

Montažna obiteljska kuća izvedena od prstenastih ćelija

Agapito, Michele

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:991236>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-04-03**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Michele Agapito

Montažna obiteljska kuća izvedena od prstenastih ćelija

Završni rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski stručni studij
Građevinarstvo
Montažne konstrukcije**

**Michele Agapito
JMBAG: 0114025313**

Montažna obiteljska kuća izvedena od prstenastih ćelija

Završni rad

Rijeka, srpanj 2021.

Naziv studija: **Preddiplomski stručni studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

MONTAŽNA OBITELJSKA KUĆA IZVEDENA OD PRSTENASTIH ČELIJA
PREFABRICATED FAMILY HOUSE MADE OF RING CELL UNITS

Kandidat: **MICHELE AGAPITO**

Kolegij: **MONTAŽNE KONSTRUKCIJE**

Završni rad broj: **21-ST-32**

Zadatak:

Kandidat treba proučiti dostupnu literaturu o izvedbi montažnih zgrada od armiranobetonskih prstenastih čelija. Trenutno kod nas ne postoji takav sustav gradnje, pa je u ovom radu potrebno analizirati mogućnost primjene na primjeru obiteljske kuće (jednokatnice). Pritom kao predložak može poslužiti neki od postojećih patentiranih sustava, koji je potrebno prilagoditi i samostalno dodatno razraditi. Kandidat treba predložiti tlocrt kuće i riješiti raspored prostorija uz podjelu na čelije, analizirati transport i montažu, te način povezivanja čelija.

Analizu djelovanja i dimenzioniranje armiranobetonske prstenaste čelije provesti u skladu s važećim normama niza HRN EN 1990, HRN EN 1991 i HRN EN 1992, te pripadajućim nacionalnim dodacima. Analizirati fazu izvedbe u pogonu, fazu montaže te u uporabi.

Izraditi armaturni nacrt s iskazom armature za prstenastu čeliju.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentor:

doc. dr. sc. Paulo Šćulac,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Završni rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Michele Agapito

U Rijeci, 30. lipnja 2021.

SAŽETAK

Prostorni sustavi ćelija pripadaju najvišem stupnju industrijalizacije građenja, a zbog trenda pomanjkanja stručne radne snage njihova je proizvodnja u stalnom porastu. Sustavi prstenastih ćelija od čelika ili drva znatno su više zastupljeni nego li armiranobetonske ćelije ponajviše zbog smanjene težine, no u nekim slučajevima imaju ograničenu primjenu. U ovom je završnom radu prikazan proračun montažne obiteljske kuće sastavljene od armiranobetonskih prstenastih ćelija. Ćelije u obliku prstena (s dvije nasuprotne strane otvorene) osnih dimenzija 6,5 x 3,7 x 1,5 m se proizvode u pogonu u kontroliranim uvjetima i sastavljaju u cjelinu na gradilištu (suhi spoj). Pritom je analizirana faza izvedbe u pogonu, faza montaže te faza u uporabi. Prikazani su armaturni nacrti prstenastih ćelija.

Ključne riječi: armiranobetonske konstrukcije, montažne kuće, prizemnica, prstenaste ćelije, montaža

ABSTRACT

Spatial cell systems belong to the highest degree of industrialisation with their production constantly increasing due to the lack of skilled workers. Modular steel or timber ring cell units are significantly more prevalent than reinforced concrete cells (mainly due to reduced weight) but in some cases have limited application. This final year project presents structural analysis and design of a prefabricated family house composed of reinforced concrete ring cell units. Ring-shaped cells (having two opposite sides open) with cross-section dimensions equal to 6.5 x 3.7 x 1.5 m are produced off-site in factory-like settings and assembled as a unity on the construction site using dry connections. Production phase, assembly phase and standard phase in usage was analysed. Reinforcement plans have been made for the designed ring cell unit.

Keywords: reinforced concrete structures, prefabricated houses, single storey house, ring cell units, on-site assembly

SADRŽAJ:

1.	UVOD	1
2.	MONTAŽNA GRADNJA	1
2.1.	PROSTORNI MONTAŽNI SUSTAVI.....	1
2.2.	PRSTENASTE ČELIJE - POVIJEST	2
2.3.	PRSTENASTE ČELIJE - SUVREMENA GRADNJA	3
3.	TEHNIČKI OPIS	6
4.	DISPOZICIJA KONSTRUKCIJE	8
5.	ANALIZA OPTEREĆENJA.....	10
5.1.	STALNO OPTEREĆENJE.....	10
5.2.	OPTEREĆENJE SNIJEGOM.....	12
5.3.	OPTEREĆENJE VJETROM.....	14
5.3.1.	<i>Slučaj 1 - vjetar puše na uzdužnu stranu objekta.....</i>	15
5.3.2.	<i>Slučaj 2 - vjetar puše na poprečnu stranu objekta.....</i>	18
6.	DIMENZIONIRANJE ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA	20
6.1.	IZRADA MODELA U RAČUNALNOM PROGRAMU	20
6.2.	KOMBINACIJE DJELOVANJA.....	29
6.3.	DIMENZIONIRANJE	33
6.4.	SIDRENJE I NASTAVLJANJE ARMATURE	37
7.	IZVEDBA I TRANSPORT PRSTENASTIH ČELIJA.....	41
7.1.	IZVEDBA ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA.....	41
7.2.	DIMENZIONIRANJE PRSTENA ZA FAZU PODIZANJA UNUTAR TVORNICE.....	43
7.2.1.	<i>Proračun potrebne armature.....</i>	45
7.3.	TRANSPORT ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA.....	48
8.	MONTAŽA I SPAJANJE ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA.....	51
9.	ZAKLJUČAK	55
10.	LITERATURA.....	56
11.	GRAFIČKI PRILOZI.....	57

POPIS SLIKA:

Slika 1: Zatvorena ćelija [2]	2
Slika 2: Prstenasta ćelija ima dvije nasuprotne strane otvorene [2]	2
Slika 3: Prostorni element [2].....	2
Slika 4: Prstenaste ćelije - sistem TARAPIN (širina ćelije do 3 m, a dužina 10 m) [2].....	3
Slika 5: Čelične prstenaste ćelije [3]	4
Slika 6: Drvene prstenaste ćelije [4].....	4
Slika 7: Betonske prstenaste ćelije [5].....	4
Slika 8: Betonske prstenaste ćelije [1].....	5
Slika 9: Betonske prstenaste ćelije [6].....	5
Slika 10: Tlocrt obiteljske kuće s prikazanom podjelom na armiranobetonske prstene	7
Slika 11: Poprečni presjek karakterističnog prstena.....	7
Slika 12:Tlocrt prizemlja obiteljske kuće.....	8
Slika 13: Presjek 1-1.....	8
Slika 14: Presjek 2-2.....	9
Slika 15: Istočno pročelje	9
Slika 16: Zapadno pročelje.....	9
Slika 17: Sjeverno i južno pročelje.....	9
Slika 18: Karta snježnih područja [7].....	12
Slika 19: Karta osnovne brzine vjetra [8].....	14
Slika 20: Legenda za vertikalne zidove [8]	15
Slika 21: Grafički prikaz faktora izloženosti [8]	17
Slika 22: Legenda za vertikalne zidove [8]	18
Slika 23: Prikaz 2D proračunskog modela	20
Slika 24: Prikaz 2D proračunskog modela sa stalnim opterećenjem.....	21
Slika 25: Prikaz 2D proračunskog modela sa uporabnim opterećenjem	21
Slika 26: Prikaz 2D proračunskog modela sa opterećenjem vjetra kada puše na uzdužnu stranu objekta.....	22
Slika 27: Prikaz 2D proračunskog modela sa opterećenjem vjetra kada puše na poprečnu stranu objekta.....	22
Slika 28: Dijagram uzdužnih sila od stalnog opterećenja.....	23
Slika 29: Dijagram uzdužnih sila od uporabnog opterećenja	23
Slika 30: Dijagram uzdužnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na uzdužnu stranu objekta	24
Slika 31: Dijagram uzdužnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na poprečnu stranu objekta	24
Slika 32: Dijagram poprečnih sila od stalnog opterećenja	25
Slika 33: Dijagram poprečnih sila od uporabnog opterećenja.....	25
Slika 34: Dijagram poprečnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na uzdužnu stranu objekta	26
Slika 35: Dijagram poprečnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na poprečnu stranu objekta	26
Slika 36: Dijagram momenata savijanja od stalnog opterećenja.....	27
Slika 37: Dijagram momenata savijanja od uporabnog opterećenja	27
Slika 38: Dijagram momenata savijanja od opterećenja vjetrom kada puše na uzdužnu stranu objekta.....	28
Slika 39: Dijagram momenata savijanja od opterećenja vjetrom kada puše na poprečnu stranu objekta.....	28

Slika 40: Kombinacija djelovanja 1.....	30
Slika 41: Kombinacija djelovanja 2.....	30
Slika 42: Kombinacija djelovanja 3.....	31
Slika 43: Kombinacija djelovanja 4.....	31
Slika 44: Anvelopa momenata savijanja	32
Slika 45: Presjek ploče za dimenzioniranje u polju.....	33
Slika 46: Skice primjera dobrih i loših uvjeta prionjivosti [10]	37
Slika 47: Metalni kalup za izradu armiranobetonskog prstena.....	41
Slika 48: Prikaz 2D proračunskog modela za podizanje sa stalnim opterećenjem	43
Slika 49: Dijagram uzdužnih sila od stalnog opterećenja.....	44
Slika 50: Dijagram poprečnih sila od stalnog opterećenja	44
Slika 51: Dijagram momenata savijanja od stalnog opterećenja.....	45
Slika 52: Kuke za podizanje kalupa i prstena.....	48
Slika 53: Uže za podizanje prstena [12]	48
Slika 54: Autodizalica nosivosti 30 tona [13]	49
Slika 55: Transport armiranobetonskog prstena [1]	50
Slika 56: Temeljna konstrukcija.....	51
Slika 57: Postavljanje prstenastih ćelija na gradilištu [1].....	51
Slika 58: Skica položaja autodizalice i tegljača na gradilištu.....	52
Slika 59: Spajanje temeljne konstrukcije i prstena.....	53
Slika 60: Međusobno spajanje prstenova	54

POPIS TABLICA:

Tablica 1: Analiza opterećenja podova	10
Tablica 2: Analiza opterećenja krova	11
Tablica 3: Analiza opterećenja zidova.....	11
Tablica 4: Vrijednosti karakterističnih opterećenja snijegom na tlu [7]	13
Tablica 5: Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove [8]	16

1. UVOD

U ovom je radu predloženo rješenje obiteljske kuće od montažnih armiranobetonskih prstenastih ćelija. Kao početni primjer za prstenaste ćelije, uz značajne razlike, poslužio je sistem tvrtke SMARTLIVING [1]. Razlike u odnosu na sistem prethodno navedene tvrtke su sljedeće: dimenzije ćelija, materijal za izvedbu prstenastih ćelija; raspored ćelija; slojevi poda, stropa i zida te načini spajanja ćelija međusobno, kao i na temeljnu konstrukciju.

Rješavanje obuhvaća sve bitne faze izvedbe montažne obiteljske kuće, a to su redom:

1. raspored ćelija i prostorija unutar objekta
2. analizu djelovanja na konstrukciju
3. dimenzioniranje armiranobetonskih ćelija
4. izvedbu armiranobetonskih ćelija
5. transport i montažu armiranobetonskih ćelija

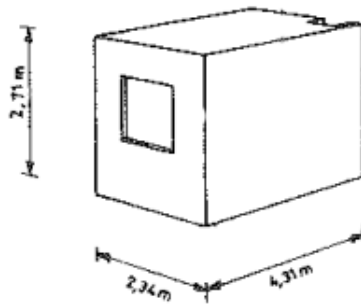
2. MONTAŽNA GRADNJA

2.1. PROSTORNI MONTAŽNI SUSTAVI

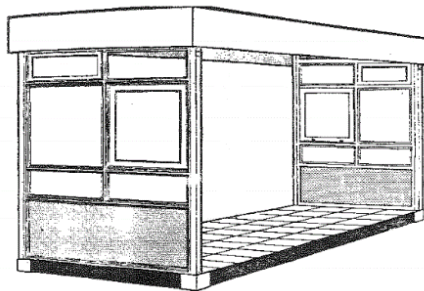
Razvoj montažne gradnje ponajprije proizlazi iz zahtjeva za većom produktivnošću što je direktno povezano s napretkom industrijske proizvodnje i tehnologije koji predstavlja temelj razvoja montažnih sustava. Povećana produktivnost ostvarena je preseljenjem rada s gradilišta u tvornicu gdje se proizvodnjom montažnih elemenata u kontroliranim tvorničkim uvjetima ostvaruje ušteda utrošenog rada. Ovakvim načinom proizvodnje smanjio se i broj sudionika u gradnji, pa tako uz izvođača nije potreban veći broj kooperanata, kao što je to slučaj kod tradicionalne gradnje. Također, većinskim preseljenjem rada s gradilišta u tvornicu postiže se neovisnost proizvodnje o vremenskim uvjetima [2].

Napretkom montažne gradnje nastaju sistemi koji koriste različite vrste građevinskih elemenata, pa tako razlikujemo:

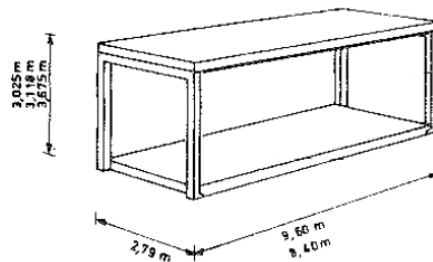
1. ZATVORENE ĆELIJE (Slika 1)
2. PRSTENASTE ĆELIJE (Slika 2)
3. PROSTORNE ELEMENTE (Slika 3)



Slika 1: Zatvorena ćelija [2]



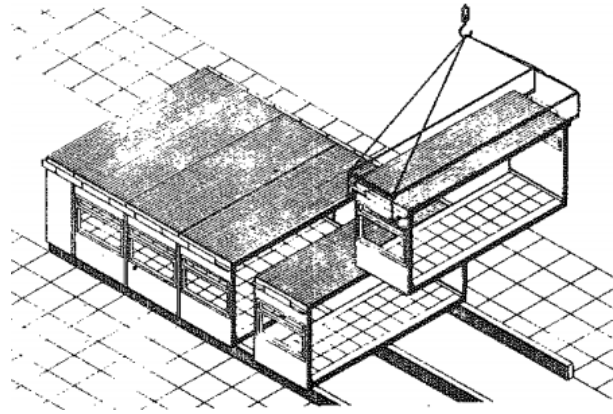
Slika 2: Prstenasta ćelija ima dvije nasuprotne strane otvorene [2]



Slika 3: Prostorni element [2]

2.2. PRSTENASTE ĆELIJE – POVIJEST

Gradnja prstenastim ćelijama se razvija tijekom 1970-ih godina. Ovaj sistem gradnje dopušta fleksibilnost u izboru materijala, pa se tako prstenaste ćelija izvode od armiranog betona, drva, čelika ili kombinacije ovih materijala. Fleksibilnost je također moguća i u prostornom smislu jer se izgrađeni objekti mogu povećati ili smanjiti dodavanjem odnosno uklanjanjem elemenata u ovisnosti o trenutnim potrebama (Slika 4). Široka primjena ovog sistema ponajprije je ostvarena u izgradnji dječjih vrtića, škola, poslovnih zgrada, a potom i stambenih objekata [2].



Slika 4: Prstenaste ćelije - sistem TARAPIN (širina ćelije do 3 m, a dužina 10 m) [2]

2.3. PRSTENASTE ĆELIJE - SUVREMENA GRADNJA

Suvremena montažna gradnja prstenastim ćelijama nije se značajno promijenila u odnosu na povijesne sisteme. Najveći napredak kroz godine ostvaren je u brzini i optimizaciji procesa proizvodnje dok sam princip gradnje i proizvodni materijali ostaju gotovo jednaki. Odabir materijala za gradnju ovisi o dostupnosti na pojedinom tržištu i određenim zahtjevima koje elementi ili građevina u cjelini moraju ispuniti. U gradnji montažnih stambenih objekata, u odnosu na betonske, zastupljeniji su drveni ili čelični sustavi (Slika 5 i Slika 6). Proizvodnja betonskih elemenata dugotrajnija je u odnosu na drvene ili čelične elemente zbog potrebnog postizanja tlačne čvrstoće. Također, prednosti drva i čelika povezane su s njihovom znatno manjom težinom koja posljedično utječe na jednostavniji prijevoz, bolje ponašanje u potresu, manje temelje i jednostavniju ugradnju. No prvenstveno drvo ima određena ograničenja, pa je ono optimalno za gradnju objekata do visine P+1, odnosno za gradnju stambenih kuća. Iako se i betonski sustavi mogu primijeniti za gradnju obiteljskih kuća, nisu ekonomični u usporedbi s drvenim ili čeličnim, ali zato svoju primjenu mogu pronaći u izgradnji višekatnih odnosno višestambenih zgrada, s obzirom na to da katnost nije ograničena svojstvima materijala (Slika 7 - Slika 9).



Slika 5: Čelične prstenaste ćelije [3]



Slika 6: Drvene prstenaste ćelije [4]



Slika 7: Betonske prstenaste ćelije [5]



Slika 8: Betonske prstenaste ćelije [1]



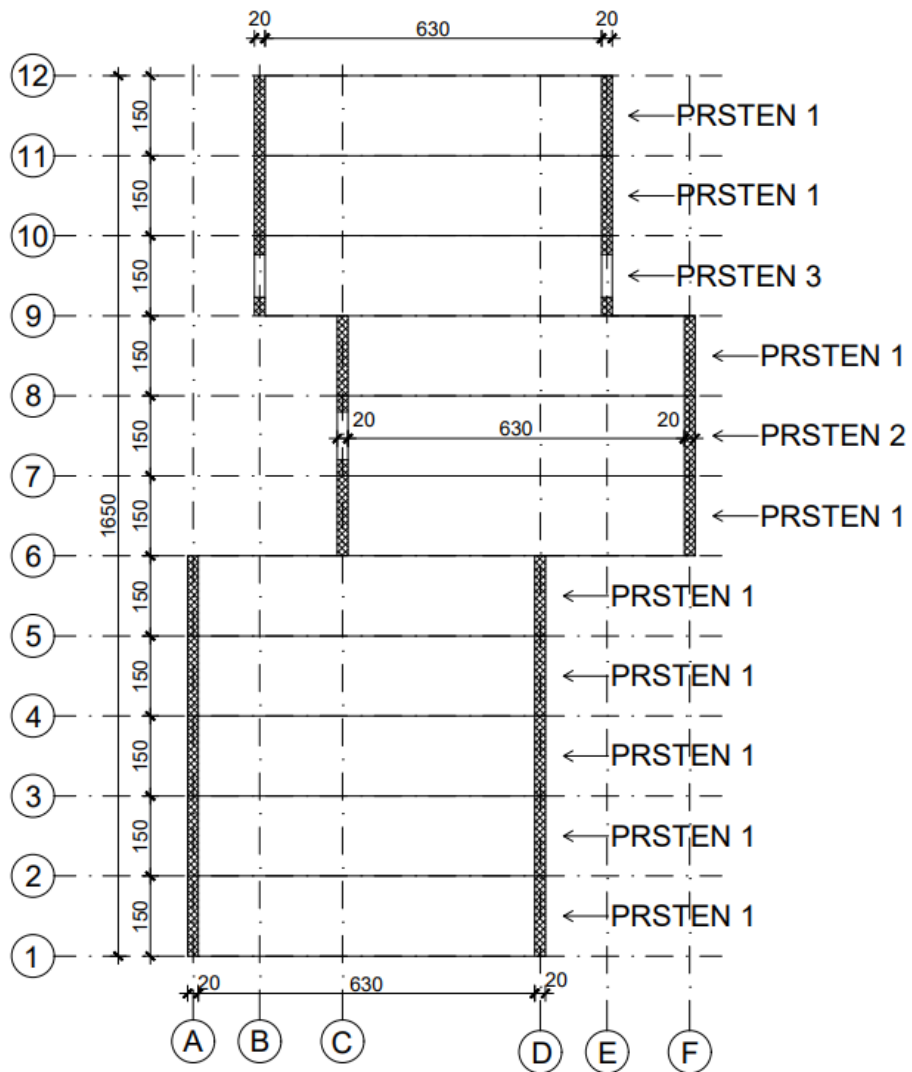
Slika 9: Betonske prstenaste ćelije [6]

3. TEHNIČKI OPIS

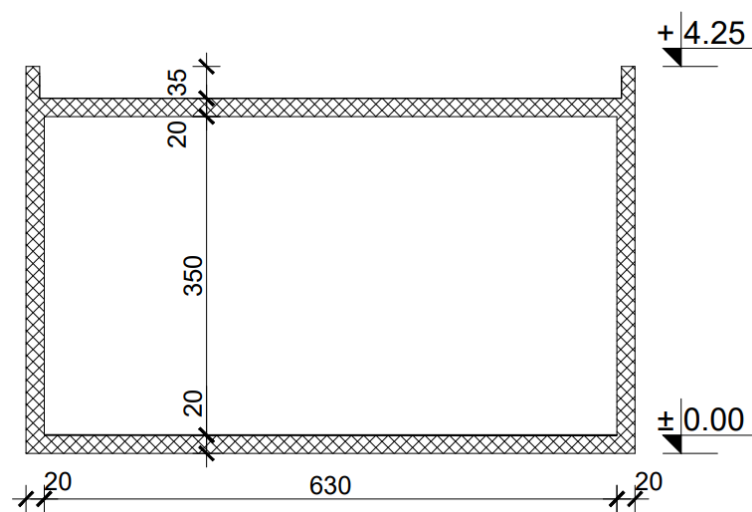
Građevina, odnosno obiteljska kuća, projektirana je kao prizemnica. Smještena je na zapadnoj obali Istre, na nadmorskoj visini od 75 m n. m. Tlocrtne dimenzije građevine, koje se odnose na glavne osi nosive armiranobetonske konstrukcije, iznose 9,30 x 16,50 m. Ukupna visina jednog armiranobetonskog prstena iznosi 4,25 m, što uključuje i atiku visine 0,35 m. Nosivu konstrukciju pojedinog prstena čine armiranobetonski zidovi, podna te stropna konstrukcija debljine 20,0 cm, izvedeni u betonu C 25/30. Unutar objekta predviđeni su pregradni zidovi od gips-kartonskih ploča debljine 15,0 cm, dok se na pojedinim mjestima vanjski zidovi izvode kao zidani opečnim blokovima. Temeljna konstrukcija građevine su armiranobetonske temeljne trake širine 30 cm i visine 60 cm izvedene u betonu C 30/37. Svi armiranobetonski elementi armiraju se rebrastom armaturom B 500B i mrežastom armaturom B 500B.

Objekt se sastoji od ukupno 11 prstenastih ćelija, tlocrtno raspoređenih u tri međusobno zamaknute grupe. Prstenaste ćelije su dimenzija 670 x 390 cm i širine 150 cm. Zbog međusobne razlike u otvorima, imamo tri različita prstena te će se za svaki od njih provesti zasebna analiza (Slika 10).

Krovna konstrukcija pojedinog elementa, a u konačnici i gotovog objekta izvedena je kao ravni neprohodni krov debljine 46,5 cm, što uključuje i stropnu armiranobetonsku konstrukciju. Kvalitetna odvodnja oborina omogućena je postavljanjem toplinskog sloja u nagibu od 1,5%. Kako bi postavljanje slojeva ravnog krova na gradilištu trajalo kraće, na gradilište se dopremaju već tvornički odrezane ploče za izvedbu toplinske izolacije, tvoreći nagib od 1,5%.

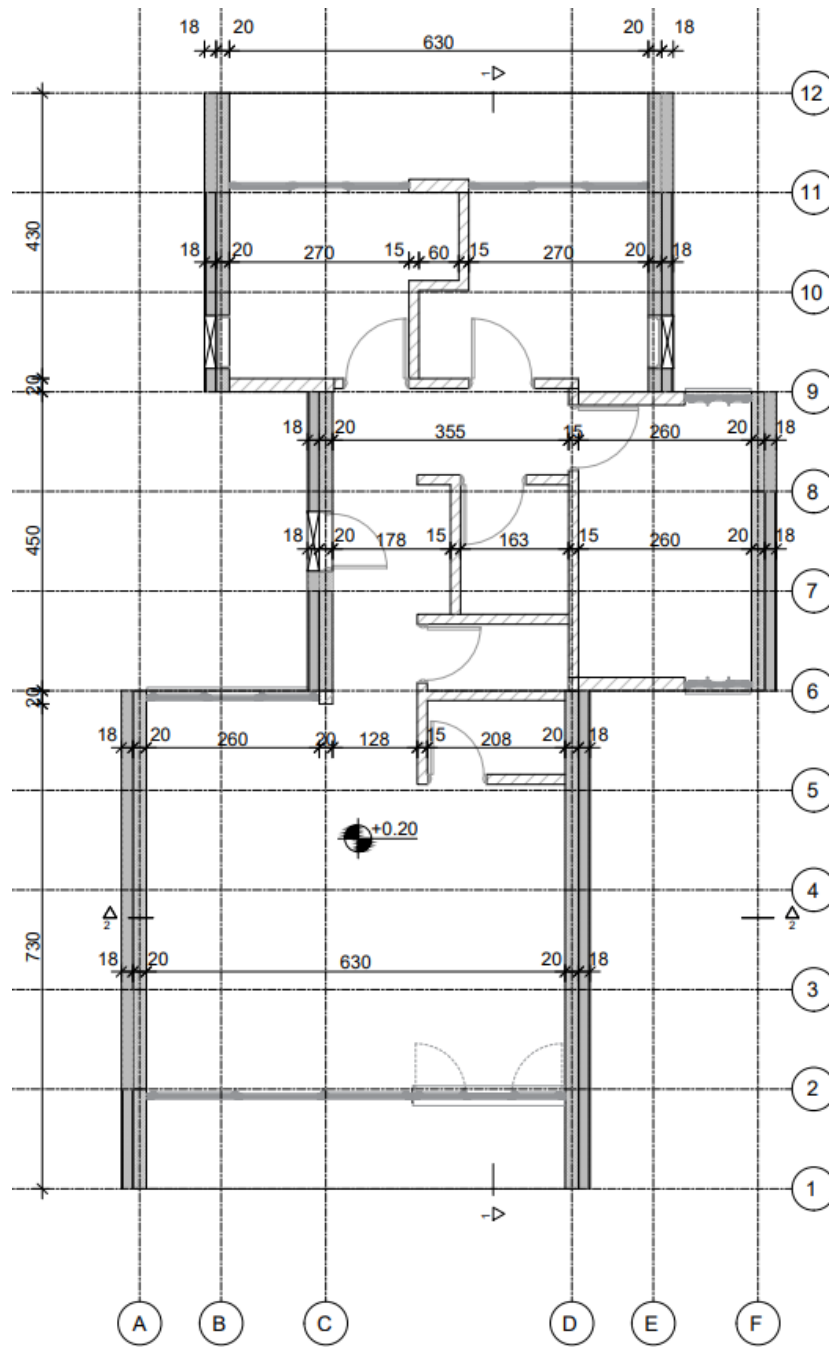


Slika 10: Tlocrt obiteljske kuće s prikazanom podjelom na armiranobetonske prstene

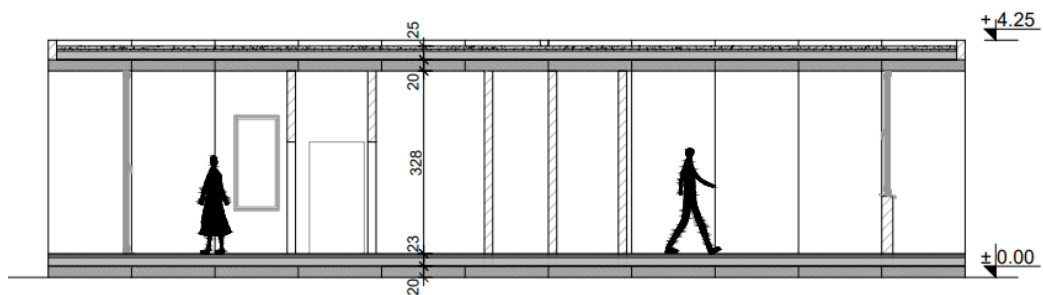


Slika 11: Poprečni presjek karakterističnog prstena

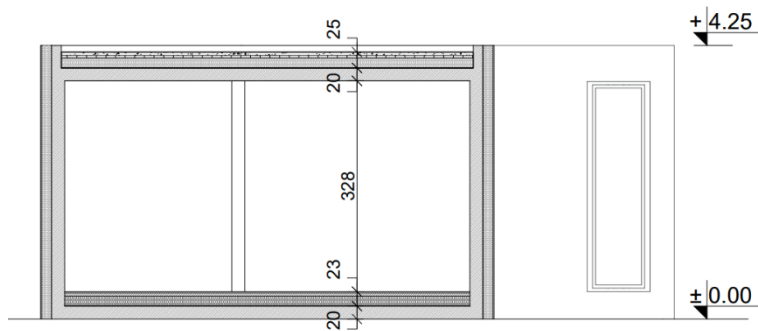
4. DISPOZICIJA KONSTRUKCIJE



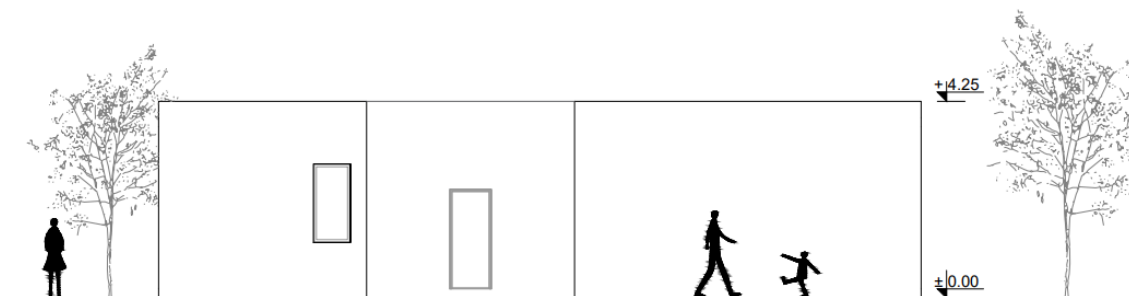
Slika 12: Tlocrt prizemlja obiteljske kuće



Slika 13: Presjek 1-1



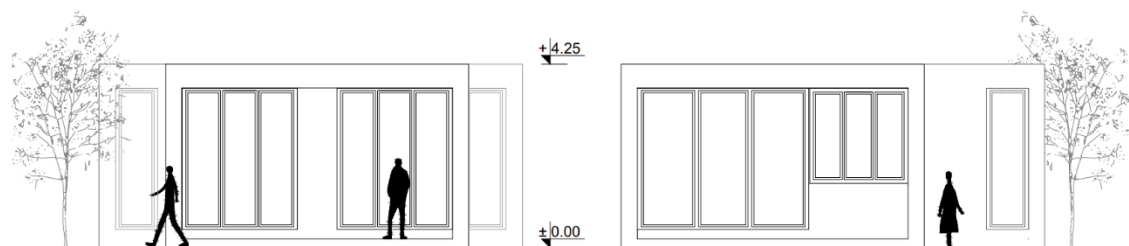
Slika 14: Presjek 2-2



Slika 15: Istočno pročelje



Slika 16: Zapadno pročelje



Slika 17: Sjeverno i južno pročelje

5. ANALIZA OPTEREĆENJA

5.1. STALNO OPTEREĆENJE

U analizi opterećenja za armiranobetonske prstene zasebno računamo opterećenja pojedinih slojeva na podnu konstrukciju, zidove te krovnu konstrukciju Tablica 1, Tablica 2, Tablica 3).

Tablica 1: Analiza opterećenja podova

Analiza opterećenja podova					
Pozicija		PK1			
Opis pozicije		Podna konstrukcija			
Stalno opterećenje (g)	Slojevi	Zapreminska težina (kg/m ³)	Debljina sloja (cm)	Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²)	
	1	Parket	700	2	0,14
	2	Cementni estrih	2000	5	1
	3	PE folija	1000	0,02	0,002
	4	Toplinska izolacija (XPS)	25	15	0,0375
	5	Hidroizolacija (bitumen)	1100	0,5	0,055
	6	Armiranobetonska ploča	2500	20	5
	7	Pregradni zidovi			1
	Ukupno				7,23
Korisno opterećenje (q)	Položaj	Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²)			
	1	Stambeni prostor	2,00		
	Ukupno		2,00		
Pozicija		PK2			
Opis pozicije		Podna konstrukcija			
Stalno opterećenje (g)	Slojevi	Zapreminska težina (kg/m ³)	Debljina sloja (cm)	Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²)	
	1	Keramičke pločice	2300	1	0,23
	2	Cementni estrih	2000	5	1
	3	PE folija	1000	0,02	0,002
	4	Toplinska izolacija (XPS)	25	15	0,0375
	5	Hidroizolacija (bitumen)	1100	0,5	0,055
	6	Armiranobetonska ploča	2500	20	5
	7	Pregradni zidovi			1
	Ukupno				7,32
Korisno opterećenje (q)	Položaj	Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²)			
	1	Stambeni prostor	2,00		
	Ukupno		2,00		

Tablica 2: Analiza opterećenja krova

Analiza opterećenja krova					
Pozicija		RK1			
Opis pozicije		Ravni krov			
Stalno opterećenje (g)	Slojevi	Zapreminska težina (kg/m ³)	Debljina sloja (cm)	Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²)	
	1	Šljunak	1700	5	0,85
	2	Čepasta folija	15	4	0,006
	3	Toplinska izolacija (XPS)	25	15	0,0375
	4	Hidroizolacija (bitumen)	1100	0,5	0,055
	5	Armiranobetonska ploča	2500	20	5
	6	Produžna žbuka	1400	2	0,28
	Ukupno				6,23
Korisno opterećenje (q)	Položaj		Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²)		
	1	Ravni neprohodni krov (kategorija H)	0,60		
	Ukupno		0,60		

Tablica 3: Analiza opterećenja zidova

Analiza opterećenja zidova					
Pozicija		VZ1			
Opis pozicije		Vanjski zid			
Stalno opterećenje (g) - površinsko	Slojevi	Zapreminska težina (kg/m ³)	Debljina sloja (cm)	Iznos površinskog opterećenja (kN/m ²)	
	1	Produžna žbuka	1800	2	0,36
	2	Armiranobetonski zid	2500	20	5
	3	Toplinska izolacija (kamena vuna)	120	15	0,18
	4	Građevinsko ljepilo armirano staklenom mrežicom	1650	0,5	0,0825
	5	Polimerna žbuka	1100	0,5	0,055
	Ukupno				5,68

5.2. OPTEREĆENJE SNIJEGOM

Opterećenje snijegom na krovu konstrukcije dobiva se prema sljedećem izrazu iz norme HRN EN 1991-1-3 [7]:

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

gdje je:

s_k karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu

μ_i koeficijent oblika opterećenja snijegom

C_e koeficijent izloženosti

C_t toplinski koeficijent.

Za proračun se uzima karakteristična vrijednost opterećenja snijegom za područje I (priobalje i otoci) i nadmorske visine do 100 m n. m. (Slika 18 i Tablica 4).



Slika 18: Karta snježnih područja [7]

Tablica 4: Vrijednosti karakterističnih opterećenja snijegom na tlu [7]

Nadmorska visina do [m n. m.]	Vrijednost s_k za pojedinu kategoriju snježnog područja [kN/m^2]			
	I	II	III	IV
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1000	2,00	4,00	3,50	5,00
1100	3,00	5,00	4,00	5,50
1200	4,00	6,00	4,50	6,00
1300	5,00	7,00		7,00
1400	6,00	8,00		8,00
1500		9,00		9,00
1600		10,00		10,00
1700		11,00		11,00
1800		12,00		

Očitana karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu iznosi:

$$s_k = 0,50 \text{ kN/m}^2.$$

Koeficijent oblika opterećenja snijegom za ravni krov:

$$\mu_i = 0,8 \text{ (} 0^\circ < \alpha \leq 30^\circ \text{)}.$$

Opterećenje snijegom iznosi:

$$s = s_k \cdot \mu_i \cdot C_e \cdot C_t = 0,50 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,8 \cdot 1 \times 1 = 0,40 \frac{kN}{m^2}.$$

Kako opterećenje snijegom iznosi $0,40 \text{ kN/m}^2$, mjerodavna je vrijednost opterećenja ravnog neprohodnog krova kategorije H koja iznosi $0,60 \text{ kN/m}^2$.

5.3. OPTEREĆENJE VJETROM

Osnovna brzina vjetra određuje se prema sljedećem izrazu iz norme HRN EN 1991-1-4 [8]:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}$$

gdje je:

c_{dir} faktor smjera vjetra

c_{season} faktor godišnjeg doba

$v_{b,0}$ temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra.

Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra očitava se iz karte osnovne brzine vjetra (Slika 19).



Slika 19: Karta osnovne brzine vjetra [8]

Očitana temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra za promatrano područje iznosi:

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s.}$$

Faktor smjera c_{dir} i faktor godišnjeg doba c_{season} uzimaju se sa preporučenom vrijednošću od 1,0.

Osnovna brzina vjetra iznosi:

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

Osnovni tlak vjetra određuje se prema izrazu:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

gdje je:

ρ gustoća zraka ($\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$).

Osnovni tlak vjetra iznosi:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \left(25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 = 390,63 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 0,391 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Djelovanje vjetra na ravni krov je pretežito odižuće, pa će se u ovom proračunu zanemariti.

5.3.1. Slučaj 1 - vjetar puše na uzdužnu stranu objekta

Vanjski tlak na vertikalne stijene

Referentna visina:

$$z_e = f_c \left(\frac{h}{b}\right)$$

gdje je:

$h = 4,25 \text{ m}$ (visina objekta)

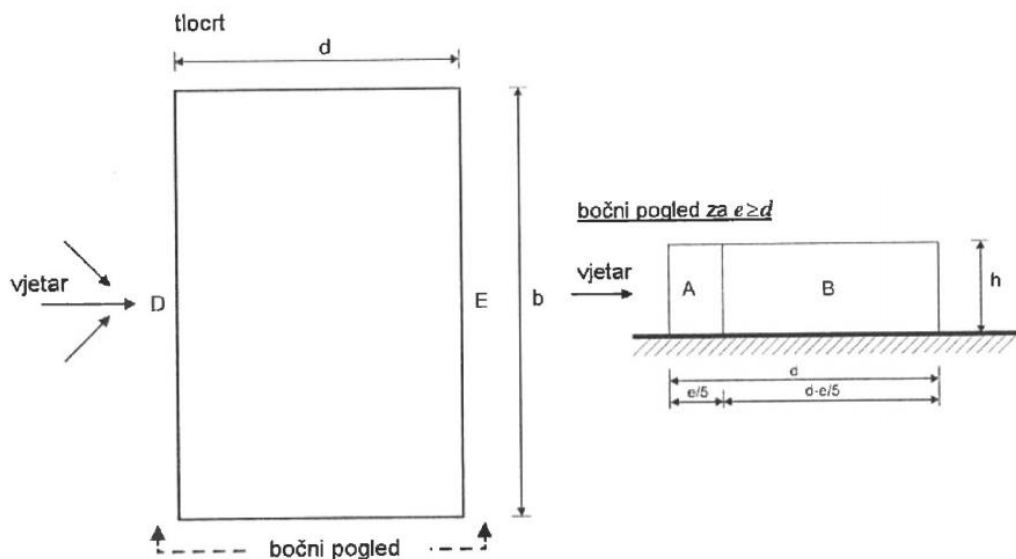
$b = 16,50 \text{ m}$ (širina površine na koju puše vjetar)

$h \leq b \rightarrow z_e = h = 4,25 \text{ m}$

Koeficijent tlaka na vertikalne stijene (c_{pe}) dobiva se sljedećim proračunom:

$e = \min(b; 2h) = \min(16,50 \text{ m}; 8,5 \text{ m}) = 8,50 \text{ m}$

$d = 6,70 \text{ m} \rightarrow e > d$



Slika 20: Legenda za vertikalne zidove [8]

Tablica 5: Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove [8]

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

$$\text{Površina A} = \frac{e}{5} \cdot h = \frac{8,50 \text{ m}}{5} \cdot 4,25 \text{ m} = 7,23 \text{ m}^2 < 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$$

$$c_{pe} = -1,4 - (-1,4 + 1,2) \log_{10} 7,23 = -1,23$$

$$\text{Površina B} = d - \frac{e}{5} \cdot h = \left(6,70 \text{ m} - \frac{8,50 \text{ m}}{5}\right) \cdot 4,25 \text{ m} = 21,25 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$$

$$\text{Površina D} = b \cdot h = 16,50 \text{ m} \cdot 4,25 \text{ m} = 70,13 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe} = c_{pe,10} = +0,8$$

$$\text{Površina E} = b \cdot h = 16,50 \text{ m} \cdot 4,25 \text{ m} = 70,13 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

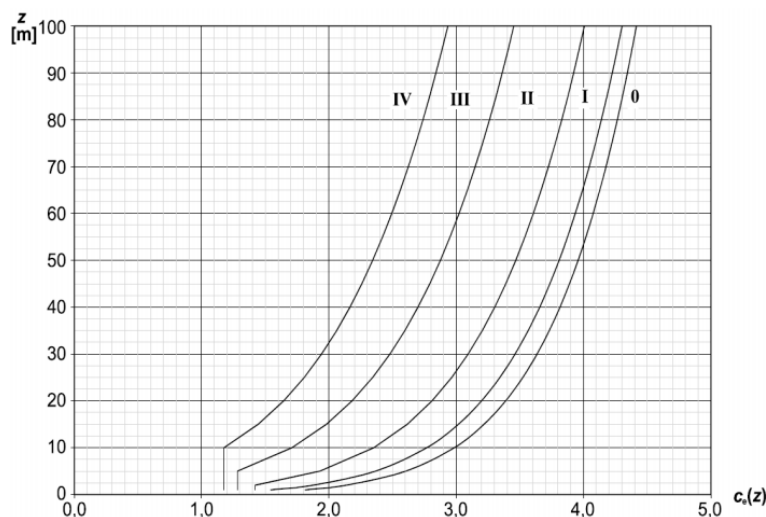
Tlak vjetra pri vršnoj brzini određuje se prema izrazu:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b$$

gdje je:

$c_e(z)$ faktor izloženosti (Slika 21)

q_b tlak pri osnovnoj brzini.



Slika 21: Grafički prikaz faktora izloženosti [8]

Očitana vrijednost faktora izloženosti za kategoriju II (područje s niskom vegetacijom) iznosi:

$$c_e(z) = 1,76.$$

Tlak vjetra pri vršnoj brzini iznosi:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 1,76 \cdot 0,391 \frac{kN}{m^2} = 0,69 \frac{kN}{m^2}.$$

Tlak vjetra koji djeluje na vanjske površine w_e određuje se prema izrazu:

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

gdje je:

$q_p(z)$ tlak vjetra pri vršnoj brzini

c_{pe} koeficijent tlaka za vanjski tlak.

Tlak vjetra koji djeluje na vanjske površine iznosi:

$$w_e^A = 0,69 \frac{kN}{m^2} \cdot -1,23 = -0,85 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_e^B = 0,69 \frac{kN}{m^2} \cdot -0,8 = -0,55 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_e^D = 0,69 \frac{kN}{m^2} \cdot +0,8 = +0,55 \frac{kN}{m^2}$$

$$w_e^E = 0,69 \frac{kN}{m^2} \cdot -0,5 = -0,35 \frac{kN}{m^2}$$

5.3.2. Slučaj 2 - vjetar puše na poprečnu stranu objekta

Vanjski tlak na vertikalne stijene

Referentna visina:

$$z_e = f_c \left(\frac{h}{b} \right)$$

gdje je:

$$h = 4,25 \text{ m (visina objekta)}$$

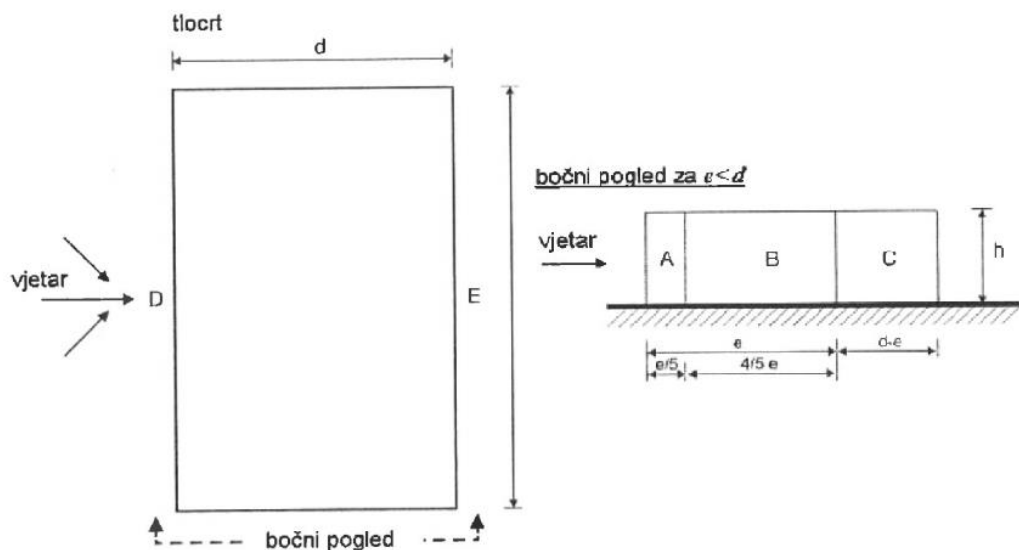
$$b = 9,50 \text{ m (širina površine na koju puše vjetar)}$$

$$h \leq b \rightarrow z_e = h = 4,25 \text{ m}$$

Koeficijent tlaka na vertikalne stijene (c_{pe}) dobiva se sljedećim proračunom:

$$e = \min(b; 2h) = \min(9,50 \text{ m}; 8,5 \text{ m}) = 8,50 \text{ m}$$

$$d = 16,50 \text{ m} \rightarrow e < d$$



Slika 22: Legenda za vertikalne zidove [8]

$$\text{Površina A} = \frac{e}{5} \cdot h = \frac{8,50 \text{ m}}{5} \cdot 4,25 \text{ m} = 7,23 \text{ m}^2 < 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe} = c_{pe,1} - (c_{pe,1} - c_{pe,10}) \log_{10} A$$

$$c_{pe} = -1,4 - (-1,4 + 1,2) \log_{10} 7,23 = -1,23$$

$$\text{Površina B} = \frac{4}{5} e \cdot h = \frac{4}{5} \cdot 8,50 \text{ m} \cdot 4,25 \text{ m} = 28,9 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$$

$$\text{Površina } C = (d - e) \cdot h = (16,50 \text{ m} - 8,50 \text{ m}) \cdot 4,25 \text{ m} = 34,0 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

$$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$$

Očitana vrijednost faktora izloženosti za kategoriju II (područje s niskom vegetacijom) iznosi:

$$c_e(z) = 1,76.$$

Tlak vjetra pri vršnoj brzini iznosi:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 1,76 \cdot 0,391 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}.$$

Tlak vjetra koji djeluje na vanjske površine iznosi:

$$w_e^A = 0,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot -1,23 = -0,85 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

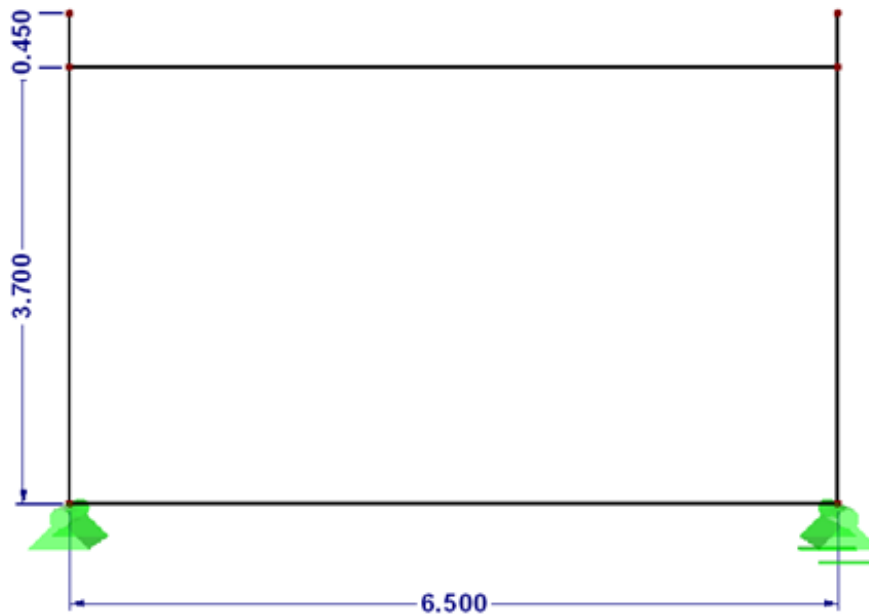
$$w_e^B = 0,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot -0,8 = -0,55 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$w_e^C = 0,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot -0,5 = -0,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

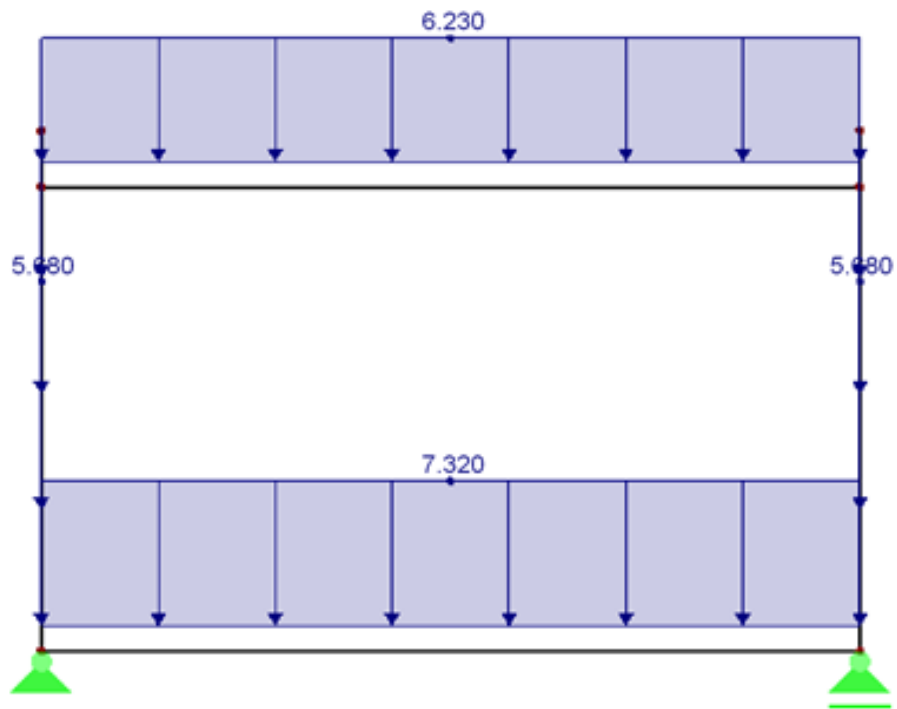
6. DIMENZIONIRANJE ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA

6.1. IZRADA MODELA U RAČUNALNOM PROGRAMU

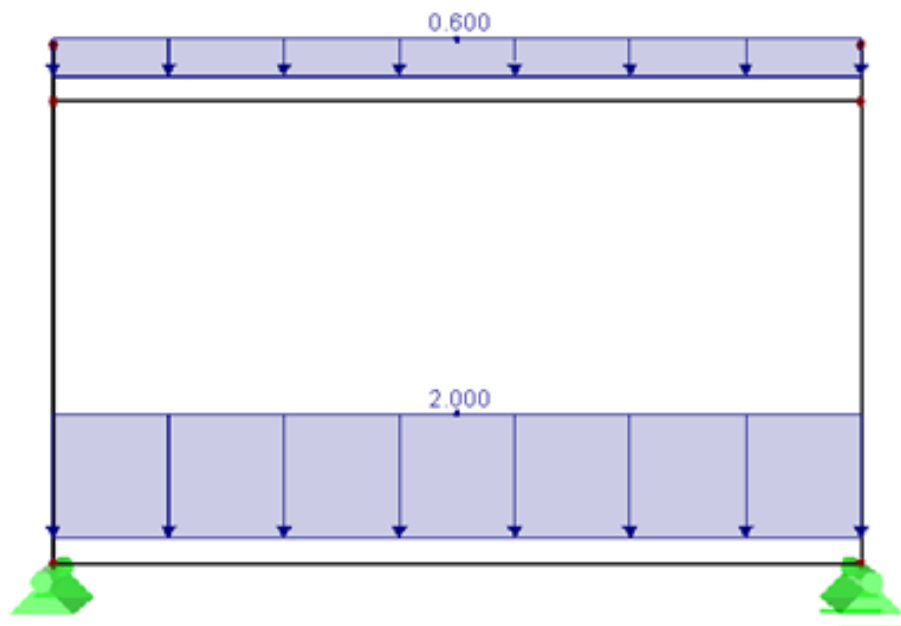
Po završetku analiza opterećenja izrađuje se 2D model pomoću programa Dlubal RFEM te se unose sva prethodno proračunata opterećenja, kao i geometrija prstena (Slika 23 - Slika 27).



Slika 23: Prikaz 2D proračunskog modela



Slika 24: Prikaz 2D proračunskog modela sa stalnim opterećenjem



Slika 25: Prikaz 2D proračunskog modela sa uporabnim opterećenjem

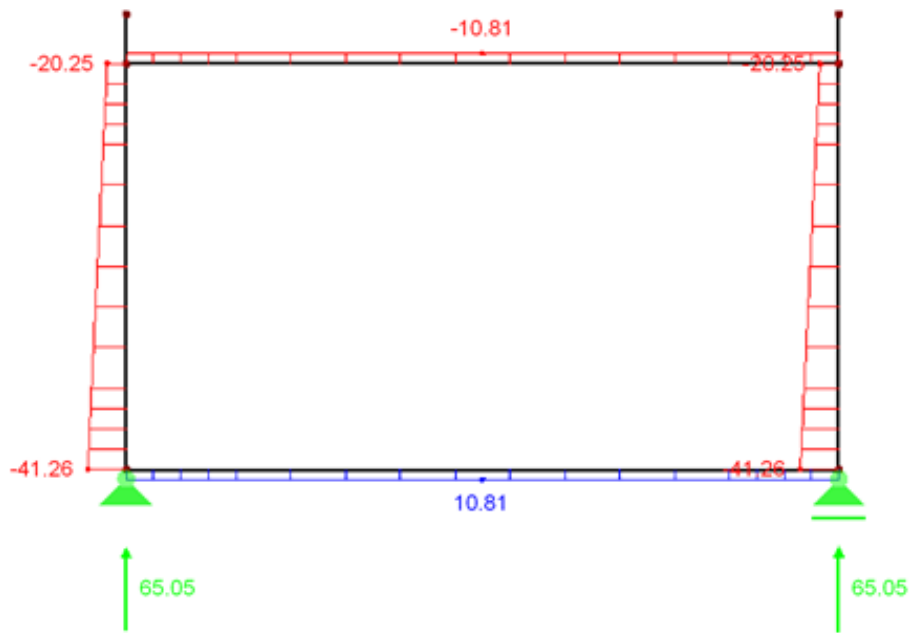


Slika 26: Prikaz 2D proračunskog modela sa opterećenjem vjetra kada puše na uzdužnu stranu objekta

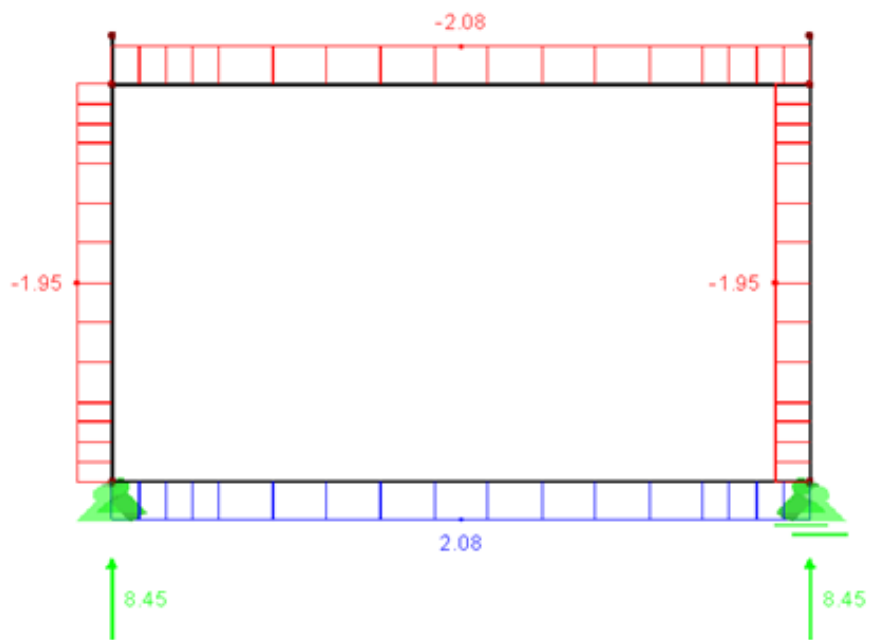


Slika 27: Prikaz 2D proračunskog modela sa opterećenjem vjetra kada puše na poprečnu stranu objekta

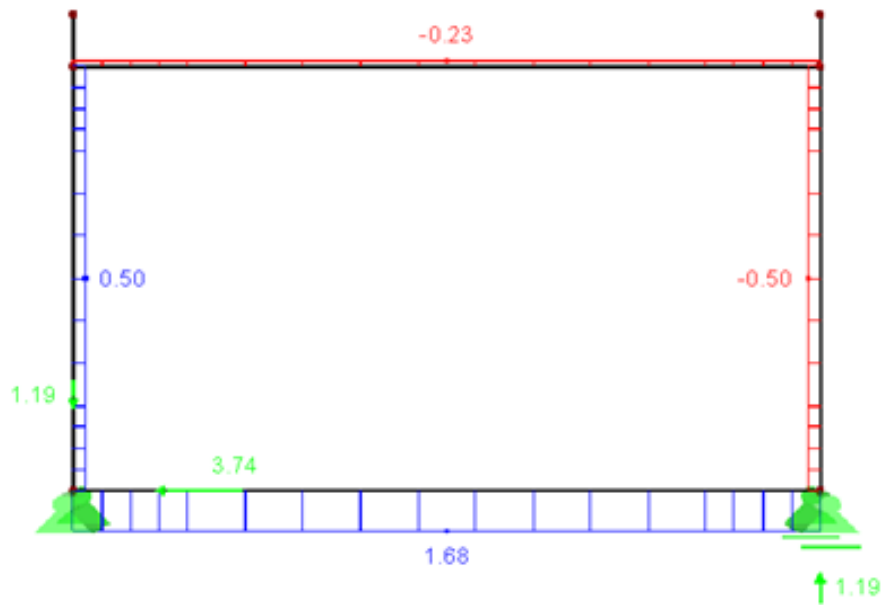
Rezultati na sljedećim stranicama prikazuju dijagrame uzdužnih i poprečnih sila te momente savijanja za pojedina opterećenja (Slika 28 - Slika 39).



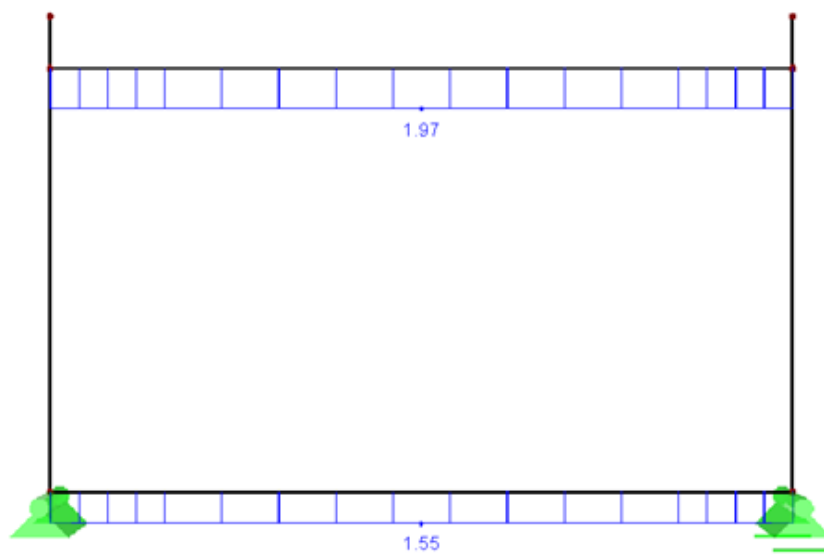
Slika 28: Dijagram uzdužnih sila od stalnog opterećenja



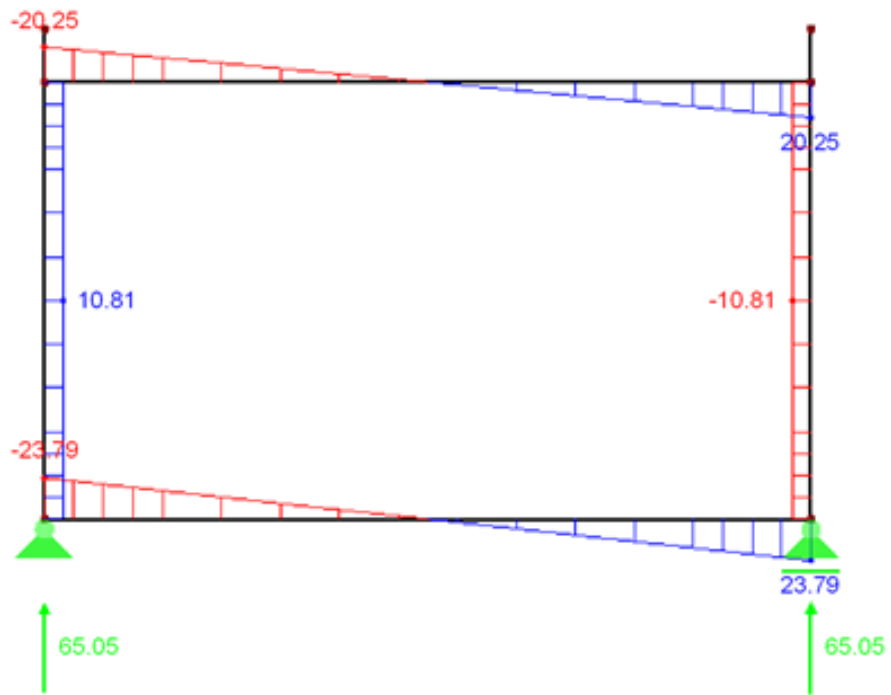
Slika 29: Dijagram uzdužnih sila od uporabnog opterećenja



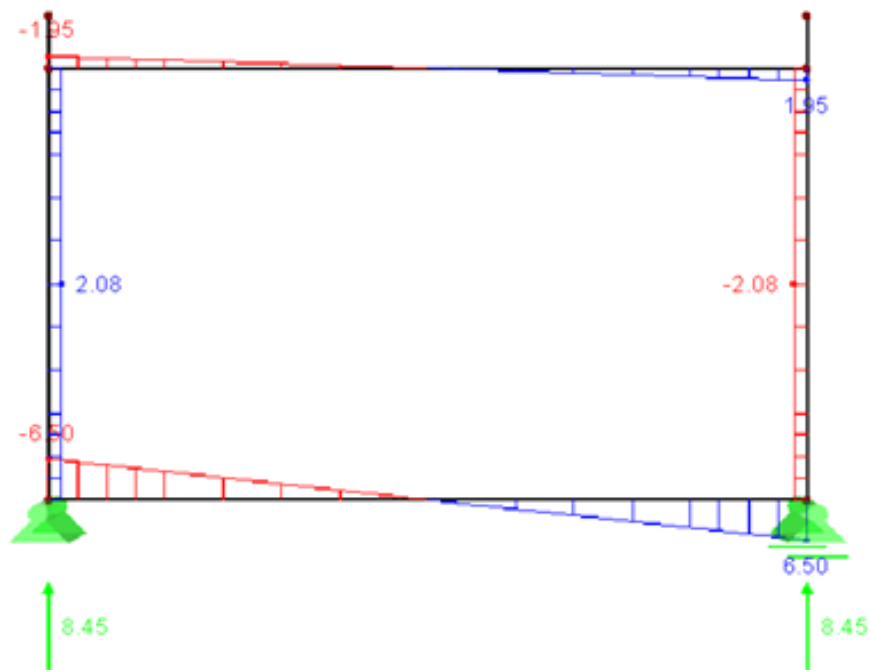
Slika 30: Dijagram uzdužnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na uzdužnu stranu objekta



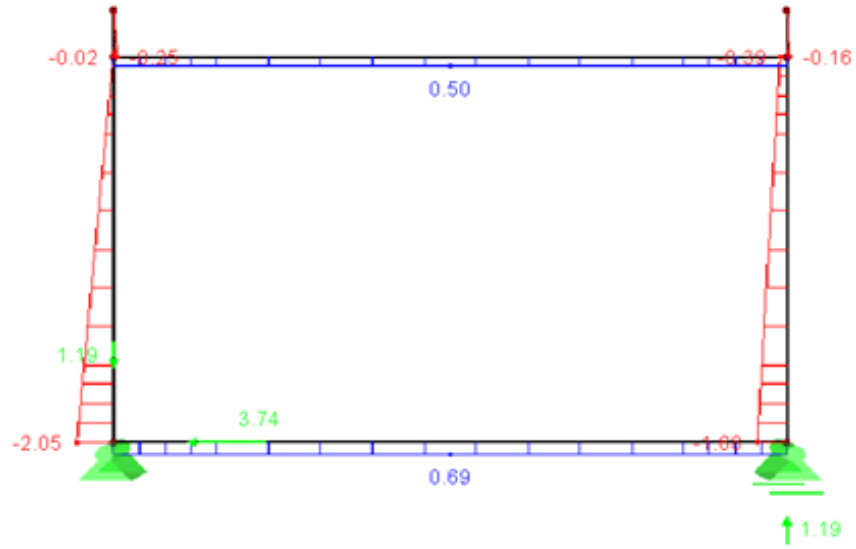
Slika 31: Dijagram uzdužnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na poprečnu stranu objekta



Slika 32: Dijagram poprečnih sila od stalnog opterećenja



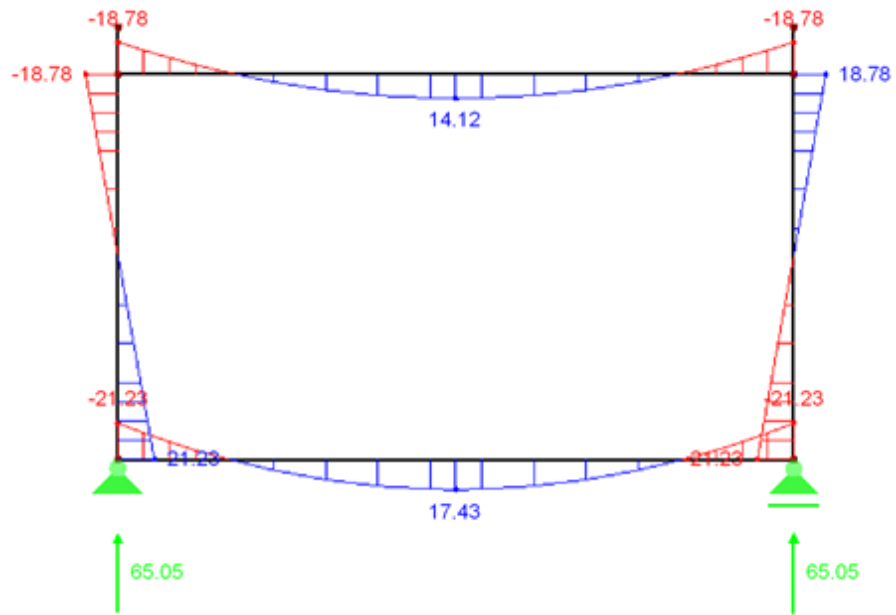
Slika 33: Dijagram poprečnih sila od uporabnog opterećenja



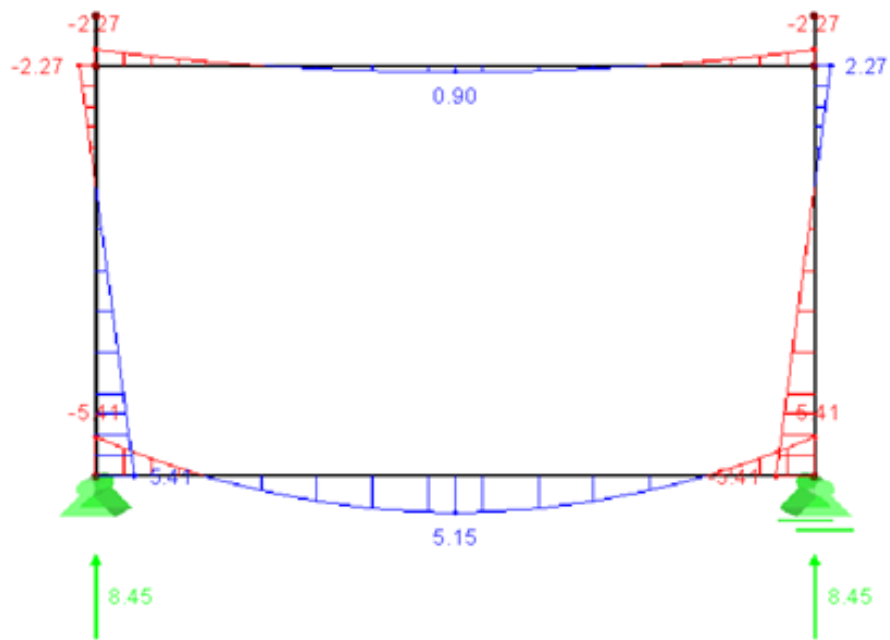
Slika 34: Dijagram poprečnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na uzdužnu stranu objekta



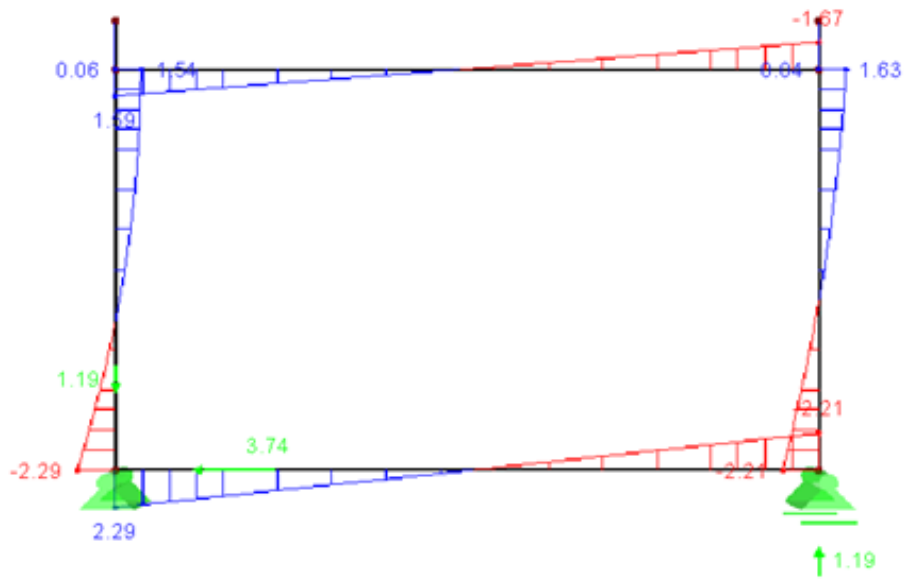
Slika 35: Dijagram poprečnih sila od opterećenja vjetrom kada puše na poprečnu stranu objekta



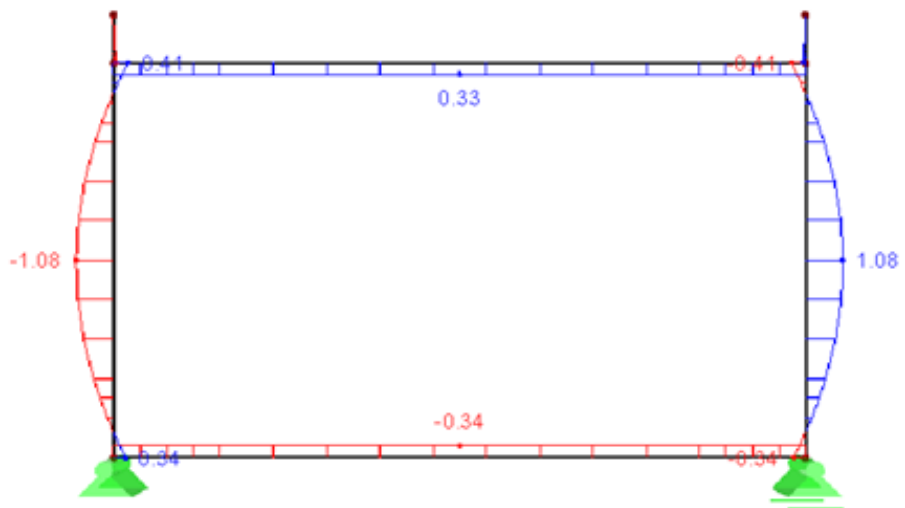
Slika 36: Dijagram momenata savijanja od stalnog opterećenja



Slika 37: Dijagram momenata savijanja od uporabnog opterećenja



Slika 38: Dijagram momenata savijanja od opterećenja vjetrom kada puše na uzdužnu stranu objekta



Slika 39: Dijagram momenata savijanja od opterećenja vjetrom kada puše na poprečnu stranu objekta

6.2. KOMBINACIJE DJELOVANJA

Kombinacije djelovanja definirane su prema normi HRN EN 1990 [9]. U ovom slučaju razmatramo osnovnu kombinaciju za krajnje granično stanje:

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

Gdje je:

γ_G parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno opterećenje ($\gamma_{G,j} = 1,35$)

G stalno opterećenje

γ_Q parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjivo opterećenje ($\gamma_{Q,1} = 1,50$)

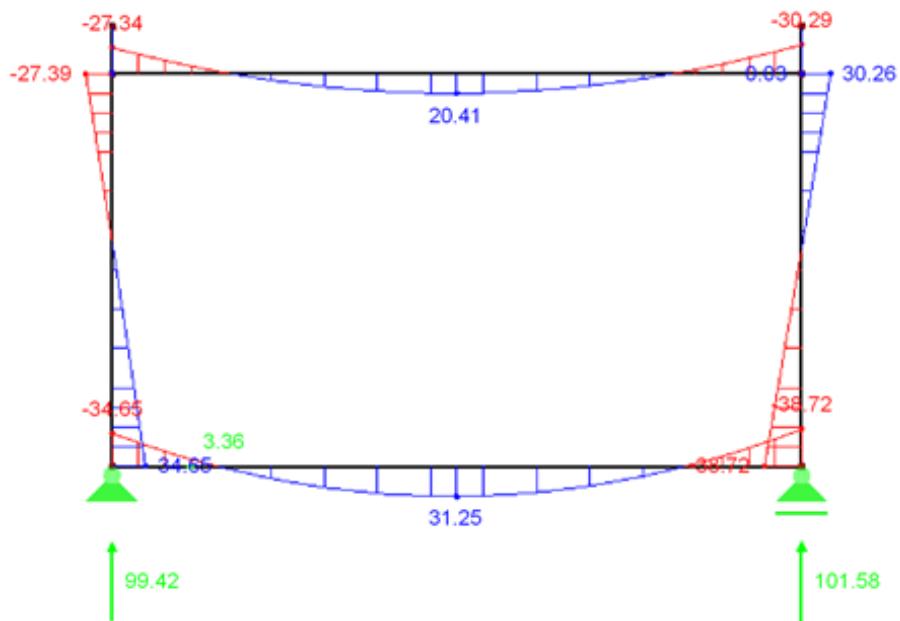
Q_k pokretno opterećenje (Q_k korisno, $Q_{w,i}$ vjetar i Q_s opterećenje ravnog krova)

$\psi_{0,i}$ koeficijent kombinacije ($\psi_{0,i} = 0,7$ za *stambene prostore*)

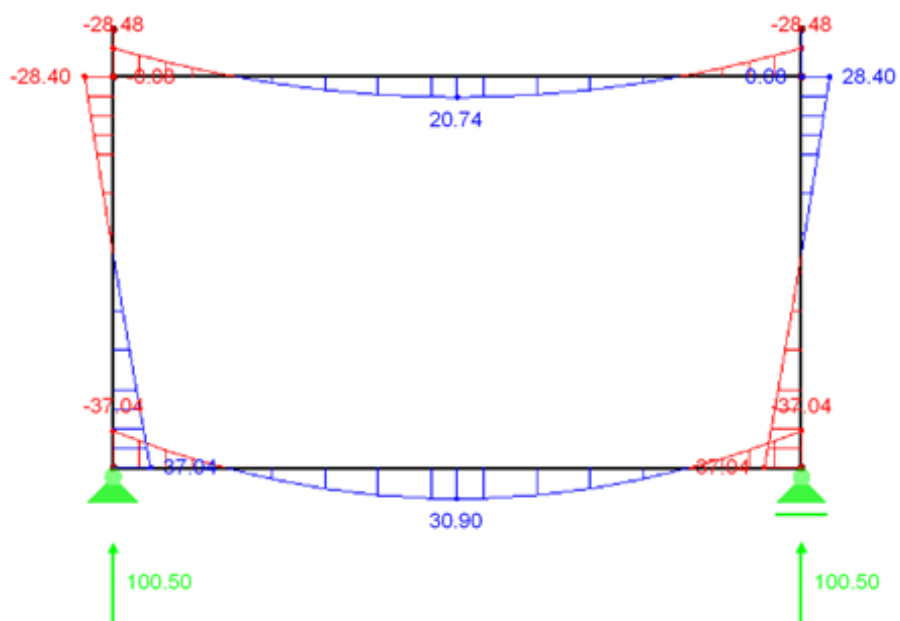
Kombinacije djelovanja za ovaj statički sustav:

- 1) $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_k + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{w,1}$
- 2) $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_k + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{w,2}$
- 3) $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{w,1} + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_s$
- 4) $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q_{w,2} + 1,5 \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_s$

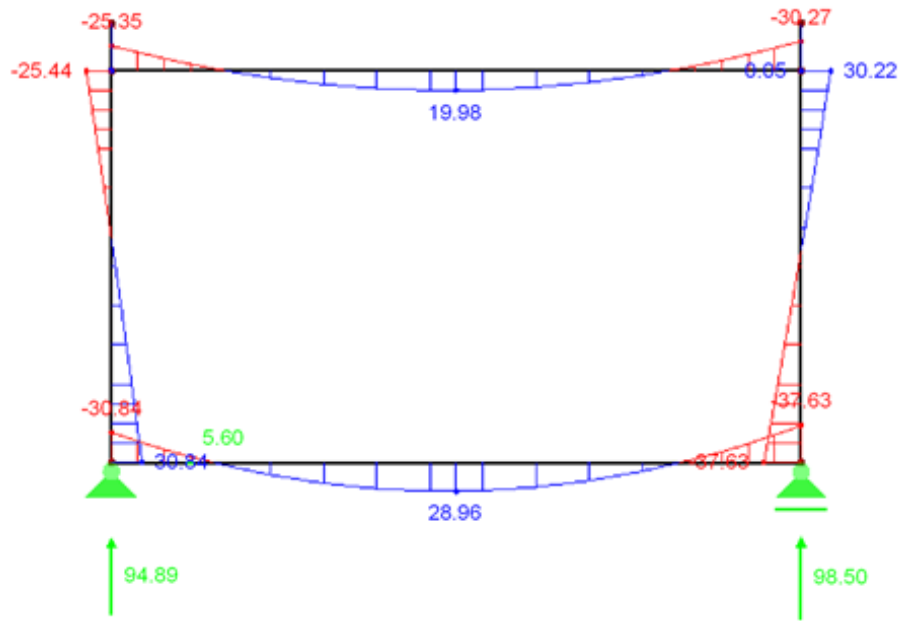
Nakon definiranja kombinacija djelovanja, za pojedinu kombinaciju proizlaze različite vrijednosti reznih sila za statički sustav, a u ovom slučaju promatramo mjerodavne vrijednosti u sredini polja ploča, te na njihovim osloncima (Slika 40 - Slika 43).



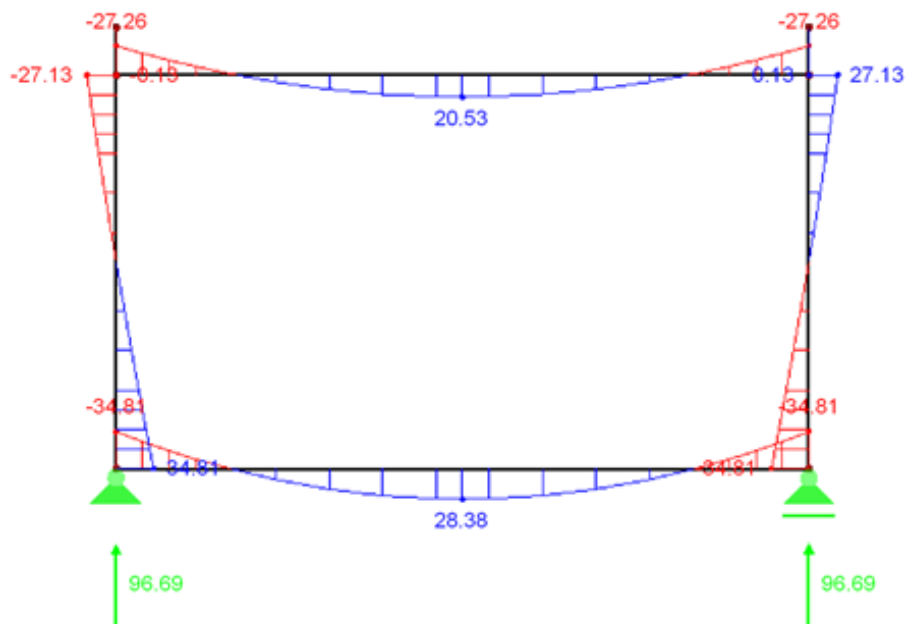
Slika 40: Kombinacija djelovanja 1



Slika 41: Kombinacija djelovanja 2

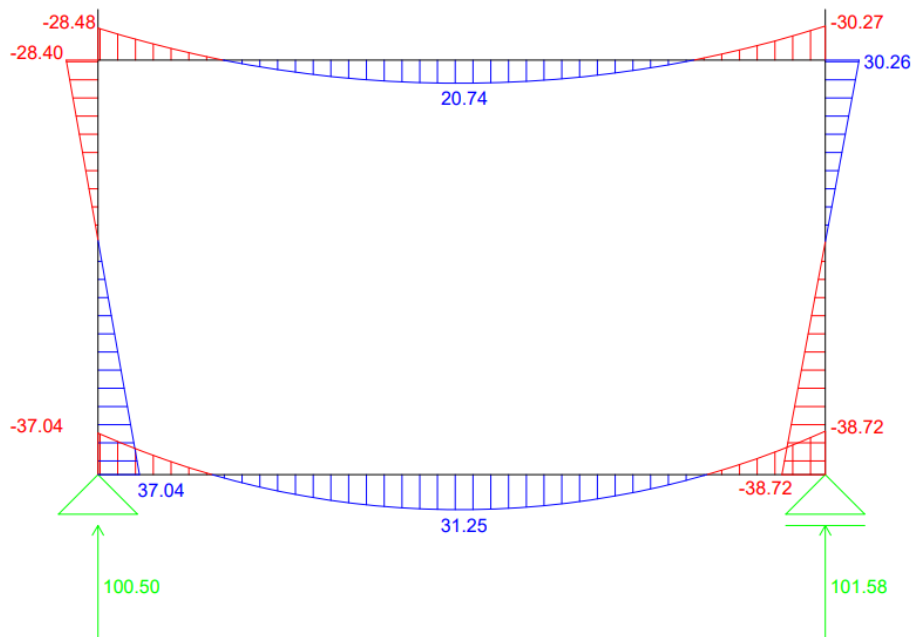


Slika 42: Kombinacija djelovanja 3



Slika 43: Kombinacija djelovanja 4

Na slici 44 prikazana je anvelopa momenata savijanja, koja prikazuje najveće vrijednosti opterećenja na statički sustav, a mjerodavna je za daljnje dimenzioniranje sustava (Slika 44).



Slika 44: Anvelopa momenata savijanja

6.3. DIMENZIONIRANJE

Dimenzioniranje armiranobetonske konstrukcije prstena provedeno je prema izrazima iz norme HRN EN 1992-1-1 [10]. Ulazni parametri za proračun potrebne armature:

- Beton razreda tlačne čvrstoće C 25/30:

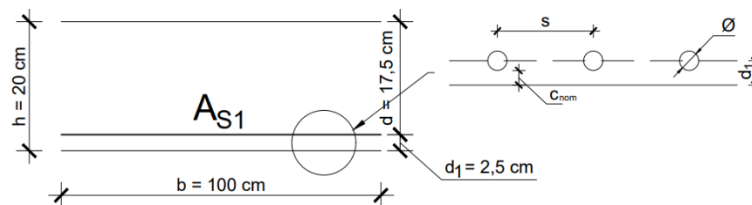
$$\text{- proračunska čvrstoća betona } f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 1,0 \cdot \frac{25 \text{ MPa}}{1,5} = 16,7 \text{ MPa}$$

$$\text{- modul elastičnosti betona } E_{cm} = 30500 \text{ N/mm}^2$$

- Čelik za armiranje B 500B:

$$\text{- proračunska granica popuštanja armature } f_{yd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

- Zaštitni sloj betona $c_{nom} = 20 \text{ mm}$ ($d_1 = 2,5 \text{ cm}$; $d = h - d_1 = 17,5 \text{ cm}$) (Slika 45)



Slika 45: Presjek ploče za dimenzioniranje u polju

1) Podna ploča prstena:

a) polje:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3125 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 1,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,061$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,08$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,967$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{3125 \text{ kNcm}}{0,967 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 4,25 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna površina armature:

$$A_{S,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \\ 0,0013 b_t \cdot d \end{array} \right.$$

$$A_{S,min} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{2,6 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 17,5 \text{ cm} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 17,5 \text{ cm} = 2,28 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{array} \right.$$

$$A_{S,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{S1} = 4,25 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{S,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabiremo mrežastu armaturu Q424 (4,24cm²/m') za donju zonu i gornju zonu.

Razdjelna armatura:

$$A_{St} = 0,2 \cdot A_{S1} = 0,2 \cdot 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}' = 1,01 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{St,min} = 0,00075 \cdot b \cdot h = 0,0075 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 20 \text{ cm} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{St} = 1,01 \text{ cm}^2/\text{m}' < A_{St,min} = 1,50 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Mrežasta armatura Q424 zadovoljava potrebnu površinu za razdjelnu armaturu.

a) oslonac:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3872 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 1,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,076$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,097$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,96$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{3872 \text{ kNcm}}{0,96 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 5,30 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna površina armature:

$$A_{S,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{S1} = 4,76 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{S,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Najveći razmaci glavne armature:

$$s = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,5 \cdot h = 1,5 \cdot 20 \text{ cm} = 30 \text{ cm} \\ 250 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$s = 25 \text{ cm}$$

Odabiremo mrežastu armaturu Q424 (4,24cm²/m') i Ø6/20 cm (1,41 cm²/m').

2) Stropna ploča prstena:

a) polje:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2074 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 1,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,04$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,053$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,978$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{2074 \text{ kNcm}}{0,978 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{S1} = 2,79 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{S,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabiremo mrežastu armaturu Q 283 (2,83 cm²/m').

a) oslonac:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{3026 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 1,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,059$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,076$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,968$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{3026 \text{ kNcm}}{0,971 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 4,11 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna površina armature:

$$A_{S,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{S1} = 3,69 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{S,min} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Odabiremo mrežastu armaturu Q 283 (2,83 cm²/m') i Ø6/20 cm (1,41 cm²/m').

3) Zidovi prstena (Moment savijanja + tlačna sila - Postupak Wuczkowsky):

Računski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) = 38,72 \text{ kNm} + 57,79 \text{ kN} \cdot \left(0,175 \text{ m} - \frac{0,20 \text{ m}}{2} \right)$$

$$M_{Eds} = 43,05 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{4305 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 1,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,084$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,113$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,953$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_{S1} = \frac{4305 \text{ kNcm}}{0,953 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} - \frac{57,79 \text{ kN}}{43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 4,61 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna površina vertikalne armature:

$$A_{S,vmin} = 0,002 \cdot A_C = 0,002 \cdot (20 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm}) = 4,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{S1} = 4,61 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}'} > A_{S,vmin} = 4,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Maksimalna površina vertikalne armature:

$$A_{S,vmax} = 0,04 \cdot A_C = 0,04 \cdot (20 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm}) = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

$$A_{S1} = 4,61 \text{ cm}^2/\text{m}' < A_{S,vmax} = 80,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Minimalna površina horizontalne armature:

$$A_{S,hmin} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,25 \cdot A_{S,v} = 0,25 \cdot 4,61 \text{ cm}^2/\text{m}' = 1,15 \text{ cm}^2/\text{m}' \\ 0,001 \cdot A_C = 0,001 \cdot (20 \text{ cm} \cdot 100 \text{ cm}) = 2 \text{ cm}^2/\text{m}' \end{array} \right.$$

$$A_{S1} = 4,61 \text{ cm}^2/\text{m}' > A_{S,hmin} = 2,0 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Za vertikalnu armaturu odabiremo Ø10/16,5cm (4,76 cm²/m'), a za horizontalnu Ø8/20 cm (2,51 cm²/m').

Uz proračunatu osnovnu armaturu, prilikom postavljanja armature za pojedini prsten, postavljaju se i „U“ spone (Ø8/20 cm) po svim rubovima ploča i zidova kako bi se osigurala krutost prstena.

6.4. SIDRENJE I NASTAVLJANJE ARMATURE

Kako bi se osigurao pravilan „rad“ armiranobetonske konstrukcije u cjelini, potrebno je proračunati duljine sidrenja, odnosno nastavljanja armature. Duljina sidrenja armature je važna iz razloga što se sile postupno prenose sa čelika na beton, i na određenoj duljini sidrenja preuzima ih beton. Duljina prijeklopa armature je važna kako bi se osigurao prijenos sile sa jedne šipke na drugu.

Osnovna duljina sidrenja ($l_{b,rqd}$) dobiva se iz izraza [10]:

$$l_{b,rqd} = \frac{\varnothing \cdot \sigma_{sd}}{4 \cdot f_{bd}}$$

gdje je:

\varnothing promjer armaturne šipke

σ_{sd} proračunsko naprezanje armaturne šipke na mjestu od kojeg se promatra duljina sidrenja ($\sigma_{sd} = 434,8 \text{ MPa}$ za čelik B 500)

f_{bd} proračunska čvrstoća prionjivosti.

Proračunsku čvrstoću prionjivosti računamo po formuli:

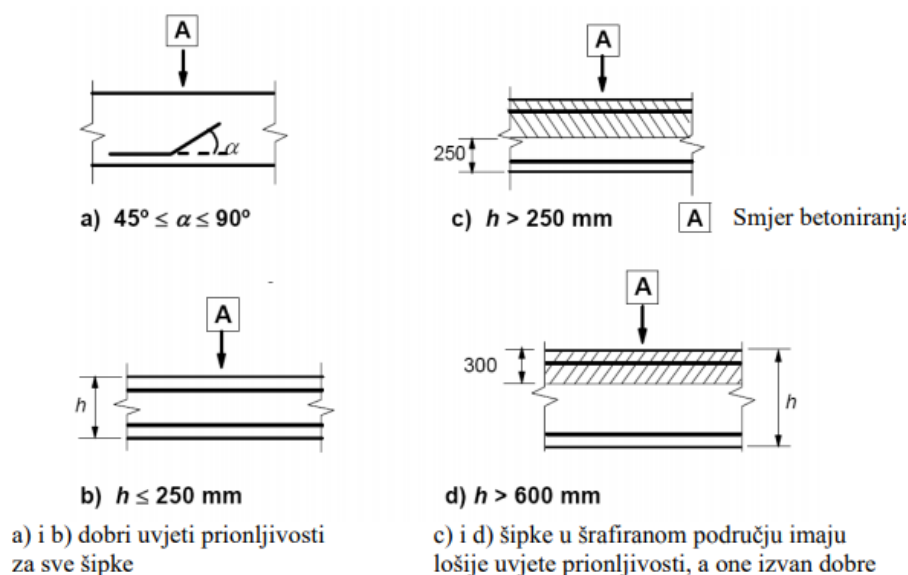
$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd}$$

gdje je:

η_1 koeficijent ovisan o uvjetima prionjivosti i položaju šipki tijekom betoniranja (Slika 46):

$\eta_1 = 1,0$ za dobre uvjete prionjivosti

$\eta_1 = 0,7$ za lošije uvjete prionjivosti



Slika 46: Skice primjera dobrih i loših uvjeta prionjivosti [10]

η_2 koeficijent ovisan o promjeru armaturne šipke:

$$\eta_2 = 1,0 \text{ za } \emptyset \leq 32 \text{ mm}$$

$$\eta_2 = \frac{132-\emptyset}{100} \text{ za } \emptyset > 32 \text{ mm}$$

f_{ctd} proračunska vlačna čvrstoća betona:

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c}$$

α_{ct} koeficijent koji uzima u obzir utjecaj dugotrajnog opterećenja i nepovoljnih efekata na vlačnu čvrstoću ($\alpha_{ct} = 1,0$)

$f_{ctk,0,05}$ karakteristična vlačna čvrstoća betona ($f_{ctk,0,05} = 1,5$ za C 25/30).

Proračunska duljina sidrenja (l_{bd}) dobiva se iz izraza:

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}$$

gdje je:

α_1 koeficijent kojim se uzima u obzir oblik armature ($\alpha_1 = 1,0$ za ravne šipke)

α_2 koeficijent kojim se uzima u obzir debljina zaštitnog sloja betona

α_3 koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj ovijanja poprečnom armaturom

α_4 koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj jedne ili više zavaranih šipki uzduž proračunske duljine sidrenja

α_5 koeficijent kojim se uzima u obzir utjecaj bočnog tlaka.

Za proračun duljine sidrenja upotrebljavamo pojednostavljeni izraz ekvivalentne duljine sidrenja:

$$l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd}.$$

Za sidrenje ravnih šipki $l_b = l_{b,eq} = l_{b,rqd}$.

Minimalna duljina sidrenja ($l_{b,min}$) dobiva se iz izraza:

$$\text{- za sidrenje u vlaku: } l_{b,min} \geq \max \begin{cases} 0,3 \cdot l_{b,rqd} \\ 10\emptyset \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{- za sidrenje u tlaku: } l_{b,min} \geq \max \begin{cases} 0,6 \cdot l_{b,rqd} \\ 10\emptyset \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

Proračunska duljina prijeklopa armature nastavljanjem (l_0) dobiva se iz izraza:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{0,min}$$

gdje je:

α_6 koeficijent ovisan o postotku preklopljene armature unutar $0,65l_0$ lijevo i desno od promatranog presjeka ($\alpha_6 = 1,0$ za $< 25\%$; $1,15$ za 33% ; $1,4$ za 50% ; $1,5$ za $> 50\%$)

Minimalna duljina prijeklopa ($l_{0,min}$) dobiva se iz izraza:

$$l_{0,min} \geq \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} \\ 15\emptyset \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Promjeri armaturnih šipki koje ćemo koristiti za armiranobetonske prstene su $\emptyset 6$ mm, $\emptyset 8$ mm i $\emptyset 10$ mm te se za njih računaju duljine sidrenja i prijeklopa.

1) Šipka $\emptyset 6$ mm

Duljina sidrenja:

$$l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot \frac{6 \text{ mm} \cdot 434,8 \text{ MPa}}{4 \cdot 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 24,15 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$\begin{aligned} \text{- za sidrenje u vlaku: } l_{b,min} &\geq \max \begin{cases} 0,3 \cdot l_{b,rqd} = 7,25 \text{ cm} \\ 10\emptyset = 6 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \\ \text{- za sidrenje u tlaku: } l_{b,min} &\geq \max \begin{cases} 0,6 \cdot l_{b,rqd} = 14,5 \text{ cm} \\ 10\emptyset = 6 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{cases} \end{aligned}$$

Duljina prijeklopa:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,5 \cdot \frac{6 \text{ mm} \cdot 434,8 \text{ MPa}}{4 \cdot 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 36,2 \text{ cm}$$

Minimalna duljina prijeklopa:

$$l_{0,min} \geq \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 10,86 \text{ cm} \\ 15\emptyset = 9,0 \text{ cm} \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Za šipku $\emptyset 6$ mm odabiremo duljinu sidrenja 30 cm te duljinu prijeklopa 40 cm.

2) Šipka $\emptyset 8$ mm

Duljina sidrenja:

$$l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot \frac{8 \text{ mm} \cdot 434,8 \text{ MPa}}{4 \cdot 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 32,21 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$\text{- za sidrenje u vlaku: } l_{b,min} \geq \max \begin{cases} 0,3 \cdot l_{b,rqd} = 11,6 \text{ cm} \\ 10\emptyset = 8 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{- za sidrenje u tlaku: } l_{b,min} \geq \max \begin{cases} 0,6 \cdot l_{b,rqd} = 23,2 \text{ cm} \\ 10\emptyset = 8 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

Duljina prijeklopa:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,5 \cdot \frac{8 \text{ mm} \cdot 434,8 \text{ MPa}}{4 \cdot 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 48,3 \text{ cm}$$

Minimalna duljina prijeklopa:

$$l_{0,min} \geq \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 14,49 \text{ cm} \\ 15\emptyset = 12,0 \text{ cm} \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$$

Za šipku $\emptyset 8$ mm odabiremo duljinu sidrenja 35 cm te duljinu prijeklopa 50 cm.

3) Šipka $\emptyset 10$ mm

Duljina sidrenja:

$$l_{b,eq} = \alpha_1 \cdot l_{b,rqd} = 1,0 \cdot \frac{10 \text{ mm} \cdot 434,8 \text{ MPa}}{4 \cdot 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 40,26 \text{ cm}$$

Minimalna duljina sidrenja:

$$\text{- za sidrenje u vlaku: } l_{b,min} \geq \max \begin{cases} 0,3 \cdot l_{b,rqd} = 12,08 \text{ cm} \\ 10\emptyset = 10 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

$$\text{- za sidrenje u tlaku: } l_{b,min} \geq \max \begin{cases} 0,6 \cdot l_{b,rqd} = 24,16 \text{ cm} \\ 10\emptyset = 10 \text{ cm} \\ 100 \text{ mm} \end{cases}$$

Duljina prijeklopa:

$$l_0 = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 1,5 \cdot \frac{10 \text{ mm} \cdot 434,8 \text{ MPa}}{4 \cdot 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2} = 60,4 \text{ cm}$$

Minimalna duljina prijeklopa:

$$l_{0,min} \geq \begin{cases} 0,3 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd} = 18,12 \text{ cm} \\ 15\emptyset = 15,0 \text{ cm} \\ 200 \text{ mm} \end{cases}$$

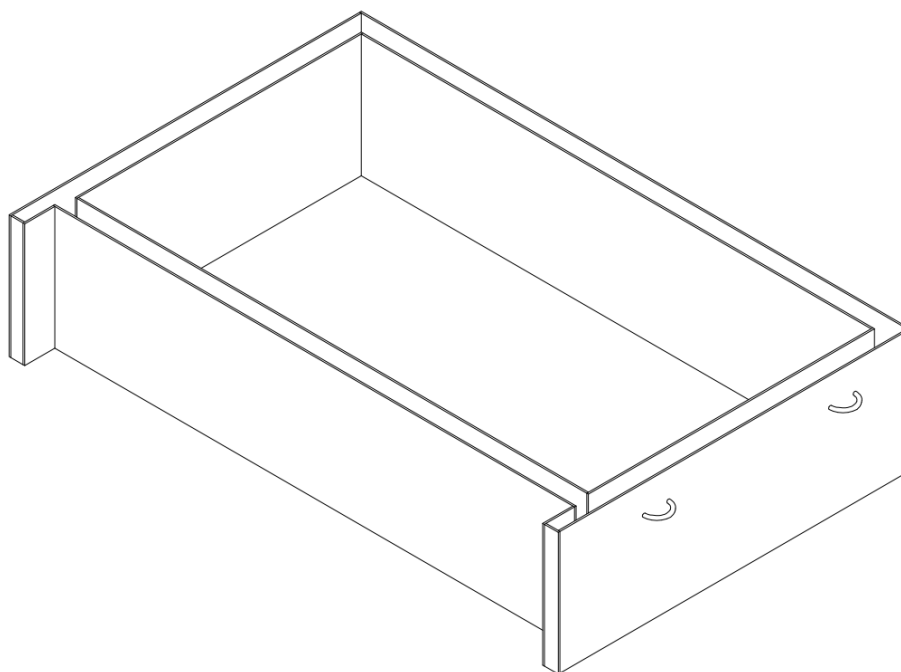
Za šipku $\emptyset 10$ mm odabiremo duljinu sidrenja 45 cm te duljinu prijeklopa 65 cm.

Nacrti armature za pojedine prstenove priloženi su u grafičke priloge. Na njima je prikazan položaj armaturnih šipki i mreža za pojedini element prstena. Uz nacрте su priloženi i iskazi armature za svaki prsten. Nacrти armature izrađeni su pomoću programa Revit i SOFiSTiK.

7. IZVEDBA I TRANSPORT PRSTENASTIH ČELIJA

7.1. IZVEDBA ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA

Prsteni se betoniraju u tvornici pomoću metalnih kalupa koji se polažu okomito u odnosu na stvarni položaj prstena prilikom montaže (Slika 47). Betoniranje u tvornici omogućuje bolju kontrolu betoniranja, kao i bolje uvjete prilikom betoniranja što u konačnici doprinosi boljoj kvaliteti betona. Prije samog betoniranja, u kalupe se polaže prethodno proračunata armatura te se na mjestima predviđenima za međusobno spajanje prstenova postavljaju ploče stiropora kako bi nastali utori za postavljanje spojnog materijala.



Slika 47: Metalni kalup za izradu armiranobetonskog prstena

Kako je riječ o armiranobetonskim elementima, pozornost treba obratiti na tlačnu čvrstoću betona. Kako je ovdje riječ o izradi elemenata u tvornici, to može stvoriti određene prepreke u fazi proizvodnje prstenova zbog dostizanja određene tlačne čvrstoće betona. Problemi mogu biti u vidu količine metalnih kalupa i skladišnog prostora ukoliko je potrebno izraditi veći broj prstenova, pa je potrebno što prije skinuti oplatu prstena i premjestiti prsten. Zbog toga je potrebno koristiti neki od postupaka za ubrzano dostizanje tlačne čvrstoće, koji se koriste u pogonima. Specificirana tlačna čvrstoća betona može se odrediti za period t u danima kraći od 28 dana prema izrazu iz norme HRN EN 1992-1-1 [10]:

$$f_{ck}(t) = f_{cm}(t) - 8MPa \text{ (za } 3 < t < 28 \text{ dana).}$$

Za srednju temperaturu od 20 °C i njegu betona u skladu s normom EN 12390 [11] srednja tlačna čvrstoća betona pri različitim starostima $f_{cm}(t)$ smije se procijeniti iz izraza:

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm}$$

gdje je:

$\beta_{cc}(t)$ koeficijent koji ovisi o starosti t betona

f_{cm} srednja tlačna čvrstoća betona pri starosti 28 dana.

Za beton razreda C 25/30 $f_{cm} = 33 \text{ MPa}$.

Koeficijent $\beta_{cc}(t)$ proračunava se prema izrazu:

$$\beta_{cc}(t) = e^s \left[1 - \left(\frac{28}{t} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

gdje je:

t starost betona u danima

s koeficijent koji ovisi o vrsti cementa.

Odabire se cement razreda čvrstoće CEM 42,5 N za koji koeficijent s iznosi 0,25.

U nastavku određuje se specificirana tlačna čvrstoća betona za period od 4 dana:

$$\beta_{cc}(7) = e^{0,25} \left[1 - \left(\frac{28}{4} \right)^{\frac{1}{2}} \right] = 0,66$$

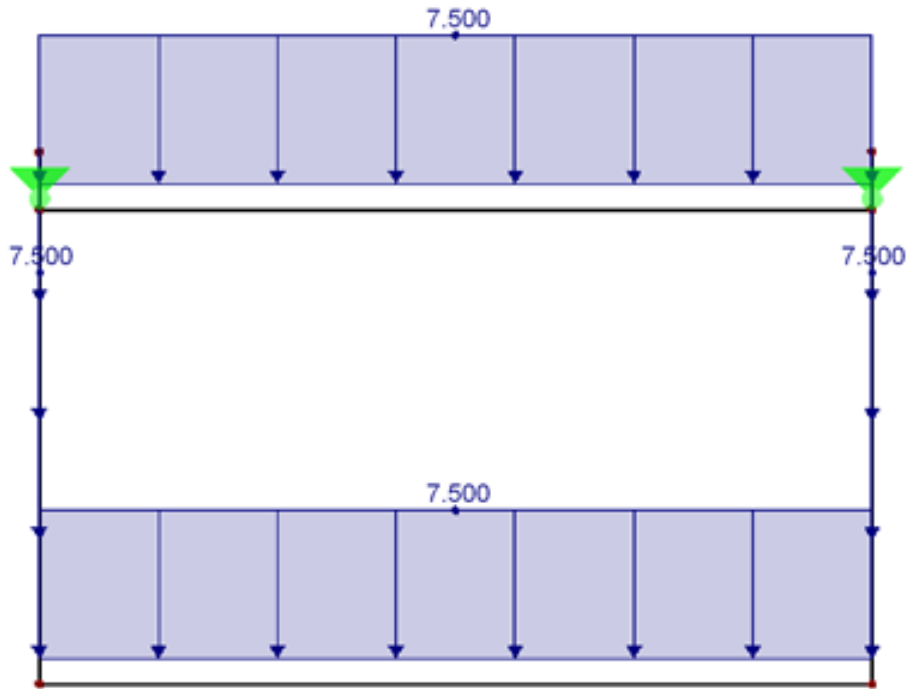
$$f_{cm}(7) = 0,66 \cdot 33 \text{ MPa} = 21,78 \text{ MPa}$$

$$f_{ck}(7) = 21,78 \text{ MPa} - 8 \text{ MPa} = 13,78 \text{ MPa} \rightarrow \frac{13,78 \text{ MPa}}{33 \text{ MPa}} = 0,418.$$

Nakon perioda od 4 dana beton je postigao tlačnu čvrstoću od 13,78 MPa, odnosno 41,8% od tlačne čvrstoće koju postiže nakon 28 dana. Za dobivenu tlačnu čvrstoću potrebno je ponovno provesti dimenzioniranje prstena kako bi se utvrdila potrebna armatura.

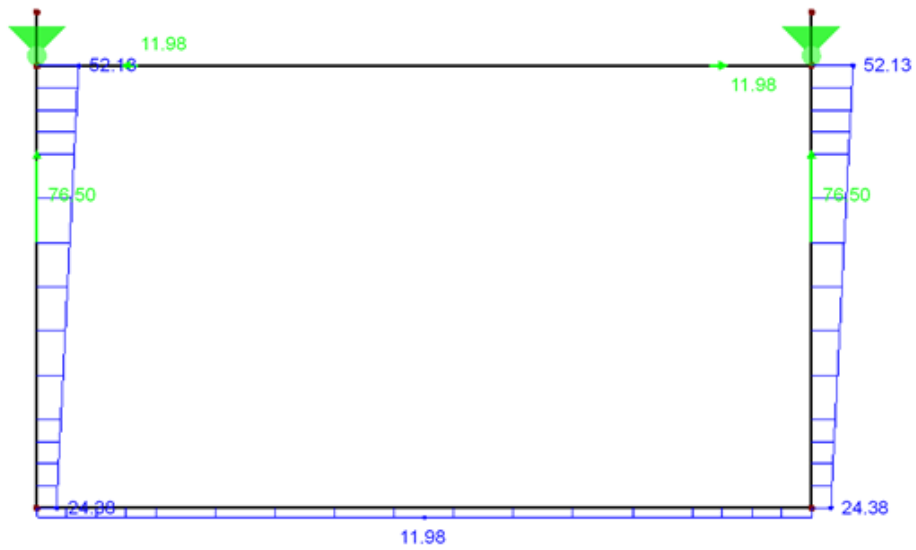
7.2. DIMENZIONIRANJE PRSTENA ZA FAZU PODIZANJA UNUTAR TVORNICE

Dimenzioniranje prstena za fazu podizanja provodi se tako što u statički sustav unosi samo stalno opterećenje prstena u iznosu od 5kN/m (vrijednost opterećenja za armirani beton) koje se množi sa faktorom sigurnosti za moguće dinamičke utjecaje prilikom podizanja, vrijednosti 1,5. Ukupno opterećenje na statički sustav iznosi 7,5 kN/m (Slika 48).

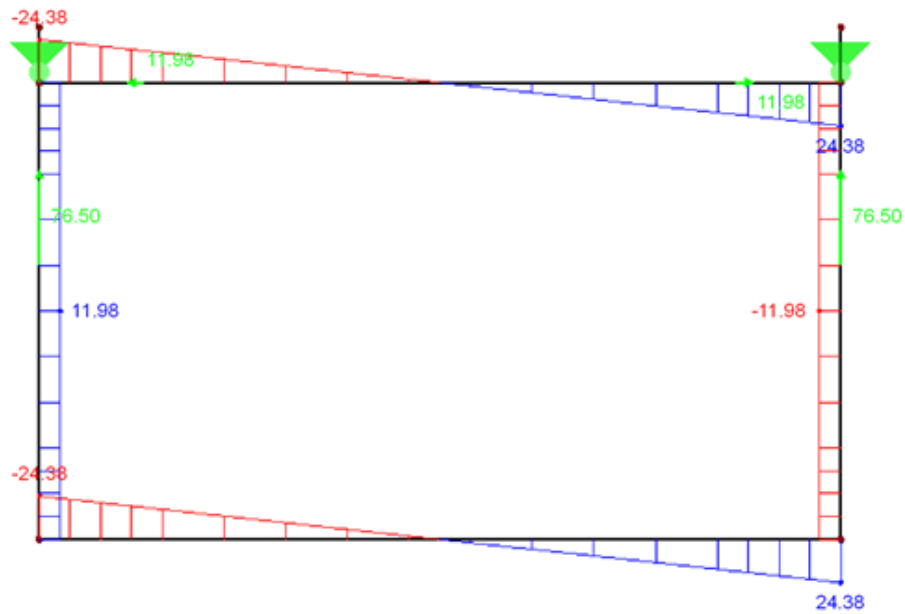


Slika 48: Prikaz 2D proračunskog modela za podizanje sa stalnim opterećenjem

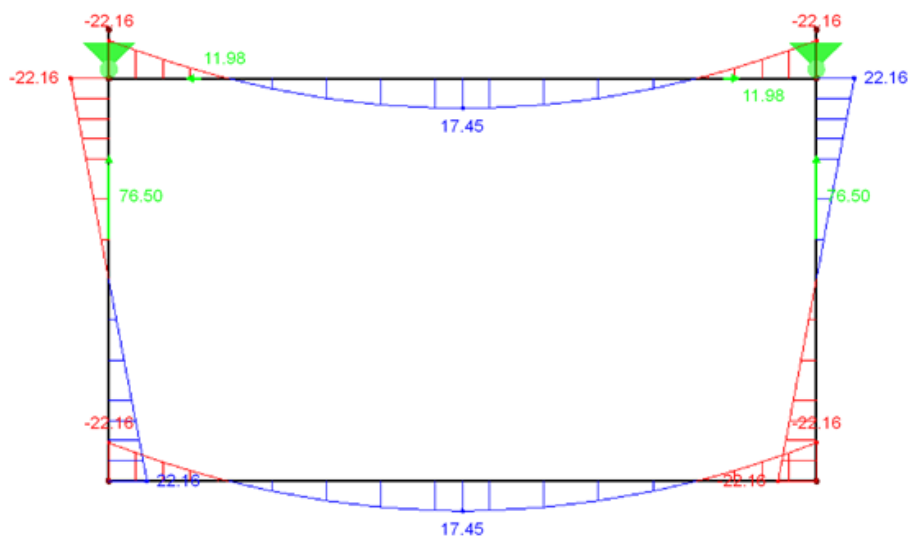
Za zadani statički sustav i zadano opterećenje ponovno se određuju dijagrami mjerodavni za daljnje dimenzioniranje prstena (Slika 49 - Slika 51).



Slika 49: Dijagram uzdužnih sila od stalnog opterećenja



Slika 50: Dijagram poprečnih sila od stalnog opterećenja



Slika 51: Dijagram momenata savijanja od stalnog opterećenja

7.2.1. Proračun potrebne armature

Ulazni parametri za proračun potrebne armature:

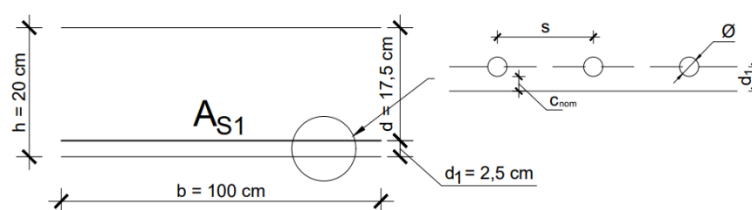
- Beton karakteristične tlačne čvrstoće 13,78 MPa:

$$\text{- proračunska čvrstoća betona } f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_s} = 1,0 \cdot \frac{13,78 \text{ MPa}}{1,5} = 9,2 \text{ MPa}$$

- Čelik za armiranje B 500B:

$$\text{- proračunska granica popuštanja armature } f_{yd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

- Zaštitni sloj betona $c_{nom} = 20 \text{ mm}$ ($d_1 = 2,5 \text{ cm}$; $d = h - d_1 = 17,5 \text{ cm}$) (Slika 45)



Slika 45: Presjek ploče za dimenzioniranje u polju

1) Podna i stropna ploča prstena:

a) polje:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1745 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 0,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,062$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,08$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,967$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{1745 \text{ kNcm}}{0,967 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 2,37 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Potrebna površina armature iz poglavlja 6.3. za podnu ploču u polju iznosi 4,25 cm²/m', što je veće od 2,37 cm²/m', dok za stropnu ploču u polju iznosi 2,79 cm²/m' što je također veće od 2,37 cm²/m'. Prema tim uvjetima kao potrebnu armaturu usvajamo armaturu odabranu u poglavlju 6.3..

b) oslonac:

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2216 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 0,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,079$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,104$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,957$$

Potrebna površina armature:

$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} = \frac{2216 \text{ kNcm}}{0,957 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 3,04 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Potrebna površina armature iz poglavlja 6.3. za podnu ploču na osloncu iznosi 5,30 cm²/m', što je veće od 3,04 cm²/m', dok za stropnu ploču na osloncu iznosi 4,11 cm²/m' što je također veće od 3,04 cm²/m'. Usvojena armatura odabrana u poglavlju 6.3. zadovoljava i vrijednosti za fazu podizanja.

2) Zidovi prstena (Moment savijanja + vlačna sila - Postupak Wuczkowsky):

Računski moment savijanja s obzirom na težište vlačne armature:

$$M_{Eds} = M_{Ed} - N_{Ed} \cdot \left(d - \frac{h}{2} \right) = 22,16 \text{ kNm} - 52,13 \text{ kN} \cdot \left(0,175 \text{ m} - \frac{0,20 \text{ m}}{2} \right)$$

$$M_{Eds} = 18,25 \text{ kNm}$$

$$\mu_{Eds} = \frac{M_{Eds}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1825 \text{ kNcm}}{100 \text{ cm} \cdot (17,5 \text{ cm})^2 \cdot 0,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,065$$

$$\xi = \frac{x}{d} = 0,085$$

$$\zeta = \frac{z}{d} = 0,964$$

Potrebna površina armature:

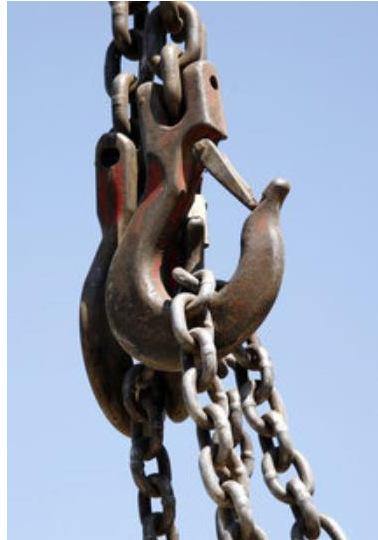
$$A_{S1} = \frac{M_{Eds}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_{S1} = \frac{1825 \text{ kNcm}}{0,964 \cdot 17,5 \text{ cm} \cdot 43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + \frac{52,13 \text{ kN}}{43,48 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 3,69 \text{ cm}^2/\text{m}'$$

Potrebna površina armature iz poglavlja 6.3. za zid iznosi 4,61 cm²/m', što je veće od 3,69 cm²/m' pa prema tim uvjetima kao potrebnu armaturu usvajamo armaturu odabranu u poglavlju 6.3..

7.3. TRANSPORT ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA

Nakon što je beton stajao u oplati 4 dana, može se pristupiti skidanju oplata. Oplata prstena, odnosno metalni kalup skida se tako što se četiri kuke sa užadi kranske dizalice pričvršćuju na kuke koje se nalaze na kalupu te se na taj način kalup odiže od betona. Kuke koje se koriste prilikom podizanja kalupa, a kasnije i samog prstena imaju povratni zatvarač na sebi kako ne bi došlo do ispadanja tereta (Slika 52).



Slika 52: Kuke za podizanje kalupa i prstena

Nakon što je kalup skinut, potrebno je prsten postaviti u vertikalni položaj na način da se četiri kuke sa užadi kranske dizalice u ovoj fazi pričvršćuju na čeličnu užad koje se prilikom betoniranja postavljaju na stropnu ploču prstena (Slika 53). Prsten se potom postepeno odiže sve dok ne dođe u vertikalni položaj kada se može premjestiti na drugu lokaciju.



Slika 53: Uže za podizanje prstena [12]

Za razliku od podizanja prstena unutar tvornice pomoću kranske dizalice velike nosivosti, za transport prstena od tvornice do gradilišta, potrebno je izračunati njegovu masu kako bi se osigurali potrebna dizalica te kamion, odnosno tegljač sa poluprikolicom. Masu računamo prema dimenzijama prstena:

$$m = V \cdot \rho = \{[(\text{visina zida} + \text{širina ploče}) \cdot 0,20 \text{ m} + \text{visina atike} \cdot 0,15 \text{ m}] \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 2\} \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m = \{[(3,50 \text{ m} + 6,70 \text{ m}) \cdot 0,20 \text{ m} + 0,35 \text{ m} \cdot 0,15 \text{ m}] \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 2\} \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$m_2 = 6,28 \text{ m}^3 \cdot 2500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 15,7 \text{ t}$$

Iz proračuna dobivamo da prsten ima masu gotovo 16 tona, pa prema toj vrijednosti je potrebno osigurati adekvatnu dizalicu i tegljač sa poluprikolicom. Što se tiče dizalice, u ovom je slučaju dovoljna i auto dizalica koja podiže iznad 16 tona u radijusu do 10 metara, budući se može smjestiti blizu samog mjesta postavljanja prstenova (Slika 54).



Slika 54: Autodizalica nosivosti 30 tona [13]

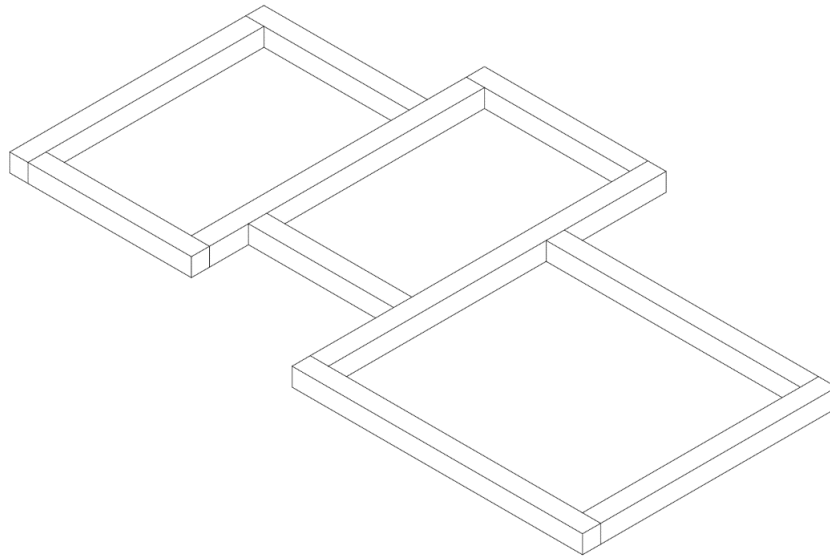
Za tegljač sa poluprikolicom je također dovoljna nosivost od 16 tona, ukoliko će se prevoziti po jedan prsten. Ukoliko postoji mogućnost da se prevoze dva prstena odjednom, nosivost treba biti dvostruko veća (Slika 55). Krajnji odabir za transport jednog ili dva prstena odjednom ovisi o ukupnim gabaritima vozila te ograničenjima na pojedinim prometnicama.



Slika 55: Transport armiranobetonskog prstena [1]

8. MONTAŽA I SPAJANJE ARMIRANOBETONSKIH PRSTENA

Prije postavljanja prstenova, potrebno je na licu mjesta izvesti armiranobetonske temeljne trake širine 30 cm i visine 60 cm. Temeljne trake se izvode ispod budućih zidova prstenova te su međusobno povezane na mjestima gdje su prsteni zamaknuti (Slika 56).



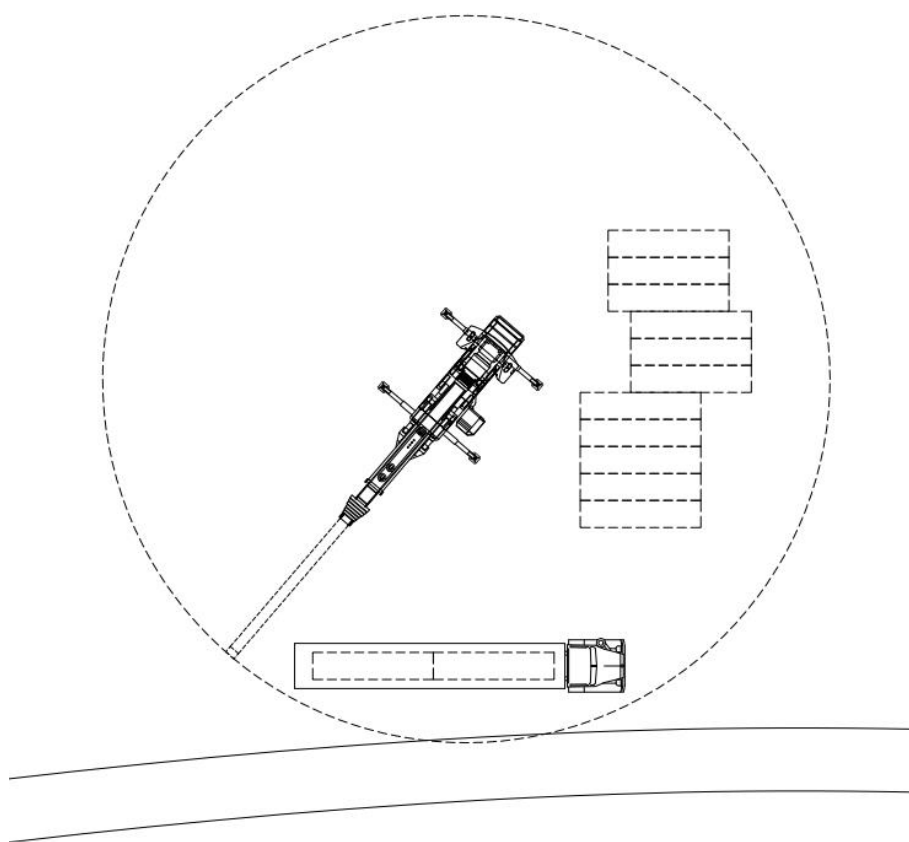
Slika 56: Temeljna konstrukcija

Prsteni se na temeljne trake postavljaju pomoću autodizalice koja je smještena uz gradilište na način da ima dovoljno prostora za manevar same dizalice, ali ne previše kako ne bi došlo do prekoračenja opterećenja na vrhu kрана dizalice (Slika 57).



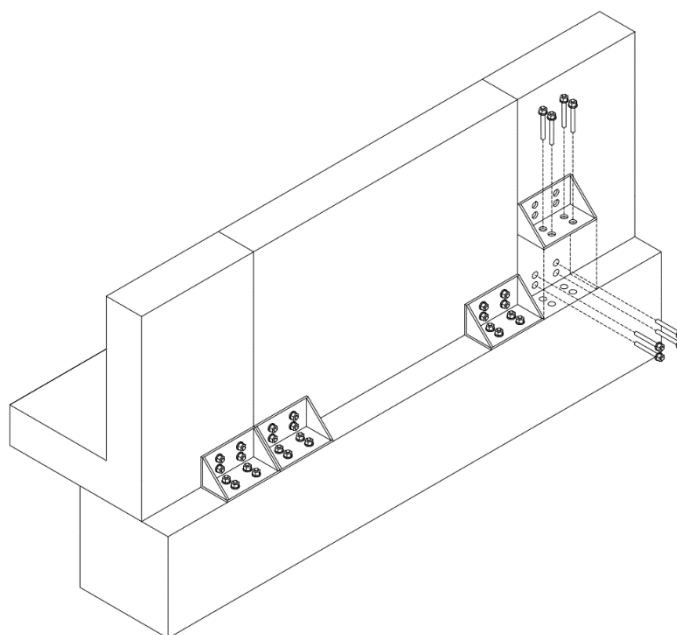
Slika 57: Postavljanje prstenastih ćelija na gradilištu [1]

Tegljač sa poluprikolicom, prilikom dostavljanja prstena na gradilište, treba se smjestiti što bliže autodizalici, ukoliko je to moguće. U suprotnom, ako je vidljivo da autodizalica ne može sa jednog položaja postaviti sve prstene na predviđena mjesta te ako tegljač nije u mogućnosti doći blizu autodizalice (zbog konfiguracije terena, ograničenosti prometnice i sl.) treba razmotriti dvije mogućnosti montaže. Jedna opcija je da se prilikom montaže koriste dvije autodizalice, jedna za premještanje prstena sa poluprikolice na ravnu površinu uz gradilište, a druga za podizanje prstena na temeljne trake. Druga opcija zahtijeva samo jednu autodizalicu koja će obaviti iste radnje kao dvije, uz premještanje iz jednog radnog područja na drugo. Odabir načina montaže ovisi ponajviše o mogućnostima transporta do gradilišta što obuhvaća udaljenost gradilišta od tvornice i mogućnost transporta sa više tegljača, zatim prostor koji se može iskoristiti za smještaj autodizalica, prometna infrastruktura (zatvaranje prometnica), a u konačnici i financijska isplativost u usporedbi sa brzinom montaže. Ovakve situacije treba razmotriti kada je riječ o kućama koje su tlocrto puno veće od kuće obuhvaćene ovim radom, dok bi za ovakvu jednostavnu kuću sasvim dovoljna bila i jedna autodizalica (Slika 58).



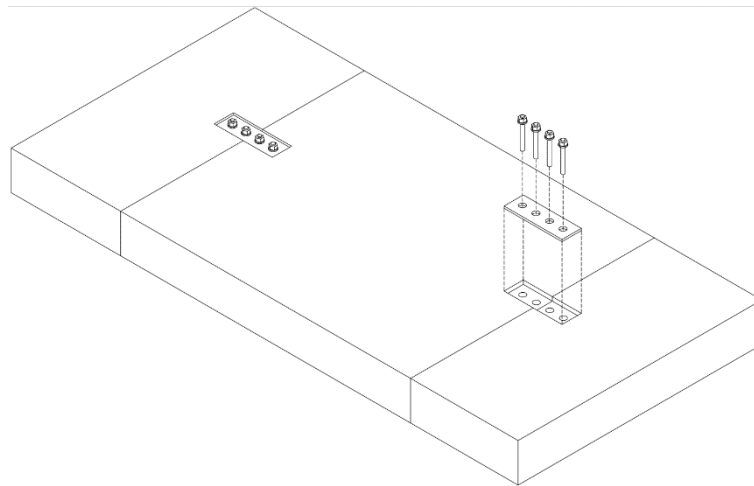
Slika 58: Skica položaja autodizalice i tegljača na gradilištu

Nakon postavljanja prstenova na temeljne trake, može se pristupiti spajanju prstenova na temeljnu konstrukciju, kao i međusobnom spajanju prstenova. Na temeljne trake prstenovi se pričvršćuju pomoću čeličnih profila debljine 10 mm i sidrenih vijaka M16, duljine 15 cm. Čelični profili su izvedeni od pravokutno zavarenih ploča, dimenzija 15 cm x 30 cm, tako da naliježu na temelj i na prsten. Na profilima se izbuše po četiri rupe na svakoj pločici, promjera 18 mm, kako bi se kroz njih mogli ubušiti sidreni vijci. Prsten se na temeljne trake pričvršćuje na dva mjesta sa svake strane (Slika 59).



Slika 59: Spajanje temeljne konstrukcije i prstena

Međusobno spajanje prstenova se izvodi pomoću vijaka M16, duljine 15 cm te čeličnih pločica debljine 10 mm, širine 5 cm i duljine 30 cm. U prethodno ostavljene utore na zidovima, podnoj i stropnoj ploči postavljaju se čelične pločice sa četiri rupe promjera 18 mm kroz koje se postavljaju sidreni vijci (Slika 60). Na spojevima podnih i stropnih ploča spajanje prstenova se izvodi na četiri jednako udaljenim mjestima, dok se na zidovima izvodi na dva mjesta.



Slika 60: Međusobno spajanje prstenova

Po završetku spajanja svih prstenova, potrebno je zabrtviti spojeve te postaviti hidroizolaciju na stropnu ploču kako bi se spriječilo prodiranje vlage, a potom se može pristupiti postavljanju fasade te uređenju unutarnjih prostorija.

9. ZAKLJUČAK

U radu je prikazana izvedba obiteljske kuće od armiranobetonskih prstenastih ćelija, što je samo jedan od niza montažnih načina gradnje. Iako su kuće izvedene od armiranobetonskih ćelija, te armiranobetonskih elemenata općenito, manje zastupljene u odnosu na čelične ili drvene, i dalje imaju svoje prednosti kao što je prvenstveno katnost objekta. Za pretpostaviti je da će se daljnjim razvojem industrije te novih tehnologija omogućiti brža gradnja armiranobetonskim ćelijama, a na to već utječe i pojava novih materijala za izradu takvih elemenata kao što su lagani betoni, kako bi se smanjila vlastita težina ćelije.

10. LITERATURA

- [1] „smartliving“, <https://www.smartliving.cat/en/smartliving-home-eng/>. [Pristup 15. travnja 2021.].
- [2] Slavko Rex, *Industrijski način građenja II dio*, Zagreb, 1983.
- [3] E. Commission, „EUR-Lex“, https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:25c52d77-47e5-4c33-bb32-fdcec929967f.0001.02/DOC_1&format=PDF. [Pristup 28. svibnja 2021.].
- [4] J. W. Works., <https://japanwoodworks.com/engineering/prefabricated-wood-products/>. [Pristup 18. travnja 2021.].
- [5] SPINE, <http://domyspine.pl/en/dom-modulowy-pokazowy/>. [Pristup 18. travnja 2021.].
- [6] L. Stinson, „Concrete homes“, Curbed, 2020.
- [7] HRN EN 1991-1-3 2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-3: Opća djelovanja: Opterećenje snijegom uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1991-1-3: 2012/NA:2016
- [8] HRN EN 1991-1-4 2012: Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja: Djelovanje vjetra uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1991-1-4: 2012/NA:2012
- [9] HRN EN 1990 2011: Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1990: 2011/NA:2011
- [10] HRN EN 1992-1-1 2013: Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija – Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1992-1-1: 2013/NA:2015
- [11] HRN EN 12390 2012: Ispitivanje očvrsloga betona - 1. dio: Oblik, dimenzije i drugi zahtjevi za uzorke i kalupe
- [12] „Pfeifer“, <https://www.pfeifer.info/en/home/>. [Pristup 5. svibnja 2021].
- [13] „lectura-specs“, <https://www.lectura-specs.com/en/model/cranes>. [Pristup 4. lipnja 2021.].
- [14] fib Bulletin 78, „Precast-concrete buildings in seismic areas“, fib, 2016.

11. GRAFIČKI PRILOZI

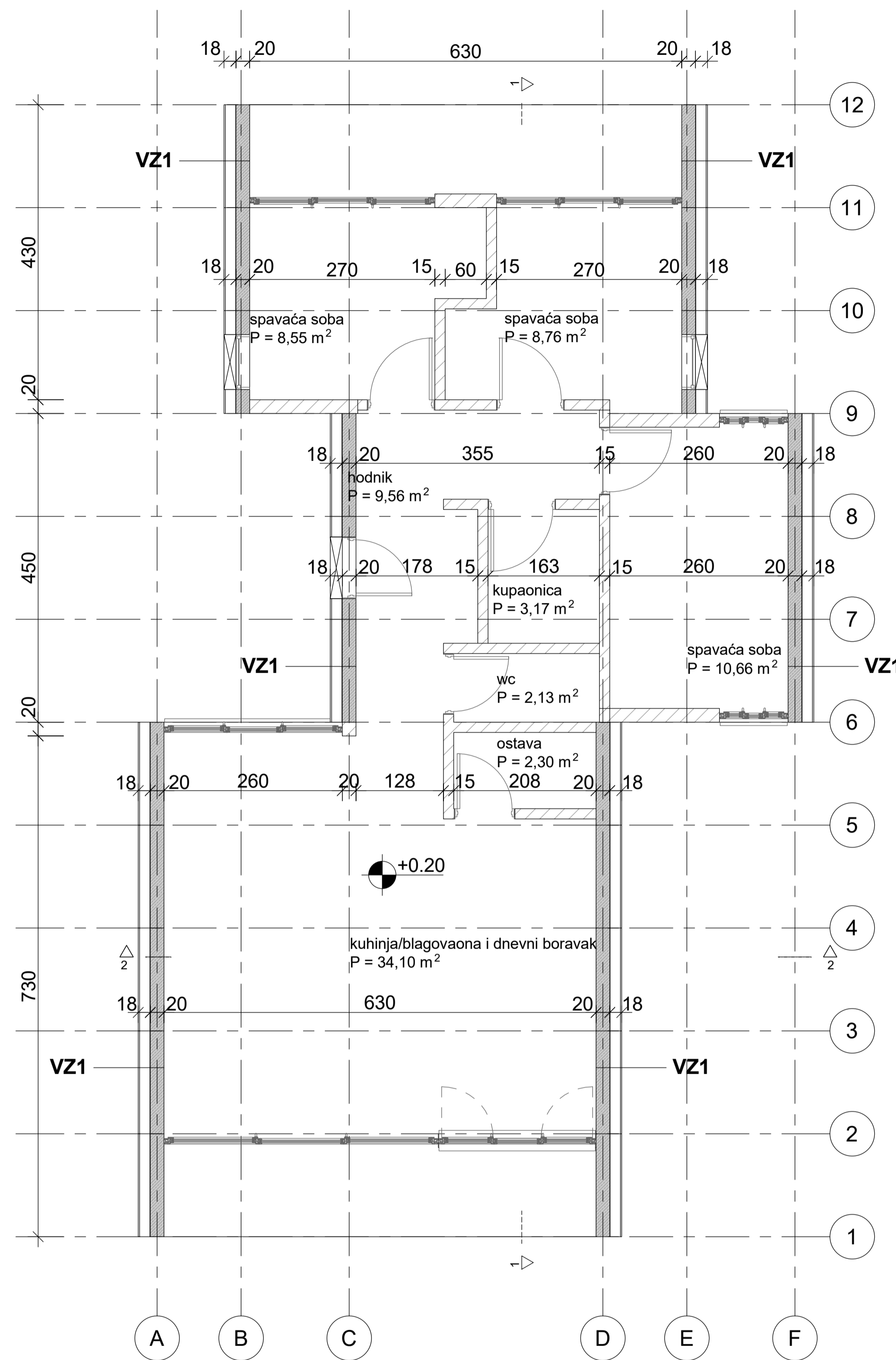
List 1.: Tlocrt, presjeci i pročelja obiteljske kuće

List 2.: Armaturni plan betonskih elemenata - prsten 1

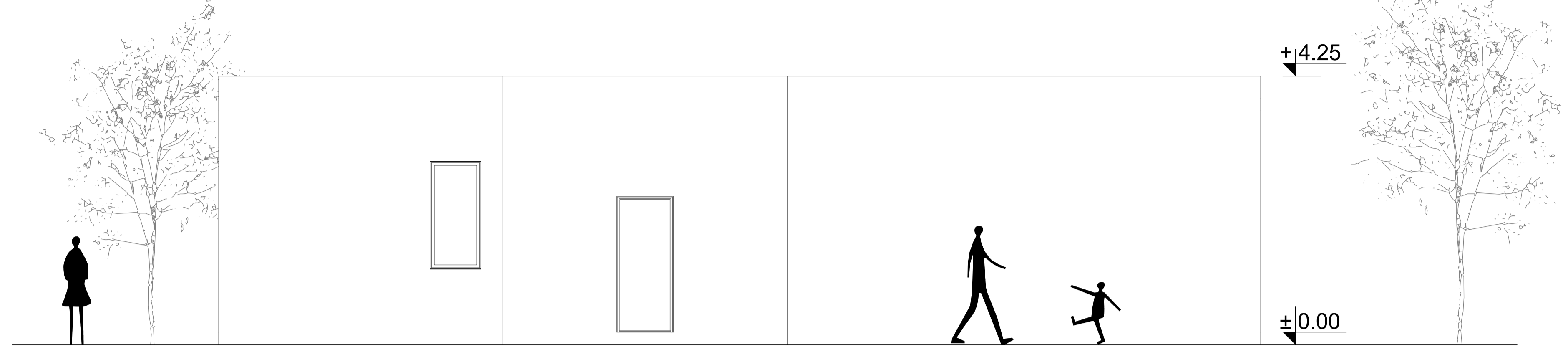
List 3.: Armaturni plan betonskih elemenata - prsten 2

List 4.: Armaturni plan betonskih elemenata - prsten 3

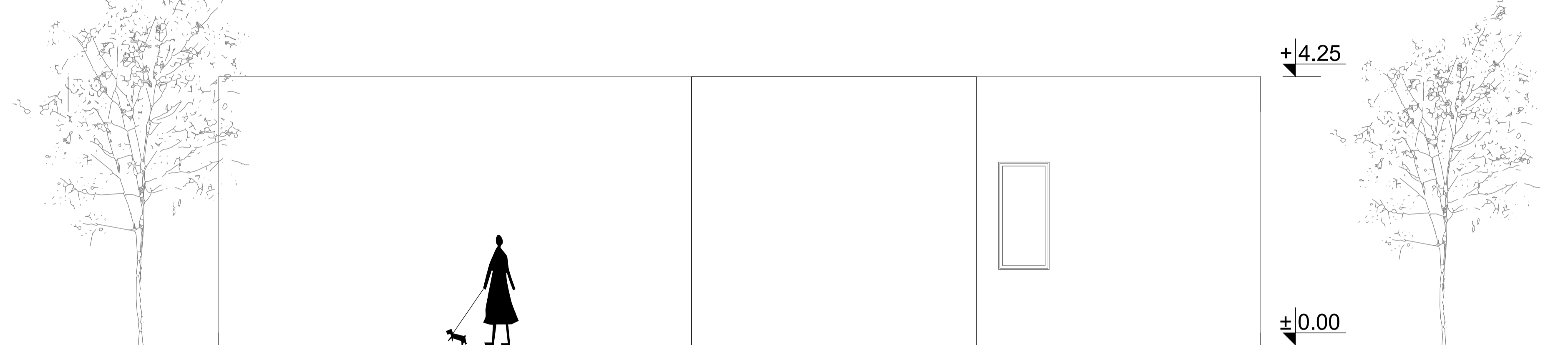
TLOCRT PRIZEMLJA
M 1:50



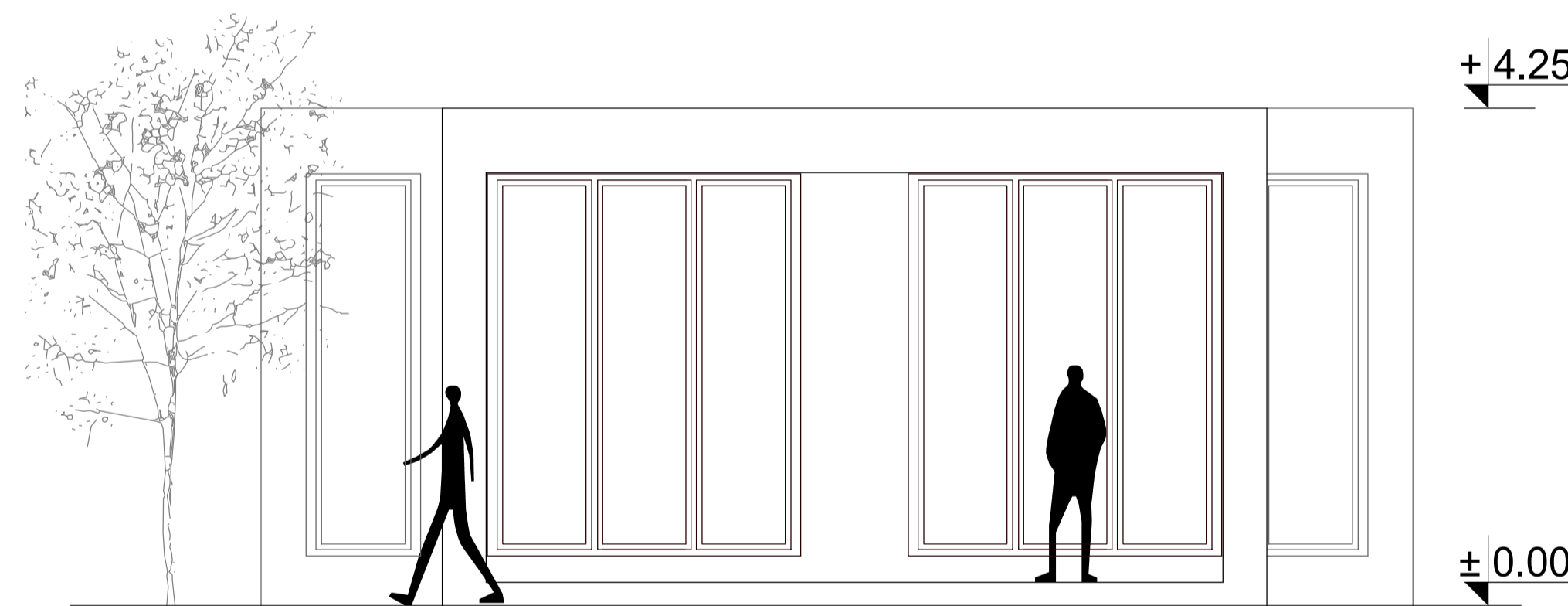
ZAPADNO PROČELJE
M 1:50



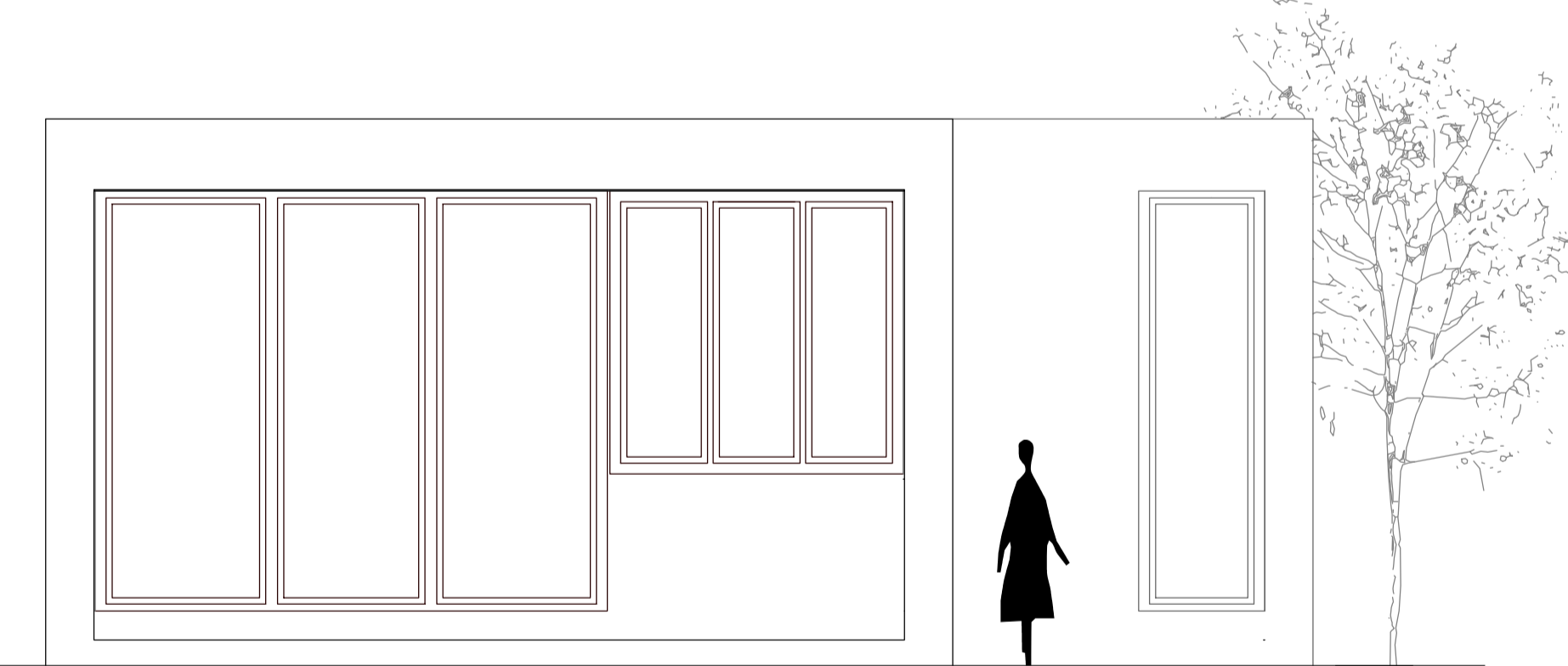
ISTOČNO PROČELJE
M 1:50



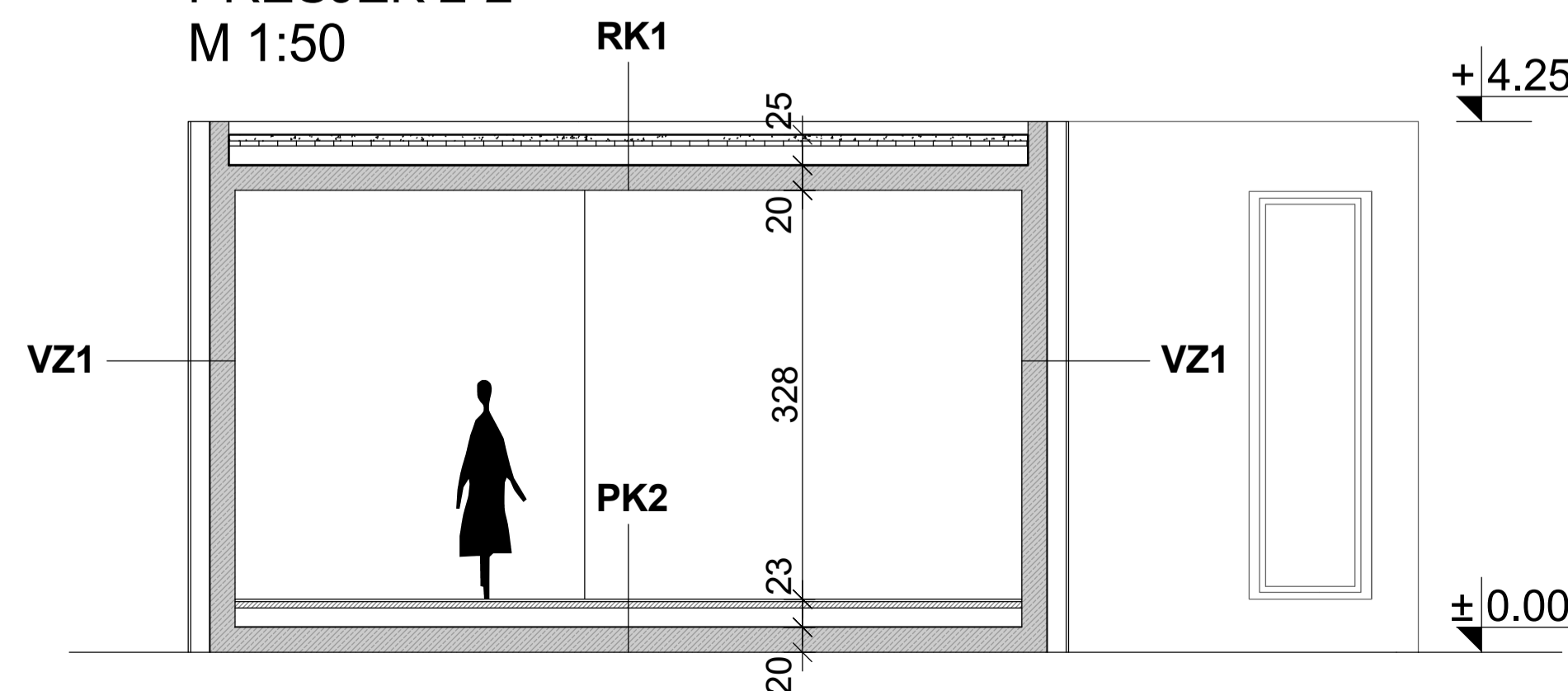
SJEVERNO PROČELJE
M 1:50



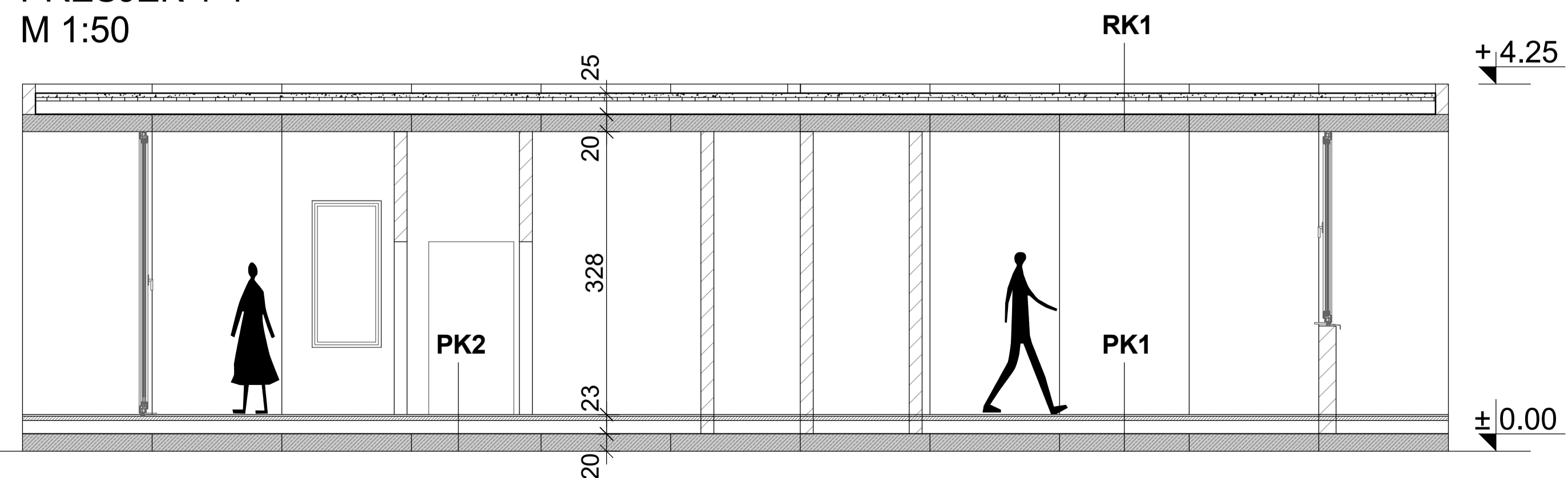
JUŽNO PROČELJE
M 1:50



PRESJEK 2-2
M 1:50



PRESJEK 1-1
M 1:50



- RK1**
- šljunak 5 cm
 - čepasta folija 4 cm
 - toplinska izolacija 15 cm
 - hidroizolacija 0,5 cm
 - AB ploča 20 cm
 - produžna žbuka 2 cm

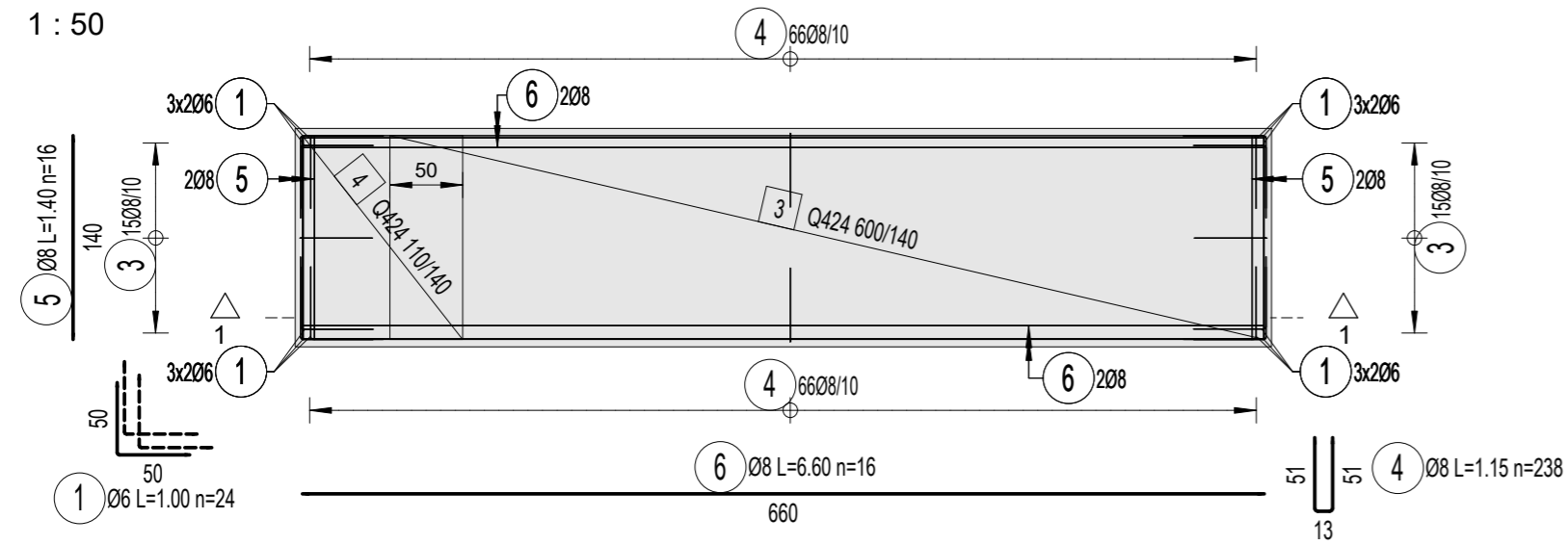
- PK1**
- parket 2 cm
 - cementni estrih 5 cm
 - PE folija
 - toplinska izolacija 15 cm
 - hidroizolacija 0,5 cm
 - AB ploča 20 cm

- VZ1**
- produžna žbuka 2 cm
 - AB zid 20 cm
 - toplinska izolacija 15 cm
 - armirano građevinsko ljepilo 0,5 cm
 - polimerna žbuka 0,5 cm

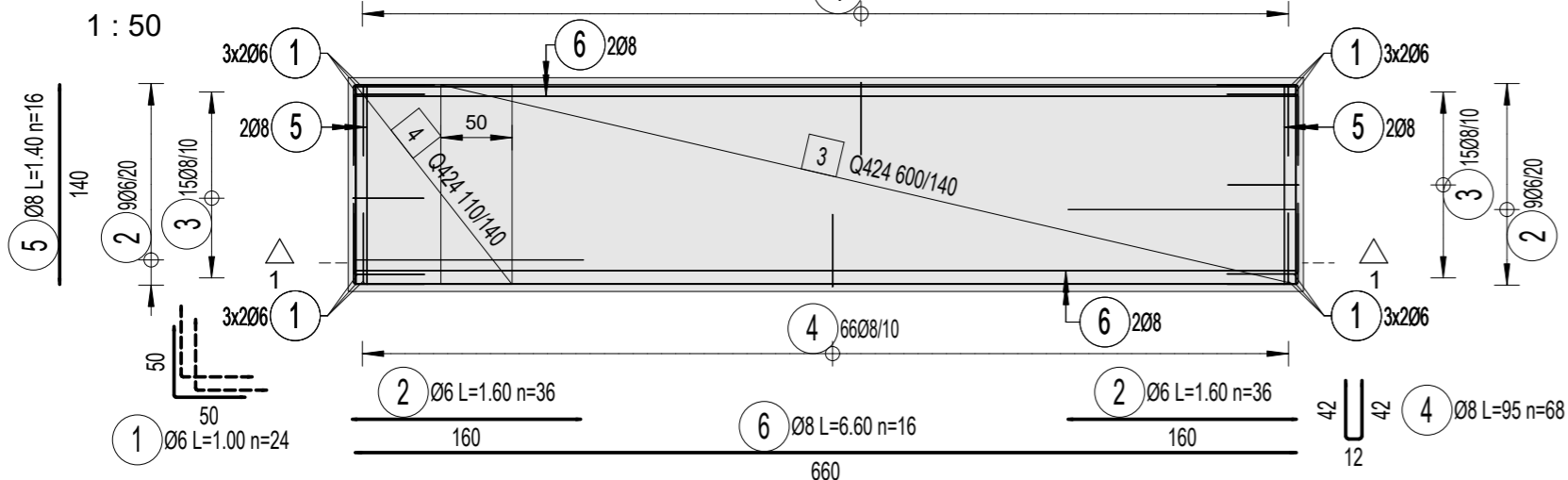
- PK2**
- keramičke pločice 1 cm
 - cementni estrih 5 cm
 - PE folija
 - toplinska izolacija 15 cm
 - hidroizolacija 0,5 cm
 - AB ploča 20 cm

ARMATURNI PLAN BETONSKIH ELEMENATA - PRSTEN 1

PODNA PLOČA PRSTENA 1 - DONJA ZONA



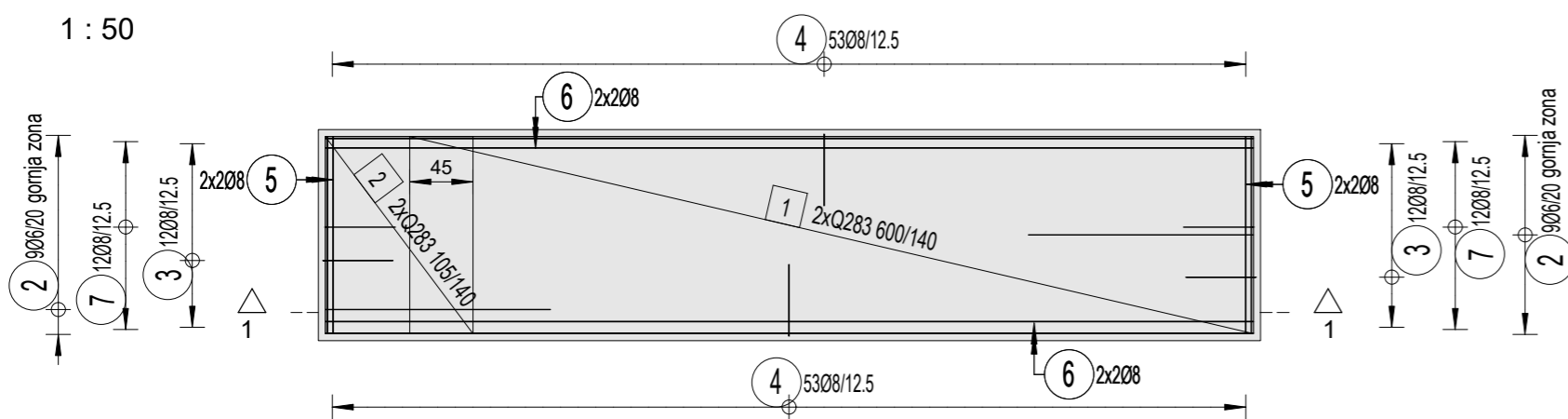
PODNA PLOČA PRSTENA 1 - GORNJA ZONA



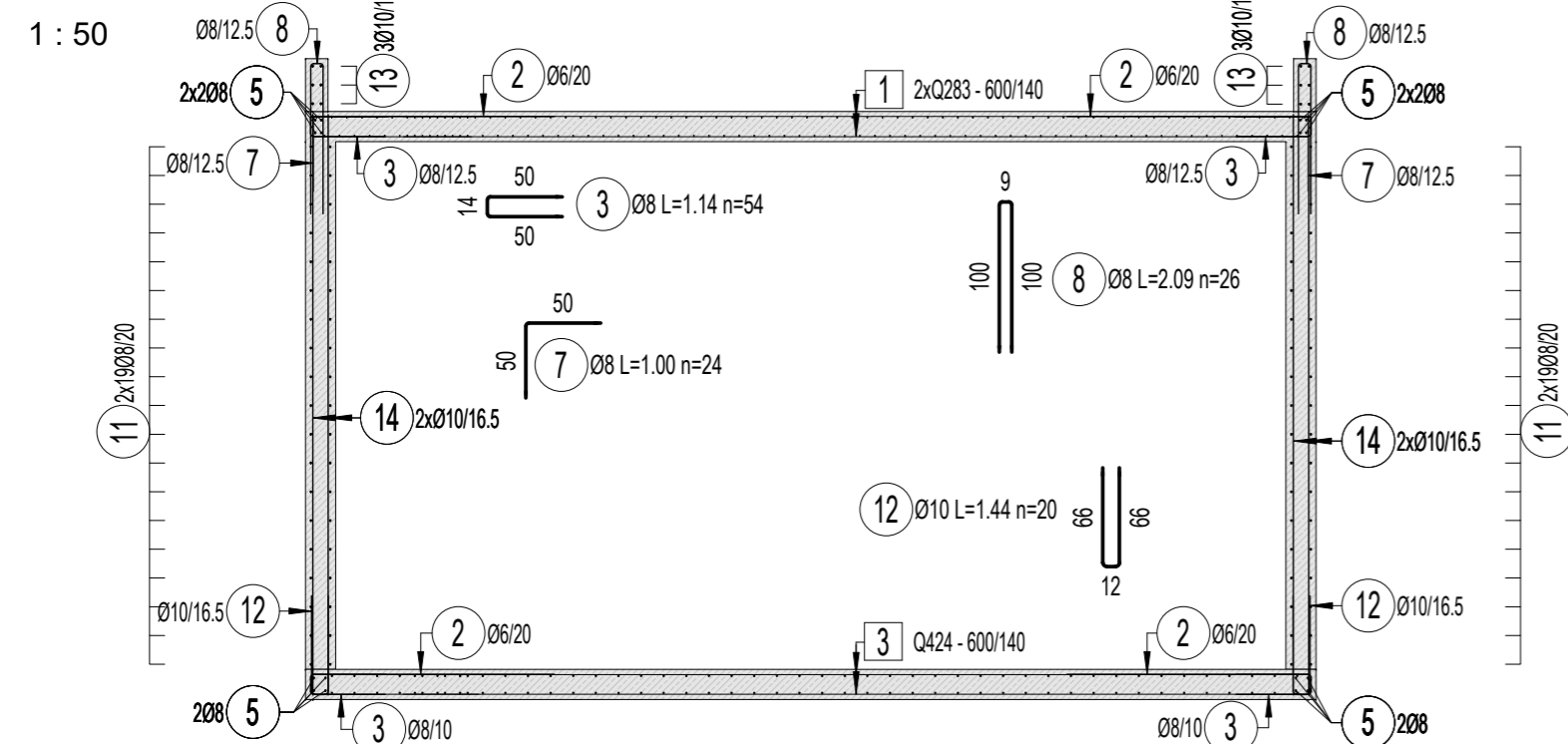
ARMATURNI VEZA PODNE PLOČE I ZIDOVA PRSTENA 1



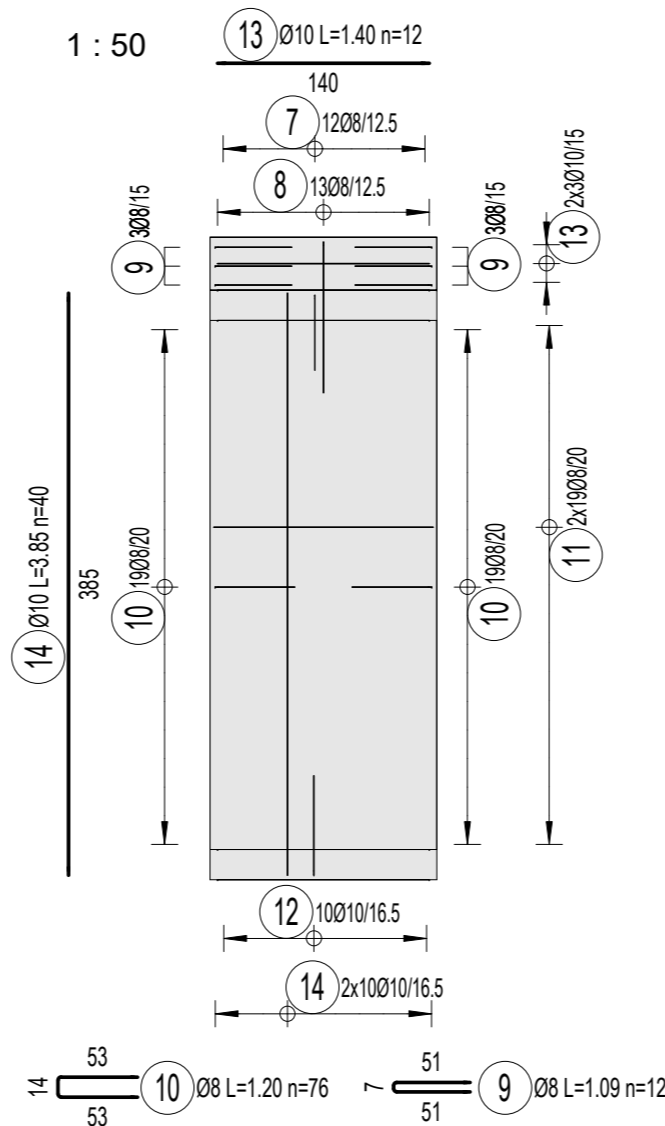
STROPNA PLOČA PRSTENA 1 - DONJA I GORNJA ZONA



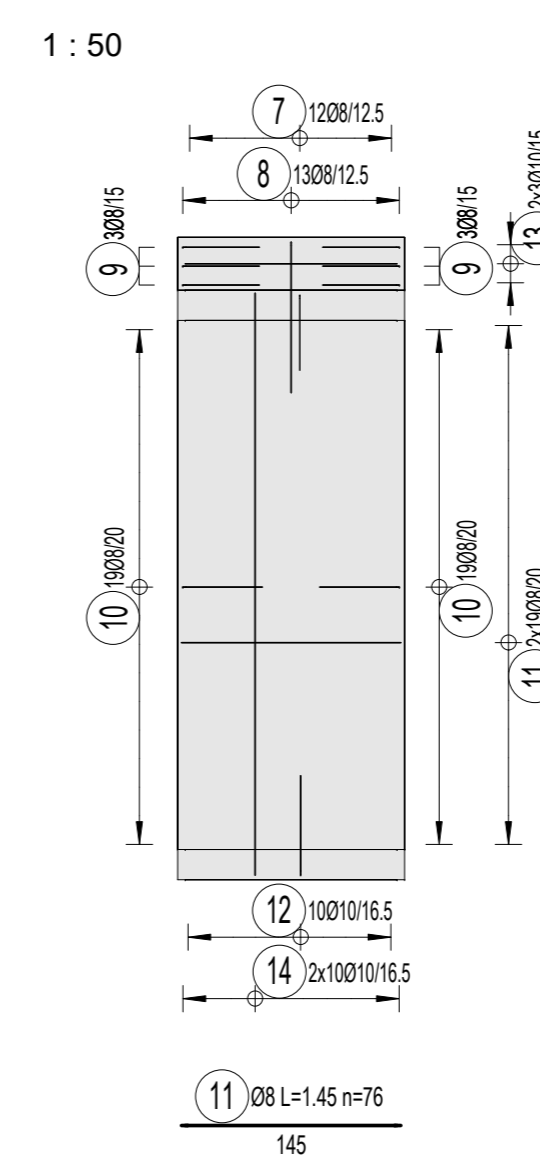
PRESJEK 1-1



POGLED 1



POGLED 2



Poz	Vrsta mreže	L [m]	B [m]	n [kom]	Površina [m²]
1	Q283	6.00	1.40	2	16.80
2	Q283	1.05	1.40	2	2.94
3	Q424	6.00	1.40	2	16.80
4	Q424	1.10	1.40	2	3.08

Vrsta mreže	Površina [m²]	Masa po m² [kg]	Masa mreže [kg]
Q283	19.74	4.48	88.46
Q424	19.88	6.12	121.58

Ukupna masa kg	
210.04	

Poz	Ø	Dimenzionirani oblik savijanja (nije u mjerilu)	Duljina [m]	n [kom]
1	6		1.00	24
2	6		1.60	36
3	8		1.14	54
4	8		1.15	238
5	8		1.40	16
6	8		6.60	16
7	8		1.00	24

Poz	Ø	Dimenzionirani oblik savijanja (nije u mjerilu)	Duljina [m]	n [kom]
8	8		2.09	26
9	8		1.09	12
10	8		1.20	76
11	8		1.45	76
12	10		1.44	20
13	10		1.40	12
14	10		3.85	40

Ø	L [m]	kg/m	kg
6	81.60	0.222	18.11
8	756.08	0.395	298.34
10	199.60	0.617	123.06

Ukupna masa [kg]			
439.51			

MINIMALNE VRIJEDNOSTI PROMJERA SAVIJANJA

Minimalne vrijednosti savijanja Ø_{m,min} prema promjeru

Kuke, ravne kuke, petlje		
Promjer šipke Ø _{m,min}		
	Ø ≤ 16mm	Ø > 16mm
Normalni beton	4 Ø	7 Ø

Legenda: Beton C 25/30

Pretpostavljeni pritisak tla = 180 kN/m²

Specifikacije za vrste betona i pripadajući zaštitni slojevi prema HRN EN 1992-1-1

Element	Razred tlačne čvrstoće betona	Razred izloženosti	zaštitni sloj iznutra / ispod (mm)	c _z = c _{min} + Δc izvana / iznad (mm)
Podna i stropna ploča, zidovi	C25/30	XC2	20	20

Skidanje oplate i njega betona prema HRN EN 206-1

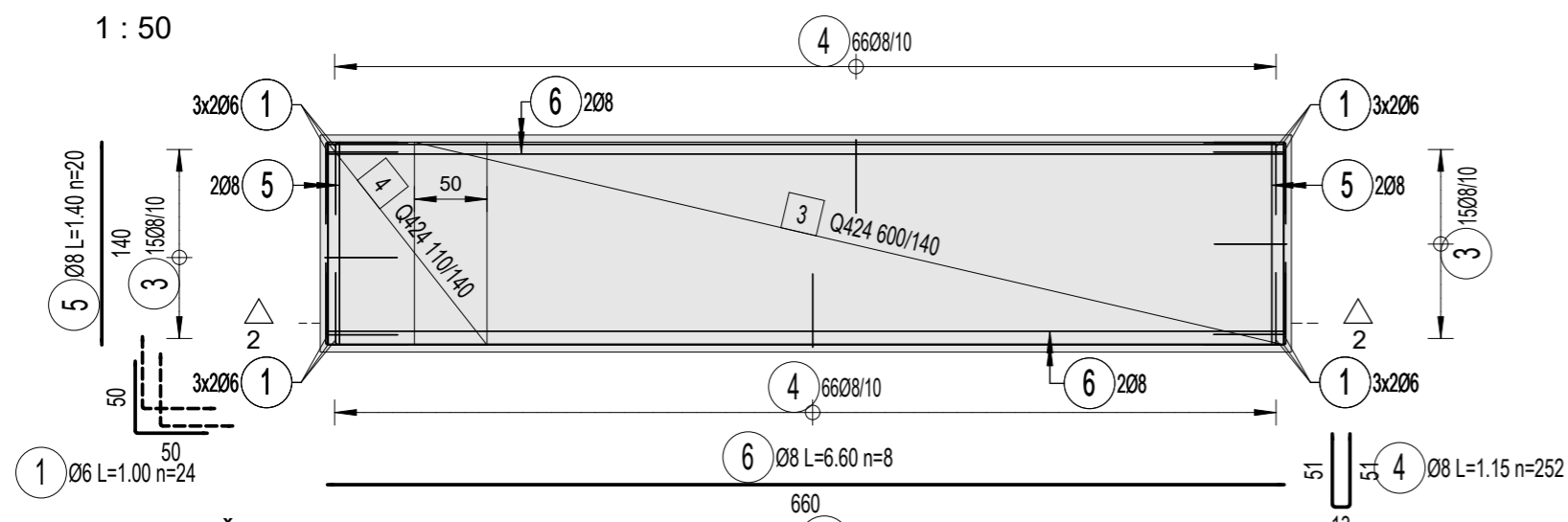
Čelik za armiranje B500B (Mreže)
B500B (Okrugli čelik)

GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI

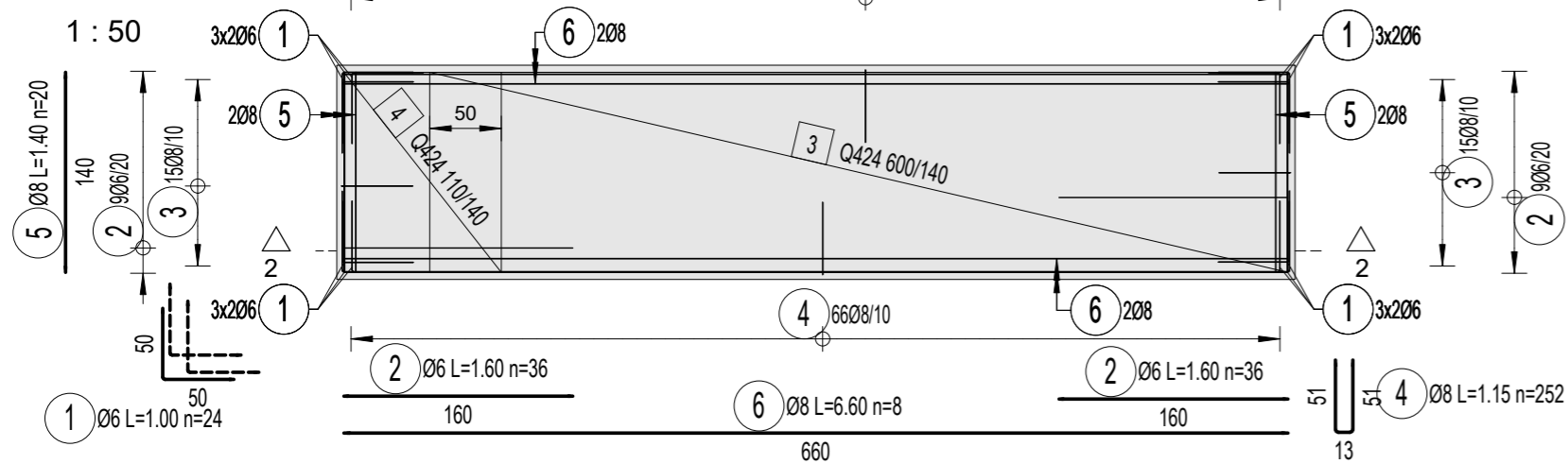
Završni rad	Sadržaj nacrt:
MONTAŽNA OBITELJSKA KUĆA IZVEDENA OD PRSTENASTIH ČELIJA	ARMATURNI PLAN BETONSKIH ELEMENATA - PRSTEN 1
Student: Michele Agapito	Kolegij: MONTAŽNE KONSTRUKCIJE
Mentor: doc. dr. sc. Paulo Ščulac	Datum: VII 2021.
	Mjerilo: 1:50
	List: 2.

ARMATURNI PLAN BETONSKIH ELEMENATA - PRSTEN 2

PODNA PLOČA PRSTENA 2 - DONJA ZONA



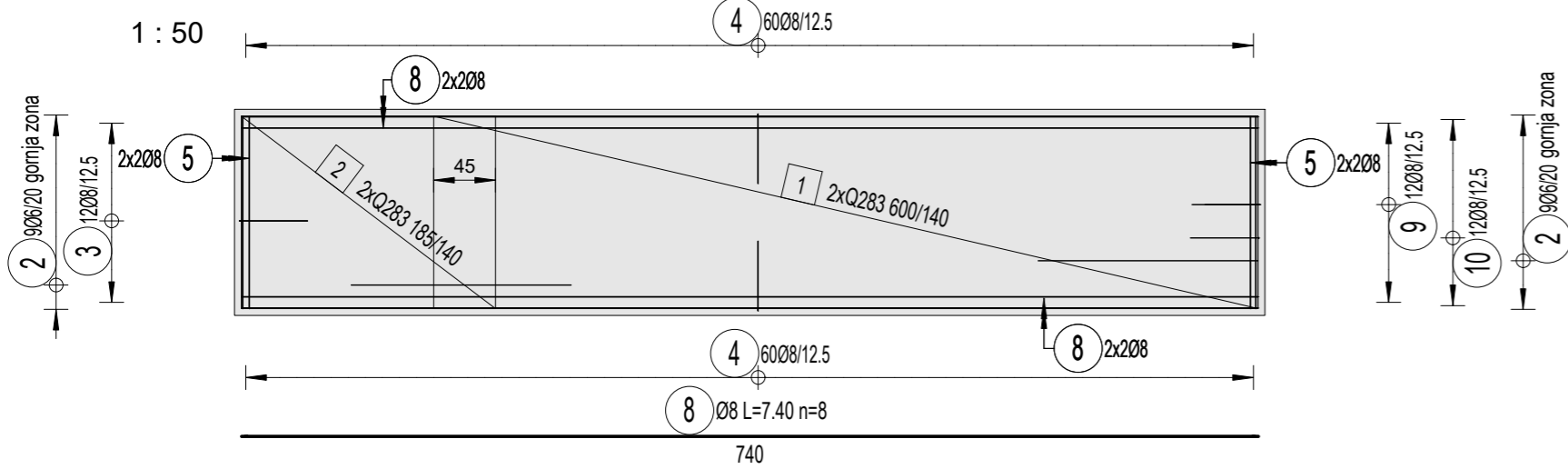
PODNA PLOČA PRSTENA 2 - GORNJA ZONA



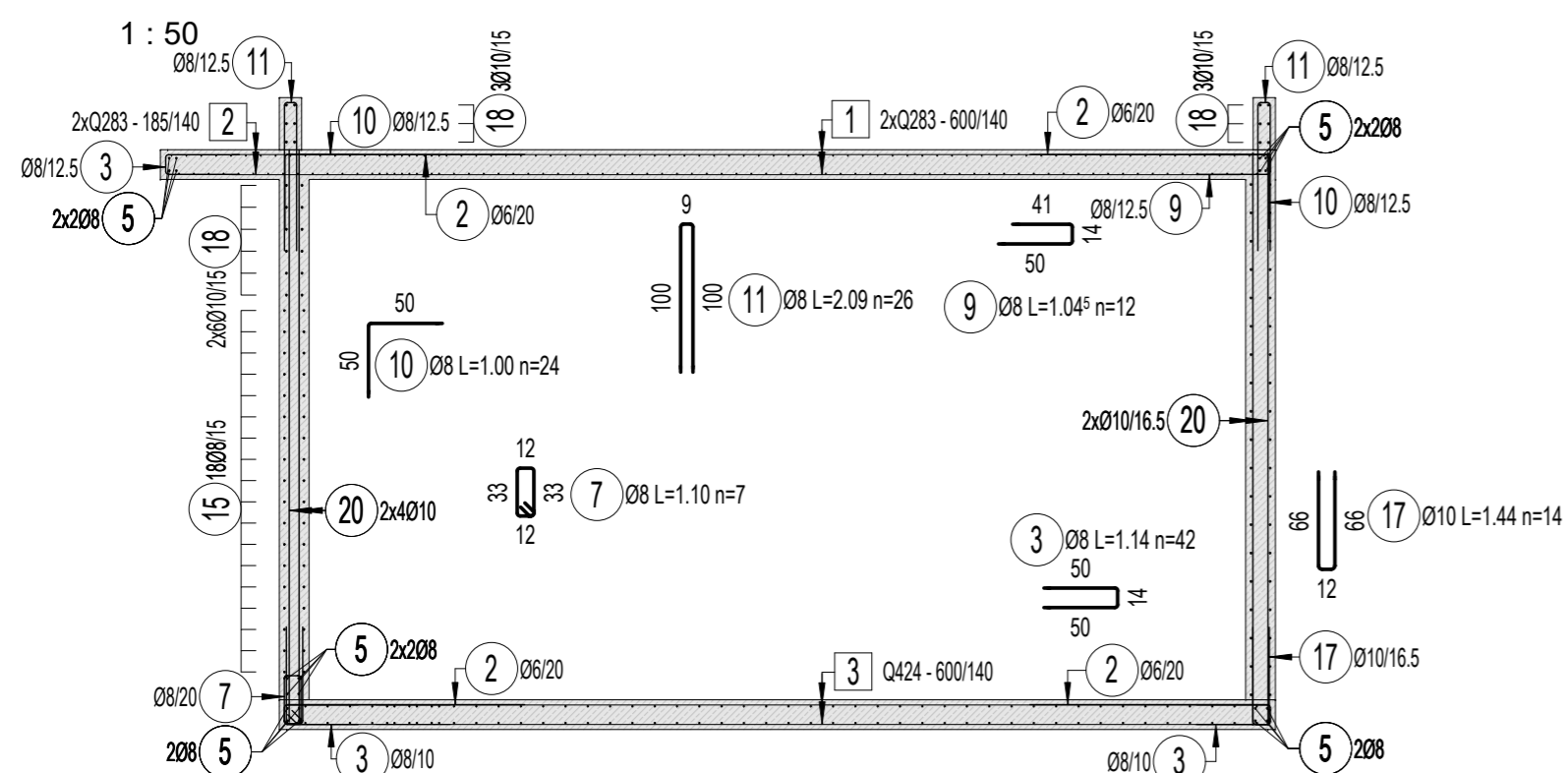
ARMATURNA VEZA PODNE PLOČE I ZIDOVA PRSTENA 2



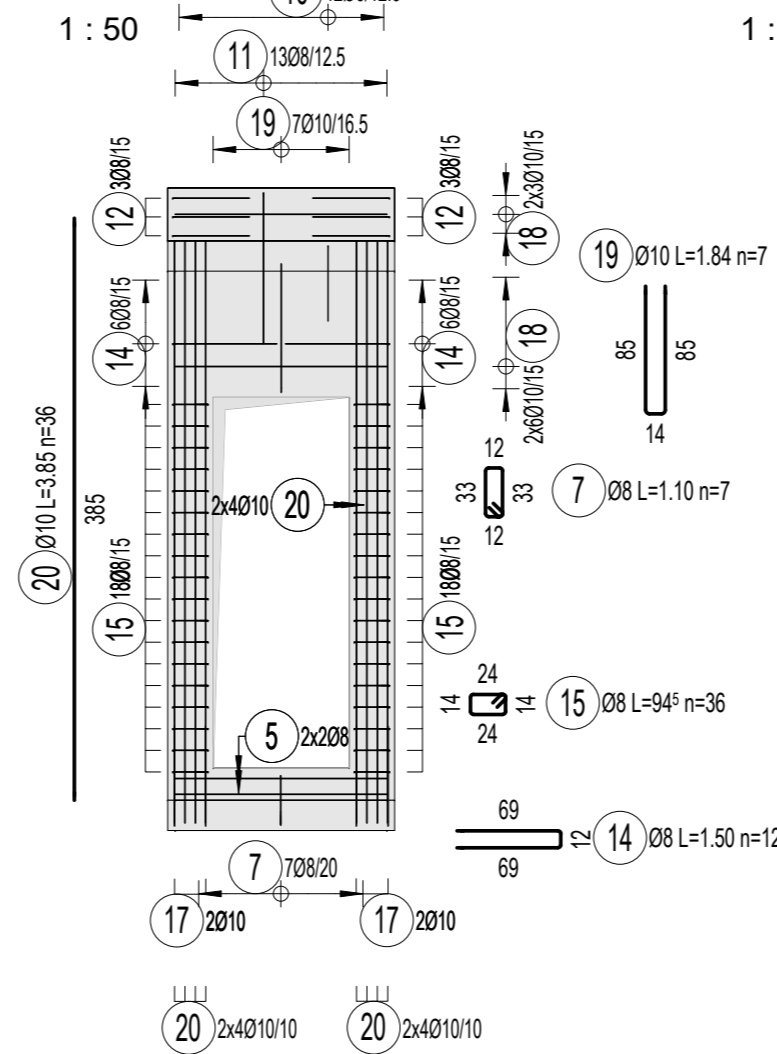
STROPNA PLOČA PRSTENA 2 - DONJA I GORNJA ZONA



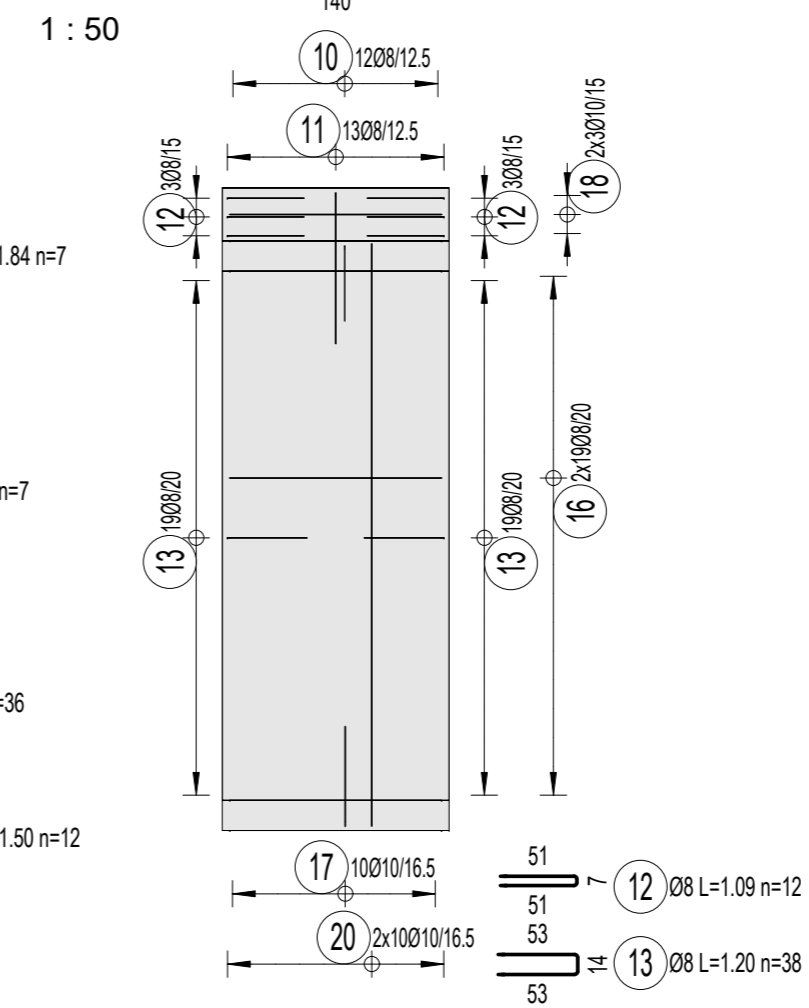
PRESJEK 2-2



POGLED 3



POGLED 4



Poz	Vrsta mreže	L [m]	B [m]	n [kom]	Površina [m²]
1	Q283	6.00	1.40	2	16.80
2	Q283	1.85	1.40	2	5.18
3	Q424	6.00	1.40	2	16.80
4	Q424	1.10	1.40	2	3.08

Vrsta mreže	Površina [m²]	Masa po m² [kg]	Masa mreže [kg]
Q283	21.98	4.48	98.49
Q424	19.88	6.12	121.58

Ukupna masa kg	
220.08	

Poz	Ø	Dimenzionirani oblik savijanja (nije u mjerilu)	Duljina [m]	n [kom]
1	6		1.00	24
2	6		1.60	36
3	8		1.14	42
4	8		1.15	252
5	8		1.40	20
6	8		6.60	8
7	8		1.10	7
8	8		7.40	8
9	8		1.05	12
10	8		1.00	24

Poz	Ø	Dimenzionirani oblik savijanja (nije u mjerilu)	Duljina [m]	n [kom]
11	8		2.09	26
12	8		1.09	12
13	8		1.20	38
14	8		1.50	12
15	8		0.95	36
16	8		1.40	38
17	10		1.44	14
18	10		1.40	24
19	10		1.84	7
20	10		3.85	36

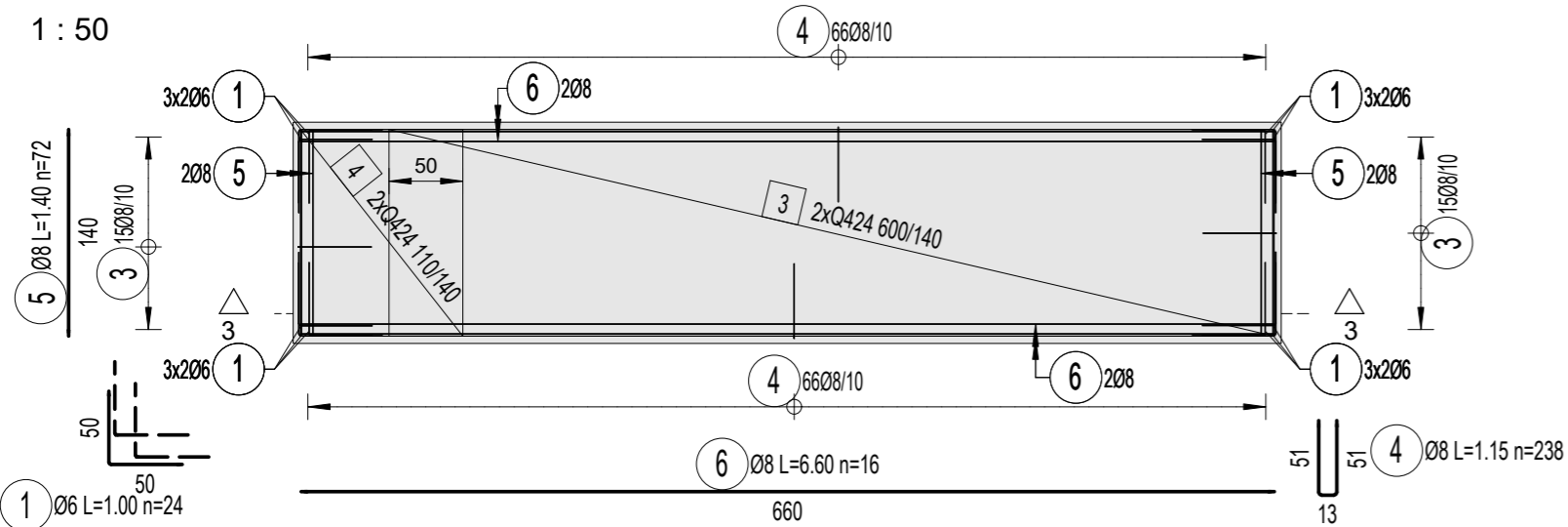
Ø	L [m]	kg/m	kg
6	81.60	0.222	18.11
8	740.23	0.395	292.08
10	205.24	0.617	126.54
Ukupna masa [kg]			436.73

MINIMALNE VRIJEDNOSTI PROMJERA SAVIJANJA		
Minimalne vrijednosti savijanja Ø _{m,min} prema promjeru		
Kuke, ravne kuke, petlje		
Promjer šipke Ø _{m,min}		
	Ø ≤ 16mm	Ø > 16 mm
Normalni beton	4 Ø	7 Ø

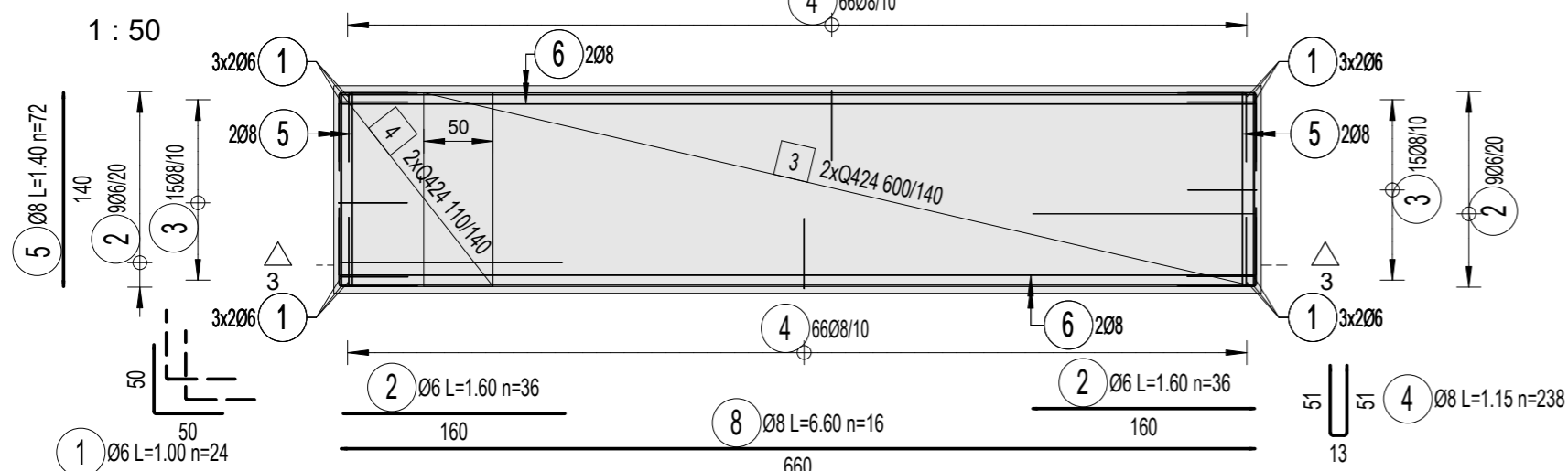
GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad	Sadržaj nacрта:		
MONTAŽNA OBITELJSKA KUĆA IZVEDENA OD PRSTENASTIH ČELIJA	ARMATURNI PLAN BETONSKIH ELEMENATA - PRSTEN 2		
Student: Michele Agapito	Kolegij: MONTAŽNE KONSTRUKCIJE		
Mentor: doc. dr. sc. Paulo Šćulac	Datum: VII 2021.	Mjerilo: 1:50	List: 3.

ARMATURNI PLAN BETONSKIH ELEMENATA - PRSTEN 3

PODNA PLOČA PRSTENA 3 - DONJA ZONA



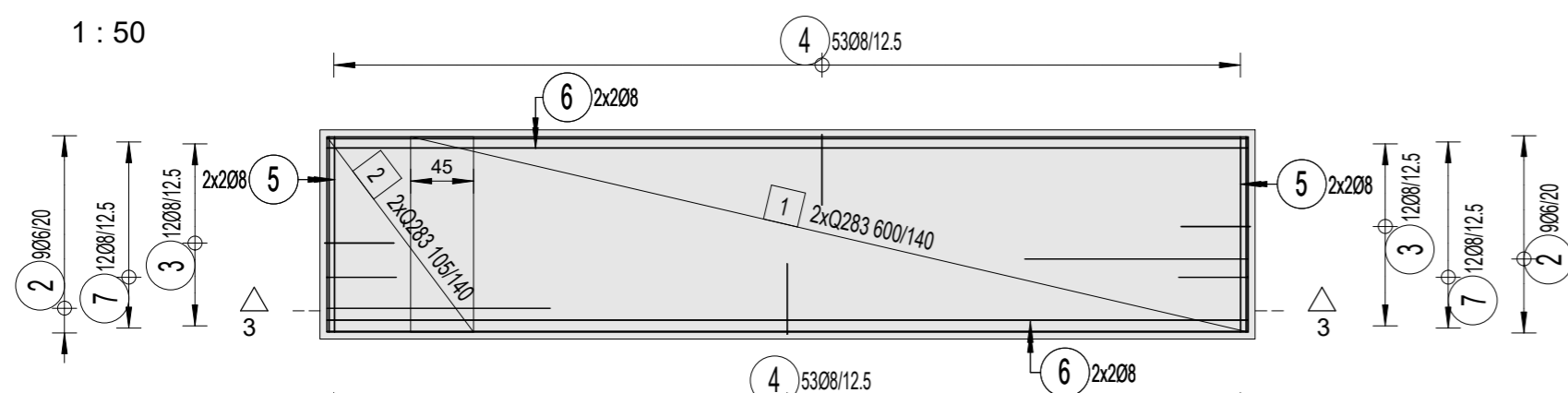
PODNA PLOČA PRSTENA 3 - GORNJA ZONA



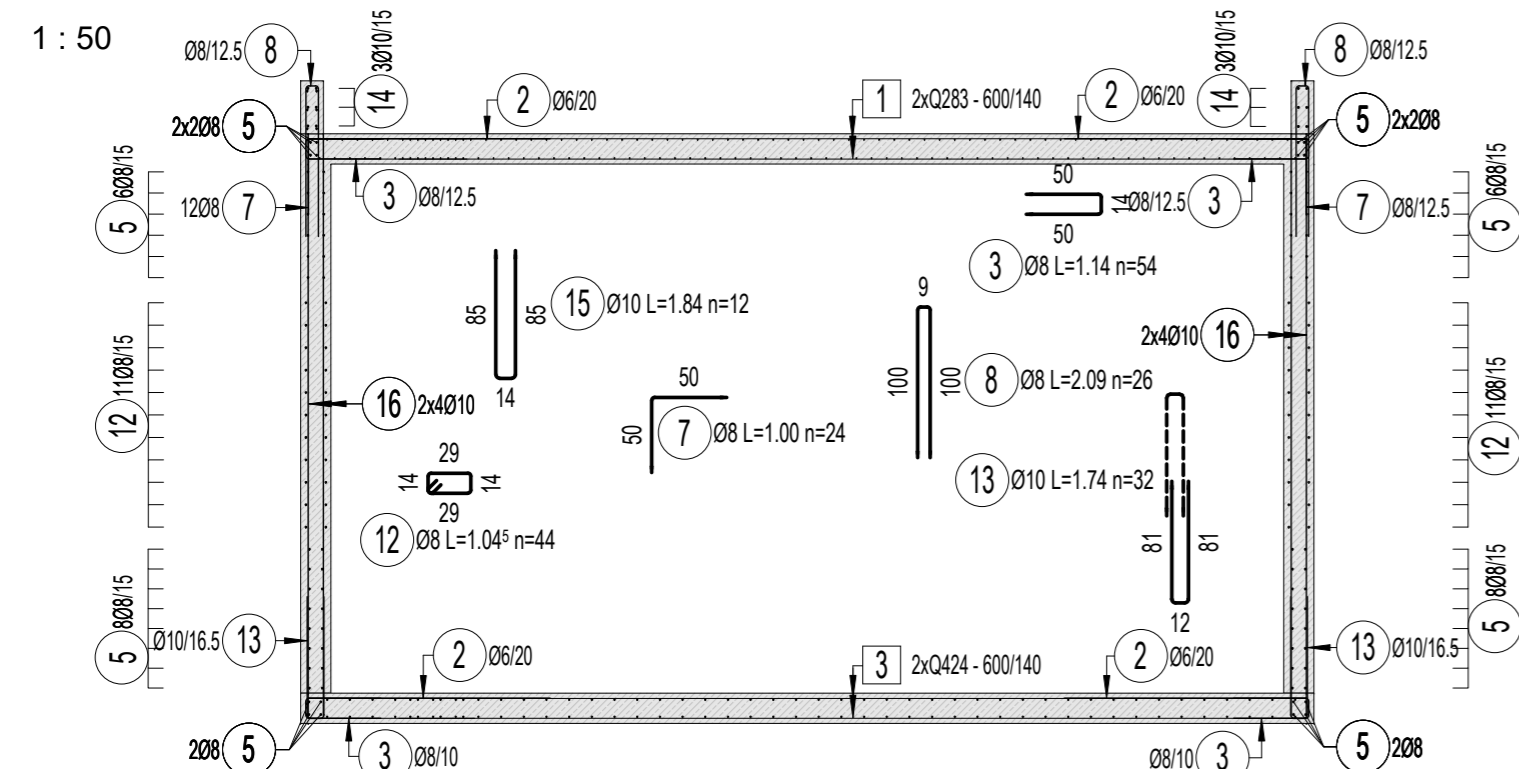
ARMATURNA VEZA PODNE PLOČE I ZIDOVA PRSTENA 3



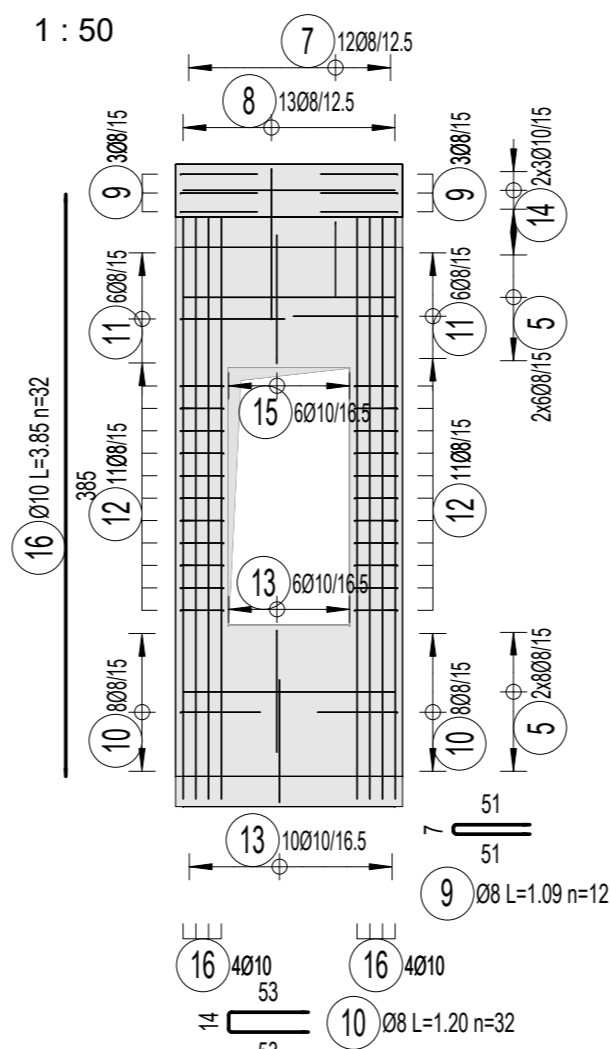
STROPNA PLOČA PRSTENA 3 - DONJA I GORNJA ZONA



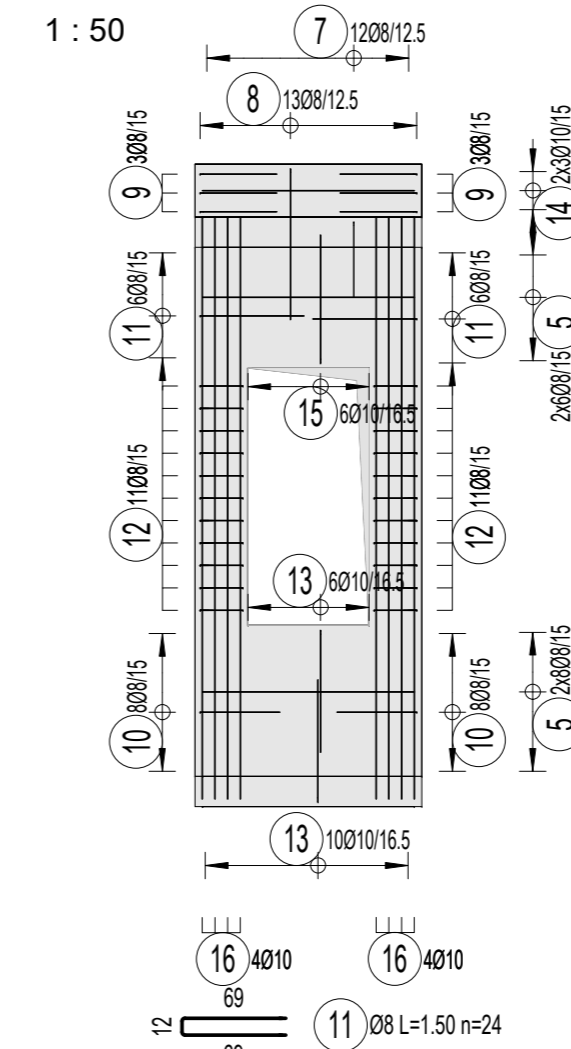
PRESJEK 3-3



POGLED 5



POGLED 6



Poz	Vrsta mreže	L [m]	B [m]	n [kom]	Površina [m²]
1	Q283	6.00	1.40	2	16.80
2	Q283	1.05	1.40	2	2.94
3	Q424	6.00	1.40	2	16.80
4	Q424	1.10	1.40	2	3.08

Vrsta mreže	Površina [m²]	Masa po m² [kg]	Masa mreže [kg]
Q283	19.74	4.48	88.46
Q424	19.88	6.12	121.58
Ukupna masa kg			210.04

Poz	Ø	Dimenzionirani oblik savijanja (nije u mjerilu)	Duljina [m]	n [kom]
1	6		1.00	24
2	6		1.60	36
3	8		1.14	54
4	8		1.15	238
5	8		1.40	72
6	8		6.60	16
7	8		1.00	24
8	8		2.09	26
9	8		1.09	12
10	8		1.20	32

Poz	Ø	Dimenzionirani oblik savijanja (nije u mjerilu)	Duljina [m]	n [kom]
11	8		1.50	24
12	8		1.05	44
13	10		1.74	32
14	10		1.40	12
15	10		1.84	12
16	10		3.85	32

Ø	L [m]	kg/m	kg
6	81.60	0.222	18.11
8	753.55	0.395	297.34
10	217.76	0.617	134.26
Ukupna masa [kg]			449.71

MINIMALNE VRIJEDNOSTI PROMJERA SAVIJANJA			
Minimalne vrijednosti savijanja Ø _{m,min} prema promjeru			
Kuke, ravne kuke, petlje			
Promjer šipke Ø _{m,min}			
	Ø ≤ 16mm	Ø > 16 mm	
Normalni beton	4 Ø	7 Ø	
Legenda: Beton C 25/30			
Pretpostavljeni pritisak tla = 180 kN/m²			
Specifikacije za vrste betona i pripadajući zaštitni slojevi prema HRN EN 1992-1-1			
Element	Razred tlačne čvrstoće betona	Razred izloženosti	zaštitni sloj iznutra / ispod (mm) / izvana / iznad (mm)
Podna i stropna ploča, zidovi	C25/30	XC2	20 / 20
Skidanje oplate i njega betona prema HRN EN 206-1			
Čelik za armiranje B500B (Mreže) B500B (Okrugli čelik)			

GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad	Sadržaj nacрта:		
MONTAŽNA OBITELJSKA KUĆA IZVEDENA OD PRSTENASTIH ČELIJA	NACRT ARMATURE PRSTENA 3		
Student: Michele Agapito	Kolegij: MONTAŽNE KONSTRUKCIJE		
Mentor: doc. dr. sc. Paulo Ščulac	Datum: VII 2021.	Mjerilo: 1:50	List: 4.