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura za svako lice hrpta.

Odabrana vertikalna armatura:

$\phi 20/10,0 \text{ cm}$ ($A_{s,prov} = 31,40 \text{ cm}^2/\text{m}$) – za svako lice zida

Uvjet: $A_{sv,min} = 5,00 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,prov} = 31,40 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,max} = 100,0 \text{ cm}^2/\text{m}$

3.6.5.5. 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:

$$N_{Ed} = 1424,59 \text{ kN (minimalna)}$$

$$M_{Ed} = 645,35 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vrijednost uzdužne sile prema [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \times l_w \times f_{cd}} = \frac{-1424,59}{50,0 \times 575,0 \times 6,67} = -0,00746$$

Bezdimenzijski moment savijanja prema [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b_w \cdot l_w^2 \cdot f_{cd}} = \frac{64535}{50,0 \cdot 575,0^2 \cdot 6,67} = 0,00585$$

Kako mehanički koeficijent armiranja pada u područje bez vrijednosti, odabrano iz [19] za beton C90/105 (C100/115):

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

Potrebna armatura (za svaki kraj zida) prema [19]:

$$A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 0,005 \cdot \frac{6,67}{43,478} \cdot 50,0 \cdot 575,0 = 22,05 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura (za svaki kraj zida):

$$12\phi 16 (A_{s,prov} = 24,12 \text{ cm}^2)$$

Visina kritičnog područja

Proračunava se prema [12]:

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

$$h_{cr} = \max\left(575,0; \frac{30750}{6} = 5125,0\right)$$

$$h_{cr} = 5125,0 \text{ cm}$$

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

$$h_{cr} \leq \min(2 \times 575,0 = 1150,0; 2 \times 390,0 = 780,0)$$

Odabrana visina kritičnog područja h_{cr} :

$$h_{cr} = 780,0 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja

Za pretpostavljene sponne $\phi 12$ vrijedi:

$$b_0 = b_w - 2 \times c - \phi_w = 50,0 - 2 \times 3,0 - 1,2 = 42,8 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu [22]:

$$\varepsilon_{cu2} = 2,6 \text{ ‰}$$

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]:

$$\omega_v = \rho_v \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,0022 \times \frac{43,478}{6,67} = 0,0143$$

Minimalni koeficijent armiranja treba biti u rasponu vrijednosti:

$$0,20\% \leq \rho_v \leq 4,0\%$$

$$\rho_v = \frac{A_{sv}}{I_w \times b_w} = \frac{2 \times 31,40}{575,0 \times 50,0} = 0,0022 = 0,22\% \geq 0,20\%$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times \mu_\phi \times (v_d + \omega_v) \times \varepsilon_{sy,d} \times \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times 10,2 \times (0,00746 + 0,0143) \times 2,17 \times 10^{-3} \times \frac{50,0}{42,8} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,018$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu, [9]:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0026 + 0,1 \times \alpha \times \omega_{wd} = 0,0026 + 0,1 \times 0,0018 = 0,0028$$

Duljina tlačnog područja pri slomu, [12]:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \times \frac{l_w \times b_w}{b_0} = (0,00746 + 0,0143) \times \frac{575,0 \times 50,0}{42,8} = 14,62 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja, [12]:

$$h_0 = l_c = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 14,62 \times \left(1 - \frac{0,0026}{0,0028}\right) = 1,04 \text{ cm}$$

Minimalna duljina kritičnog područja prema [12]:

$$l_c \geq \max(0,15 \times l_w; 1,5 \times b_w)$$

$$l_c \geq \max(0,15 \times 575,0 = 86,25; 1,5 \cdot 50,0 = 75,0)$$

$$l_c \geq 86,25 \text{ cm}$$

Mjerodavna duljina kritičnog područja:

$$l_c = 86,25 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura

Koeficijent armiranja treba biti veći od 0,5% i manji od 4%.

Koeficijent armiranja:

$$\rho_v = \frac{A_{s,prov}}{l_c \times b_0} = \frac{2 \times 24,12}{86,25 \times 42,8} = 0,013 = 1,30 \%$$

Debljina kritičnog područja

Prema [12], debljina hrpta zidova:

$$b_w = \max\left\{15,0 \text{ cm}; \frac{h_s}{20}\right\} = \left\{15,0 \text{ cm}; \frac{390}{15} = 26,0 \text{ cm}\right\}$$

$$b_w = 50,0 \text{ cm} > 26,0 \text{ cm}$$

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 $\frac{h_s}{10}$

$$l_c = 86,25 \text{ cm}$$

$$l_c = 86,25 < 2 \times b_w = 2 \times 50,0 = 100,0 \text{ cm} \rightarrow b_w = 50,0 \text{ cm} > \frac{h_s}{15} = \frac{390,0}{15} = 26,0 \text{ cm}$$

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]:

α_n gubitak ovijenog područja u horizontalnoj ravnini

α_s gubitak ovijenog područja u vertikalnoj ravnini

Odabrana uzdužna armatura kritičnog područja: $12\phi 16$ ($A_{s,prov} = 24,12 \text{ cm}^2$) - za svaki kraj zida.

Razmak dvije šipke:

$$b_{i,h} = \frac{l_c - c - 2 \times \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{86,25 - 3,0 - 2 \times 1,2 - 1,6}{11} = 7,21 \text{ cm}$$

Razmak vertikalne armature okomito na zid:

$$b_{i,v} = \frac{b_o - \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{42,8 - 1,2 - 2,5}{1} = 39,1 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka, [12]:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \times b_o \times h_o} = 1 - \frac{2 \times 11 \times 7,21^2 + 2 \times 39,1^2}{6 \times 42,8 \times 86,25} = 0,81$$

Najveći dopušteni razmak spona, [12]:

$$s_{\max} = \min\left(\frac{b_o}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \times d_{bl}\right)$$

$$s_{\max} = \min\left(\frac{42,8}{2} = 21,4; 17,5; 8 \times 2,5 = 20,0\right)$$

$$s_{\max} = \min(21,4; 17,5; 20,0)$$

$$s_{\max} = 17,5 \text{ cm}$$

Za pretpostavljeni razmak spona vrijedi, [12]:

$$s = \phi 12/10,0 \text{ cm}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \times b_o}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_o}\right) = \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 42,8}\right) \times \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 86,25}\right) = 0,83$$

Obujam spona:

$$\frac{\phi^2 \times \pi}{4} \times (10 \times b_0 + 2 \times h_0) = \frac{1,2^2 \times \pi}{4} \times (10 \times 42,8 + 2 \times 86,25) = 679,15 \text{ cm}^3$$

Obujam ovijenoga betona:

$$s \times b_0 \times h_0 = 10,0 \times 42,8 \times 86,25 = 36915,0 \text{ cm}^2$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{679,15}{36915,0} \times \frac{43,478}{6,67} = 0,119 > 0,08$$

Faktor djelotvornosti:

$$\alpha = 0,81 \times 0,83 = 0,672$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,018$$

$$0,672 \times 0,119 \geq 0,018$$

$$0,080 \geq 0,018$$

Odabrana armatura:

$$s = \phi 12/10,0 \text{ cm}$$

Tablica 31.: Rekapitulacija armature zida 3d

Vertikalna armatura hrpta	$\phi 20/10,0 \text{ cm}$
Horizontalna armatura hrpta	$\phi 16/10,0 \text{ cm}$
Vertikalna armatura (kritično područje zida)	12 ϕ 16 (12 ϕ 16/7,0 cm)
Spone	$\phi 12/10,0 \text{ cm}$

3.6.6. Dimenzioniranje poprečnog zida 3d (GSU)

3.6.6.1. Kontrola naprezanja u betonu poprečnog zida 3d

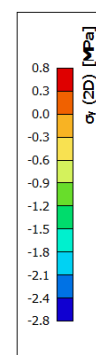
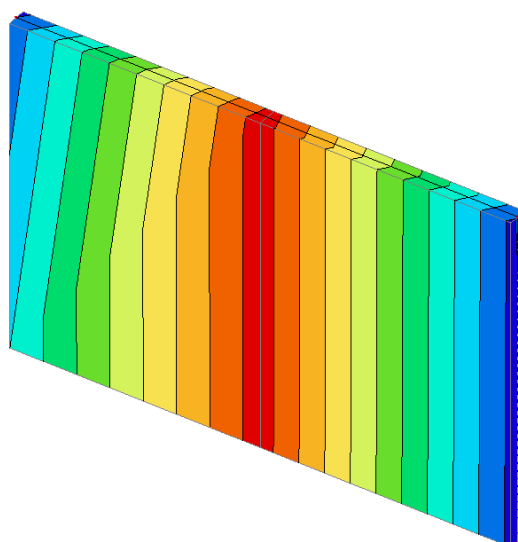
Kontrola naprezanja se provjerava prema normi [9]. Treba se ograničiti tlačno naprezanje da se izbjegne pojava pukotina, mikropukotina i velike plastične deformacije, čime se narušava trajnost i funkcionalnost konstrukcije. Za karakterističnu kombinaciju djelovanja se provjerava pojava uzdužnih pukotina, 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:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck}$$

3D stress
Values: σ_y (2D)
Linear calculation
Combination: SLS-Char (auto)
Selection: S3313
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element
Basic magnitudes



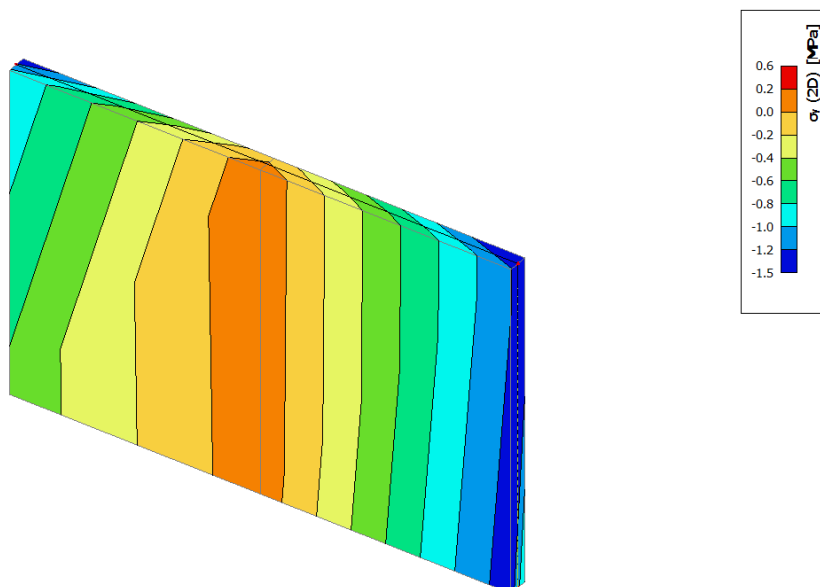
Slika 132.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 100,0 = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 2,8 \text{ N/mm}^2 \leq 60,0 \text{ N/mm}^2$$

3D stress
 Values: σ_y (2D)
 Linear calculation
 Combination: SLS-Quasi (auto)
 Selection: S3313
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes



Slika 133.: Prikaz napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 100,0 = 45,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 1,5 \text{ N/mm}^2 \leq 45,0 \text{ N/mm}^2$$

Zaključak: Zidovi na pozicijama 1b, 1e, 2b, 2e, 3a, 3b, 3c, 3d, 3e, 3f, 4a, 4b, 4c, 4d, 4e, i 4f nisu zadovoljili uvjete sa prvobitno postavljenom širinom od 25 cm. Širina je povećana na 50 cm zbog uvjeta za širinu elementa kod kritičnog područja.

3.6.7. Dimenzioniranje obodnog zida 6a

Obodni zidovi se nalaze na 6 razina po visini građevine. Postavljeni su kružno po tlocrtu. Konstantne su debljine od 80 cm, te konstantne visine od 390 cm. Zidovi prema pozicijama na slici 118. dijele se na 2 skupine po duljini. Zidovi na pozicijama 5a, 5b, 5c i 5d, imaju duljinu od 523 cm. Zidovi na pozicijama 6a, 6b, 6c i 6d, imaju duljinu od 850 cm. Zidovi se dimenzioniraju prema normi [9] za GSN i GSU, a prema [12] zidovi trebaju biti u mogućnosti disipirati seizmičku energiju bez gubitka nosivosti.

U poglavlju (ispis rezultata) prikazani su ispisi unutarnjih sila za poprečne zidove, a kao primjer za dimenzioniranje odabran je zid na prvoj pojasu, koji je najmjerodavniji.

3.6.7.1. Proračun zaštitnog sloja AB zida

Nominalni zaštitni sloj se prema [9] određuje kao:

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

gdje je:

c_{nom} nominalni zaštitni sloj

c_{min} minimalni zaštitni sloj

Δc_{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]: XC4 (naizmjenično vlažan i suh, betonske površine u dodiru s vodom, koje nisu u XC2, 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:

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

gdje je:

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

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

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

$c_{dur,st}$ 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 C100/115, razred izloženosti XC4 i pločasti element iz tablice 41. je određen razred konstrukcije S4. Iz tablice 42. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S4 i razreda izloženosti XC4, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša $c_{min,dur}$.

$$c_{min,dur} = 30,0 \text{ mm}$$

Slijedi:

$$c_{min} = \max\{20,0; 30,0 + 0,0 - 0,0 - 0,0 = 30,0; 10,0 \text{ mm}\}$$

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

$$c_{nom} = 30,0 + 10,0 = 40,0 \text{ mm}$$

3.6.7.2. Materijali i geometrija obodnih zidova

Materijali

Razred čvrstoće betona: C100/115 [22]

Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona: $f_{ck} = 100,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka: $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton: $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća: $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{100}{1,5} = 66,67 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća: $f_{cm} = 108,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 5,2 \text{ N/mm}^2$
- 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

- Debljina zida: $b_w = 100,0$ cm (početno 80 cm, povećano zbog teorije drugog reda)
- Duljina zida: $l_w = 850,0$ cm
- Visina etaže: $h_e = 410,0$ cm
- Svijetla visina etaže: $h_s = 410,0 - 20,0 = 390,0$ cm
- Visina zida: $h_w = 390,0$ cm
- Zaštitni sloj: $c = 4,0$ cm

3.6.7.3. Kontrola izvijanja i vitkosti zida

Prema [9], vitkost zida jednaka je:

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

Proračunska duljina izvijanja zida [9]:

$$l_0 = \beta \times h_s = 0,826 \times 390,0 = 322,14 \text{ cm}$$

gdje je koeficijent za određivanje duljine izvijanja za zid pridržan na četiri ruba, [9]:

$$\beta = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_s}{l_w}\right)^2} = \frac{1}{1 + \left(\frac{3,9}{8,50}\right)^2} = 0,826$$

Površina zida:

$$A = l_w \times b_w = 8,50 \times 0,80 = 6,80 \text{ m}^2$$

Moment tromosti:

$$I = \frac{l_w \times b_w^3}{12} = \frac{8,50 \times 0,80^3}{12} = 0,36 \text{ m}^4$$

Polumjer tromosti:

$$i^2 = \frac{I}{A} = \frac{0,36}{6,80} = 0,0529 \text{ m}^2 \rightarrow i = 0,230 \text{ m}$$

Prema [9], učinci drugog reda se mogu zanemariti, ako je proračunska vitkost manja od granične vitkosti, koja je prema [18], jednaka:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{|v_{Ed}|}} = \frac{20 \times 0,7 \times 1,1 \times 0,7}{\sqrt{1,00}} = 10,78$$

gdje je iz [18]:

$$A = 0,70$$

$$B = 1,10$$

$$C = 0,70$$

v_{Ed} normalizirana vrijednost uzdužne sile

Normalizirana vrijednost uzdužne sile, [9]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{l_w \times b_w \times f_{cd}} = \frac{455,98}{8,50 \cdot 0,80 \cdot 66,67} = 1,00 \text{ kN}$$

Konačno:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3,22}{0,230} = 14,0 > \lambda_{lim} = 10,78$$

Proračunska vitkost veća je od granične. Potreban je proračun po teoriji drugog reda.

Proračun prema teoriji drugog reda [12]

Proračunska otpornost:

$$N_{Rd} = b_w \cdot d \cdot f_{cd}$$

Ekscentričnost prema teoriji prvog reda:

$$e_0 = 0,0 \text{ cm}$$

Kut nagiba prema vertikali:

$$\Phi = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{h_s}} = \frac{1}{100 \cdot \sqrt{3,90}} = 5,06 \cdot 10^{-3} > v_{min} = 0,005$$

Dodatna ekscentričnost:

$$e_s = \Phi \cdot \frac{l_0}{2} = 5,06 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{322,14}{2} = 0,82 \text{ cm}$$

Ekscentričnost od puzanja:

$$e_\varphi = 0,0 \text{ cm}$$

Ukupni ekscentricitet

$$e_{tot} = e_0 + e_s + e_\varphi = 0,0 + 0,82 + 0,0 = 0,82 \text{ cm}$$

Kut zaokreta:

$$0 \leq \varphi = 1,14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{\text{tot}}}{b_w}\right) - 0,02 \cdot \frac{l_0}{b_w} \leq \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{\text{tot}}}{b_w}\right)$$

$$\varphi = 1,14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{\text{tot}}}{b_w}\right) - 0,02 \cdot \frac{l_0}{b_w} = 1,14 \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{0,82}{80,0}\right) - 0,02 \cdot \frac{322,14}{80,0} = 1,04$$

$$\varphi = 1,04 < \left(1 - 2 \cdot \frac{e_{\text{tot}}}{b_w}\right) = \left(1 - 2 \cdot \frac{0,82}{80,0}\right) = 0,98$$

$$\varphi = 0,98$$

Proračunska vrijednost otpornosti na uzdužnu silu:

$$N_{Rd} = b_w \cdot h_s \cdot f_{cd} \cdot \varphi = 80,0 \cdot 390,0 \cdot 6,67 \cdot 0,98 = 203,94 \text{ MN} = 203,94 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

Uvjet:

$$N_{Ed} = 455,98 \text{ MN} > N_{Rd} = 203,94 \text{ MN}$$

Uvjet nije zadovoljen!

Potrebno je povećati širinu zida na 100 cm.

Površina zida:

$$A = l_w \times b_w = 8,50 \times 1,00 = 8,50 \text{ m}^2$$

Moment tromosti:

$$I = \frac{l_w \times b_w^3}{12} = \frac{8,50 \times 1,0^3}{12} = 0,708 \text{ m}^4$$

Polumjer tromosti:

$$i^2 = \frac{I}{A} = \frac{0,708}{8,50} = 0,083 \text{ m}^2 \rightarrow i = 0,288 \text{ m}$$

Prema [9], učinci drugog reda se mogu zanemariti, ako je proračunska vitkost manja od granične vitkosti, koja je prema [18], jednaka:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{20 \times A \times B \times C}{\sqrt{|N_{Ed}|}} = \frac{20 \times 0,7 \times 1,1 \times 0,7}{\sqrt{0,805}} = 12,01$$

gdje je iz [18]:

$$A = 0,70$$

$$B = 1,10$$

$$C = 0,70$$

v_{Ed} normalizirana vrijednost uzdužne sile

Normalizirana vrijednost uzdužne sile, [9]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{l_w \times b_w \times f_{cd}} = \frac{455,97}{8,50 \cdot 1,0 \cdot 66,67} = 0,805 \text{ kN}$$

Konačno:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{3,22}{0,288} = 11,18 < \lambda_{lim} = 12,01$$

Proračunska vitkost manja je od granične. Nije potreban proračun po teoriji drugog reda.

3.6.7.4. 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 $v_{Ed} \leq 0,4$, prema [12].

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \times l_w \times f_{cd}} = \frac{45597,75}{100 \times 850 \times 6,67} = 0,08 < 0,4$$

Uvjet je zadovoljen!

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, $T_1 = 8,05 \text{ s}$

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%.

$$\mu_\phi = (2 \times q_0 - 1) \times 1,5 = (2 \times 3,9 - 1) \times 1,5 = 10,2$$

3.6.7.5. 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.

$$V_{Ed} = 1,5 \times 33173,21 = 49759,82 \text{ kN}$$

Razmak armature, [9]:

$$s = 2 \times A_{sh} \times f_{yd} \times \frac{z \times \cot \theta}{V_{Ed}} = 2 \times 8,46 \times 43,478 \times \frac{0,8 \times 850,0 \times 1,0}{49759,82} = 9,89 \text{ cm}$$

Minimalna horizontalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sh,min} = 0,002 \times A_c = 0,002 \times 100,0 \times 100,0 = 20,00 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 10,00 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ – za svako lice zida}$$

$$A_{sh,min} = 0,25 \times A_{sv} = 0,25 \times 101,74 = 25,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sh,min} = 12,72 \text{ cm}^2/\text{m} \text{ – za svako lice zida}$$

Odabrana horizontalna armatura:

$\phi 32/9,50 \text{ cm}$ ($A_{s,prov} = 84,61 \text{ cm}^2/\text{m}$) uz svako lice zida

Uvjet: $A_{sh,min} = 12,72 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sh,prov} = 84,61 \text{ cm}^2/\text{m}$

Vertikalna armatura hrpta

Služi za preuzimanje momenta van ravnine:

$$M_{Ed} = 4093,36 \text{ kNm}$$

Statička visina zida (horizontalna armatura se postavlja bliže licu zida) u težištu armature u dvije zone:

$$d = h - c - \phi_h - \frac{\phi_v}{2} = 100,0 - 4,0 - 3,2 - \frac{3,6}{2} = 91,0 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega' = \frac{A_{sv} \times f_{yd}}{b \times d \times f_{cd}} = \frac{101,74 \times 43,478}{100,0 \times 91,00 \times 6,67} = 0,073$$

Za $\omega' = 0,073$ očitana je iz [19] vrijednost $\mu_{Rd} = 0,069$

Korištene su tablice za beton C90/105 (C100/115).

Nosivost na moment savijanja, [19]:

$$M_{Rd} = \mu_{Rd} \times l_w \times d^2 \times f_{cd} = 0,069 \times 850,0 \times 91,0^2 \times 6,67 = 32394,89 \text{ kNm}$$

Uvjet: $M_{Ed} = 4093,36 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 32394,89 \text{ kNm}$

Minimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sv,min} = 0,002 \times A_c = 0,002 \times 100,0 \times 100,0 = 20,0 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{sv,min} = 10,0 \text{ cm}^2/\text{m} - \text{za svako lice zida}$$

Maksimalna vertikalna armatura hrpta, [9]:

$$A_{sv,max} = 0,04 \times A_c = 0,02 \times 100,0 \times 100,0 = 200 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Maksimalna armatura za svako lice hrpta.

Odabrana vertikalna armatura:

$\phi 36/10,0 \text{ cm}$ ($A_{s,prov} = 101,74 \text{ cm}^2/\text{m}$) – za svako lice zida

Uvjet: $A_{sv,min} = 10,0 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,prov} = 101,74 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{sv,max} = 200,0 \text{ cm}^2/\text{m}$

3.6.7.6. 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:

$$N_{Ed} = 42866,44 \text{ kN (minimalna)}$$

$$M_{Ed} = 65198,06 \text{ kNm}$$

Bezdimenzijska vrijednost uzdužne sile prema [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b_w \times l_w \times f_{cd}} = \frac{-42866,44}{100,0 \times 850,0 \times 6,67} = -0,075$$

Bezdimenzijski moment savijanja prema [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed,x}}{b_w \cdot l_w^2 \cdot f_{cd}} = \frac{13905772}{100,0 \cdot 850,0^2 \cdot 6,67} = 0,029$$

Kako mehanički koeficijent armiranja pada u područje bez vrijednosti, odabrano iz [19] za beton C90/105 (C100/115):

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

Potrebna armatura (za svaki kraj zida) prema [19]:

$$A_{s1} = \omega_{Ed} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b_w \cdot l_w = 0,005 \cdot \frac{6,67}{43,478} \cdot 100,0 \cdot 850,0 = 65,20 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura (za svaki kraj zida):

$$14\phi 25 (A_{s,prov} = 68,69 \text{ cm}^2)$$

Visina kritičnog područja

Proračunava se prema [12]:

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

$$h_{cr} = \max\left(850,0; \frac{30750}{6} = 5125,0\right)$$

$$h_{cr} = 5125,0 \text{ cm}$$

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

$$h_{cr} \leq \min(2 \times 850,0 = 1700,0; 2 \times 390,0 = 780,0)$$

Odabrana visina kritičnog područja h_{cr} :

$$h_{cr} = 780,0 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja

Za pretpostavljene spone $\phi 16$ vrijedi:

$$b_0 = b_w - 2 \times c - \phi_w = 100,0 - 2 \times 4,0 - 1,6 = 90,4 \text{ cm}$$

Relativna deformacija betona pri slomu [22]:

$$\varepsilon_{cu2} = 2,6 \text{ ‰}$$

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]:

$$\omega_v = \rho_v \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 0,00239 \times \frac{43,478}{6,67} = 0,0156$$

Minimalni koeficijent armiranja treba biti u rasponu vrijednosti:

$$0,20\% \leq \rho_v \leq 4,0\%$$

$$\rho_v = \frac{A_{sv}}{I_w \times b_w} = \frac{2 \times 101,74}{850,0 \times 100,0} = 0,00239 = 0,23\% \geq 0,20\%$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times \mu_\phi \times (v_d + \omega_v) \times \varepsilon_{sy,d} \times \frac{b_w}{b_0} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times 10,2 \times (0,075 + 0,0156) \times 2,17 \times 10^{-3} \times \frac{100,0}{90,4} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,032$$

Relativna deformacija ovijenog betona pri slomu, [9]:

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0026 + 0,1 \times \alpha \times \omega_{wd} = 0,0026 + 0,1 \times 0,032 = 0,0058$$

Duljina tlačnog područja pri slomu, [12]:

$$x_u = (v_d + \omega_v) \times \frac{l_w \times b_w}{b_0} = (0,075 + 0,0156) \times \frac{850,0 \times 100,0}{90,4} = 85,19 \text{ cm}$$

Duljina kritičnog područja, [12]:

$$h_0 = l_c = x_u \times \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right) = 85,19 \times \left(1 - \frac{0,0026}{0,0058}\right) = 47,00 \text{ cm}$$

Minimalna duljina kritičnog područja prema [12]:

$$l_c \geq \max(0,15 \times l_w; 1,5 \times b_w)$$

$$l_c \geq \max(0,15 \times 850,0 = 127,5; 1,5 \cdot 100,0 = 150,0)$$

$$l_c \geq 150,0 \text{ cm}$$

Mjerodavna duljina kritičnog područja:

$$l_c = 150,0 \text{ cm}$$

Minimalna i maksimalna uzdužna armatura

Koeficijent armiranja treba biti veći od 0,5% i manji od 4%.

Koeficijent armiranja:

$$\rho_v = \frac{A_{s,prov}}{l_c \times b_0} = \frac{2 \times 68,69}{150,0 \times 90,4} = 0,0101 = 1,01 \%$$

Debljina kritičnog područja

Prema [12], debljina hrpta zidova:

$$b_w = \max\left\{15,0 \text{ cm}; \frac{h_s}{20}\right\} = \left\{15,0 \text{ cm}; \frac{390}{15} = 26,0 \text{ cm}\right\}$$

$$b_w = 100,0 \text{ cm} > 26,0 \text{ cm}$$

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 $\frac{h_s}{10}$

$$l_c = 150,0 \text{ cm}$$

$$l_c = 150,0 < 2 \times b_w = 2 \times 100,0 = 200,0 \text{ cm} \rightarrow b_w = 100,0 \text{ cm} > \frac{h_s}{15} = \frac{390,0}{15}$$

$$= 26,0 \text{ cm}$$

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]:

α_n gubitak ovijenog područja u horizontalnoj ravnini

α_s gubitak ovijenog područja u vertikalnoj ravnini

Odabrana uzdužna armatura kritičnog područja: $14\phi 25$ ($A_{s,prov} = 68,69 \text{ cm}^2$) - za svaki kraj zida.

Razmak dvije šipke:

$$b_{i,h} = \frac{l_c - c - 2 \times \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{150,0 - 3,0 - 2 \times 1,6 - 2,5}{13} = 10,87 \text{ cm}$$

Razmak vertikalne armature okomito na zid:

$$b_{i,v} = \frac{b_o - \phi_v - \phi_u}{\text{broj razmaka}} = \frac{90,4 - 1,6 - 2,5}{1} = 86,3 \text{ cm}$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka, [12]:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \times b_o \times h_o} = 1 - \frac{2 \times 13 \times 10,87^2 + 2 \times 86,3^2}{6 \times 90,4 \times 150,0} = 0,80$$

Najveći dopušteni razmak spona, [12]:

$$s_{\max} = \min\left(\frac{b_o}{2}; 17,5 \text{ cm}; 8 \times d_{bl}\right)$$

$$s_{\max} = \min\left(\frac{90,4}{2} = 45,2; 17,5; 8 \times 2,5 = 20,0\right)$$

$$s_{\max} = \min(45,2; 17,5; 20,0)$$

$$s_{\max} = 17,5 \text{ cm}$$

Za pretpostavljeni razmak spona vrijedi, [12]:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \times b_o}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_o}\right) = \left(1 - \frac{1,0}{2 \times 90,4}\right) \times \left(1 - \frac{1,0}{2 \times 150,0}\right) = 0,99$$

Obujam spona:

$$\frac{\phi^2 \times \pi}{4} \times (10 \times b_0 + 2 \times h_0) = \frac{1,6^2 \times \pi}{4} \times (10 \times 90,4 + 2 \times 150,0) = 2420,79 \text{ cm}^3$$

Obujam ovijenoga betona:

$$s \times b_0 \times h_0 = 1,0 \times 90,4 \times 150,0 = 13650,0 \text{ cm}^2$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2420,79}{13650,0} \times \frac{43,478}{6,67} = 0,177 > 0,08$$

Faktor djelotvornosti:

$$\alpha = 0,80 \times 0,99 = 0,79$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti prema [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,032$$

$$0,79 \times 0,177 \geq 0,032$$

$$0,140 \geq 0,032$$

Odabrana armatura:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

Tablica 32.: Rekapitulacija armature zida 6a

Vertikalna armatura hrpta	$\phi 36/9,50 \text{ cm}$
Horizontalna armatura hrpta	$\phi 36/10,0 \text{ cm}$
Vertikalna armatura (kritično područje zida)	14 ϕ 25 (14 ϕ 25/10,0 cm)
Spone	$\phi 25/8,0 \text{ cm}$

3.6.8. Dimenzioniranje poprečnog zida 6a (GSU)

3.6.8.1. Kontrola naprezanja u betonu obodnog zida

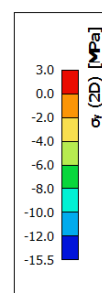
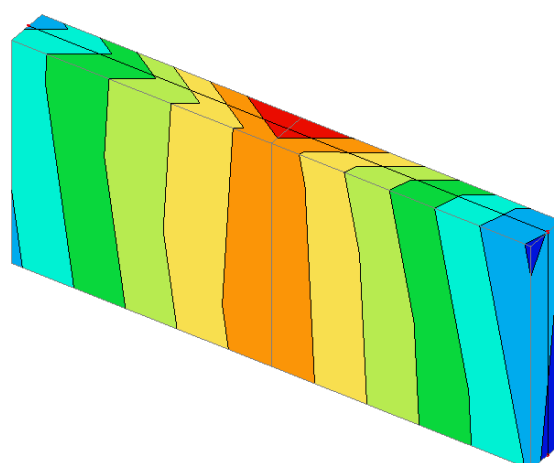
Kontrola naprezanja se provjerava prema normi [9]. Treba se ograničiti tlačno naprezanje da se izbjegne pojava pukotina, mikropukotina i velike plastične deformacije, čime se narušava trajnost i funkcionalnost konstrukcije. Za karakterističnu kombinaciju djelovanja se provjerava pojava uzdužnih pukotina, 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:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck}$$

3D stress
 Values: σ_y (2D)
 Linear calculation
 Combination: SLS-Char (auto)
 Selection: S3187
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes

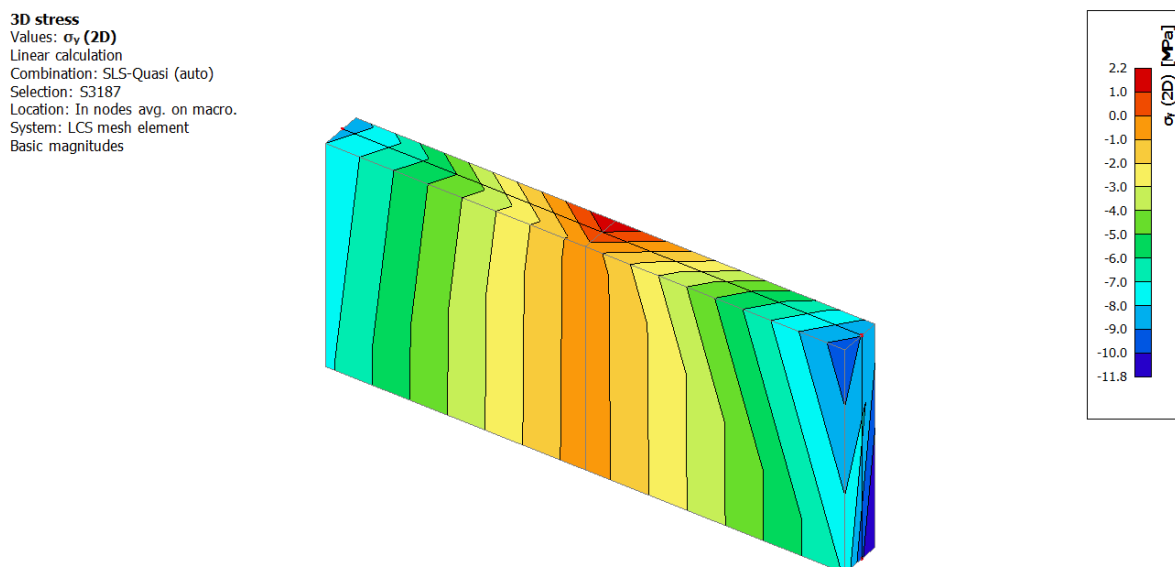


Slika 134.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 100,0 = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 15,5 \text{ N/mm}^2 \leq 60,0 \text{ N/mm}^2$$



Slika 135.: Prikaz napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih napreznja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 100,0 = 45,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 11,8 \text{ N/mm}^2 \leq 45,0 \text{ N/mm}^2$$

Zaključak: Zidovi na pozicijama 5a, 5b, 5c, 5d, 6a, 6b, 6c i 6d nisu zadovoljili uvjete sa prvobitno postavljenom širinom od 80 cm. Širina je povećana na 100 cm zbog iznimno velikih unutrašnjih poprečnih sila, te kako bi se ispoštovali uvjeti nosivosti, duktilnosti i rasporeda armature. Zidovi na poziciji 5a, 5b, 5c i 5d nisu računati zbog sličnih unutrašnjih sila sa proračunatim obodnim zidom, te se usvaja ista armatura kao i za proračunati zid.

3.6.9. Dimenzioniranje unutrašnjeg stupa

Unutrašnji mali stupovi nalaze unutar tlocrta, te su simetrično raspoređeni. Konstantnog su poprečnog presjeka, dimenzija 50x50 cm, te konstantne visine od 390 cm. Na slici 118. se nalaze mali stupovi na pozicijama M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8 i M9. Stupovi se dimenzioniraju prema normi [9] za GSN i GSU.

U poglavlju (ispis rezultata) prikazani su ispisi unutarnjih sila za stupove, a kao primjer za dimenzioniranje odabran je stup M1 na razini prizemlja.

Dobivena armatura bit će odabrana za sve stupove na poziciji M.

3.6.9.1. Proračun zaštitnog sloja AB stupa

Nominalni zaštitni sloj se prema [9] određuje kao:

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

gdje je:

c_{nom} nominalni zaštitni sloj

c_{min} minimalni zaštitni sloj

Δc_{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:

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

gdje je:

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

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

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

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

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

Za beton klase C100/115, razred izloženosti XC1 iz tablice 4.1. je određen razred konstrukcije S5. Iz tablice 4.2. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S5 i razreda izloženosti XC1, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša $c_{\min, \text{dur}}$.

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

Slijedi:

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

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

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

3.6.9.2. Materijali i geometrija malih stupova

Materijali

Razred čvrstoće betona: C100/115 [22]

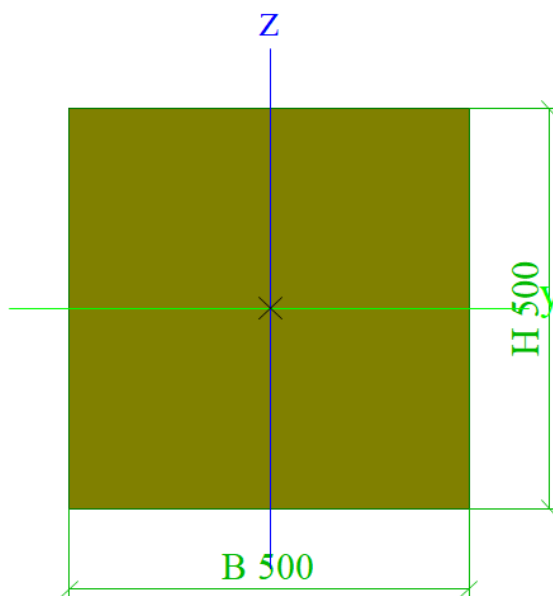
Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona: $f_{ck} = 100,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka: $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton: $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća: $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{100}{1,5} = 66,67 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća: $f_{cm} = 108,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 5,2 \text{ N/mm}^2$
- 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

- Visina etaže: $h_e = 410,0$ cm
- Svijetla visina stupa: $h_s = 410,0 - 20,0 = 390,0$ cm
- Zaštitni sloj: $c = 3,0$ cm
- Poprečni presjeci stupova:

Ay [m ²]	2,0833e-01
Az [m ²]	2,0833e-01
AL [m ² /m]	2,0000e+00
AD [m ² /m]	2,0000e+00
cYUCS [mm]	250
cZUCS [mm]	250
α [deg]	0,00
Iy [m ⁴]	5,2083e-03
Iz [m ⁴]	5,2083e-03
iy [mm]	144
iz [mm]	144
Wely [m ³]	2,0833e-02
Welz [m ³]	2,0833e-02
Wply [m ³]	0,0000e+00
Wplz [m ³]	0,0000e+00
Mply+ [Nm]	0,00



Slika 136.: Prikaz poprečnog presjeka stupa

3.6.9.3. 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, $T_1 = 8,05$ 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%.

$$\mu_{\phi} = (2 \times q_0 - 1) \times 1,5 = (2 \times 3,9 - 1) \times 1,5 = 10,2$$

3.6.9.4. Uzdužna armatura stupova

Određuje se pomoću dijagrama interakcije [19].

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{83697}{50 \times 50^2 \times 6,67} = 0,100$$

Bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-7709,55}{50 \times 50 \times 6,67} = -0,462$$

Iz dijagrama interakcije je očitani mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 0,05$$

Prema tome je zahtijevana armatura [19]:

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,05 \times \frac{50 \times 50 \times 6,67}{43,478} = 19,18 \text{ cm}^2$$

Minimalna uzdužna armatura

Prema [12] minimalna uzdužna armatura za potresne stupove iznosi:

$$A_{s,\min} = 0,01 \times A_c = 0,01 \times 50 \times 50 = 25,0 \text{ cm}^2$$

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:

$$A_{s,\max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 50 \times 50 = 100,0 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura

Odabrana armatura se treba nalaziti u sljedećem rasponu [19]:

$$A_{s,\min} \leq A_{s1} + A_{s2} + A_{s,\text{dod}} \leq A_{s,\max}$$

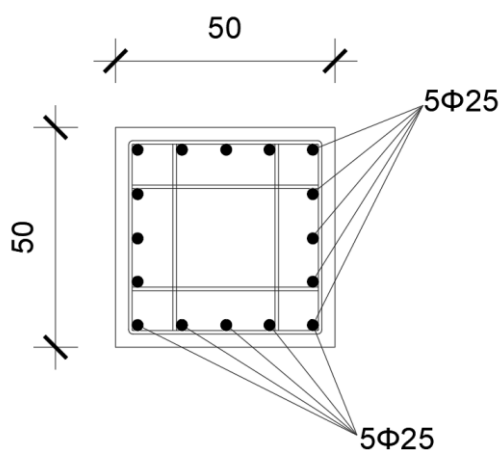
Odabrana armatura na stranama stupa koje se odupiru savijanju oko osi y:

$$A_{s1} = A_{s2} = 5\phi 25 \quad (A_{s,\text{prov}} = 24,53 + 24,53 = 49,06 \text{ cm}^2)$$

Prema [12], razmak između šipki potresnog stupa mora biti manji od 20 cm, što je i zadovoljeno.

Konačno:

$$A_{s1} + A_{s2} + A_{s,\text{dod}} = 5\phi 25 + 5\phi 25 + 0 = 49,06 \text{ cm}^2$$



Slika 137.: Prikaz armature stupa M1

Svijetli razmak šipki armature postignut armiranjem na ovaj način je:

$$s = 74,8 \text{ mm}$$

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:

$$s = 74,8 \text{ mm} > s_{\min} = 37 \text{ mm}$$

3.6.9.5. Maksimalni razmak spona

Prema [12] visina kritičnog područja (kritična područja su spojevi s temeljom) stupa iznosi:

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_{cl}/6; 45,0 \text{ cm}\}$$

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_c/6; 45,0 \text{ cm}\} = \max\{50,0; 65,0; 45,0 \text{ cm}\} = 65,0 \text{ cm}$$

Prema [18], maksimalni razmak spona izvan kritičnog područja je:

$$s_{\max} = \min\{12 \times \Phi_{s,\min}; b; 30,0 \text{ cm}\} = \min\{12 \times 2,5 = 30; b; 70,0 \text{ cm}\} = 30,0 \text{ cm}$$

U kritičnom području stupa razmak spona ne smije biti veći od [12]:

$$s_{cr,\max} = \min\{8 \times \Phi_{s,\min}; b_0/2; 17,5 \text{ cm}\} = \min\{8 \times 2,5 = 20; 42,4/2 = 21,2; 17,5 \text{ cm}\}$$

$$s_{cr,\max} = 17,5 \text{ cm}$$

gdje je b_0 najmanja dimenzija betonske jezgre (do osi spona).

$$b_0 = b - 2 \times c - \phi_w = 50,0 - 6,0 - 1,6 = 42,4 \text{ cm}$$

3.6.9.6. Poprečna armatura stupova

Određuje se prema [19] kao:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta$$

Pretpostavit će se četverorezne spona $\phi 8$.

Zahtijevani razmak spona, [19]:

$$s = \frac{4 \times 0,502}{406,70} \times 0,9 \times 44,95 \times 43,478 \times 1,2 = 10,42 \text{ cm}$$

ODABRANO: Spone se postavljaju na razmaku 10 cm (unutar i izvan kritičnog područja) da se dobije puni broj spona.

Odabrane spone $\phi 8/10$ cm.

Prema [12], kako bi se osigurala dovoljna razina ovijanja treba biti zadovoljeno:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times \mu_{\phi} \times v_d \times \varepsilon_{sy,d} \times \frac{b}{b_0} - 0,035$$

Na dnu stupova (spojevi s temeljem) je potrebno da navedeni izraz bude zadovoljen.

Za dno stupa bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-7709,55}{50 \times 50 \times 6,67} = -0,462$$

Relativna deformacija armature pri popuštanju, [19]:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \times 10^{-3}$$

Vrijedi [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times 10,2 \times 0,462 \times 2,17 \times 10^{-3} \times \frac{50,0}{42,4} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,310$$

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:

$$V_{sw} = \sum A_{sw} \times l = \frac{0,8^2 \times \pi}{4} \times [(4 \times 42,4 + 4 \times 42,4 + 2 \times 42,4 + 2 \times 22,4)]$$

$$V_{sw} = 255,75 \text{ cm}^3$$

Volumen obavijenog betona iznosi:

$$V_c = b_0 \cdot h_0 \cdot s = 42,4 \cdot 42,4 \cdot 10,0 = 848,0 \text{ cm}^3$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{255,75}{848,0} \times \frac{43,478}{6,67} = 1,97$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka, [12]:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \times b_0 \times h_0} = 1 - \frac{2 \times 4 \times 9,98^2 + 2 \times 4 \times 9,98^2}{6 \times 42,4 \times 42,4} = 0,85$$

Za pretpostavljeni razmak spona vrijedi, [12]:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{s}{2 \times b_0}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_0}\right) = \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 42,4}\right) \times \left(1 - \frac{10,0}{2 \times 42,4}\right) = 0,78$$

Faktor djelotvornosti:

$$\alpha = 0,85 \times 0,78 = 0,66$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,310$$

$$0,66 \times 1,97 \geq 0,310$$

$$1,30 \geq 0,310$$

Izraz je zadovoljen pa su spona prikladne.

3.6.9.7. Usporedba rezultata s rezultatima iz programa SCIA Engineer

Prikazani rezultati su rezultati za stup M1 u prizemlju za potresnu kombinaciju, za koji je i proveden proračun.

Reinforcement 1D designValues: $A_{s,req}$

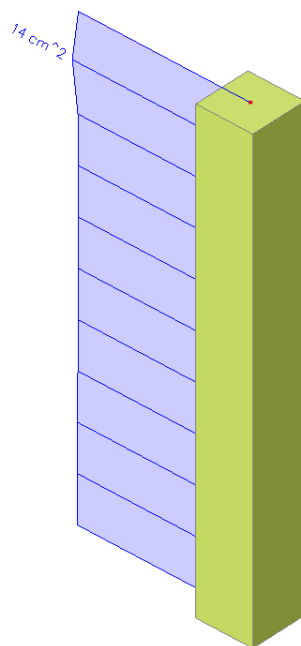
Linear calculation

Combination: ULS-Seis (auto)

Coordinate system: Member

Extreme 1D: Global

Selection: B1

**Slika 138.:** Prikaz potrebne armature stupa M1 iz programa SCIA Engineer**Tablica 33.:** Prikaz usporedbe potrebne armature za stupove M1

STUP	PRORAČUN	SCIA Engineer [2]
M1	$A_{s1,req} = 19,18 \text{ cm}^2$	$A_{s1,req} = 14,0 \text{ cm}^2$

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 dobila bi se vrijednost potrebne armature od $14,0 \text{ cm}^2$, što je bliže rezultatima iz programa.

Zaključak: Za sve elemente se prihvaća odabrana armatura dobivena ručnim proračunom.

3.6.10. Dimenzioniranje malog stupa M1 (GSU)

3.6.10.1. Kontrola naprezanja u betonu stupa M1

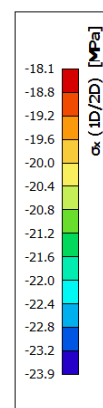
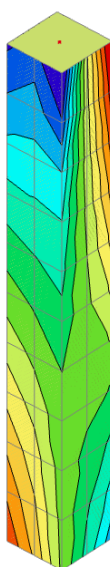
Kontrola naprezanja se provjerava prema normi [9]. Treba se ograničiti tlačno naprezanje da se izbjegne pojava pukotina, mikropukotina i velike plastične deformacije, čime se narušava trajnost i funkcionalnost konstrukcije. Za karakterističnu kombinaciju djelovanja se provjerava pojava uzdužnih pukotina, 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:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck}$$

3D stress
 Values: σ_x (1D/2D)
 Linear calculation
 Combination: SLS-Char (auto)
 Selection: B1
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes



Slika 139.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja

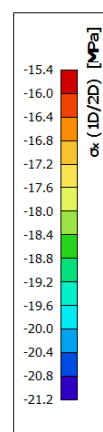
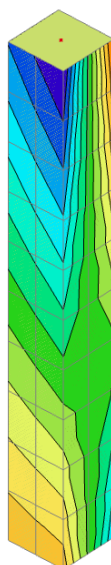
Ograničenje tlačnih naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 100,0 = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 23,9 \text{ N/mm}^2 \leq 60,0 \text{ N/mm}^2$$

3D stress

Values: σ_x (1D/2D)
 Linear calculation
 Combination: SLS-Quasi (auto)
 Selection: B1
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes



Slika 140.: Prikaz naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 100,0 = 45,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 21,2 \text{ N/mm}^2 \leq 45,0 \text{ N/mm}^2$$

Rekapitulacija odabrane armature stupa M1

Odabrana armatura stupova:

Tablica 34.: Rekapitulacija odabrane armature malih stupova M1

OZNAKA STUPA	UZDUŽNA ARMATURA	SPONE
M1	16Ø25	Ø8/10,0 cm

3.6.11. Dimenzioniranje vanjskog stupa

Vanjski veliki stupovi nalaze se na rubu tlocrta, te su simetrično raspoređeni. Konstantnog su poprečnog presjeka, dimenzija 400x400x90 cm, te konstantne visine od 390 cm. Na slici 118. se nalaze veliki stupovi na pozicijama S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8 i S9. Stupovi se dimenzioniraju prema normi [9] za GSN i GSU.

U poglavlju (ispis rezultata) prikazani su ispisi unutarnjih sila za stupove, koje su različite za stupove na različitim pozicijama, te ovise od visinske kote promatranog elementa. Kao primjer za dimenzioniranje odabran je stup S1 na razini prizemlja, za kojeg su uzete maksimalne vrijednosti reznih sila cijele zgrade.

Dobivena armatura bit će odabrana za sve stupove na poziciji S.

3.6.11.1. Proračun zaštitnog sloja AB stupa S1

Nominalni zaštitni sloj se prema [9] određuje kao:

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

gdje je:

c_{nom} nominalni zaštitni sloj

c_{min} minimalni zaštitni sloj

Δc_{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]: XC4 (naizmjenično vlažan i suh, betonske površine u dodiru s vodom, koje nisu u XC2, 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:

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

gdje je:

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

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

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

$c_{dur,st}$ 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 C100/115, razred izloženosti XC1 iz tablice 4.1. je određen razred konstrukcije S5. Iz tablice 4.2. je iz ovisnosti razreda konstrukcije S5 i razreda izloženosti XC1, određena je vrijednost najmanje debljine koja proizlazi iz uvjeta okoliša $c_{min,dur}$.

$$c_{min,dur} = 30,0 \text{ mm}$$

Slijedi:

$$c_{min} = \max\{20,0; 30,0 + 0,0 - 0,0 - 0,0 = 30,0; 10,0 \text{ mm}\}$$

Konačno, nominalna vrijednost zaštitnog sloja:

$$c_{nom} = 30,0 + 10,0 = 40,0 \text{ mm}$$

3.6.11.2. Materijali i geometrija malih stupova

Materijali

Razred čvrstoće betona: C100/115 [22]

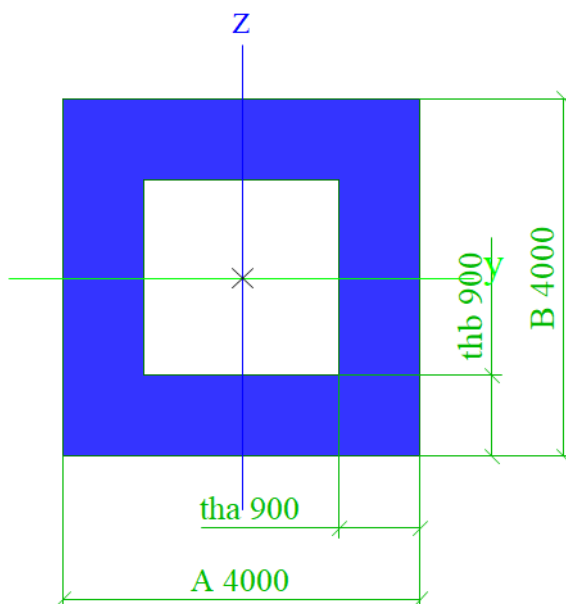
Čelik za armiranje: B500B

- Karakteristična tlačna čvrstoća betona: $f_{ck} = 100,0 \text{ N/mm}^2$
- Koeficijent dugotrajnih učinaka: $\alpha_{cc} = 1,0$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za beton: $\gamma_c = 1,5$
- Proračunska tlačna čvrstoća: $f_{cd} = \alpha_{cc} \times \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{100}{1,5} = 66,67 \text{ N/mm}^2$
- Srednja tlačna čvrstoća: $f_{cm} = 108,0 \text{ N/mm}^2$
- Srednja vlačna čvrstoća: $f_{ctm} = 5,2 \text{ N/mm}^2$
- 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

- Visina etaže: $h_e = 410,0 \text{ cm}$
- Svijetla visina stupa: $h_s = 410,0 \text{ cm}$ (stup je izvan tlocrta ploče)
- Zaštitni sloj: $c = 4,0 \text{ cm}$
- Poprečni presjeci stupova:

Ay [m ²]	5,5800e+00
Az [m ²]	5,5800e+00
AL [m ² /m]	1,6000e+01
AD [m ² /m]	2,4800e+01
cYUCS [mm]	2000
cZUCS [mm]	2000
α [deg]	0,00
Iy [m ⁴]	1,9381e+01
Iz [m ⁴]	1,9381e+01
iy [mm]	1318
iz [mm]	1318
Wely [m ³]	9,6906e+00
Welz [m ³]	9,6906e+00
Wply [m ³]	0,0000e+00
Wplz [m ³]	0,0000e+00
Mply+ [Nm]	0,00



Slika 14 1.: Prikaz poprečnog presjeka stupa

Zamijenska površina šupljeg presjeka stupa

Efektivna zamijenska debljina stijenke:

$$t_{\text{eff}} = \frac{A}{u} = \frac{400,0 \times 400,0}{4 \times 400,0} = 100,0 \text{ cm}$$

$$t_{\text{eff}} \geq \left(c + \phi_w + \frac{\phi_{\text{long}}}{2} \right)$$

Zamijenska površina:

$$A_{\text{eff}} = (a - t_{\text{eff}}) \times (b - t_{\text{eff}}) = 90000,0 \text{ cm}^2$$

3.6.11.3. 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, $T_1 = 8,05$ 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%.

$$\mu_{\phi} = (2 \times q_0 - 1) \times 1,5 = (2 \times 3,9 - 1) \times 1,5 = 10,2$$

3.6.11.4. Uzdužna armatura stupova

Određuje se pomoću dijagrama interakcije [19].

Bezdimenzijski moment savijanja, [19]:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \times h^2 \times f_{cd}} = \frac{91801,34}{300 \times 300^2 \times 6,67} = 0,00051$$

Bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-244761,23}{300 \times 300 \times 6,67} = -0,41$$

Iz dijagrama interakcije je očitani mehanički koeficijent armiranja, [19]:

$$\omega = 0,05$$

Prema tome je zahtijevana armatura [19]:

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,05 \times \frac{300 \times 300 \times 6,67}{43,478} = 690,35 \text{ cm}^2$$

Minimalna uzdužna armatura

Prema [12] minimalna uzdužna armatura za potresne stupove iznosi:

$$A_{s,\min} = 0,01 \times A_c = 0,01 \times 300 \times 300 = 900,0 \text{ cm}^2$$

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:

$$A_{s,\max} = 0,04 \times A_c = 0,04 \times 300 \times 300 = 3600,0 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura

Odabrana armatura se treba nalaziti u sljedećem rasponu [19]:

$$A_{s,\min} \leq A_{s1} + A_{s2} + A_{s,\text{dod}} \leq A_{s,\max}$$

Odabrana armatura na stranama stupa koje se odupiru savijanju oko osi y:

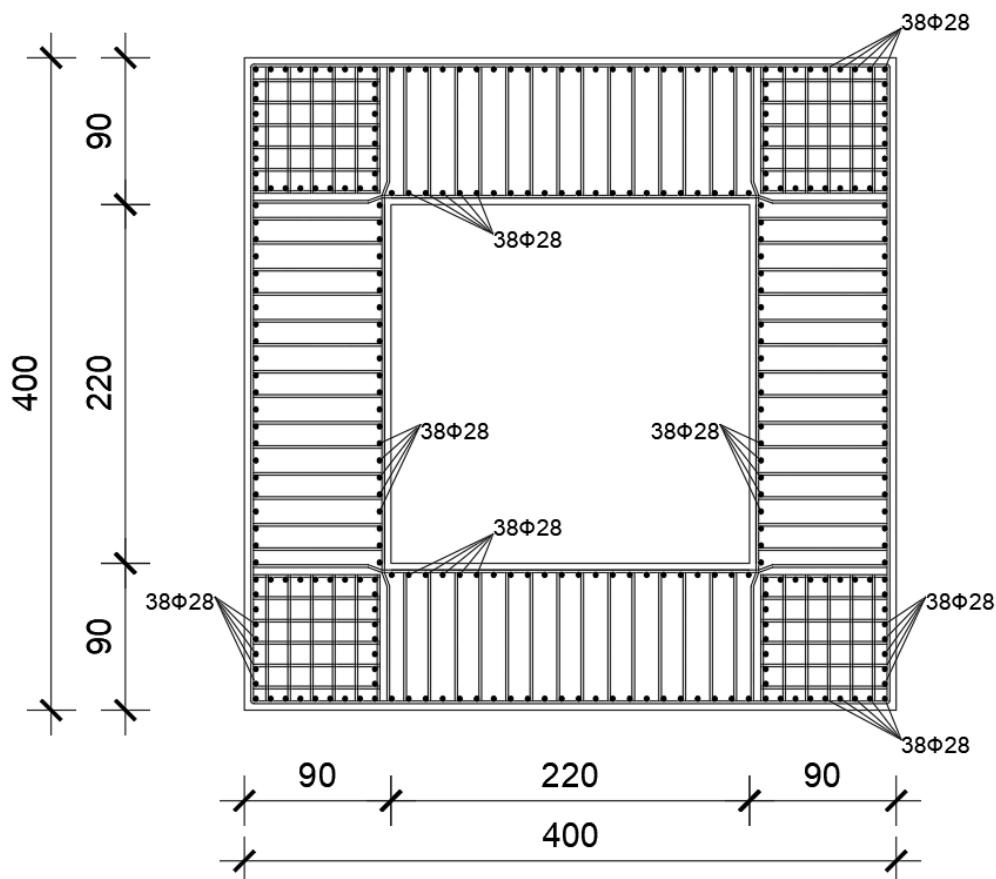
$$A_{s1} = A_{s2} = 2 \times 38\phi 28 \quad (A_{s,\text{prov}} = 467,73 + 467,73 = 935,47 \text{ cm}^2)$$

Armatura se postavlja u 2 zone, tj. na obje strane jedne stijenke stupa, te u konačnici na sva lica stupa.

Prema [12], razmak između šipki potresnog stupa mora biti manji od 20 cm, što je i zadovoljeno.

Konačno:

$$A_{s1} + A_{s2} + A_{s,\text{dod}} = 38\phi 28 + 38\phi 28 + 0 = 935,47 \text{ cm}^2$$



Slika 142.: Prikaz armature stupa S1

Svijetli razmak šipki armature postignut armiranjem na ovaj način je:

$$s = 76,3 \text{ mm}$$

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:

$$s = 76,3 \text{ mm} > s_{\min} = 37 \text{ mm}$$

3.6.11.5. Maksimalni razmak spona

Prema [12] visina kritičnog područja (kritična područja su spojevi s temeljom) stupa iznosi:

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_{cl}/6; 45,0 \text{ cm}\}$$

$$l_{cr} = \max\{h_c; l_c/6; 45,0 \text{ cm}\} = \max\{50,0; 68,5; 45,0 \text{ cm}\} = 68,5 \text{ cm}$$

Prema [18], maksimalni razmak spona izvan kritičnog područja je:

$$s_{max} = \min\{12 \times \Phi_{s,min}; b; 30,0 \text{ cm}\} = \min\{12 \times 2,8 = 33,6; b; 70,0 \text{ cm}\} = 34,0 \text{ cm}$$

U kritičnom području stupa razmak spona ne smije biti veći od [12]:

$$s_{cr,max} = \min\{8 \times \Phi_{s,min}; b_0/2; 17,5 \text{ cm}\} \\ = \min\{8 \times 2,8 = 22,4; 390,4/2 = 195,2; 17,5 \text{ cm}\}$$

$$s_{cr,max} = 17,5 \text{ cm}$$

gdje je b_0 najmanja dimenzija betonske jezgre (do osi spona).

$$b_0 = b - 2 \times c - \phi_w = 400,0 - 8,0 - 1,6 = 390,4 \text{ cm}$$

3.6.11.6. Poprečna armatura stupova

Određuje se prema [19] kao:

$$s = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \times 0,9 \times d \times f_{ywd} \times \cot\theta$$

Pretpostavit će se četverorezne spona $\phi 8$.

Zahtijevani razmak spona, [19]:

$$s = \frac{4 \times 2,00}{11399,64} \times 0,9 \times 355,0 \times 43,478 \times 1,2 = 11,70 \text{ cm}$$

ODABRANO: Spona se postavljaju na razmaku 10 cm (unutar i izvan kritičnog područja) da se dobije puni broj spona.

Odabrane spona $\phi 16/10 \text{ cm}$.

Prema [12], kako bi se osigurala dovoljna razina ovijanja treba biti zadovoljeno:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times \mu_\phi \times v_d \times \epsilon_{sy,d} \times \frac{b}{b_0} - 0,035$$

Na dnu stupova (spojevi s temeljem) je potrebno da navedeni izraz bude zadovoljen.

Za dno stupa S1 bezdimenzijska uzdužna sila, [19]:

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \times h \times f_{cd}} = \frac{-244761,23}{300 \times 300 \times 6,67} = -0,401$$

Relativna deformacija armature pri popuštanju, [19]:

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{43,478}{20000} = 2,17 \times 10^{-3}$$

Vrijedi [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 30 \times 10,2 \times 0,401 \times 2,17 \times 10^{-3} \times \frac{400,0}{390,4} - 0,035$$

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,238$$

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:

$$V_{sw} = \sum A_{sw} \times l = \frac{1,6^2 \times \pi}{4} \times [(4 \times 390,4 + 4 \times 229,6 + 30 \times 184,0)]$$

$$V_{sw} = 16076,8 \text{ cm}^3$$

Volumen obavijenog betona iznosi:

$$V_c = b_0 \cdot h_0 \cdot s = (390,4 - 229,6) \cdot (390,4 - 229,6) \cdot 10,0 = 258566,40 \text{ cm}^3$$

Mehanički volumenski koeficijent armiranja:

$$\omega_{wd} = \frac{\text{obujam ovijenih spona}}{\text{obujam betonske jezgre}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{16076,8}{258566,40} \times \frac{43,478}{6,67} = 0,405$$

Faktor učinkovitosti unutar presjeka, [12]:

$$\alpha_n = 1 - \sum_n \frac{b_i^2}{6 \times b_0 \times h_0} = 1 - \frac{2 \times 38 \times 10,43^2 + 2 \times 38 \times 10,43^2}{6 \times (390,4 - 229,6) \times (390,4 - 229,6)} = 0,89$$

Za pretpostavljeni razmak spona vrijedi, [12]:

$$s = \phi 16/10,0 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \alpha_s &= \left(1 - \frac{s}{2 \times b_0}\right) \times \left(1 - \frac{s}{2 \times h_0}\right) \\ &= \left(1 - \frac{10,0}{2 \times (390,4 - 229,6)}\right) \times \left(1 - \frac{10,0}{2 \times (390,4 - 229,6)}\right) = 0,94 \end{aligned}$$

Faktor djelotvornosti:

$$\alpha = 0,89 \times 0,94 = 0,66$$

Umnožak koeficijenta učinkovitosti ovijanja i koeficijenta armiranja treba biti [12]:

$$\alpha \times \omega_{wd} \geq 0,238$$

$$0,84 \times 0,405 \geq 0,238$$

$$0,340 \geq 0,310$$

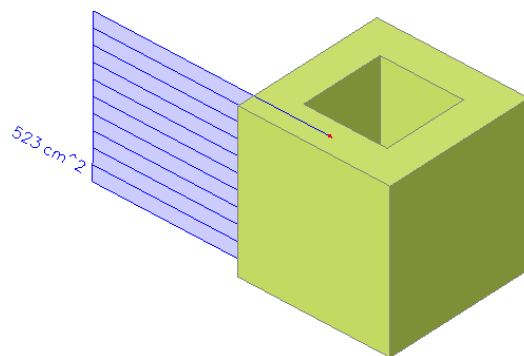
Izraz je zadovoljen pa su spone prikladne.

3.6.11.7. Usporedba rezultata s rezultatima iz programa SCIA Engineer

Prikazani rezultati su rezultati za stup S1 u prizemlju za potresnu kombinaciju, za koji je i proveden proračun.

Reinforcement 1D design

Values: $A_{s,req}$
Linear calculation
Combination: ULS-Seis (auto)
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Global
Selection: B678
There are 4 warnings on selected members. 4 of them are shown.



Slika 143.: Prikaz potrebne armature stupa S1 iz programa SCIA Engineer

Tablica 35.: Prikaz usporedbe potrebne armature za velike stupove S1

STUP	PRORAČUN	SCIA Engineer [2]
M1	$A_{s1,req} = 690,4 \text{ cm}^2$	$A_{s1,req} = 523,0 \text{ cm}^2$

Vidljivo je da se rezultati potrebne armature dobivene proračunom i u SCIA Engineer [2] relativno 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 dobila bi se vrijednost potrebne armature od $14,0 \text{ cm}^2$, što je bliže rezultatima iz programa. Također, razlika je i u tome što se na promatranom stupu u prizemlju na poziciji S1, ne nalazi stup sa svim maksimalnim reznim silama, koje se mijenjaju po visini zgrade. U ručnom proračunu uzete su sve maksimalne vrijednosti, te prema njima je dimenzioniran veliki stup.

Zaključak: Za sve elemente se prihvaća odabrana armatura dobivena ručnim proračunom.

3.6.12. Dimenzioniranje velikog stupa S1 (GSU)

3.6.12.1. Kontrola naprezanja u betonu stupa S1

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:

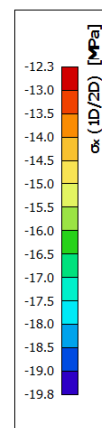
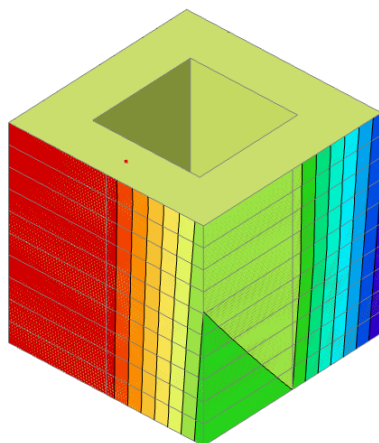
$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck}$$

Za ograničenje tlačnog naprezanja za izbjegavanje velikih plastičnih deformacija koristi se nazovistalna kombinacija djelovanja, a ograničenje naprezanja glasi:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck}$$

3D stress

Values: σ_x (1D/2D)
 Linear calculation
 Combination: SLS-Char (auto)
 Selection: B678
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes



Slika 144.: Prikaz napreznaja za karakterističnu kombinaciju djelovanja

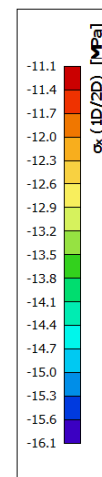
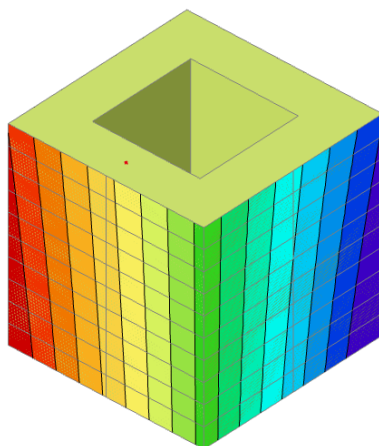
Ograničenje tlačnih napreznaja za karakterističnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,6 \times f_{ck} = 0,6 \times 100,0 = 60,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 19,8 \text{ N/mm}^2 \leq 60,0 \text{ N/mm}^2$$

3D stress

Values: σ_x (1D/2D)
 Linear calculation
 Combination: SLS-Quasi (auto)
 Selection: B678
 Location: In nodes avg. on macro.
 System: LCS mesh element
 Basic magnitudes



Slika 145.: Prikaz napreznaja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja

Ograničenje tlačnih napreznaja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja:

$$\sigma_c \leq 0,45 \times f_{ck} = 0,45 \times 100,0 = 45,0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_c = 16,1 \text{ N/mm}^2 \leq 45,0 \text{ N/mm}^2$$

Rekapitulacija odabrane armature stupa S1

Odabrana armatura stupova:

Tablica 36.: Rekapitulacija odabrane armature velikih stupova S1

OZNAKA STUPA	UZDUŽNA ARMATURA	SPONE
S1	4 × 2 × 38Ø28	Ø16/10,0 cm

3.7. Skica armature

3.7.1. Proračun duljine sidrenja armaturnih šipki

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]:

- Φ promjer šipke
- σ_{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
- η_1 faktor koji u obzir uzima kvalitetu uvjeta prijanjanja i položaj šipke u vrijeme betoniranja. Za dobre uvjete, prema [9], $\eta_1 = 1,0$
- η_2 faktor koji u obzir uzima promjer šipke. Za $\Phi \leq 32 \text{ mm}$ →
 $\eta_2 = 1,0$.

Proračunska vlačna čvrstoća betona prema [9] je:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \times \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}$$

gdje je prema [9]:

- α_{ct} koeficijent kojim u obzir uzimamo dugotrajne učinke na vlačnu čvrstoću i nepovoljne učinke od načina opterećivanja. Prema [9], $\alpha_{ct} = 1,0$
- γ_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] i [22], za beton:
 - C50/60, $f_{ctk,0,05} = 2,9 \text{ N/mm}^2$
 - C100/115, $f_{ctk,0,05} = 3,7 \text{ N/mm}^2$

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]:

- α_1 učinak oblika šipke uz odgovarajući zaštitni sloj
- α_2 učinak minimalnog zaštitnog sloja
- α_3 učinak ovijanja sponama (poprečnom armaturom)
- α_4 učinak jedne ili više zavarenih poprečnih šipki duž proračunske duljine sidrenja
- α_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 $\emptyset 20$

Šipke $\emptyset 20$ se koriste za armiranje ploče. Za ploču je korišten beton razreda čvrstoće C50/60.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{2,9}{1,5} = 1,93 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 4,35 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0}{4} \times \frac{43,478}{0,435} = 49,97 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 49,97 \geq 20,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (vlak):

$$l_{b,\min} \geq \max(0,30 \times 49,97; 10 \times 2,0; 10 \text{ cm}) = \max(15,0; 20; 10)$$

$$l_{b,\min} \geq 20,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 50,0 \text{ cm}$$

3.7.1.2. Šipke Ø16

Šipke Ø16 se koriste za armiranje zidove. Za zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{3,7}{1,5} = 2,47 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 2,0 = 5,55 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,6}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 31,34 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 31,34 \geq 18,80 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 31,34; 10 \times 1,6; 10 \text{ cm}) = \max(18,80; 16; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 18,80 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 35,0 \text{ cm}$$

3.7.1.3. Šipke Ø20

Šipke Ø20 se koriste za armiranje zidova. Za zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 39,17 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 39,17 \geq 23,50 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 39,17; 10 \times 1,6; 10 \text{ cm}) = \max(23,50; 16; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 23,50 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 40,0 \text{ cm}$$

3.7.1.4. Šipke Ø25

Šipke Ø25 se koriste za armiranje stupova i zidova. Za stupove i zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,5}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 48,96 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 48,96 \geq 25,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 48,96; 10 \times 2,5; 10 \text{ cm}) = \max(23,38; 25; 10)$$
$$l_{b,min} \geq 25,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 50,0 \text{ cm}$$

3.7.1.5. Šipke Ø28

Šipke Ø28 se koriste za armiranje stupova i zidova. Za stupove i zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,8}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 54,84 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 54,84 \geq 32,90 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 54,84; 10 \times 2,5; 10 \text{ cm}) = \max(32,90; 28; 10)$$
$$l_{b,min} \geq 32,90 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 60,0 \text{ cm}$$

3.7.1.6. Šipke Ø36

Šipke Ø36 se koriste za armiranje zidova. Za zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{3,6}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 70,50 \text{ cm}$$

Proračunska duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 70,50 \geq 42,30 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja (tlak):

$$l_{b,min} \geq \max(0,60 \times 70,50; 10 \times 2,5; 10 \text{ cm}) = \max(42,30; 36; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 42,30 \text{ cm}$$

Odabrana duljina sidrenja:

$$l_{bd} = 75,0 \text{ cm}$$

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 ploče. Za ploču je korišten beton razreda čvrstoće C50/60.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{2,9}{1,5} = 1,93 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,93 = 4,35 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0}{4} \times \frac{43,478}{0,435} = 49,97 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 49,97 \geq 33,73 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 74,96 \text{ cm} \geq 33,73 \text{ m}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$l_{b,\min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 74,96; 15 \times 2,0; 20 \text{ cm}) = \max(33,73; 30; 10)$$

$$l_{b,\min} \geq 33,73 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 75,0 \text{ cm}$$

3.7.2.2. Šipke Ø16

Šipke Ø16 se koriste za armiranje zidova. Za zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

$$f_{ctd} = 1,0 \times \frac{3,7}{1,5} = 2,47 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{bd} = 2,25 \times 1,0 \times 1,0 \times 2,47 = 5,55 \text{ N/mm}^2$$

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{1,6}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 31,34 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 31,34 \geq 24,0 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 47,0 \text{ cm} \geq 24,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$l_{b,\min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 47,0; 15 \times 1,6; 20 \text{ cm}) = \max(20,15; 24; 10)$$

$$l_{b,\min} \geq 24,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 50,0 \text{ cm}$$

3.7.2.3. Šipke Ø20

Šipke Ø20 se koriste za armiranje stupova i zidova. Za stupove i zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,0}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 39,17 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 39,17 \geq 30,0 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 58,75 \text{ cm} \geq 30,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$l_{b,min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 58,75; 15 \times 2,0; 20 \text{ cm}) = \max(26,44; 30; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 30,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 60,0 \text{ cm}$$

3.7.2.4. Šipke Ø25

Šipke Ø25 se koriste za armiranje stupova i zidova. Za stupove i zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,5}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 48,96 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 48,96 \geq 37,5 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 73,44 \text{ cm} \geq 37,5 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$l_{b,min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 73,44; 15 \times 2,5; 20 \text{ cm}) = \max(33,05; 37,5; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 37,5 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 75,0 \text{ cm}$$

3.7.2.5. Šipke Ø28

Šipke Ø28 se koriste za armiranje stupova i zidova. Za stupove i zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{2,8}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 54,84 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 54,84 \geq 42,0 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 82,26 \text{ cm} \geq 42,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$l_{b,min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 82,26; 15 \times 2,8; 20 \text{ cm}) = \max(37,02; 42,0; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 42,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 85,0 \text{ cm}$$

3.7.2.6. Šipke Ø36

Šipke Ø36 se koriste za armiranje zidova. Za zidove je korišten beton razreda čvrstoće C100/115.

Osnovna zahtijevana duljina sidrenja:

$$l_{b,rqd} = \frac{3,6}{4} \times \frac{43,478}{0,555} = 70,51 \text{ cm}$$

Proračunska duljina preklopa:

$$l_{bd} = 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,5 \times 70,51 \geq 54,0 \text{ cm}$$

$$l_{bd} = 105,76 \text{ cm} \geq 54,0 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$l_{b,min} \geq \max(0,30 \times 1,5 \times 105,76; 15 \times 3,6; 20 \text{ cm}) = \max(47,60; 54,0; 10)$$

$$l_{b,min} \geq 54,0 \text{ cm}$$

Odabrana duljina preklopa:

$$l_{bd} = 110,0 \text{ cm}$$

4. ZAKLJUČAK

Na koncu, cilj ovog rada je izvršiti proračun konstrukcije visoke zgrade i dimenzionirati njezine elemente u skladu s važećim normama i propisima. Modeliranje konstrukcije provedeno je pomoću računalnog programa SCIA Engineer [2]. Proces modeliranja usklađen je sa svim relevantnim standardima, a rezultati potrebni za dimenzioniranje prikazani su grafički i tablično u programu. Na temelju tih rezultata izvršen je proračun nosivih elemenata.

Proračun je obuhvatio provjeru graničnih stanja nosivosti i uporabljivosti za ploče, zidove, mega stupove i male stupove, uzimajući u obzir osnovna i seizmička opterećenja. Rezultati su pokazali da su odabrani elementi i njihove dimenzije uz određene korekcije odgovarajući za odabrani konstruktivni sustav. Također, odabrani raspored elemenata i visina zgrade su prikladni za njezinu namjenu kao poslovna građevina.

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 10. rujna 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 15. rujna 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.]
- [22] Concrete characteristics according to Eurocode 2, Engipedia.com, 2024. Dostupno: <https://apps.engipedia.com/articles/strength-and-deformation-characteristics-for-concrete-according-to-eurocode-2-1992-1-1/>
[Pristupljeno 09. studenog 2024.]

POPIS SLIKA

Slika 1.: Prikaz tlocrtnog rješenja i rasporeda vertikalnih elemenata građevine.....	5
Slika 2.: Prikaz pogleda na građevinu	9
Slika 3.: Prikaz 3D pogleda na građevinu	10
Slika 4.: Prikaz tlocrta građevine bez pojasa.....	11
Slika 5.: Prikaz tlocrta građevine samo sa obodnim zidovima.....	11
Slika 6.: Prikaz tlocrta građevine sa obodnim i poprečnim zidovima	12
Slika 7.: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom (Izvor: [5]).....	16
Slika 8.: Karta snježnih područja (Izvor: [6])	16
Slika 9.: Karta osnovne brzine vjetra (Izvor: [8])	18
Slika 10.: Orijentacijske vrijednosti faktora učinka kraja kao funkcije omjera punoće i vitkosti (Izvor: [7]).....	22
Slika 11.: Prikaz promjene tlaka vjetra u ovisnosti o visini građevine.....	29
Slika 12.: Prvi modalni oblik.....	30
Slika 13.: Drugi modalni oblik.....	30
Slika 14.: Prikaz zadavanja parametara u programu SCIA Engineer	31
Slika 15.: Prikaz zadavanja tlaka vjetra u programu SCIA Engineer.....	31
Slika 16.: Prikaz reakcijske sile od vjetra u X smjeru u podnožju građevine	32
Slika 17.: Prikaz reakcijske sile od vjetra u Y smjeru u podnožju građevine.....	32
Slika 18.: Prikaz rezultante reakcija u donjem dijelu građevine (1-74).....	35
Slika 19.: Prikaz rezultante reakcija na krovu građevine (75).....	35
Slika 20.: Vrijednost horizontalnog vršnog ubrzanja tla za lokaciju građevine (Zagreb).....	36
Slika 21.: Elastični spektar odziva (povratni period 475 godina)	40
Slika 22.: Proračunski spektar odziva (povratni period 475 godina)	40
Slika 23.: Elastični spektar odziva (povratni period 95 godina).....	41
Slika 24.: Proračunski spektar odziva (povratni period 95 godina).....	41
Slika 25.: Računalni model konstrukcije u programu Scia Engineer	45
Slika 26.: 3D prikaz cijele konstrukcije.....	46
Slika 27.: Prikaz karakteristične etaže na mjestima pojasnih obodnih i poprečnih zidova....	47
Slika 28.: Prikaz karakteristične etaže na mjestima samo pojasnih obodnih zidova	47
Slika 29.: Prikaz karakteristične etaže na mjestima bez pojasnih obodnih i poprečnih zidova	48
Slika 30.: Prikaz ploče građevine (ploče etaža 1-74)	49
Slika 31.: Prikaz krovne ploče građevine (ploče etaže 75).....	49

Slika 32.: Prikaz ležajeva na razini prizemlja građevine	50
Slika 33.: Prikaz velikih stupova mega okvira građevine	51
Slika 34.: Prikaz pojasnih zidova građevine.....	52
Slika 35.: Prikaz poprečnih zidova građevine.....	53
Slika 36.: Prikaz unutrašnjih stupova građevine.....	54
Slika 37.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja karakteristične etaže građevine	55
Slika 38.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade karakteristične etaže građevine.....	55
Slika 39.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja na krovu građevine.....	56
Slika 40.: Prikaz dodatnog stalnog opterećenja od fasade na krovu građevine.....	56
Slika 41.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže preko cijele ploče	57
Slika 42.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže – polje	57
Slika 43.: Prikaz uporabnog opterećenja karakteristične etaže - oslonac.....	58
Slika 44.: Prikaz uporabnog opterećenja na krovu građevine.....	58
Slika 45.: Prikaz opterećenja snijega na krovu građevine.....	59
Slika 46.: Prikaz prvog slučaja opterećenja vjetrom.....	60
Slika 47.: Prikaz drugog slučaja opterećenja vjetrom.....	61
Slika 48.: Prikaz trećeg slučaja opterećenja vjetrom.....	62
Slika 49.: Prikaz četvrtog slučaja opterećenja vjetrom.....	63
Slika 50.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (475 god.) u programu Scia Engineer	64
Slika 51.: Zadavanje parametara seizmičkog opterećenja (475 god.).....	64
Slika 52.: Zadavanje seizmičkog opterećenja (95 god.) u programu Scia Engineer.....	65
Slika 53.: Zadavanje parametara seizmičkog opterećenja (95 god.)	65
Slika 54.: Prikaz lokalnog modela ploče u programu SCIA Engineer	66
Slika 55.: Odnos temeljnog perioda i visine zgrade (prema istraživanjima zgrada u Kini) (Izvor: [15])	68
Slika 56.: Prvi ton građevine	70
Slika 57.: Drugi ton građevine	71
Slika 58.: Treći ton građevine.....	72
Slika 59.: Prikaz ograničenja horizontalnih pomaka za karakteristične kombinacije djelovanja (Izvor: [10]).....	73
Slika 60.: Prikaz pomaka za karakterističnu kombinaciju za X smjer	74
Slika 61.: Prikaz pomaka za karakterističnu kombinaciju za Y smjer	75
Slika 62.: Prikaz minimalnog i maksimalnog pomaka za seizmičko opterećenje (95 godina) za X smjer	78
Slika 63.: Prikaz minimalnog i maksimalnog pomaka za seizmičko opterećenje (95 godina) za Y smjer	79
Slika 64.: Prikaz ukupne težine građevine	82

Slika 65.: Prikaz reakcije u X smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina).....	83
Slika 66.: Prikaz reakcije u Y smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina).....	83
Slika 67.: Prikaz reakcija u X smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina).....	84
Slika 68.: Prikaz reakcija u Y smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina).....	84
Slika 69.: Prikaz katne poprečne sile u X smjeru za seizmičku X kombinaciju (475 godina).	88
Slika 70.: Prikaz katne poprečne sile u Y smjeru za seizmičku Y kombinaciju (475 godina).	89
Slika 71.: Momenti savijanja u X smjeru (GSN) – ploča.....	91
Slika 72.: Momenti savijanja u X smjeru (GSU - karakteristična) – ploča.....	92
Slika 73.: Momenti savijanja u X smjeru (GSU - nazovistalna) – ploča.....	92
Slika 74.: Momenti savijanja u Y smjeru (GSN) – ploča.....	93
Slika 75.: Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - karakteristična) – ploča.....	93
Slika 76.: Momenti savijanja u Y smjeru (GSU - nazovistalna) – ploča.....	94
Slika 77.: Prikaz proračunske poprečne sile nad točkastim ležajevima.....	95
Slika 78.: Prikaz proračunske poprečne sile nad linijskim ležajevima.....	95
Slika 79.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem.....	96
Slika 80.: Prikaz maksimalne karakteristične reakcije nad ležajem.....	96
Slika 81.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – zid 1d.....	97
Slika 82.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – zid 1c.....	98
Slika 83.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – zid 2c.....	99
Slika 84.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija X) – zid 1c.....	100
Slika 85.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija Y) – zid 1f.....	101
Slika 86.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija X) - zid 1c.....	102
Slika 87.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija Y) - zid 2c.....	103
Slika 88.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - zid 2c.....	104
Slika 89.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - zid 1c.....	105
Slika 90.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – zid 6a.....	106
Slika 91.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – zid 6d.....	107
Slika 92.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – zid 6a.....	107
Slika 93.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija X) – zid 6a.....	108
Slika 94.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija Y) – zid 6b.....	108
Slika 95.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija X) - zid 6a.....	109
Slika 96.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija Y) - zid 6b.....	109
Slika 97.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - zid 6b.....	110
Slika 98.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - zid 6a.....	110
Slika 99.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – etaža 1, stup M2.....	111
Slika 100.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – etaža 1, stup M6.....	112
Slika 101.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – etaža 1, stup M2.....	112

Slika 102.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija X) – etaža 13, stup M1	113
Slika 103.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija Y) – etaža 13, stup M1	113
Slika 104.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija X) – etaža 13, stup M7	114
Slika 105.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija Y) - etaža 7, stup M1.....	114
Slika 106.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - etaža 7, stup M9..	115
Slika 107.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - etaža 7, stup M9..	115
Slika 108.: Mjerodavna uzdužna sila (GSN) – etaža 1, stup S4.....	116
Slika 109.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija X) – etaža 1, stup S4	117
Slika 110.: Mjerodavna uzdužna sila (Seizmička kombinacija Y) – etaža 1, stup S2	117
Slika 111.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija X) – etaža 14, stup S2.....	118
Slika 112.: Posmična sila u ravnini (Seizmička kombinacija Y) – etaža 15, stup S2.....	118
Slika 113.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija X) – etaža 14, stup S2	119
Slika 114.: Moment savijanja u ravnini (Seizmička kombinacija Y) - etaža 1, stup S7	119
Slika 115.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija X) - etaža 1, stup S6...	120
Slika 116.: Moment savijanja van ravnine (Seizmička kombinacija Y) - etaža 13, stup S7	120
Slika 117.: Prikaz lokalnog modela ploče u programu SCIA Engineer.....	121
Slika 118.: Prikaz oznaka elemenata na tlocrtu ploče za dimenzioniranje	122
Slika 119.: Prikaz potrebne armature u polju za X smjer – SCIA Engineer.....	131
Slika 120.: Prikaz potrebne armature u polju za Y smjer – SCIA Engineer.....	132
Slika 121.: Prikaz potrebne armature nad osloncima za X smjer – SCIA Engineer.....	133
Slika 122.: Prikaz potrebne armature nad osloncima za Y smjer – SCIA Engineer.....	134
Slika 123.: Prikaz maksimalne proračunske reakcije nad ležajem.....	136
Slika 124.: Momenti savijanja u X smjeru ($t=0$) – ploča.....	141
Slika 125.: Momenti savijanja u Y smjeru ($t=0$) – ploča.....	141
Slika 126.: Momenti savijanja u X smjeru ($t=\infty$) – ploča.....	142
Slika 127.: Momenti savijanja u Y smjeru ($t=\infty$) – ploča.....	142
Slika 128.: Prikaz progiba za kratkotrajno djelovanje ($t=0$).....	157
Slika 129.: Prikaz progiba za dugotrajno djelovanje ($t=\infty$)	158
Slika 130.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja.....	169
Slika 131.: Prikaz naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja	170
Slika 132.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja.....	181
Slika 133.: Prikaz naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja	182
Slika 134.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja.....	196
Slika 135.: Prikaz naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja	197
Slika 136.: Prikaz poprečnog presjeka stupa.....	200
Slika 137.: Prikaz armature stupa M1.....	202
Slika 138.: Prikaz potrebne armature stupa M1 iz programa SCIA Engineer.....	206

Slika 139.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja.....	207
Slika 140.: Prikaz naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja	208
Slika 141.: Prikaz poprečnog presjeka stupa.....	211
Slika 142.: Prikaz armature stupa S1	214
Slika 143.: Prikaz potrebne armature stupa S1 iz programa SCIA Engineer	217
Slika 144.: Prikaz naprezanja za karakterističnu kombinaciju djelovanja.....	219
Slika 145.: Prikaz naprezanja za nazovistalnu kombinaciju djelovanja	219

POPIS TABLICA

Tablica 1.: Uporabna opterećenja stropova, balkona i stubišta u zgradama (Izvor: [3])	14
Tablica 3.: Uporabna opterećenja krovova kategorije H (Izvor: [3]).....	15
Tablica 4.: Kategorije krovova (Izvor: [4]).....	15
Tablica 5.: Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (Izvor: [6])	17
Tablica 6.: Kategorije terena i parametri terena (Izvor: [7]).....	19
Tablica 7.: Koeficijenti sile cf, 0 za pravilne poligonalne profile (Izvor: [7]).....	21
Tablica 8.: Tlak i brzina vjetra po visini građevine.....	28
Tablica 9.: Vrijednosti parametara koje opisuju elastični spektar odziva tipa 1 (Izvor: [12]).	37
Tablica 10.: Horizontalne komponente elastičnog spektra odziva (Izvor: [12]).....	37
Tablica 11.: Horizontalne komponente proračunskog spektra odziva (Izvor: [12]).....	38
Tablica 12.: Osnovne vrijednosti faktora ponašanja q0 za sustave pravilne po visini (Izvor: [12])	39
Tablica 13.: Preporučene vrijednosti koeficijenta Ψ za zgrade (Izvor: [10]).....	42
Tablica 14.: Odnos visine konstrukcije i koeficijenta a (Izvor: [15]).....	67
Tablica 15.: Aktivirane mase i periodi iz programa Scia Engineer.....	68
Tablica 16.: Granične vrijednosti horizontalnih pomaka konstrukcije (Izvor: [16]).....	73
Tablica 17.: Međukatni pomaci za karakterističnu kombinaciju za X i Y smjer.....	76
Tablica 18.: Međukatni pomaci za seizmičko opterećenje (95 godina) za X i Y smjer.....	80
Tablica 19.: Koeficijent uporabnog opterećenja [13].....	81
Tablica 20.: Reakcije u X i Y smjeru za seizmičke kombinacije (475 godina)	85
Tablica 21.: Kombinacije djelovanja za provjeru stabilnosti.....	86
Tablica 22.: Faktori elastičnog kritičnog opterećenja α_{cr}	86
Tablica 23.: Kontrola pomaka za teoriju II. reda	90
Tablica 24.: Preporučeni razredi konstrukcije (Izvor: [9])	124
Tablica 25.: Vrijednosti minimalnog zaštitnog sloja $c_{min, dur}$ (Izvor: [9]).....	124
Tablica 26.: Usporedba proračunate armature s armaturom iz programa SCIA Engineer..	134
Tablica 27.: Potrebna i odabrana armatura nad svim elementima.....	135
Tablica 28.: Prikaz rezultata za proboj ploče iz programa SCIA Engineer	139
Tablica 29.: Preporučene vrijednosti širine pukotina w_{max} (Izvor: [9]).....	140
Tablica 30.: Granični omjer L_{eff}/d kada proračun progiba nije potreban (Izvor: [20])	150
Tablica 31.: Rekapitulacija armature zida 2c.....	168
Tablica 32.: Rekapitulacija armature zida 3d.....	180

Tablica 33.: Rekapitulacija armature zida 6a.....	195
Tablica 34.: Prikaz usporedbe potrebne armature za stupove M1	206
Tablica 35.: Rekapitulacija odabrane armature malih stupova M1	208
Tablica 36.: Prikaz usporedbe potrebne armature za velike stupove S1	218
Tablica 37.: Rekapitulacija odabrane armature velikih stupova S1	220

PRILOZI

Prilog 1 – Karakteristični tlocrt A

Prilog 2 – Karakteristični tlocrt B

Prilog 3 – Karakteristični tlocrt C

Prilog 4 – Pogled visoke zgrade

Prilog 5 – Presjek visoke zgrade

Prilog 6 – Plan armature – ploča donja zona

Prilog 7 – Plan armature – ploča gornja zona

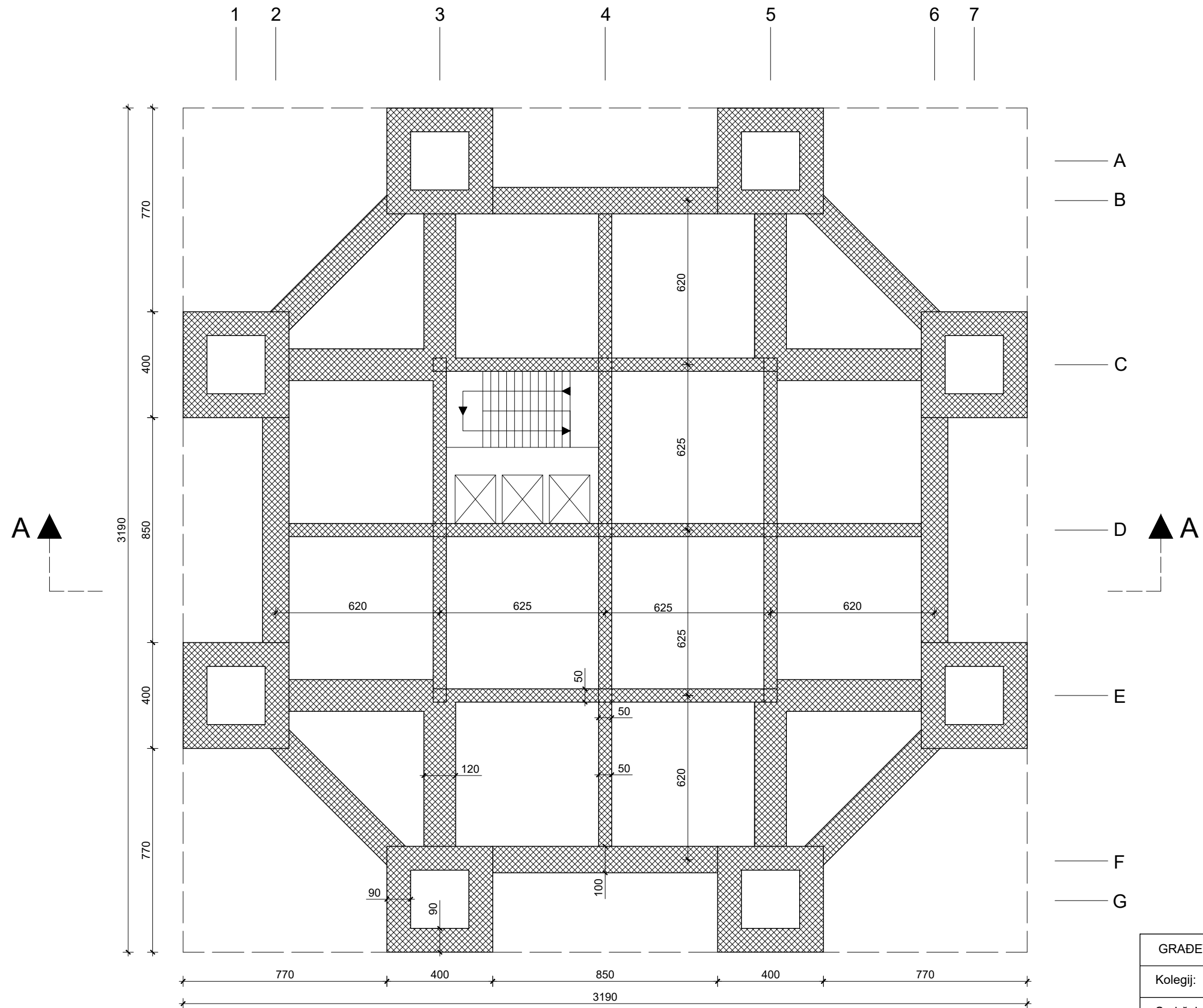
Prilog 8 – Plan armature – stup M1

Prilog 9 – Plan armature – stup S1

Prilog 10 – Plan armature – zid 3d

TLOCRT A

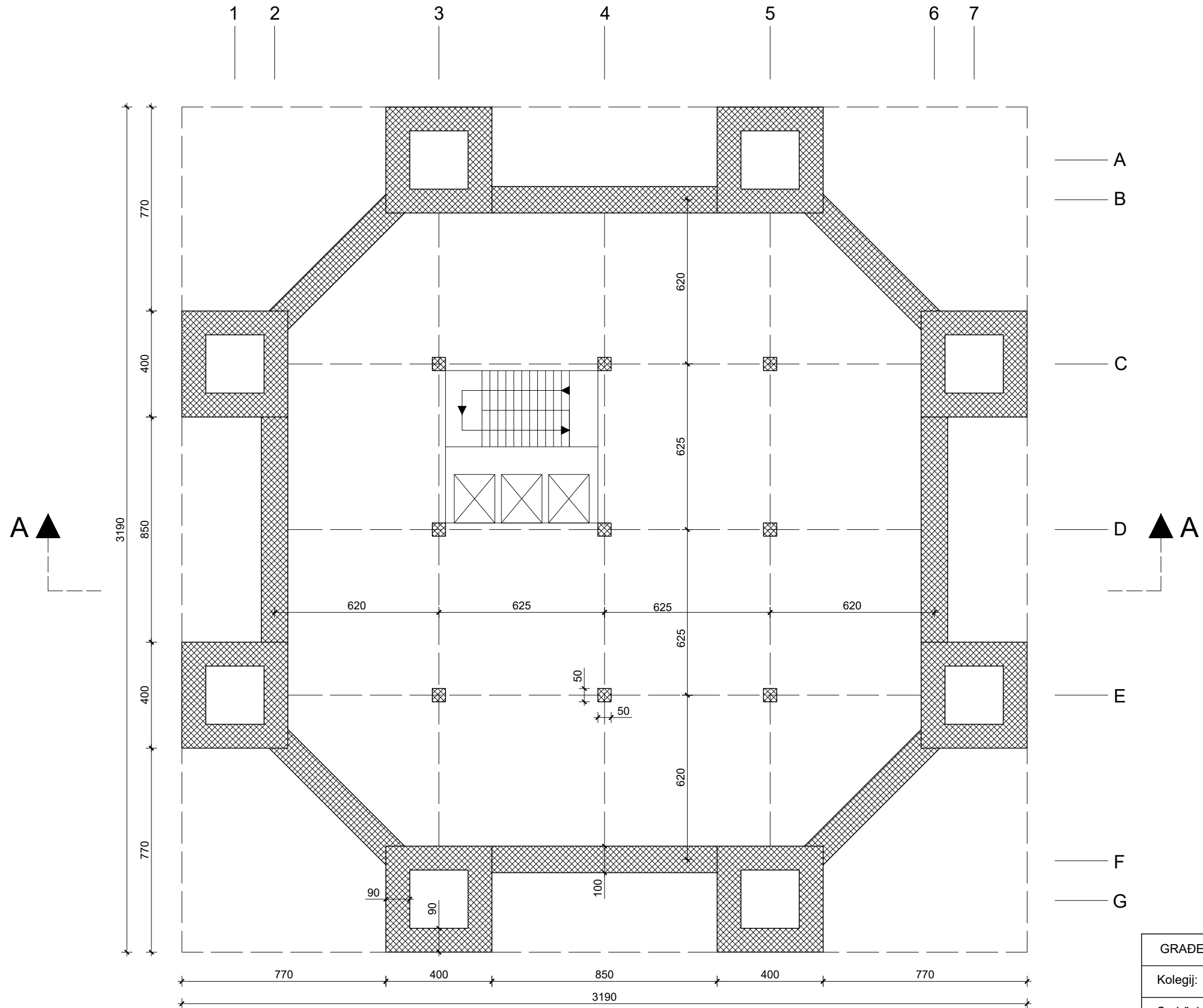
MJ 1:16



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
Kolegij:	VISOKE GRAĐEVINE DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	1. KARAKTERISTIČNI TLOCRT A	1:16
Student:	Mihael Vidović	AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić	2023./2024.

TLOCRT B

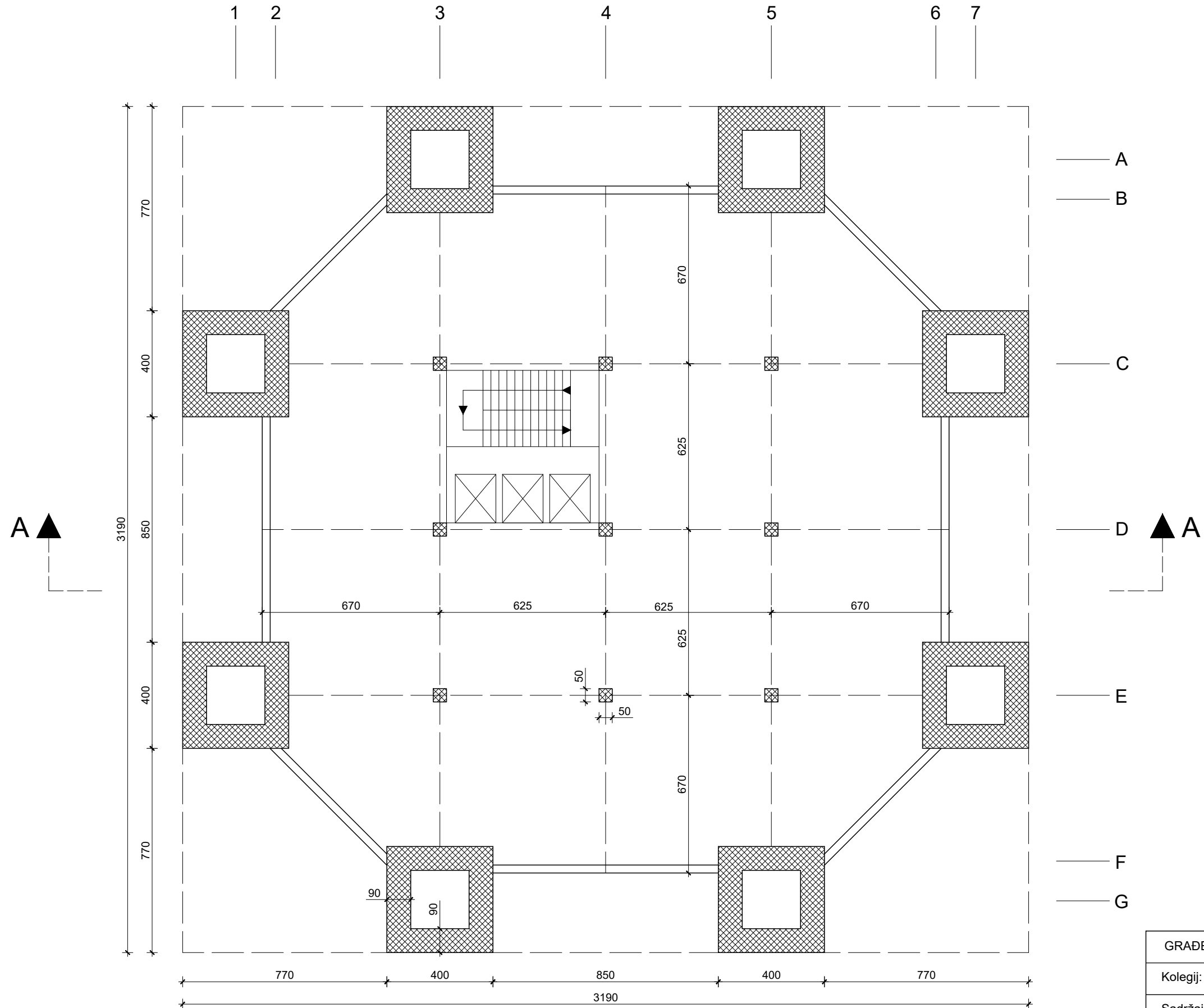
MJ 1:16



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
Kolegij:	VISOKE GRAĐEVINE DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	2. KARAKTERISTIČNI TLOCRT B	1:16
Student:	Mihael Vidović	AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić	2023./2024.

TLOCRT C

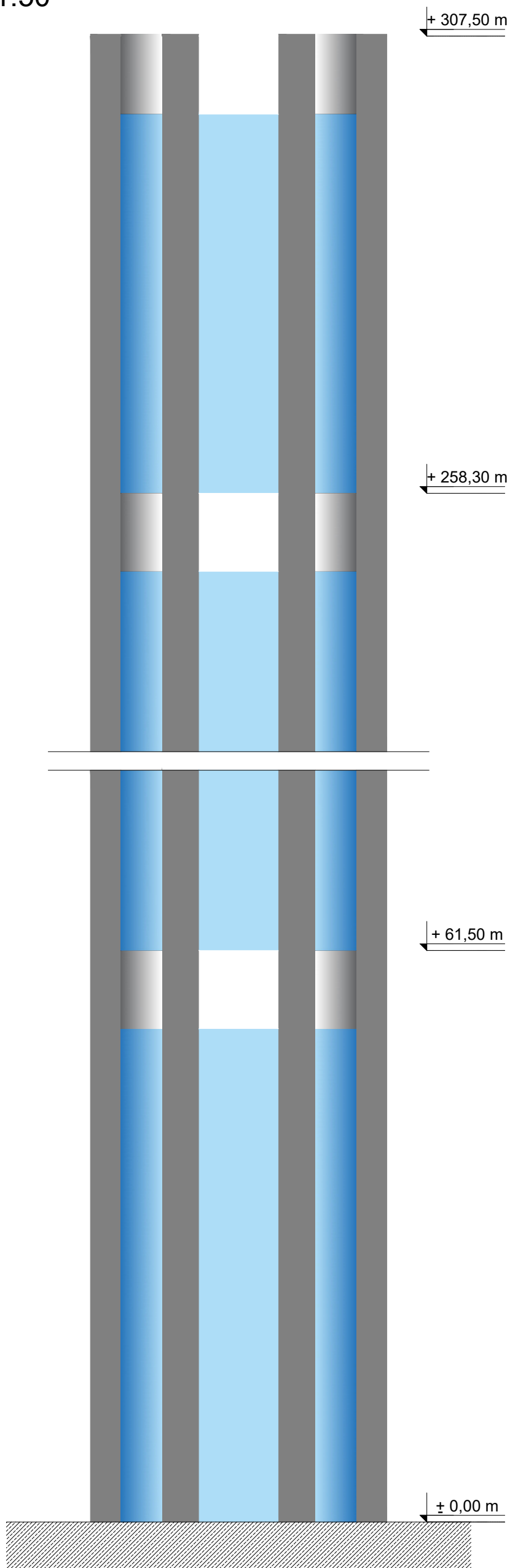
MJ 1:16



GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
Kolegij:	VISOKE GRAĐEVINE DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	3. KARAKTERISTIČNI TLOCRT C	1:16
Student:	Mihael Vidović	AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić	2023./2024.

POGLED

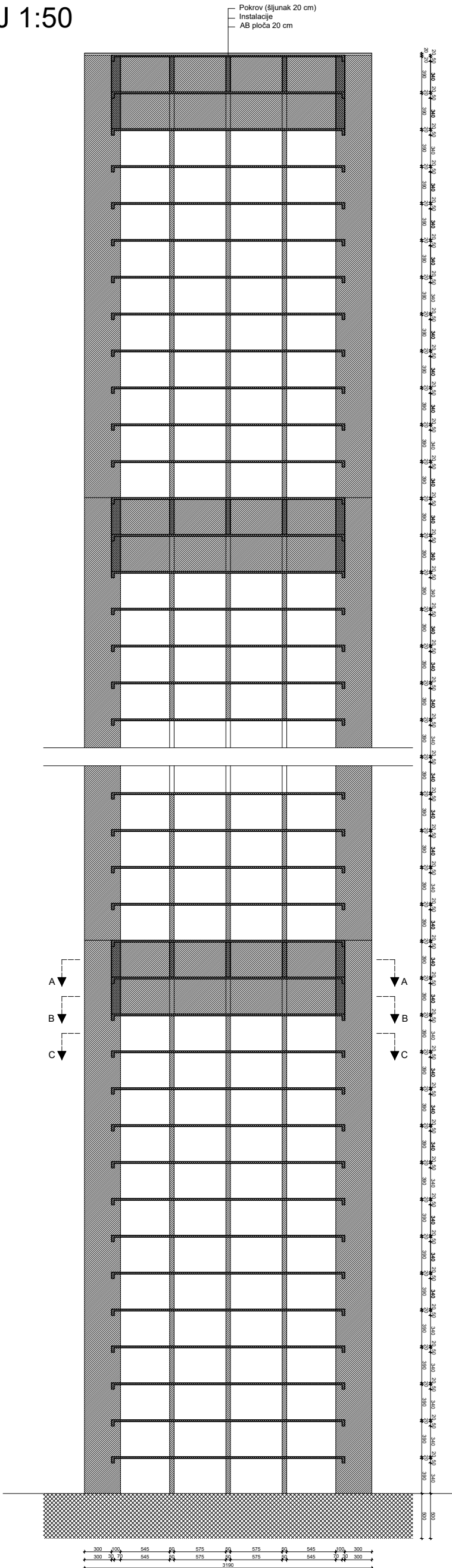
MJ 1:50



GRADUVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
Kolegij:	VISOKE GRADEVINE DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	4. POGLED	1:50
Student:	Mihael Vidović	AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić	2023./2024.

PRESJEK A

MJ 1:50



GRADEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Kolegij: VIŠOKE GRADEVINE
DIPLOMSKI RAD Mjerilo:

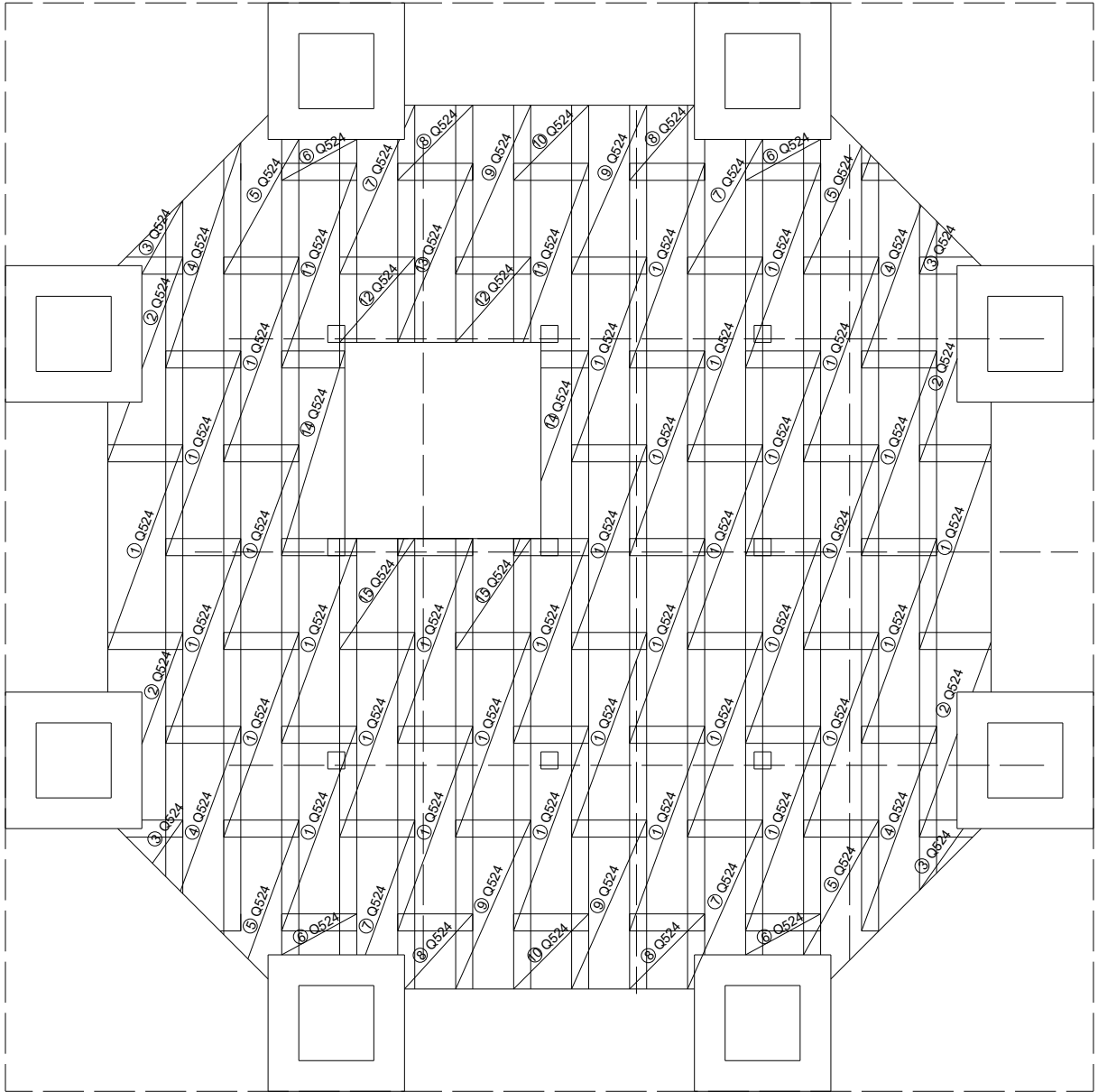
Sadržaj: 5. PRESJEK A - A 1:50

Student: Mihael Vidović AK. GOD.

Mentor: prof. dr. sc. Anđelko Vlašić 2023./2024.

NACRT ARMATURE PLOČE - DONJA ZONA

MJ 1:200

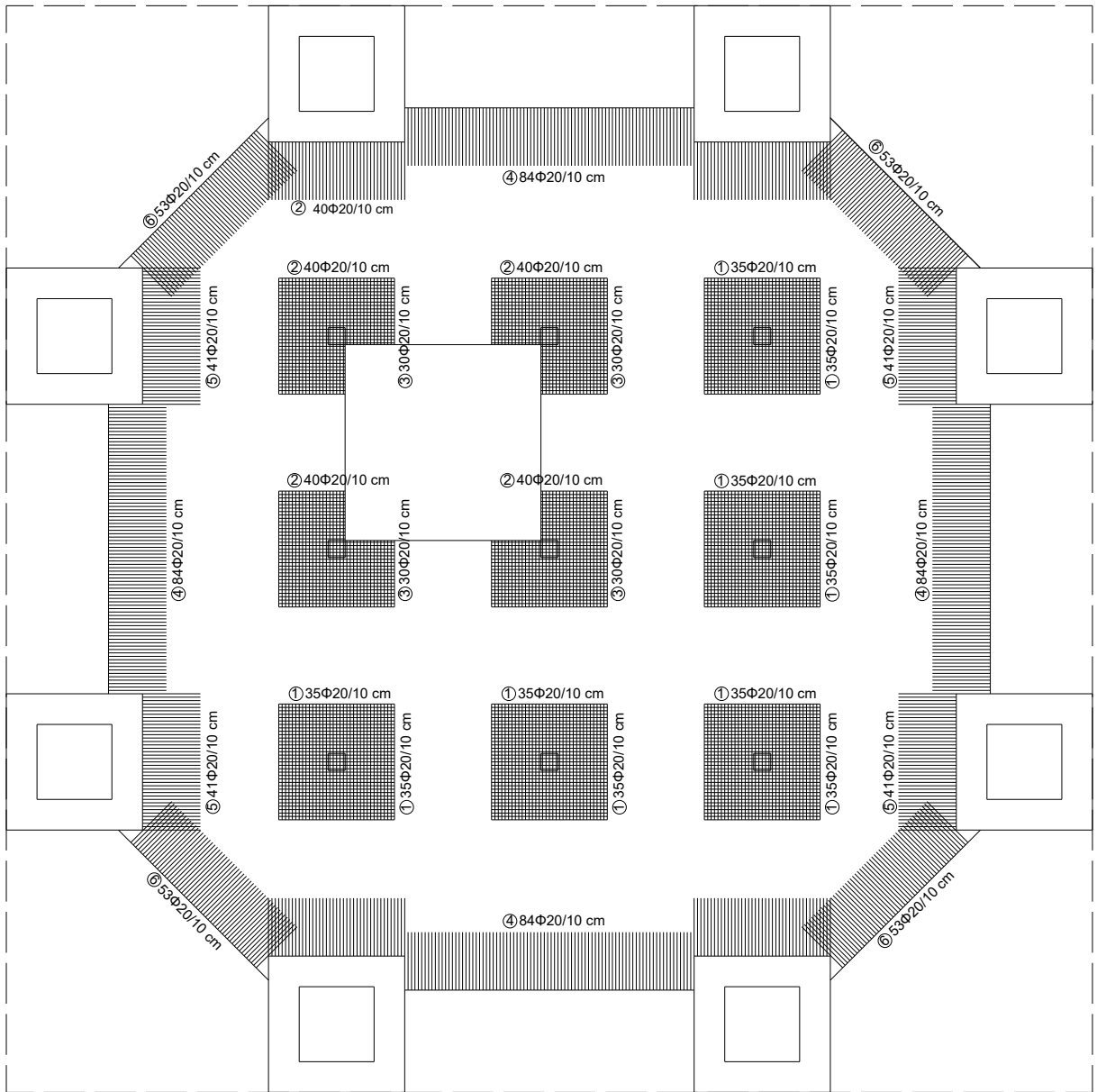


ISKAZ ARMATURE PLOČE - DONJA ZONA						
ARMATURA B500B						
POZICJA	Φ	B[m]	L[m]	Površina [m ²]	BR. KOM.	UKUPNO [m ²]
1	Q524	2,20	6,00	13,20	27	356,40
2	Q524	2,20	6,00	13,20	4	52,80
3	Q524	2,20	2,16	4,75	4	19,01
4	Q524	2,20	6,00	13,20	4	52,80
5	Q524	2,20	4,66	10,25	4	41,01
6	Q524	2,20	1,20	2,64	4	10,56
7	Q524	2,20	4,95	10,89	4	43,56
8	Q524	2,20	2,20	4,84	4	19,36
9	Q524	2,20	4,95	10,89	4	43,56
10	Q525	2,20	2,20	4,84	2	9,68
11	Q526	2,20	6,00	13,20	4	52,80
12	Q527	2,20	2,50	5,50	2	11,00
13	Q528	2,20	5,25	11,55	1	11,55
14	Q529	2,20	6,00	13,20	2	26,40
15	Q524	2,20	3,25	7,15	2	14,30
Ukupno [m ²]:				764,79		
Masa [kg/m ²]:				8,40		
Sveukupno [kg]:				6424,2024		

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
Kolegij:	VISOKE GRAĐEVINE DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	6. NACRT ARMATURE PLOČA - DONJA ZONA	1:200
Student:	Mihael Vidović	AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić	2023./2024.

NACRT ARMATURE PLOČE - GORNJA ZONA

MJ 1:200

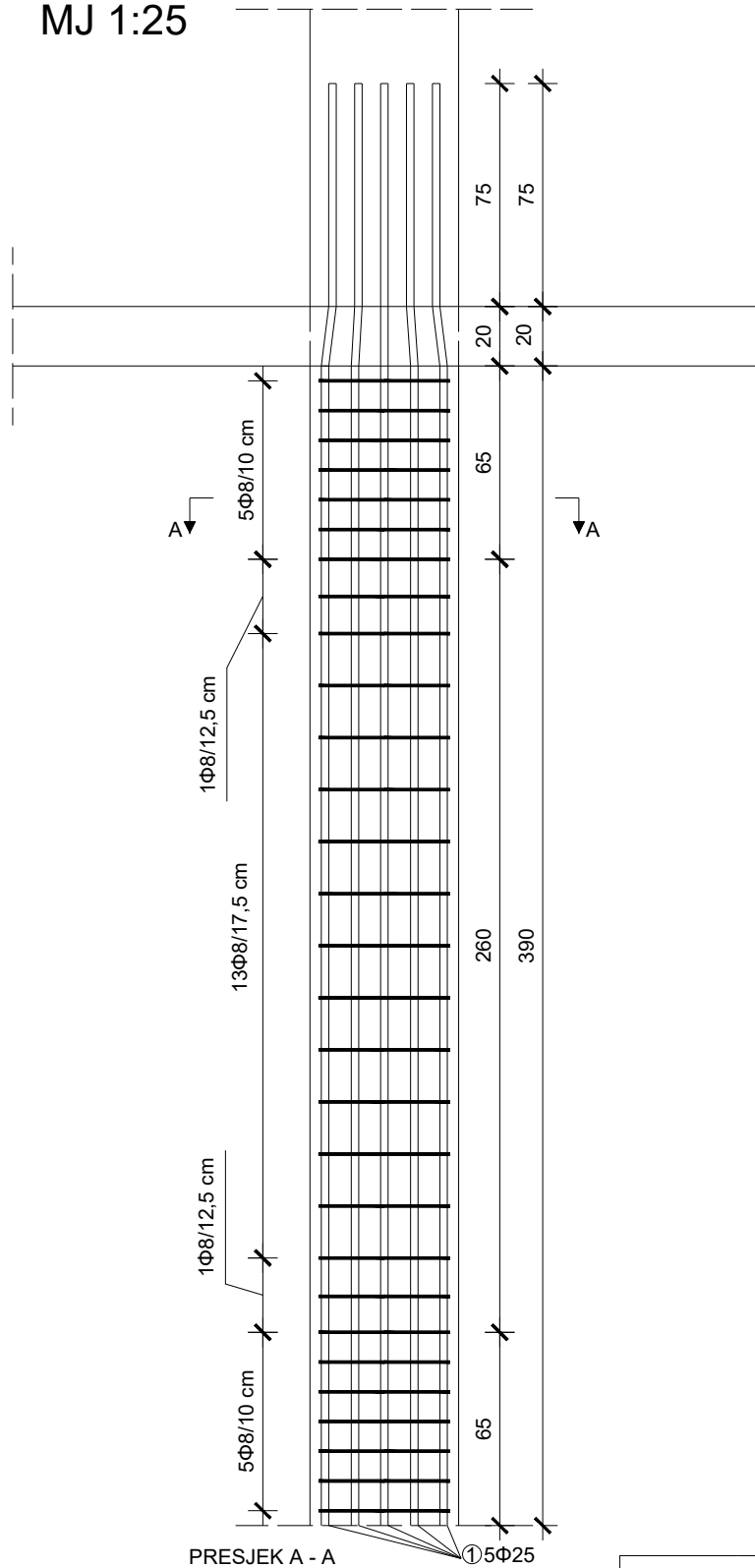


ISKAZ ARMATURE PLOČE - GORNJA ZONA				
ARMATURA B500B				
POZICIJA	Φ[mm]	L[m]	BR. KOM.	Ukupno [m]
1	20	3,40	350	1190,00
2	20	3,40	160	544,00
3	20	1,95	120	234,00
4	20	1,70	336	571,20
5	20	1,70	164	278,80
6	20	1,70	212	360,40
Ukupno [m]:	1342,000			
Masa [kg/m]:	2,536			
Sveukupno [kg]:	3403,312			

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU		
Kolegij:	VISOKE GRAĐEVINE DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	7. NACRT ARMATURE PLOČA - GORNJA ZONA	1:200
Student:	Mihael Vidović	AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić	2023./2024.

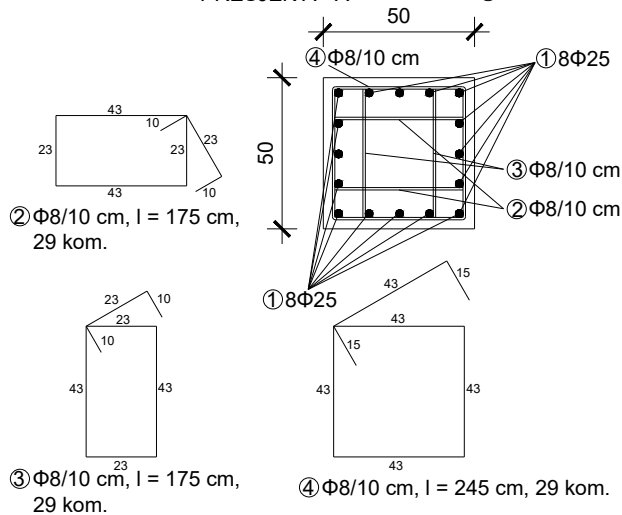
NACRT ARMATURE STUPA M1

MJ 1:25



① 16Φ25, l = 485 cm, 16 kom.

PRESJEK A - A



ISKAZ ARMATURE STUP M1

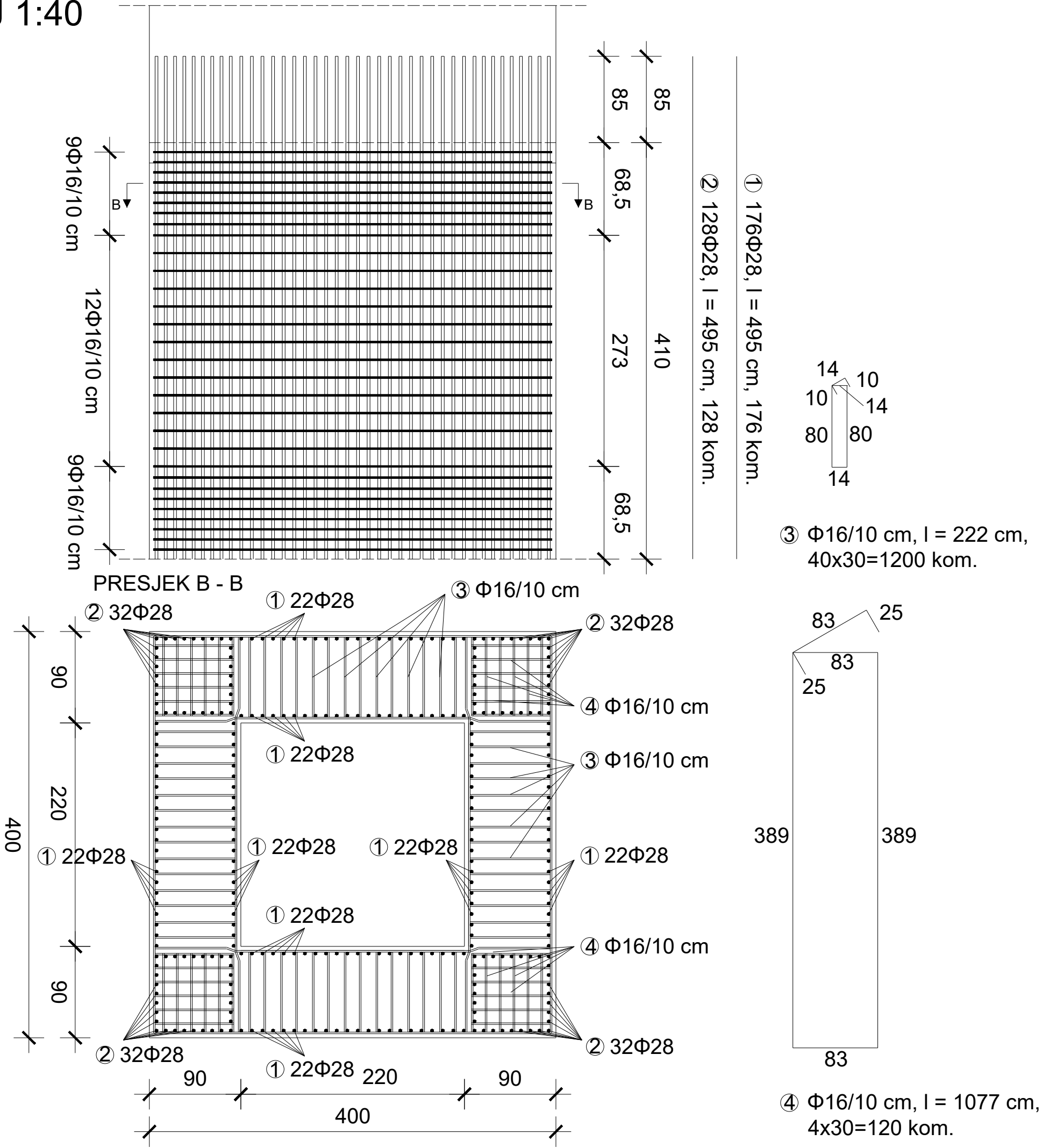
ARMATURA B500B						
POZICIJA	Φ[mm]	Masa [kg/m]	L[m]	BR. KOM.	Ukupno [m]	Ukupno [kg]
1	25	3,951	4,85	16	77,60	306,60
2	8	0,405	1,75	29	50,75	20,55
3	8	0,405	1,75	29	50,75	20,55
4	8	0,405	2,45	29	71,05	28,78
Sveukupno [kg]:				376,480		

GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

Kolegij:	VISOKE GRAĐEVINE DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	8. NACRT ARMATURE STUP - M1	1:25
Student:	Mihael Vidović	AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić	2023./2024.

NACRT ARMATURE STUPA S1

MJ 1:40

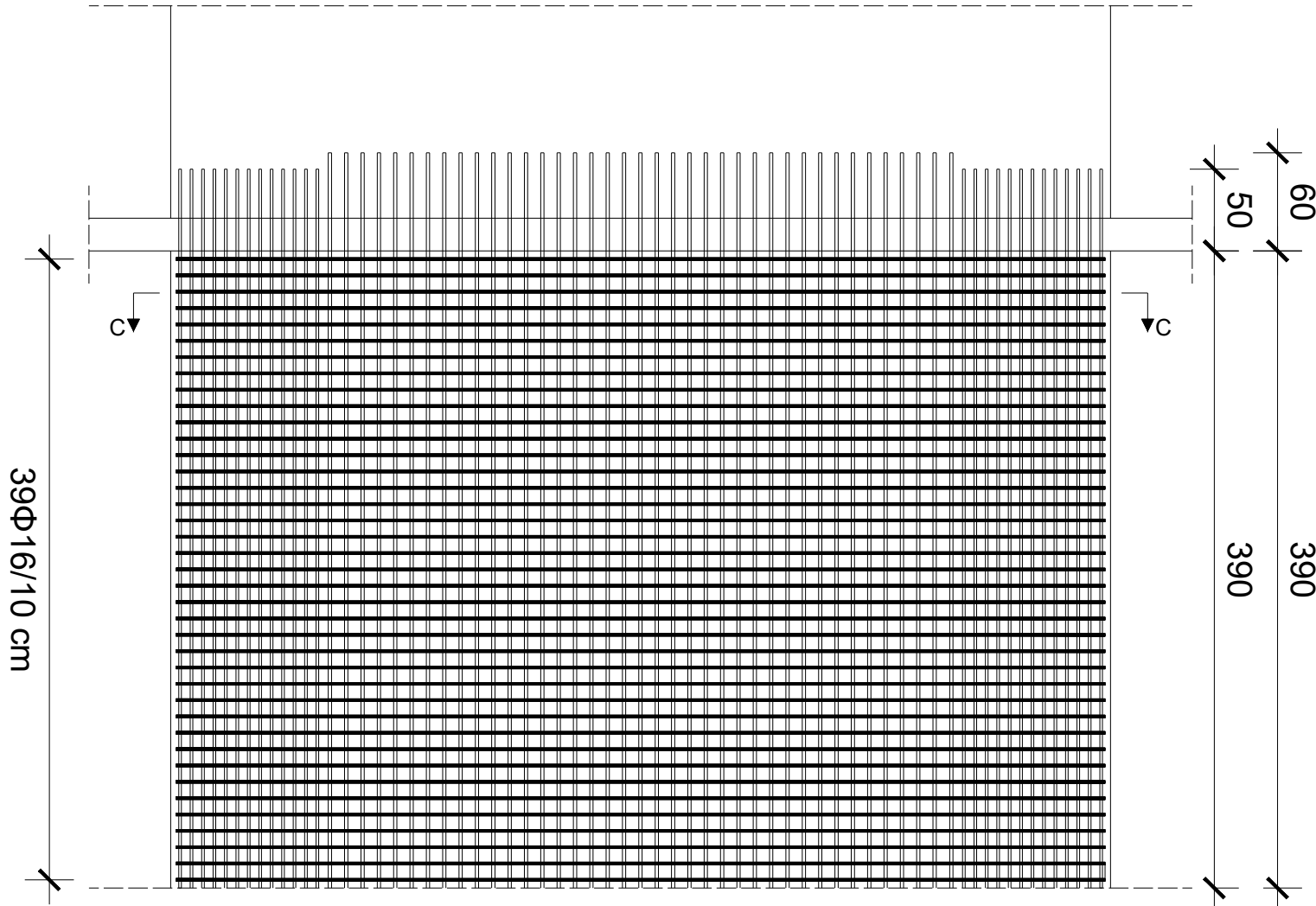


GRADUVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU	
Kolegij:	VISOKE GRADEVINE
Sadržaj:	DIPLOMSKI RAD
Student:	9. NACRT ARMATURE STUP - M1
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić
	Mihael Vidović
	AK. GOD. 2023./2024.
	Mjerilo: 1:40

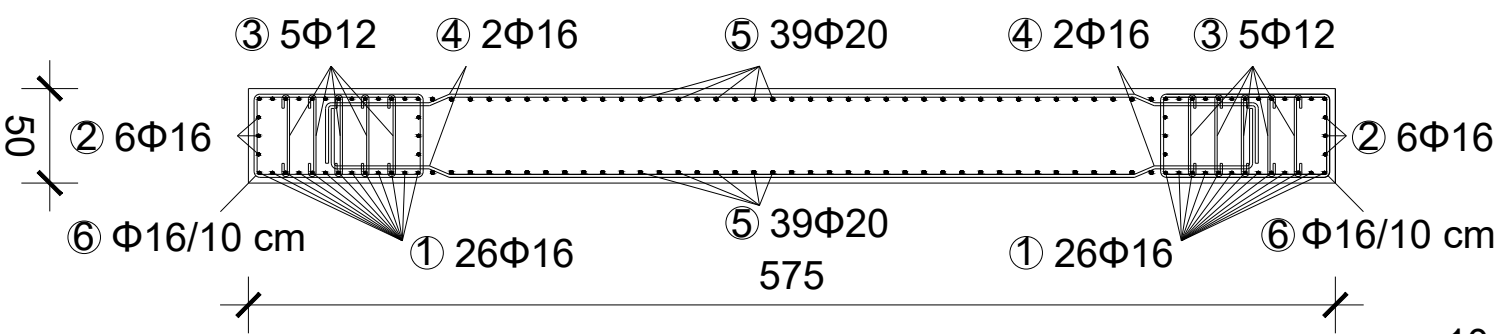
ISKAZ ARMATURE STUP S1						
ARMATURA B500B						
POZICIJA	Φ [mm]	Masa [kg/m]	L [m]	BR. KOM.	Ukupno [m]	Ukupno [kg]
1	28	4,956	4,95	176	871,20	4317,67
2	28	4,956	4,95	128	633,60	3140,12
3	16	1,621	2,22	1200	2664,00	4318,34
4	16	1,621	10,77	120	1292,40	2094,98
Sveukupno [kg]:			13871,113			

NACRT ARMATURE ZIDA 3d

MJ 1:40



- ① 52Φ16, l = 440 cm, 52 kom.
- ② 12Φ16, l = 440 cm, 12 kom.
- ⑤ 78Φ20, l = 450 cm, 78 kom.



- ⑥ Φ16/10 cm, l = 330 cm, 2x39=78 kom.

- ③ Φ12/10 cm, l = 59 cm, 2x5x39=390 kom.
- ④ Φ16/10 cm, l = 554 cm, 2x39=78 kom.

ISKAZ ARMATURE ZID 3d						
ARMATURA B500B						
POZICIJA	Φ[mm]	Masa [kg/m]	L [m]	BR KOM.	Ukupno [m]	Ukupno [kg]
1	16	1,621	4,40	52	228,80	370,88
2	16	1,621	4,40	12	52,80	85,59
3	12	0,911	0,59	390	230,10	209,62
4	16	1,621	5,54	78	432,12	700,47
5	20	2,536	4,50	78	351,00	890,14
6	16	1,621	3,30	78	257,40	417,25
Sveukupno [kg]:			2673,943			

GRADUVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U ZAGREBU			
Kolegij:	VISOKE GRADEVINE	DIPLOMSKI RAD	Mjerilo:
Sadržaj:	10. NACRT ARMATURE	ZID - 3d	1:40
Student:	Mihael Vidović		AK. GOD.
Mentor:	prof. dr. sc. Anđelko Vlašić		2023./2024.