

Procjena seizmičke otpornosti tornja katedrale Svetog Dujma metodom konačno-diskretnih elemenata

Gučanin, Mateo

Master's thesis / Diplomski rad

2024

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

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:199742>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-11**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I
GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Dujo Grubišić

Split, 2024

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Statički proračun stambeno – poslovne zidane zgrade

Diplomski rad

Split, 2024



STUDIJ: SVEUČILIŠNI DIPLOMSKI STUDIJ GRAĐEVINARSTVO

KANDIDAT: Dujo Grubišić

MATIČNI BROJ (JMBAG): 0083224176

KATEDRA: Katedra za teoriju konstrukcija

KOLEGIJ: Zidane konstrukcije

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema: Statički proračun stambeno – poslovne zidane zgrade

Opis zadatka:

Provesti proračun zgrade sa konstruktivnim sustavom od zidanih zidova koji se protežu na etažama iznad prizemlja i armiranobetonskim elementima. Proračun potresnog djelovanja provesti linearno statičkom metodom i nelinearnom metodom postupnog guranja. Izraditi proračun svih konstruktivnih elemenata odnosno ploča, greda, stupova, zidova, stubišta i temelja i sukladno tome odrediti potrebnu armaturu.

U Splitu, 11.07.2024.

Mentor:

Prof. dr. sc. Boris Trogrlić

Predsjednik Povjerenstva za završne
i diplomske ispite studija Građevinarstvo:
izv. prof. dr. sc. Ivan Balić



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

kojom ja, Dujo Grubišić, JMBAG: 0083224176, student Fakulteta građevinarstva, arhitekture i geodezije Sveučilišta u Splitu, kao autor ovog diplomskog rada izjavljujem da sam ga izradio samostalno pod mentorstvom prof. dr. sc. Borisa Trogrlića.

U radu sam primijenio metodologiju znanstvenoistraživačkog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju rada. Tuđe spoznaje, zaključke, teorije, formulacije i grafičke prikaze koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u radu citirao sam i povezoao s korištenim bibliografskim jedinicama.

(Dujo Grubišić)

Statički proračun stambeno – poslovne zidane zgrade

Sažetak:

U radu je prikazana analiza opterećenja i statički proračun stambeno - poslovne zgrade.

Svi proračuni su izvedeni sukladno Europskim normama (EN 1992, EN 1996, EN 1998) i Tehničkom propisu za zidane konstrukcije (HRN EN 1996-3).

Napravljen je i nelinearni statički proračun u računalnom programu AmQuake pomoću metode naguravanja (Pushover-Analysis), a sve u skladu sa Europskim normama (EN 1998-1).

Zgrada se sastoji od podzemne garaže, prizemlja sa poslovnim prostorima i 4 etaže stambene namjene i na vrhu se nalazi ravni krov. Podrum i prizemlje su izrađeni od armiranog betona, a ostale etaže su izrađene sa omeđenim zidom, međukatne konstrukcije su izvedene od armiranog betona. Kvalitetu temeljnog tla smo išitali iz geotehničkog elaborata.

Ključne riječi:

zgrada mješovite namjene, omeđeno zide, nelinearni proračuni, metoda naguravanja, potresna djelovanja

Static calculation of residential – office building made of masonry walls

Summary:

The master thesis presents load analysis and static calculation of mixed-purpose buildings made of confined masonry walls.

All calculations are carried out in accordance with European standards (EN 1992, EN 1996, EN 1998) and Technical regulations for masonry structures (HRN EN 1996-3).

A nonlinear static calculation was also made in the AmQuake computer program using pushover analysis, all in accordance with European standards (EN 1998-1).

The building consists of an underground garage, a ground floor with business premises, and 4 floors of residential use, and at the top, there is a flat roof. The basement and ground floor are made of reinforced concrete, and the other floors are made with bordered masonry.

Ground quality is taken from geotechnical studies.

Keywords:

Mixed-purpose building, statical calculation, confined masonry walls, nonlinear static calculation, pushover analysis, seismic analysis

Zahvaljujem mentoru prof. dr .sc. Borisu Trogrliću na stručnoj pomoći i suradnji tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Posebnu zahvalnost dugujem svojim roditeljima i prijateljima koji su uvijek bili tu i podržavali me tijekom studiranja.

SADRŽAJ

1. TEHNIČKI OPIS	1
1.1. OPIS PROJEKTIRANE GRAĐEVINE	1
1.2. KONSTRUKCIJA GRAĐEVINE	1
2. KARAKTERISTIKE MATERIJALA	3
2.1. ZIDNI ELEMENTI	3
2.1.1. <i>Blokovi</i>	3
2.1.2. <i>Mort</i>	4
2.2. OMEĐENO ZIDE	5
2.3. MEHANIČKA SVOJSTVA OMEĐENOG ZIDA	6
2.3.1. <i>Tlačna čvrstoća zida f_k</i>	6
2.3.2. <i>Posimična čvrstoća zida f_{vk}</i>	8
2.3.3. <i>Savojna čvrstoća zida</i>	10
2.3.4. <i>Vlačna čvrstoća zida</i>	11
2.3.5. <i>Modul elastičnosti</i>	12
2.3.6. <i>Modul posmika</i>	12
2.4. BETON	13
2.5. ARMATURA	13
3. ANALIZA OPTEREĆENJA	15
3.1. STALNO OPTEREĆENJE	16
3.1.1. <i>Vlastita težina</i>	16
3.1.2. <i>Dodatno stalno opterećenje</i>	16
3.1.3. <i>Opterećenje tla na zidove podzemne garaže</i>	18
3.2. PROMJENJIVO OPTEREĆENJE	18
3.2.1. <i>Korisno opterećenje</i>	18
3.2.2. <i>Opterećenje snijegom</i>	19
3.2.3. <i>Opterećenje vjetrom</i>	21
3.3. IZVANREDNO OPTEREĆENJE	23
3.3.1. <i>Seizmičko opterećenje</i>	23
4. 3D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE	27
5. PRORAČUN NOSIVIH ELEMENATA	32
5.1. PLAN POZICIJA	32
5.2. PRORAČUN PLOČA	33
5.2.1. <i>Proračun ploče poz 501</i>	33
5.2.2. <i>Proračun ploče poz 101</i>	35
5.2.3. <i>Proračun ploče poz 001</i>	37
5.3. PRORAČUN GREDA	39
5.3.1. <i>Plan pozicija</i>	39
5.3.2. <i>Greda poz 001</i>	39
5.3.3. <i>Greda poz 002</i>	41
5.3.4. <i>Greda poz 003</i>	43
5.4. PRORAČUN STUPOVA	44
5.5. PRORAČUN ZIDOVA	46
5.5.1. <i>Proračun betonskih zidova</i>	46
5.5.2. <i>Pojednostavljeni proračun betonskih zidova</i>	53
5.5.3. <i>Proračun podrumskih zidova</i>	60
5.5.4. <i>Proračun zidanih zidova</i>	62
5.5.5. <i>Pojednostavljeni proračun zidanih zidova prema EN 1996-3</i>	63
5.6. DIMENZIONIRANJE TEMELJA	65
6. NELINEARNI PRORAČUN GREDA I PLOČA	72

6.1.	NELINEARNI PRORAČUN PLOČA I PRIKAZ DEFORMACIJA U OVISNOSTI O KOLIČINI UGRAĐENE ARMATURE	
	72	
6.2.	METODA POSTUPNOG GURANJA – PUSHOVER ANALYSIS.....	76
6.3.	PRORAČUN MAKSIMALNE POTRESNE SILE LINEARNIM PRORAČUNOM.....	76
6.4.	PRORAČUN U AMQUAKE-U	77
6.5.	PRIKAZ REZULTATA.....	78
6.5.1.	<i>Informacije o projektu.....</i>	78
6.5.2.	<i>Proračun parametara</i>	79
6.5.3.	<i>Upotrijebljeni materijali</i>	80
6.5.4.	<i>Potresni parametri.....</i>	86
6.5.5.	<i>Opterećenje stropa.....</i>	87
6.5.6.	<i>Rezultati</i>	89
7.	USPOREDBA REZULTATA.....	97
8.	LITERATURA	98
9.	GRAFIČKI PRILOZI.....	102

1. TEHNIČKI OPIS

1.1. Opis projektirane građevine

Predmet diplomskog rada je izgradnja zgrade mješovitog tipa sa prizemljem poslovne i skladišne namjene te sa 4 kata stambene namjene. Na predmetnoj parceli nema izgrađenih građevina.

Investitor je imao zahtjev da se izvede i podzemna garaža koja će biti stubištem i lifotm povezana sa stambenim dijelom zgrade, a odvojena od poslovnog dijela zgrade. U sklopu podzemne garaže potrebno je izraditi i prostorije ostave za stanare zgrade. U prizemlju zgrade se treba nalaziti prostor za prodavaonicu površine 100 m² sa skladišnim prostorom površine 30 m². Prizemlje također mora sadržavati i dva prostora za iznajmljivanje ukupne površine 40 m².

Stambene etaže se moraju sastojati od jednog trosobnog stana, dva trosobna i jedne garsonjere. Ravni krov je zamišljen kao prohodni ravni krov sa završnom oblogom od betonskih kocki.

Temelji su predviđeni kao roštiljni sustav sa punom betonskom pločom ispod okna dizala.

1.2. Konstrukcija građevine

Zgrada je zamišljena da prve dvije etaže (podrum i prizemlje) budu izvedeni od armiranog betona klase C30/37, a ostale 4 etaže od omeđenog ziđa debljine 25cm.

Temeljenje zgrade se vrši na nosivom sloju nekoherentnog tla sa maksimalnim dopuštenim naprezanjem od 500 kPa ($\sigma_{rd}=500,0$ kPa). Temelji su visine 60 cm, širina je svugdje 85 cm kako nebi došlo do naprezanja u tlu većih od 500 kPa. Prilikom dimenzioniranja temelja je se moralo paziti da nebi došlo do nejednolikog slijeganja tla što bi uzrokovalo dodatna naprezanja u nosivim elementima i moguću pojavu pukotina. Temelji su izrađeni od betona klase C30/37 i armature B500B. Nadtemeljni zid je visine 30 cm, a debljine 25 cm. Maksimalno ubrzanje tla iznosi $a_g=0,278 \cdot g$ m/s².

Podzemna garaža je izvedena od armirano betonskih zidova debljine 25 cm klase C30/37. Klasa betona C30/37 je odabrana zbog opterećenja tla na vanjske zidove. Prilaz podrumu je osmišljen preko rampe koja dolazi iz prizemlja zgrade. Podzemna garaža je odvojena od poslovnog dijela zgrade te je povezana sa stambenim dijelom zgrade stubištem i dizalom. Visina od nadtemeljne ploče do ploče u prizemlju je $h=360$ cm. Prizemlje je izrađeno od armirano betonskih zidova debljine 25 cm klase betona C30/37. Prizemlje je visine 450 cm i sastoji se od poslovnih prostora i ulaza u zgradu.

Stambeni dio zgrade je izgrađen od omeđenog zida sa armirano-betonskim stubištem i oknom za dizalo. Mimo okna dizala smo postavili još nekoliko armirano-betonskih zidova koji se u konačnici ponašaju kao višestjeni nosači. Zidovi su izrađeni od šupljih opeka debljine $t=25$ cm povezano sa cementnim mortom marke M10 ($f_m= 10,00$ N/mm²). Srednja tlačna čvrstoća bloka je $f_{b,min}= 10,00$ N/mm². Zidani zidovi su omeđeni sa horizontalnim i vertikalnim serklažima izrađenim od armiranog betona marke C25/30.

Prohodni ravni krov je izrađen od armiranog betona marke C25/30 sa otvorom za izlaz na krov. Slojevi krova su odabrani na sljedeći način:

- bitumenska traka (parna brana)
- Kamena vuna položena (toplinska izolacija)
- Sloj geotekstila
- TPO membrana (hidroizolacija)
- Geotekstil
- Kamene kocke (zaštita hidroizolacije)

Međukatne konstrukcije su izrađene od armiranog betona debljine 20 cm. Armatura u ploči je klase B500B.

2. Karakteristike materijala

2.1. Zidni elementi

2.1.1. Blokovi

Blok opeka korištena pri proračunu predmetne zgrade je Porotherm 25 S. Korištena opeka ima dobra toplinska i zvučna svojstva, paropropusna je, nije zapaljiva te je otporna na starenje.



Porotherm 25 Profi

TEHNIČKE KARAKTERISTIKE

Dimenzije		37,5x25x24,9 cm
Debljina zida	d	25 cm
NF		11,97
Masa	m	17,6 kg/kom
Potrošnja opeke m ²		10,67 kom/m ²
Potrošnja opeke m ³		42,7 kom/m ³
Utrošak tankoslojnog morta		2,5 // 10 l/m ² // l/m ³
Utrošak DRYFIX.extra		6 m ² /doza
m ² od m ³ opeke		4 m ²
Težina m ² zida (tankoslojni/DRYFIX.extra)		1,91 // 1,88 kN/m ²
Težina m ³ zida (tankoslojni/DRYFIX.extra)		7,64 // 7,52 kN/m ³

MEHANIČKE KARAKTERISTIKE

Tlačna čvrstoća	f _b	10 N/mm ²
Karakteristična tlačna čvrstoća zida (tankoslojni/DRYFIX.extra)	f _k	4,52 // 3,75 N/mm ²

FIZIKALNA SVOJSTVA

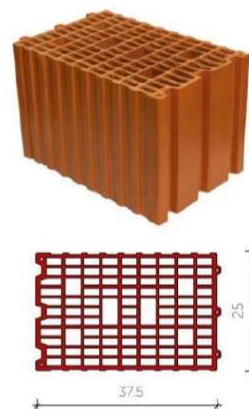
Toplinska provodljivost	λ _{T0, dry unit}	0,141 W/mK
U-vrijednost (neožbukani zid)	U	0,51 W/m ² K
Bruto gustoća	ρ	780 kg/m ³
Specifični toplinski kapacitet	c	0,92 kJ/kgK
Faktor otpora difuziji vodene pare	μ	5/10
Računska dozvoljena vlažnost	x _r	2,6 %
Maks. dozvoljena vlažnost	x _{max}	5,4 %
Računska debljina sloja kondenzirane vodene pare		0,05 m
Reakcija pri požaru		A1
Otpornost na smrzavanje		F0
Sadržaj aktivnih topivih soli		S0

VATROOTPORNOST

Razred požarne otpornosti	REI 120* min
* zid ožbukani sa obje strane	

TOPLINSKA IZOLACIJA

Debljina TI* (kamena vuna)	10 cm
U-vrijednost	0,22 W/m ² K



Normativi

Zidanje zidova opekama Porotherm 25 Profi u tankoslojnom mortu

Materijal	opeka	42,7 kom/m ³
	t.mort	10 l/m ³
Rad	KV	1,22 sat/m ³
	PKV	0,41 sat/m ³

Zidanje zidova opekama Porotherm 25 Profi sa DRYFIX.extra ljepljivom

Materijal	opeka	42,7 kom/m ³
	DRY.	500 ml/m ³
Rad	KV	0,95 sat/m ³
	PKV	0,34 sat/m ³

Slika 1. Karakteristike opeke dobivene od proizvođača

Zidanje je predviđeno uporabom morta opće namjene M10. U nastavku su prikazana svojstva zidnih elemenata, morta i ziđa:

- Dimenzije opeke: 37,5 x 25,0 x 25,0 cm
- Srednja tlačna čvrstoća bloka: $f_{ck,sred} = 10,00$ Mpa
- Normalizirana tlačna čvrstoća bloka: $f_b = f_{ck,sred} \cdot \delta = 10,0 \cdot 1,15 = 11,5$ MPa
- Skupina zidnih blokova: 1 ($K = 0,45$)
- Tlačna čvrstoća ziđa: $f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 0,45 \cdot 11,5^{0,7} \cdot 10,0^{0,3} = 4,96$ MPa
- Modul elastičnosti ziđa $E = K_E \cdot f_k = 1000,0 \cdot 4,96 = 4960,0$ MPa
- Modul posmika ziđa: $G = E/6 = 4960,0/6 = 826,0$ MPa
- Fkator smanjenja za vitkost i ekscentričnost: $\Phi_{i,m} = 0,70$
- Parcijalni koeficijent sigurnosti za materijale: $\gamma_M = 2,2$



Slika 2. Porotherm 25 S

2.1.2. Mort

Mort je vezivo koje nastaje miješanjem cementa, vapna, agregata i vode, a po potrebi se dodaju i aditivi. Glavna svrha morta je povezivanje blokova čime se postiže čvrstoća ziđa. Mort služi i za neutralizaciju utjecaja geometrijskih nepravilnosti blokova te za jednoliku raspodjelu tlačnih sila.

Glavni sastojci morta su:

- Vezivo: cement, gips, hidratizirano vapno, hidrauličko vapno,...
- Agregat: pijesak ili neki drugi materijal koji zadovoljava norme
- Voda: čista (ne smije sadržavati štetne tvari)

Prilikom izrade koristit ćemo cementni mort koji je izrađen od cementa, vode i šljunka.

Mort se dijeli prema njegovoj tlačnoj čvrstoći, označava se slovom „M“ i brojkom koja označava tlačnu čvrstoću iskazanu u N/mm², na primjer M20. U nastavku je tablica u kojoj su prikazani omjeri komponenti za pojedine tlačne čvrstoće. Ukoliko je potrebna manja ili

veća tlačna čvrstoća morta u odnosu na prikazane u tablici dopušteno je mijenjanje omjera komponenti te se naknadno trebaju ispitati svojstva takve mješavine

Vrste morta	Minimalna tlačna čvrstoća nakon 28 dana (N/mm ²)	Približni sastav		
		Cement	Hidratizirano vapno	Pijesak
M20	20	Treba odrediti ispitivanjem		
M15	15	1	$0 - \frac{1}{4}$	3
M10	10	1	$\frac{1}{4} - \frac{1}{2}$	$4 - 4\frac{1}{4}$
M5	5	1	$\frac{1}{2} - 1\frac{1}{4}$	5 - 6
M2	2	1	$1\frac{1}{4} - 2\frac{1}{2}$	8 - 9

Tablica 1. Volumenski sastav morta

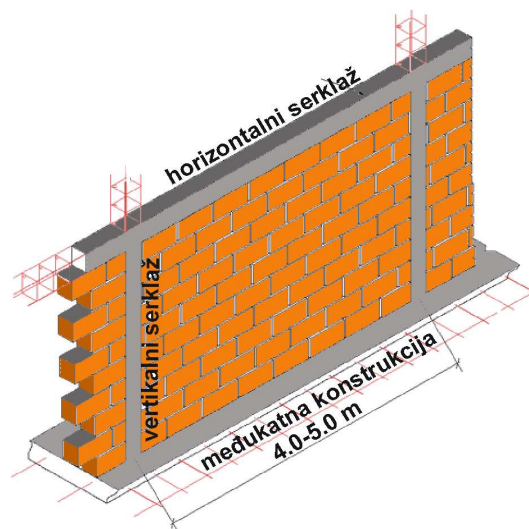
Za izradu nearmiranog zida najslabiji dopušteni mort je M2, dok je za armirano i prednapeto zide to mort M5. Što se tiče tankoslojnih mortova, oni moraju biti najmanje oznake M5 što se odnosi i na lakoagregatne mortove.

Čvrsti mortovi s povećanim sadržajem cementa imaju tendenciju za pojave pukotina u konstrukciji. Slabiji mortovi imaju manji sadržaj cementa i veću sposobnost na prilagođavanje pomacima. Ukoliko se zidanje vrši zimi potrebno je dodati plastifikator kako bi mort imao veću otpornost na mraz, ali onda se smanjuje prionjivost morta i otpornost na prodiranje kiše u objekt. Ukoliko se mortu dodaju aditivi kao što su plastifikatori ili usporivači vezivanja onda treba ispitati prionjivost morta na zidni element koja ne bi smjela biti smanjena.

2.2. Omeđeno zide

Ukoliko se zide nakon zidanja ojačava armiranobetonskim horizontalnim i vertikalnim serklažima nazivamo ga omeđenim zidom. Zadatak serklaža je da ojačaju zide i povećaju nosivost na tlak, vlak, posmik i savijanje. Serklaži smanjuju deformacije i omogućuju stvaranje tlačnih dijagonala pri horizontalnim opterećenjima. Zbog svih ovih razloga zadatak serklaža je jako bitan pri potresnom djelovanju.

Vertikalni serklaži preuzimaju vlačna naprezanja, dok horizontalni serklaži vrše ravnomjernu preraspodjelu vertikalnih opterećenja na zid, a posebno u slučaju koncentriranih sila.



Slika 3. Omeđeno zida

2.3. Mehanička svojstva omeđenog zida

2.3.1. Tlačna čvrstoća zida f_k

Ukoliko zida opteretimo jednoosnom tlačnom silom ono uglavnom dostiže slom nastankom vlačnih pukotina u smjeru djelovanja opterećenja, koja nastaju kao rezultat vlačnih napreznja okomitih na smjer glavnih tlačnih napreznja. Maksimalna tlačna napreznja u tlaku su manja od normalne tlačne čvrstoće zidnog elementa, odnosno čvrstoća zida može biti značajno veća od maksimalnih tlačnih napreznja kocke morta.

Opća svojstva:

- sekundarno vlačno napreznje, koje uzrokuje pukotinski slom zida, nastaje zbog spriječenih deformacija morta u sljubnicama zida
- prividna tlačna čvrstoća bloka u standardnim ispitivanjima na tlak nije prava mjera čvrstoće bloka u zidu, jer je način sloma različit
- mort može podnijeti povećana tlačna napreznja u sljubnicama zbog pojave višeosnog stanja napreznja

Karakterističnu tlačnu čvrstoću zida f_k možemo dobiti iz granične čvrstoće zida ukupne visine od jednog kata kojeg ispitujemo do sloma ili iz manjih uzoraka. Ukoliko ispitujemo manje uzorke moramo paziti da koristimo iste materijale i način vezivanja kao u stvarnom zidu. Prije same izrade ispitnog uzorka moramo kontrolirati vlagu u zidnom elementu u trenutku polaganja. Prvo se ispituje normalizirana tlačna čvrstoća bloka. Mort koji upotrebljavamo potrebno je pripremiti na način da su količine sastojaka točne kao u tablicama za izradu i da su svi sastojci dobro izmiješani. Ukoliko u agregatu imamo određeni postotak vlage to je potrebno uzeti u obzir prilikom dodavanja vode. Potrebno je napraviti najmanje tri uzorka, a svaki od uzoraka treba biti minimalno tri puta viši od širine te pet puta veći od visine jednog bloka. Konačno ispitivanje uzoraka se vrši nakon 7 ili 28 dana starosti, ovisno o

čvrstoći morta. Prilikom ispitivanja je potrebno postaviti centralnu os zida ispod osi djelovanja stroja za ispitivanje. Opterećenje se zadaje jednoliko po površini da dnu i vrhu zida, jednoliko se povećava opterećenje, a slom nastaje od 15 do 30 minuta nakon početka ispitivanja. Deformacije se mjere s pomoću četiri elektronska ekstenzometra. Na svaku plohu zida se postavljaju po dva ekstenziometra, a relativna deformacija se uzima kao srednja vrijednost očitana na svakom pojedinom ekstenziometru.

Rezultati ispitivanja tlačne čvrstoće prikazuju se u tablici ili preko izraza:

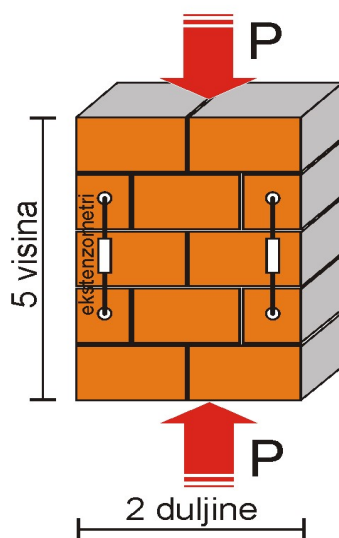
$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta$$

Gdje je:

- f_k – karakteristična tlačna čvrstoća zida u N/mm^2
- K – koeficijent ovisan o razredu bloka i tipu morta, prikazan u tablici u nastavku
- f_b – normalizirana srednja tlačna čvrstoća zidnog elementa u N/mm^2
- f_m – tlačna čvrstoća morta u N/mm^2
- α, β – konstante

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

Tablica 2. Koeficijenti K za različite vrste morta i tipove zidnih elemenata



Slika 4. Ispitivanje tlačne čvrstoće zida

Ukoliko nema na raspolaganju eksperimentalno dobivenih podataka o tlačnoj čvrstoći zida, karakterističnu tlačnu čvrstoću zida se može odrediti, ovisno o vrsti morta kao:

- Mort opće namjene $f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
- Tankoslojni mort, opeka skupine 1 i 4, ostali blokovi $f_k = 0,80 \cdot f_b^{0,85} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$
- Tnakoslojni mort, opeka skupine 2 i 3 $f_k = 0,80 \cdot f_b^{0,65} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

2.3.2. Posmična čvrstoća zida f_{vk}

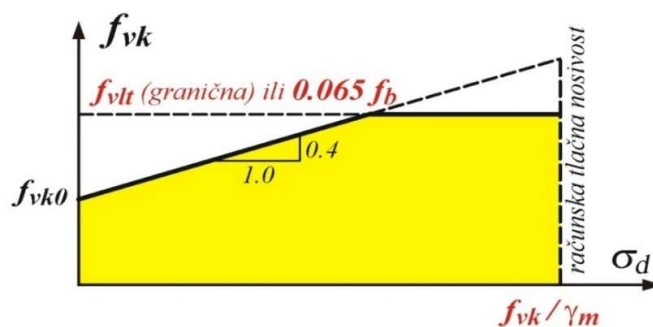
Zidane konstrukcije su podvrgnute kombinaciji djelovanja posmičnih i tlačnih naprezanja. Otpornost na posmična djelovanja opada s povećanjem visine zida, a raste s većom debljinom zida.

Do sloma zidnih ploha uslijed djelovanja posmika dolazi u dijagonalnom vlaknu. Pri malom prirastu predtlačnih sila, dolazi do pojave stepenastih pukotina uzduž sljubnica pri kutu od cca 45°. Uslijed velikih predtlačnih sila, glavna naprezanja prouzrokuju slom pod većim kutom u odnosu na horizontalnu ravninu i pukotine nastaju vertikalno kroz sljubnice. Za glavni kriterij sloma se uzima maksimalna vrijednost glavnih vlačnih naprezanja.

Za karakterističnu posmičnu čvrstoću zida f_{vk} se uzima ona vrijednost za koju se smatra da više od 5% rezultata ispitivanja neće biti manje od njenog iznosa. Karakteristična posmična čvrstoća se može dobiti ispitivanjem određenog broja uzoraka ili ispitivanjem na nekom izvedenom zidu.

Karakterističnu posmičnu čvrstoću nearmiranog zida f_{vk} , uz zadovoljen uvjet da su sljubnice, i horizontalne i vertikalne, ispunjene mortom, može se uzeti kao manja vrijednost od: $f_{vk} = f_{vk} + 0,4 \cdot \sigma_d$ ili $f_{vk} = 0,065 \cdot f_b$, ali ne manja od f_{vk0} i ne veća od granične vrijednosti f_{vlt} , gdje su:

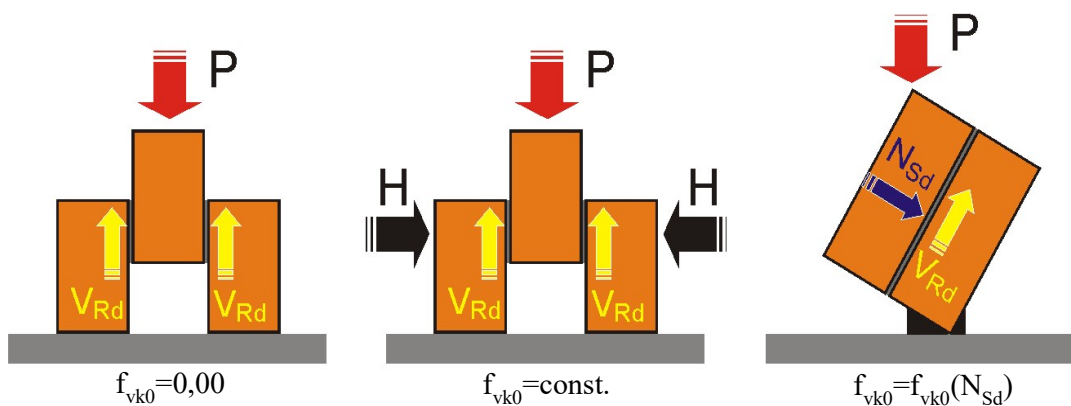
- f_{vk} – karakteristična posimična čvrstoća, pri nultom tlačnom naprezanju
- f_{vlt} – limitirajuća vrijednost od f_{vk}
- σ_d – proračunsko tlačno naprezanje okomito na posmik u zidu na razini na kojoj se promatra, uzimajući u obzir odgovarajuću kombinaciju opterećenja koja se bazira na jednolikoj raspodjeli naprezanja u tlačnom dijelu zida koji pruža posmičnu nosivost
- f_b – normalizirana tlačna čvrstoća zidnih elemenata za smjer djelovanja opterećenja na ispitane uzorke, okomito na naliježuću površinu



Dijagram 1. Ovisnost posimične čvrstoće i tlačnog naprezanja

Eksperimentalno ispitivanje posimične čvrstoće f_{vk} se vrši na uzorcima:

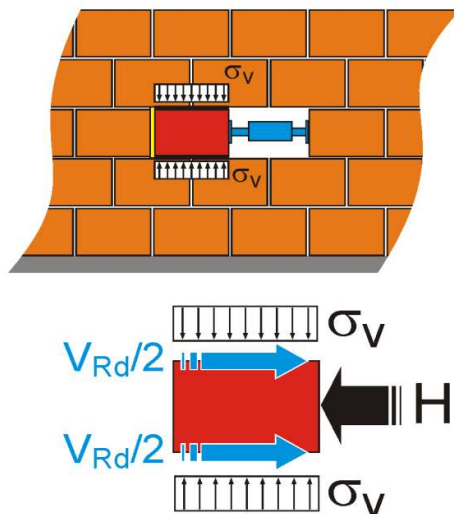
- Bez normalnog naprezanja
- Dodavanjem normalnog naprezanja
- S uvijek prisutnim tlačnim naprezanjem



Slika 5. Ispitivanje posimične čvrstoće zida

Ukoliko moramo ispitati posmičnu čvrstoću zida na nekoj postojećoj građevini potrebno je izvaditi jedan zidni element i na to mjesto se postavlja uređaj za nanošenje sile. Prethodno je potrebno ukloniti mort ispred i iza bloka kojeg ispitujemo jer u protivnom će doći do pucanja bloka, a nećemo dobiti traženi efekt. Sila se povećava linearno do konačnog sloma.

Naprezanje na horizontalnoj sljubnici se treba izračunati.

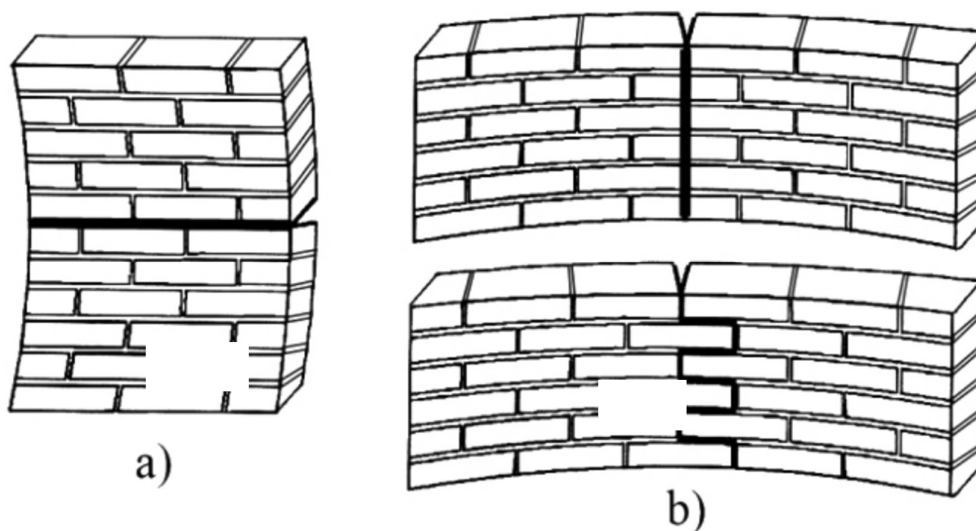


Slika 6. Ispitivanje posimične čvrstoće zida na licu mjesta

2.3.3. Savojna čvrstoća zida

Karakteristična čvrstoća nearmiranog zida na savijanje f_{xk} je čvrstoća za koju možemo reći da ispod nje ne pada više od 5% rezultata ispitivanja. Savijanje zida izvan ravnine dijelimo na dva slučaja:

- Čvrstoća na savijanje okomito na vertikalne sljubnice f_{xk1}
- Čvrstoća na savijanje paralelno sa vertikalnim sljubnicama f_{xk2}



Slika 7. Prikaz otkazivanja paralelno sa horizontalnim ili sa vertikalnim sljubnicama

Čvrstoću na savijanje f_{xk1} i f_{xk2} najčešće dobivamo eksperimentalnim ispitivanjima. Ukoliko podaci za žiđe napravljeno sa mortom opće namjene, tankoslojnim ili laganim mortom nisu dostupni, čvrstoću na savijanje možemo usvojiti iz tablice. Ovo vrijedi ako su lagani i tankoslojni mort M5 ili više.

Zidni elementi	f_{xk1} (N/mm ²)			
	Mort opće namjene		Tankoslojni mort	Lagani mort
	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m > 5$ N/mm ²		
Glineni	0,10	0,10	0,15	0,10
Kalcijsko – silikatni	0,05	0,10	0,20	Ne koristi se
Betonski	0,05	0,10	0,20	Ne koristi se
Porasti	0,05	0,10	0,15	0,10
Industrijski kamen	0,05	0,10	Ne koristi se	Ne koristi se
Obradeni prirodni kamen	0,05	0,10	0,15	Ne koristi se

Tablica 3. Vrijednost f_{xk1} (ravnina sloma paralelna horizontalnim sljubnicama)

Zidni elementi	f_{xk1} (N/mm ²)				
	Mort opće namjene		Tankoslojni mort	Lagani mort	
	$f_m < 5$ N/mm ²	$f_m > 5$ N/mm ²			
Glineni	0,20	0,40	0,15	0,10	
Kalcijsko – silikatni	0,20	0,40	0,30	Ne koristi se	
Betonski	0,20	0,40	0,30	Ne koristi se	
Porasti	$\rho < 400$ kg/m ³	0,20	0,40	0,20	0,15
	$\rho > 400$ kg/m ³	0,20	0,40	0,30	0,15
Industrijski kamen	0,20	0,40	Ne koristi se	Ne koristi se	
Obradeni prirodni kamen	0,20	0,40	0,15	Ne koristi se	

Tablica 4. Vrijednost f_{xk2} (ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice)

2.3.4. Vlačna čvrstoća zida

Karakterističnu vlačnu čvrstoću žiđa f_t uzimamo kada dođe do vlačnog otkazivanja zida opterećenog istovremeno vertikalnim i horizontalnim opterećenjem. Horizontalno opterećenje se javlja povremeno uzrokovano vjetrom i potresom dok je vertikalno opterećenje stalno prisutno.

Ukoliko je žiđe izrađeno standardnim mortom (cement, vapno, agregat) njegova vlačna čvrstoća je mala i nepromjenjiva. Vlačnu čvrstoću žiđa možemo povećati uslijed ravninskog savijanja ili savijanja van ravnine zida. Uslijed pojave ravninskog savijanja vlačna čvrstoća uvelike ovisi o prionjivosti bloka i morta. O vlačnoj čvrstoći uvelike ovisi promjer pora na bloku i veličina mikro kristala entrigita. Za postizanje mehaničke veze potrebno je da veličina pora u bloku bude veća od 0,05 mm, i dobro hidratiziran cement. Ukoliko blok nije prethodno

navlažen ima visok kapacitet upijanja vode stvoriti će se djelomično hidratizirane zone u mortu i to će rezultirati smanjenoj mehaničkoj čvrstoći. Stoga treba naglasiti da je prije zidanja obavezno navlačiti zidne elemente jer to uvelike ovisi o vlačnoj čvrstoći zida.

Karakterističnu vlačnu čvrstoću zida se može odrediti ispitivanjem zida opterećenog konstantnim vertikalnim opterećenjem, silom N , i linearno rastućom horizontalnom silom H do dijagonalnog sloma ili s pomoću propisanih tablica.

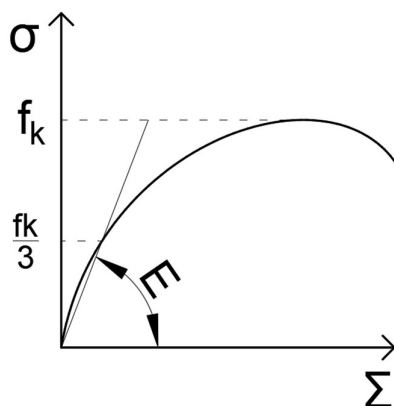
2.3.5. Modul elastičnosti

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

$$E = K_E \cdot f_k,$$

gdje su:

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



Dijagram 2. Naprezanja-deformacija

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

$$E_{dugotrajno} = \frac{E}{1 + \phi_{\infty}}$$

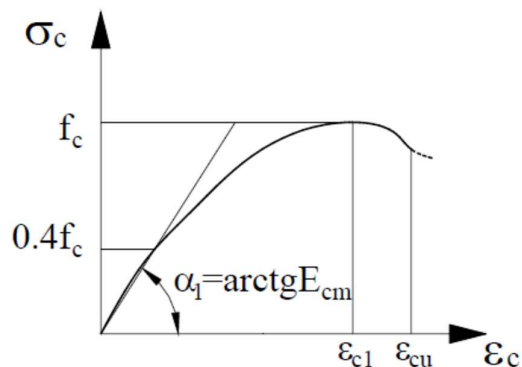
gdje je: - ϕ_{∞} - konačni koeficijent puzanja

2.3.6. Modul posmika

Modul posmika G uzima se kao 40% vrijednosti modula elastičnosti E , tj $G = 0.4 E$, a pri proračunu potresa se uzima kao: $G = 0.167 E$.

2.4. Beton

Konstruktivni elementi zgrade su izrađeni od betona projektiranog sastava. Za ovaj projekt korišten je beton klase C 30/37 i beton klase C 25/30.



Dijagram 3. Radni dijagram betona

Ispitivanje betona se vrši na kockama brida 150 mm, 200 mm ili na valjcima dimenzija 150 x 300 mm, kako je predviđeno u normi HRN EN12390-1. Uzimanje uzoraka se vrši na mjestu ugradnje. Svježi beton se stavlja u kalupe i zbija se vibratorima ili šipkama $\phi 25$ mm.

Potrebno je sve uzorke propisno označiti, a podatke o uzimanju upisati u tiskanice za kontrolu kvalitete betona. Tiskanice trebaju potpisati predstavnik izvođača radova i predstavnik ovlaštene organizacije za ispitivanje. Cijeli proces uzorkovanja betona vrši radnik izvođača radova. Tlačna čvrstoća betona se izražava kao $f_{c/koc}$ na uzorcima kocke i $f_{c/valj}$ ako se određuje na uzorcima valjka. Uzorci moraju biti stari minimalno 28 dana prije ispitivanja. Samo u posebnim slučajevima ispitivanje se može vršiti prije 28 dana (tehnološki uvjeti, npr. skidanje oplata,...).

Karakteristična tlačna čvrstoća:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Posmična čvrstoća:	$\tau_{rd} = 0,34 \text{ MPa}$
Srednja vlačna čvrstoća:	$f_{ct,m} = 2,9 \text{ MPa}$
Modul elastičnosti:	$E = 33000 \text{ MPa}$
Modul posmika:	$G = 13750 \text{ MPa}$

Tablica 5. Karakteristike betona klase C30/37

Karakteristična tlačna čvrstoća:	$f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Posmična čvrstoća:	$\tau_{rd} = 0,34 \text{ MPa}$
Srednja vlačna čvrstoća:	$f_{ct,m} = 2,6 \text{ MPa}$
Modul elastičnosti:	$E = 31500 \text{ MPa}$
Modul posmika:	$G = 13125 \text{ MPa}$

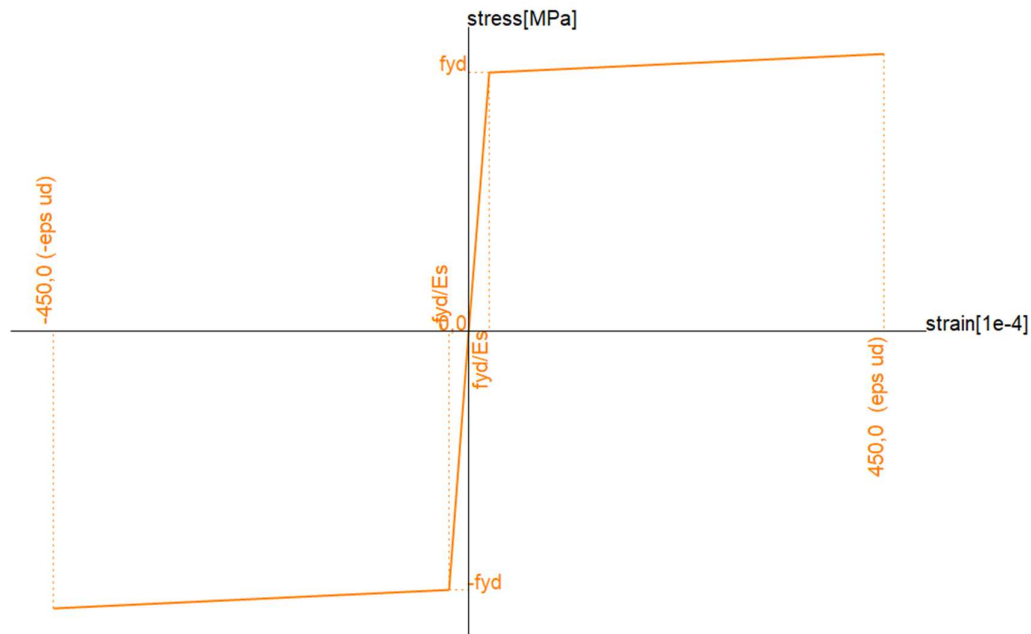
Tablica 6. Karakteristike betona klase C25/30

2.5. Armatura

Za sve armirano betonske elemente je korišten armaturni čelik B 500B svojstava:

- karakteristična tlačna i vlačna čvrstoća: $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$
- modul elastičnost: $E = 21000 \text{ MPa}$

Kako bi zaštitili armaturu od vanjskih utjecaja potrebno je osigurati dovoljnu debljinu zaštitnog sloja, a to se postiže dovoljnim brojem kvalitetnih distancera. Kako bi zaštitni sloj ostao postojan potrebno je oplatu premazati uljem za oplatu i pravilno ugraditi beton. Prilikom armiranja elemenata treba se poštovati armaturni plan i armatura mora biti propisno povezana kako ne bi došlo do pomicanja uslijed betoniranja. Sva ugrađena armatura mora posjedovati odgovarajuće izjave o svojstvima.



Dijagram 4. Radni dijagram čelika

3. ANALIZA OPTEREĆENJA

Osnovna opterećenja, na čiji utjecaj se dokazuje mehanička otpornost i stabilnost građevine proračunate u ovom radu, dijele se na:

- Stalna djelovanja G: djelovanja za koja se smatra da će djelovati na konstrukciju u cijelom vijeku trajanja konstrukcije ili će imati malu promjenu intenziteta koja je zanemariva u odnosu na srednju vrijednost (vlastita težina, nepokretna oprema, prednapinjanje pritisak tla, pritisak vode, deformacije uslijed načina izgradnje, slijeganje oslonaca, itd.)
- Promjenjiva djelovanja Q: djelovanja za koje je vjerojatno da će se pojaviti tijekom uporabe konstrukcije, te da neće imati stalan intenziteta tijekom vremena (uporabno opterećenje, opterećenje vjetrom i snijegom, djelovanje temperature, promjena razine površinske vode, opterećenje ledom, itd.)
- Izvanredna djelovanja A: djelovanja kratkog trajanja, najčešće su velikog intenziteta, mala vjerojatnost pojavljivanja u planiranom vijeku trajanja konstrukcije (potres, požar, eksplozija, udar vozila, slijeganje, itd.)

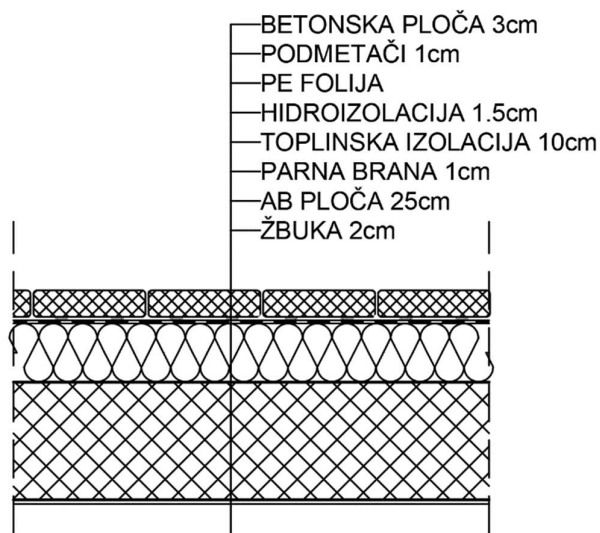
3.1. Stalno opterećenje

3.1.1. Vlastita težina

Vlastita težina svih konstruktivnih elemenata se automatski računa u programskom paketu SCIA Engineer.

3.1.2. Dodatno stalno opterećenje

Krovnna ploča

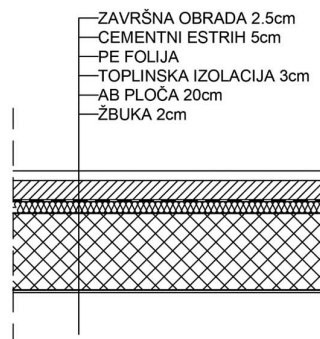


Slika 8. Slojevi ravnog krova

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	$d \times \gamma$ (kN/m ²)
Betonska ploča:	0,03	25,00	0,75
Podmetači:	0,03	-	-
PE folija:	-	-	-
Hidroizolacija:	0,015	5,90	0,09
Toplinska izolacija:	0,10	1,50	0,30
Parna brana:	0,01	0,15	0,0015
AB ploča:	0,20	Uključeno u SCIA-u	
Žbuka:	0,02	19,00	0,38

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g=1,52$ (kN/m²)

Međukatne ploče

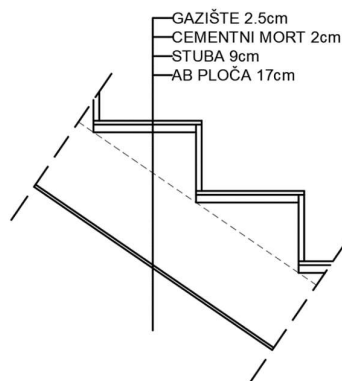


Slika 9. Slojevi poda međukatne ploče

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	d x γ (kN/m ²)
Završna obrada:	0,025	9,60	0,24
Cementni estrih:	0,05	22,00	1,10
PE folija:	-	-	-
Toplinska izolacija:	0,03	2,00	0,06
AB ploča:	0,20	Uključeno u SCIA-u	
Žbuka:	0,02	15,00	0,30
Instalacije:	-	-	0,75

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g=2,45$ (kN/m²)

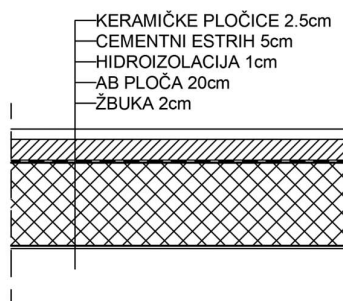
Stubište



Slika 10. Slojevi stubišta

Sloj:	Debljina sloja (m):	γ (kN/m ³)	d x γ (kN/m ²)
Gazište:	0,025	9,60	0,24
Cem mort:	0,02	18,00	0,36
Stuba:	0,09	22,00	1,98
AB ploča:	0,17	Uključeno u SCIA-u	

Balkon



Slika 11. Slojevi poda balkona

Sloj:	Debljina sloja (m):	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$d \times \gamma (\text{kN/m}^2)$
Keramičke pločice:	0,025	9,60	0,24
Cem estrih:	0,05	22,00	1,10
Slojevi hidroizolacije:	0,01	8,50	0,085
AB ploča:	0,20	Uključeno u SCIA-u	
Žbuka:	0,02	15,00	0,30

Ukupno dodatno stalno opterećenje: $\Delta g=1,72 (\text{kN/m}^2)$

3.1.3. Opterećenje tla na zidove podzemne garaže

Podzemna garaža se nalazi ispod razine uređenog terena. Na zidove podruma djeluje geostatičko opterećenje od težine tla. Dubina podzemne vode se nalazi na dubini od 1,50 m. Karakteristike šljunka su utvrđene ispitivanjem na terenu. Šljunak je sljedećih karakteristika:

- $\gamma = 17,70 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
- $\gamma' = 9,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

3.2. Promjenjivo opterećenje

3.2.1. Korisno opterećenje

Minimalno korisno (pokretno, promjenjivo) opterećenje za stambene zgrade definirano je u normi HRN EN 1991-1-1. Takvo korisno opterećenje je najmanje koje se smije primijeniti za proračun konstrukcije zgrade. Ukoliko investitora zahtjeva ili sam projektant procjeni da je potrebno, smije se koristiti i veće pokretno opterećenje. Za potrebe proračuna predmetne građevine, a prema EC1991-1-1 korištena su sljedeća promjenjiva opterećenja:

- Ravni krov: $q = 1,0 \text{ kN/m}^2$
- Međukatne ploče – stambeni prostori: $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Stubište: $q = 3,0 \text{ kN/m}^2$
- Balkoni: $q = 4,0 \text{ kN/m}^2$

NAPOMENA: Neće se raditi kombinacija korisnog opterećenja, tj. postavljanje korisnog opterećenja u najkritičnije položaje, već je potrebno dobivenu armaturu umanjiti nad ležajem za ncca 15-20 % i povećati u polju cca 25-30%.

3.2.2. Opterećenje snijegom

Predmetna građevina se nalazi u Sinju. Prema preporukama HRN EN 1991-1-3:1995, iznos opterećenja snijegom iznosi $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$, gdje su:

μ_i - koeficijent oblika opterećenja snijegom → za krov nagiba do 30° $\mu_i = 0,80$

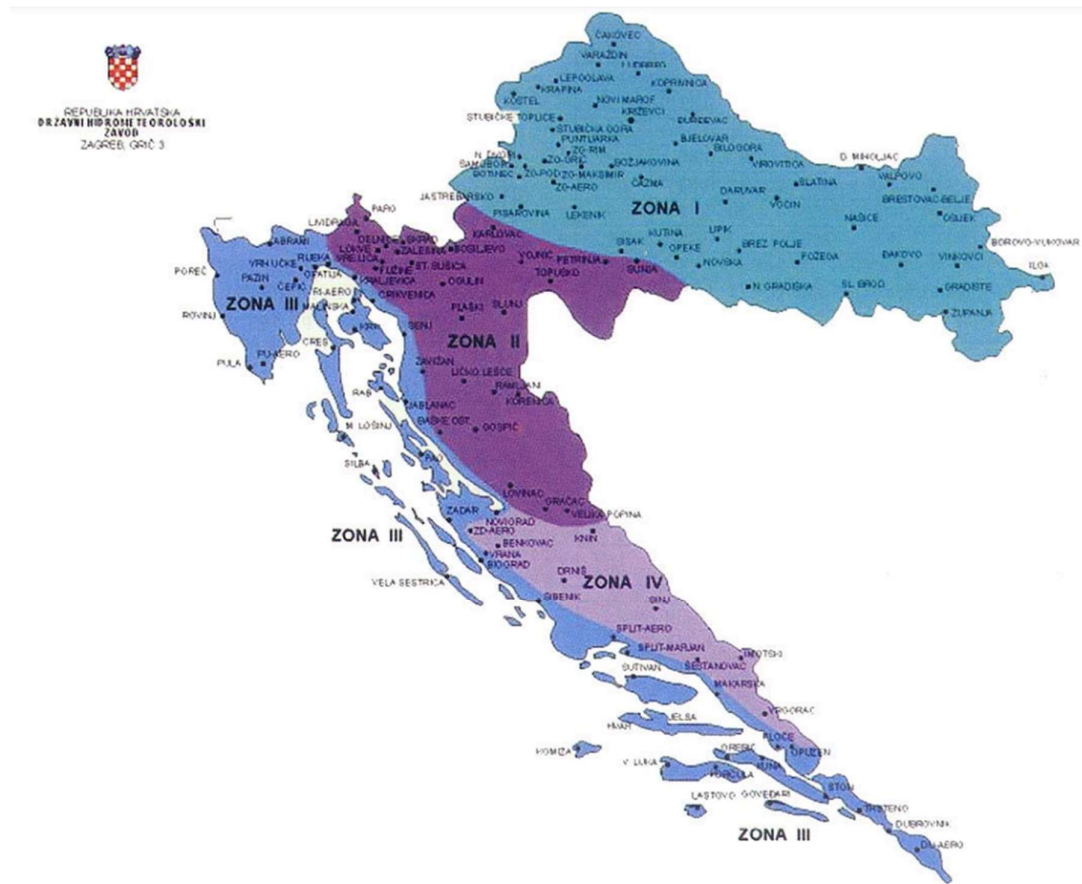
C_e - koeficijent izloženosti → uobičajeno $C_e = 1,00$

C_t - toplinski koeficijent → uobičajeno $C_t = 1,00$

s_k - karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu → očitano $s_k = 0,70 \text{ kN/m}^2$

Nadmorska visina [m]	$s_k \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right]$			
	I	II	III	IV
0	0,88	0,75	0,14	0,18
100	1,09	1,05	0,45	0,33
200	1,31	1,38	0,80	0,50
300	1,55	1,76	1,20	0,70
400	1,80	2,18	1,65	0,92
500	2,06	2,63	2,15	1,16
600	2,34	3,13	2,70	-

Tablica 7. Prikaz karakterističnog opterećenja snijegom



Slika 12. Grafički prikaz vjetrovnih zona Republike Hrvatske

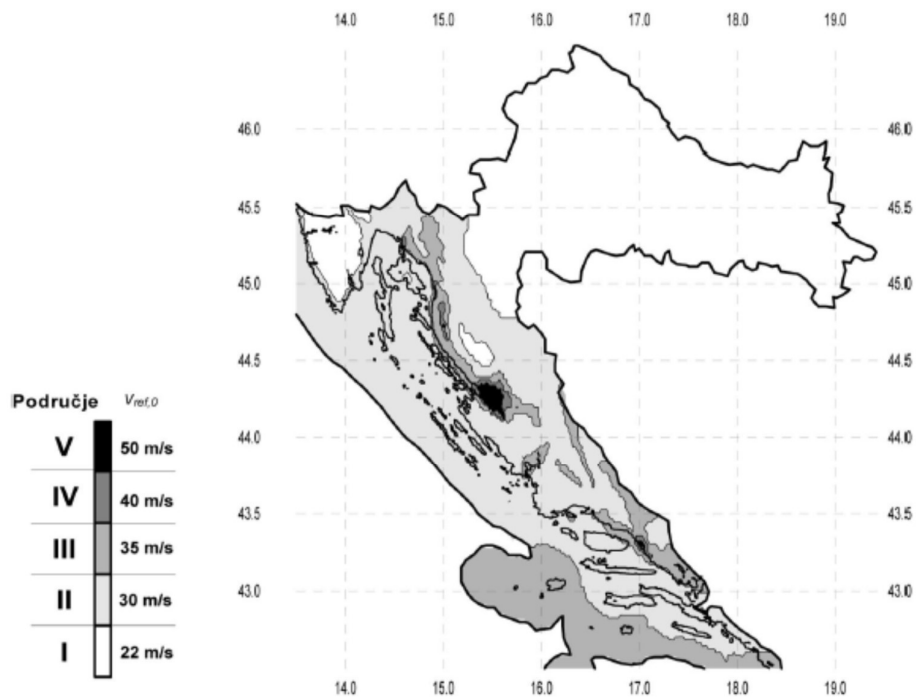
$$s = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN}$$

Napomena: za opterećenje krova korišteno je mjerodavno korisno opterećenje $q=1,0 \text{ kN/m}^2$

3.2.3. Opterećenje vjetrom

Objekt se nalazi u III. vjetrovnoj zoni na 300 m n.m.

Osnovna brzina vjetra: $v_{b,0} = 35 \text{ m/s}$ (za III. zonu)



Slika 13. Zemljovid područja opterećenja vjetrom

Referentna brzina vjetra: $v_b = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{b,0}$

c_{DIR} - koeficijent smjera vjetra $\rightarrow c_{DIR} = 1.0$

c_{TEM} - koeficijent ovisan o godišnjem dobu $\rightarrow c_{TEM} = 1.0$

c_{ALT} - koeficijent nadmorske visine $\rightarrow c_{ALT} = 1 + 0,0001 \cdot a_s$

$$c_{ALT} = 1 + 0,0001 \cdot 300 = 1,030$$

$$v_b = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 1,030 \cdot 35 = 35,35 \frac{m}{s}$$

Budući da je širina zgrade veća od njezine visine kao mjerodavna visina uzima se ukupna visina.

Pretpostavimo da je na vrhu izgrađen a/b parapet visine 0,5 m, mjerodavna visina tada iznosi:

$$z_e = 16,5 + 0,5 = 17,0 \text{ m}$$

Mjerodavna visina je veća od minimalne (2,00 m), pa je koeficijent hrapavosti:

$$c_{r(z)} = k_r \cdot \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right)$$

Koeficijent terena k_r određuje se iz odgovarajuće tablice ovisno o kategoriji zemljišta. Odabiremo II. kategoriju zemljišta.

Kategorija terena	Opis	k_r	z_0 [m]	Z_{min} [m]
0	More ili područje uz more otvoreno prema moru	0,156	0,003	1
I	Uzburkano otvoreno more ili jezero s najmanje 5 km dužine navjetrine i gladak ravan teren bez prepreka	0,170	0,01	1
II	Poljoprivredno zemljište s ogradama, povremenim malim poljoprivrednim objektima, kućama ili drvećem	0,190	0,05	2
III	Predgrađa ili industrijske zone i stalne šume	0,215	0,30	5
IV	Urbane zone u kojima je najmanje 15% površine pokriveno zgradama čija je srednja visina veća od 15 m	0,234	1,00	10

Tablica 8. Kategorije terena i pripadni parametri

$$k_r = 0,190 \rightarrow c_{r(z)} = 0,190 \cdot \ln\left(\frac{17,0}{0,05}\right) = 1,107$$

$$\text{Srednja brzina vjetra tako iznosi: } v_m = 1,107 \cdot 1,0 \cdot 35,35 = 39,15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Turbulencija: } I_v(z) = \frac{1}{c_0(z) \cdot \ln(z_e/z_0)} = \frac{1}{1,0 \cdot \ln(17,0/0,05)} = 0,17$$

$$\text{Maksimalni tlak brzine vjetra } q_p(z_e): \rho_{zr} = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{\rho_{zr}}{2} \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot v_b(z)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot 0,17] \cdot \frac{1,25}{2} \cdot 39,15^2 = 2097,91 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

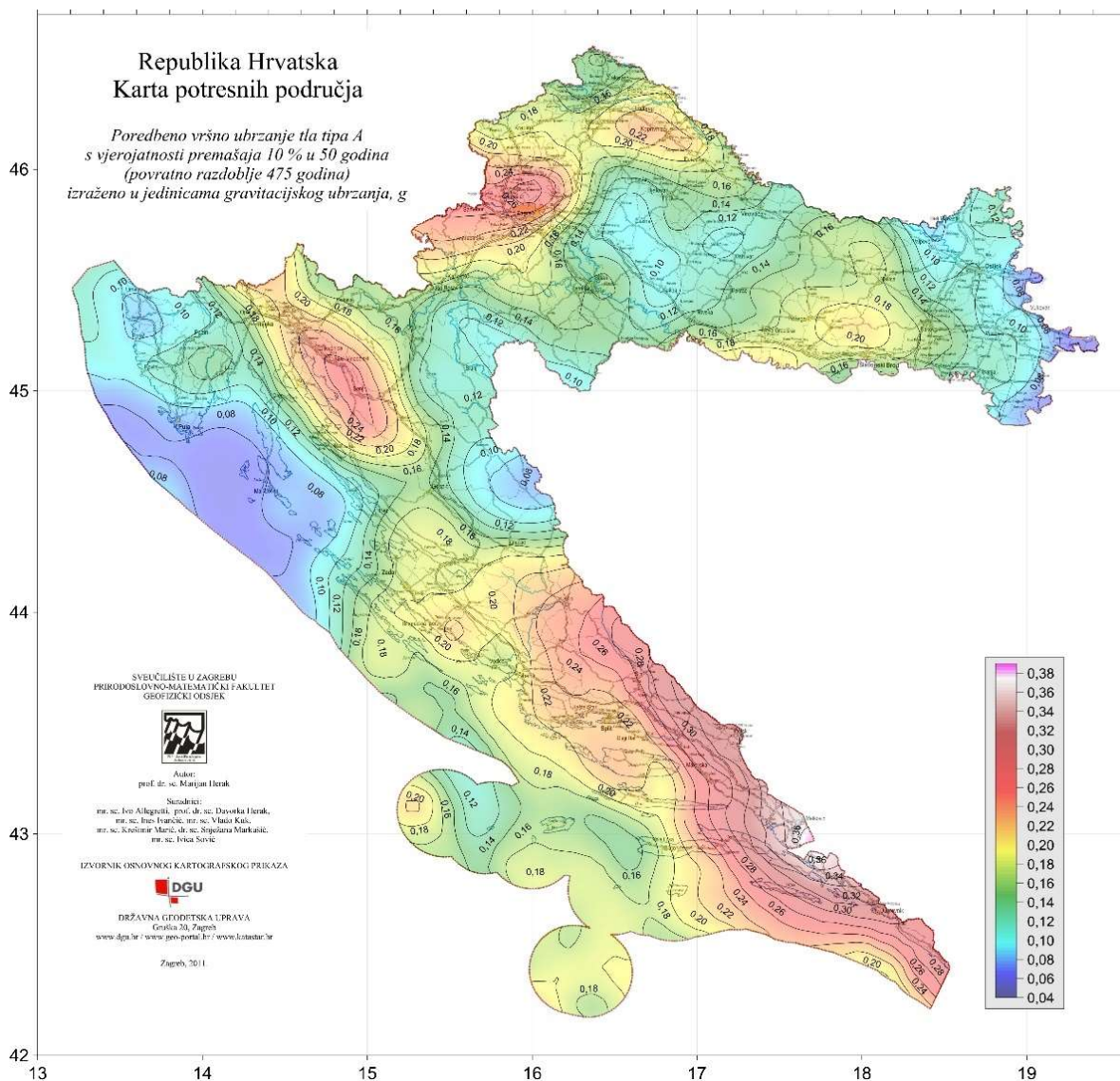
Djelovanje na zgradu:

$$w_{1,e} = 0,8 \cdot q_p(z) = 0,8 \cdot 1,666 = 1,33 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.3. Izvanredno opterećenje

3.3.1. Seizmičko opterećenje

Proračun potresnih sila se vrši metodom bočnih sila. Prilikom proračuna masa koristili smo kombinaciju stalnog opterećenja (vlastita težina i dodatno stalno opt.) i samo 30% od ukupnog korisnog opterećenja. Projektirana konstrukcija se nalazi na području grada Trilja gdje je računsko ubrzanje tla iznosa $a_{gR} = 0,278g$ prema seizmološkoj karti Republike Hrvatske.



Slika 14. Seizmološka karta Republike Hrvatske



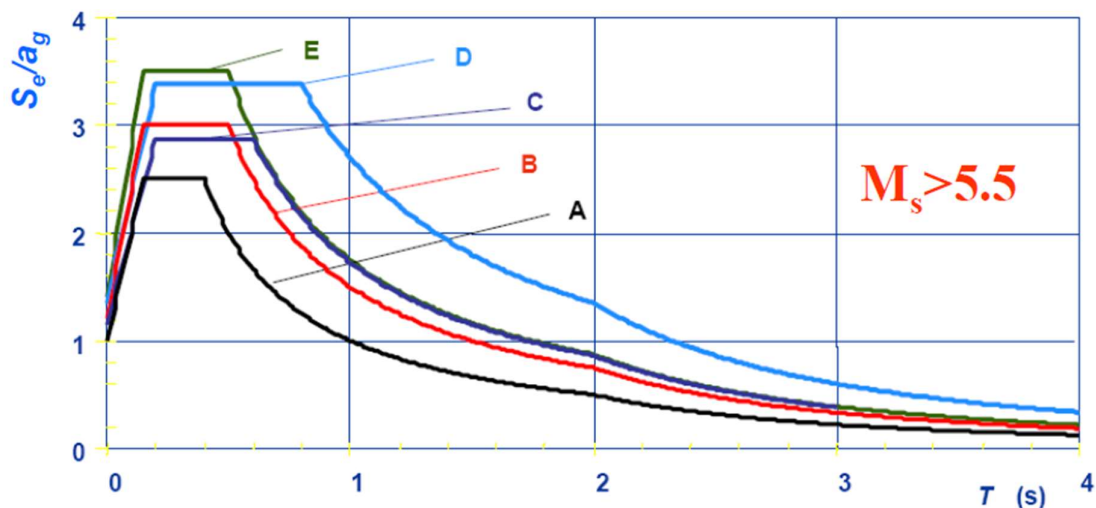
Slika 15. Seizmički parametri za Grad Trilj

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

Tablica 9. Razred važnosti zgrade

Kretanje tla na površini je uzrokovano potresom, a modelira se elastičnim spektrom odgovora ubrzanja podloge. Računsko ubrzanje tla ovisi o iznosu potresnog rizika i definira se na temelju seizmoloških ispitivanja sa lokacije građevine ili jednostavno prema prihvaćenim vrijednostima za potresna područja Republike Hrvatske.

Potresno djelovanje se obično definira sa tri komponente (jednom vertikalnom i dvije horizontalne). Za određivanje jedne komponente obično se koristi spektar potresnog ubrzanja tla u jednom smjeru. Elastični spektar odaziva se definira analitički prema sljedećoj slici.



Dijagram 5. Preporučeni elastični spektar odaziva tipa I za tla tipa A do E za 5%-tno prigušenje

$$\begin{array}{ll}
 0 \leq T \leq T_B & S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C & S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \\
 T_C \leq T \leq T_D & S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\
 T_D \leq T \leq 4s & S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]
 \end{array}$$

gdje su:

- $S_e(T)$ → elastični spektar odaziva
- T → period vibracija linearnog sustava s jednim stupnjem slobode
- a_g → proračunsko ubrzanje na temeljnom tlu tipa A
- T_B → donja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja
- T_C → gornja granica perioda s granom konstantnog spektralnog ubrzanja
- T_D → vrijednost koja definira početak konstantnog raspona odziva u spektru pomaka
- S → faktor tla
- η → faktor korekcije prigušenja uz poredbenu vrijednost $\eta=1$ za 5%-tno viskozno prigušenje
- λ → popravni faktor čija je vrijednost $\lambda=0,85$ ako je $T_1 \leq 2T_C$ i ako zgrada ima više od dva kata

Utjecaj potresa na konstrukciju ovisi o vrsti tla na kojem se gradi. Proračunska konstrukcija spada u razred tla A za koji vrijedi:

- Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara
- brzina širenja poprečnih valova $v_s = 180-360$ m/s

<i>Tip tla</i>	<i>S</i>	<i>T_B(s)</i>	<i>T_C(s)</i>	<i>T_D(s)</i>
<i>A</i>	1,00	0,15	0,40	2,0
<i>B</i>	1,20	0,15	0,50	2,0
<i>C</i>	1,15	0,20	0,60	2,0
<i>D</i>	1,35	0,20	0,80	2,0
<i>E</i>	1,40	0,15	0,50	2,0

Tablica 9. Vrijednost parametra koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva tipa 1

Kapacitet konstrukcije koja preuzima seizmološko djelovanje u nelinearnom području omogućuje proračun na sile koje su manje od onih koje odgovaraju linearnom elastičnom odazivu. Kako bi izbjegli nelinearni proračun, uzimamo u obzir histerezo trošenje energije u konstrukciji putem duktilnog ponašanja njenih elemenata ili drugih mehanizama. Stoga se provodi linearni proračun temeljen na spektru odziva smanjenom u odnosu na elastični spektar, što se naziva "proračunski spektar". Smanjenje se postiže putem faktora ponašanja q . Faktor ponašanja q približno je omjer potresnih sila kojima bi građevina bila izložena u potpunosti elastičnim odzivom uz 5% viskozno prigušenje i stvarnih potresnih sila koje bi se pojavile na određenom sustavu."

Izrazi za računski spektar:

$$0 \leq T \leq T_B$$

$$S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \geq \beta \cdot \alpha_g$$

$$T_D \leq T \leq 4s$$

$$S_e(T) = \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \geq \beta \cdot \alpha_g$$

Faktor ponašanja ovisi o tipu konstrukcije. Što je veći faktor to pokazuje duktilnije ponašanje konstrukcije što znači i smanjenje potresne sile na konstrukciju. Konstrukcija koja se proračunava u ovom radu se sastoji od armiranobetonskih zidova i omeđenog ziđa.

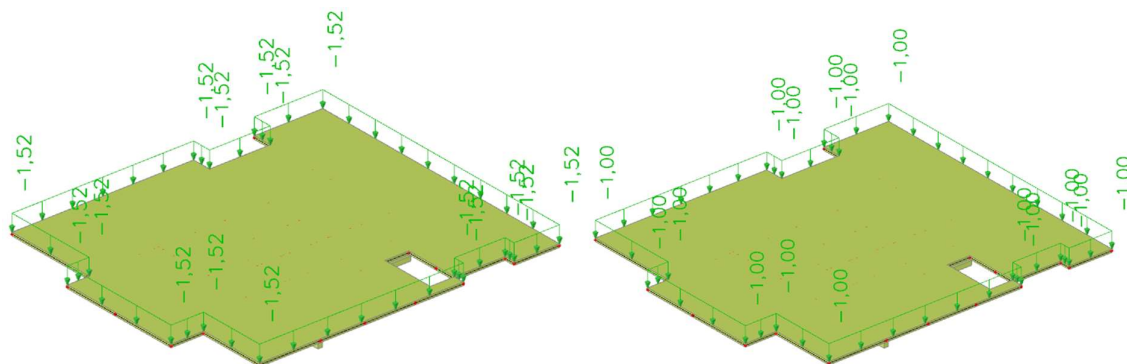
Tipovi zgrada	Faktor ponašanja q	
	EN 1998-1	NA
Nearmirano ziđe – samo EN 1996 (preporuka mala seizmičnost)	1,50	/
Nearmirano ziđe – EN 1996 i EN 1998-1	1,50 - 2,50	2,00
Omeđeno ziđe	2,00 – 3,00	2,50
Armirano ziđe	2,50 – 3,00	2,50

Tablica 10. Faktor ponašanja za ziđe i različite tipove gradnje

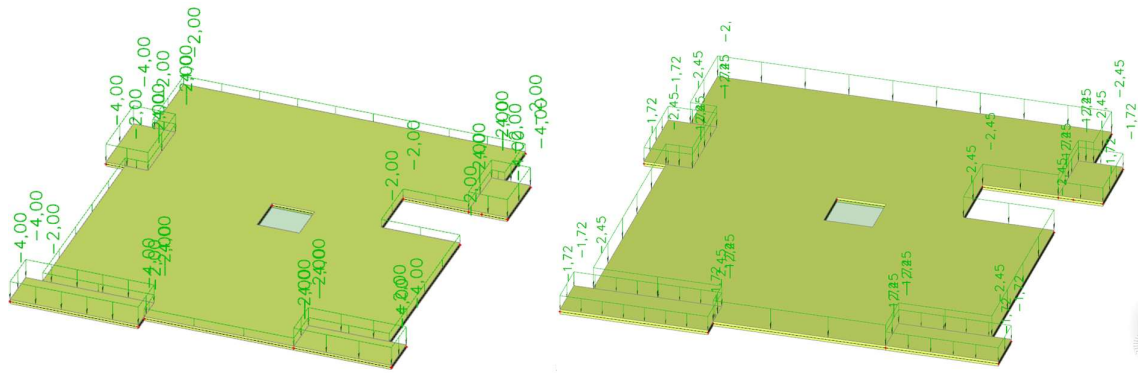
4. 3D PRORAČUNSKI MODEL GRAĐEVINE



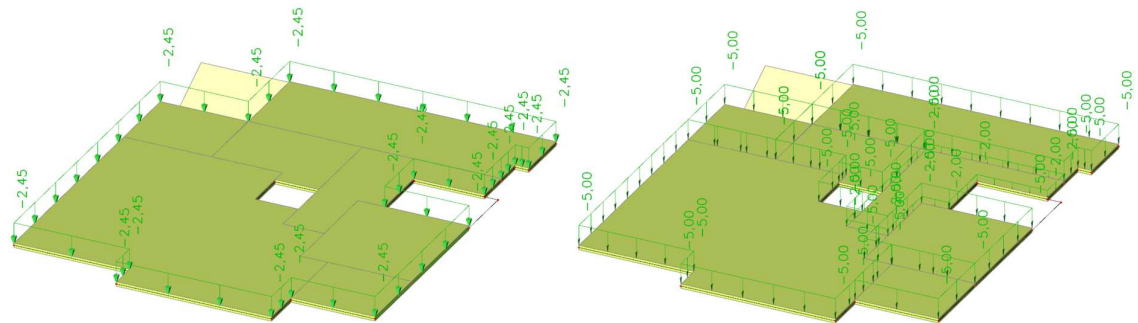
Slika 16. 3D model zgrade



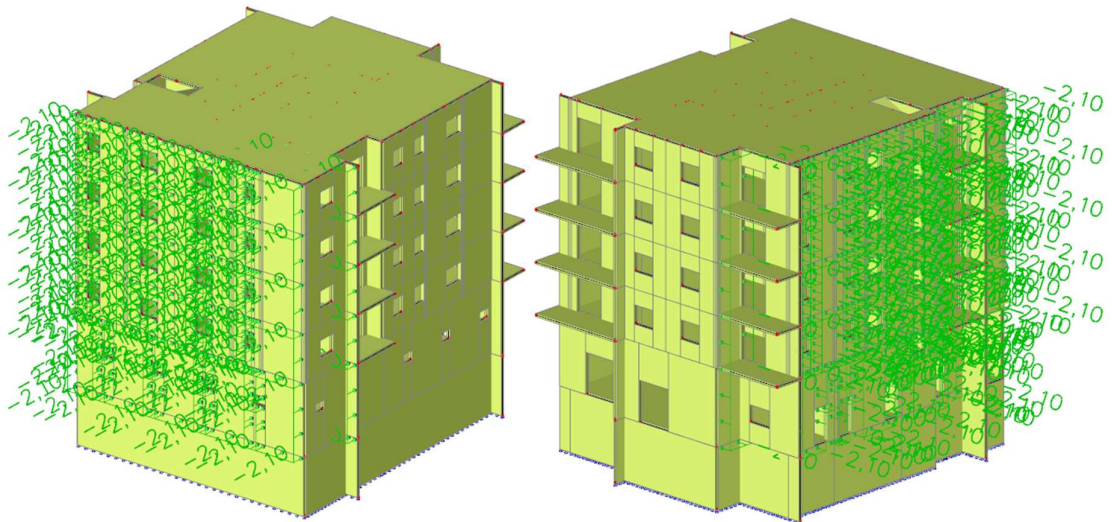
Slika 17. Prikaz opterećenja na krovnu ploču



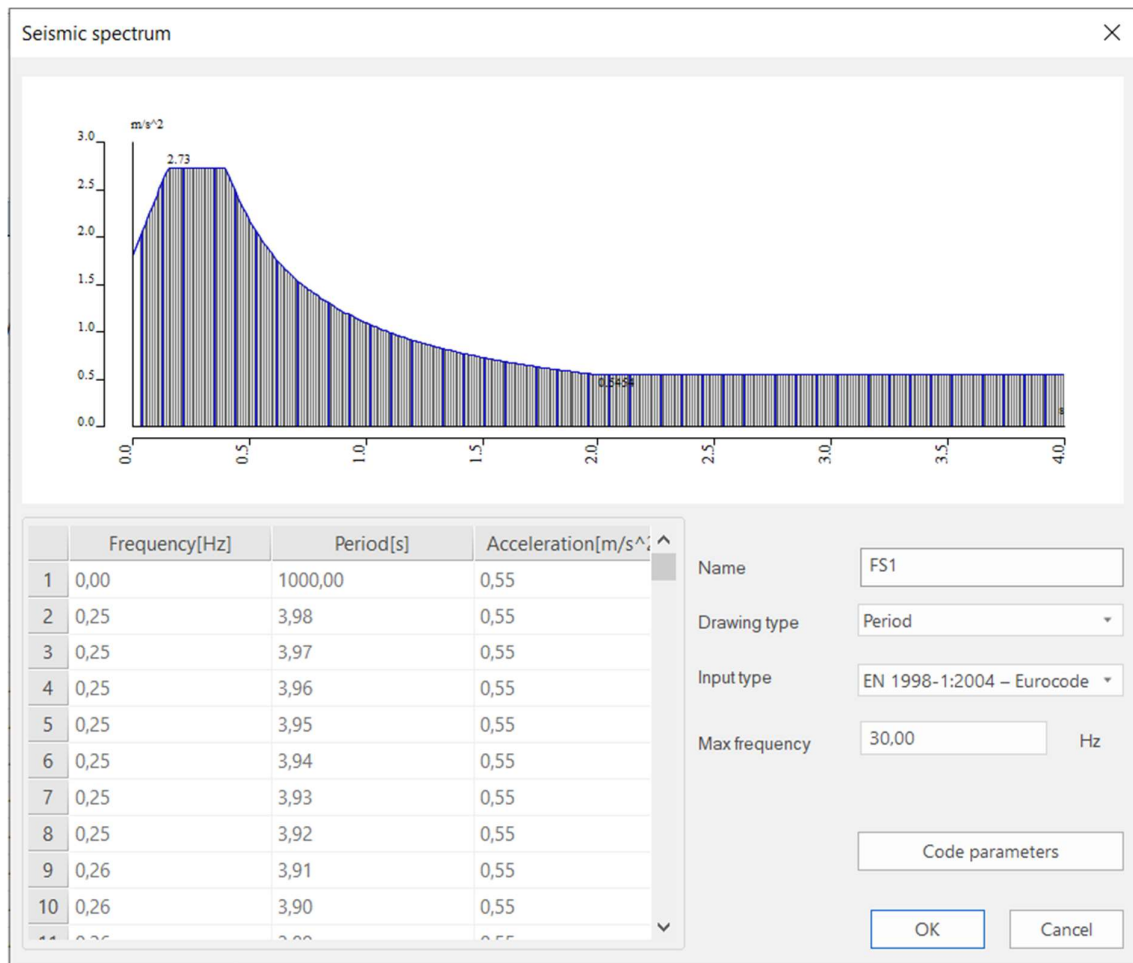
Slika 18. Prikaz opterećenja na međukatnu konstrukciju stambenog dijela zgrade



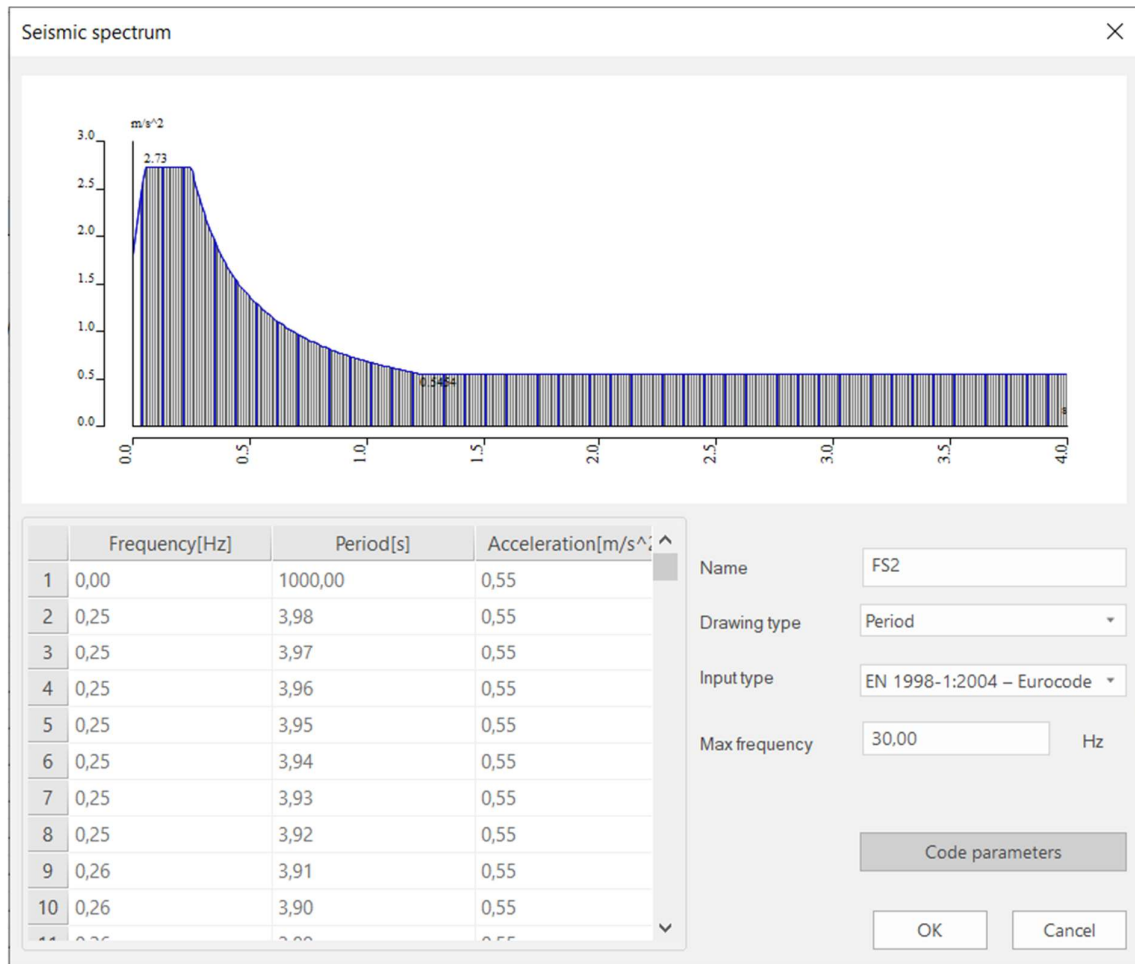
Slika 19. Prikaz opterećenja na međukatnu konstrukciju (poslovni dio zgrade)



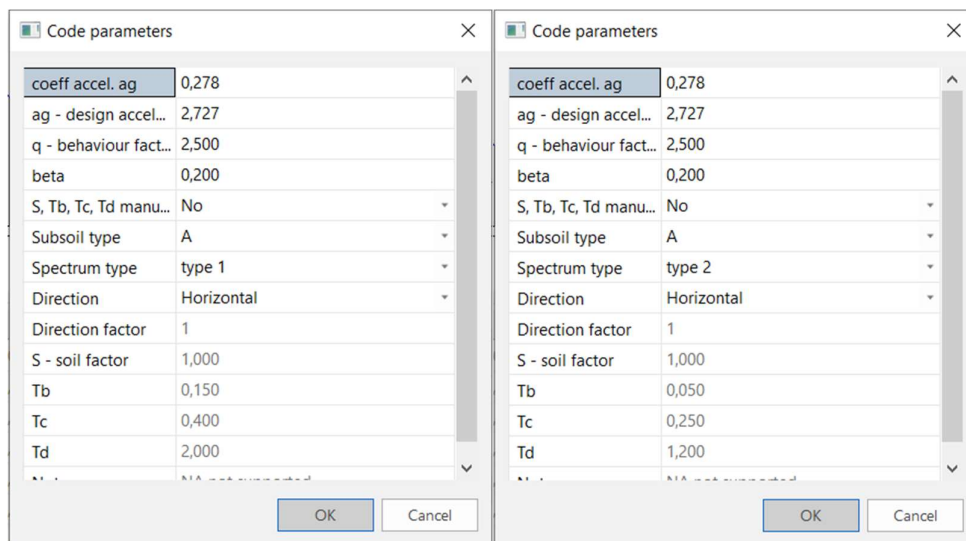
Slika 20. Prikaz opterećenja vjetrom



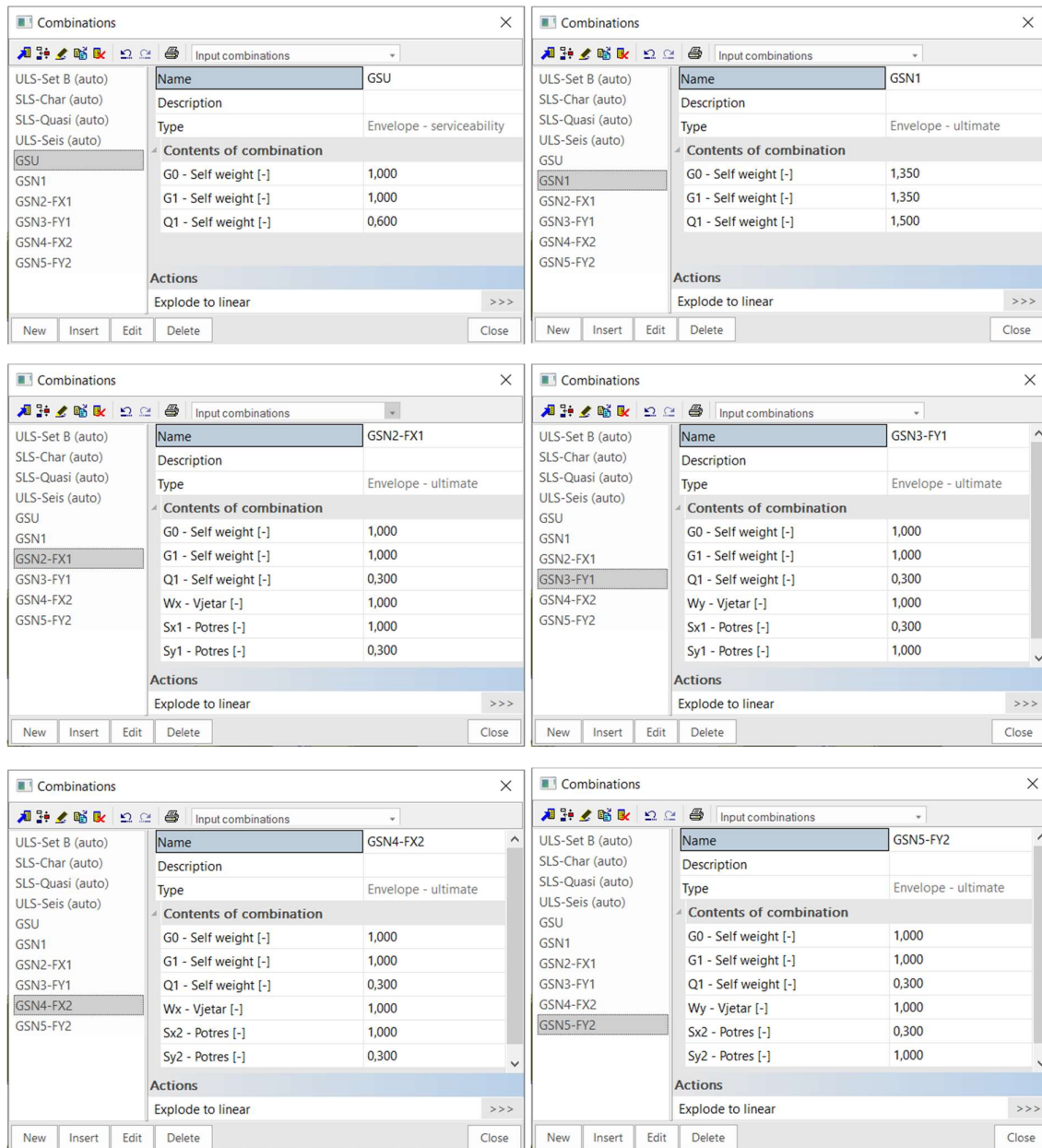
Slika 21. Prikaz spektra odaziva TIP 1



Slika 22. Prikaz spektra odaziva TIP 2



Slika 23. Karakteristike seizmičkog opterećenja



Slika 24. Kombinacije opterećenja

5. PRORAČUN NOSIVIH ELEMENATA

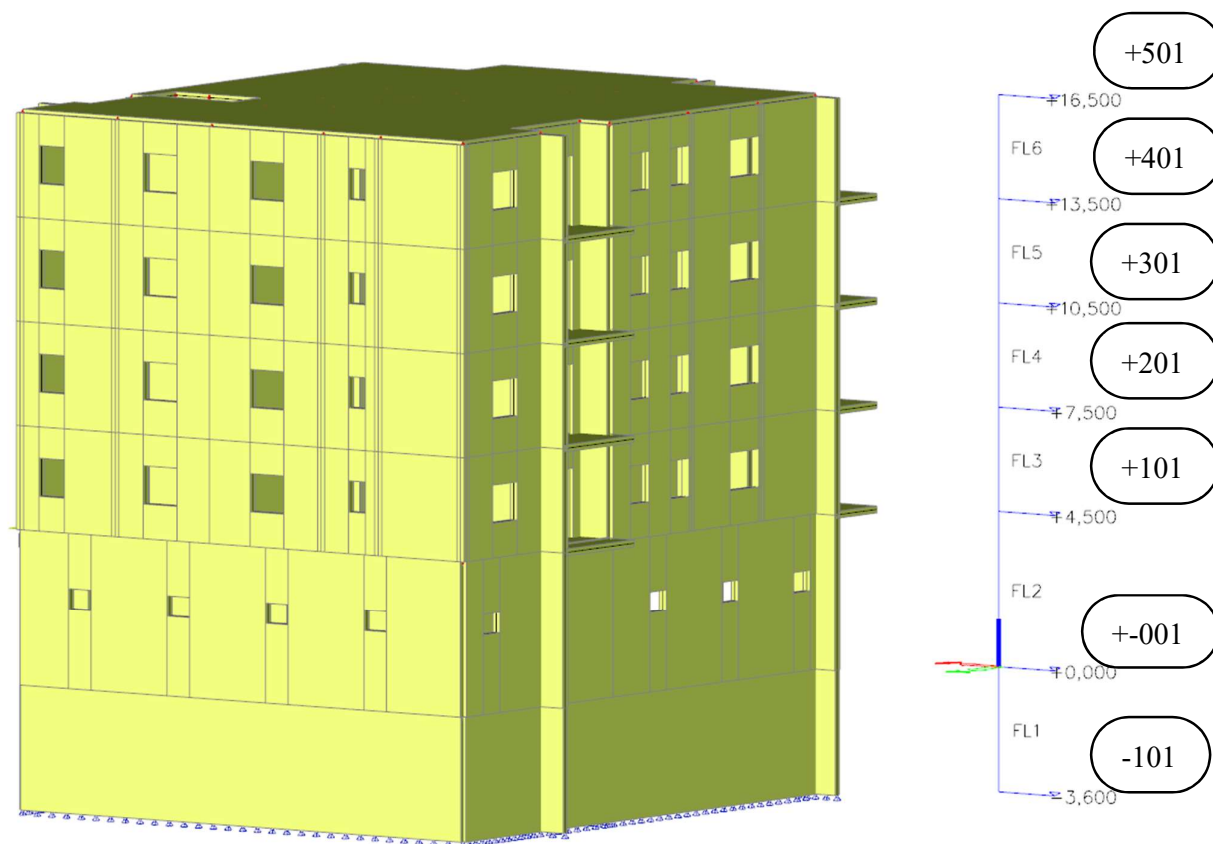
Dimenzioniranje konstruktivnih elemenata, osim ako nije drugačije naglašeno, provedeno je na osnovnom modelu s fiksnim osloncima.

Ploče su modelirane kao 2D elementi u programskom paketu SCIA Engineer. Sve ploče su debljine 20 cm, klase betona C25/30 i armirane čelikom B500B. Zaštitni sloj betona iznosi 2,5 cm. Podna ploča podruma je debljine 15,0 cm i nalazi se na tlu. Podnu ploču ćemo provjeriti na djelovanje hidrostatskog tlaka. Proračunati ćemo krovnu ploču pozicije 501, ploče 401, 301 i 201 su jednake te ćemo proračunati samo jednu od tri. Naknadno ćemo proračunati i ploče 101 i 001. Na svim etažama ćemo proračunati sve grede, a stupove samo u prizemlju i podzemnoj garaži jer ih nigdje drugdje nema.

Minimalna potrebna armatura za ploče:

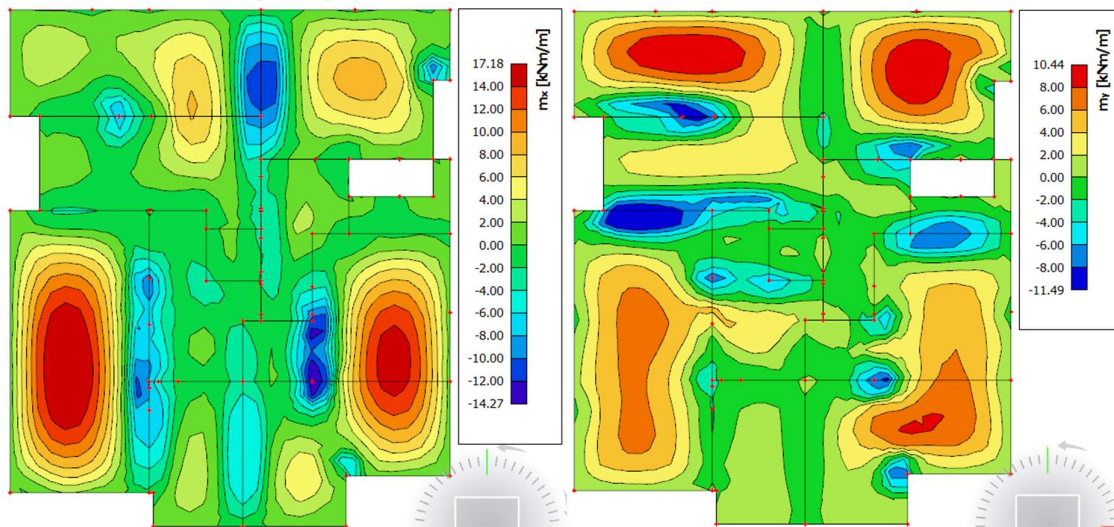
- Za ploču $d=15,0$ cm $\Rightarrow 0,0015 \cdot 100 \cdot 15 = 2,25$ cm²/m² [odabrano minimalno Q-226]
- Za ploču $d=20,0$ cm $\Rightarrow 0,0015 \cdot 100 \cdot 20 = 3,00$ cm²/m² [odabrano minimalno Q-305]

5.1. Plan pozicija



5.2. Proračun ploča

5.2.1. Proračun ploče poz 501



Dijagram 6. Računski moment savijanja krovne ploče u smjeru x i y za $q_{sd}=1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$

Beton: C25/30 $f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}$ $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25,0}{1,5} = 16,66 \text{ MPa}$

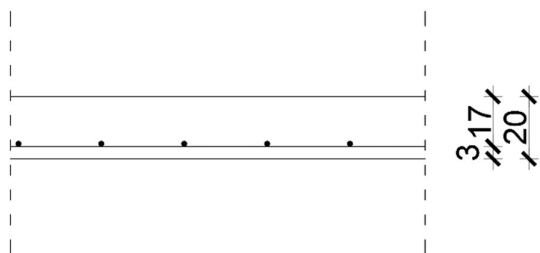
Armatura: B500B $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500,0}{1,5} = 434,8 \text{ MPa}$

$c \rightarrow$ zaštitni sloj (2,5 cm)

$$d_1 = c + \frac{\emptyset}{2} = 2,5 + 0,5 = 3,0 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 20,0 - 3,0 = 17,0 \text{ cm}$$

Dimenzioniranje ploče na moment savijanja u polju:



Mjerodavni moment koji se javlja u polju 101: $M_{ed} = 17,18 \text{ kNm}$

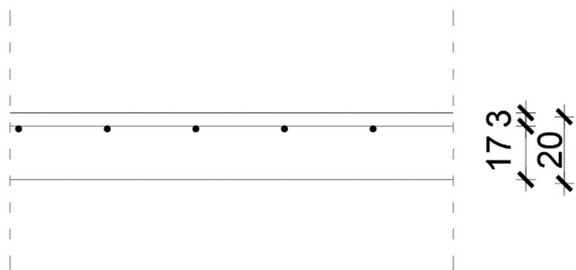
$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1718}{100 \cdot 17^2 \cdot 16,66} = 0,039$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 1,2 \text{ ‰}$ $\zeta = 0,962$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1718}{0,962 \cdot 17 \cdot 43,48} = 2,641 \text{ cm}^2$$

Odabrano **Q – 283** $\Rightarrow A_s = 2,83 \text{ cm}^2$

Dimenzioniranje ploče na moment savijanja nad ležajem:



Mjerodavni moment koji se javlja nad ležajem poz 101: $M_{ed} = 14,27 \text{ kNm}$

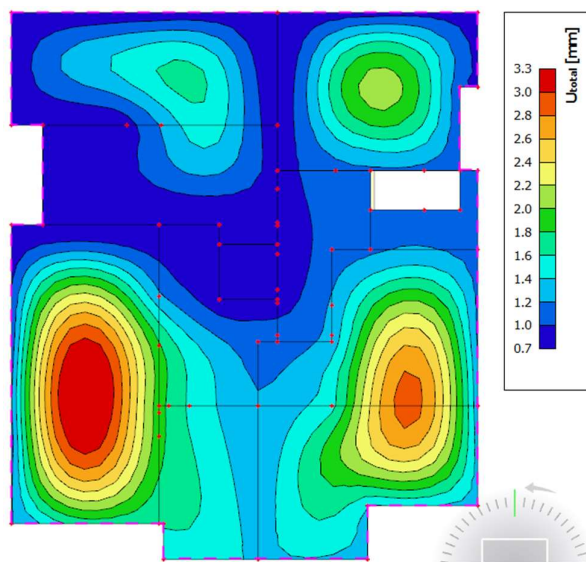
$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1427}{100 \cdot 17^2 \cdot 16,66} = 0,029$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 1,0 \text{ ‰}$ $\zeta = 0,968$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1427}{0,968 \cdot 17 \cdot 43,48} = 1,99 \text{ cm}^2$$

Odabrano **Q – 226** $\Rightarrow A_s = 2,26 \text{ cm}^2$

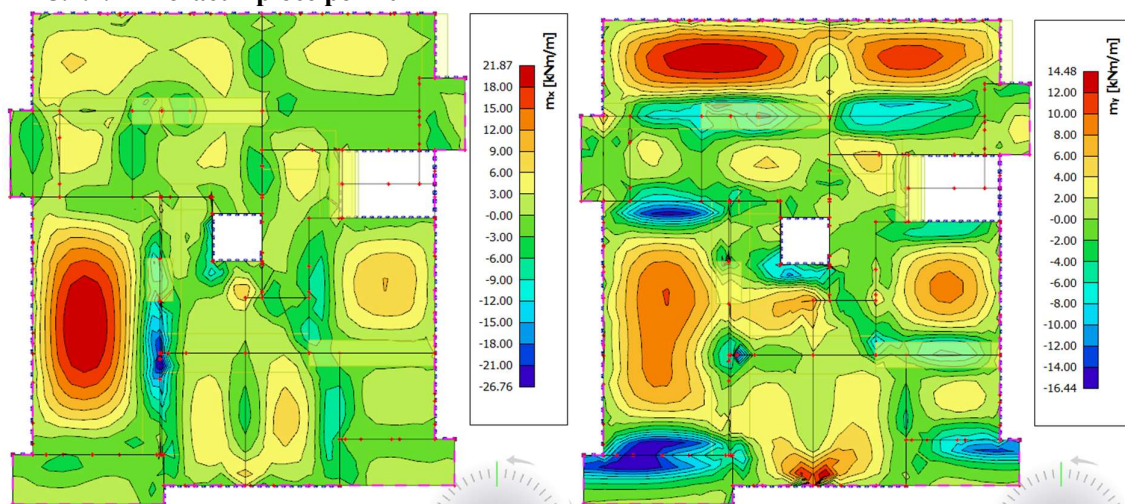
Kontrola progiba:



Dijagram 7. Progib krovne ploče

$$f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{5000}{250} = 20,0 \text{ mm} \geq 3,3 \text{ mm}$$

5.2.2. Proračun ploče poz 101



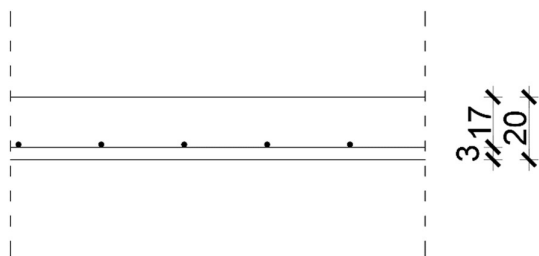
Dijagram 8. Računski moment savijanja ploče 101 u smjeru x i y za $q_{sd}=1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$

Beton: C25/30 $f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}$ $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25,0}{1,5} = 16,66 \text{ MPa}$
 Armatura: B500B $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500,0}{1,5} = 434,8 \text{ MPa}$
 $c \rightarrow$ zaštitni sloj (2,5 cm)

$$d_1 = c + \frac{\emptyset}{2} = 2,5 + 0,5 = 3,0 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 20,0 - 3,0 = 17,0 \text{ cm}$$

Dimenzioniranje ploče na moment savijanja u polju:



Mjerodavni moment koji se javlja u polju 101: $M_{ed} = 21,87 \text{ kNm}$

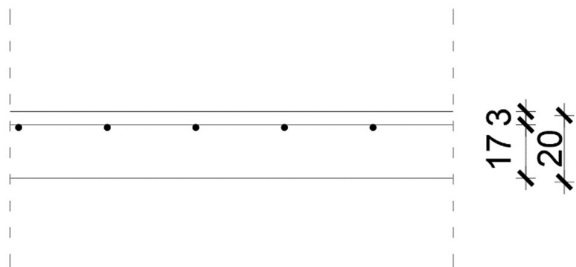
$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2187}{100 \cdot 17^2 \cdot 16,66} = 0,045$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 1,3 \text{ ‰}$ $\zeta = 0,959$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2187}{0,959 \cdot 17 \cdot 43,48} = 3,08 \text{ cm}^2$$

Odabrano **Q – 335** $\Rightarrow A_s = 3,35 \text{ cm}^2$

Dimenzioniranje ploče na moment savijanja nad ležajem:



Mjerodavni moment koji se javlja nad ležajem poz 101: $M_{ed} = 16,44 \text{ kNm}$

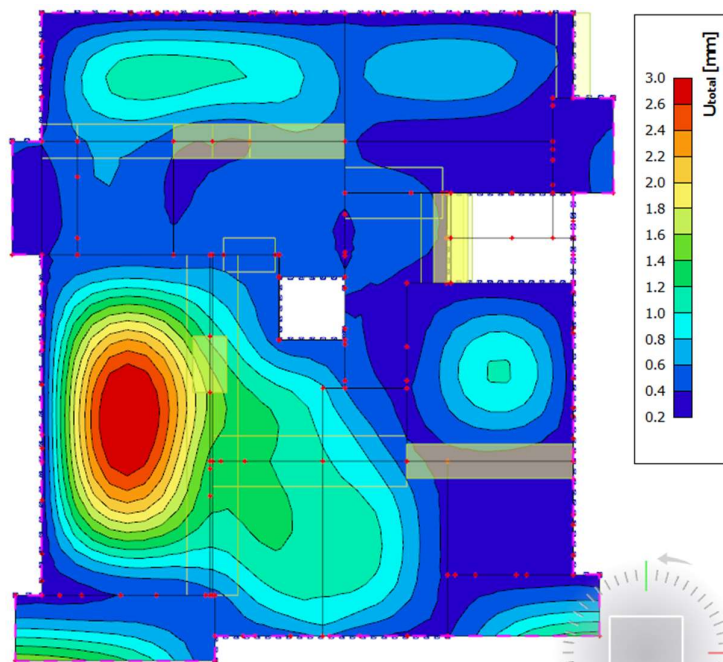
$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1644}{100 \cdot 17^2 \cdot 16,66} = 0,029$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 1,1 \text{ ‰}$ $\zeta = 0,965$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1644}{0,965 \cdot 17 \cdot 43,48} = 2,30 \text{ cm}^2$$

Odabrano **Q – 257** $\Rightarrow A_s = 2,57 \text{ cm}^2$

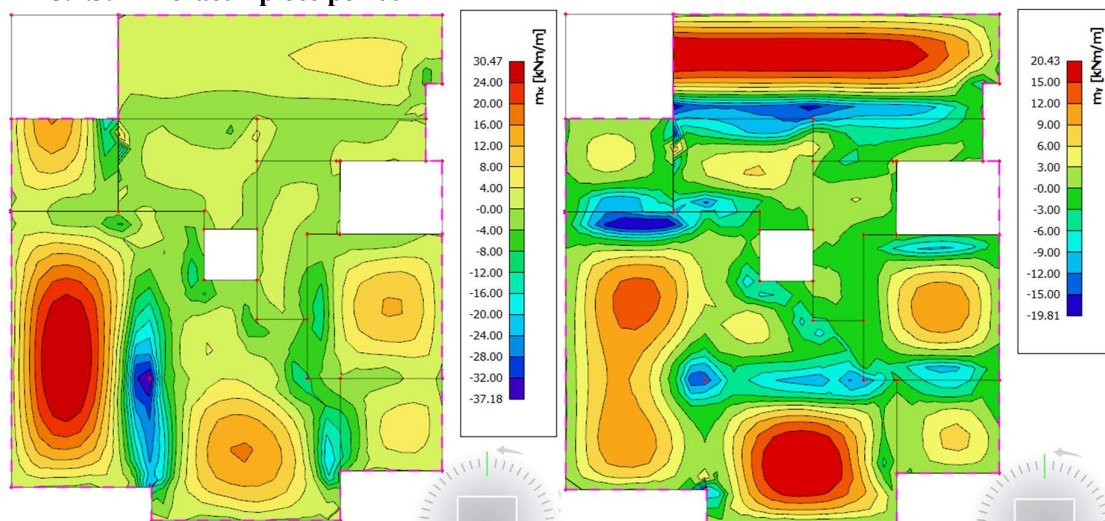
Kontrola progiba:



Dijagram 9. Progib ploče 101

$$f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{5000}{250} = 20,0 \text{ mm} \geq 3,0 \text{ mm}$$

5.2.3. Proračun ploče poz 001



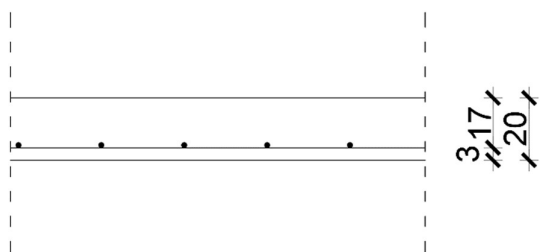
Dijagram 10. Računski moment savijanja ploče 001 u smjeru x i y za $q_{sd}=1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$

Beton: C25/30 $f_{ck} = 25,0 \text{ MPa}$ $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25,0}{1,5} = 16,66 \text{ MPa}$
 Armatura: B500B $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500,0}{1,5} = 434,8 \text{ MPa}$
 $c \rightarrow$ zaštitni sloj (2,5 cm)

$$d_1 = c + \frac{\emptyset}{2} = 2,5 + 0,5 = 3,0 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 20,0 - 3,0 = 17,0 \text{ cm}$$

Dimenzioniranje ploče na moment savijanja u polju:



Mjerodavni moment koji se javlja u polju 101: $M_{ed} = 30,47 \text{ kNm}$

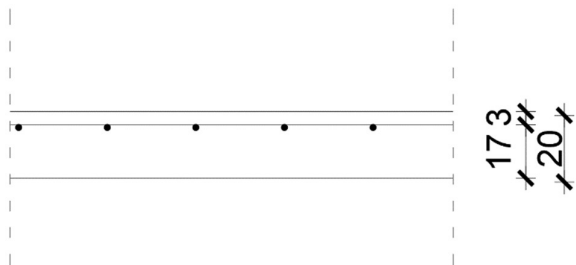
$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3047}{100 \cdot 17^2 \cdot 16,66} = 0,063$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 1,6 \text{ ‰}$ $\zeta = 0,950$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{3047}{0,950 \cdot 17 \cdot 43,48} = 4,33 \text{ cm}^2$$

Odabrano **Q – 503** $\Rightarrow A_s = 5,03 \text{ cm}^2$

Dimenzioniranje ploče na moment savijanja nad ležajem:



Mjerodavni moment koji se javlja nad ležajem poz 101: $M_{ed} = 20,00 \text{ kNm}$

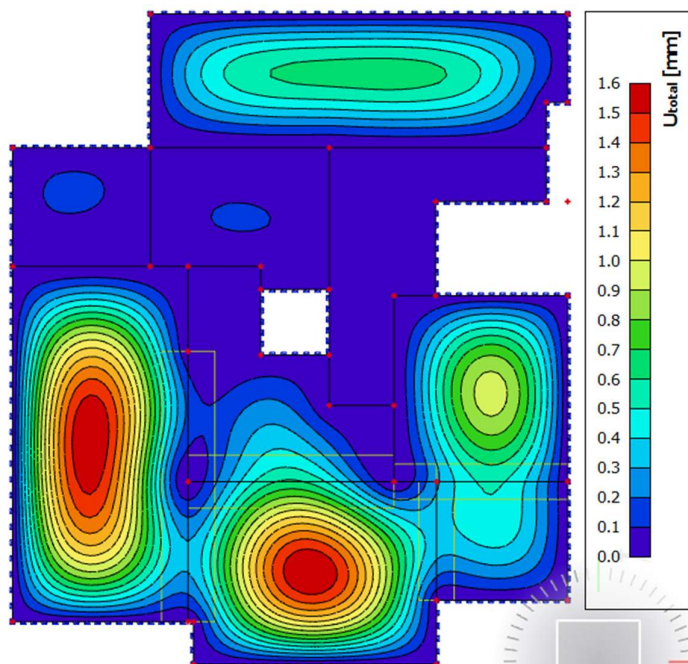
$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2000}{100 \cdot 17^2 \cdot 16,66} = 0,041$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 1,2 \text{ ‰}$ $\zeta = 0,962$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2000}{0,962 \cdot 17 \cdot 43,48} = 2,81 \text{ cm}^2$$

Odabrano **Q – 283** $\Rightarrow A_s = 2,83 \text{ cm}^2$

Kontrola progiba:

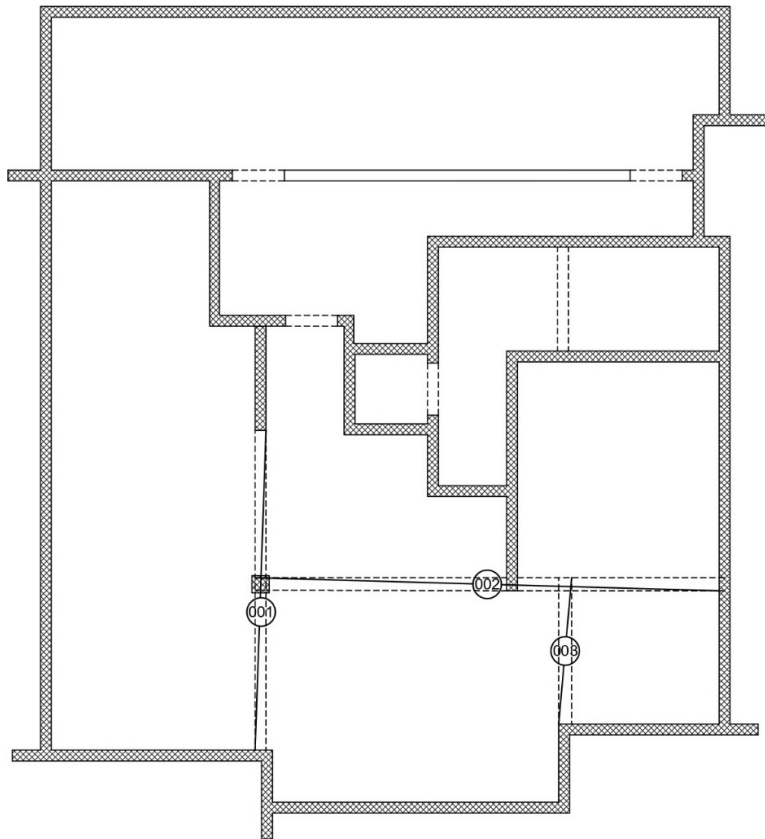


Dijagram 11. Progib ploče 001 za kombinaciju GSU

$$f_{p,dop} = \frac{l}{250} = \frac{5000}{250} = 20,0 \text{ mm} \geq 1,6 \text{ mm}$$

5.3. Proračun greda

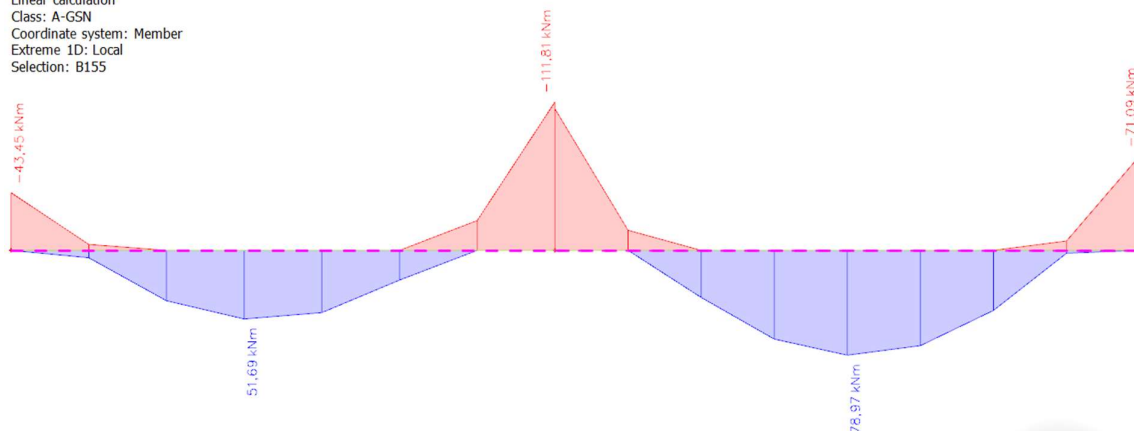
5.3.1. Plan pozicija



Slika 25. Plan pozicija AB greda

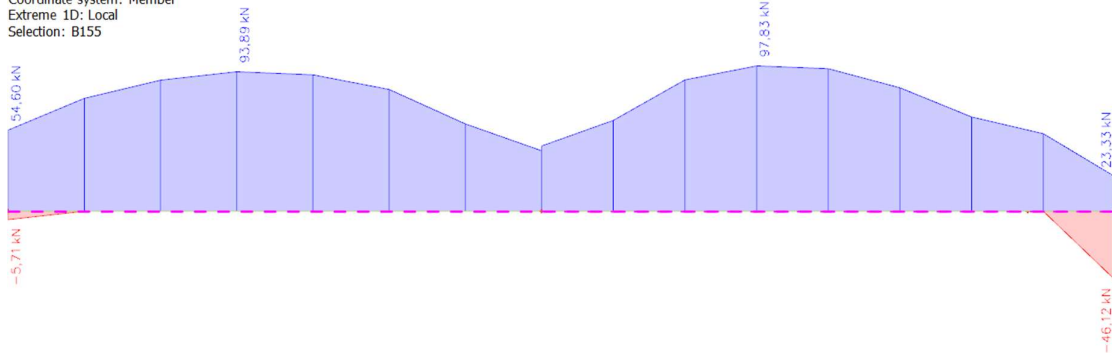
5.3.2. Greda poz 001

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B155



Dijagram 12. Momenti sila grede 001

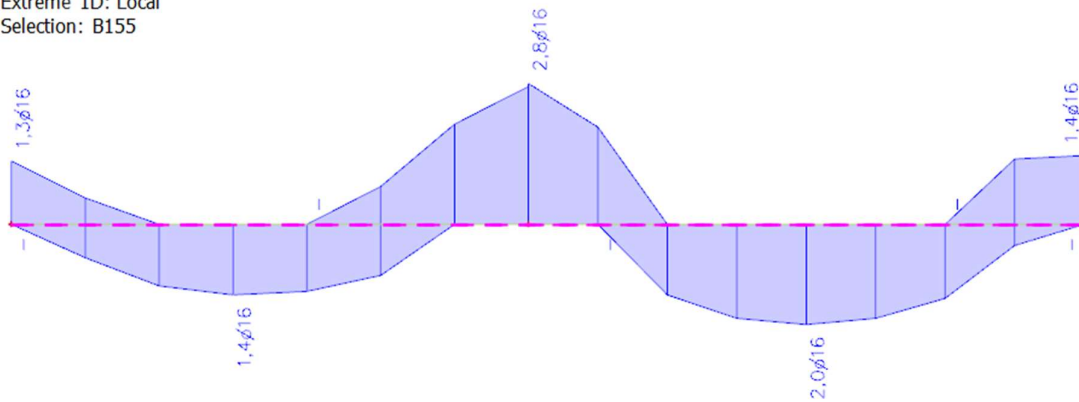
1D internal forces
Values: **N**
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B155



Dijagram 13. Uzdužne sile

Proračun armature:

Reinforcement 1D design
Values: **N_{0,req}**
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B155



Dijagram 14. Prikaz potrebne armature

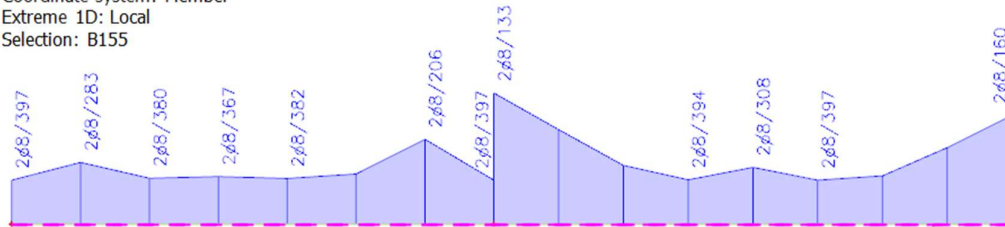
Odabrano **Gornja zona 3Ø16** $\Rightarrow A_s = 6,03 \text{ cm}^2$

Odabrano **Donja zona 2Ø16** $\Rightarrow A_s = 4,02 \text{ cm}^2$

Proračun vilica:

Reinforcement 1D design

Values: $N_{ow,req}$
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B155

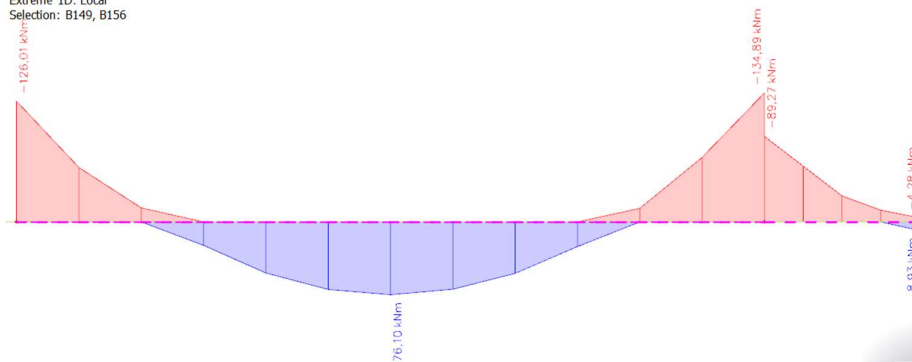


Dijagram 15. Prikaz potrebnih vilica

Odabrano u polju $\varnothing 8/30\text{cm}$; Odabrano u ležaju $\varnothing 8/10\text{cm}$

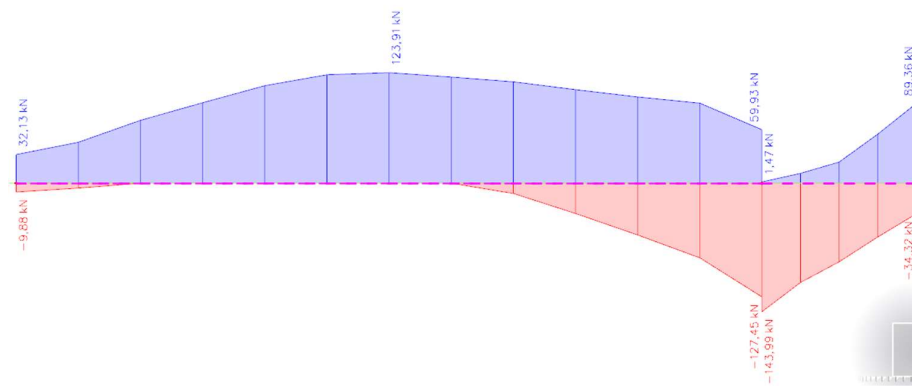
5.3.3. Greda poz 002

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B149, B156



Dijagram 16. Momenti sila grede 002

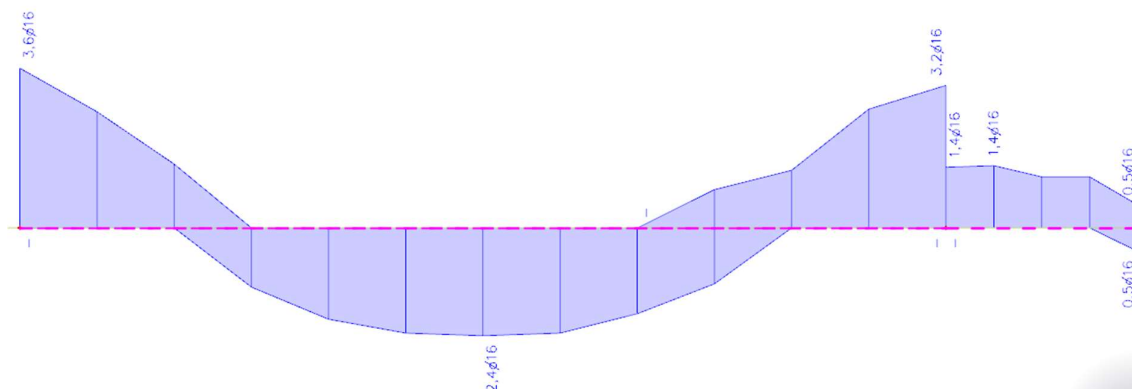
1D internal forces
Values: N
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B149, B156



Dijagram 17. Uzdužne sile

Proračun armature u ležaju:

Reinforcement 1D design
Values: **N_{0,req}**
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B149, B156



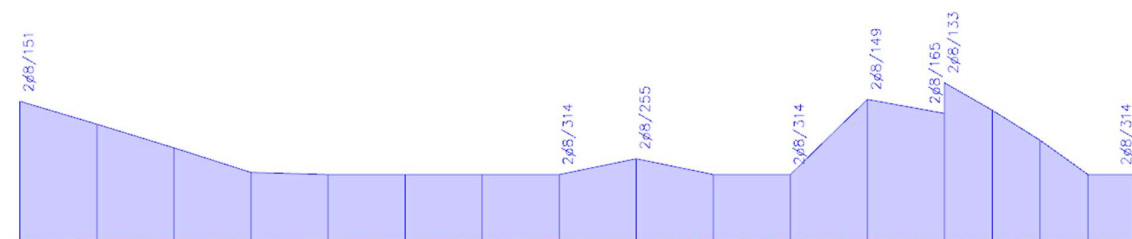
Dijagram 18. Prikaz potrebne armature

Odabrano **Gornja zona 4Ø16** $\Rightarrow A_s = 8,04 \text{ cm}^2$

Odabrano **Donja zona 3Ø16** $\Rightarrow A_s = 6,03 \text{ cm}^2$

Proračun vilica:

Reinforcement 1D design
Values: **N_{ov,req}**
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B149, B156



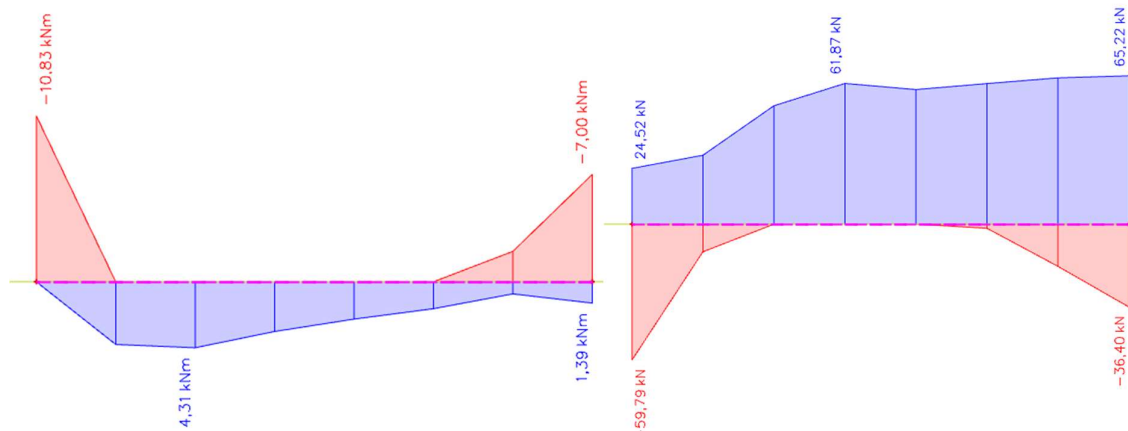
Dijagram 19. Prikaz potrebnih vilica

Odabrano u polju **Ø8/30cm**; Odabrano u ležaju **Ø8/13cm**

5.3.4. Greda poz 003

1D internal forces
Values: M_y
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B4

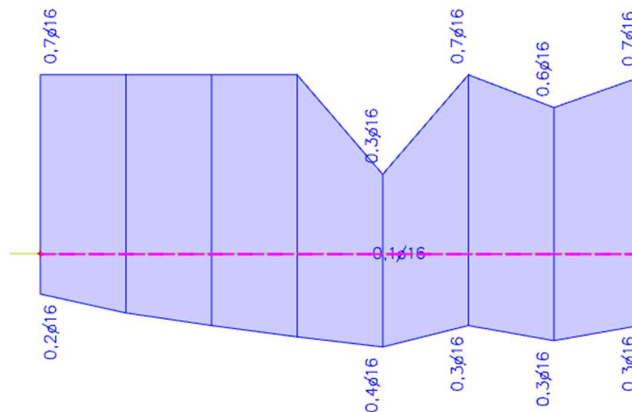
1D internal forces
Values: N
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B4



Dijagram 20. Rezne sile grede 003

Proračun armature u ležaju:

Reinforcement 1D design
Values: $N_{0,req}$
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B4



Dijagram 21. Prikaz potrebne armature

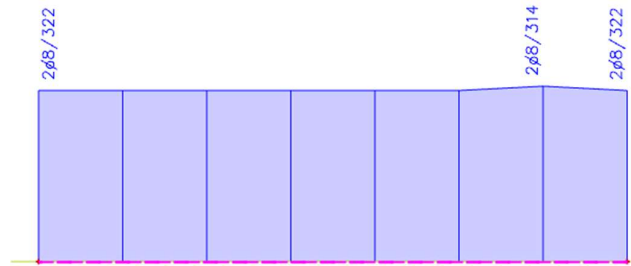
Odabrano **Gornja zona 2Ø16** $\Rightarrow A_s = 4,02$ cm^2

Odabrano **Donja zona 2Ø16** $\Rightarrow A_s = 4,02$ cm^2

Proračun vilica:

Reinforcement 1D design

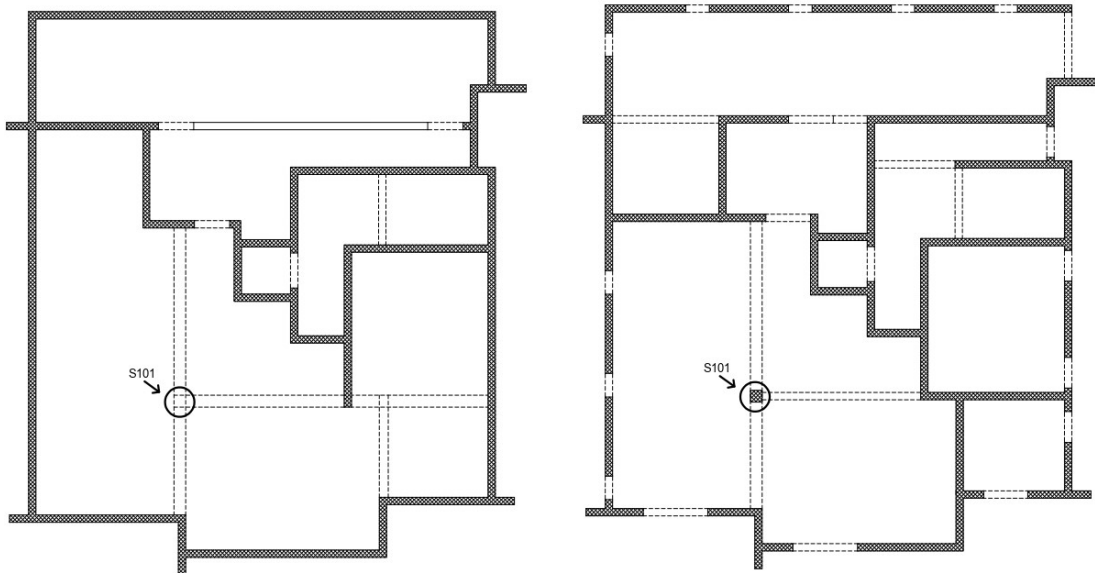
Values: $N_{ov,req}$
Linear calculation
Class: A-GSN
Coordinate system: Member
Extreme 1D: Local
Selection: B4



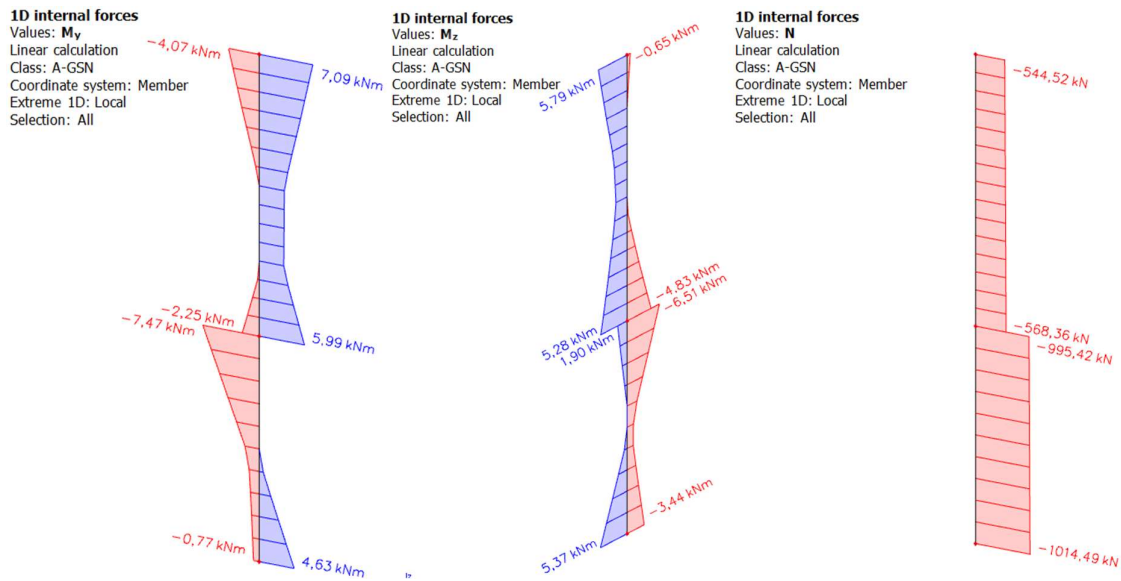
Dijagram 22. Proračun potrebnih vilica

Odabrano u polju Ø8/30cm

5.4. Proračun stupova

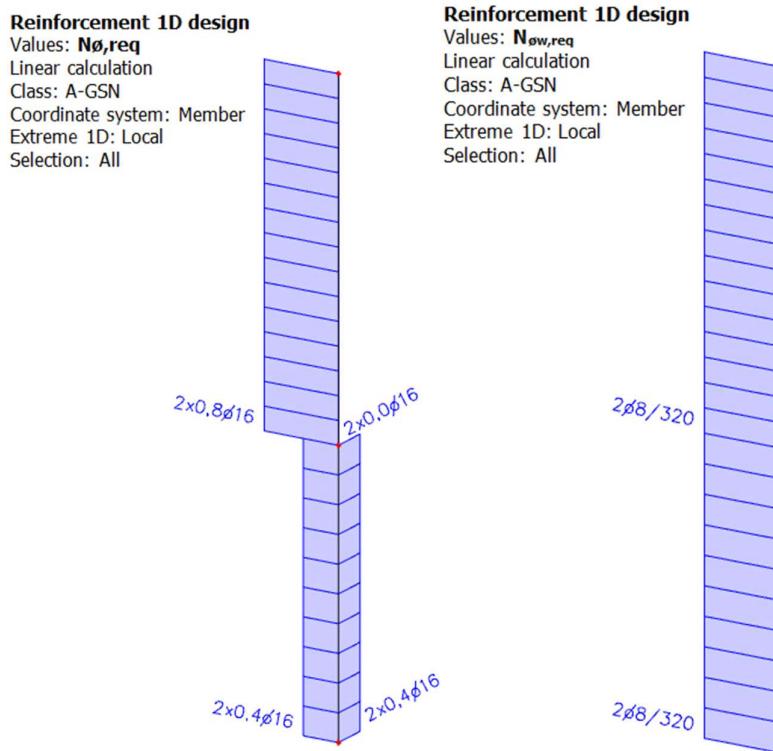


Slika 26. Prikaz pozicije stupa



Dijagram 23. Rezne sile stupa

Potrebna armatura:



Dijagram 24. Prikaz potrebne armature

Odabrane šipke 4Ø16 $\Rightarrow A_s = 8,04 \text{ cm}^2$

Odabrane vilice Ø8/30cm

5.5. Proračun zidova

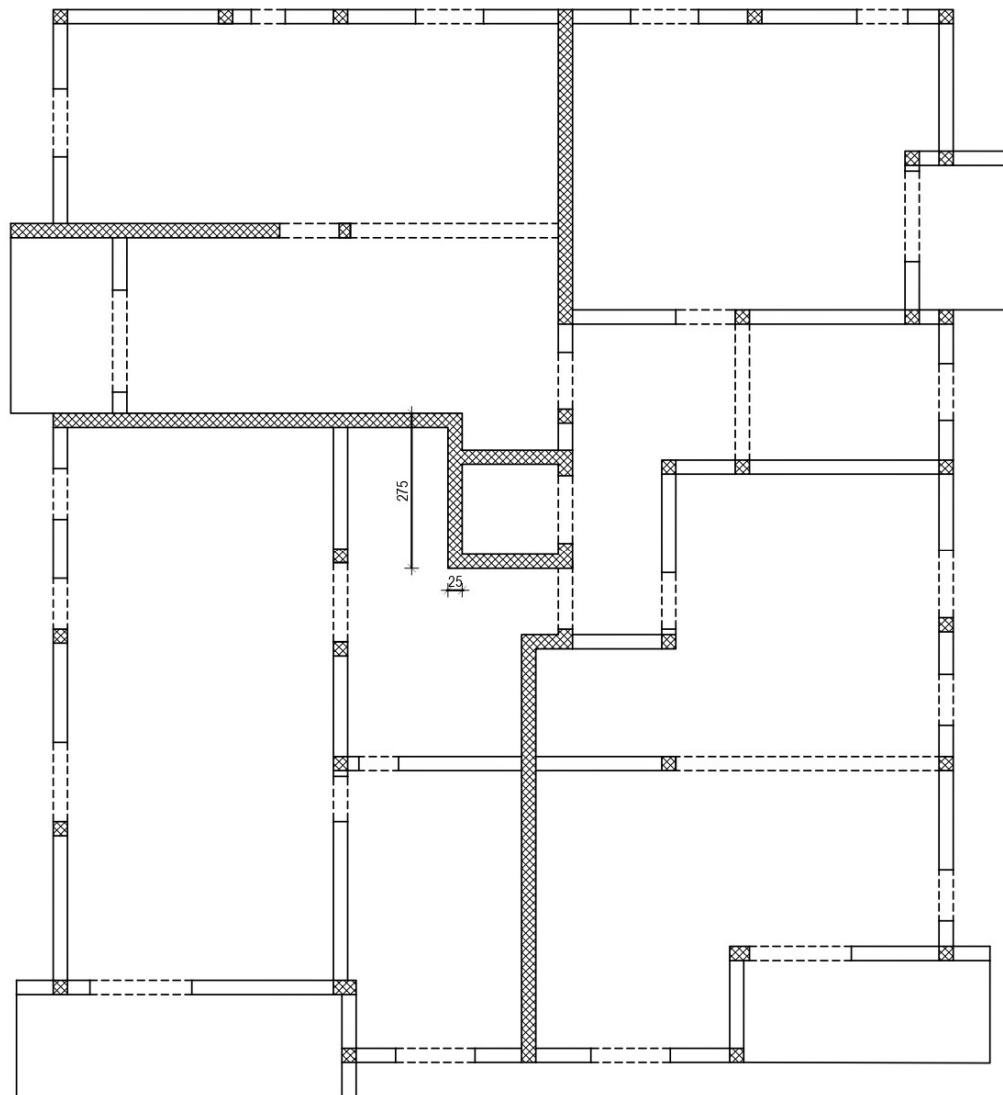
5.5.1. Proračun betonskih zidova

Geometrijske karakteristike zida:

Duljina: $l_w = 275$ cm

Širina $b_w = 25$ cm

Visina 20,10 m



Slika 27. Pozicija karakterističnog zida

Parcijalni koeficijenti sigurnosti materijala za seizmičku kombinaciju:

$$\gamma_c = 1,5$$

Beton C 25/30

Armatura B500 B

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{cd} = 25 / 1,5 = 16,66 \text{ Mpa}$$

$$f_{yd} = 500 / 1,15 = 434,8 \text{ Mpa}$$

Dimenzioniranje na moment savijanja i uzdužnu silu

Rezne sile:

$$M_{sd} = 69,64 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 1418,25 \text{ kN}$$

$$V_{ed} = 175,71 \text{ kN}$$

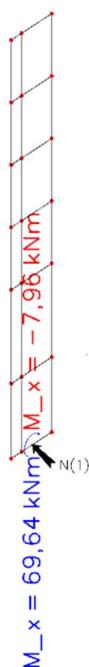
$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{69,64 \cdot 100}{25 \cdot 275^2 \cdot 1,66} = 0,00221$$

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{1418,25}{25 \cdot 275 \cdot 1,66} = 0,124$$

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,05 \cdot 25,0 \cdot 275 \cdot \frac{1,66}{43,48} = 13,12 \text{ cm}^2$$

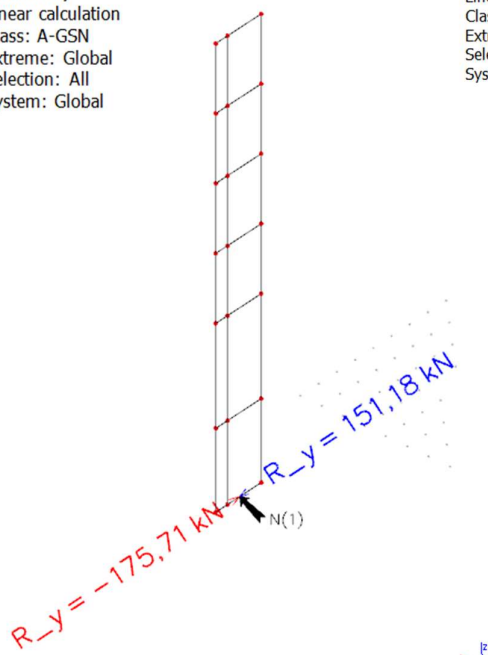
Resultant of reactions

Values: M_x
Linear calculation
Class: A-GSN
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



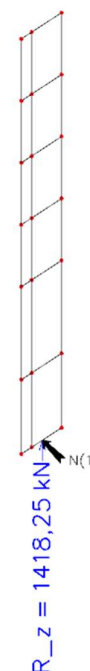
Resultant of reactions

Values: R_y
Linear calculation
Class: A-GSN
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Resultant of reactions

Values: R_z
Linear calculation
Class: A-GSN
Extreme: Global
Selection: All
System: Global



Slika 28. Prikaz reznih sila karakterističnog zida

Određivanje duljine rubnog elementa i razmještanje savojne armature

Najmanja vrijednost l_c ovijenog rubnog elementa:

$$l_c \geq \{0,15l_w; 1,5b_w; \text{duljina } h_0 \text{ na kojoj je } \epsilon_{cu} > 0,0035\}$$

l_w, b_w – duljina i širina rubnog elementa zida

$$0,15 \cdot l_w = 0,15 \cdot 2,75 = 0,4125 \text{ m}$$

$$1,50 \cdot b_w = 1,50 \cdot 0,25 = 0,375 \text{ m}$$

$$h_o = x_u \cdot \left(1 - \frac{\varepsilon_{cu2}}{\varepsilon_{cu2,c}}\right)$$

$$\varepsilon_{cu2} = 0,0035$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot \alpha \cdot \omega_{vd}$$

$$x_u = (v_d + \omega_v) \cdot \frac{l_w \cdot b_c}{b_o}$$

$$\alpha \omega_{vd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{s,yd} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$

b_o – širina ovijene jezgre rubnog elementa (do osi spona)

b_c – bruto širina ovijene jezgre

x_u – visina neutralne osi

ε_{cu2} – granična deformacija neovijenog betona

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

α – faktor učinkovitosti ovijanja

ω_{vd} – mehanički obujamski omjer armiranja ovijenom armaturom

Pretpostavimo širinu zaštitnog sloja od 4,5 cm i vilice $\varnothing 10$ mm

$$b_o = 250 - 2 \cdot 45 + 2 \cdot 5 = 170 \text{ mm}$$

$$b_c = 250 \text{ mm}$$

$\rho_v = \frac{A_{sv}}{A_c}$ – omjer armiranja vertikalnim šipkama u hrptu zida

A_{sv} – ukupna ploština vertikalne armature u hrptu zida

$$A_{sv,min} = 0,002 \cdot A_c = 0,002 \cdot 250 \cdot 1000 = 500 \frac{mm^2}{m}$$

odabrano Q – 335 obostrano

$$\rho_v = \frac{A_{sv}}{A_c} = \frac{670}{250 \cdot 1000} = 0,00268$$

$\omega_{vd} = \frac{\rho_v \cdot f_{yd,v}}{f_{cd}}$ – mehanički omjer armiranja hrpta vertikalnom armaturom

$f_{yd,v}$ – proračunska vrijednost granice popuštanja vertikalne armature hrpta

$$\omega_{vd} = \frac{\rho_v \cdot f_{yd,v}}{f_{cd}} = 0,00268 \cdot \frac{434,8}{16,66} = 0,0699$$

Koeficijent duktilnosti s obzirom na zakrivljenost

$$\mu_\phi = 1 + 2(q_o - 1)T_C/T_1, T_1 < T_C$$

$$T_1 = 2,73; T_C = 0,4$$

$$\mu_\phi = 1 + 2(q_o - 1) \frac{T_C}{T_1} = 1 + 2(2,5 - 1) \frac{0,4}{2,73} = 1,439$$

$$\varepsilon_{sy,d} = \frac{434,8}{200000} = 0,002174$$

$$\alpha\omega_{vd} \geq 30 \cdot \mu_\phi \cdot (v_d + \omega_v) \cdot \varepsilon_{s,yd} \cdot \frac{b_c}{b_o} - 0,035$$

$$\alpha\omega_{vd} \geq 30 \cdot 1,439 \cdot (0,00221 + 0,124) \cdot 0,002174 \cdot \frac{250}{170} = 0,017$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = 0,0035 + 0,1 \cdot 0,017 = 0,0052$$

$$x_u = (0,00221 + 0,0699) \cdot \frac{2750 \cdot 250}{170} = 291,62 \text{ mm}$$

$$h_o = 291,62 \cdot \left(1 - \frac{0,0035}{0,0052}\right) = 95,33 \text{ mm}$$

$$l_c \geq \{0,15l_w; 1,5b_w; \text{duljina } h_o \text{ na kojoj je } \varepsilon_{cu2} > 0,0035\}$$

$$l_c \geq \{0,4125; 0,375; 0,095\}$$

$$\text{odabrano } l_c = 45 \text{ cm}$$

$$\text{odabrana armatura: } 8\emptyset 16 (A_s = 16,08 \text{ cm}^2) > 13,12 \text{ cm}^2$$

$$b_c = 25 \text{ cm} \quad h_o = 45 \text{ cm}$$

$$\text{odabrana armatura: } A_{odabir} = 16,08 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,5}{100} \cdot b_c \cdot h_o = \frac{0,5}{100} \cdot 25 \cdot 45 = 5,625 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,max} = \frac{4}{100} \cdot b_c \cdot h_o = \frac{4}{100} \cdot 25 \cdot 45 = 45,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} < A_{odabir} < A_{s,max}$$

Zaštitni sloj:

$$c_{min} = 35 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 35 + 10 = 45 \text{ mm} \leq 45 \text{ mm} \rightarrow \text{zadovoljava}$$

Najmanja udaljenost između savojnih šipki:

$$\text{Max od } \left\{ \begin{array}{l} k_1 \varphi = 1 \cdot 16 = 16 \text{ mm} \\ d_g + k_2 = 25 + 5 = 30 \text{ mm}, d_g - \text{max veličina zrna agregata} \\ 20 \text{ mm} \end{array} \right\}$$

Dimenzioniranje na poprečnu silu

Dijagonalni tlačni slom hrpta zbog posmika

Vrijednost $V_{Rd,max}$ u kritičnom području izvan kritičnog područja za DCM (kao u EC2 s $z = 0,8l_w$)

$$V_{Rd,amx} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_{wo} \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$\alpha_{cw} = 1 \rightarrow \text{za konstrukcije koje nisu prednapete}$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}(MPa)}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{25}{250}\right) = 0,54$$

$$tg\theta = 1 - \text{nagib tlačnih štapova prema vertikali}$$

$$V_{Rd,amx} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_{wo} \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{ctg\theta + tg\theta} = \frac{1 \cdot 25 \cdot (0,8 \cdot 170) \cdot 0,54 \cdot 1,66}{1+1} = 1523,88 \text{ kN} > V_{Ed} = 175,71 \text{ kN}$$

Dijagonalni vlačni slom hrpta zbog posmika

Postupak ovisi o koeficijentu α_s

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{V_{Ed} \cdot l_w} = \frac{69,64}{175,71 \cdot 2,75} = 0,144$$

Za $\alpha_s < 2$ horizontalna armatura računa se iz izraza:

$$V_{Ed} \leq b_{wo} \cdot (0,8l_w) \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot ctg\theta$$

ρ_h – omjer armiranja hrpta horizontalnim šipkama

$f_{yd,h}$ – proračunska vrijednost granice popuštanja horizontalne armature hrpta

$$\rho_h \geq \frac{V_{Ed}}{(0,8l_w) \cdot f_{yd,h} \cdot b_{wo} \cdot ctg\theta} = \frac{175,71}{0,8 \cdot 275 \cdot 43,48 \cdot 25 \cdot 1} = 0,0007$$

$$\rho_{h,min} = \max(0,001; 0,25 \cdot \rho_h) = \max(0,001; 0,25 \cdot 0,0007) = \max(0,001; 0,00018)$$

$$\rho_h = \frac{A_h}{b_{wo} \cdot S_h} \rightarrow A_h = \rho_h \cdot b_{wo} \cdot S_h = 0,001 \cdot 25 \cdot 100 = 2,5 \text{ cm}^2$$

Odabrano: Q-335 ($A_{S,odabrano} = 6,70 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$ (obostrano))

Izračun ovojne armature u rubnom elementu

Odabrana armatura: Q-335 i 8ø16

Najmanji promjer spona: 6 mm

Razmak spona $S_w \leq (8d_{bl}; \frac{b_0}{2}; 175 \text{ mm})$

$$S_w \leq \left(8 \cdot 16; \frac{170}{2}; 175 \text{ mm}\right) = (128; 85; 175 \text{ mm})$$

Odabrano: $S_w = 8 \text{ cm}$

Faktor učinkovitosti ovijanja :

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s ,$$

α_s, α_n gubitak ovijene jezgre zbog lučnog djelovanja u vertikalnoj(horizontalnoj)ravnini

$$\alpha_n = 1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0} = 1 - \frac{2 \cdot (3 \cdot 12,63^2) + 9,6^2}{6 \cdot 17 \cdot 45} = 0,743$$

$$\alpha_s = \left(1 - \frac{S_w}{2 \cdot b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{S_w}{2 \cdot h_0}\right) = \left(1 - \frac{8}{2 \cdot 17}\right) \cdot \left(1 - \frac{8}{2 \cdot 45}\right) = 0,696$$

$$\alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0,743 \cdot 0,696 = 0,49$$

$$\alpha \omega_{vd} = 0,169$$

$$0,49 \cdot \omega_{vd} = 0,169 \rightarrow \omega_{vd} = \frac{0,169}{0,49} = 0,345 \geq 0,08 \text{ (u kritičnom presjeku)}$$

Izračun ω_{wd} za usvojeni detalj ovojne armature

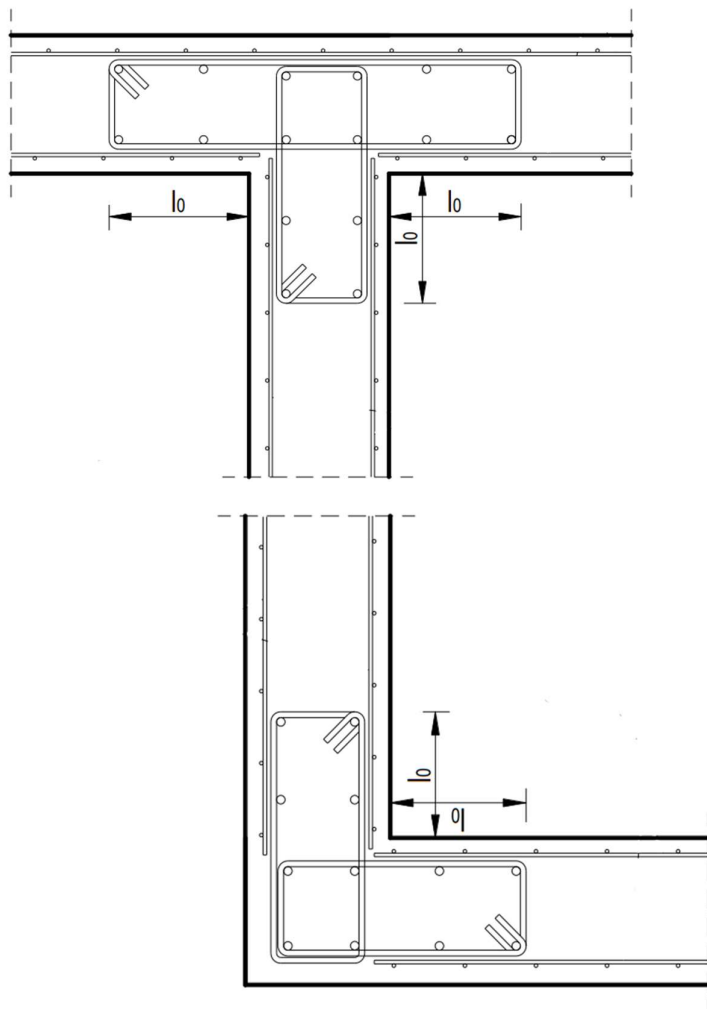
Duljina spona:

$$\text{Vanjske: } L_V = 2 \cdot 11,2 + 2 \cdot 45 = 102,4 \text{ cm}$$

$$\text{Unutarnje: } L_U = 2 \cdot 11,2 + 14,5 \cdot 2 = 51,4 \text{ cm}$$

Za vilice unutarnje i vanjske ø8:

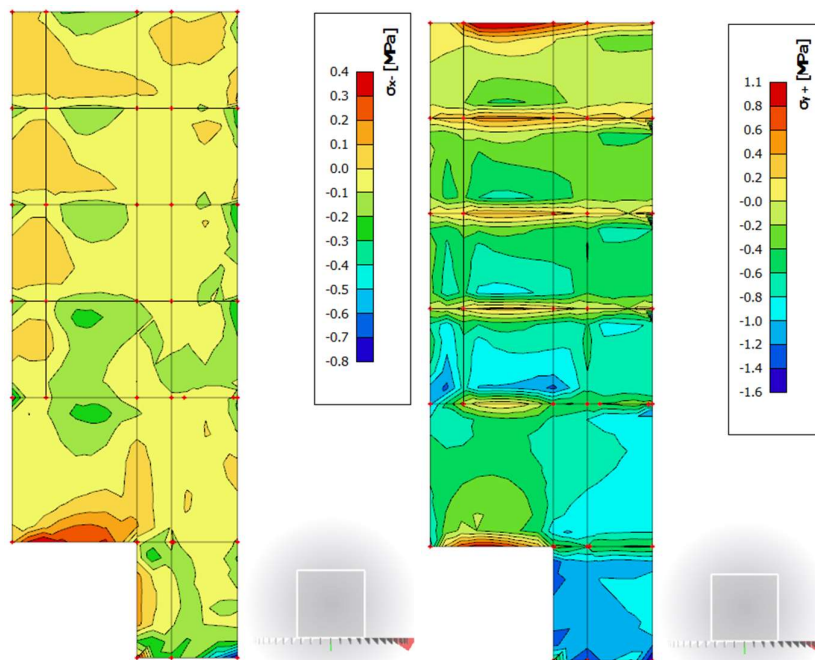
$$\omega_{wd} = \frac{V_{vilica}}{V_{betonske \text{ jezgre}}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{0,50 \cdot (102,4) \cdot \frac{100}{8,0}}{12 \cdot 45 \cdot 100} \cdot \frac{43,48}{1,66} = 0,310 > 0,23$$



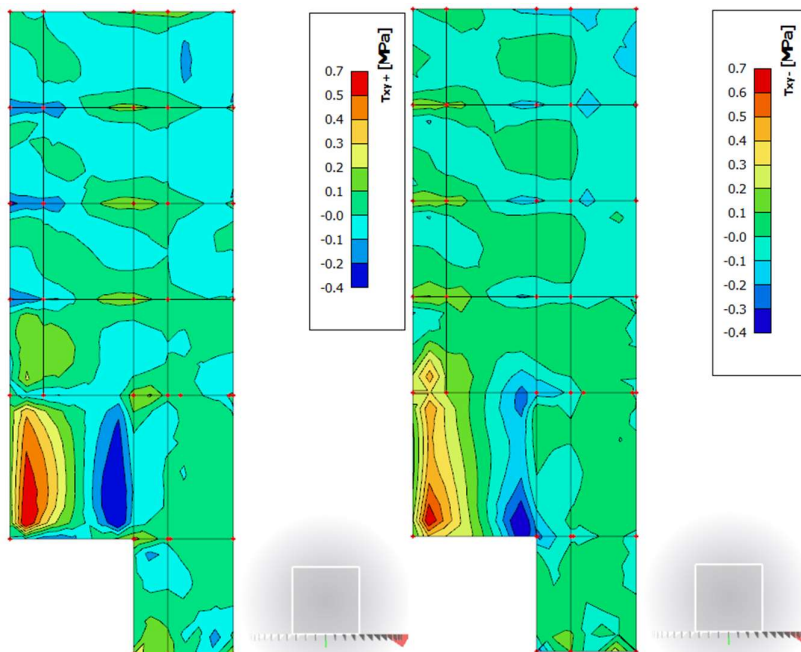
Slika 29. Shematski prikaz armiranja zida

5.5.2. Pojednostavljeni proračun betonskih zidova
Kontrola naprezanja samo za vertikalna opterećenja

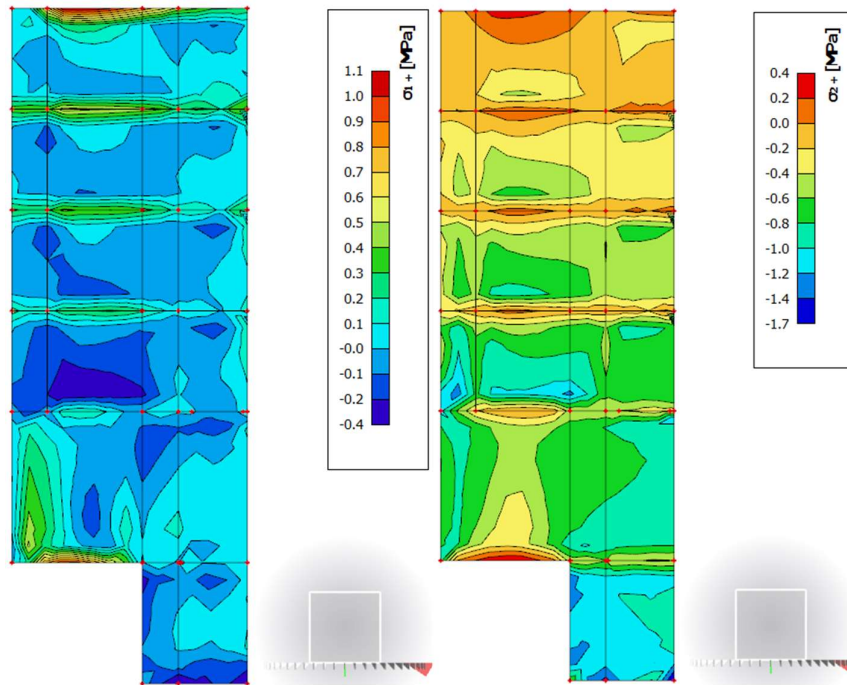
$$0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 25,0 = 11,25 \text{ Mpa}$$



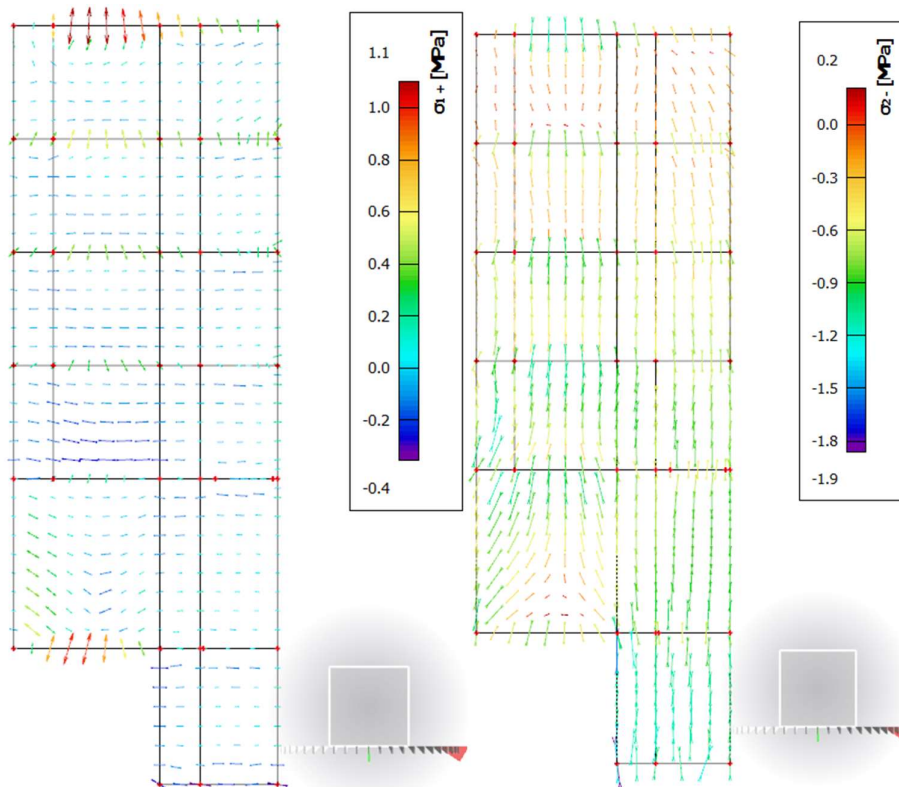
Dijagram 25. Vlačna i tlačna naprezanja σ_x i σ_y za kombinaciju GSU



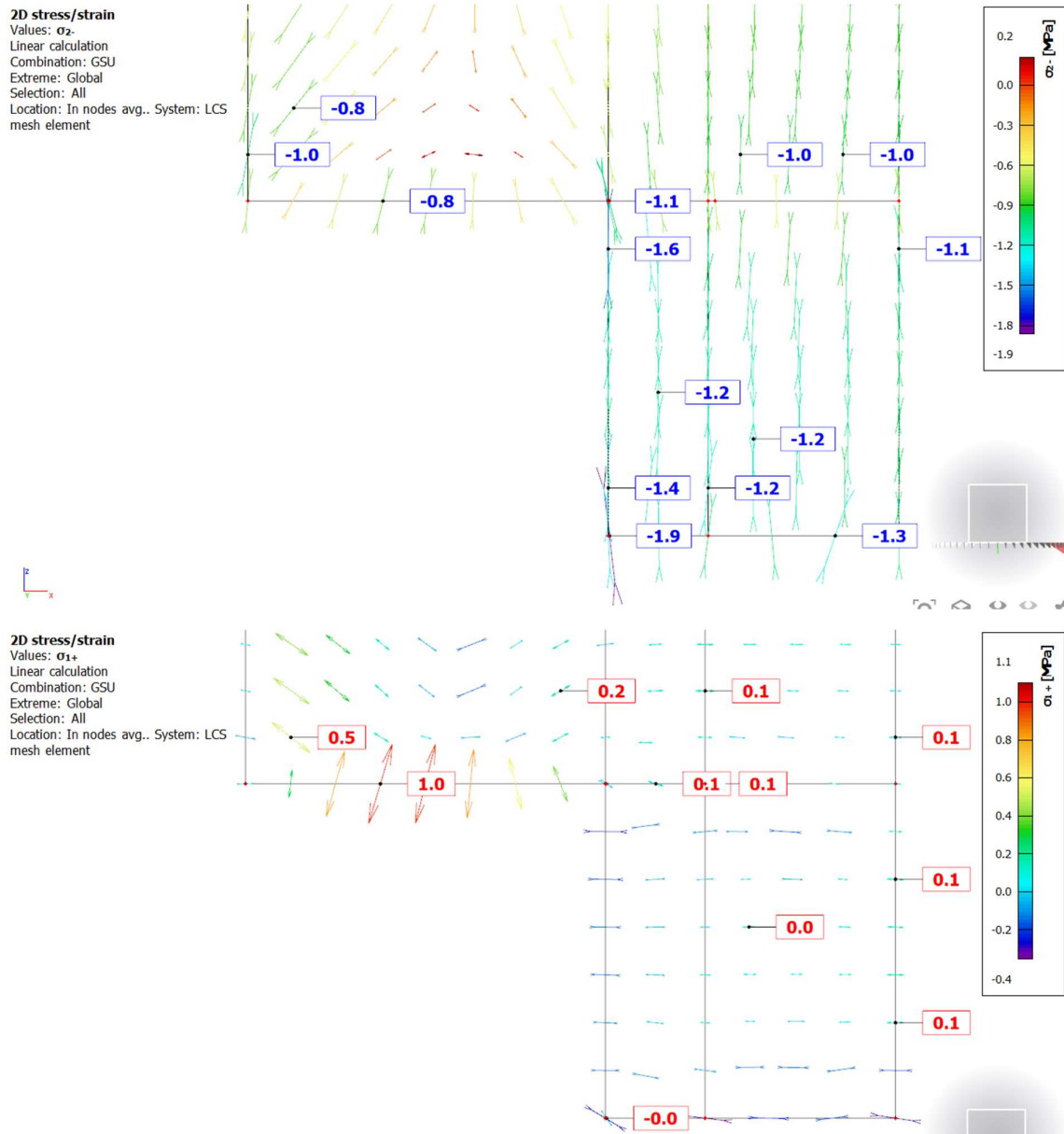
Dijagram 26. Posimična naprezanja τ_{xy} za kombinaciju GSU



Dijagram 27. Normalna naprezanja σ_1 i σ_2 za kombinaciju GSU



Dijagram 28. Trajektorije normalnih naprezanja za kombinaciju GSU



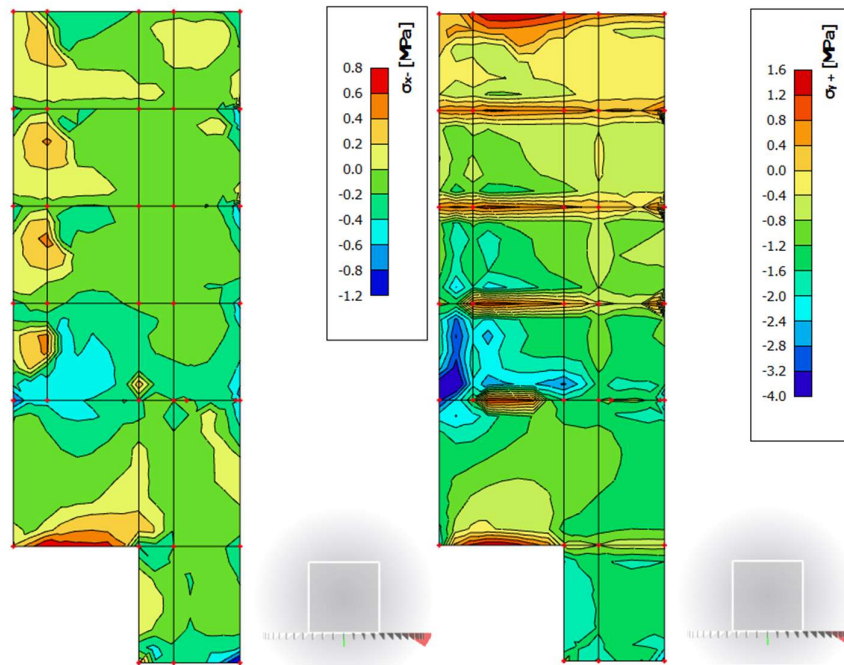
Dijagram 29. Iznosi maksimalnih normalnih naprezanja i smjer djelovanja za kombinaciju GSU

Iz priloženih fotografija vidimo da nam je zadovoljen uvjet $\sigma_{c,Rd} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$ (klasa DCM).

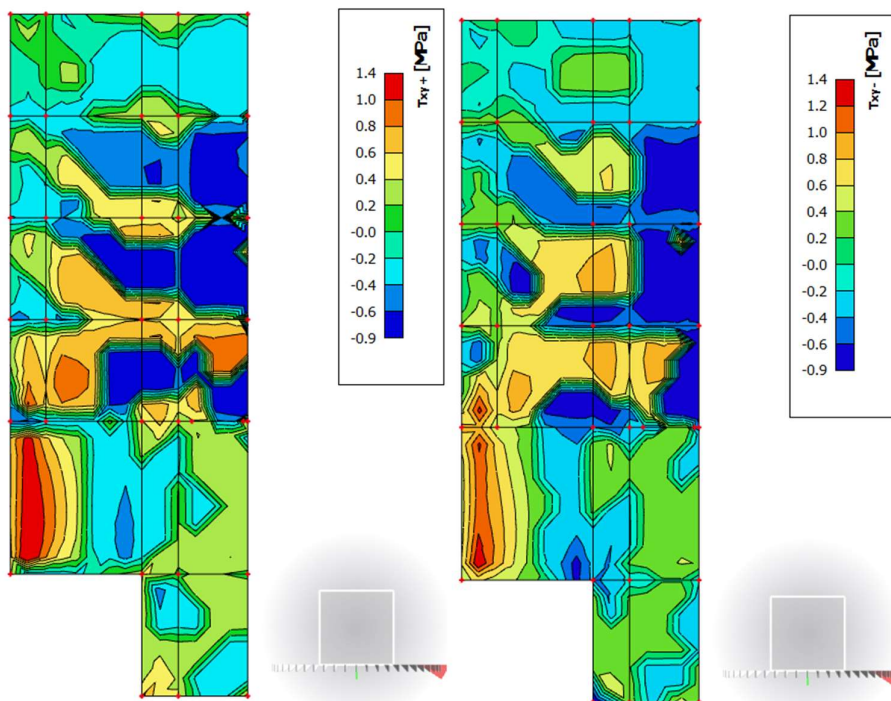
$$\sigma_{c,Rd} \leq 11,25 \text{ MPa}$$

Kontrola naprezanja za potresna opterećenja

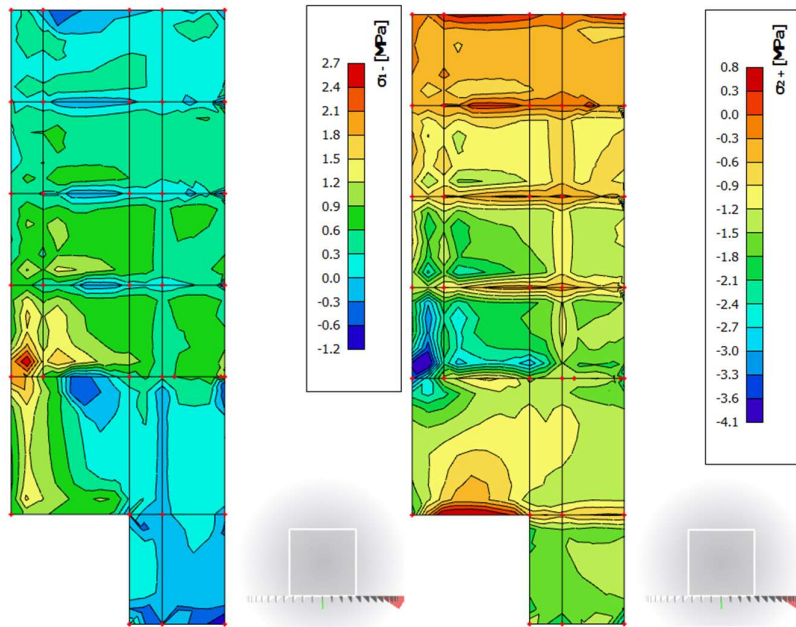
$$f_{cd} = f_{ck}/1,2 = 25,0/1,2 = 20,83 \text{ Mpa}$$



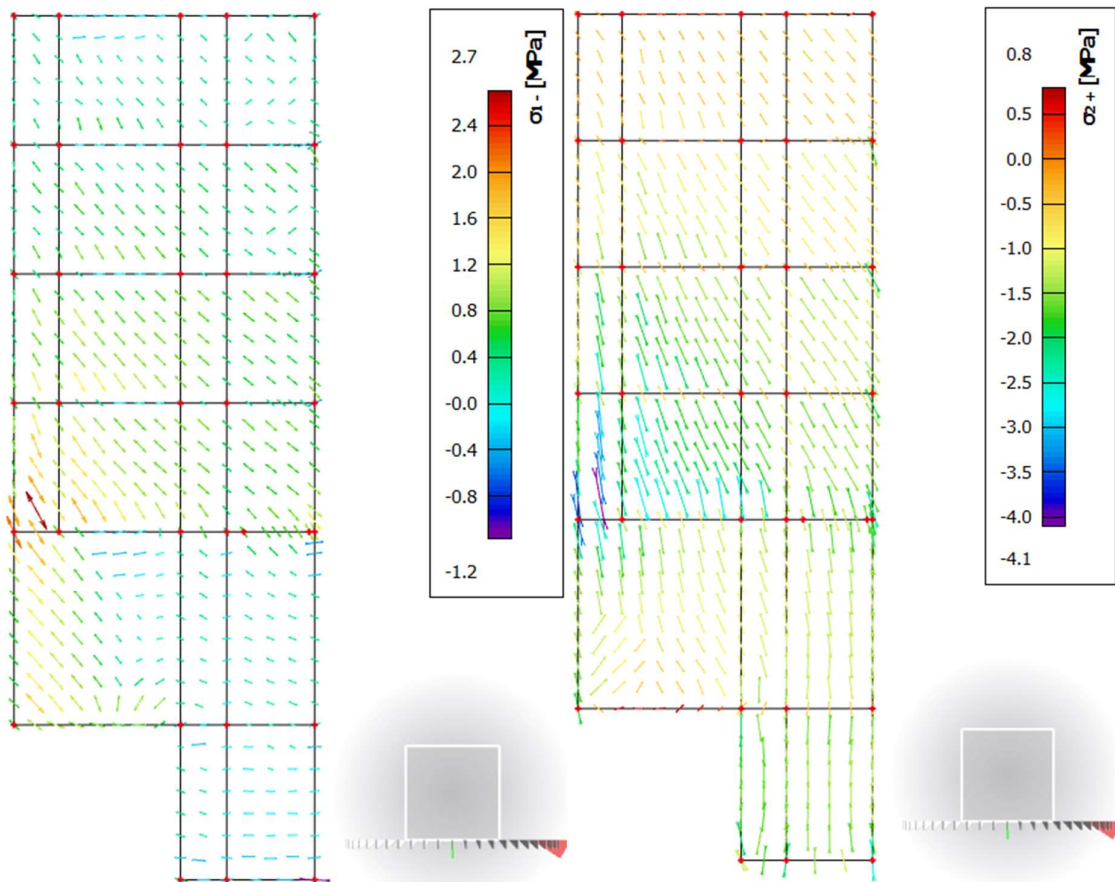
Dijagram 30. Vlačna i tlačna naprezanja σ_x i σ_y za anvelopu svih opterećenja



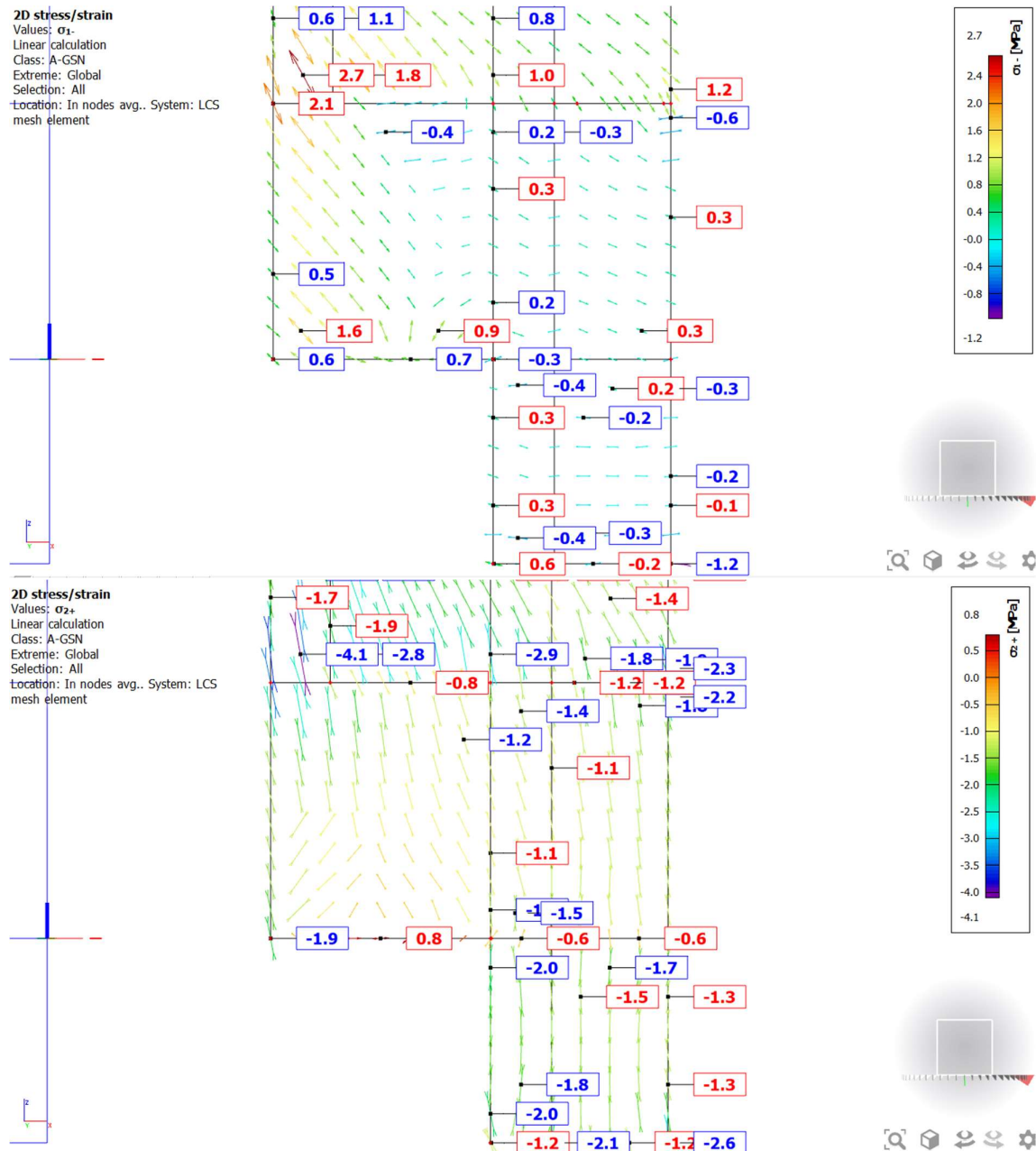
Dijagram 31. Posimična naprezanja τ_{xy} za anvelopu svih opterećenja



Dijagram 32. Normalna naprezanja σ_1 i σ_2 za anvelopu svih opterećenja



Dijagram 33. Trajektorije normalnih naprezanja za anvelopu svih opterećenja

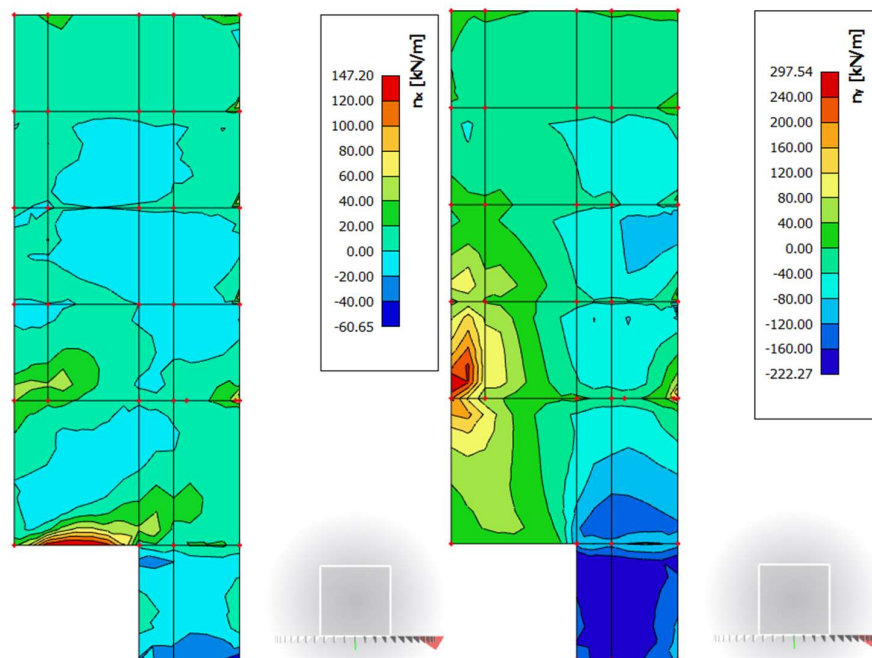


Dijagram 34. Iznosi i smjer djelovanja maksimalnih normalnih naprezanja za anvelopu svih opterećenja

Iz priloženih slika vidljivo je da nam je zadovoljen uvijet za potresno opterećenje:

$$\sigma_{c,Rd;E} \leq \frac{f_{ck}}{1,2}$$

$$\sigma_{c,Rd;E} \leq 20,83 \text{ MPa}$$



Dijagram 35. Tlačne i vlačne sile n_x i n_y za anvelopu svih opterećenja

Za prihvatanje vlačnih sila u smjeru x iznos od 147,20 kN prihvaćamo sa 4 šipke promjera 16mm.

$$F_{ed} \leq n \cdot A_s \cdot f_{yd}$$

$$147,20 \text{ kN} \leq 4 \cdot 2,01 \text{ cm}^2 \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$147,20 \text{ kN} \leq 349,58 \text{ kN}$$

Uvjet je zadovoljen.

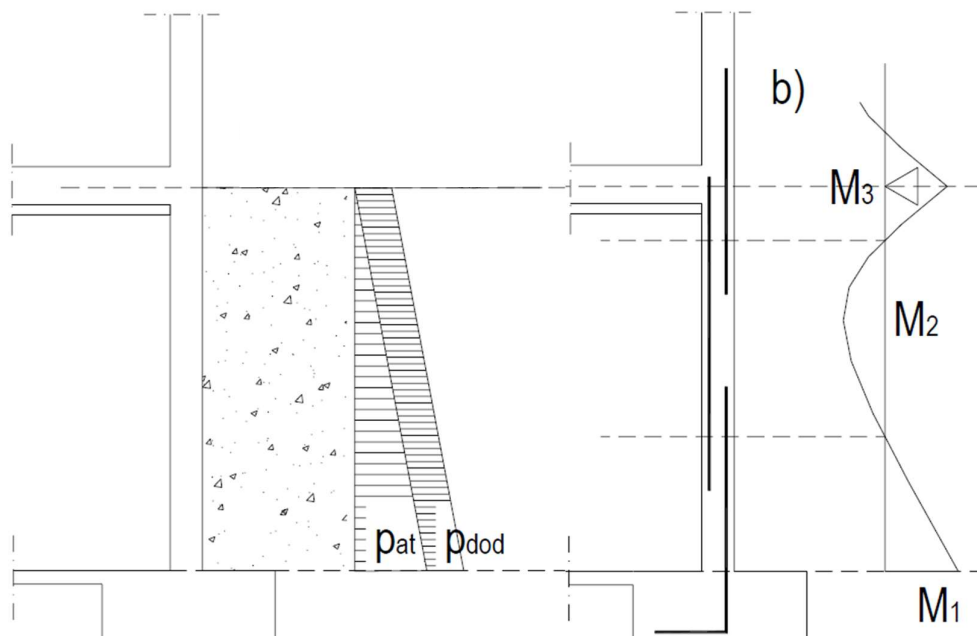
Za prihvatanje vlačnih sila u smjeru y iznosi 297,54 kN prihvaćamo sa ovojnom armaturom od 8 šipki promjera 16mm.

$$F_{ed} \leq n \cdot A_s \cdot f_{yd}$$

$$297,54 \text{ kN} \leq 8 \cdot 2,01 \text{ cm}^2 \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$297,54 \text{ kN} \leq 699,15 \text{ kN}$$

5.5.3. Proračun podrumskih zidova

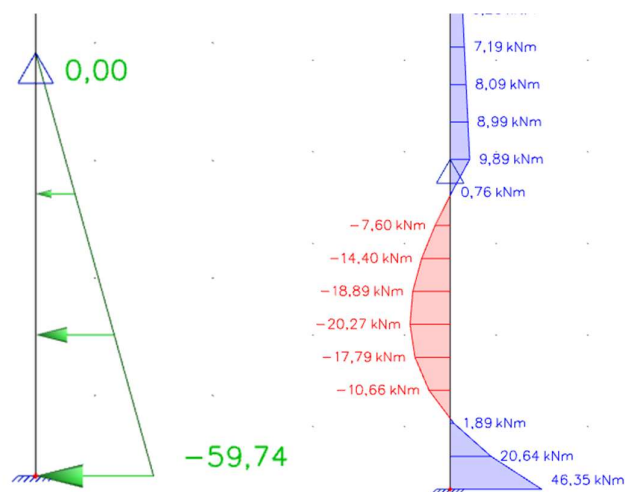


Slika 30. Model podrumskog zida

$$p_{at} = 1,50 \cdot 17,70 + 2,1 \cdot 9,10 = 44,74 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{dod} = 15,00 \frac{kN}{m^2}$$

$$p_{uk} = 44,74 + 15,00 = 59,74 \frac{kN}{m^2}$$



Dijagram 36. Prikaz modela i dijagram momenata

Beton: C30/37 $f_{ck} = 30,0 \text{ MPa}$ $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30,0}{1,5} = 20,00 \text{ MPa}$
Armatura: B500B $f_{yk} = 500,0 \text{ MPa}$ $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_c} = \frac{500,0}{1,5} = 434,8 \text{ MPa}$
c → zaštitni sloj (2,5 cm)

$$d_1 = c + \frac{\emptyset}{2} = 2,5 + 0,5 = 3,0 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 25,0 - 3,0 = 22,0 \text{ cm}$$

Dimenzioniranje zida na moment savijanja:

Mjerodavni moment koji se javlja: $M_{ed} = 20,27 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2027}{100 \cdot 22^2 \cdot 2,00} = 0,020$$

Očitano: $\varepsilon_{s1} = 10,0 \text{ ‰}$ $\varepsilon_{c2} = 0,8 \text{ ‰}$ $\zeta = 0,974$

$$A_{s1} = \frac{M_{ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{2027}{0,974 \cdot 22,0 \cdot 43,48} = 2,175 \text{ cm}^2$$

Odabrano **Q – 335** ⇒ $A_s = 3,35 \text{ cm}^2$

5.5.4. Proračun zidanih zidova

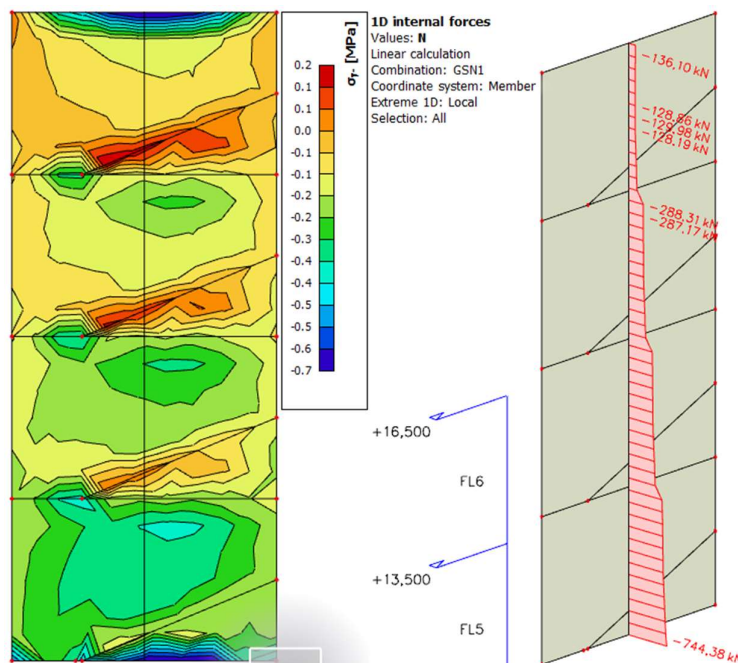
Zidane zidove ćemo proračunati samo na tlačnu silu jer će sva vlačna naprezanja preuzeti armirano betonski zidovi.

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$f_k = 0,45 \cdot 11,5^{0,7} \cdot 10,0^{0,3} = 4,96 \text{ MPa} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

$$\frac{f_k \cdot \Phi}{\gamma_m} = \frac{4,96 \cdot 0,70}{2,2} = 1,58 \text{ MPa} \Rightarrow \text{maksimalno dopušteno naprezanje}$$

Iz priloženih slika vidimo da nam maksimalna naprezanja u zidovima ne prelaze dopuštena naprezanja.



Dijagram 37. prikaz unutrašnjih naprezanja i ukupna tlačna sila u zidanom zidu

Maksimalna dopuštena tlačna sila u zidu je:

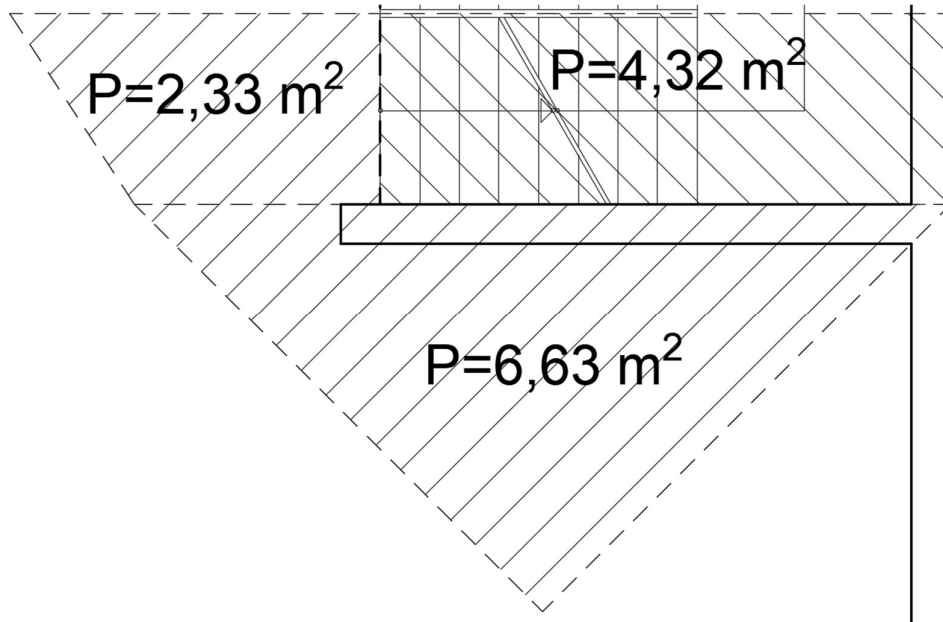
$$N_{Rd} = L \cdot t \cdot \frac{f_k \cdot \Phi}{\gamma_m} = 4,90 \cdot 0,25 \cdot 1580 \frac{kN}{m^2} = 1.935,50 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 744,38 \text{ kN}$$

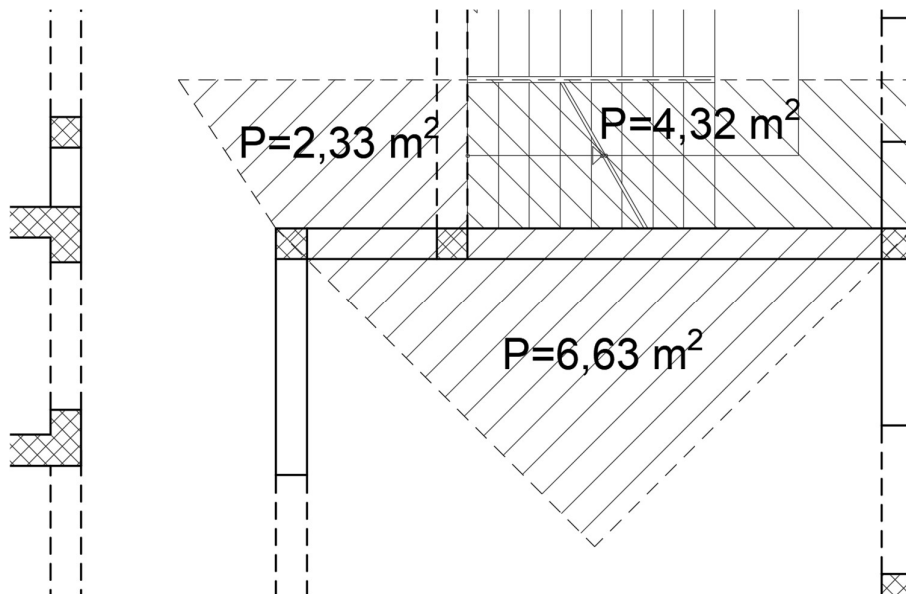
$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Iz priloženih dijagrama vidimo da su naprezanja u zidu znatno manja od maksimalnih dopuštenih naprezanja i da je maksimalna dopuštena tlačna sila veća od očitane.

5.5.5. Pojednostavljeni proračun zidanih zidova prema EN 1996-3



Slika 31. Prikaz utjecajnih ploha za karakteristični zid na ravnom krovu



Slika 32. Prikaz utjecajnih ploha za karakteristični zid na karakterističnoj etaži

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

$$h = 3,0 \text{ m}$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{4,96}{2,2} = 2,25 \text{ MPa}$$

$$n = 4 \text{ (broj etaža)}$$

$$g_{zida} = 12,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$A_{krov} = 6,63 + 2,33 = 8,96 \text{ m}^2$$

$$g = 6,12 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q = 1,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$A_{etaža} = 6,63 + 2,33 = 8,96 \text{ m}^2$$

$$g = 7,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q = 2,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$A_{stub} = 4,32 \text{ m}^2$$

$$g = 6,49 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad q = 3,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$N_{Ed} = A_{krov} \cdot (g \cdot 1,35 + q \cdot 1,5) + A_{stub} \cdot (g \cdot 1,35 + q \cdot 1,5)$$

$$+ [A_{etaža} \cdot (g \cdot 1,35 + q \cdot 1,5) + A_{stub} \cdot (g \cdot 1,35 + q \cdot 1,5) + L \cdot t \cdot h \cdot g_{zida}] \cdot 3 =$$

$$N_{Ed} = 8,96 \cdot (6,12 \cdot 1,35 + 1 \cdot 1,5) + 4,32 \cdot (6,49 \cdot 1,35 + 3 \cdot 1,5) +$$

$$[(8,96 \cdot (7,05 \cdot 1,35 + 2 \cdot 1,5) + 4,32 \cdot (6,49 \cdot 1,35 + 3 \cdot 1,5) + 4,90 \cdot 0,25 \cdot 3,0 \cdot 12,0)] \cdot 3$$

$$= 785,39 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = L \cdot t \cdot \frac{f_k \cdot \Phi}{\gamma_m} = 4,90 \cdot 0,25 \cdot 1580 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1.935,50 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} < N_{Rd}$$

Prema proračunu smo dobili iste sile kao i u prostornom modelu te nam karakteristični zid zadovoljava uvijete stabilnosti i otpornosti na tlačnu silu

$$\sigma_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{785,39 \text{ kN}}{1,23 \text{ m}^2} = 638,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,64 \text{ MPa}$$

$$f_d \cdot \Phi = 1,58 \text{ MPa}$$

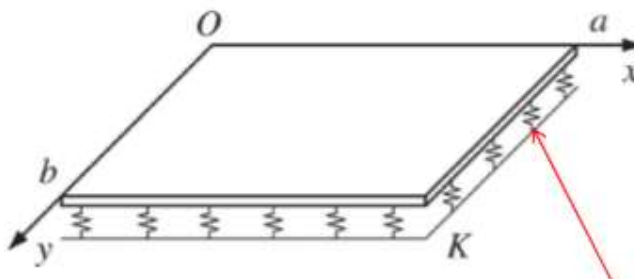
$$\sigma_{Ed} < f_d \cdot \Phi$$

5.6. Dimenzioniranje temelja

U tehničkom opisu je navedeno da je građevina temeljena na trakastim temeljima. Glavni problem kod modeliranja savitljivih konstrukcija je efekt djelovanja konstrukcija-tlo. Rješenje tog problema rješava se numeričkim metodama.

Tlo možemo modelirati na dva načina:

- Analiza u neprekidnoj sredini: Tlo se modelira poput polu prostora i proračun se izvodi nekom od numeričkih metoda. Za linearno elastičan model su potrebni podatci o tlu E i ν .
- Winklerov model (opruge): Ovaj pristup nije u potpunosti točan jer se ne uzima u obzir međusobni utjecaj pomaka različitih točaka u tlu. Može se koristiti linearni model s stalnom krutosti ili model sa promjenjivom krutosti.



Slika 33. Međudjelovanje konstrukcija – tlo modelirano Winkler- ovim modelom

Prilikom proračuna temelja služili smo se Winklerovim modelom.

Winklerov model samo približno opisuje deformacije temeljnog tla. Tlo zamjenjujemo sustavom elastičnih opruga, tako da je pomak točke na površini Winklerovog modela linearno proporcionalan pritisku:

$$W(x) = \frac{q(x)}{K}$$

K – koeficijent reakcije tla ($\text{kN}/\text{m}^2/\text{m}'$)

Koeficijent reakcije (odgovora) podloge – Winklerov koeficijent

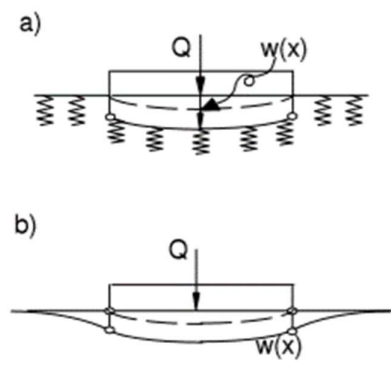
Koeficijent reakcije tla K je odnos između naprezanja q i slijeganja w , koje to naprezanje izazove u tlu:

$$K = \frac{q}{w} \left[\frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right]$$

Iznos koeficijenta K ovisi o elastičnim svojstvima tla i o veličini opterećene površine.

$$EI \cdot \frac{d^4 w}{dx^4} + K \cdot w(x) = p(x) + g$$

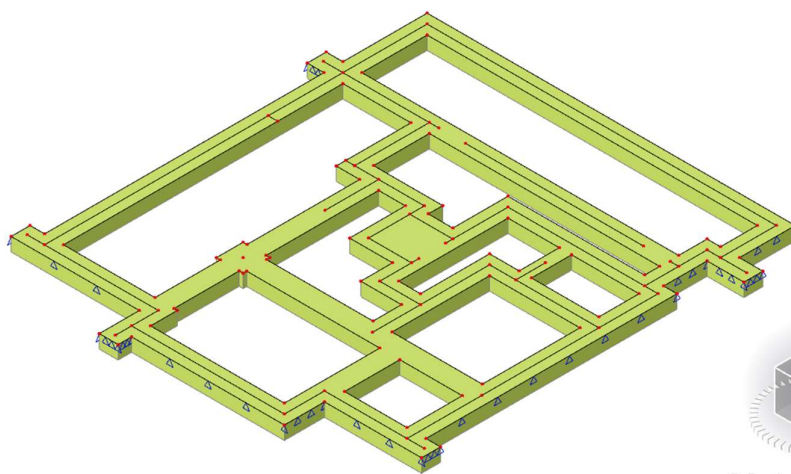
Uz korištenje rubnih uvjeta ovu diferencijalnu jednažbu je moguće riješiti u zatvorenom obliku.



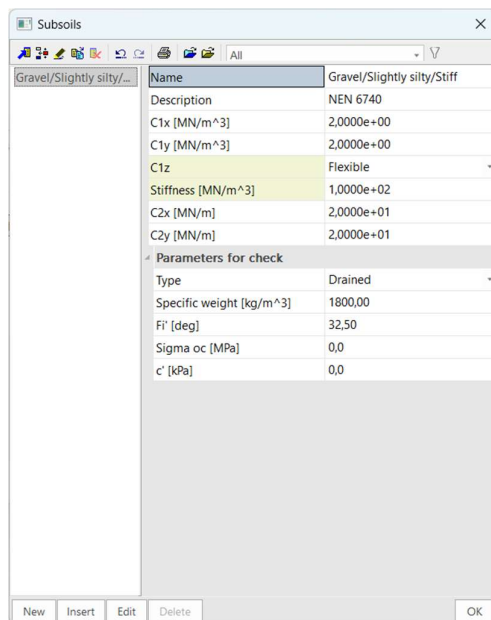
Slika 34. Winklerov model (a) i stvarni nosač (b)

Nedostatci ovog modela :

- Zanemarivanje međusobnog utjecaja, odnosno opterećenje skraćuje samo one opruge na kojima greda izravno leži
- Na temeljno tlo se istovremeno mogu prenjeti tlačna i vlačna naprežanja
- Koeficijent reakcije tla (K) ovisi o intenzitetu opterećenja, obliku i veličini temeljnih traka, krutosti trakastih temelja, svojstvima materijala od kojih su izrađeni temelji i na kraju o svojstvima temeljnog tla



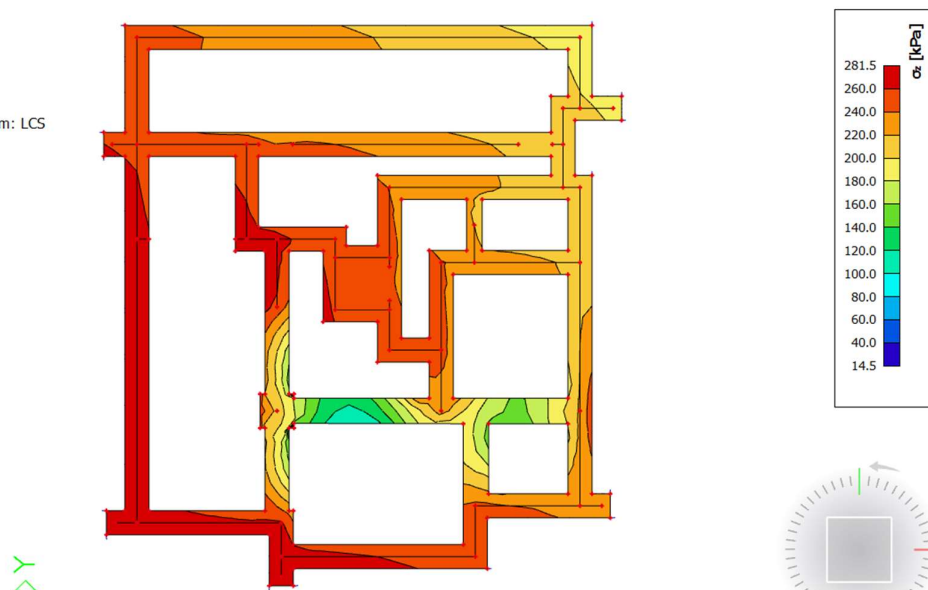
Slika 35. Model trakastih temelja



Slika 36. Model fleksibilnih linijskih ležajeva

2D contact stresses

Values: σ_z
Linear calculation
Combination: GSU
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg.. System: LCS
mesh element



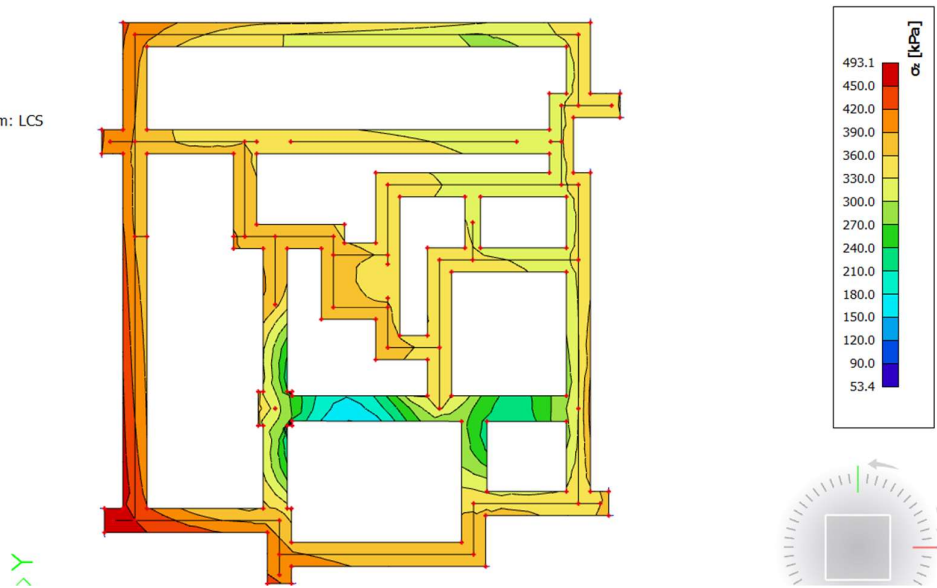
Dijagram 38. Prikaz kontaktnih naprezanja za kombinaciju opterećenja GSU

Cilj proračuna je dobiti približno jednak omjer računске nosivosti i nosivosti tla – u granicama 60% do 70% iskoristivosti tla, tako da slijeganje temelja bude što ujednačenije. U priloženoj fotografiji vidimo da je ta zadaća ispunjena i da su naprezanja skoro pa jednaka svugdje.

Vrijednost dopuštenog kontaktnog naprezanja je 500 kPa

2D contact stresses

Values: σ_z
Linear calculation
Class: A-GSN
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg., System: LCS
mesh element

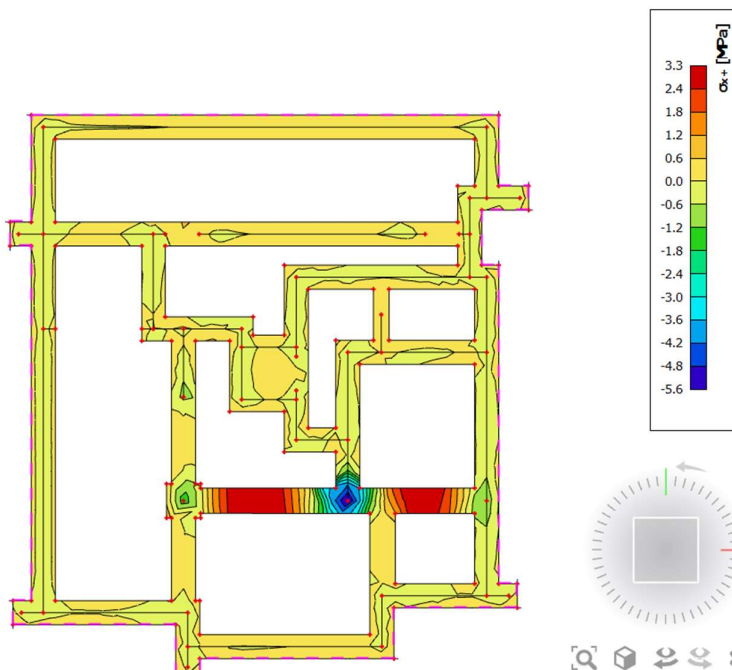


Dijagram 39. Prikaz kontaktnih napreznja za anvelopu svih opterećenja

Iz slike vidimo da su za maksimalna potresna opterećenja kontaktna napreznja manja od maksimalnih dopuštenih.

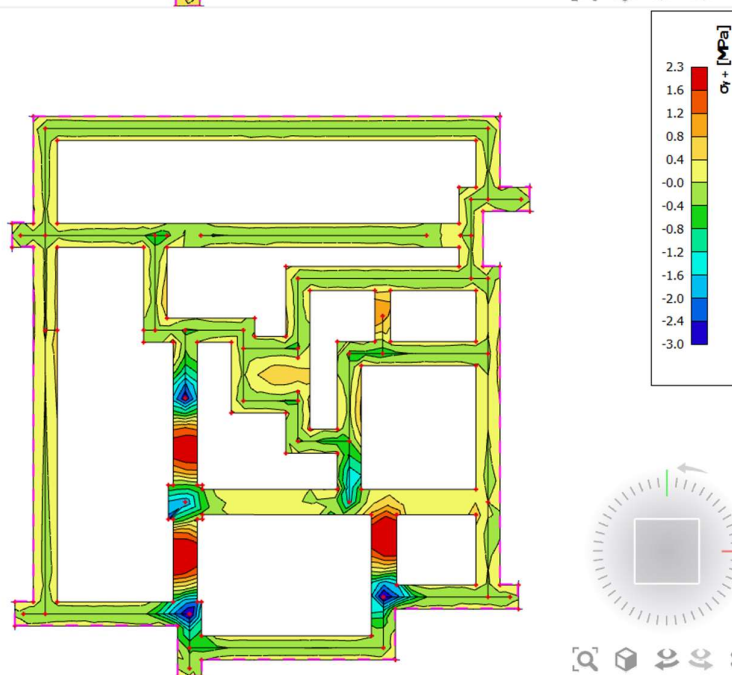
2D stress/strain

Values: σ_{x+}
Linear calculation
Combination: GSU
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg.. System: LCS
mesh element



2D stress/strain

Values: σ_{y+}
Linear calculation
Combination: GSU
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg.. System: LCS
mesh element



Dijagram 40.. Prikaz maksimalnih naprezanja u temeljima za kombinaciju opterećenja GSU

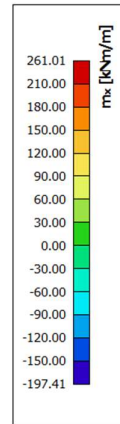
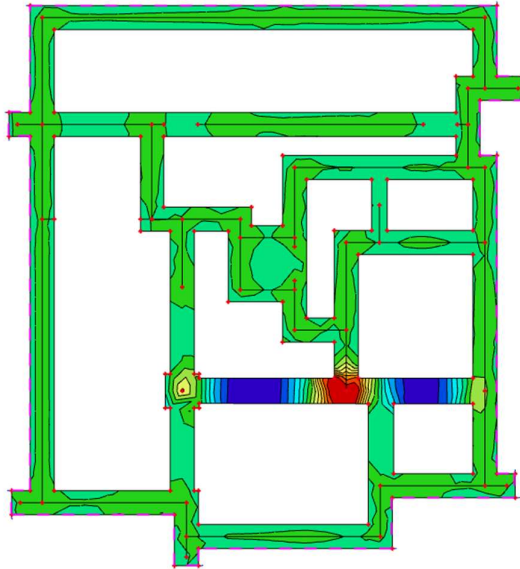
Iz slika vidimo da su maksimalna tlačna naprezanja manja od maksimalnih dopuštenih

$$\sigma_{c,Rd} \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

$$0,45 \cdot f_{ck} = 0,45 \cdot 25,0 = 11,25 \text{ Mpa}$$

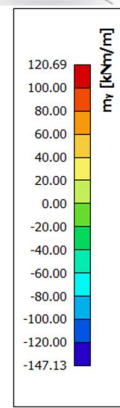
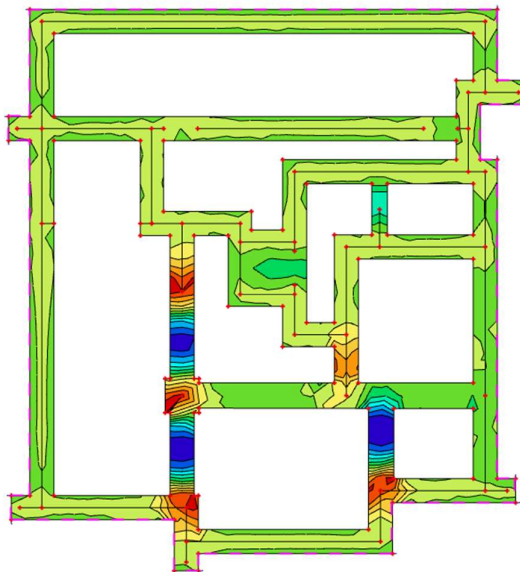
2D internal forces

Values: m_x
Linear calculation
Combination: GSU
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg., System: LCS
mesh element



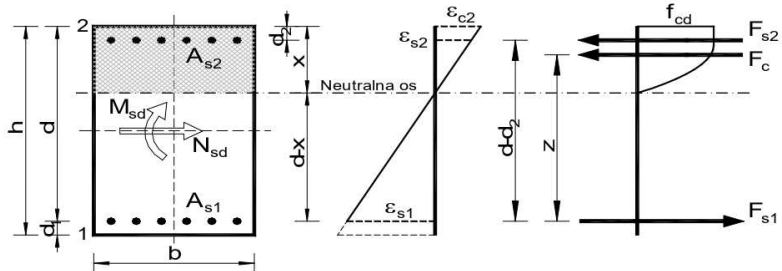
2D internal forces

Values: m_y
Linear calculation
Combination: GSU
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg., System: LCS
mesh element

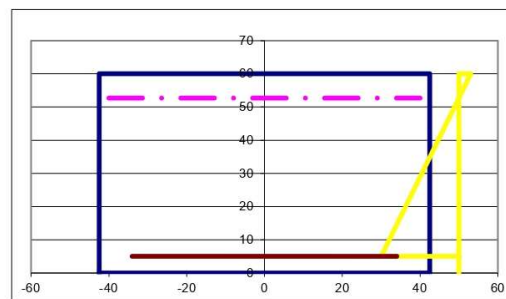


Dijagram 41. Prikaz maksimalnih momenata savijanja u temeljima ta kombinaciju opterećenja GSU

b	85,00	cm
h	60,00	cm
d₁ (d₂)	5,00	cm
d	55,00	cm
f_{cd}	1,67	kN/cm ²
f_{yd}	43,48	kN/cm ²
M_{sd}	261,00	kNm
N_{sd}	0,00	kN
ε_{s1}	10,00	‰
ε_{c2}	1,53	‰
M_{sd,s}	261,00	kNm
M_{Rd,lim}	683,42	kNm
μ_{sd}	0,061	
Jednostruko armiranje		
ω	6,436	%
ρ	0,245	%
ξ	0,133	
ζ	0,952	
A_{s1}	11,47	cm ²
A_{s2}	0,00	cm ²

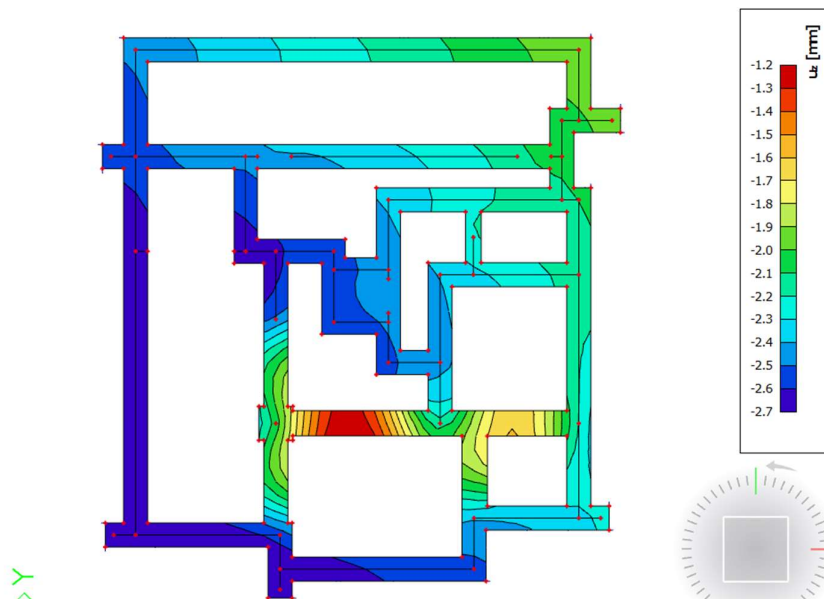


x 7,30 cm



Za maksimalni moment savijanja u koji se javlja u temeljima odabiremo potrebnu armaturu u gornjoj i donjoj zoni **6Ø16** ⇒ $A_s = 12,06 \text{ cm}^2$

2D displacement
Values: u_z
Linear calculation
Combination: GSU
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element



Dijagram 42. Prikaz slijeganja temelja za kombinaciju opterećenja GSU

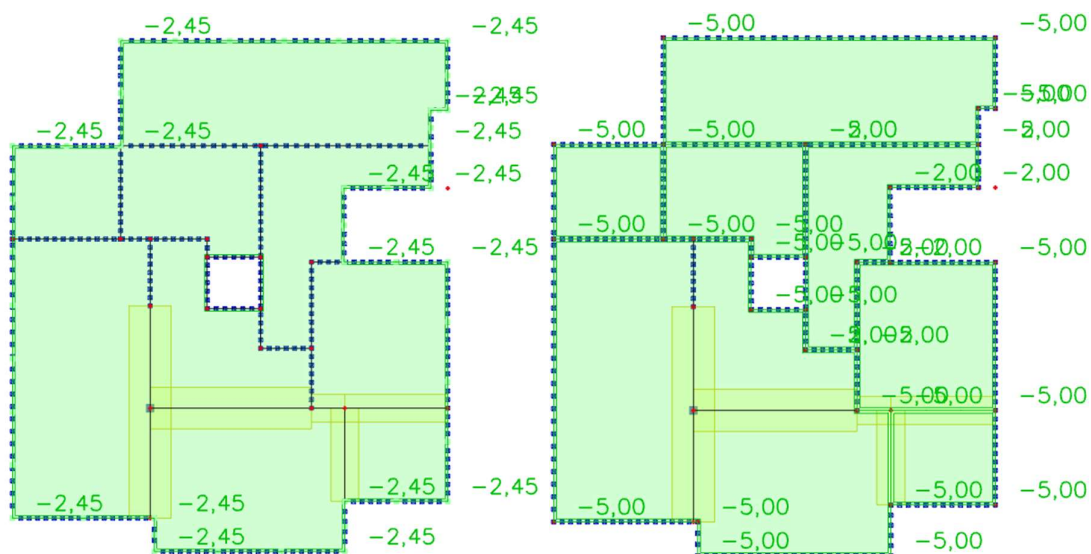
Iz slike vidimo da su slijeganja minimalna i ujednačena. S obzirom da nema velikih odstupanja u slijeganju neće se javljati diferencijalna slijeganja i dodatna naprezanja u konstrukciji.

6. NELINEARNI PRORAČUN GREDA I PLOČA

6.1. Nelinearni proračun ploča i prikaz deformacija u ovisnosti o količini ugrađene armature

Nelinearni proračun smo proveli u računalnom programu SCIA. Model smo zadali u dvodimenzionalnom modu. Za proračun smo odabrali ploču 001 kao najopterećeniju na cijeloj zgradi. Kombinacije opterećenja za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti ostaju iste kao i u linearnom proračunu.

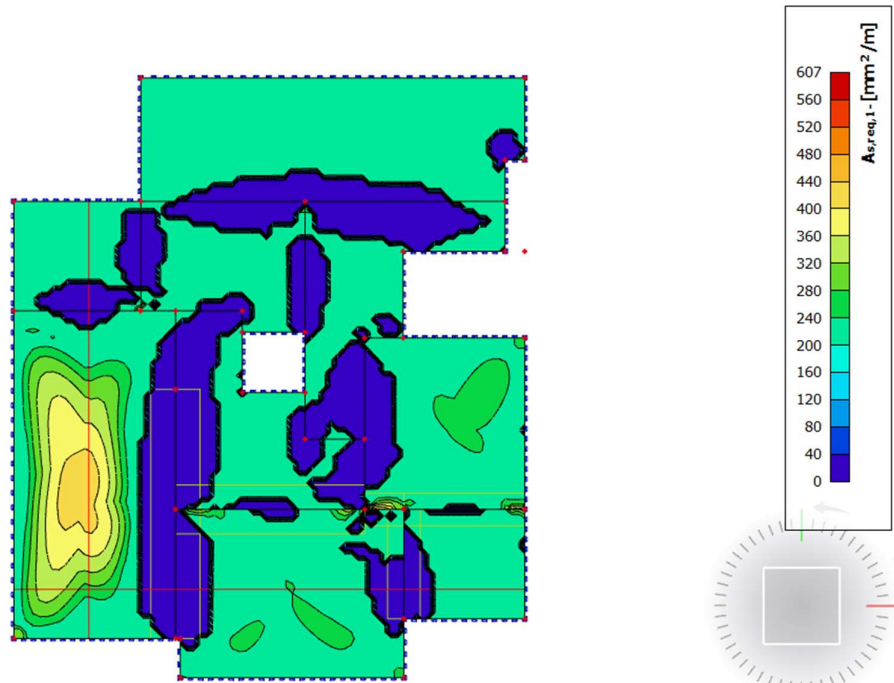
U prvom koraku trebamo iščitati potrebnu armaturu iz priloženih grafova. Nakon što smo očitali potrebnu armaturu provjeriti ćemo deformacije ploče za minimalnu armaturu te ćemo nakon toga zadati stvarnu armaturu i usporediti deformacije za granično stanje nosivosti i za granično stanje uporabljivosti.



Slika 37. Prikaz opterećenja ploče 001

Reinforcement 2D design

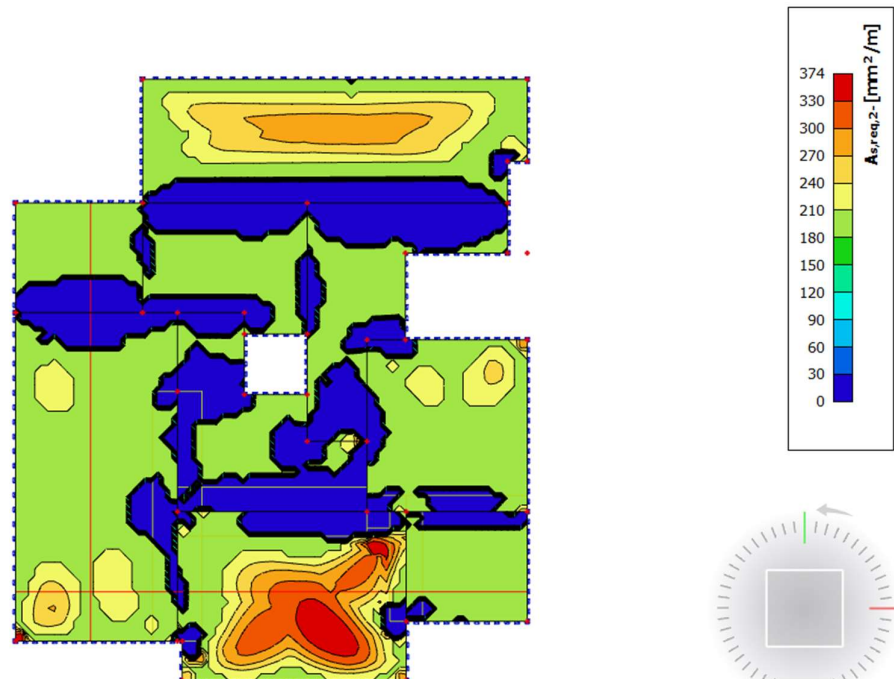
Values: $A_{s,req,1}$
Linear calculation
Combination: GSN
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element



Dijagram 43. Prikaz potrebne armature u donjoj zoni za smjer X

Reinforcement 2D design

Values: $A_{s,req,2}$
Linear calculation
Combination: GSN
Extreme: Global
Selection: All
Location: In nodes avg. on macro.
System: LCS mesh element

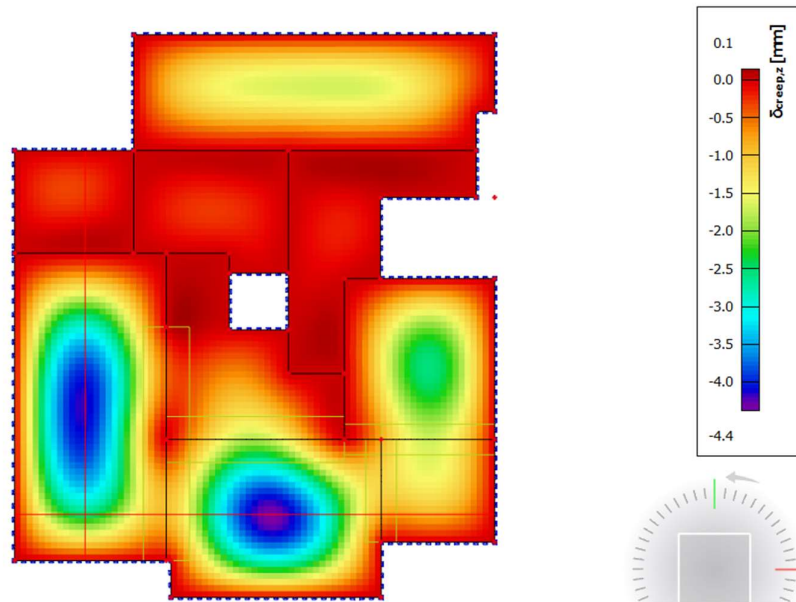


Dijagram 44. Prikaz potrebne armature u donjoj zoni za smjer y

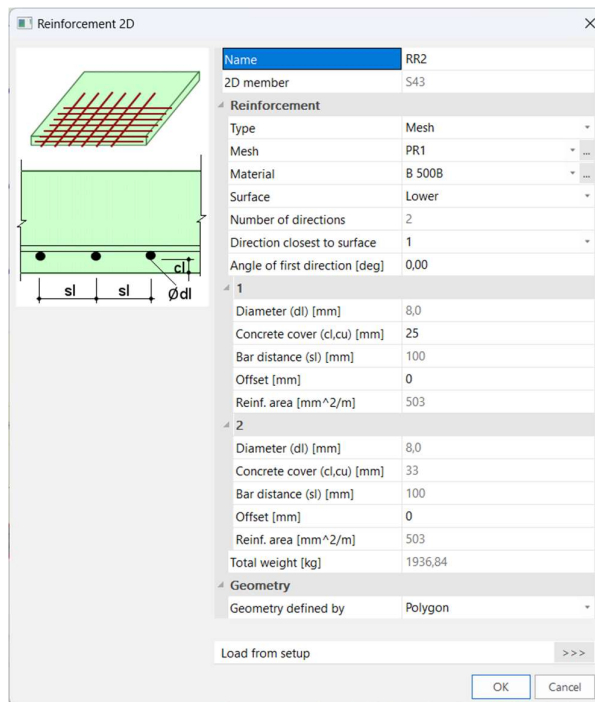
Iz priloženih dijagrama vidljivo je da je maksimalna armatura potrebna u polju 4.80 cm^2 . U prethodnim proračunima smo odabrali armaturu Q503 što zadovoljava uvijete u oba smjera.

Code dependent deflection

Values: $\delta_{creep,z}$
Linear calculation
Combination: GSUExtreme: Global
Selection: All
Location: In centres. System: LCS
mesh element
Components of internal forces parallel
with the rib are taken into account as
zero within the effective width of the
rib.
System: LCS mesh element
CDD selection: All



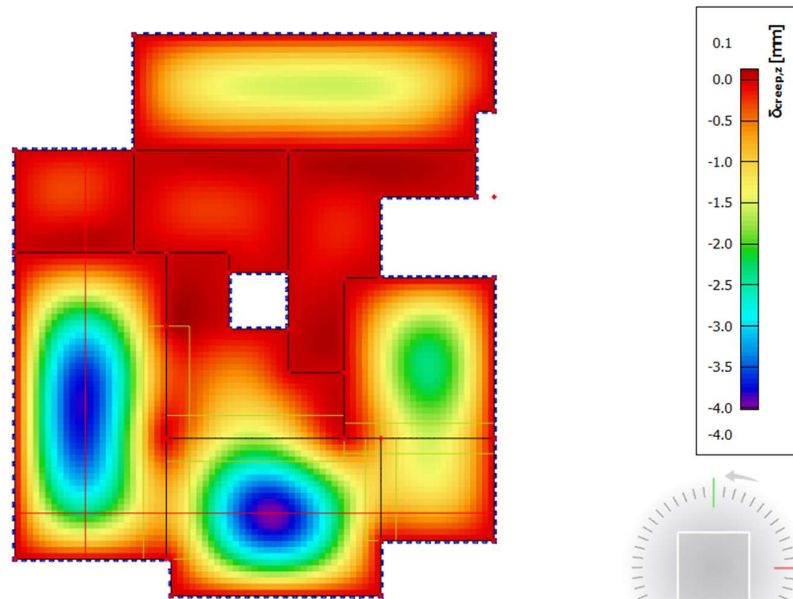
Dijagram 45. Prikaz deformacija za minimalnu potrebnu armaturu u ploči



Slika 38. Zadavanje armature u ploči

Code dependent deflection

Values: $\delta_{creep,z}$
Linear calculation
Combination: GSUExtreme: Global
Selection: All
Location: In centres. System: LCS
mesh element
Components of internal forces parallel
with the rib are taken into account as
zero within the effective width of the
rib.
System: LCS mesh element
CDD selection: All



Dijagram 46. Prikaz deformacija za stvarnu armaturu u ploči (Q503)

6.2. Metoda postupnog guranja – Pushover Analysis

Tradicionalni pristup u seizmičkim proračunima konstrukcija zasniva se na zadovoljavanju temeljnih zahtjeva provjerom graničnog stanja nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti elastičnim proračunom konstrukcije.

Da bi se izbjegao nelinearni proračun konstrukcije, kapacitet trošenja energije u konstrukciji uzima se u obzir provodeći linearni proračun koji se zasniva na reduciranim elastičnim spektrima odziva ubrzanja podloge. Redukcija se izvodi koeficijentom koji je u europskim metodama nazvan faktorom ponašanja q , a tako reducirani elastični spektri nazivaju se proračunskim spektrima.

Međutim, postoje nedostaci takvog pristupa, a oni su sljedeći:

- preporučene vrijednosti za faktor ponašanja su približne i ne predstavljaju nužno konkretnu konstrukciju
- kada ponašanje konstrukcije uđe u nelinearno područje dolazi do preraspodjela sila i deformiranja, što nije obuhvaćeno proračunom
- mehanizam koji dovodi do sloma ne može se predvidjeti elastičnom raspodjelom sila i deformiranja
- raspodjela i vrijednosti deformiranja u neelastičnom području nemaju nikakvu sličnost s onima u elastičnom području

Elastične metode, unatoč ovim nedostacima, zbog svoje jednostavnosti i pristupačnosti, zauzimaju glavno mjesto u današnjoj inženjerskoj praksi. Metoda postupnog guranja provodi se tako da se konstrukcija podvrgne monotono rastućem bočnom opterećenju. Takvo opterećenje predstavlja inercijske sile koje nastaju kao posljedica ubrzanja temeljnog tla. Postupnim povećavanjem bočnog opterećenja dolazi do progresivnog popuštanja elemenata konstrukcije, što dovodi do smanjenja njezine krutosti. Metoda postupnog guranja daje karakterističnu nelinearnu krivulju odnosa sile i pomaka, a najčešće se prikazuje kao odnos ukupne poprečne sile V u razini temelja i pomaka vrha zgrade D_t . Takav je prikaz vrlo zanimljiv jer istodobno daje podatke o nosivosti, duktilnosti i krutosti konstrukcije (Dijagram 47. i Dijagram 50.).

Vektor bočnog opterećenja \mathbf{P} određuje se na sljedeći način:

$$\mathbf{P} = p \cdot \mathbf{m} \cdot \Phi$$

gdje je p intenzitet bočnih sila, \mathbf{m} matrica masa i Φ pretpostavljeni oblik pomaka. [12]

6.3. Proračun maksimalne potresne sile linearnim proračunom

$$T_B \leq T \leq T_C \Rightarrow S_d(T_1) = \alpha_g \cdot S \cdot \eta \cdot \frac{2,5}{q} = 0,278g \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{2,5}{2,5} = 0,278g$$

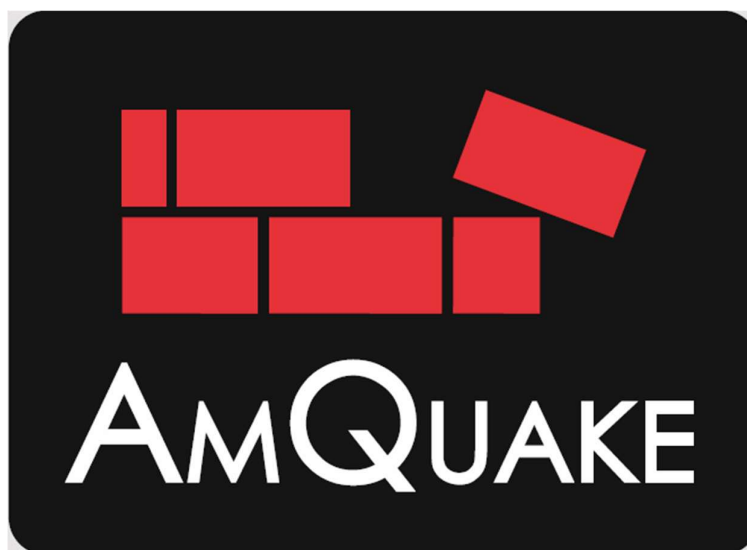
$$S_d(T_1) = 0,278g$$

$$F_b = S_d(T_1) \cdot \frac{W}{g} \cdot \lambda = 0,278g \cdot \frac{10.684.658,00}{g} \cdot 0,85 = 2.524,78 \text{ kN}$$
$$F_b = 2.524,78 \text{ kN}$$

6.4. Proračun u AmQuake-u

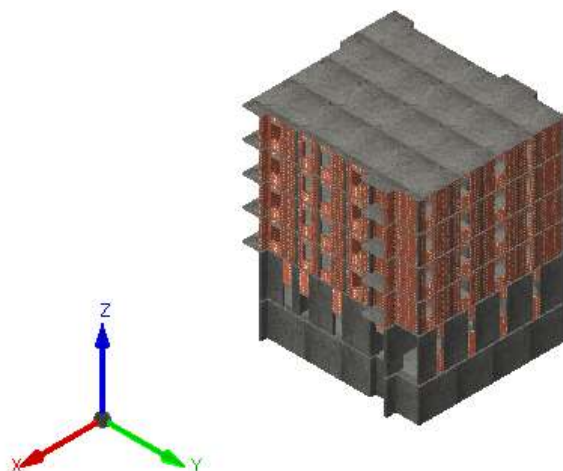
Nelinearni proračun smo proveli u računalnom programu AmQuake. Program AmQuake je Češkog podrijetla te primjenjuje metodu naguravanja koja je detaljno opisana u EN 1998-1 Annex. B.

Za pravilno zadavanje modela potrebno je definirati topologiju samog objekta i prema priručniku pravilno unijeti u sami program, i najmanja odstupanja mogu dovesti do pogrešnih rezultata. Nakon što smo unijeli topologiju potrebno je zadati karakteristike materijala i u konačnici izraditi prostorni model. Na kraju je potrebno zadati sva opterećenja i pokrenuti program.



Slika 39. Logotip

6.5. Prikaz rezultata



Tvrtka: FGAG U SPLITU, LIC 1

Slika 40. Prikaz prostornog modela

6.5.1. Informacije o projektu

Tvrtka: FGAG U SPLITU, LIC 1

Datum: lipanj 25, 2024

Program verzija: AmQuake Version 3.9 Build 16168

Proračun	Granična stanja	GSU - ciljana vrijednost [mm]	GSU kapacitet [mm]	Ciljani pomak za GSN x 1,50 [mm]:	GSN - kapacitet [mm]	Zaliha sigurnost i DLS [%]	Zaliha sigurnost i ULS [%]	Faktor prekoračenja čvrstoće	Max pogreška [%]
X+, exc. pos, tri	Ispravno	14,454	42,713	46,537	48,087	66,161	3,224	2,851	3,678
Y+, exc. pos, tri	Ispravno	12,723	39,136	42,279	42,973	67,491	1,617	2,706	0,366

Tablica 11.

6.5.2. Proračun parametara

Norma: Croatia

Razred važnosti: II

Gamma M	2,200
Gamma C	1,500
Gamma S	1,150
Gamma_Gp za postupno guranje	1,000
Gamma_Gs	1,350
Phi_L - postupno guranje	0,800
Psi_2L - postupno guranje	0,300
Gamma_QL - statika	1,500
Phi_S - postupno guranje	1,000
Psi_2S - postupno guranje	0,000
Gamma_Qs - statika	1,500
Psi_0,S - statika	0,500

Tablica 12. Koeficijenti

Materijal	Pomak zbog savijanja	Pomak zbog posmika
Ziđe	0,00800	0,00400
Armirano ziđe	0,00800	0,00400
Armirani beton	0,0110	0,0110

Tablica 13. Ograničenja međukatnog pomaka

Ograničenje oštećenja:	0,00500
Koef. pukotina:	0,500
Faktor važnosti(Gamma_I):	1,000
Prihvati srednju vrijednost(PushOver)	Da
P_d	1,500
P_F	0,800

Ekscentricitet opterećenja[%]:	5,000
--------------------------------	-------

Tablica 14. Ograničenja oštećenja

6.5.3. Upotrijebljeni materijali

#	Ime	Tip
9	POROTHERM 25 PROFI	Zidni elementi
10	BETON C25/30	Beton
11	BETON C30/37	Beton
12	Armatura d=8mm	Armatura
13	Armatura d=12mm	Armatura
14	Armatura d=16mm	Armatura
15	Ziđe	Ziđe
16	Armirani beton zid C30/37	Armirani beton
17	Vertikalni serklaž	Armirani beton
20	Stup 40x40	Armirani beton
21	Armirani beton zid C25/30	Armirani beton
22	Stup 25x40	Armirani beton
18	Nadvoji 25x25	Nadvoji
19	Hor. serklaž 19	Hor. serklaž

Tablica 15. Upotrijebljeni materijali

#	Ime	Volumen [m3]	Težina [kg]
15	Ziđe	219,360	171100,800
16	Armirani beton zid C30/37	235,558	588895,625
17	Vertikalni serklaž	20,850	52125,000
20	Stup 40x40	1,296	3240,000
21	Armirani beton zid C25/30	97,860	244650,000
22	Stup 25x40	2,400	6000,000

18	Nadvoji 25x25	9,259	23148,438
----	---------------	-------	-----------

Tablica 16. Volumeni materijala

Ime:	# 10: BETON C25/30		
Tip:	C25/30	E [MPa]:	31000,000
fck [MPa]:	25,000	G [MPa]:	12917,000
fcvk [MPa]:	0,450	fcm:	33,000
Gamma C:	1,500	Težina [kg/m3]:	2500,000
fcvm [MPa]:	0,833	?_cu3:	-0,00350
		?_c3:	-0,00175

Tablica 17. Karakteristike betona C25/30

Ime:	# 11: BETON C30/37		
Tip:	C30/37	E [MPa]:	33000,000
fck [MPa]:	30,000	G [MPa]:	13750,000
fcvk [MPa]:	0,450	fcm:	38,000
Gamma C:	1,500	Težina [kg/m3]:	2500,000
fcvm [MPa]:	0,833	?_cu3:	-0,00350
		?_c3:	-0,00175

Tablica 18. Karakteristike betona C30/37

Ime:	# 12: Armatura d=8mm		
Promjer [mm]:	8,000	Ploština [mm2]:	50,265
fyk [MPa]:	500,000	Gamma S:	1,150
E [MPa]:	210000,000	fyk / fym:	0,980

Tablica 19. Karakteristike armature

Ime:	# 13: Armatura d=12mm		
Promjer [mm]:	12,000	Ploština [mm2]:	113,097
fyk [MPa]:	500,000	Gamma S:	1,150
E [MPa]:	210000,000	fyk / fym:	0,980

Tablica 20. Karakteristike armature

Ime:	# 14: Armatura d=16mm		
Promjer [mm]:	16,000	Ploština [mm ²):	201,062
fyk [MPa]:	500,000	Gamma S:	1,150
E [MPa]:	210000,000	fyk / fym:	0,980

Tablica 21. Karakteristike armature

Ime:	# 15: Zide		
Zidni element (blok):		Mort:	
Ispunsko zide:	Ne		
fk [MPa]:	4,950	fk _h [MPa]:	0,569
fvk0 [MPa]:	0,300	E [MPa]:	4950,000
fvlt [MPa]:	0,517	G [MPa]:	1980,000
fxk1 [MPa]:	0,000	Težina [kg/m ³):	780,000
fxk2 [MPa]:	0,000	Gamma M:	2,200
rho n:	0,750	Omjer r:	0,500
rho t:	1,000	fk / fmean:	0,833
?_mu:	-0,00200	Phi_fvk:	0,400
?_m:	-0,00100	Phi_fvlt:	0,000

Tablica 22. Karakteristike zida

Ime:	# 16: Armirani beton zid C30/37		
Beton:	BETON C30/37		
rho n:	0,750	rho t:	1,000
Vertikalno Armatura: Da			
Armatura	Armatura d=8mm		
Redovi:	2		
Razmak lijevog serklaža (s_vl)[m]:	0,0750	Razmak desnog serklaža (s_vr)[m]:	0,0750
Veličina lijevog serklaža (l_vl)[m]:	0,100	Veličina desnog serklaža (l_vr)[m]:	0,100

Zadani razmak (s_v)[m]:	0,150	Zaštitini sloj [mm]:	30,000
Apsolutan Armatura: Ne			
Spone: Da			
Spone:	Armatura d=8mm		
Razmak vilica [m]:	0,150	Podružnice:	2,000

Tablica 23. Karakteristike AB zida

Ime:	# 17: Vertikalni serklaž				
Beton:	BETON C25/30				
rho n:	0,750	rho t:	1,000		
Vertikalno Armatura: Ne					
Apsolutan Armatura: Da					
Broj šipki :	4				
b [m]:	0,250	h [m]:	0,250		
bar # 1, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 2, x [m]:	0,225	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 3, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,225	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 4, x [m]:	0,225	y [m]:	0,225	Mat:	Armatura d=16mm
Spone: Da					
Spone:	Armatura d=8mm				
Razmak vilica [m]:	0,150	Podružnice:	2,000		

Tablica 24. Karakteristike vertikalnog serklaža

Ime:	# 20: Stup 40x40		
Beton:	BETON C30/37		
rho n:	0,750	rho t:	1,000
Vertikalno Armatura: Ne			
Apsolutan Armatura: Da			
Broj šipki :	4		

b [m]:	0,400	h [m]:	0,400		
bar # 1, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 2, x [m]:	0,375	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 3, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,375	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 4, x [m]:	0,375	y [m]:	0,375	Mat:	Armatura d=16mm
Spone: Da					
Spone:		Armatura d=8mm			
Razmak vilica [m]:		0,300	Podružnice:		2,000

Tablica 25. Karakteristike stupa 40x40

Ime:	# 21: Armirani beton zid C25/30		
Beton:	BETON C25/30		
rho n:	0,750	rho t:	1,000
Vertikalno Armatura: Da			
Armatura		Armatura d=8mm	
Redovi:		2	
Razmak lijevog serklaža (s_vl)[m]:		0,0750	Razmak desnog serklaža (s_vr)[m]: 0,0750
Veličina lijevog serklaža (l_vl)[m]:		0,100	Veličina desnog serklaža (l_vr)[m]: 0,100
Zadani razmak (s_v)[m]:		0,150	Zaštitini sloj [mm]: 25,000
Apsolutan Armatura: Ne			
Spone: Da			
Spone:		Armatura d=8mm	
Razmak vilica [m]:		0,150	Podružnice: 2,000

Tablica 26. Karakteristike AB zida

Ime:	# 22: Stup 25x40		
Beton:	BETON C25/30		
rho n:	0,750	rho t:	1,000

Vertikalno Armatura: Ne					
Apsolutan Armatura: Da					
Broj šipki :		6			
b [m]:		0,250		h [m]: 0,400	
bar # 1, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 2, x [m]:	0,200	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 3, x [m]:	0,375	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 4, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,225	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 5, x [m]:	0,200	y [m]:	0,225	Mat:	Armatura d=16mm
bar # 6, x [m]:	0,375	y [m]:	0,225	Mat:	Armatura d=16mm
Spone: Da					
Spone:		Armatura d=8mm			
Razmak vilica [m]:		0,200		Podružnice: 2,000	

Tablica 27. Karakteristike stupa 25x40

Ime:		# 18: Nadvoji 25x25			
Beton:		BETON C25/30			
h [m]:		0,250		b [m]: 0,250	
Apsolutan Armatura: Da					
Broj šipki :		4			
bar # 1, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=12mm
bar # 2, x [m]:	0,225	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=12mm
bar # 3, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,225	Mat:	Armatura d=12mm
bar # 4, x [m]:	0,225	y [m]:	0,225	Mat:	Armatura d=12mm
Spone: Da					
Spone:		Armatura d=8mm			
Razmak vilica [m]:		0,150		Podružnice: 2,000	

Tablica 28. Karakteristike nadvoja

Ime:	# 19: Hor. serklaž 19				
Beton:	BETON C25/30				
h [m]:	0,300	b [m]:	0,250		
Apsolutan Armatura: Da					
Broj šipki :	4				
bar # 1, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=12mm
bar # 2, x [m]:	0,0250	y [m]:	0,275	Mat:	Armatura d=12mm
bar # 3, x [m]:	0,225	y [m]:	0,0250	Mat:	Armatura d=12mm
bar # 4, x [m]:	0,225	y [m]:	0,275	Mat:	Armatura d=12mm
Spone: Da					
Spone:	Armatura d=8mm				
Razmak vilica [m]:	0,150	Podružnice:	2,000		

Tablica 29. Karakteristika horizontalnog serklaža

ID #	Ploština [m ²]	Visina [m]	Z	Broj geometrijskih točaka	Hor. serklaž
112	282,348	0,200	3,600	24	
127	307,190	0,200	8,300	18	Hor. serklaž 19
142	307,190	0,200	11,500	18	Hor. serklaž 19
157	307,190	0,200	14,700	18	Hor. serklaž 19
606	307,190	0,200	17,900	18	Hor. serklaž 19
607	307,190	0,200	21,100	18	Hor. serklaž 19

Tablica 30. Karakteristika ploča

6.5.4. Potresni parametri

Potresno područje 0

Kategorija tla:: A

Tip spektra: 1

Omjer prigušenja : 5,000

Najveće ubrzanje: 2,727

Ubrzanje ua GSU: 1,363

Faktor tla (S):: 1,000

Period B: 0,100

Period C: 0,400

Period D: 2,000

Dinamički amplif. faktor beta0: 2,500

6.5.5. Opterećenje stropa

Ime	Stalno opterećenje [kN/m ²]	Stalno opterećenje [kN/m ²]	Gamma_Gp za postupno guranje	Gamma_Gs
Strop 0,000 - 3,800	1,000	1,450	1,000	1,350
Strop 3,800 - 8,500	1,000	1,450	1,000	1,350
Strop 8,500 - 11,700	1,000	1,450	1,000	1,350
Strop 11,700 - 14,900	1,000	1,450	1,000	1,350
Strop 14,900 - 18,100	1,000	1,450	1,000	1,350
Strop 18,100 - 21,300	1,000	0,520	1,000	1,350

Tablica 31. Prikaz opterećenja ploča

Ime	Uporabno opterećenje [kN/m ²]	Phi_L - postupno guranje	Psi_2L - postupno guranje	Gamma_QL - statika
Strop 0,000 - 3,800	4,000	0,800	0,300	1,500
Strop 3,800 - 8,500	2,000	0,800	0,300	1,500
Strop 8,500 - 11,700	2,000	0,800	0,300	1,500

Strop 11,700 - 14,900	2,000	0,800	0,300	1,500
Strop 14,900 - 18,100	2,000	0,800	0,300	1,500
Strop 18,100 - 21,300	1,000	0,800	0,300	1,500

Tablica 32. Prikaz opterećenja ploča

Ime	Opterećenje snjgom [kN/m ²]	Phi_S - postupno guranje	Psi_2S - postupno guranje	Gamma_Qs - statika	Psi_0,S - statika
Strop 0,000 - 3,800	0,000	1,000	0,000	1,500	0,500
Strop 3,800 - 8,500	0,000	1,000	0,000	1,500	0,500
Strop 8,500 - 11,700	0,000	1,000	0,000	1,500	0,500
Strop 11,700 - 14,900	0,000	1,000	0,000	1,500	0,500
Strop 14,900 - 18,100	0,000	1,000	0,000	1,500	0,500
Strop 18,100 - 21,300	0,000	1,000	0,000	1,500	0,500

Tablica 33. Prikaz opterećenja ploča

6.5.6. Rezultati

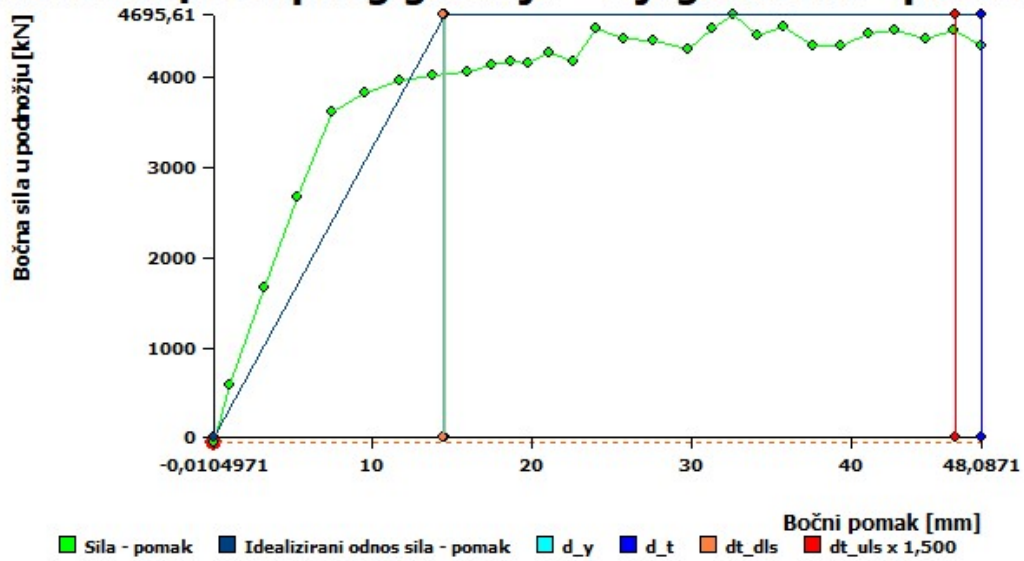
Proračun X+, exc. pos, tri

Sažetak:

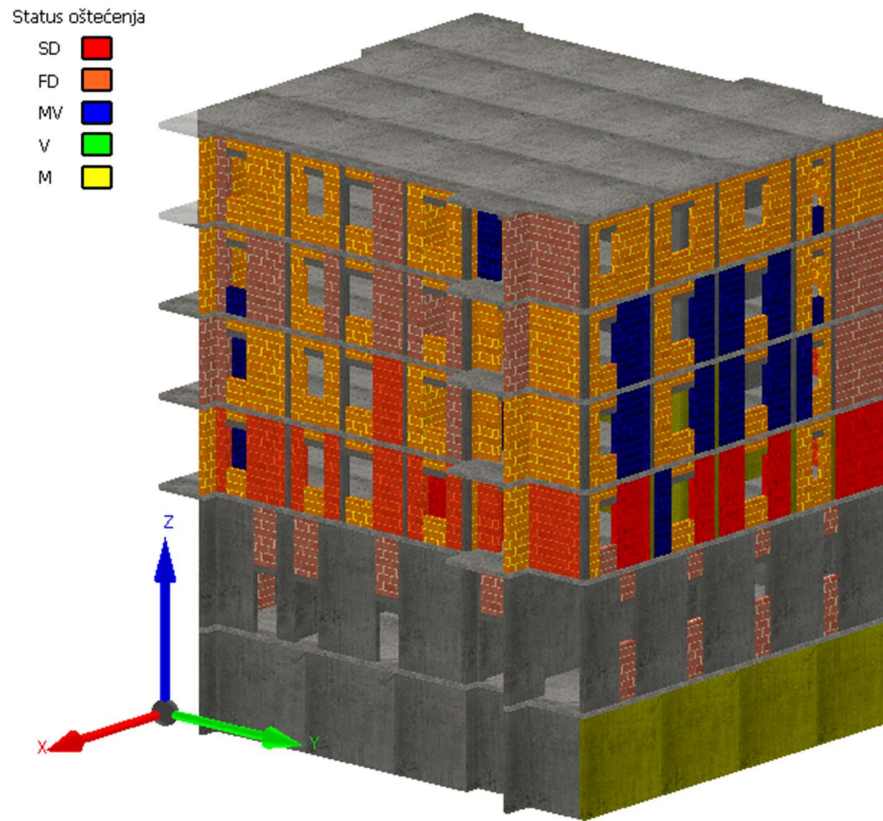
Ciljani pomak za GSU [mm]: = dt_dls	14,454
GSU kapacitet [mm]	42,713
Ciljani pomak za GSN x 1,50 [mm] = dt_uls x 1,50:	46,537
GSN - kapacitet [mm] = d_t	48,087
Zaliha sigurnosti DLS [%]	66,161
Zaliha sigurnosti ULS [%]	3,224
Max pogreška [%]	5,180
Kat	3
RShift	0,00474
Dls Kriterij	2,955
RShift Kriterij	0,947
Uls Kriterij	1,033
Dls Korak Id	26
Uls Korak Id	29
Period T Norm.	0,349
Max referentno ubrzanje tla [m/s ²]	2,812
Duktilnost	4,570
Faktor prekor. čvrstoće	2,851
Elastic displacement [mm] = d_y	14,474

Tablica 34. Rezultati proračuna smjer X

Proračun postupnog guranja - dijagram sila - pomak



Dijagram 47. Dijagram sila-pomak

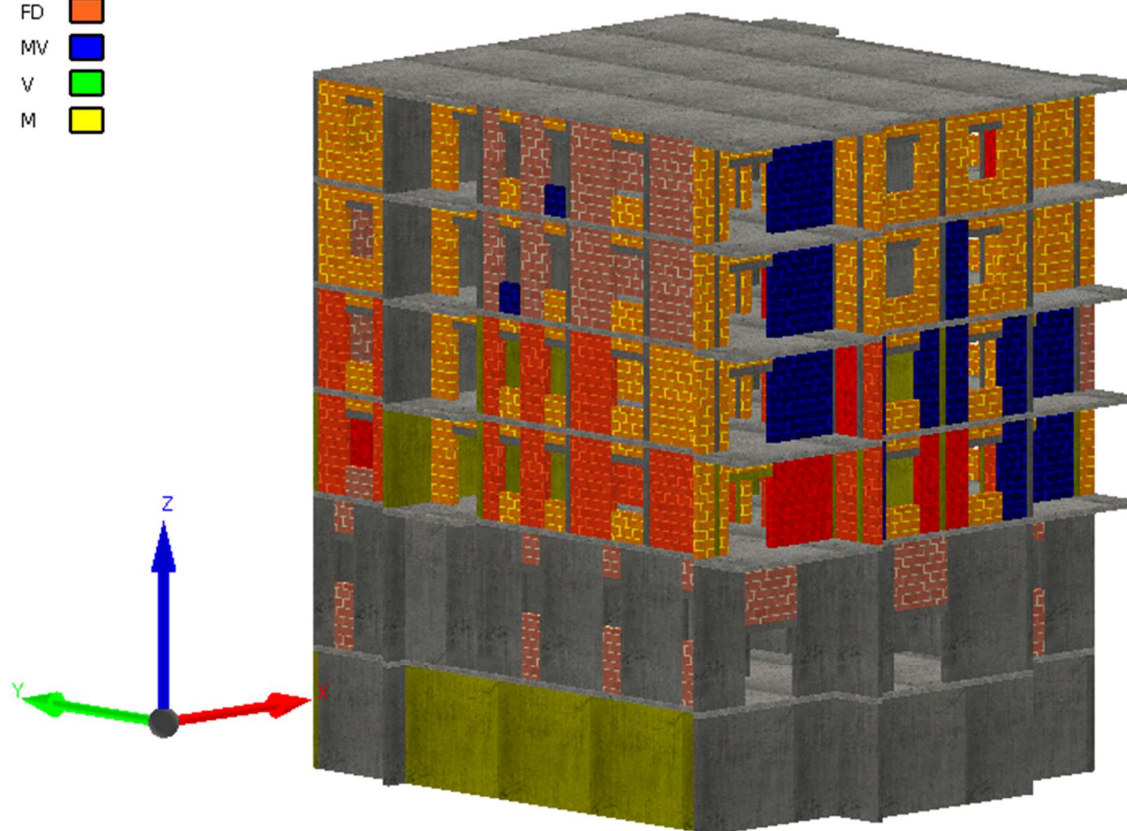


Tvrtka: FGAG - B TROGRILIC

Slika 41. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)

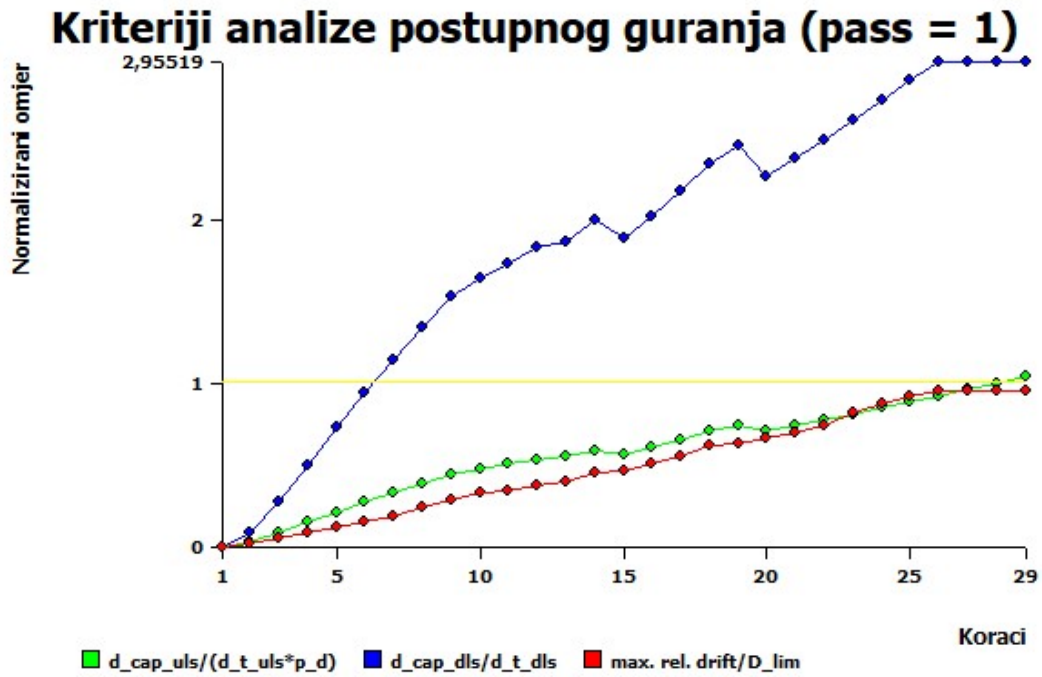
Status oštećenja

- SD ■
- FD ■
- MV ■
- V ■
- M ■



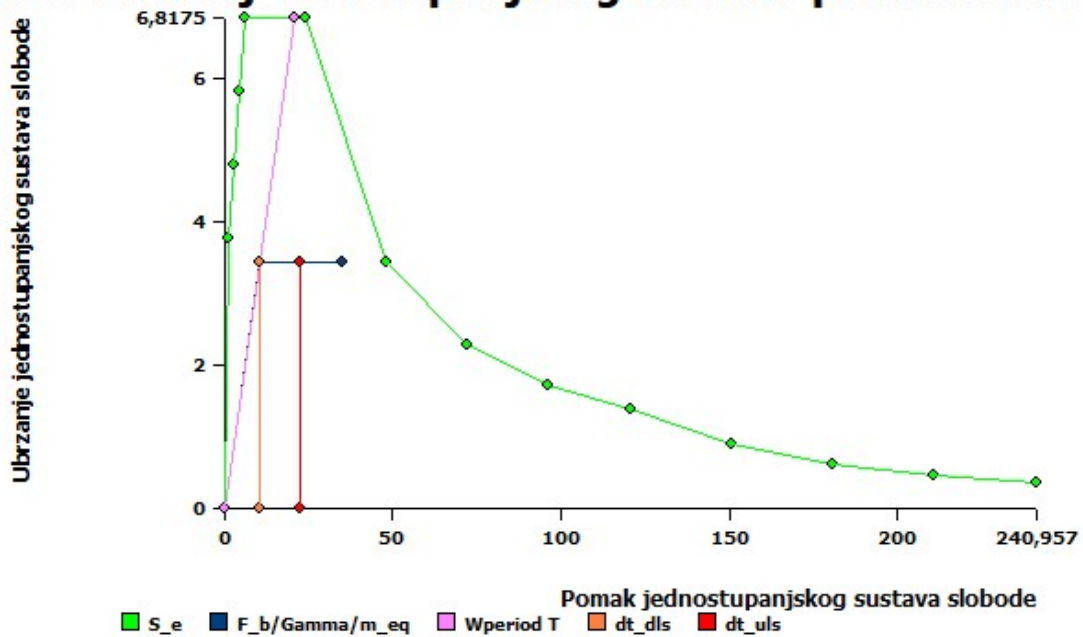
Tvrtka: FGAG - B TROGRLIC

Slika 42. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)



Dijagram 48. Kriterij analize postupnog guranja

ktar odziva jednostupanjskog sustava prema norm.



Dijagram 49. Kriterij analize postupnog guranja

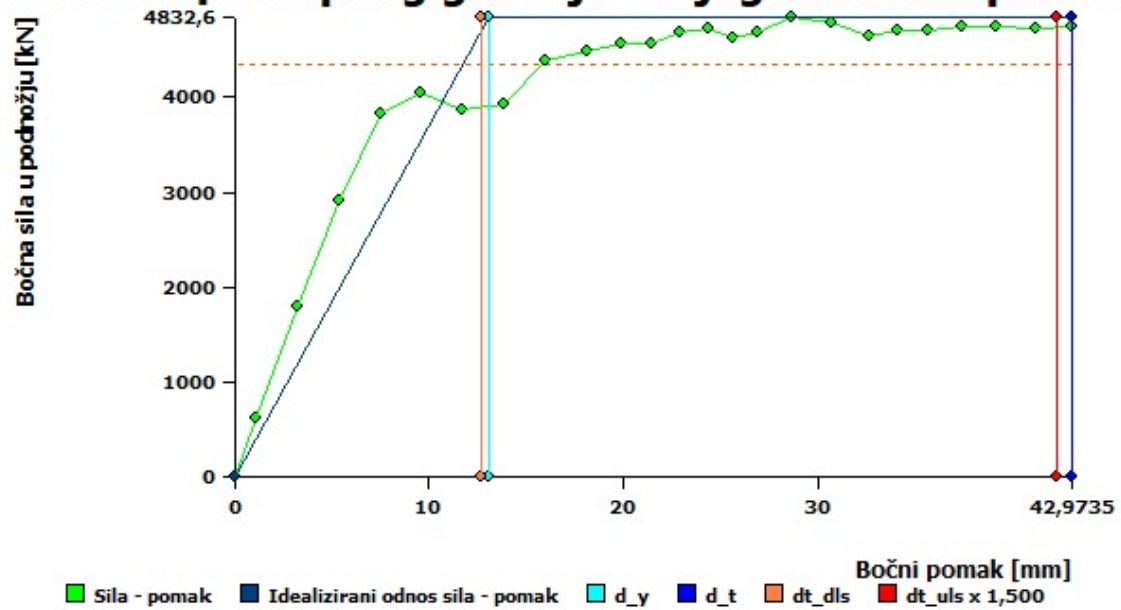
Proračun Y+, exc. pos, tri

Sažetak

Ciljani pomak za GSU [mm]: = dt_dls	12,723
GSU kapacitet [mm]	39,136
Ciljani pomak za GSN x 1,50 [mm] = dt_uls x 1,50:	42,279
GSN - kapacitet [mm] = d_t	42,973
Zaliha sigurnosti DLS [%]	67,491
Zaliha sigurnosti ULS [%]	1,617
Max pogreška [%]	5,180
Kat	3
RShift	0,00496
Dls Kriterij	3,076
RShift Kriterij	0,992
Uls Kriterij	1,016
Dls Korak Id	23
Uls Korak Id	25
Period T Norm.	0,327
Max referentno ubrzanje tla [m/s ²]	2,768
Duktilnost	4,509
Faktor prekor. čvrstoće	2,706
Elastic displacement [mm] = d_y	13,112

Tablica 35. Rezultati proračuna smjer Y

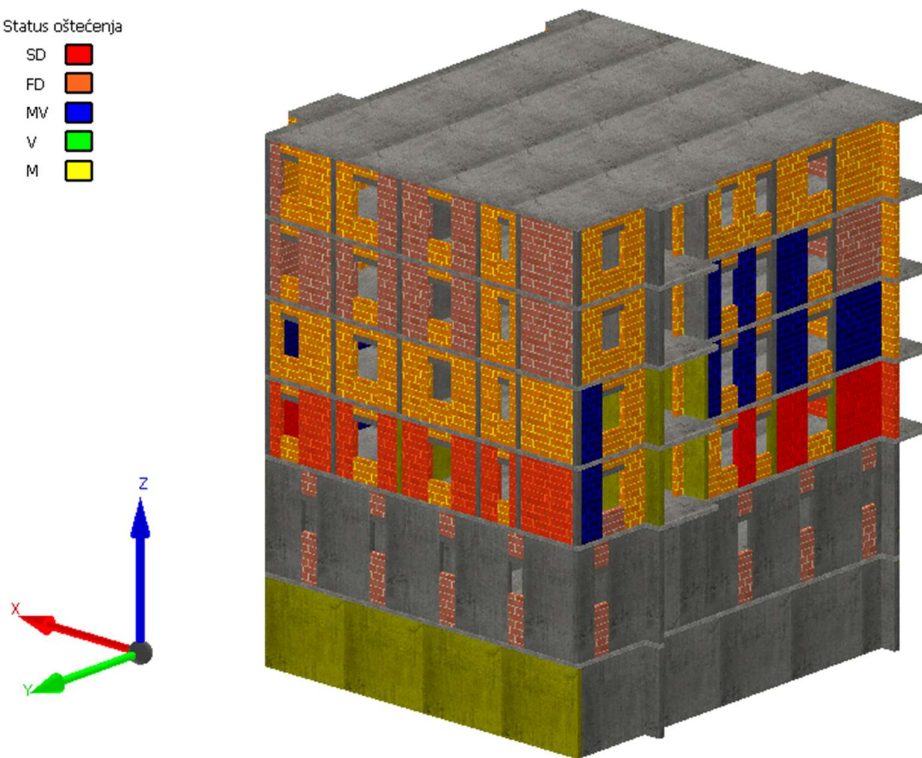
Proračun postupnog guranja - dijagram sila - pomak



Dijagram 50. Dijagram sila-pomak

Status oštećenja

- SD ■
- FD ■
- MV ■
- V ■
- M ■

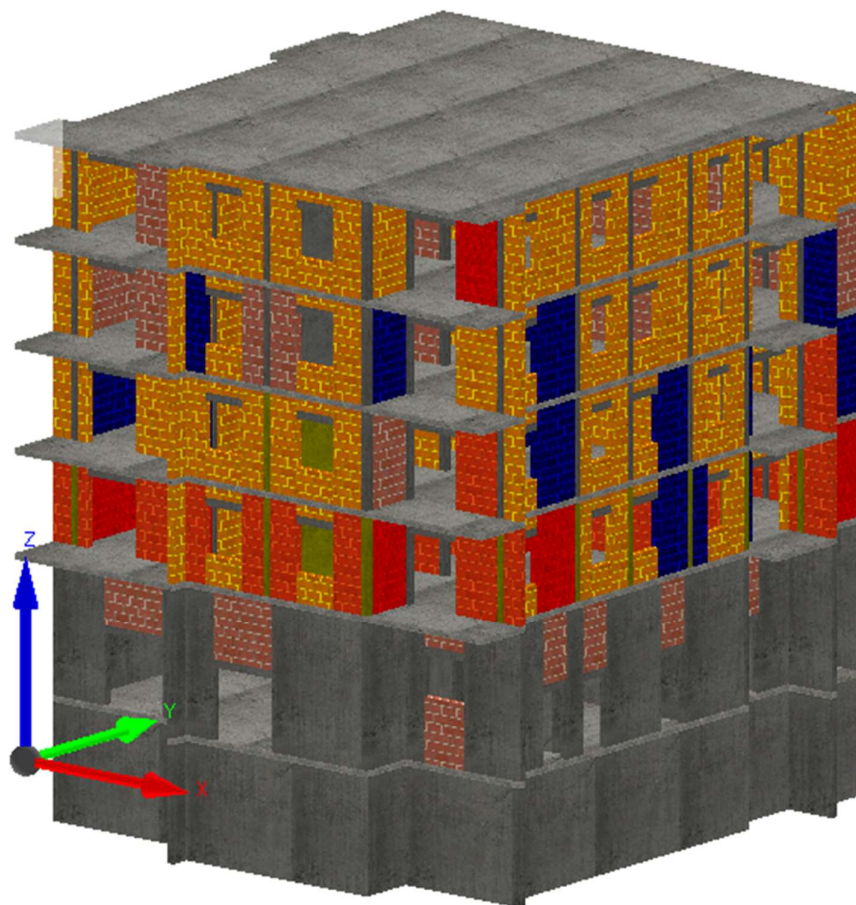


Tvrтка: FGAG - B TROGRLIC

Slika 43. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)

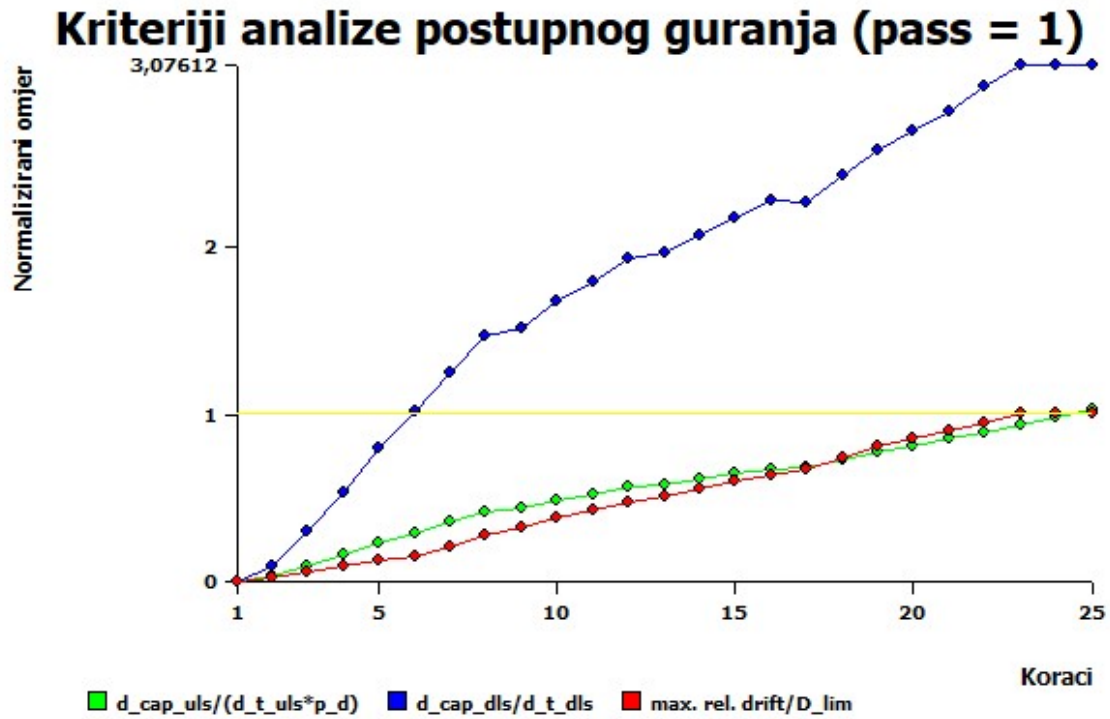
Status oštećenja

- SD ■
- FD ■
- MV ■
- V ■
- M ■

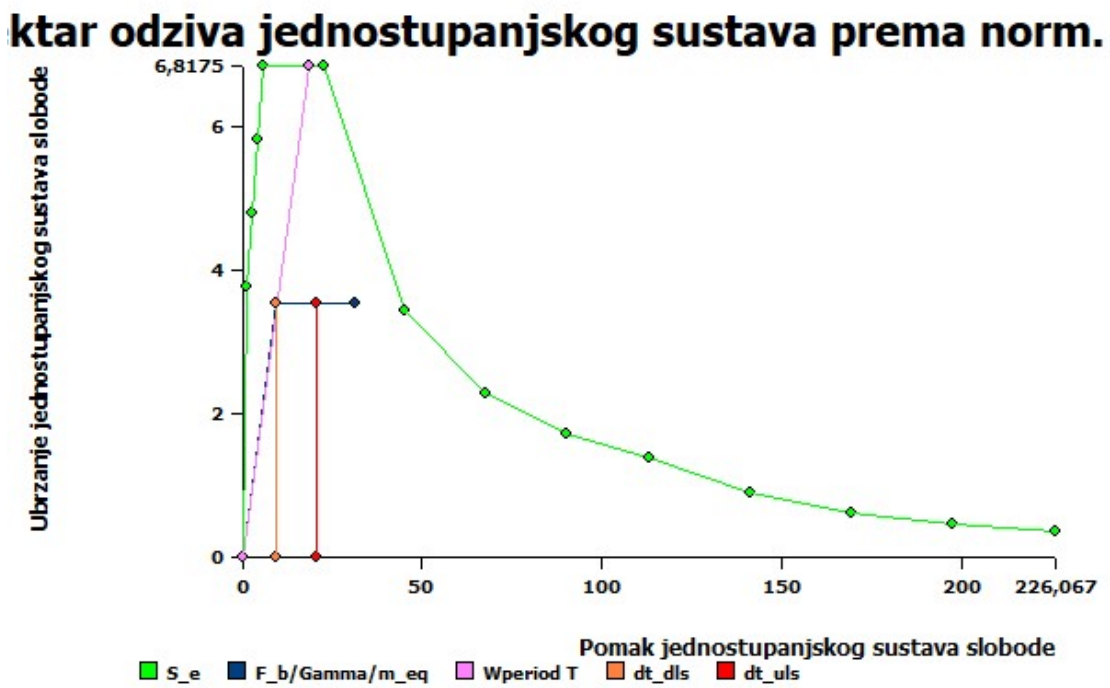


Tvrtka: FGAG - B TROGRLIC

Slika 43. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)



Dijagram 51. Kriterij analize postupnog guranja



Dijagram 52. Spektar odziva jednostupanjskog sustava

7. USPOREDBA REZULTATA

U ovom diplomskom radu smo proračunavali konstrukciju metodama linearnih proračuna i metodama nelinearnih proračun i u konačnici ćemo usporediti rezultate.

Za proračunavanje potrebne armature u pločama se koristimo linearnom metodom proračuna, a tek naknadno kada dodamo armaturu dobivamo nelinearne proračune deformacija. Za usporedbu smo prikazali deformacije linearnim proračunom ([Dijagram 11.](#)), nelinearnim proračunom sa minimalnom potrebnom armaturom ([Dijagram 45.](#)) i nelinearnim proračunom sa odabranom armaturom ([Dijagram 46.](#)). Iz priloženih dijagrama vidljivo je da su deformacije dobivene nelinearnim proračunom značajno veće od onih dobivenih linearnim proračunom. Isto tako iz priloženih dijagrama vidimo kako dodavanjem veće količine armature smanjujemo deformacije u samoj ploči.

Prilikom proračuna zidova na vertikalna i horizontalna opterećenja koristili smo se pojednostavljenim linearnim metodama i nelinearnom metodom (metoda naguravanja). Prilikom izračunavanja maksimalne potresne sile pojednostavljenom linearnom metodom ([poglavlje 6.3.](#)) dobili smo maksimalnu potresnu silu u iznosu 2.524,78 kN, a prilikom nelinearne metode naguravanja smo analizirali deformacije konstrukcije pri znatno većem opterećenju 4.832,60 kN ([Dijagram 50.](#)). Iz priloženih rezultata je vidljivo da se kod primjene nelinearnih metoda koriste puno veće sile za proračune te se time dodatno osiguravamo od mogućih pukotina u konstrukciji. Metode nelinearnih proračuna su točnije ali iziskuju naprednija znanje o samom potresnom djelovanju nego kod linearnih proračuna.

8. LITERATURA

- [1] Trogrlić B. Zidane konstrukcije- predavanja, Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, 2018.
- [2] <https://www.wienerberger.hr/>
- [3] Radnić J., Harapin A. Osnove betonskih konstrukcija – Interna skripta, Split 2015.
- [4] Karte potresnih područja Republike Hrvatske (gfz.hr)
- [5] Mihanović A., Dinamika konstrukcija, udžbenici Sveučilišta u Splitu, Split, 1995.
- [6] Europska norma EN 1992 – Projektiranje betonskih konstrukcija, 2004.
- [7] Europska norma EN 1996 – Projektiranje zidanih konstrukcija, 2004.
- [8] Europska norma EN 1997 – Geotehničko projektiranje, 2004.
- [9] Europska norma EN 1998 – Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija, 2004.
- [10] Mišćević P., Geotehničko inženjerstvo – predavanja, Split, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije Split, 2017.
- [11] Tehnički propis za građevinske konstrukcije
- [12] Saša Mitrović, Mehmed Čaušević, Nelinearni statički seizmički proračuni konstrukcija, GRAĐEVINAR 61 (2009) 6, 521-531.
- [13] Jan Červenka, Libor Jendele, Zdenka Janda, AmQuake Program Documentation, 12.04.2016.

Korišteni računalni programi:

1. AutoCad 2021.
2. Scia Engineer 22.1.
3. Microsoft Word
4. Microsoft Excel
5. AmQuake

Popis slika:

<i>Slika 1. Karakteristike opeke dobivene od proizvođača</i>	3
<i>Slika 2. Porotherm 25 S</i>	4
<i>Slika 3. Omeđeno zide</i>	6
<i>Slika 4. Ispitivanje tlačne čvrstoće zida</i>	8
<i>Slika 5. Ispitivanje posimične čvrstoće zida</i>	9
<i>Slika 6. Ispitivanje posimične čvrstoće zida na licu mjesta</i>	10
<i>Slika 7. Prikaz otkazivanja paralelno sa horizontalnim ili sa vertikalnim sljubnicama</i>	10
<i>Slika 8. Slojevi ravnog krova</i>	16
<i>Slika 9. Slojevi poda međukatne ploče</i>	17
<i>Slika 10. Slojevi stubišta</i>	17
<i>Slika 11. Slojevi poda balkona</i>	18
<i>Slika 12. Grafički prikaz vjetrovnih zona Republike Hrvatske</i>	20
<i>Slika 13. Zemljovid područja opterećenja vjetrom</i>	21
<i>Slika 14. Seizmološka karta Republike Hrvatske</i>	23
<i>Slika 15. Seizmički parametri za Grad Trilj</i>	24
<i>Slika 16. 3D model zgrade</i>	27
<i>Slika 17. Prikaz opterećenja na krovnu ploču</i>	27
<i>Slika 18. Prikaz opterećenja na međukatnu konstrukciju stambenog dijela zgrade</i>	28
<i>Slika 19. Prikaz opterećenja na međukatnu konstrukciju (poslovni dio zgrade)</i>	28
<i>Slika 20. Prikaz opterećenja vjetrom</i>	28
<i>Slika 21. Prikaz spektra odaziva TIP 1</i>	29
<i>Slika 22. Prikaz spektra odaziva TIP 2</i>	30
<i>Slika 23. Karakteristike seizmičkog opterećenja</i>	30
<i>Slika 24. Kombinacije opterećenja</i>	31
<i>Slika 25. Plan pozicija AB greda</i>	39
<i>Slika 26. Prikaz pozicije stupa</i>	44
<i>Slika 27. Pozicija karakterističnog zida</i>	46
<i>Slika 28. Prikaz reznih sila karakterističnog zida</i>	47
<i>Slika 29. Shematski prikaz armiranja zida</i>	52
<i>Slika 30. Model podrumskog zida</i>	60
<i>Slika 31. Prikaz utjecajnih ploha za karakteristični zid na ravnom krovu</i>	63
<i>Slika 32. Prikaz utjecajnih ploha za karakteristični zid na karakterističnoj etaži</i>	63
<i>Slika 33. Međudjelovanje konstrukcija – tlo modelirano Winkler- ovim modelom</i>	65
<i>Slika 34. Winklerov model (a) i stvarni nosač (b)</i>	66
<i>Slika 35. Model trakastih temelja</i>	66
<i>Slika 36. Model fleksibilnih linijskih ležajeva</i>	67
<i>Slika 37. Prikaz opterećenja ploče 001</i>	72
<i>Slika 38. Zadavanje armature u ploči</i>	74
<i>Slika 39. Logotip</i>	77
<i>Slika 40. Prikaz prostornog modela</i>	78
<i>Slika 41. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)</i>	90
<i>Slika 42. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)</i>	91
<i>Slika 43. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)</i>	94
<i>Slika 43. Oštećenje u zadnjem koraku, deformacija (smjer X)</i>	95

Popis dijagrama:

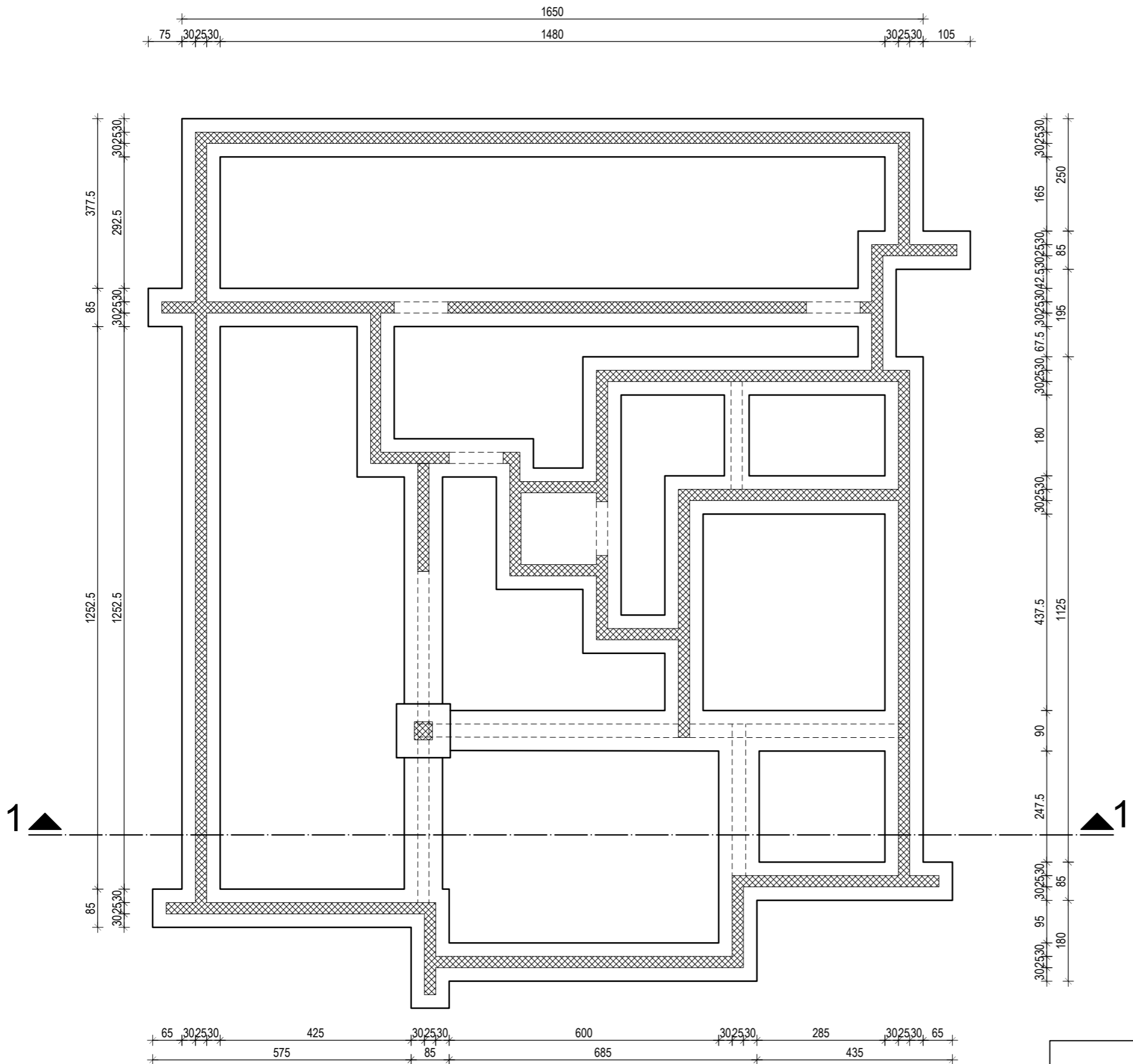
<i>Dijagram 1. Ovisnost posimične čvrstoće i tlačnog naprezanja</i>	9
<i>Dijagram 2. Naprezanja-deformacija</i>	12
<i>Dijagram 3. Radni dijagram betona</i>	13
<i>Dijagram 4. Radni dijagram čelika</i>	14
<i>Dijagram 5. Preporučeni elastični spektar odaziva tipa I za tla tipa A do E za 5%-tno prigušenje</i>	25
<i>Dijagram 6. Računski moment savijanja krovne ploče u smjeru x i y za $q_{sd}=1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$</i>	33
<i>Dijagram 7. Progib krovne ploče</i>	34
<i>Dijagram 8. Računski moment savijanja ploče 101 u smjeru x i y za $q_{sd}=1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$</i>	35
<i>Dijagram 9. Progib ploče 101</i>	36
<i>Dijagram 10. Računski moment savijanja ploče 001 u smjeru x i y za $q_{sd}=1,35 \cdot G+1,5 \cdot Q$</i>	37
<i>Dijagram 11. Progib ploče 001 za kombinaciju GSU</i>	38
<i>Dijagram 12. Momenti sila grede 001</i>	39
<i>Dijagram 13. Uzdužne sile</i>	40
<i>Dijagram 14. Prikaz potrebne armature</i>	40
<i>Dijagram 15. Prikaz potrebnih vilica</i>	41
<i>Dijagram 16. Momenti sila grede 002</i>	41
<i>Dijagram 17. Uzdužne sile</i>	41
<i>Dijagram 18. Prikaz potrebne armature</i>	42
<i>Dijagram 19. Prikaz potrebnih vilica</i>	42
<i>Dijagram 20. Rezne sile grede 003</i>	43
<i>Dijagram 21. Prikaz potrebne armature</i>	43
<i>Dijagram 22. Proračun potrebnih vilica</i>	44
<i>Dijagram 23. Rezne sile stupa</i>	45
<i>Dijagram 24. Prikaz potrebne armature</i>	45
<i>Dijagram 25. Vlačna i tlačna naprezanja σ_x i σ_y za kombinaciju GSU</i>	53
<i>Dijagram 26. Posimična naprezanja τ_{xy} za kombinaciju GSU</i>	53
<i>Dijagram 27. Normalna naprezanja σ_1 i σ_2 za kombinaciju GSU</i>	54
<i>Dijagram 28. Trajektorije normalnih naprezanja za kombinaciju GSU</i>	54
<i>Dijagram 29. Iznosi maksimalnih normalnih naprezanja i smjer djelovanja za kombinaciju GSU</i>	55
<i>Dijagram 30. Vlačna i tlačna naprezanja σ_x i σ_y za anvelopu svih opterećenja</i>	56
<i>Dijagram 31. Posimična naprezanja τ_{xy} za anvelpu svih opterećenja</i>	56
<i>Dijagram 32. Normalna naprezanja σ_1 i σ_2 za anvelopu svih opterećenja</i>	57
<i>Dijagram 33. Trajektorije normalnih naprezanja za anvelopu svih opterećenja</i>	57
<i>Dijagram 34. Iznosi i smjer djelovanja maksimalnih normalnih naprezanja za anvelopu svih opterećenja</i>	58
<i>Dijagram 35. Tlačne i vlačne sile n_x i n_y za anvelopu svih opterećenja</i>	59
<i>Dijagram 36. Prikaz modela i dijagram momenata</i>	60
<i>Dijagram 37. prikaz unutrašnjih naprezanja i ukupna tlačna sila u zidanom zidu</i>	62
<i>Dijagram 38. Prikaz kontaktnih naprezanja za kombinaciju opterećenja GSU</i>	67
<i>Dijagram 39. Prikaz kontaktnih naprezanja za anvelopu svih opterećenja</i>	68
<i>Dijagram 40. Prikaz maksimalnih naprezanja u temeljima za kombinaciju opterećenja GSU</i>	69
<i>Dijagram 41. Prikaz maksimalnih momenata savijanja u temeljima ta kombinaciju opterećenja GSU</i>	70
<i>Dijagram 42. Prikaz slijeganja temelja za kombinaciju opterećenja GSU</i>	71
<i>Dijagram 43. Prikaz potrebne armature u donjoj zoni za smjer X</i>	73
<i>Dijagram 44. Prikaz potrebne armature u donjoj zoni za smjer y</i>	73
<i>Dijagram 45. Prikaz deformacija za minimalnu potrebnu armaturu u ploči</i>	74
<i>Dijagram 46. Prikaz deformacija za stvarnu armaturu u ploči (Q503)</i>	75
<i>Dijagram 47. Dijagram sila-pomak</i>	90
<i>Dijagram 48. Kriterij analize postupnog guranja</i>	92
<i>Dijagram 49. Kriterij analize postupnog guranja</i>	92
<i>Dijagram 50. Dijagram sila-pomak</i>	94
<i>Dijagram 51. Kriterij analize postupnog guranja</i>	96

Dijagram 52. Spektar odziva jednostupanjskog sustava 96

Popis tablica:

Tablica 1. Volumenski sastav morta 5
Tablica 2. Koeficijenti K za različite vrste morta i tipove zidnih elemenata 7
Tablica 3. Vrijednost f_{sk1} (ravnina sloma paralelna horizontalnim sljubnicama) 11
Tablica 4. Vrijednost f_{sk2} (ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice) 11
Tablica 5. Karakteristike betona klase C30/37 13
Tablica 6. Karakteristike betona klase C25/30 13
Tablica 7. Prikaz karakterističnog opterećenja snijegom 19
Tablica 8. Kategorije terena i pripadni parametri 22
Tablica 9. Razred važnosti zgrade 24
Tablica 9. Vrijednost parametra koje opisuju preporučeni elastični spektar odziva tipa I 26
Tablica 10. Faktor ponašanja za zide i različite tipove gradnje 26
Tablica 11. 78
Tablica 12. Koeficijenti 79
Tablica 13. Ograničenja međukatnog pomaka 79
Tablica 14. Ograničenja oštećenja 80
Tablica 15. Upotrijebljeni materijali 80
Tablica 16. Volumeni materijala 81
Tablica 17. Karakteristike betona C25/30 81
Tablica 18. Karakteristike betona C30/37 81
Tablica 19. Karakteristike armature 81
Tablica 20. Karakteristike armature 81
Tablica 21. Karakteristike armature 82
Tablica 22. Karakteristike zida 82
Tablica 23. Karakteristike AB zida 83
Tablica 24. Karakteristike vertikalnog serklaža 83
Tablica 25. Karakteristike stupa 40x40 84
Tablica 26. Karakteristike AB zida 84
Tablica 27. Karakteristike stupa 25x40 85
Tablica 28. Karakteristike nadvoja 85
Tablica 29. Karakteristika horizontalnog serklaža 86
Tablica 30. Karakteristika ploča 86
Tablica 31. Prikaz opterećenja ploča 87
Tablica 32. Prikaz opterećenja ploča 88
Tablica 33. Prikaz opterećenja ploča 88
Tablica 34. Rezultati proračuna smjer X 89
Tablica 35. Rezultati proračuna smjer Y 93

9. GRAFIČKI PRILOZI

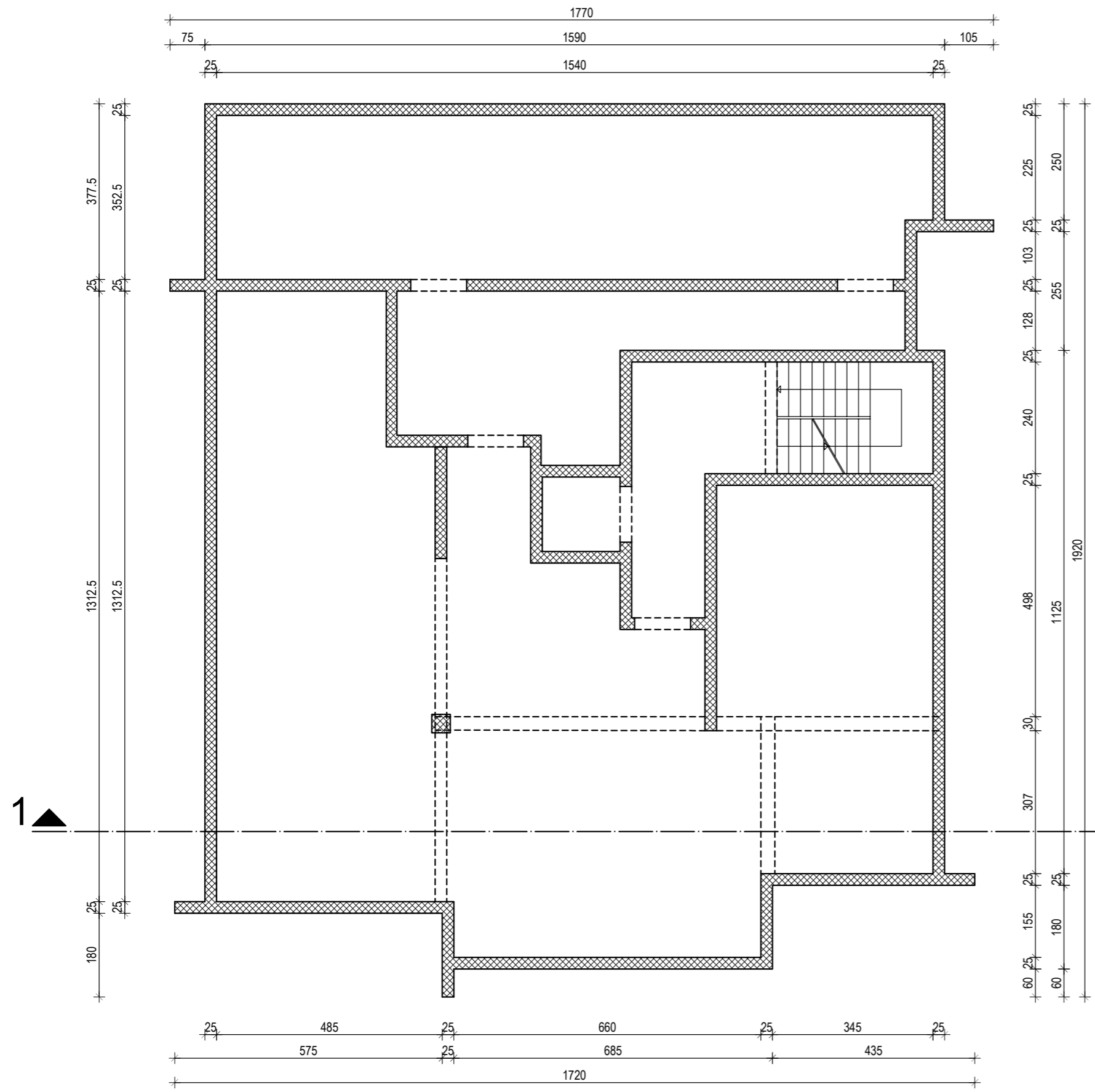



SVEUČILIŠTE U SPLITU
 FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
 GEODEZIJE
 KATEDRA ZA TEORIJU KONSTRUKCIJA
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

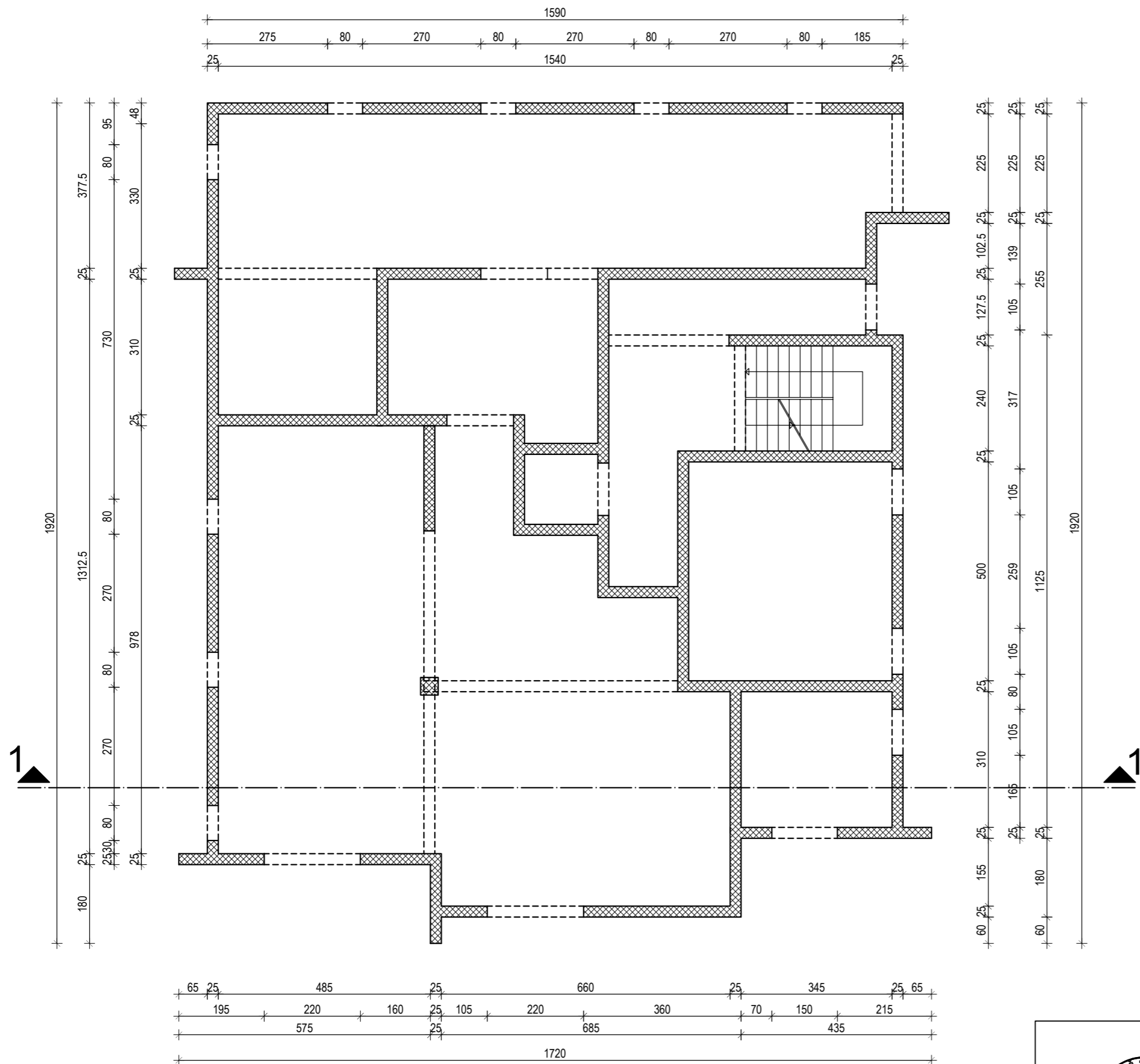
Diplomski sveučilišni studij Građevinarstva, Katedra za teoriju konstrukcija


DIPLOMSKI RAD

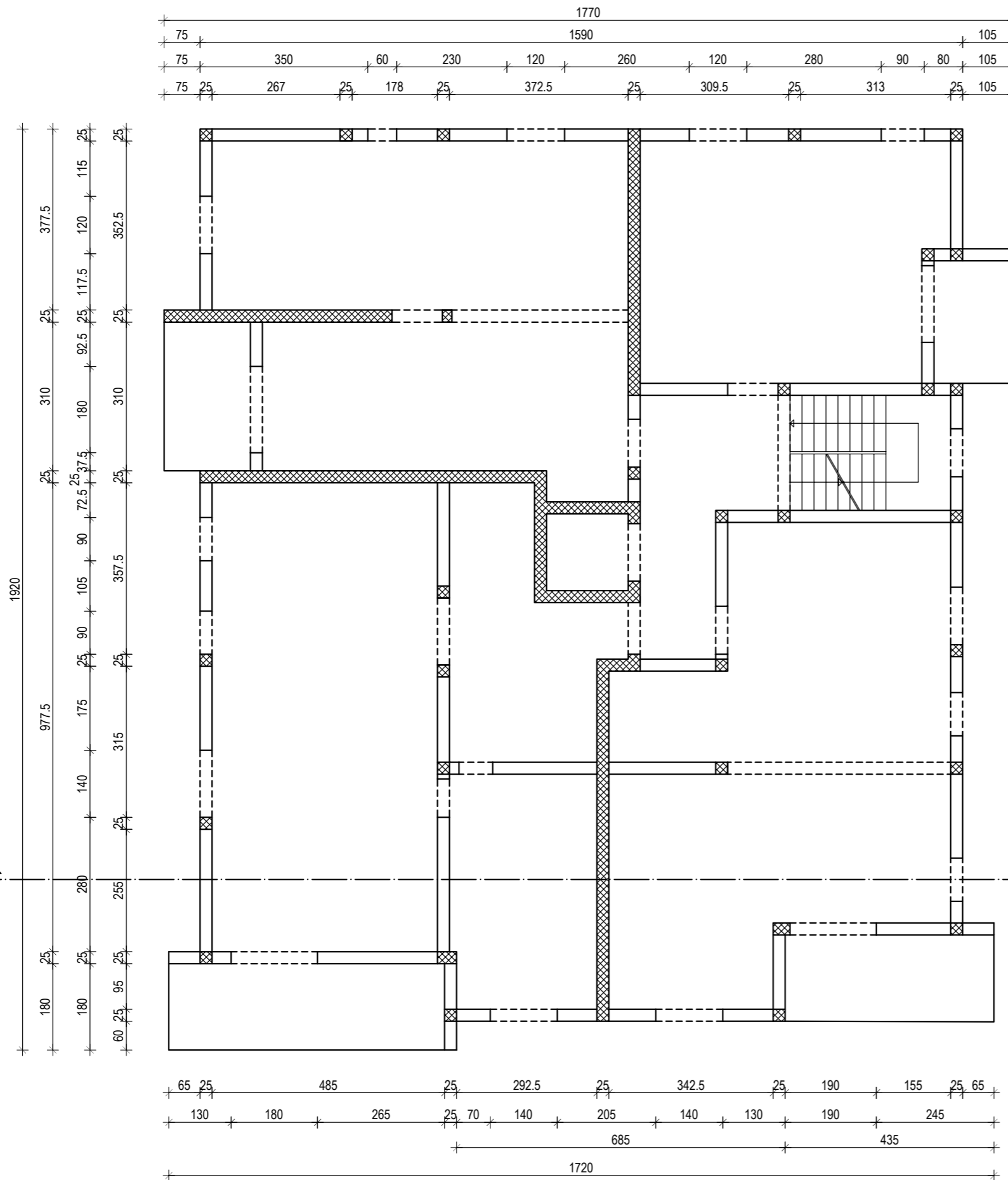
STUDENT:	Dujo Grubišić	MENTOR:	Prof. dr. sc. Boris Trogrlić
GRAĐEVINA:	Zidana stambeno poslovna zgrada u gradu Trljju	FAZA PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT
SADRŽAJ:	Tlocrt temelja	MJERILO:	1:100
DATUM:	Srpanj, 2024.	PRILOG:	1



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA TEORIJU KONSTRUKCIJA 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>				Diplomski sveučilišni studij Građevinarstva, Katedra za teoriju konstrukcija	
				DIPLOMSKI RAD	
STUDENT:	Dujo Grubišić	MENTOR:	Prof. dr. sc. Boris Trogrlić		
GRADEVINA:	Zidana stambeno poslovna zgrada u gradu Trljju	FAZA PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT		
SADRŽAJ:	Tlocrt podruma	MJERILO:	1:100		
DATUM:	Srpanj, 2024.	PRILOG:	2		



 <p>SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE KATEDRA ZA TEORIJU KONSTRUKCIJA 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15</p>				Diplomski sveučilišni studij Građevinarstva, Katedra za teoriju konstrukcija			
				DIPLOMSKI RAD			
STUDENT: Dujo Grubišić		MENTOR: Prof. dr. sc. Boris Trogrlić					
GRAĐEVINA: Zidana stambeno poslovna zgrada u gradu Trljju		FAZA PROJEKTA: GLAVNI PROJEKT					
SADRŽAJ: Tlocrt prizemlja			MJERILO: 1:100				
DATUM: Srpanj, 2024.			PRILOG: 3				

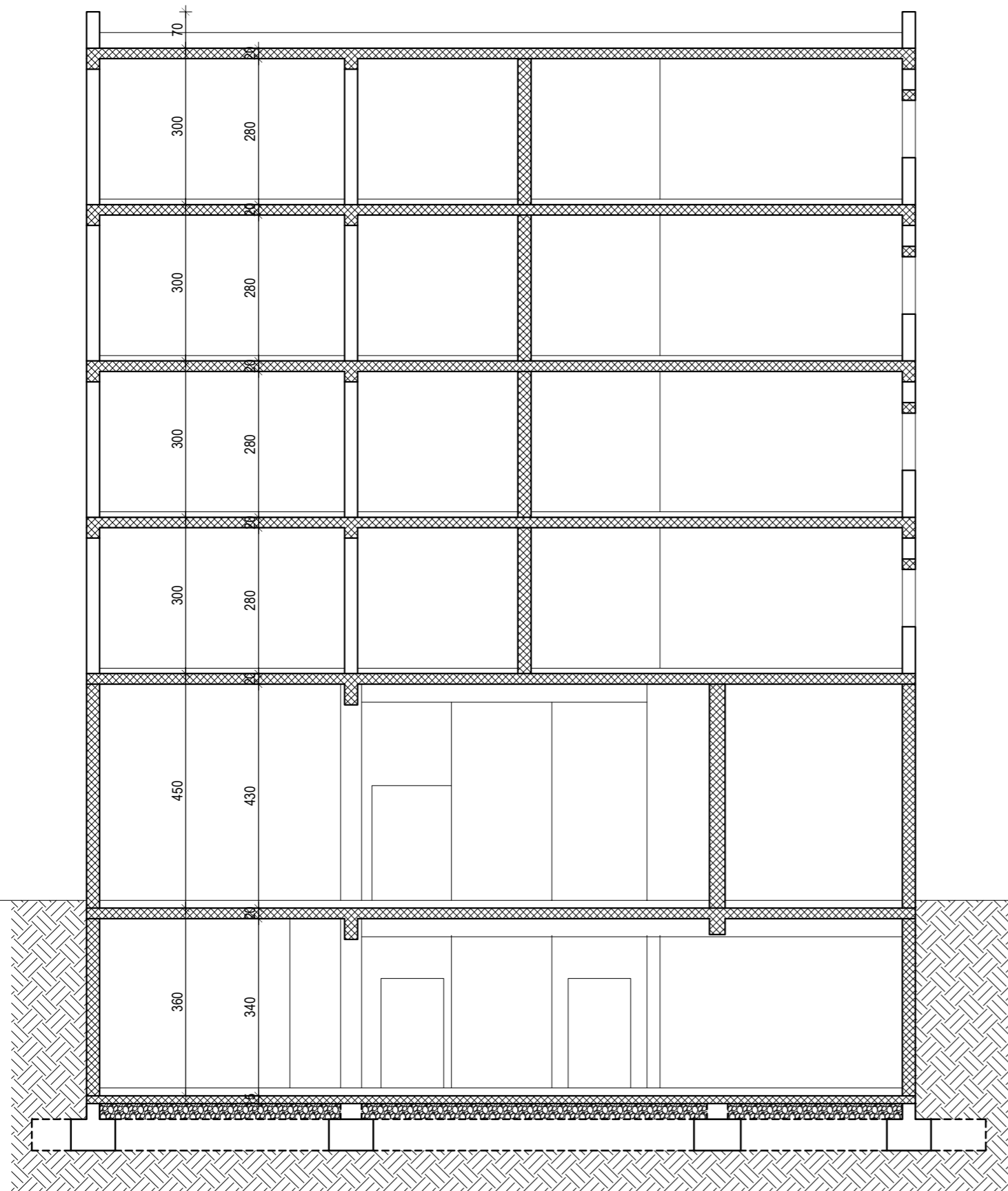


SVEUČILIŠTE U SPLITU,
 FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
 GEODEZIJE
 KATEDRA ZA TEORIJU KONSTRUKCIJA
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Diplomski sveučilišni studij Građevinarstva, Katedra za teoriju konstrukcija

DIPLOMSKI RAD

STUDENT:	Dujo Grubišić	MENTOR:	Prof. dr. sc. Boris Trogrlić
GRAĐEVINA:	Zidana stambeno poslovna zgrada u gradu Trljju	FAZA PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT
SADRŽAJ:	Tlocrt karakteristične etaže	MJERILO:	1:100
DATUM:	Srpanj, 2024.	PRILOG:	4



SVEUČILIŠTE U SPLITU
 FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
 GEODEZIJE
 KATEDRA ZA TEORIJU KONSTRUKCIJA
 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

Diplomski sveučilišni studij Građevinarstva, Katedra za teoriju konstrukcija

DIPLOMSKI RAD

STUDENT:	Dujo Grubišić	MENTOR:	Prof. dr. sc. Boris Trogrlić
GRADEVINA:	Zidana stambeno poslovna zgrada u gradu Trljju	FAZA PROJEKTA:	GLAVNI PROJEKT
SADRŽAJ:	PRESJEK 1-1	MJERILO:	1:100
DATUM:	Srpanj, 2024.	PRILOG:	5