

Ocjena konstrukcije lučkog Skladišta 17 u Rijeci

Škropeta, Toni

Master's thesis / Diplomski 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:157:984511>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-21**



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**

Toni Škropeta

Ocjena konstrukcije lučkog Skladišta 17 u Rijeci

Diplomski rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo

Konstrukcije

Potresno inženjerstvo

Toni Škropeta

0114028203

Ocjena konstrukcije lučkog Skladišta 17 u Rijeci

Diplomski rad

Rijeka, veljača 2021.

Naziv studija: **Sveučilišni diplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema diplomskog rada

OCJENA KONSTRUKCIJE LUČKOG SKLADIŠTA 17 U RIJECI

STRUCTURAL ASSESSMENT OF PORT WAREHOUSE NO. 17 IN RIJEKA

Kandidat: **TONI ŠKROPETA**

Kolegij: **POTRESNO INŽENJERSTVO**

Diplomski rad broj: **K-2020-49**

Zadatak:

Kandidat treba opisati konstrukciju skladišta 17 u riječkoj luci i prezentirati podatke o nosivoj konstrukciji služeći se dostupnom literaturom i arhivskim podacima. Na temelju prikupljenih geometrijskih podataka treba izraditi nacрте armiranobetonske konstrukcije skladišta i izraditi detaljni prostorni (3D) numerički model konstrukcije. Svojstva materijala treba utvrditi na temelju arhivske dokumentacije, a ako podatci o svojstvima materijala nisu dostupni treba ih pretpostaviti tako da odgovaraju vrijednostima uobičajenim za doba gradnje. Količinu i raspored armature za proračunske provjere nosivosti treba utvrditi na temelju analize postojeće izvedbene nacrtne dokumentacije dostupne u Državnom arhivu u Rijeci.

S pomoću 3D numeričkog modela konstrukcije treba provesti proračune konstrukcije za trajnu i potresnu proračunsku situaciju (odrediti presječne sile i pomake).

Nakon provedbe 3D proračuna konstrukcije kandidat treba provjeriti nosivost dijela stropnih konstrukcija (krovne i stropne ploče) i glavnih greda poprečnog okvira na vertikalna djelovanja u trajnoj proračunskoj situaciji te potresnu otpornost poprečnog okvira skladišta.

Za provjeru potresne otpornosti okvira treba rabiti metodu linearnog proračuna zasnovanu na pomacima, a sve u skladu s normom HRN EN 1998-3:2011.

Tema rada je uručena: 25. veljače 2020.

Komentor:

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

Mentor:

prof. dr. sc. Davor grandić,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentorom i komentorom 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.

Toni Škropeta

U Rijeci, 22. veljače 2021.

IZJAVA

Diplomski rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta
Poboljšanje proračunskih modela za ocjenu stanja građevinskih konstrukcija

Voditelj projekta: prof.dr.sc. Ivana Štimac Grandić

Šifra projekta: uniri-tehnic-18-127

Financijer projekta: Sveučilište u Rijeci

Pravna nadležnost: Republika Hrvatska

U Rijeci, 10. veljače 2021.

Mentor:

Sažetak

U ovom diplomskom radu provedena je ocjena dijela armiranobetonske konstrukcije lučkog skladišta 17 koji se nalazi u Rijeci. Građevina se sastoji od 5 katova (podrum, prizemlje te tri etaže), tlocrtnih dimenzija 45 x 100 m. Skladište je građeno 1906. – 1909. godine, te pripada među najstarije konstrukcije u Hrvatskoj cjelovito izvedene od armiranog betona, zbog čega je zaštićeno kao kulturno dobro. Provedeni su proračuni konstrukcije za trajnu i potresnu proračunsku situaciju. 3D model konstrukcije izrađen je u programu STAAD.Pro, a analiza je izvršena na temelju pretpostavljenih svojstava materijala uobičajenih za vrijeme gradnje. Količina i raspored armature za proračunske provjere nosivosti utvrđene su na temelju izvedbene nacrtne dokumentacije dostupne iz arhiva. Analizirana je nosivost krovne i stropne ploče, te glavnih greda poprečnog okvira na vertikalna djelovanja. Za provjeru potresne otpornosti poprečnog okvira primijenjena je metoda linearnog proračuna zasnovana na pomacima u skladu s normom HRN EN 1998-3:2011.

Ključne riječi: armiranobetonska konstrukcija, lučko skladište, potresno djelovanje, ocjena stanja zgrade

Abstract

This final year project presents the structural assessment of part of reinforced concrete port warehouse No 17 in Rijeka. The building consists of 5 floors (basement, ground floor and three storeys) with floor plan dimensions 45 x 100 m. This warehouse was built from 1906 till 1909 and is one of the oldest structures in Croatia constructed entirely as a reinforced concrete structure, therefore it is protected as a heritage monument. Structural analysis were performed for persistent and seismic design situations. A 3D model of the structure was made in STAAD.Pro, while the structural assessment was performed based on the assumed material properties which were common for the time of the construction. The quantity and arrangement of reinforcement needed for the for structural capacity calculus were determined on the basis of the reinforcement drawings available from the archive. The bearing capacity of the roof and floor slabs and the main beams of the transverse frame was analyzed for vertical actions. In order to check the seismic resistance of the transverse frame linear calculation method based on displacements was applied according to HRN EN 1998-3:2011.

Keywords: reinforced concrete structure, port warehouse, seismic action, condition assessment of building

SADRŽAJ

1.UVOD	1
1.1 Tehnički opis.....	1
1.2 Trenutno stanje konstrukcije.....	2
1.3 3D Model konstrukcije	4
2 ANALIZA OPTEREĆENJA	8
2.1 Stalno	8
2.2 Promjenjivo opterećenje	9
2.3 Potresno djelovanje.....	10
3 SVOJSTVA MATERIJALA	14
3.1 Beton.....	14
3.2 Čelik	14
4 PROVJERE NOSIVOSTI PLOČA	15
5 STVARNO STANJE KONSTRUKCIJE.....	27
5.1 Nacrti armature.....	27
5.1.1 Grede.....	27
5.1.2 Stupovi	41
6 PRORAČUN KONSTRUKCIJE ZA POTRESNU PRORAČUNSKU SITUACIJU.....	45
7 REZULTATI PRORAČUNA KONSTRUKCIJE ZA OKVIR U OSI K	50
7.1 Presječne sile u stupovima	50
7.2 Nosivost stupova.....	51
7.3 Presječne sile u gredama.....	54
7.4 Nosivost greda.....	55
8 PROVJERE SIGURNOSTI U POTRESNOJ SITUACIJI	61
8.1 Provjera sposobnosti deformiranja stupova	61
9 PROVJERE NOSIVOSTI NA POPREČNE SILE	66
10 PRIMJENA KONSTRUKCIJE - SKLADIŠTE.....	71
10.1 Provjere nosivosti ploča	71

11 PRORAČUN NOSIVOSTI GREDA.....	74
12 REZULTATI - SKLADIŠTE	75
12.1 Presječne sile u stupovima	75
12.2 Presječne sile u gredama	78
13 PROVJERE SIGURNOSTI U POTRESNOJ KOMBINACIJI.....	80
13.1 Provjera sposobnosti deformiranja stupova.....	80
14 PROVJERA NOSIVOSTI NA POPREČNE SILE.....	84
15 ZAKLJUČAK	87
16 LITERATURA.....	89
17 NACRTNA DOKUMENTACIJA.....	90

POPIS SLIKA

Slika 1:Pogled iz zraka na Skladište 17 [9]	2
Slika 2:Izgled fasade na zgradi.....	2
Slika 3:Geološka karta prioabalnog područja Rijeke [8].....	3
Slika 4:Fotografije izgradnje Skladišta 17 [8].....	3
Slika 5:Prikaz stupova u zgradi	4
Slika 6:Prikaz 3D modela u STAAD.Pro-u	4
Slika 7:Okvir u poprečnom (kraćem) smjeru	5
Slika 8:Okvir u uzdužnom (dužem) smjeru	5
Slika 9:3D model okvira (prikaz greda i stupova)	6
Slika 10:3D prikaz stropnih i krovnih ploča te zidova.....	6
Slika 11:3D prikaz stropne ploče poz.100.....	6
Slika 12:Zidovi u uzdužnom i poprečnom smjeru	7
Slika 13:Proračunsko ubrzanje tla za promatranu konstrukciju [4]	10
Slika 14: Horizontalni elastični spektar odziva.....	13
Slika 15:Statički sustav stropne ploče 1. kata	15
Slika 16:Shema statičke visine armature u ploči.....	16
Slika 17:Shema dijagrama momenata na osloncu	17
Slika 18:Shema armature u ploči na osloncu	18
Slika 19:Prikaz armature u polju u ploči poz.212 [7].....	19
Slika 20:Statički sustav krovne ploče.....	21
Slika 21:Shema momenata na osloncu	23
Slika 22:Prikaz armature u polju u krovnoj ploči [7]	24
Slika 23:Prikaz armature u osloncu u krovnoj ploči [7].....	25
Slika 24:Prikaz pozicija greda na okviru (zbog simetrije je prikazano samo pola okvira)	27
Slika 25:Prikaz armature za gredu poz. 216 [7]	29
Slika 26:Prikaz armature za gredu poz.217 [7]	30
Slika 27:Prikaz armature za gredu poz.218 [7]	30
Slika 28:Prikaz rasporeda armature u gredama poz.200 [7].....	31
Slika 29:Prikaz armature grede poz. 516 [7]	32
Slika 30:Dijagram momenata savijanja u gredama za stalnu proračunsku kombinaciju [kNm]	33
Slika 31:Omjer momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} u gredama za stalnu proračunsku kombinaciju	34
Slika 32:Slika 24:Dijagram poprečnih sila u gredama za stalnu proračunsku kombinaciju [kN]	35
Slika 33:Prikaz pozicija stupova na okviru	41
Slika 34:Presjek stupa S101	41
Slika 35:Presjek stupa S102	41
Slika 36:Prikaz armature u stupu S102 [7].....	41
Slika 37:Presjek stupa poz.S103	42
Slika 38:Nacrt armature stupa poz.S105 [7].....	42
Slika 39:Prikaz armature u stupu S201 [7].....	42

Slika 40:Prikaz armature u stupu S202 [7].....	42
Slika 41:Presjek stupa S201	42
Slika 42:Presjek stupa S202	42
Slika 43:Presjek stupa S301	43
Slika 44:Presjek stupa S302	43
Slika 45:Presjek stupa S402	43
Slika 46:Prikaz armature stupova i S402 [7].....	43
Slika 47:Presjek stupa S501	44
Slika 48:Prikaz armature u stupu S502 [7].....	44
Slika 49:Prikaz analiziranog okvira u konstrukciji	48
Slika 50:1. vlastiti oblik konstrukcije.....	49
Slika 51:2. vlastiti oblik konstrukcije.....	49
Slika 52:Dijagram uzdužnih sila u stupovima [kN].....	50
Slika 53:Dijagram momenata savijanja u stupovima [kNm]	50
Slika 54:Omjer momenata savijanja i nosivosti u stupovima	54
Slika 55:Dijagram momenata savijanja u gredama [kNm]	54
Slika 56:Shema armature grede poz.116 na osloncu-lijevo	55
Slika 57: Shema armature grede poz.116 na osloncu-desno	56
Slika 58:Shema armature u gredi poz.516 na osloncu-lijevo.....	58
Slika 59: Shema armature u gredi poz.516 na osloncu-lijevo.....	59
Slika 60:Omjer momenata savijanja i nosivosti u gredama	60
Slika 61:Shema za određivanje vrijednosti b_0 , h_0 , b_i	62
Slika 62:Pomak stupa S101	65
Slika 63:Pomak stupa S501	65
Slika 64:Poprečna sila u stupovima pri proračunu sposobnosti nosivosti	66
Slika 65:Statički sustav stropne ploče	71
Slika 66:Statički sustav krovne ploče.....	73
Slika 67:Dijagram uzdužnih sila u stupovima za drugi slučaj uporabnog opterećenja [kN]...	75
Slika 68:Dijagram momenata savijanja u stupovima za drugi slučaj uporabnog opterećenja [kNm]	75
Slika 69:Omjeri momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} za stupove	78
Slika 70:Dijagram momenata savijanja u gredama za drugi slučaj uporabnog opterećenja [kNm]	78
Slika 71:Omjer momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} u gredama	79
Slika 72:Pomak stupa S101	82
Slika 73:Pomak stupa S501	83

POPIS TABLICA

Tablica 1: Dimenzije elemenata poprečnih presjeka.....	5
Tablica 2: Tipovi temeljnog tla [3].....	10
Tablica 3: Vrijednosti parametara koji opisuju elastični spektar odziva (TIP 1) [3].....	11
Tablica 4: Razredi važnosti za zgrade [3]	11
Tablica 8: Vrijednosti koeficijenta φ u proračunu $\psi_{E,i}$ [3].....	12
Tablica 9: Vrijednosti koeficijenta $\psi_{2,i}$ [3].....	12
Tablica 5: Vrijednosti momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} za stropnu i krovnu ploču	26
Tablica 6: Površina armature za polje i oslonac grede poz. 116G	28
Tablica 7: Razine znanja i odgovarajuće metode proračuna [3].....	46
Tablica 10: Momenti nosivosti stupova na dnu	52
Tablica 11: Momenti nosivosti za vrhu stupova	53
Tablica 12: Momenti nosivosti na dnu stupa	76
Tablica 13: Momenti nosivosti na vrhu stupa	77

1.UVOD

1.1 Tehnički opis

Lučko skladište 17 nalazi se u riječkoj luci na Visinovom gatu. Ono je prva u cijelosti armiranobetonska zgrada u Hrvatskoj. Izgradnja je započela 1906. godine prema projektu mađarskog arhitekta Ferenca Pfaffa, a gradnja je završena 1909. godine.

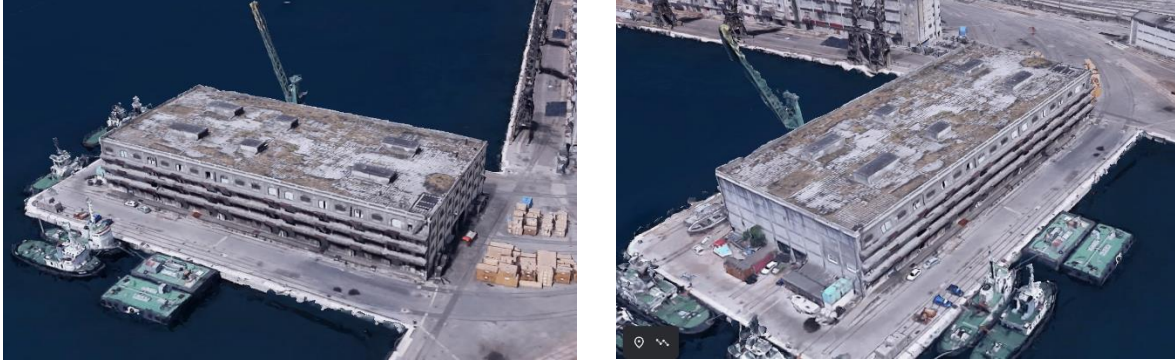
Građevina se sastoji od podruma, prizemlja te 3 kata. Njezine dimenzije su 45 x 100 m, a s utovarnim rampama 49 x 100 m, što su ujedno i dimenzije suterena. Bruto površina zgrade iznosi 25 000 m², dok neto površina iznosi 21 324 m².

Podrumski i prizemni dio podijeljeni su na 2 izdužena skladišna prostorna. Između njih nalazi se središnji prostor širine 10 m kroz koji prolaze 2 željeznička kolosijeka. U razini svih etaža skladišni prostor podijeljen na 5 manjih skladišta od kojih svaki ima direktan pristup stepenicama s gata. U prizemlju je svaki skladišni prostor podijeljen u 3 manja i jedno veće skladište. Vertikalna komunikacija zgrade odvija se pomoću stubišta, teretnih dizala te spiralnih teretnih rampi (tobogana) koji povezuju sve etaže.

Zgrada ima skeletnu konstrukciju koja se sastoji od 21 niza stupova u uzdužnom smjeru, te 9 niza stupova u poprečnom smjeru po svakoj etaži. Stupovi su kvadratnog poprečnog presjeka a njihove dimenzije su promjenjive po etažama. Dimenzije stupova u podrumu iznose 77 cm, u prizemlju 67 cm, na 1. katu 55 cm, na 2. katu 40 cm te na 3. katu 32 cm. Rubni stupovi su pravokutnog poprečnog presjeka, širina im je manja nego kod srednjih stupova. Stropnu konstrukciju čine pravokutne grede s vutama položene u oba smjera, nad kojima leže armiranobetonski stropovi. Između primarnih greda postavljene su sekundarne grede manjeg poprečnog presjeka, formirajući na taj način roštiljni sustav. Dimenzije greda također se mijenjaju po etažama, od podruma do 2. kata primarne grede su 70x32 cm, a sekundarne 24x45 cm. Dimenzije primarnih greda na 3. katu su 24x46 cm a sekundarnih 16x38 cm. Stropne ploče su debljine 12 cm, osim na krovu gdje debljina iznosi 7 cm. U doba izgradnje nosivost katova iznosila je 1500 kg/m², osim krova gdje je nosivost 300 kg/m². Pregradni i obodni zidovi su izvedeni kao tanke armiranobetonske stijenke debljine 10 cm. Cijela zgrada temeljena je na betonskoj ploči debljine 1,7 m, unutar koje su na mjestu stupova postavljeni armirani temelji samci debljine 30 cm.

1.2 Trenutno stanje konstrukcije

Lučko Skladište broj 17 nalazi se na Visinovu gatu, točnije u području Luke Rijeka. Ono spada u carinsku zonu u kojoj je danas pristup onemogućen.

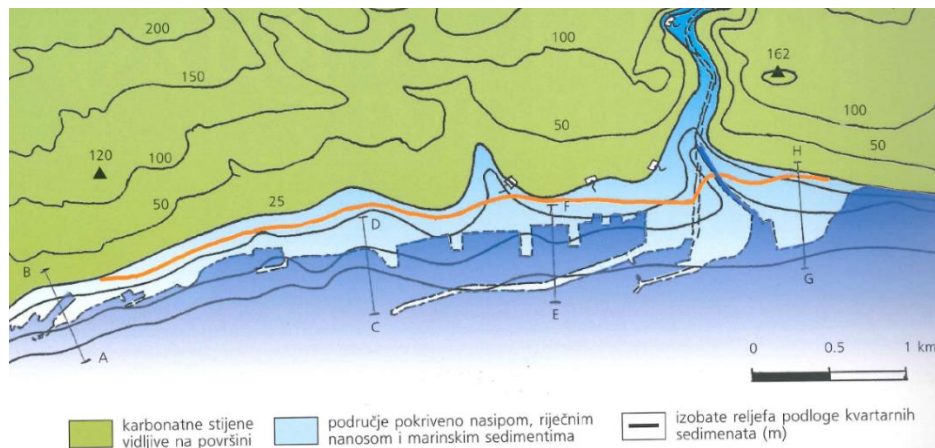


Slika 1: Pogled iz zraka na Skladište 17 [9]



Slika 2: Izgled fasade na zgradi

Današnji reljef priobalnog riječkog područja posljedica je tektonskih pokreta te promjena klime i razine mora u prošlosti. Osnovnu stijensku masu tog područja čine karbonatne sedimentne stijene, pretežno vapnenci i dolomiti. Niski i ravni dijelovi reljefa prekriveni su naplavinama te marinskim sedimentima koji imaju bitno slabija svojstva od osnovne stijene u pogledu nosivosti, te stabilnosti i deformabilnosti. [8]



Slika 3: Geološka karta prioabalnog područja Rijeke [8]

Prva su trajna Riječka skladišta bila izgrađena na sličan način - čeličnom konstrukcijom koja je bila obložena opekom, a podovi su zbog izolacije bili oblagani drvom ili asfaltom, također su korišteni pruski svodovi te Monierovi stropovi. Skladište 17 bilo je prvo skladište sagrađeno cjelovito kao armiranobetonska konstrukcija, što mu je omogućilo da bude prvo skladište u riječkoj luci sa više od 3 kata. Glavna značajka tog skladišta bio je unutarnji prostor koji je u odnosu na dosadašnje izgrađena skladišta bio moderno koncipiran i opremljen.



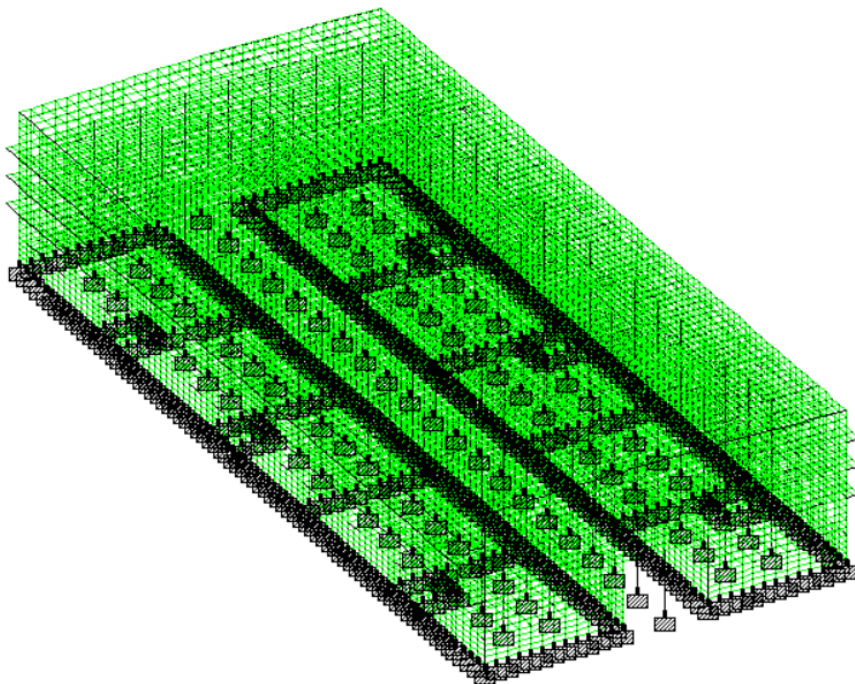
Slika 4: Fotografije izgradnje Skladišta 17 [8]



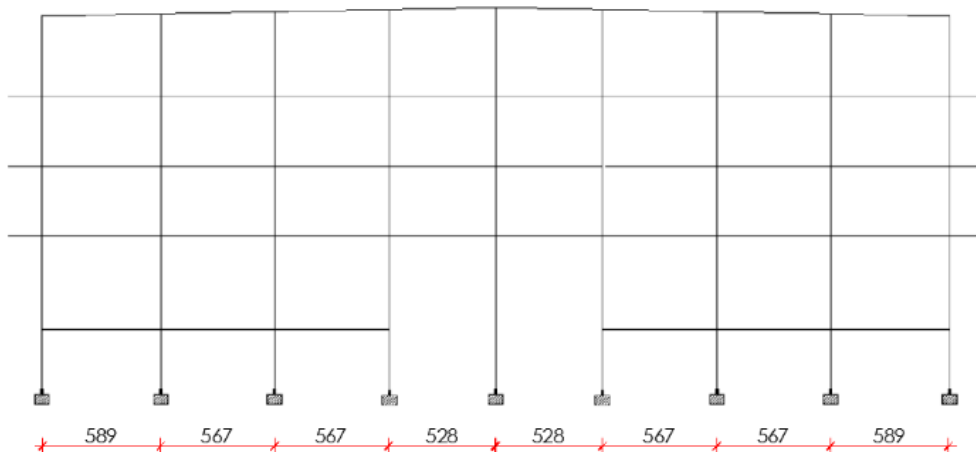
Slika 5: Prikaz stupova u zgradi

1.3 3D Model konstrukcije

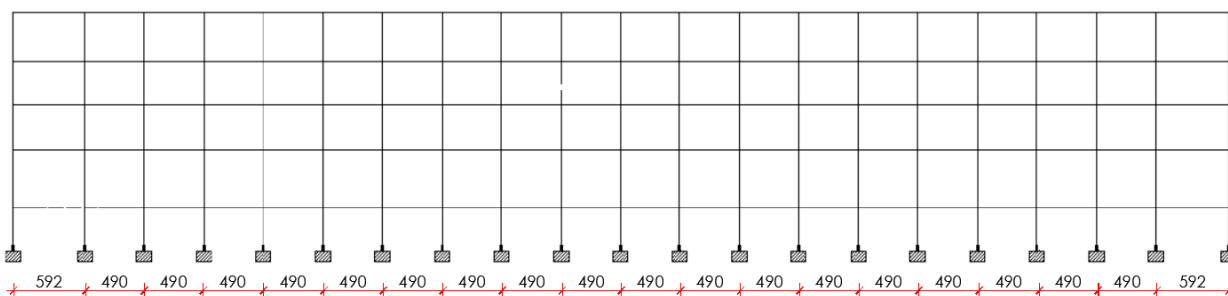
Model je izrađen u računalnom programu STAAD.Pro, te je napravljen u izvornom obliku prema dostupnim nacrtima iz arhiva [7]. Dimenzije stupova, glavnih i sekundarnih greda, otvora na fasadi, osnovog razmaka između okvira izrađeni su u cijelosti u izvornom obliku.



Slika 6: Prikaz 3D modela u STAAD.Pro-u



Slika 7: Okvir u poprečnom (kraćem) smjeru

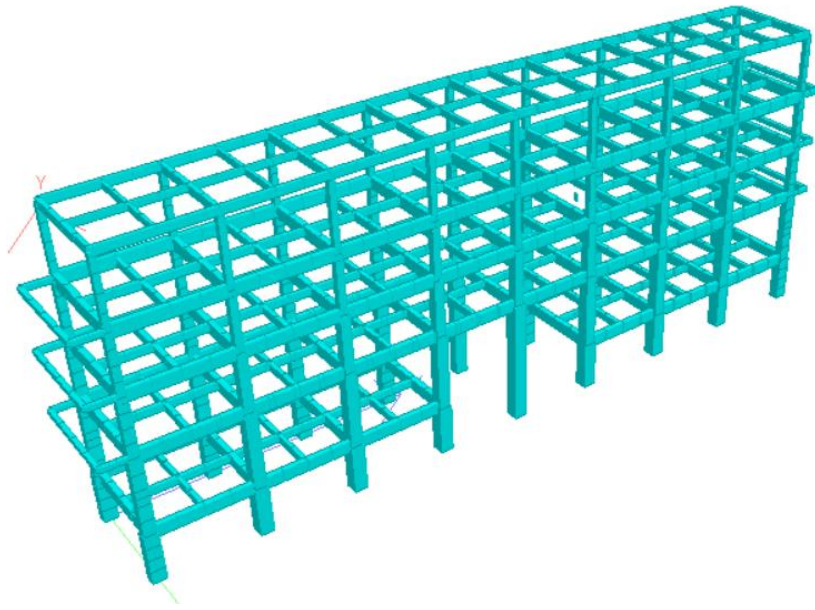


Slika 8: Okvir u uzdužnom (dužem) smjeru

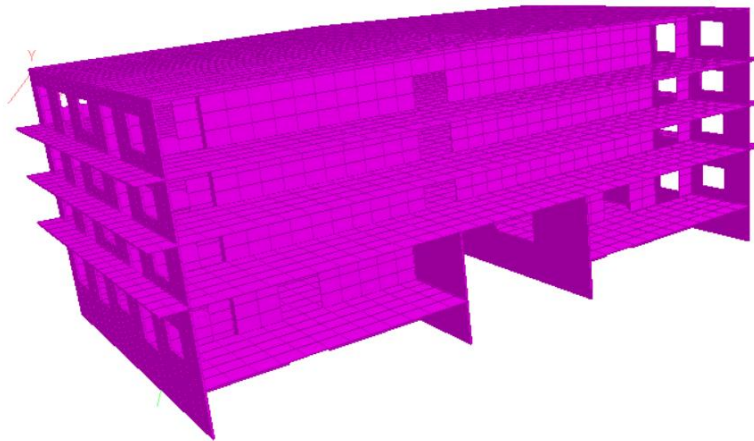
Dimenzije stupova, primarnih i sekundarnih greda variraju po visini konstrukcije, odnosno mijenjaju se ovisno na kojem katu skladišta se nalaze. Sve dimenzije prikazane su u Tablica 1.

Tablica 1: Dimenzije elemenata poprečnih presjeka

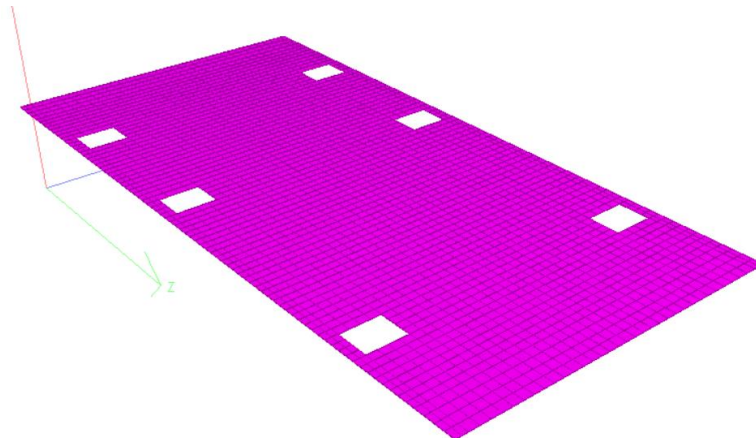
	SVJETLA VISINA KATA (m)	STUPOVI (cm)	GLAVNE GREDE (cm)	SEKUNDARNE GREDE (cm)	DEBLJINA PLOČE (cm)
PODRUM	2,30	77x77 (77x60)			
PRIZEMLJE	3,95	67x67 (67x50)	32/70	24/45	12
1. KAT	2,75	55x55 (55x40)	32/70	24/45	12
2. KAT	2,75	40x40	32/70	24/45	12
3. KAT	3,39-3,84	32x32	32/70	24/45	12
KROV	/	/	24/40	16/38	7



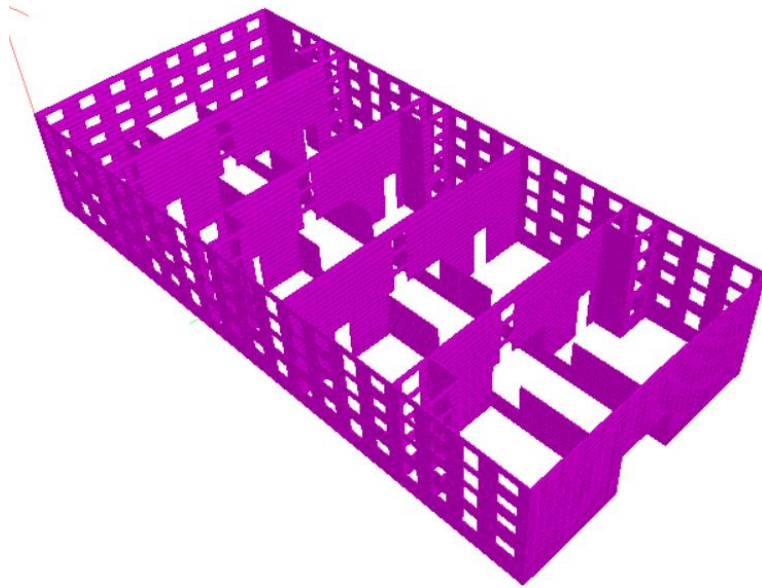
Slika 9:3D model okvira (prikaz greda i stupova)



Slika 10:3D prikaz stropnih i krovnih ploča te zidova



Slika 11:3D prikaz stropne ploče poz.100



Slika 12: Zidovi u uzdužnom i poprečnom smjeru

2 ANALIZA OPTEREĆENJA

Postojeća građevina izvorno je služila kao skladište, ali zbog promjena u načinu transporta robe u proteklih 110 godina (nekad se transport odvijao u vrećama dok se danas sve odvija putem kontejnera) zgrada je analizirana s novom funkcijom.

2.1 Stalno

2.1.1 Stropna konstrukcija

Težina slojeva:

- cementna glazura 5 cm	$0,05 \text{ m} \cdot 23 \text{ kN/m}^3 = 1,15 \text{ kN/m}^2$
- ekspandirani polistiren 5 cm	$0,05 \text{ m} \cdot 12 \text{ kN/m}^3 = 0,10 \text{ kN/m}^2$
- AB ploča 12 cm	$0,12 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 3 \text{ kN/m}^2$
- pregradni zidovi	1,00 kN/m ²
- podgled 1,5 cm	$0,015 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 0,27 \text{ kN/m}^2$

Ukupno $g^s = 5,52 \text{ kN/m}^2$

AB ploča - $g_0^s = 3,0 \text{ kN/m}^2$

Dodatno stalno $\Delta g^s = 2,52 \text{ kN/m}^2$

2.1.2 Krovna konstrukcija

Težine slojeva:

- šljunak 5 cm	$0,05 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 0,9 \text{ kN/m}^2$
- hidroizolacija	0,5 kN/m ²
- cementna glazura 2 cm	$0,02 \text{ m} \cdot 23 \text{ kN/m}^3 = 0,46 \text{ kN/m}^2$
- AB ploča 7 cm	$0,07 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 1,75 \text{ kN/m}^2$
- ekspandirani polistiren 5 cm	$0,05 \text{ m} \cdot 12 \text{ kN/m}^3 = 0,10 \text{ kN/m}^2$
- podgled 1,5 cm	$0,015 \text{ m} \cdot 18 \text{ kN/m}^3 = 0,27 \text{ kN/m}^2$

Ukupno $g^k = 3,98 \text{ kN/m}^2$

AB ploča - $g_0^k = 1,75 \text{ kN/m}^2$

Dodatno stalno - $\Delta g^k = 2,23 \text{ kN/m}^2$

2.2 Promjenjivo opterećenje

Vrijednost uporabnog opterećenja ovisi o namjeni konstrukcije. Analizirat će se konstrukcija koja ima ugostiteljsku namjenu (hotel, hostel i slično). Za takvu namjenu zgrade promatrat će se uporabno opterećenje od **5 kN/m²**. Navedeni iznosi opterećenja odnose se na stropne ploče. Na krovu se usvaja vrijednost $q = 0,60 \text{ kN/m}^2$, što odgovara vrijednosti za neprohodni krov kategorije H.

2.2.1 Stropna konstrukcija

Za uporabno djelovanje usvojena je jednaka vrijednost **$q = 5 \text{ kN/m}^2$** .

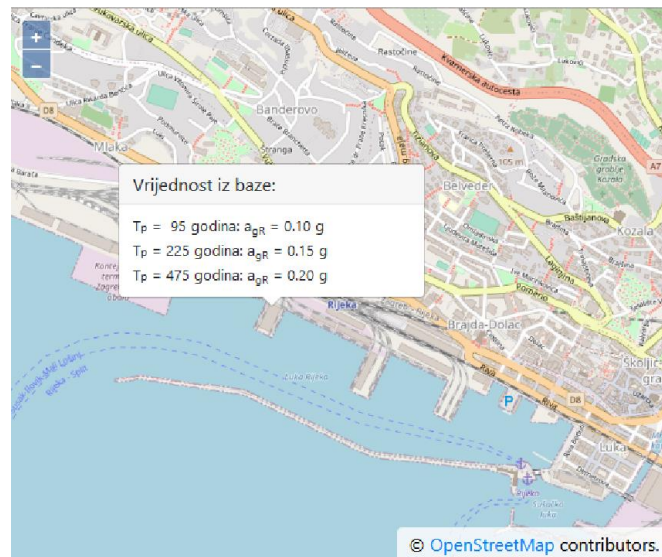
2.2.2 Krovna konstrukcija

Za uporabno djelovanje usvaja se vrijednost od **0,60 kN/m²** što se odnosi na neprohodni krov kategorije H.

2.3 Potresno djelovanje

Područje na kojem je temeljeno Skladište broj 17 prekriveno je nasipom, riječnim nanosom i marinskim sedimentima, što znači da temeljno tlo na kojem se nalazi skladište pripada tipu C (

Tablica 2). Poredbeno vršno ubrzanje temeljnog tla tipa A za povratno razdoblje od 475 godina iznosi $a_{gR} = 0,20g$.



Slika 13: Proračunsko ubrzanje tla za promatranu konstrukciju [4]

Tablica 2: Tipovi temeljnog tla [3]

Tip temeljnog tla	Opis stratigrafskog profila	$v_{s,30}$ (m/s)
A	Stijena ili druga geološka formacija poput stijene, uključujući najviše 5 m slabijeg materijala na površini	> 800
B	Nanosi vrlo gustog pijeska, šljunka ili vrlo krute gline, debljine najmanje nekoliko desetaka metara, s postupnim povećanjem mehaničkih svojstava s dubinom	360 - 800
C	Duboki nanosi gustog ili srednje gustog pijeska, šljunka ili krute gline debljine od nekoliko desetaka metara do više stotina metara	180 - 360
D	Nanosi rahlog do srednje zbijenog nekoherentnog tla (s nešto mekih koherentnih slojeva ili bez njih), ili pretežno meko do dobro koherentno tlo	< 180
E	Profil tla koji se sastoji od površinskog aluvijskog sloja s vrijednostima v_s za tipove C ili D i debljinom između 5 i 20 m ispod kojeg je krući materijal s $v_s > 800$ m/s	

Ovisno o tipu temeljnog tla na kojem se nalazi skladište, dane su vrijednosti parametara kojima se opisuje elastični spektar odziva (Tablica 3).

Tablica 3: Vrijednosti parametara koji opisuju elastični spektar odziva (TIP 1) [3]

Tip temeljnog tla	s	T _B (s)	T _C (s)	T _D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0

Faktor važnosti građevine ovisi o tome u kojem razredu važnosti se nalazi građevina. Postoje 4 razreda, od I do IV ovisno o tome kakve bi bile posljedice urušavanja pojedinih građevina. Promatrano zgrada pripada razredu važnosti II pa stoga faktor važnosti γ_i iznosi: $\gamma_i = 1,0$.

Tablica 4: Razredi važnosti za zgrade [3]

Razred važnosti	Zgrade	Faktor važnosti γ_i
I	Zgrade manje važnosti za javnu sigurnost npr. poljoprivredne zgrade itd.	0,8
II	Obične zgrade koje ne pripadaju drugim kategorijama	1,0
III	Zgrade čija je potresna otpornost važna s obzirom na posljedice vezane s rušenjem npr. škole, dvorane za skupove, kulturne institucije itd.	1,2
IV	Zgrade čija je cjelovitost tijekom potresa od životne važnosti za civilnu zaštitu npr. bolnice, vatrogasne postaje, energane itd.	1,4

Stoga, proračunsko ubrzanje tla $a_g = \gamma_i \cdot a_{gR} = 1,0 \cdot 0,20g = 0,20g$.

U ovom djelu izvršen je proračun zgrade na potresno djelovanje prema normi HRN EN 1998 - 1:2011 primjenom linearne teorije koja je zasnovana na pomacima konstrukcije. Ukupna masa građevine u trenutku djelovanja potresa određuje po formuli:

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

gdje je:

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

- $\psi_{E,i}$ - koeficijent kombinacije; $\psi_{E,i} = \varphi \cdot \psi_{2,i}$

- φ - koeficijent ovisan o stupnju opterećenosti pojedinog kata; $\varphi = 0,50$ (za neovisno zauzete katove)

Tablica 5: Vrijednosti koeficijenta φ u proračunu $\psi_{E,i}$ [3]

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

- $\psi_{2,i}$ - koeficijent ovisan o razredu važnosti zgrade; $\psi_{2,i} = 0,6$ (prostori za veće skupine ljudi)

Tablica 6: Vrijednosti koeficijenta $\psi_{2,i}$ [3]

Djelovanje	ψ_2
Uporabna opterećenja zgrada po kategorijama	
Kategorija A: stambene prostorije	0,3
Kategorija B: uredi	0,3
Kategorija C: prostori za veće skupove	0,6
Kategorija D: trgovine	0,6
Kategorija E: skladišta	0,8
Kategorija F: prometne površine, težine vozila < 30 kN	0,6
Kategorija G: prometne površine, težine vozila 30 - 160 kN	0,3
Kategorija H: krovovi	0
Opterećenje vjetrom na zgrade	0
Opterećenje snijegom na zgrade na lokacijama iznad 1000 m.n.m.	0,2
Opterećenje snijegom na zgrade na lokacijama do 1000 m.n.m.	0
Temperaturna opterećenja u zgradama (ne i požar):	0

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

Elastični spektar odziva za konstrukciju

Formule prema kojima je dobiven oblik elastičnog spektra odziva

$$0 \leq T \leq T_B: S_e(T) = a_g S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (2,5 \cdot \eta - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_e(T) = 2,5 \cdot a_g \cdot S \cdot \eta$$

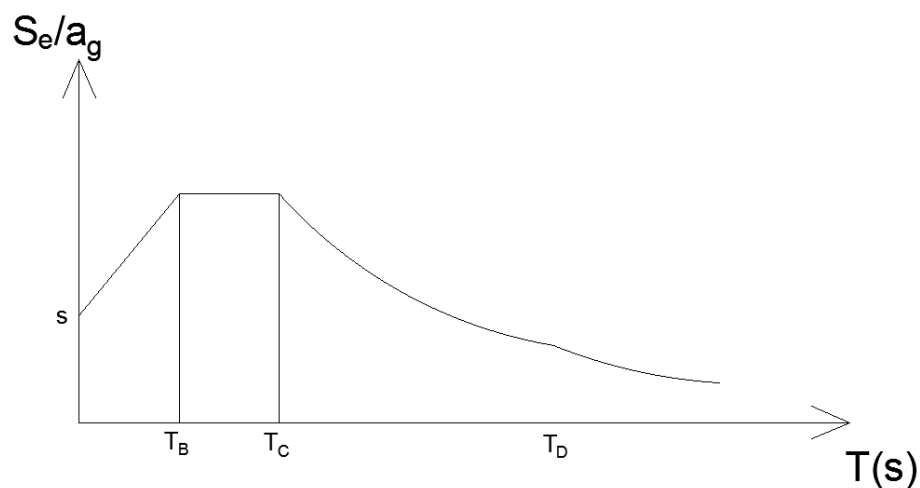
$$T_C \leq T \leq T_D: S_e(T) = 2,5 \cdot a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s: S_e(T) = 2,5 \cdot a_g \cdot S \cdot \eta \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right]$$

η - faktor korekcije prigušenja uz poredbenu vrijednost $\eta = 1$ za 5-% viskozno prigušenje

Period T_1 dobiven je u računalnom programu STAA.Pro i iznosi 0,28 s. Na temelju prethodnih formula horizontalnog elastičnog spektra odziva dobiven je oblik prikazan na slici 14.

Period T_2 iznosi 0,26 s.



Slika 14: Horizontalni elastični spektar odziva

3 SVOJSTVA MATERIJALA

Svojstva materijala pretpostavljena su prema uobičajenima iz vremena gradnje zgrade, budući da istražni radovi nisu mogli biti provedeni.

3.1 Beton

Klasa betona koja je korištena u proračunu Skladišta 17 je C16/20. Karakteristike betona vezane uz primijenjenu klasu betona preuzete su iz norme [1] te one iznose:

f_{ck} - karakteristična tlačna čvrstoća betona

$$f_{ck} = 16 \text{ MPa} = 16 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ck,cube} = 20 \text{ MPa} = 20 \text{ N/mm}^2$$

E_{cm} - sekantni modul elastičnosti betona koji iznosi 29 000 MPa

3.2 Čelik

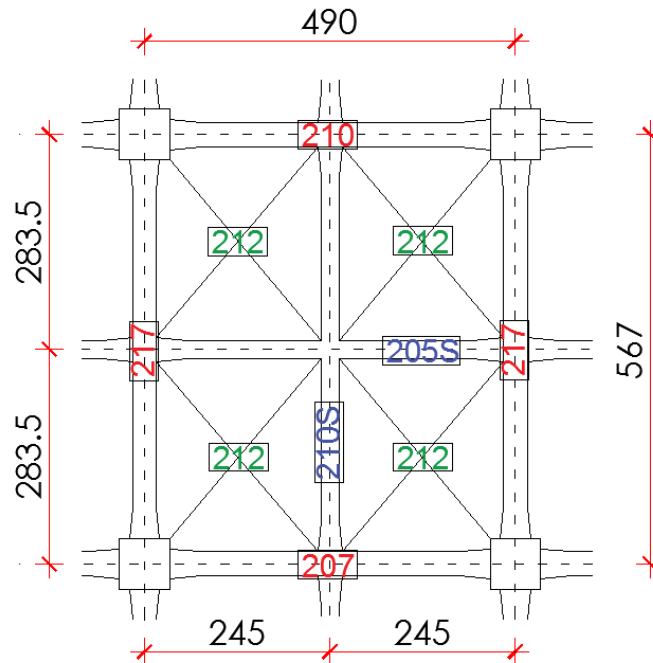
U proračunu je korišten čelik GA 240/360 koji ima slijedeće karakteristike:

f_{yk} - karakteristična granica popuštanja čelika

$$f_{yk} = 240 \text{ N/mm}^2$$

4 PROVJERE NOSIVOSTI PLOČA

U ovom djelu rada bit će analiziran strop 1. kata koji se sastoji od glavnih i sekundarnih greda te ploče. Glavne grede su dimenzija 32/70 cm, sekundarne 24/45 cm te ploča debljine 12 cm. Sekundarne grede nalaze se na polovici raspona glavnih greda, te je iznad njih smještena ploča. Poprečni presjek glavnih i sekundarnih greda je isti za oba smjera konstrukcije. Kraći raspon 1. kata iznosi 490 cm dok duži iznosi 567 cm.



Slika 15: Statički sustav stropne ploče 1. kata

Proračunska opterećenja:

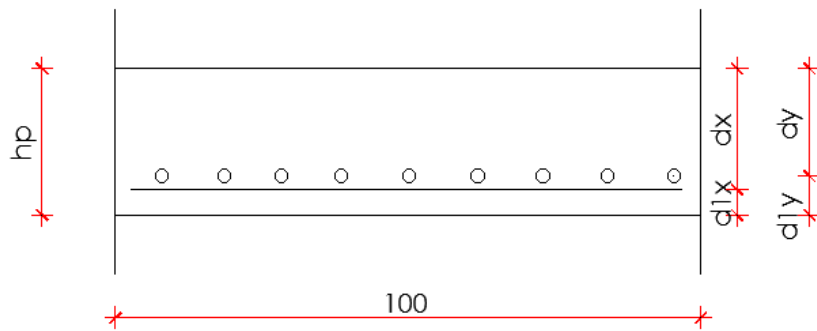
- stalno $g = 3,00 + 2,52 = 5,52 \text{ kN/m}^2$

- uporabno $q = 5 \text{ kN/m}^2$

$$q'_{Ed} = \gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q \cdot \frac{1}{2} = 1,35 \cdot 5,52 + 1,5 \cdot 5 \cdot \frac{1}{2} = 11,20 \text{ kN/m}^2$$

$$q''_{Ed} = \gamma_Q \cdot q \cdot \frac{1}{2} = 1,5 \cdot 5 \cdot \frac{1}{2} = 3,75 \text{ kN/m}^2$$

Statičke visine armature:



Slika 16: Shema statičke visine armature u ploči

$$d_{1x} = c_{nom} + \frac{\varnothing}{2} = 1 + \frac{0,8}{2} = 1,4 \text{ cm} \approx 1,5 \text{ cm}$$

$$d_{1y} = d_{1x} + \varnothing = 1,5 + 0,8 = 2,3 \text{ cm} \approx 2,5 \text{ cm}$$

$$d_x = h_p - d_{1x} = 12 - 1,5 = 10,5 \text{ cm}$$

$$d_y = h_p - d_{1y} = 12 - 2,5 = 9,5 \text{ cm}$$

Karakteristike materijala

Proračunska tlačna čvrstoća betona C16/20:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,067 \text{ kN/cm}^2$$

Proračunska granica popuštanja čelika za armiranje GA 240/360:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 20,87 \text{ kN/cm}^2$$

Ploča 1. kata

Nosivost ploče:

$$\lambda = \frac{l_{duži \text{ raspon}}}{l_{kraći \text{ raspon}}} = \frac{2,835}{2,45} = 1,15$$

$$\lambda = 1,15 < 2 - \text{ploča nosiva u 2 smjera!}$$

Za proračun momenata savijanja koriste se Loserove tablice po Marcusu. Za ploču poz. 212 vrijedi slučaj 6. Da bi se dobile najveće vrijednosti momenata savijanja potrebno je uporabno

opterećenje postaviti u najnepovoljniji položaj, što znači da za ploču poz. 212 vrijedi kombinacija slučaja 6 i slučaja 1.

Za $\lambda = 1,15$ slijedi interpolacija; $\lambda = 1,10$ te $\lambda = 1,20$

$$\varphi_{1x} = 21,12 \quad \varphi_{1y} = 36,86$$

$$\varphi_{6x} = 43,84 \quad \varphi_{6y} = 76,64 \quad \kappa_x = 0,63$$

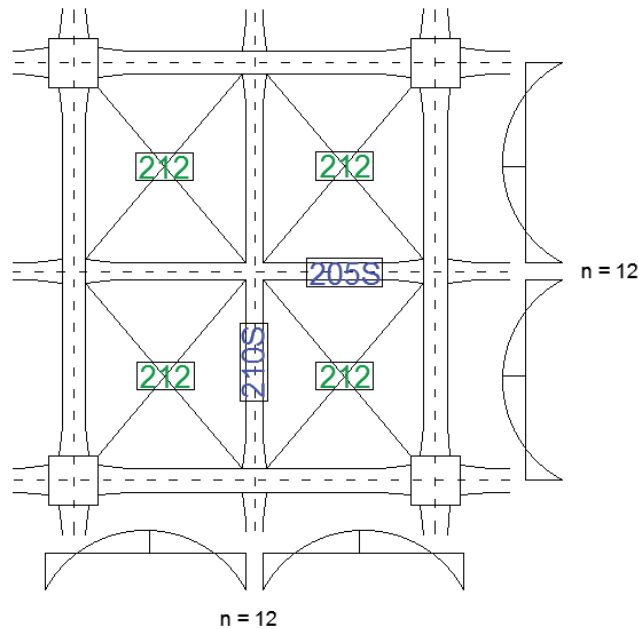
Momenti savijanja u polju za smjer x ($l_x = 2,45$ m)

$$M_{Ed,x} = \left(\frac{q'_{ed}}{\varphi_{6x}} + \frac{q''_{ed}}{\varphi_{1x}} \right) \cdot l_x^2 = \left(\frac{11,20}{43,84} + \frac{3,75}{21,12} \right) \cdot 2,45^2 = 2,60 \text{ kNm/m'}$$

Momenti savijanja u polju za smjer y ($l_y = 2,835$ m)

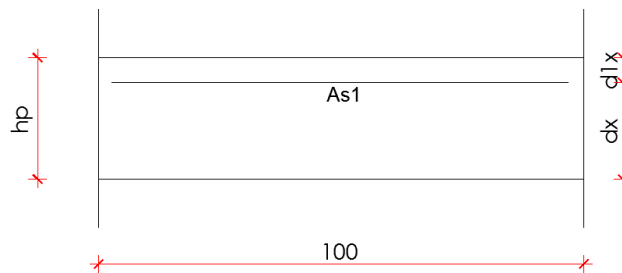
$$M_{Ed,y} = \left(\frac{q'_{ed}}{\varphi_{6y}} + \frac{q''_{ed}}{\varphi_{1y}} \right) \cdot l_y^2 = \left(\frac{11,20}{76,64} + \frac{3,75}{36,86} \right) \cdot 2,835^2 = 1,99 \text{ kNm/m'}$$

Oslonac poz. 212-212



Slika 17: Shema dijagrama momenata na osloncu

Statička visina armature na osloncu:



Slika 18: Shema armature u ploči na osloncu

$$d_x = c_{nom} + \frac{\phi}{2} = 1 + \frac{0,8}{2} = 1,4 \text{ cm} \approx 1,5 \text{ cm}$$

$$d = h_p - d_x = 12 - 1,5 = 10,5 \text{ cm}$$

Proračunsko opterećenje na osloncu u smjeru osi x:

$$q_{ed} = \gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q = 1,35 \cdot 5,52 + 1,5 \cdot 5 = 14,95 \text{ kN/m}^2$$

$$q'_{ed} = \kappa_x \cdot q_{ed} = 0,63 \cdot 14,95 = 9,42 \text{ kN/m}^2$$

Proračunsko opterećenje u smjeru osi y na osloncu:

$$q_{ed}'' = \kappa_y \cdot q_{ed}$$

$$\kappa_y = 1 - \kappa_x = 1 - 0,63 = 0,37$$

$$q_{ed}'' = \kappa_y \cdot q_{ed} = 0,37 \cdot 14,95 = 5,53 \text{ kN/m}^2$$

Moment savijanja na osloncu u smjeru x:

$$M_{Ed,x} = -\frac{1}{12} \cdot q'_{ed} \cdot l_x^2 = -\frac{1}{12} \cdot 10,902 \cdot 2,45^2 = -5,45 \text{ kNm/m'}$$

Moment savijanja na osloncu u smjeru y:

$$M_{Ed,y} = -\frac{1}{12} \cdot q_{ed}'' \cdot l_y^2 = -\frac{1}{12} \cdot 4,034 \cdot 2,835^2 = -2,70 \text{ kNm/m'}$$

Nosivost presjeka

Nosivost ploče 211 - polje x smjer:

Nosivost presjeka na savijanje M_{Rd} određuje se pomoću mehaničkog koeficijenta armiranja ω te tablica za dimenzioniranje presjeka opterećenih na savijanje.

$$M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta$$

- A_{s1} - površina vlačne armature presjeka

- d - statička visina

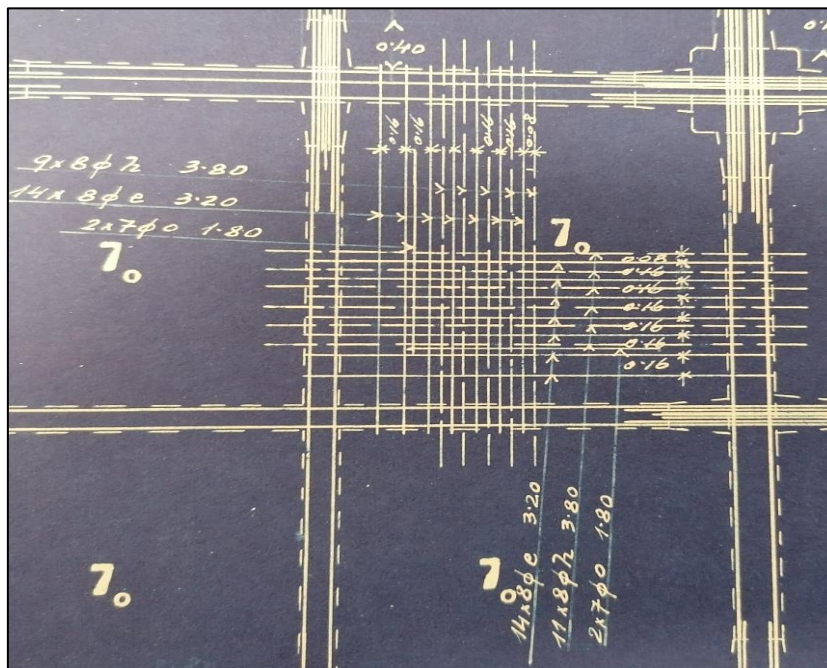
- ζ - koeficijent kraka unutarnjih sila

Za određivanje ζ potrebno je odrediti mehanički koeficijent armiranja ω te iz tablice za dimenzioniranje presjeka iščitati vrijednost ζ .

$$\omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

- b - širina presjeka

Površina armature A_{s1} preuzeta je iz izvornog proračuna Skladišta 17 [7]. Na slici 12 prikazana je armatura u ploči.



Slika 19: Prikaz armature u polju u ploči poz.212 [7]

$$A_{s1,x} = 7\phi 8 + 5\phi 8 = 3,52 + 2,51 = \mathbf{6,03 \text{ cm}^2/\text{m}'}$$

$$\omega = \frac{A_{s1,x} \cdot f_{yd}}{b \cdot d_x \cdot f_{cd}} = \frac{6,03 \cdot 20,87}{100 \cdot 10,5 \cdot 1,067} = 0,112$$

Iz tablice - ζ - 0,938

$$M_{Rd} = A_{s1,x} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 6,03 \cdot 20,87 \cdot 10,5 \cdot 0,938 = \mathbf{12,39 \text{ kNm}}$$

Nosivost ploče 211 - polje y smjer:

$$A_{s1,y} = 7\phi 8 + 5\phi 8 = 3,52 + 2,51 = \mathbf{6,03 \text{ cm}^2/\text{m}'}$$

$$\omega = \frac{A_{s1,y} \cdot f_{yd}}{b \cdot d_y \cdot f_{cd}} = \frac{6,03 \cdot 20,87}{100 \cdot 9,5 \cdot 1,067} = 0,124$$

Iz tablice - ζ - 0,931

$$M_{Rd} = A_{s1,y} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 6,03 \cdot 20,87 \cdot 9,5 \cdot 0,931 = \mathbf{11,13 \text{ kNm}}$$

Nosivost ploče poz. 212 na osloncu x smjer:

$$A_{s1,x} = 6\phi 8 = \mathbf{3,02 \text{ cm}^2/\text{m}'}$$

$$\omega = \frac{A_{s1,x} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{3,02 \cdot 20,87}{100 \cdot 10,5 \cdot 1,067} = 0,056$$

Iz tablice - ζ - 0,970

$$M_{Rd} = A_{s1,x} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 3,02 \cdot 20,87 \cdot 10,5 \cdot 0,970 = \mathbf{6,41 \text{ kNm}}$$

Nosivost ploče poz. 212 na osloncu y smjer:

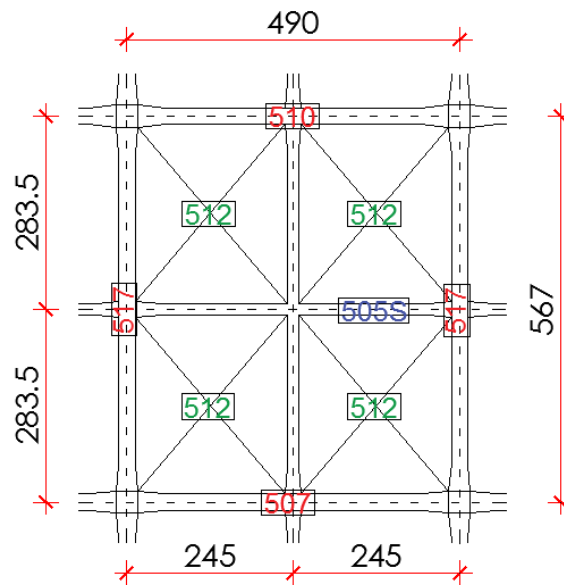
$$A_{s1,y} = 6\phi 8 = 3,02 \text{ cm}^2/\text{m}'$$
$$\omega = \frac{A_{s1,y} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{3,02 \cdot 20,87}{100 \cdot 10,5 \cdot 1,067} = 0,056$$

Iz tablice - ζ - 0,970

$$M_{Rd} = A_{s1,y} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 3,02 \cdot 20,87 \cdot 10,5 \cdot 0,970 = 6,41 \text{ kNm}$$

Krovna ploča

Kao i kod stropne konstrukcije, krovna konstrukcija sastoji se od glavnih i sekundarnih greda te ploče koja se nalazi iznad greda. U ovom slučaju glavne grede su dimenzija 24/45 cm a sekundarne 16/38 cm, dok je ploča debljine 7 cm. Statički sustav krovne konstrukcije je identičan kao kod stropne konstrukcije - tzv. roštilj koji se ostvaruje tako da se sekundarne grede križaju u srednjem rasponu. Kraći raspon ploče iznosi 490 cm dok duži raspon iznosi 567 cm. Poprečni presjeci greda jednaki su u oba smjera konstrukcije.



Slika 20: Statički sustav krovne ploče

Proračunska opterećenja:

Mjerodavna vrijednost uporabnog opterećenja je $q = 0,6 \text{ kN/m}^2$ što odgovara vrijednosti za krov kategorije H. Izvorna vrijednost uporabnog opterećenja za Skladište 17 bilo je $3,00 \text{ kN/m}^2$ ali je sada u novoj funkciji zgrade uzeta vrijednost za neprohodni krov kategorije H od $0,6 \text{ kN/m}^2$.

- stalno $g = 1,75 + 2,23 = 3,98 \text{ kN/m}^2$

- uporabno $q = 0,60 \text{ kN/m}^2$

$$q'_{ed} = \gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q \cdot \frac{1}{2} = 1,35 \cdot 3,98 + 1,5 \cdot 0,60 \cdot \frac{1}{2} = 5,83 \text{ kN/m}^2$$

$$q''_{ed} = \gamma_Q \cdot q \cdot \frac{1}{2} = 1,5 \cdot 0,60 \cdot \frac{1}{2} = 0,45 \text{ kN/m}^2$$

Statičke visine armature:

$$d_{1x} = c_{nom} + \frac{\emptyset}{2} = 1 + \frac{0,7}{2} = 1,35 \text{ cm} \approx 1,5 \text{ cm}$$

$$d_{1y} = d_{1x} + \emptyset = 1,5 + 0,7 = 2,2 \text{ cm} \approx 2,5 \text{ cm}$$

$$d_x = h_p - d_{1x} = 7 - 1,5 = 5,5 \text{ cm}$$

$$d_y = h_p - d_{1y} = 7 - 2,5 = 4,5 \text{ cm}$$

Dimenzioniranje krovne ploče

Nosivost ploče:

$$\lambda = \frac{l_{duži \ raspon}}{l_{kraći \ raspon}} = \frac{2,835}{2,45} = 1,15$$

$\lambda = 1,15 < 2$ – ploča nosiva u 2 smjera!

Za proračun momenata savijanja koriste se Loserove tablice po Marcusu. Za ploču poz. 212 vrijedi slučaj 6. Da bi se dobile najveće vrijednosti momenata savijanja potrebno je uporabno opterećenje postaviti u najnepovoljniji položaj, što znači da za ploču poz. 212 vrijedi kombinacija slučaja 6 i slučaja 1.

Za $\lambda = 1,15$ slijedi interpolacija; $\lambda = 1,10$ te $\lambda = 1,20$

$$\varphi_{1x} = 21,12 \quad \varphi_{1y} = 36,86$$

$$\varphi_{6x} = 43,84 \quad \varphi_{6y} = 76,64 \quad \kappa_x = 0,63$$

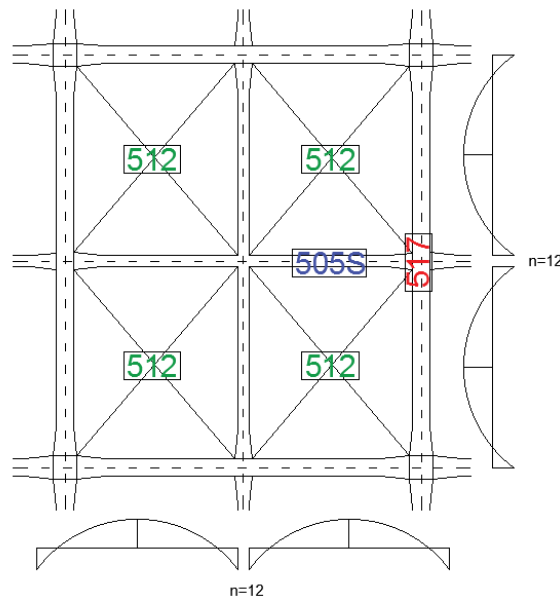
Momenti savijanja u polju za smjer x ($l_x = 2,45$ m)

$$M_{Ed,x} = \left(\frac{q'_{ed}}{\varphi_{6x}} + \frac{q''_{ed}}{\varphi_{1x}} \right) \cdot l_x^2 = \left(\frac{5,83}{43,84} + \frac{0,45}{21,12} \right) \cdot 2,45^2 = 0,93 \text{ kNm/m'}$$

Momenti savijanja u polju za smjer y ($l_y = 2,835$ m)

$$M_{Ed,y} = \left(\frac{q'_{ed}}{\varphi_{6y}} + \frac{q''_{ed}}{\varphi_{1y}} \right) \cdot l_y^2 = \left(\frac{5,83}{76,64} + \frac{0,45}{36,86} \right) \cdot 2,835^2 = 0,71 \text{ kNm/m'}$$

Oslonac poz. 512 - 512



Slika 21: Shema momenata na osloncu

Proračunsko opterećenje na osloncu u smjeru osi x:

$$q_{ed} = \gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q = 1,35 \cdot 3,98 + 1,5 \cdot 0,60 = 6,27 \text{ kN/m}^2$$

$$q'_{ed} = \kappa_x \cdot q_{ed} = 0,63 \cdot 6,27 = 3,95 \text{ kN/m}^2$$

Proračunsko opterećenje u smjeru osi y na osloncu:

$$q_{ed}'' = \kappa_y \cdot q_{ed}$$

$$\kappa_y = 1 - \kappa_x = 1 - 0,63 = 0,37$$

$$q_{ed}'' = \kappa_y \cdot q_{ed} = 0,37 \cdot 6,27 = 2,32 \text{ kN/m}^2$$

Moment savijanja na osloncu u smjeru x:

$$M_{Ed,x} = -\frac{1}{12} \cdot q'_{ed} \cdot l_x^2 = -\frac{1}{12} \cdot 3,95 \cdot 2,45^2 = -1,98 \text{ kNm/m'}$$

Moment savijanja na osloncu u smjeru y:

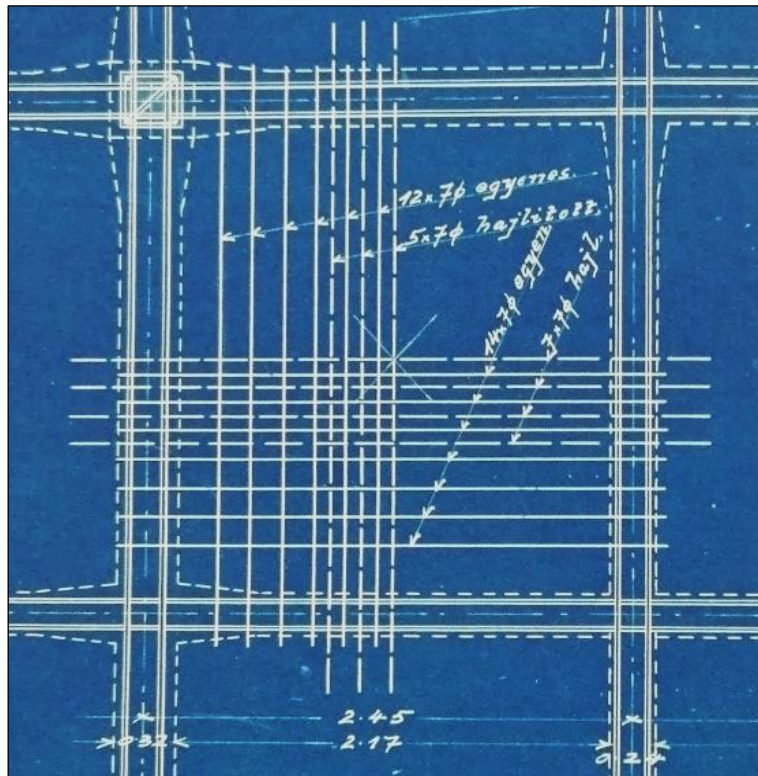
$$M_{Ed,y} = -\frac{1}{12} \cdot q''_{ed} \cdot l_y^2 = -\frac{1}{12} \cdot 2,32 \cdot 2,835^2 = -1,55 \text{ kNm/m'}$$

Nosivost presjeka

Nosivost krovne ploče računa se na isti način kao i z stropnu ploču, preko slijedeće formule: $M_{Rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta$

Nosivost ploče 211 - polje x smjer:

Na slijedećoj slici prikazan je raspored armature u krovnoj ploči:



Slika 22: Prikaz armature u polju u krovnoj ploči [7]

$$A_{s1,x} = 7\phi7 + 4\phi7 = 2,69 + 1,54 = 4,23 \text{ cm}^2/\text{m'}$$

$$\omega = \frac{A_{s1,x} \cdot f_{yd}}{b \cdot d_x \cdot f_{cd}} = \frac{4,23 \cdot 20,87}{100 \cdot 5,5 \cdot 1,067} = 0,150$$

Iz tablice - ζ - 0,921

$$M_{Rd} = A_{s1,x} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 4,23 \cdot 20,87 \cdot 5,5 \cdot 0,921 = \mathbf{4,47 \text{ kNm}}$$

Nosivost ploče 211 - polje y smjer:

$$A_{s1,y} = 8\phi 7 + 4\phi 7 = 3,08 + 1,54 = \mathbf{4,62 \text{ cm}^2/\text{m}'}$$

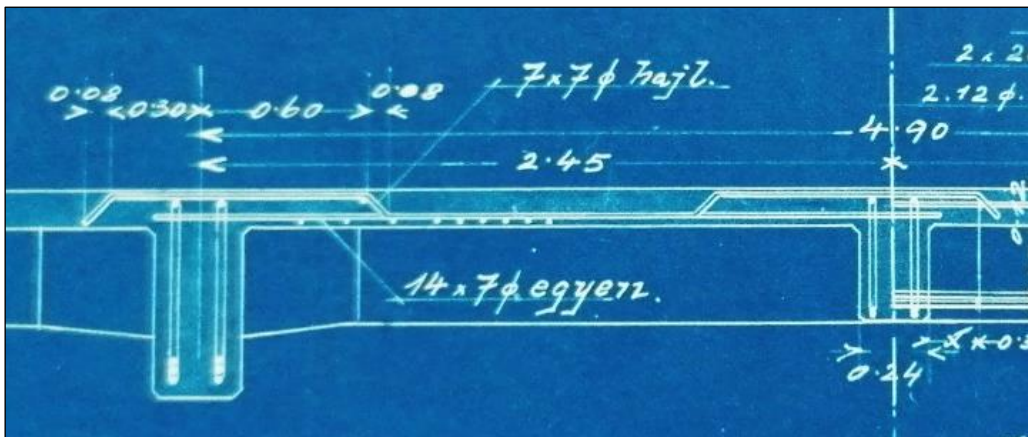
$$\omega = \frac{A_{s1,y} \cdot f_{yd}}{b \cdot d_y \cdot f_{cd}} = \frac{4,62 \cdot 20,87}{100 \cdot 4,5 \cdot 1,067} = 0,20$$

Iz tablice - ζ - 0,892

$$M_{Rd} = A_{s1,y} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 4,62 \cdot 20,87 \cdot 4,5 \cdot 0,892 = \mathbf{3,87 \text{ kNm}}$$

Nosivost ploče poz. 212 na osloncu x smjer:

Na slici 23 prikazan je raspored armature na osloncu u ploči poz. 212. Površina armature koja se nalazi nad osloncem iznosi $7 \cdot 0,38 = 2,69 \text{ cm}^2/\text{m}'$ (7 ϕ 7).



Slika 23: Prikaz armature u osloncu u krovnoj ploči [7]

$$A_{s1,x} = 7\phi 7 = 7 \cdot 0,38 = \mathbf{2,69 \text{ cm}^2/\text{m}'}$$

$$\omega = \frac{A_{s1,x} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{2,69 \cdot 20,87}{100 \cdot 5,5 \cdot 1,067} = 0,096$$

Iz tablice - ζ - 0,948

$$M_{Rd} = A_{s1,x} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 2,69 \cdot 20,87 \cdot 5,5 \cdot 0,948 = \mathbf{2,93 \text{ kNm}}$$

Nosivost ploče poz. 212 na osloncu x smjer:

$$A_{s1,y} = 5\phi 7 = 5 \cdot 0,38 = 1,92 \text{ cm}^2/\text{m}'$$
$$\omega = \frac{A_{s1,y} \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_{cd}} = \frac{1,92 \cdot 20,87}{100 \cdot 5,5 \cdot 1,067} = 0,068$$

Iz tablice - ζ - 0,962

$$M_{Rd} = A_{s1,y} \cdot f_{yd} \cdot d_x \cdot \zeta = 1,92 \cdot 20,87 \cdot 5,5 \cdot 0,962 = 2,12 \text{ kNm}$$

Usporedba momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd}

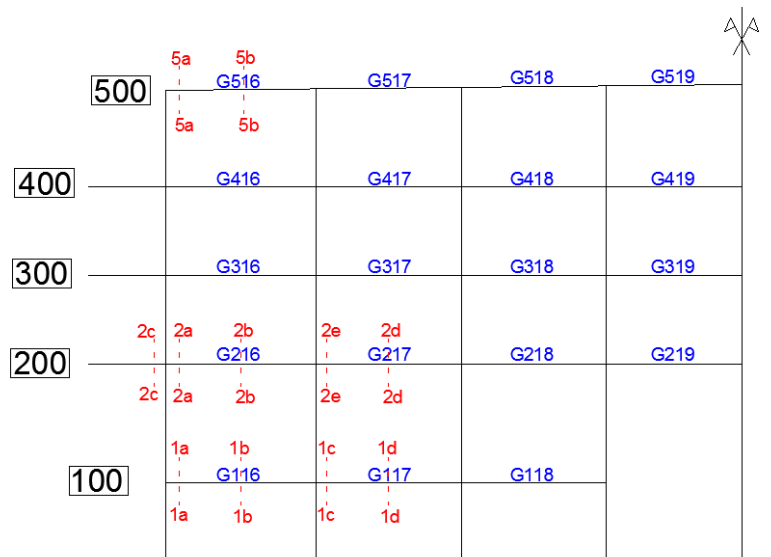
U slijedećoj tablici prikazane su vrijednosti momenata savijanja M_{Ed} te momenata nosivosti M_{Rd} za stropnu ploču 1. kata te za krovnu ploču konstrukcije. Za sve vrijednosti momenata u poljima i u osloncima zadovoljen je opći uvjet ravnoteže: $M_{Ed} < M_{Rd}$.

Tablica 7: Vrijednosti momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} za stropnu i krovnu ploču

POZICIJA	STROPNE PLOČE			KROVNA PLOČA		
	M_{Ed} (kNm/m)	M_{Rd} (kNm/m)		M_{Ed} (kNm/m)	M_{Rd} (kNm/m)	
	smjer x	$M_{Ed} = 2,60$	$M_{Rd} = 12,39$	smjer x	$M_{Ed} = 0,93$	$M_{Rd} = 4,47$
POLJE						
	smjer y	$M_{Ed} = 1,99$	$M_{Rd} = 11,13$	smjer y	$M_{Ed} = 0,71$	$M_{Rd} = 3,87$
	smjer x	$M_{Ed} = 5,45$	$M_{Rd} = 6,41$	smjer x	$M_{Ed} = 1,98$	$M_{Rd} = 2,93$
OSLONAC						
	smjer y	$M_{Ed} = 2,70$	$M_{Rd} = 6,41$	smjer y	$M_{Ed} = 1,55$	$M_{Rd} = 2,12$

5 STVARNO STANJE KONSTRUKCIJE

U narednom poglavlju bit će priložene slike izvornih nacрта armature Skladišta 17. koje se nalaze u Državnom arhivu u Rijeci. Na slijedećoj slici prikazani su presjeci za koje su određene površine armatura. Karakteristični presjeci prikazani su po razinama katova, samo u jednom polju zbog toga što su u svim ostalim poljima jednaki kao u krajnjem. Presjeci za koje će biti prikazana armatura nalaze se u polju grede te na osloncu.

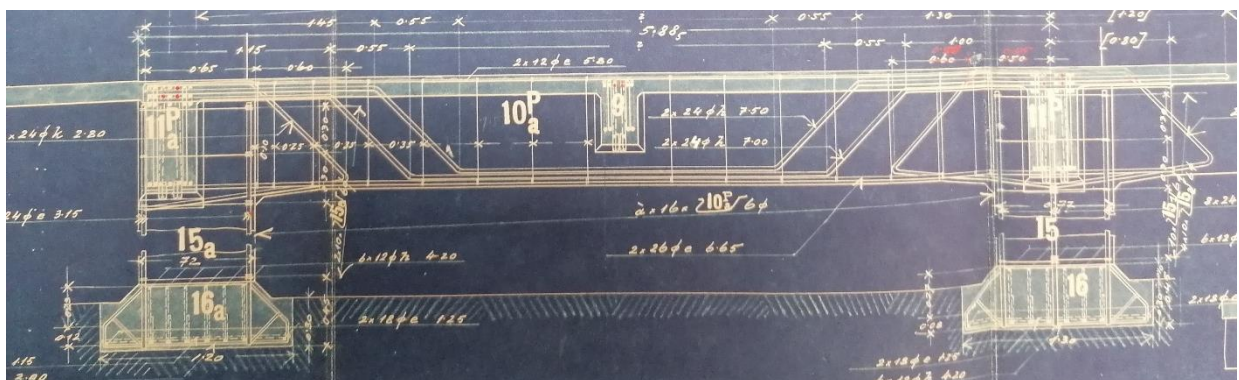


Slika 24: Prikaz pozicija greda na okviru (zbog simetrije je prikazano samo pola okvira)

5.1 Nacrti armature

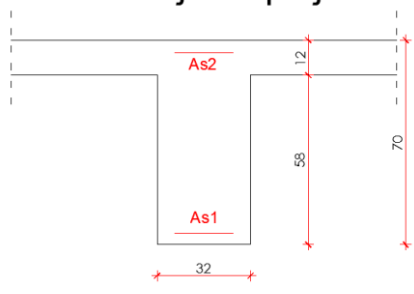
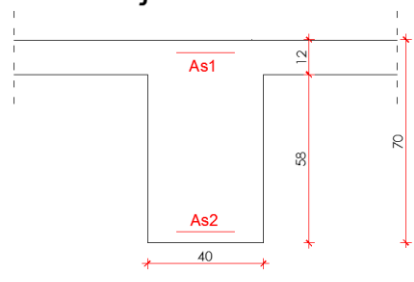
5.1.1 Grede

Prizemlje - Greda POZ. 116

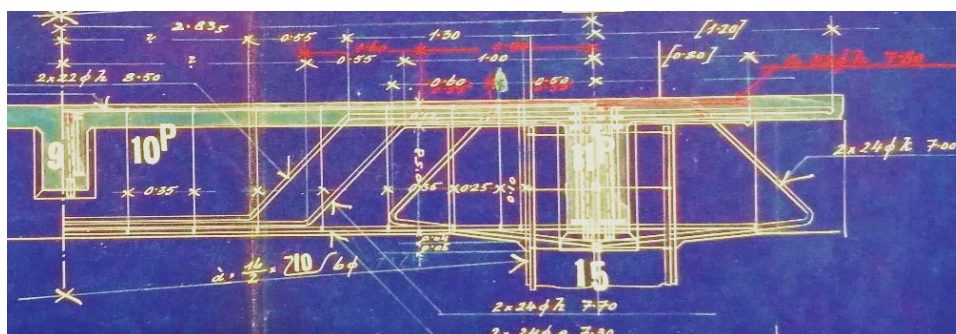


Slika 34: Prikaz armature grede poz. 116G [7]

Tablica 8: Površina armature za polje i oslonac grede poz.116G

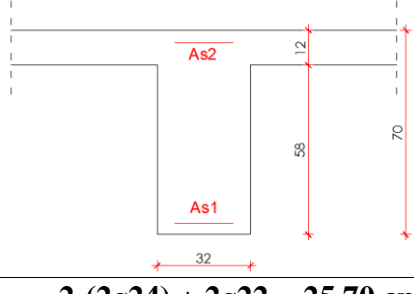
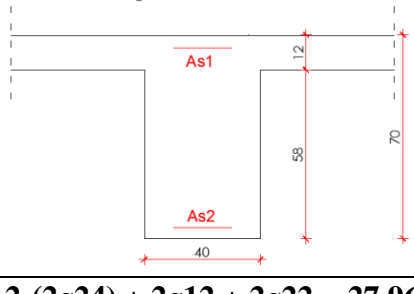
Presjek 1b - 1b (polje)	Presjek 1a - 1a (oslonac)
<p align="center">Presjek u polju</p> 	<p align="center">Presjek na osloncu</p> 
$A_{s1} = 2 \cdot (2\phi 24) + 2\phi 26 = 28,72 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2\phi 12 = 2,26 \text{ cm}^2$	$A_{s1} = 3 \cdot (2\phi 24) + 2\phi 12 = 29,41 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2\phi 26 + 2\phi 24 = 19,67 \text{ cm}^2$

Prizemlje - Greda POZ. 117 = POZ. 118



Slika 35: Prikaz armature za gredu poz. 117 [7]

Tablica 7: Površina armature za polje i oslonac grede poz.117G

Presjek 1d - 1d (polje)	Presjek 1c - 1c (oslonac)
<p align="center">Presjek u polju</p> 	<p align="center">Presjek na osloncu</p> 
$A_{s1} = 2 \cdot (2\phi 24) + 2\phi 22 = 25,70 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2\phi 12 = 2,26 \text{ cm}^2$	$A_{s1} = 2 \cdot (2\phi 24) + 2\phi 12 + 2\phi 22 = 27,96 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2 \cdot (2\phi 24) = 18,10 \text{ cm}^2$

Poprečna armatura

Za poprečnu armaturu nisu korištene klasične spone kakve se danas uobičajeno koriste, već su korištene šipke iz gornje zone povezane sa šipkama donje zone (kao što se može vidjeti na slici 23). Za preuzimanje poprečnih sila koristi se uzdužna armatura koja se koso vodi iz polja preko oslonaca.

$$A_{sw} = 16\phi 6 \text{ (}\phi 6/30 \text{ cm - u polju)}$$

$$A_{sw} = 4\phi 6 \text{ (}\phi 6/10;25 \text{ cm - na ležaju)}$$

2. kat - Gređa POZ. 216



Slika 25: Prikaz armature za gređu poz. 216 [7]

Tablica 8: Površina armature za polje i oslonac gređe poz.216G

Presjek 2b - 2b (polje)	Presjek 2a - 2a (oslonac) = Presjek 2c - 2c(balkon)
Presjek u polju 	Presjek na osloncu
$A_{s1} = 3 \cdot (2\phi 24) = 13,57 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2\phi 12 = 2,26 \text{ cm}^2$	$A_{s1} = 3 \cdot (2\phi 24) + 2\phi 12 = 15,83 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2\phi 24 = 9,05 \text{ cm}^2$

2. kat - Gređa POZ. 217

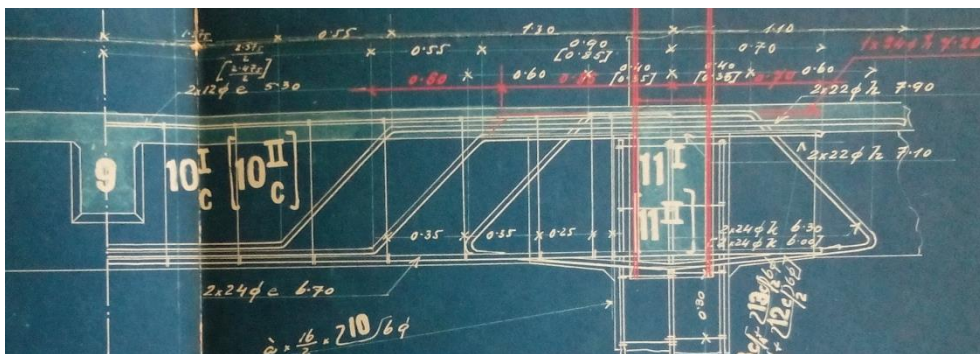


Slika 26: Prikaz armature za gređu poz.217 [7]

Tablica 9: Površina armature za polje i oslonac gređe poz.217G

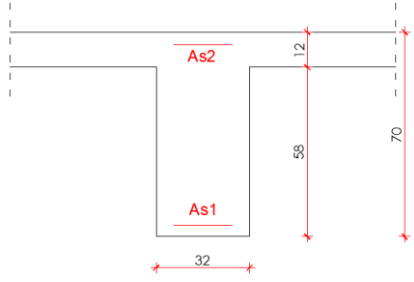
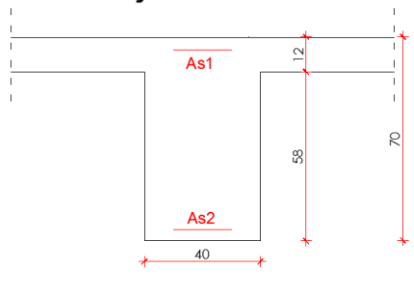
Presjek 2d - 2d (polje)	Presjek 2e - 2e (oslonac)
<p>Presjek u polju</p>	<p>Presjek na osloncu</p>
$A_{s1} = 3 \cdot (2\phi 24) = 13,57 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2\phi 12 = 2,26 \text{ cm}^2$	$A_{s1} = 3 \cdot (2\phi 24) + 2\phi 12 + 1\phi 24 = 20,36 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2 \cdot (2\phi 24) = 18,10 \text{ cm}^2$

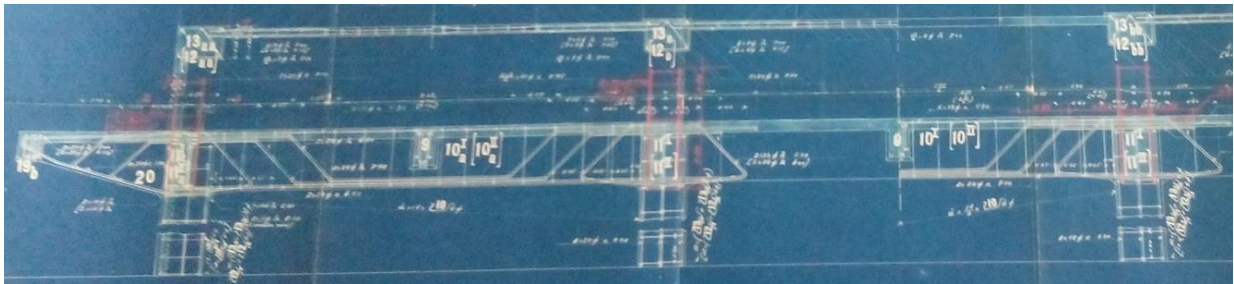
2. kat - Gređa POZ. 218



Slika 27: Prikaz armature za gređu poz.218 [7]

Tablica 10: Površina armature za polje i oslonac grede poz.218G

Presjek 2d - 2d (polje) Presjek u polju	Presjek 2e - 2e (oslonac) Presjek na osloncu
	
$A_{s1} = 2\phi 24 + 2 \cdot (2\phi 22) = 24,26 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2\phi 12 = 2,26 \text{ cm}^2$	$A_{s1} = 3 \cdot (2\phi 24) + 2 \cdot (2\phi 22) = 42,35 \text{ cm}^2$ $A_{s2} = 2 \cdot (2\phi 24) = 18,10 \text{ cm}^2$



Slika 28: Prikaz rasporeda armature u gredama poz.200 [7]

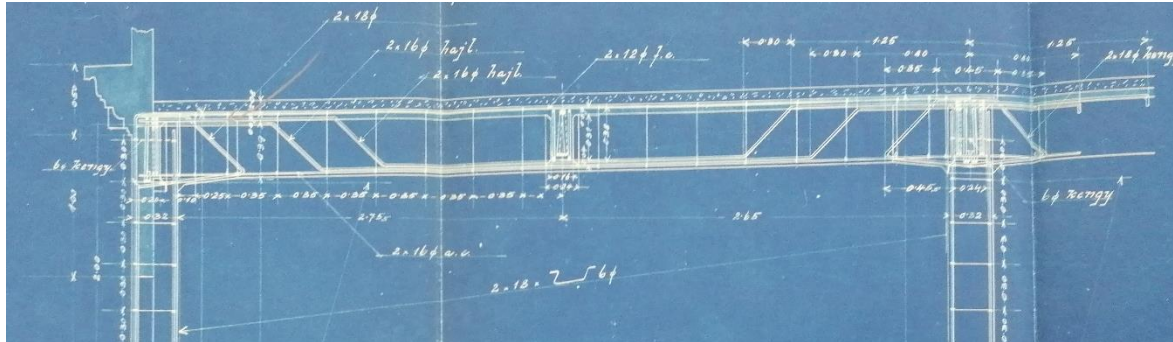
Nacrti armature za ostale stropne grede jednaki su kao za grede poz. 216, 217, 218 te zbog toga neće biti priloženi u ostatku rada. Površina armature jednaka je za grede poz. 200, 300 te 400.

Poprečna armatura

$$A_{sw} = 3,39 \text{ cm}^2/\text{m}' (\phi 6/35 \text{ cm} - \text{u polju})$$

$$A_{sw} = 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}' (\phi 6/10; 25 \text{ cm} - \text{na ležaju})$$

Krov - POZ.516 - Presjeci 5b - 5b i 5a - 5a (polje i oslonac krovne grede)



Slika 29: Prikaz armature grede poz. 516 [7]

Presjek 5b - 5b (polje)	Presjek 5a - 5a (oslonac)
<p>Presjek u polju</p>	<p>Presjek na osloncu</p>
<p>$A_{s1} = 3 \cdot (2\phi 16) = 12,06 \text{ cm}^2$</p> <p>$A_{s2} = 2\phi 12 = 2,26 \text{ cm}^2$</p>	<p>$A_{s1} = 2 \cdot (2\phi 16) + 2\phi 18 + 2\phi 12 = 15,39 \text{ cm}^2$</p> <p>$A_{s2} = 2\phi 16 = 4,02 \text{ cm}^2$</p>

Poprečna armatura

$$A_{sw} = 14\phi 6 = 3,96 \text{ cm}^2/\text{m}' (\phi 6/35 \text{ cm} - \text{u polju})$$

$$A_{sw} = 4\phi 6 = 1,13 \text{ cm}^2/\text{m}' (\phi 6/10;25 \text{ cm} - \text{na ležaju})$$

Provjera nosivosti greda za GSN (stalna proračunska kombinacija)

Stalna proračunska kombinacija za granično stanje nosivosti

$$1,35 \cdot (g + \Delta g) + 1,50 \cdot q$$

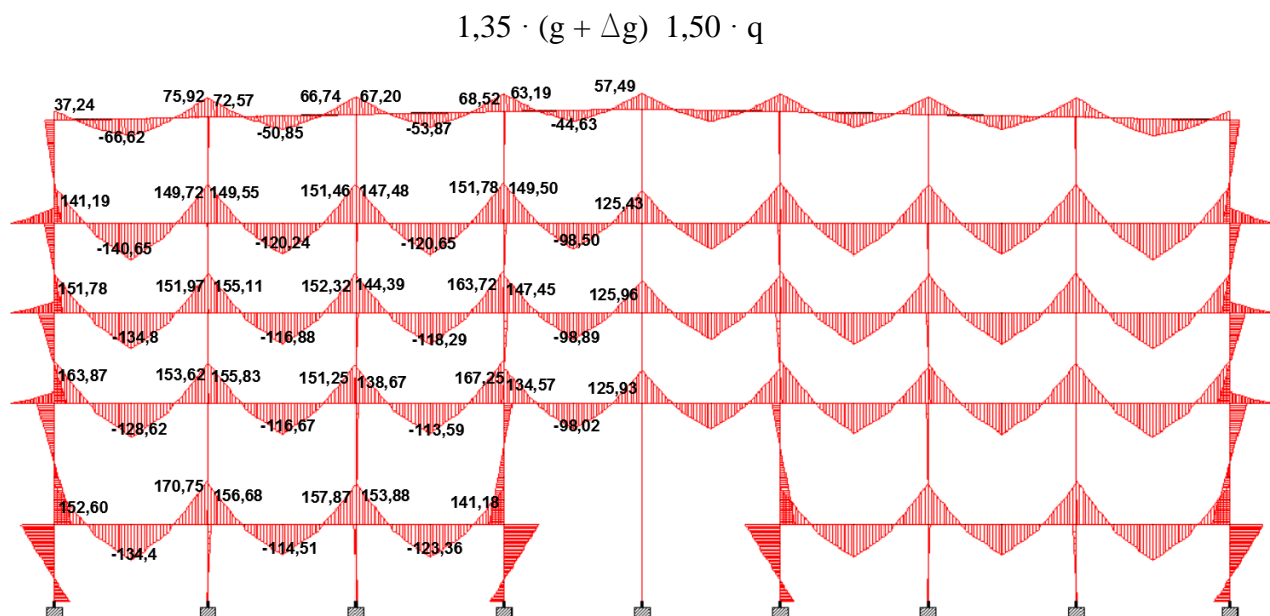
U kombinaciji bi se trebalo uključiti i djelovanje vjetra na okvir, ali to ne bi znatno utjecalo na rezultate zbog toga što bi njega preuzeli zidovi, pa se za analizu okvira djelovanje vjetra može zanemariti.

$$f_{cd} = 1,067 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yd} = 20,87 \text{ kN/cm}^2$$

Rezultati

GREDE - dijagram momenata



Slika 30: Dijagram momenata savijanja u gredama za stalnu proračunsku kombinaciju [kNm]

Nosivost greda na savijanja

Statička visina $d = 65 \text{ cm}$

POZ.100

	G116			G117			G118		
	ležaj-L	polje	ležaj-D	ležaj-L	polje	ležaj-D	ležaj-L	polje	ležaj-D
As(cm ²)	29,41	28,72	29,41	27,96	25,72	27,96	27,96	25,72	27,96
b (cm)	32	32	32	32	32	32	32	32	32
ω	0,27656	0,2701	0,2766	0,2629	0,242	0,263	0,263	0,242	0,263
M_{Rd}	340,713	332,72	340,71	326,57	304,6	326,6	326,6	304,6	326,6

POZ.200 = POZ.300 = POZ.400

	G216			G217			G218		
	ležaj-L	polje	ležaj-D	ležaj-L	polje	ležaj-D	ležaj-L	polje	ležaj-D
As(cm ²)	15,83	13,57	15,83	20,36	13,57	20,36	45,35	24,96	45,35
b (cm)	32	32	32	32	32	32	32	32	32
ω	0,14886	0,1276	0,1489	0,1915	0,128	0,191	0,426	0,235	0,426
M_{Rd}	198,20	171,93	198,21	248,57	171,90	248,6	503,2	304,7	503,2

Statička visina d = 41 cm

POZ.500

	G516			G517			G518		
	ležaj-L	polje	ležaj-D	ležaj-L	polje	ležaj-D	ležaj-L	polje	ležaj-D
As(cm ²)	12,06	15,39	12,06	12,06	15,39	12,06	12,06	15,39	12,06
b (cm)	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ω	0,23972	0,3059	0,2397	0,2397	0,306	0,24	0,24	0,306	0,24
M_{Rd}	90,08	110,35	90,08	90,08	110,4	90,09	90,09	110,40	90,09

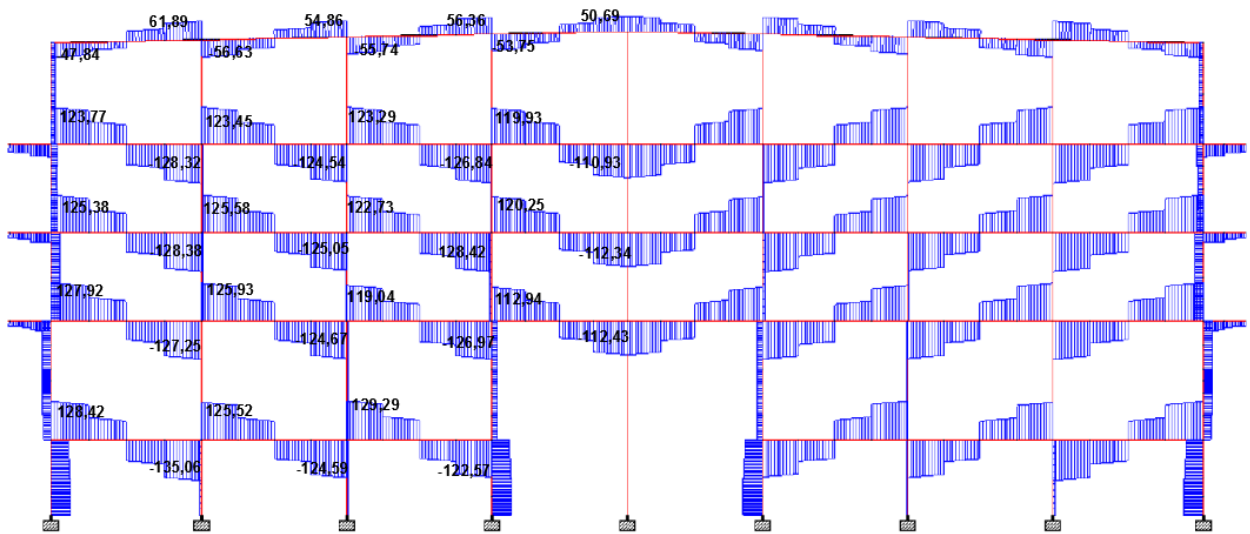
Omjer momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd}

	0,41	0,84	0,81	0,74	0,75	0,76	0,70	0,64
	0,61		0,46		0,49		0,41	
	0,71	0,87	0,60	0,61	0,59	0,61	0,30	0,25
	0,82		0,70		0,70		0,32	
	0,76	0,77	0,62	0,61	0,58	0,66	0,30	0,25
	0,78		0,68		0,69		0,33	
	0,83	0,77	0,63	0,61	0,56	0,67	0,28	0,25
	0,75		0,67		0,66		0,32	
	0,44	0,50	0,48	0,48	0,47	0,43		
	0,40		0,38		0,40			

Slika 31: Omjer momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} u gredama za stalnu proračunsku kombinaciju

Sve vrijednosti su manje od 1 što znači da je provjera nosivosti u svim čvorovima zadovoljena.

Nosivost greda na poprečne sile



Slika 32:Slika 24:Dijagram poprečnih sila u gredama za stalnu proračunsku kombinaciju [kN]

Provjera nosivosti tlačnih štapova

Poprečne sile u gredama okvira ne preuzimaju sponne kakve se danas izbode u konstrukcijama zbog toga što njih nema, nego kose uzdužne šipke koje prolaze duž cijele grede.

Greda 116

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{ctg\theta + ctg\alpha}{1 + ctg^2\theta}$$

$V_{Rd,max}$ - najveća proračunska poprečna sila koja se može preuzeti bez otkazivanja tlačnih štapova

α_{cw} - koeficijent kojim se uzima u obzir stanje naprezanja - $\alpha_{cw} = 1,0$

v_1 - faktor smanjenja čvrstoće za beton raspuknut na mjestu djelovanjem poprečne sile

$$v_1 = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{16}{250}\right) = 0,562$$

$z = 0,9 \cdot d$

f_{cd} - proračunska tlačna čvrstoća betona

θ - kut nagiba tlačnih štapova ($\theta = 21,8^\circ$)

α - kut nagiba kosih šipki (dobije se iz geometrije kosih šipki)

$$tg\alpha = \frac{60 \text{ cm}}{55 \text{ cm}} \rightarrow \alpha = 47,5^\circ \cong 45^\circ$$

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 32 \cdot (0,9 \cdot 65) \cdot 0,562 \cdot 1,067 \cdot \frac{ctg21,8 + ctg45}{1 + ctg^2 21,8} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$135,06 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke ø24; s = 55 cm

$$V_{Rds} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (ctg\theta + ctg\alpha) \cdot \sin\alpha$$

A_{sw} - površina dvije kose šipke ø24

s - uzdužni razmak kosih šipki

$$V_{Rds} = \frac{4,52 \cdot 2}{55} \cdot (0,9 \cdot 65) \cdot 20,87 \cdot (ctg21,8 + ctg45) \cdot \sin45 = 496,66 \text{ kN}$$

$$135,06 < 496,66$$

Greda 117

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$125,52 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke ø22; s = 55 cm

$$V_{Rds} = \frac{3,80 \cdot 2}{55} \cdot (0,9 \cdot 28,8) \cdot 20,87 \cdot (ctg21,8 + ctg25) \cdot \sin25 = 496,66 \text{ kN}$$

$$125,52 < 496,66$$

Greda 118

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$129,29 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 24$; $s = 55$ cm

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$129,29 < 496,66$$

Greda 216

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$127,92 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 24$; $s = 55$ cm

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$127,92 < 496,66$$

Greda 217

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$126,97 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 24$; $s = 55$ cm

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$126,97 < 496,66$$

Greda 218

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$112,94 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 22$; $s = 55$ cm

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$112,94 < 496,66$$

Greda 316

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$128,38 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 24$; $s = 55 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$128,38 < 496,66$$

Greda 317

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$128,42 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 24$; $s = 55 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$128,2 < 496,66$$

Greda 318

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$120,25 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 22$; $s = 55 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$120,25 < 496,66$$

Greda 416

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$128,32 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 24$; $s = 55 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$128,32 < 496,66$$

Greda 417

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$126,84 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 24$; $s = 55 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$126,84 < 496,66$$

Greda 418

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = 541,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$119,93 < 541,88$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 22$; $s = 55 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = 496,66 \text{ kN}$$

$$119,93 < 496,66$$

Greda 516

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{ctg\theta + ctg\alpha}{1 + ctg^2\theta}$$

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 24 \cdot (0,9 \cdot 41) \cdot 0,562 \cdot 1,067 \cdot \frac{ctg21,8 + ctg45}{1 + ctg^221,8} = \mathbf{256,35 \text{ kN}}$$

$$V_{Rd,max} = \mathbf{256,35 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$\mathbf{56,63 < 256,35}$$

Poprečna sila koju nose kose šipke $\varnothing 16$; $s = 55 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot (ctg\theta + ctg\alpha) \cdot \sin\alpha$$

A_{sw} - površina dvije kose šipke $\varnothing 24$

s - uzdužni razmak kosih šipki

$$V_{Rds} = \frac{2,01 \cdot 2}{55} \cdot (0,9 \cdot 41) \cdot 20,87 \cdot (ctg21,8 + ctg45) \cdot \sin45 = \mathbf{139,31 \text{ kN}}$$

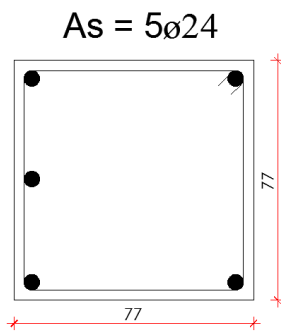
$$\mathbf{56,63 < 139,31}$$

5.1.2 Stupovi



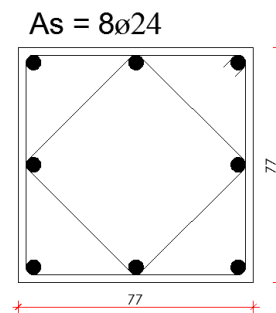
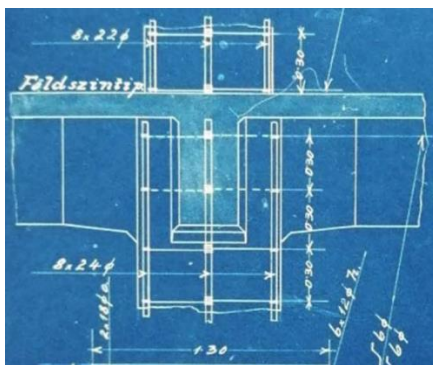
Slika 33: Prikaz pozicija stupova na okviru

Stup poz. S101 i S102



$$A_s = 5\phi 24 = 22,62 \text{ cm}^2$$

Slika 34: Presjek stupa S101



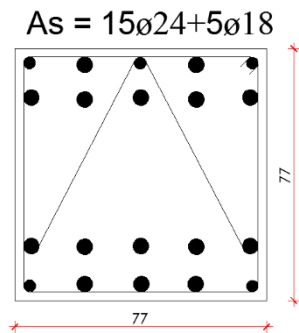
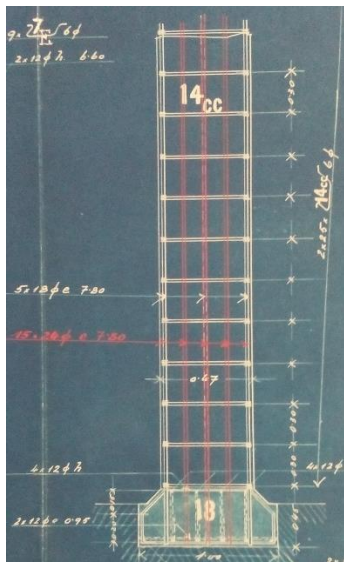
Slika 35: Presjek stupa S102

Slika 36: Prikaz armature u stupu S102 [7]

$$A_s = 8\phi 24 = 36,19 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw} = 2 \cdot 10\phi 6 = 5,66 \text{ cm}^2 \text{ (}\phi 6/30 \text{ cm)}$$

Stup poz. S105(srednji stup)



Slika 37: Presjek stupa poz.S103

Slika 38: Nacrt armature stupa poz.S105 [7]

$$A_s = 15\phi 24 + 5\phi 18 = 80,58 \text{ cm}^2$$

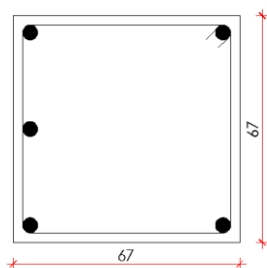
Stup poz. S201 i S202



Slika 39: Prikaz armature u stupu S201 [7]

$$A_s = 5\phi 22 = 19,01 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 5\phi 22$$



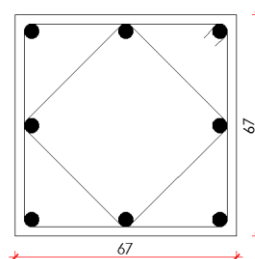
Slika 41: Presjek stupa S201



Slika 40: Prikaz armature u stupu S202 [7]

$$A_s = 8\phi 22 = 30,41 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 8\phi 22$$

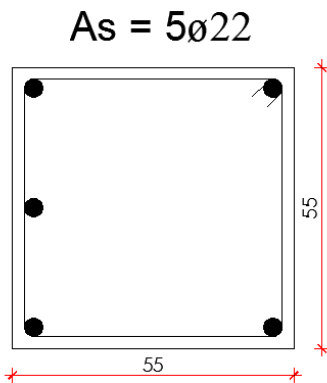


Slika 42: Presjek stupa S202

$$A_{sw} = 2 \cdot 10\emptyset6 = 5,66\text{cm}^2 \text{ (}\emptyset6/30 \text{ cm)}$$

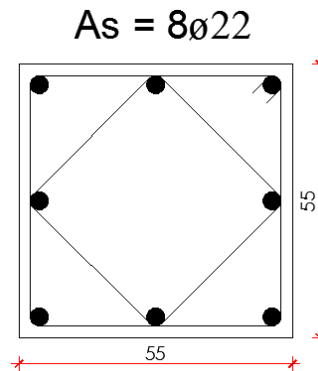
Stup poz. S301 i S302

Broj šipki i površina armature jednaki su kao za stupove poz. 201 i 202



Slika 43: Presjek stupa S301

$$A_s = 5\emptyset22 = 19,01 \text{ cm}^2$$

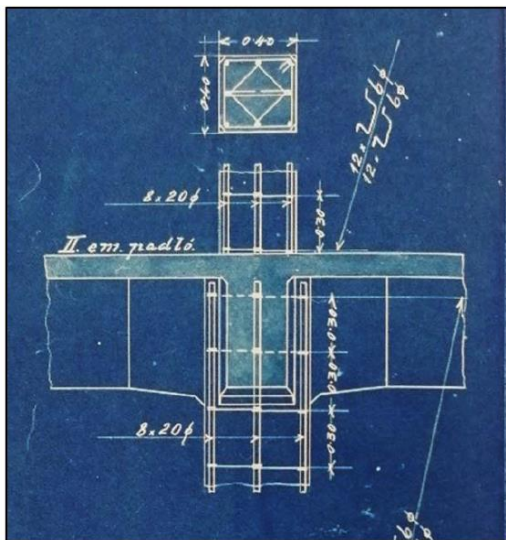


Slika 44: Presjek stupa S302

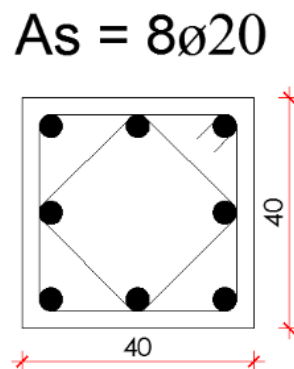
$$A_s = 8\emptyset22 = 30,41 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw} = 2 \cdot 10\emptyset6 = 5,66\text{cm}^2 \text{ (}\emptyset6/30 \text{ cm)}$$

Stupovi S401 i S402



Slika 46: Prikaz armature stupova i S402 [7]



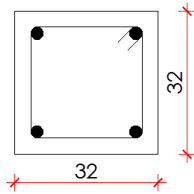
Slika 45: Presjek stupa S402

$$A_s = 8\emptyset20 = 25,13 \text{ cm}^2$$

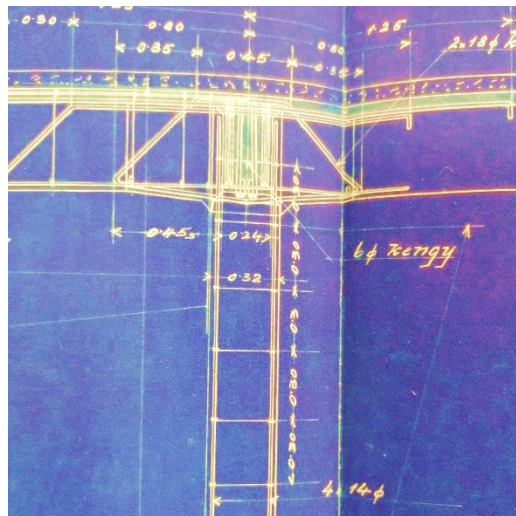
$$A_{sw} = 2 \cdot 10\emptyset6 = 5,66\text{cm}^2 \text{ (}\emptyset6/30 \text{ cm)}$$

Stupovi S501 i S502

$$A_s = 4\phi 14$$



Slika 47: Presjek stupa S501



Slika 48: Prikaz armature u stupu S502 [7]

$$A_s = 4\phi 14 = 6,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{sw} = 12\phi 6 = 3,39 \text{ cm}^2 / (\phi 6/30 \text{ cm})$$

6 PRORAČUN KONSTRUKCIJE ZA POTRESNU PRORAČUNSKU SITUACIJU

U ovom dijelu izvršen je proračun zgrade na potresno djelovanje prema normi HRN EN 1998 - 3 [6] u kojoj se navodi kako opisati kriterije vrednovanja potresnog ponašanja postojećih konstrukcija, opisati pristup pri odabiru popravnih mjera te uspostaviti kriterije proračuna pri obnovi.

Zahtjevi za ponašanje i kriterij usklađenosti

Temeljni zahtjevi odnose se na stanje oštećenja konstrukcije koje se definira sa 3 granična stanja:

- granično stanje blizu rušenja (BR)
- granično stanje znatnog oštećenja (ZO)
- granično stanje ograničenog oštećenja (OO)

Granično stanje znatnog oštećenja

U ovu kategoriju spadaju konstrukcije koje su znatno oštećene ali imaju izvjesnu preostalu nosivost i krutost. Vertikalni elementi mogu i dalje nositi vertikalna opterećenja, dok su nekonstrukcijski dijelovi oštećeni ali nisu ispali iz vlastite ravnine. Na konstrukciji postoje umjereni trajni pomaci, ali ona može izdržati naknadni udar umjerenog intenziteta.

Podaci za ocjenjivanje konstrukcija

Pri ocjenjivanju potresne otpornosti postojećih zgrada ulazni podaci moraju se prikupiti iz različitih izvora kao što su dokumentacije, opći izvori podataka (suvremeni propisi i norme) i iz terenskih ispitivanja. Sve te podatke treba međusobno usporediti kako bi se dobile što točnije informacije o zgradi. Podaci o konstrukciji moraju obuhvatiti:

- statički sustav konstrukcije
- vrstu temelja zgrade i vrstu temeljnog tla
- podatke o ukupnim dimenzijama i presjecima elemenata te svojstvima materijala
- podatke o kriterijima proračuna na potres (ukoliko oni postoje za postojeću zgradu)

- podatke o vrsti i posegu oštećenja konstrukcije

Razine znanja

U svrhu odabira dopuštene vrste proračuna i odgovarajućih vrijednosti faktora povjerenja definiraju se 3 razine znanja:

- RZ1 - ograničeno znanje
- RZ2 - uobičajeno znanje
- RZ3 - potpuno znanje

Faktori koji utječu na odabir odgovarajuće razine su geometrijski faktori (rasponi elemenata te dimenzije presjeka), količina i oblikovanje armature u betonu te mehanička svojstva materijala. Na temelju prethodnih faktora, u ovom radu koristi se razina znanja 1 - ograničeno znanje.

Tablica 9: Razine znanja i odgovarajuće metode proračuna [3]

Razina znanja	Geometrijski odnosi	Detalji	Materijali	Proračun	FP
RZ1	Iz izvornih nacрта uz uzorak vizualnog snimka <i>ili</i> prema cjelovitom snimku	Simulirani proračun u skladu s odgovarajućom praksom <i>i</i> prema ograničenom pregledu <i>in situ</i>	Uobičajene vrijednosti u skladu s normama iz vremena gradnje <i>i</i> iz ograničenih ispitivanja <i>in situ</i>	MBS – MMSO	FP _{RZ1}
RZ2		Iz nepotpunih izvornih izvedbenih nacрта uz ograničeni pregled <i>in situ</i> <i>ili</i> iz opsežnog pregleda <i>in situ</i>	Iz izvornih projektnih specifikacija uz ograničeno ispitivanje <i>in situ</i> <i>ili</i> iz opsežnih ispitivanja <i>in situ</i>	Sve metode	FP _{RZ2}
RZ3		Iz izvornih izvedbenih nacрта uz ograničeni pregled <i>in situ</i> <i>ili</i> iz sveobuhvatnog pregleda <i>in situ</i>	Iz izvornih ispitnih izvještaja uz ograničeno ispitivanje <i>in situ</i> <i>ili</i> iz sveobuhvatnih ispitivanja <i>in situ</i>	Sve metode	FP _{RZ3}

Faktori povjerenja za razinu znanja 1 iznose: **FPRZ1 = 1,35**

Razina znanja 1: Ograničeno znanje

Ukupni geometrijski podaci o konstrukciji i veličine elemenata poznati su temelju izvornih građevnih crteža koji su upotrebljeni pri gradnji i svim naknadnim prilagodbama. Konstrukcijski detalji iz izvedbenih nacрта nisu potpuni ali se mogu pretpostaviti na temelju simuliranog proračuna u skladu s uobičajenom praksom iz vremena gradnje. Na temelju prethodno opisanih podataka provode se provjere lokalne sposobnosti elemenata te se izrađuje model za linearni proračun konstrukcije.

Metode proračuna

Potresne sile koje se kombiniraju sa unutarnjim silama drugih stalnih i promjenjivih opterećenja u skladu s kombinacijom za potresno djelovanje smiju se odrediti primjenom jedne od slijedećih metoda:

- proračun bočnim silama
- **modalnim proračunom primjenom spektra odziva (linearni)**
- nelinearnim statičkim proračunom
- nelinearnim dinamičkim proračunom primjenom vremenskog zapisa
- pristupom s faktorom q

Uvjet za primjenu metode modalnim proračunom spektra odziva

$$\frac{\rho_{max}}{\rho_{min}} \leq 2,5$$

Uvjet vrijedi samo za one vrijednosti ρ_i koje su veće od 1 (pojava plastičnih zglobova).

Ukoliko vrijednost ρ_i ispadne manja od 1 ona se ne uzima u obzir.

gdje je

ρ_{max} - najveći omjer zahtjeva i sposobnosti u nekom čvoru okvira

ρ_{min} - najmanj omjer zahtjeva i sposobnosti u nekom čvoru okvira

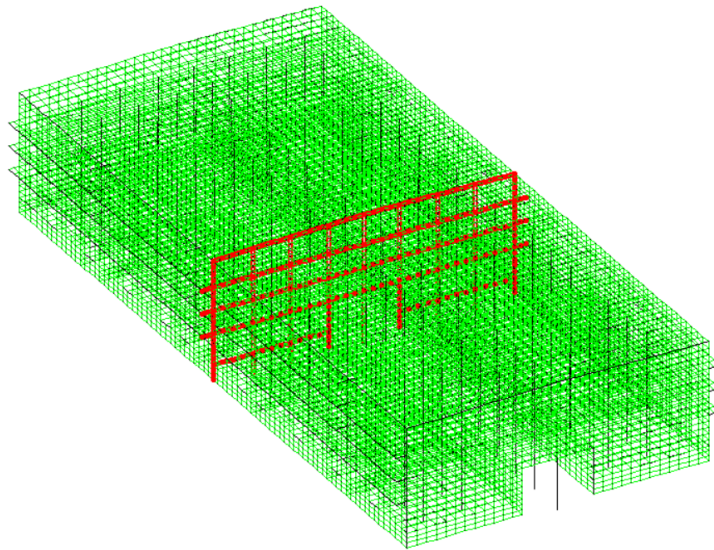
Vrijednosti ρ_{max} i ρ_{min} dobivene su tako da se u pojedinom čvoru podijeli moment savijanja

M_{Ed} i moment nosivosti M_{Rd} :

$$\rho_i = \frac{D_i}{C_i} = \frac{\text{zahtjev } (M_{Ed})}{\text{sposobnost } (M_{Rd})}$$

D_i - zahtjev (en. demand) dobiva se iz proračuna za potresnu kombinaciju opterećenja

C_i - odgovarajuća sposobnost (en. capacity) za i-ti duktilni primarni element konstrukcije



Slika 49: Prikaz analiziranog okvira u konstrukciji

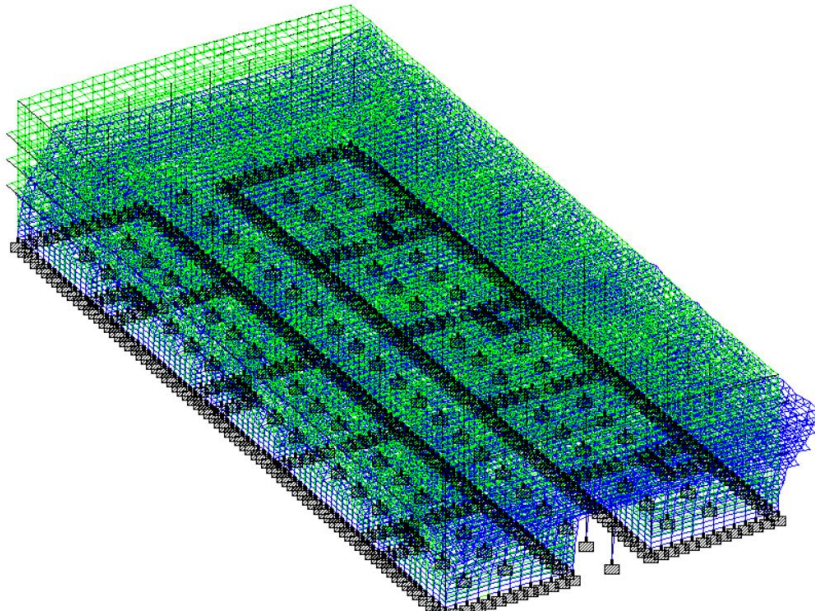
Potresno djelovanje promatrano je u 2 međusobno okomita smjera - potres x i potres z. Mjerodavni okvir nalazi se duž x smjera pa su najveće vrijednosti momenata i pomaka dobivene za potresnu kombinaciju u kojoj je prevladavajuće opterećenje u smjeru x. Potresna kombinacija glasi:

$$\sum G_{k,j} + A_{Ed} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

gdje je:

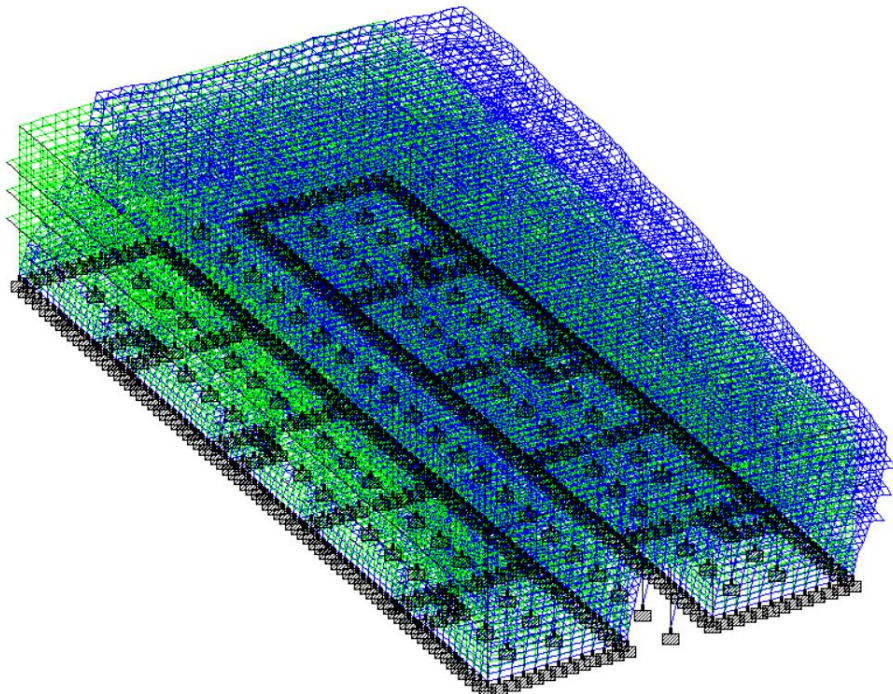
- $\sum G_{k,j}$ - karakteristična vrijednost stalnog djelovanja
- A_{Ed} - proračunska vrijednost potresnog djelovanja
- $\psi_{2,i}$ - koeficijent ovisan o razredu važnosti zgrade; $\psi_{2,i} = 0,6$ (zgrade javne namjene)
- $Q_{k,i}$ - karakteristična vrijednost promjenjivog djelovanja

1. vlastiti oblik konstrukcije ($T_1 = 0,28$ s)



Slika 50:1. vlastiti oblik konstrukcije

2. vlastiti oblik konstrukcije ($T_2 = 0,26$ s)



Slika 51:2. vlastiti oblik konstrukcije

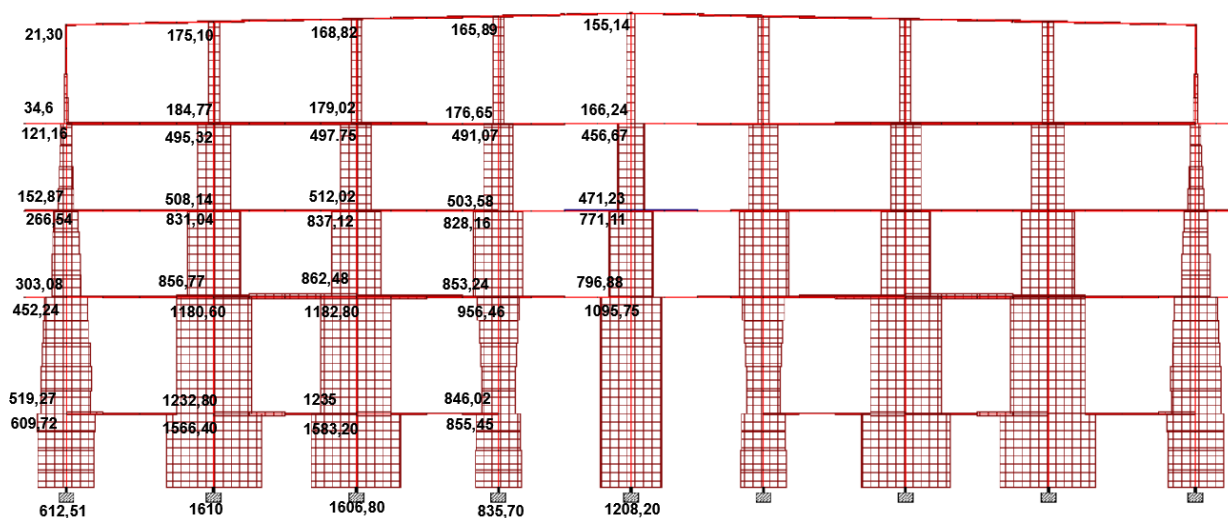
7 REZULTATI PRORAČUNA KONSTRUKCIJE ZA OKVIR U OSI K

7.1 Presječne sile u stupovima

Uzdužna sila u stupovima (kombinacija bez potresa)

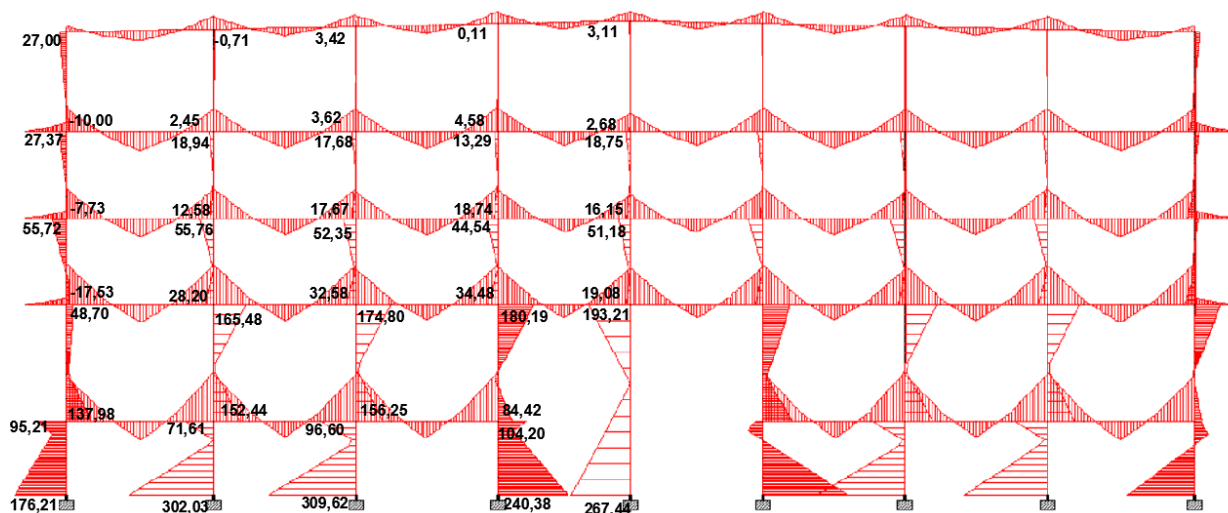
Prema HRN EN 1998 - 3 smije se kod određivanja sposobnosti (en. capacity) tj. momenata nosivosti vertikalnih elemenata uzdužna sila jednaka onima od samo vertikalnih opterećenja.

$$\sum G + A + \sum \psi_{2,I} \cdot Q_{k,i} \rightarrow \sum G + \sum \psi_{2,I} \cdot Q_{k,i}$$



Slika 52: Dijagram uzdužnih sila u stupovima [kN]

Momenti savijanja u stupovima (za potresnu kombinaciju)



Slika 53: Dijagram momenata savijanja u stupovima [kNm]

7.2 Nosivost stupova

Nosivosti stupova dobivene su pomoću dijagrama interakcije. Na temelju uzdužne sile i površine armature u stupovima određene su vrijednosti ν i ω te iz dijagrama očitana vrijednost μ .

Nosivost presjek kod stupova (moment nosivosti M_{Rd}) dobiva se preko slijedećih formula:

$$\nu_{Rd} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$A_{s1} = \omega \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h \rightarrow \omega = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Iz dijagrama interakcije odredi se vrijednost μ_{Rd} te se obrnutim postupkom odredi moment nosivosti stupa po formuli:

$$\mu_{Rd} = \frac{M_{Rd}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \rightarrow M_{Rd} = \mu_{Rd} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd}$$

Tablica 10: Momenti nosivosti stupova na dnu stupova

POZICIJA	b (cm)	h (cm)	As (cm²)	N_{Ed} (kN)	ω	ν	μ	M_{Rd} (kNm)
STUP 101	77	77	13,57	-612,51	0,03	-0,04	0,04	438,27
STUP 102	77	77	13,57	-1610	0,03	-0,11	0,07	766,98
STUP 103	77	77	13,57	-1606,8	0,03	-0,11	0,07	766,98
STUP 104	77	77	13,57	-835,7	0,03	-0,06	0,06	657,41
STUP 105	77	77	32,23	-1208,2	0,06	-0,08	0,08	876,54
STUP 201	67	67	11,4	-519,27	0,03	-0,05	0,055	397,01
STUP 202	67	67	11,4	-1232,8	0,03	-0,11	0,07	505,28
STUP 203	67	67	11,4	-1235	0,03	-0,11	0,07	505,28
STUP 204	67	67	11,4	-846,02	0,03	-0,08	0,055	397,01
STUP 301	55	55	11,4	-303,08	0,04	-0,04	0,055	219,62
STUP 302	55	55	11,4	-856,77	0,04	-0,12	0,08	319,44
STUP 303	55	55	11,4	-862,48	0,04	-0,12	0,08	319,44
STUP 304	55	55	11,4	-853,24	0,04	-0,12	0,08	319,44
STUP 401	40	40	9,42	-152,87	0,06	-0,04	0,045	69,12
STUP 402	40	40	9,42	-508,14	0,06	-0,13	0,105	161,28
STUP 403	40	40	9,42	-512,02	0,06	-0,13	0,105	161,28
STUP 404	40	40	9,42	-503,58	0,06	-0,13	0,105	161,28
STUP 501	32	32	3,08	-34,6	0,03	-0,01	0,04	31,46
STUP 502	32	32	3,08	-184,77	0,03	-0,08	0,055	43,25
STUP 503	32	32	3,08	-179,02	0,03	-0,07	0,06	47,19
STUP 504	32	32	3,08	-176,65	0,03	-0,07	0,06	47,19

Tablica 11: Momenti nosivosti za vrhu stupova stupova

POZICIJA	b (cm)	h (cm)	As (cm ²)	N _{Ed} (kN)	ω	ν	μ	M _{Rd} (kNm)
STUP 101	77	77	13,57	-609,72	0,03	-0,04	0,04	438,27
STUP 102	77	77	13,57	-1566,4	0,03	-0,11	0,07	766,98
STUP 103	77	77	13,57	-1583,2	0,03	-0,11	0,07	766,98
STUP 104	77	77	13,57	-855,45	0,03	-0,06	0,06	657,41
STUP 105	77	77	32,23	-	0,06	-0,08	0,08	876,54
STUP 201	67	67	11,4	-452,24	0,03	-0,04	0,04	288,73
STUP 202	67	67	11,4	-1180,6	0,03	-0,11	0,07	505,28
STUP 203	67	67	11,4	-1182,8	0,03	-0,11	0,07	505,28
STUP 204	67	67	11,4	-956,46	0,03	-0,09	0,06	433,10
STUP 301	55	55	11,4	-266,54	0,04	-0,04	0,055	219,62
STUP 302	55	55	11,4	-831,04	0,04	-0,11	0,085	339,41
STUP 303	55	55	11,4	-837,12	0,04	-0,12	0,08	319,44
STUP 304	55	55	11,4	-828,16	0,04	-0,11	0,085	339,41
STUP 401	40	40	9,42	-121,16	0,06	-0,03	0,06	92,16
STUP 402	40	40	9,42	-495,32	0,06	-0,13	0,105	161,28
STUP 403	40	40	9,42	-497,75	0,06	-0,13	0,105	161,28
STUP 404	40	40	9,42	-491,07	0,06	-0,13	0,105	161,28
STUP 501	32	32	3,08	-21,3	0,03	-0,01	0,04	31,46
STUP 502	32	32	3,08	-175,1	0,03	-0,07	0,06	47,19
STUP 503	32	32	3,08	-188,02	0,03	-0,08	0,055	43,25
STUP 504	32	32	3,08	-165,89	0,03	-0,07	0,06	47,19

Omjer M_{Ed}/M_{Rd} za stupove

0,84	0,03	0,08	0,09	0,10
0,42	0,07	0,09	0,13	0,11
0,33	0,13	0,12	0,10	0,11
0,14	0,08	0,11	0,12	0,10
0,26	0,17	0,18	0,13	0,14
0,10	0,09	0,10	0,11	0,09
0,18	0,35	0,35	0,42	0,23
0,35	0,30	0,31	0,21	
0,22	0,10	0,13	0,18	
0,40	0,39	0,40	0,37	0,31

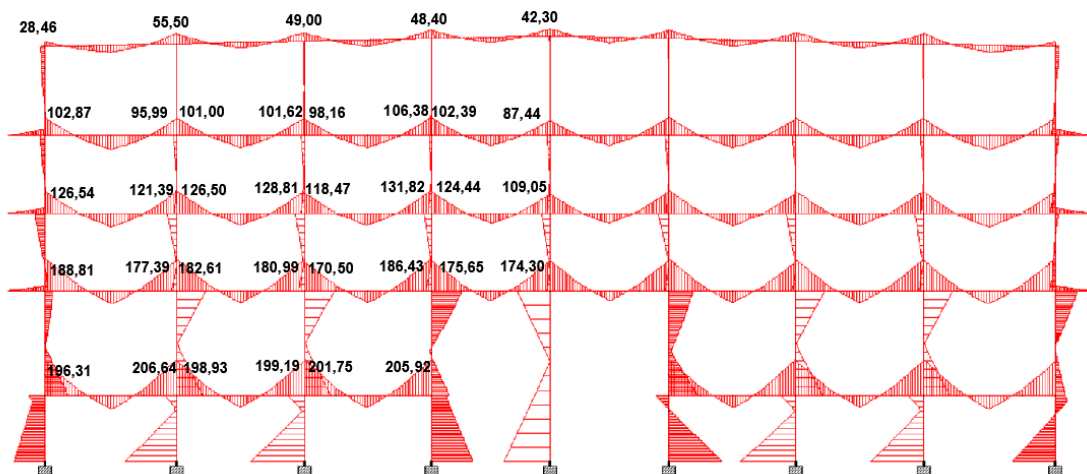
Slika 54: Omjer momenata savijanja i nosivosti u stupovima

Nakon dobivenih momenata nosivosti u stupovima može se zaključiti da nigdje u čvorovima stupova neće doći do pojave plastičnog zgloba. Pretpostavka je da su poprečni zidovi sa svojom velikom duljinom, iako imaju otvore, dovoljno kruti da na promatranom okviru ne dođe do otvaranja plastičnih zglobova.

7.3 Presječne sile u gredama

Momenti savijanja u gredama (za potresnu kombinaciju)

Na slici 59 prikazana je anvelopa momenata savijanja, a na slici 60 su omjeri momenata savijanja i momenata nosivosti u gredama.



Slika 55: Dijagram momenata savijanja u gredama [kNm]

7.4 Nosivost greda

Nosivost greda računa se na mjestima oslonaca. Širina greda na mjestima oslonaca iznosi 40 cm jer se tamo nalaze vute, ali se u proračunu nosivosti greda za mjerodavnu širinu uzima vrijednost $b = 32$ cm (na strani sigurnosti).

Kod priračuna nosivosti greda koristi se srednja vrijednost tlačne čvrstoće betona f_c koja je dobivena na slijedeći način:

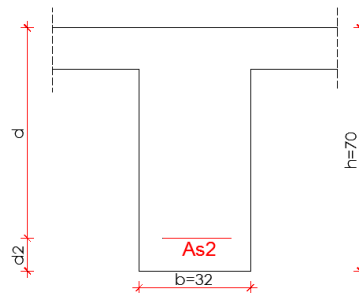
$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 16 + 8 = 24 \text{ MPa} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

Također, granica popuštanja čelika uzima se kao vrijednost f_{yd} pomnožena sa koeficijentom 1,1 pa se dobije:

$$f_{yd} = 240 \cdot 1,1 = 264 \text{ MPa} = 26,4 \text{ kN/cm}^2$$

Greda poz.116 - LIJEVO

$$A_{s2} = 19,67 \text{ cm}^2$$



Slika 56: Shema armature grede poz.116 na osloncu- lijevo

Statička visina grede:

$$d_2 = c_{nom} + \frac{\varnothing}{2} = 3 + \frac{2,6}{2} = 4,3 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_2 = 70 - 5 = 65 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja ω iznosi:

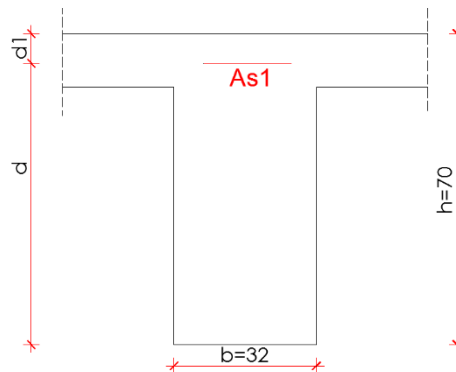
$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{19,67 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,104$$

Iz tablice - ζ - 0,946

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 19,67 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,946 = \mathbf{319,31 \text{ kNm}}$$

Greda poz.116 - DESNO

$$A_{s1} = 29,41 \text{ cm}^2$$



Slika 57: Shema armature grede poz.116 na osloncu-desno

Statička visina grede:

$$d_1 = c_{nom} + \frac{\varnothing}{2} = 3 + \frac{2,6}{2} = 4,3 \text{ cm} \approx 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 70 - 5 = 65 \text{ cm}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{29,41 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,156$$

Iz tablice - ζ - 0,919

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 29,41 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,919 = \mathbf{463,80 \text{ kNm}}$$

Greda poz.117 - LIJEVO

$$A_{s2} = 18,10 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{18,10 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,096$$

Iz tablice - ζ - 0,950

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 18,10 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,950 = \mathbf{295,07 \text{ kNm}}$$

Greda poz.117 - DESNO

$$A_{s1} = 27,96 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{27,96 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,148$$

Iz tablice - ζ - 0,923

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 27,96 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,923 = \mathbf{442,85 \text{ kNm}}$$

Greda poz.216- LIJEVO

$$A_{s2} = 9,05 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{9,05 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,028$$

Iz tablice - ζ - 0,985

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 9,05 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,985 = \mathbf{211,28 \text{ kNm}}$$

Greda poz.216- DESNO

$$A_{s2} = 15,83 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{15,83 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,084$$

Iz tablice - ζ - 0,957

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 15,83 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,957 = \mathbf{259,96 \text{ kNm}}$$

Greda poz.217 - LIJEVO

$$A_{s2} = 18,10 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{18,10 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,096$$

Iz tablice - ζ - 0,950

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 18,10 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,950 = \mathbf{295,07 \text{ kNm}}$$

Greda poz.217 - DESNO

$$A_{s1} = 20,36 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{20,36 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,108$$

Iz tablice - ζ - 0,944

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 20,36 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,944 = \mathbf{329,81 \text{ kNm}}$$

Greda poz.218 - LIJEVO

$$A_{s2} = 18,10 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{18,10 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,096$$

Iz tablice - ζ - 0,950

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 18,10 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,950 = \mathbf{295,07 \text{ kNm}}$$

Greda poz.218 - DESNO

$$A_{s1} = 42,35 \text{ cm}^2$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{42,35 \cdot 26,40}{32 \cdot 65 \cdot 2,40} = 0,224$$

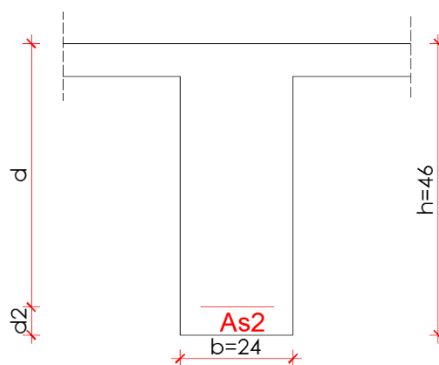
Iz tablice - ζ - 0,884

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 42,35 \cdot 26,4 \cdot 65 \cdot 0,884 = \mathbf{642,43 \text{ kNm}}$$

Za grede poz. 300 i 400 momenti nosivosti jednaki su kao za grede poz.200 zbog jednakih površina armature u gornjoj i donjoj zoni grede.

Greda poz.516 - LIJEVO

$$A_{s2} = 4,05 \text{ cm}^2$$



Slika 58: Shema armature u gredi poz.516 na osloncu- lijevo

Statička visina grede:

$$d_2 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_2 = 46 - 5 = 41 \text{ cm}$$

Mehanički koeficijent armiranja ω iznosi:

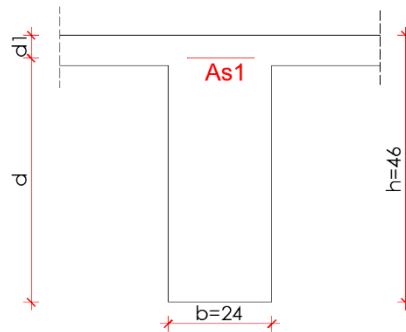
$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{4,02 \cdot 26,40}{24 \cdot 41 \cdot 2,40} = 0,045$$

Iz tablice - ζ - 0,976

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 4,02 \cdot 26,4 \cdot 41 \cdot 0,976 = \mathbf{42,47 \text{ kNm}}$$

Greda poz.516 - DESNO

$$A_{s1} = 15,39 \text{ cm}^2$$



Slika 59: Shema armature u gredi poz.516 na osloncu-lijevo

Statička visina grede:

$$d_1 = 5 \text{ cm}$$

$$d = h - d_1 = 46 - 5 = 41 \text{ cm}$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot d \cdot f_c} = \frac{15,39 \cdot 26,40}{24 \cdot 41 \cdot 2,40} = 0,172$$

Iz tablice - ζ - 0,912

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot d \cdot \zeta = 15,39 \cdot 26,4 \cdot 41 \cdot 0,912 = \mathbf{151,92 \text{ kNm}}$$

Omjer M_{Ed}/M_{Rd} za grede

0,67	0,36	0,32	0,32	0,32	0,28	0,28	0,27
0,49	0,37	0,34	0,31	0,34	0,17	0,35	0,14
0,60	0,47	0,43	0,39	0,40	0,20	0,42	0,18
0,80	0,60	0,62	0,55	0,58	0,30	0,59	0,27
0,61	0,45	0,67	0,45	0,68	0,47		

Slika 60: Omjer momenata savijanja i nosivosti u gredama

8 PROVJERE SIGURNOSTI U POTRESNOJ SITUACIJI

Omjer momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} u gredama su puno manji od 1 pa je iz tog razloga sposobnost zaokretanja tetiva provedena samo za stupove.

8.1 Provjera sposobnosti deformiranja stupova

Ukupna sposobnost zaokretanja tetive θ_{um}

$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \cdot 0,016 \cdot (0,3^v) \cdot \left[\frac{\max(0,01; \omega')}{\max(0,01; \omega)} \right]^{0,225} \cdot \min\left(9; \left(\frac{L_v}{h}\right)^{0,35}\right) \cdot 25^{\left(\alpha \rho_{sx} \frac{f_{yx}}{f_c}\right)} \cdot (1,25^{100 \rho_d})$$

gdje je

h - visina presjeka

L_v = omjer M/V (moment savijanja/poprečna sila na kraju presjeka)

$v = \frac{N}{b \cdot h \cdot f_c}$ (b - širina tlačnog područja, N - uzdužna sila pozitivna za tlak)

ω, ω' - mehanički omjer armiranja vlačnom i tlačnom uzdužnom armaturom

f_c i f_{yw} - tlačna čvrstoća betona i granica popuštanja čelika dobivene kao srednja vrijednost ispitivanja *in situ* i iz dodatnih izvora podataka, na prikladan način podijeljena s faktorima povjerenja

$\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w \cdot s_h}$ - omjer poprečne armature paralelne sa smjerom x opterećenja (s_h - razmak spona)

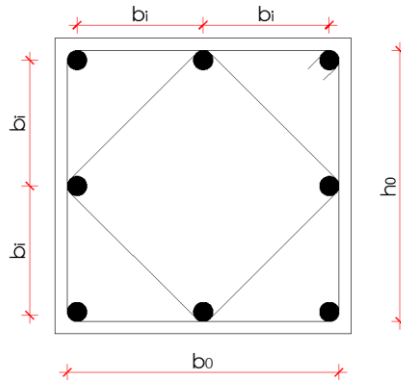
α - faktor učinkovitosti ovijanja koji se uzima kao

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_h}{2h_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right)$$

gdje je

b_0 i h_0 - dimenzije ovijene jezgre mjerene do osi spona

b_i - osni razmak uzdužnih šipki (s indeksom i) bočno prihvaćenih sponama ili poprečnim sponama po opsegu presjeka



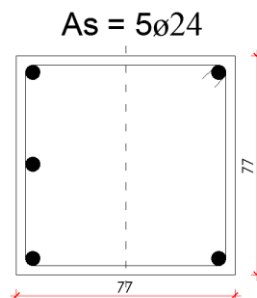
Slika 61: Shema za određivanje vrijednosti b_0 , h_0 , b_i

Za granično stanje znatnog oštećenja (ZO) sposobnost zaokretanja vlakna smije se pretpostaviti kao $\frac{3}{4}$ najvećeg zaokretanja vlakna θ_{um} .

U elementima koji nemaju razradu detalja napravljenu za potresnu otpornost θ_{um} treba podijeliti još sa 1,2.

STUP S101

$N_{Ed} = -612,50 \text{ Kn}$ (tlak)



$A_s = 2\text{ø}24$

$$v = \frac{N}{b \cdot h \cdot f_c} = \frac{612,50}{77 \cdot 77 \cdot 1,78} = 0,06$$

$$L_v = \frac{M}{V} = \frac{176,21}{40,25} = 4,39 \text{ m}$$

$$\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w \cdot s_h} = \frac{2 \cdot 0,28}{77 \cdot 30} = 2,42 \cdot 10^{-4}$$

$\rho_d = 0 \rightarrow$ u stupu nema dijagonalne armature

$$\omega' = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{13,57 \cdot 26,4}{77 \cdot 77 \cdot 2,4} = 0,03$$

$$\omega = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{9,05 \cdot 26,4}{77 \cdot 77 \cdot 2,4} = 0,02$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_h}{2h_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right)$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 73,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 73,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot 71,20^2 + 35,60^2}{6 \cdot 73,6 \cdot 73,6}\right) = 0,074$$

$$\theta_{um} = \frac{1}{1,5} \cdot 0,016 \cdot (0,3^{0,06}) \cdot \left[\frac{(0,03)}{(0,02)}\right]^{0,225} \cdot (5,69^{0,35}) \cdot 25^{(0,074 \cdot 2,42 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{19,56}{1,78})} \cdot 1$$

$$\theta_{um} = 0,0227$$

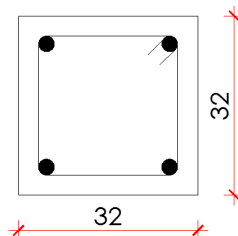
Za granično stanje znatnog oštećenja vrijednost θ_{um} se množi sa 0,75 i podijeli sa 1,2:

$$\theta_{um} = 0,75 \cdot \frac{0,0227}{1,20} = 0,0141$$

STUP 501

$N_{Ed} = -21,30$ kN (tlak)

$A_s = 4\phi 14$



$A_s = 2\phi 14$

$$v = \frac{N}{b \cdot h \cdot f_c} = \frac{21,30}{32 \cdot 32 \cdot 1,78} = 0,012$$

$$L_v = \frac{M}{V} = \frac{27,00}{4,03} = 6,70 \text{ m}$$

$$\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w \cdot s_h} = \frac{2 \cdot 0,28}{32 \cdot 30} = 5,83 \cdot 10^{-4}$$

$\rho_d = 0 \rightarrow$ u stupu nema dijagonalne armature

Zbog jednakog rasporeda šipki u stupu, koeficijent armiranja vlačne i tlačne armature je isti.

$$\omega = \omega' = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{3,08 \cdot 26,4}{32 \cdot 32 \cdot 2,4} = 0,033$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_h}{2h_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right)$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 28,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 28,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot 28^2}{6 \cdot 28,6 \cdot 28,6}\right) = 0,082$$

$$\theta_{um} = \frac{1}{1,5} \cdot 0,016 \cdot (0,3^{0,012}) \cdot \left[\frac{(0,033)}{(0,033)}\right]^{0,225} \cdot (9^{0,35}) \cdot 25^{(0,082 \cdot 5,83 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{19,56}{1,78})} \cdot 1$$

$$\theta_{um} = 0,0260$$

Za granično stanje znatnog oštećenja vrijednost θ_{um} se množi sa 0,75 i podijeli sa 1,2:

$$\theta_{um} = 0,75 \cdot \frac{0,0260}{1,20} = 0,0163$$

Pomaci pojedinih katova dobiveni u STAAD-u

U programu STAAD.Pro dobivaju se horizontalni pomaci u pojedinim čvorovima okvira. Da bi se definirali rotacijski pomaci u čvoru potrebno je horizontalni pomak podijeliti sa svjetlom visinom kata.

$$\theta = \frac{\Delta}{l}$$

Δ - međukatni pomak dobiven u 3D modelu

l - svjetla visina stupa

Pomak stupa S101 (POTRES DESNO)



Slika 62:Pomak stupa S101

$$\theta = \frac{\Delta}{l} = \frac{1,816 \text{ mm}}{2300 \text{ mm}} = 0,00079$$

$$\theta_{um} \geq \theta \rightarrow 0,0141 > 0,00079$$

Pomak stupa S501 (POTRES DESNO)

Pomak stupa S501 dobije se kao razlika pomaka gornjeg (S501) i donjeg (S401) stupa:

$$\Delta = \Delta_{S501} - \Delta_{S401} = 12,384 - 11,870 = 0,514 \text{ mm}$$



Slika 63:Pomak stupa S501

$$\theta = \frac{\Delta}{l} = \frac{0,514 \text{ mm}}{3780 \text{ mm}} = 0,00014$$

$$\theta_{um} \geq \theta \rightarrow 0,0163 > 0,00014$$

9 PROVJERE NOSIVOSTI NA POPREČNE SILE

STUP S101

Poprečna sila u stupovima određuje se na temelju momenata nosivosti u stupu i gredi prema slijedećoj formuli:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot M_{RC,i} \cdot \min \left(1; \frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{RC}} \right)$$

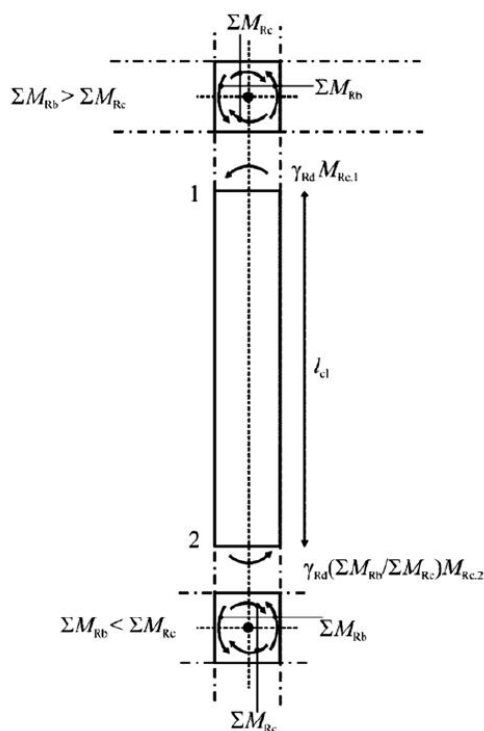
gdje je

γ_{Rd} - faktor kojim se uzima u obzir moguća povećana čvrstoća zbog ojačanja čelika i ovijanja betona tlačnog područja presjeka, može se uzeti kao 1,0

$M_{RC,i}$ - proračunska vrijednost otpornosti stupa na kraju i u smjeru potresnog momenta savijanja za promatrani smjer potresnog djelovanja

$\sum M_{Rb}$ - suma proračunskih vrijednosti momenata nosivosti greda priključenih u čvor

$\sum M_{RC}$ - suma proračunskih vrijednosti momenata nosivosti stupova priključenih u čvor



Slika 64: Poprečna sila u stupovima pri proračunu sposobnosti nosivosti

$$\sum M_{RC} = \text{zbroj momenata u stupu}$$

$$\sum M_{Rb} = \text{zbroj momenata u gredi}$$

$$\sum M_{Rc} = M_{Rd}^{101,g} + M_{Rd}^{201,d} = 438,27 + 397,01 = \mathbf{835,28 \text{ kNm}}$$

$$\sum M_{Rb} = M_{Rd}^{116} = \mathbf{319,31 \text{ kNm}}$$

Momenti na krajevima stupova određuju se po formuli:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot \min \left(\frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} \right)$$

$\gamma_{Rd} = 1,0$ za presjeke stupova oko čvora greda - stup

$$\frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} = \frac{319,31}{835,28} = 0,38$$

Iz toga slijedi da su momenti nosivosti u stupu S101:

$$M_{Rd}^{101,g} = 438,27 \cdot 0,38 = \mathbf{166,54 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd}^{101,d} = 438,27 \cdot 0,38 = \mathbf{166,54 \text{ kNm}}$$

Mjerodavna poprečna sila u stupu dobije se o formuli:

$$V_{Ed} = \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{l_{cl}}$$

gdje je

$M_{Rd,i}$ - moment nosivosti na gornjem/donjem djelu stupa

l_{cl} - svjetla visina stupa = 2,30 m

Vrijednosti momenata nosivosti stupova potrebno je pomnožiti sa faktorom povjerenja za razinu znanja 1, pa se dobivaju slijedeće vrijednosti:

$$M_{Rd,1} = 166,54 \cdot 1,35 = 224,83 \text{ kNm (na vrhu stupa)}$$

$$M_{Rd,1} = 166,54 \cdot 1,35 = 224,83 \text{ kNm (na dnu stupa)}$$

$$V_{Ed} = \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{l_{cl}} = \frac{224,83 + 224,83}{2,30} = \mathbf{195,50 \text{ kN}}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

$V_{Rd,max}$ - najveća proračunska poprečna sila koja se može preuzeti bez otkazivanja tlačnih štapova

α_{cw} - koeficijent kojim se uzima u obzir stanje naprezanja - $\alpha_{cw} = 1,0$

v_1 - faktor smanjenja čvrstoće za beton raspuknut na mjestu djelovanjem poprečne sile

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

$z = 0,9 \cdot d$

f_{cd} - proračunska tlačna čvrstoća betona podijeljena sa faktorom povjerenja

θ - kut nagiba tlačnih štapova ($\theta = 40$)

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 77 \cdot 66,4 \cdot 0,557 \cdot 0,88 \cdot \frac{1}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = \mathbf{1232,50 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$\mathbf{195,50 < 1232,50}$$

Poprečna sila koju nose spone $\phi 6$; $m = 2$; $s = 30$ cm

$$V_{Rds} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta$$

A_{sw}^1 - površina jedne spone $\phi 6$

$m = 2$ (reznost)

s - razmak spona

$$V_{Rds} = \frac{0,28 \cdot 2}{30} \cdot 66,4 \cdot 17,00 \cdot 1,2 = \mathbf{25,29 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} > V_{Rds}$$

$$\mathbf{195,50 > 25,29 \text{ (ne zadovoljava!)}$$

Minimalna poprečna armatura

- najveći razmak spona iz uvjeta minimalne poprečne armature

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw} \cdot m}{\rho_{w,min} \cdot b_w}$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{1,9}{208,7} = 0,0014$$

Za spone $\varnothing 6$; $A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2$; $m = 2$

$$s_{l,max} = \frac{0,28 \cdot 2}{0,0014 \cdot 77} = 5,19 \text{ cm}$$

$$s = \frac{A_{sw} \cdot m \cdot z \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta}{V_{Ed}} = \frac{0,28 \cdot 2 \cdot 66,4 \cdot 17 \cdot 1,2}{195,50} = 3,88 \text{ cm}$$

Mjerodavni razmak spona $\varnothing 6$ trebao bi biti na 4 cm.

Minimalna poprečna armatura

- najveći razmak spona iz uvjeta minimalne poprečne armature

Za spone $\varnothing 8$; $A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2$; $m = 2$

$$s = \frac{A_{sw} \cdot m \cdot z \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta}{V_{Ed}} = \frac{0,50 \cdot 2 \cdot 66,4 \cdot 43,48 \cdot 1,2}{195,50} = 17,72 \text{ cm}$$

Ukoliko bi se za poprečnu armaturu u stupovima koristila rebrasta armatura B500B promjera $\varnothing 8$ umjesto glatke armature GA 240, mjerodavni razmak spona $\varnothing 8$ trebao bi biti na 18 cm.

Proračun V_{Rdc}

$$V_{Rdc} = \left[C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{664}} = 1,55$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{9,05}{77 \cdot 66,4} = 0,0018$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{612,50}{77 \cdot 77} = 0,103 \frac{kN}{cm^2} = 1,03 MPa$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$V_{Rdc} = \left[0,12 \cdot 1,55 \cdot (100 \cdot 0,0018 \cdot 20)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 1,03 \right] \cdot 770 \cdot 664 = \mathbf{224,74 kN}$$

$$\mathbf{195,50 < 224,7}$$

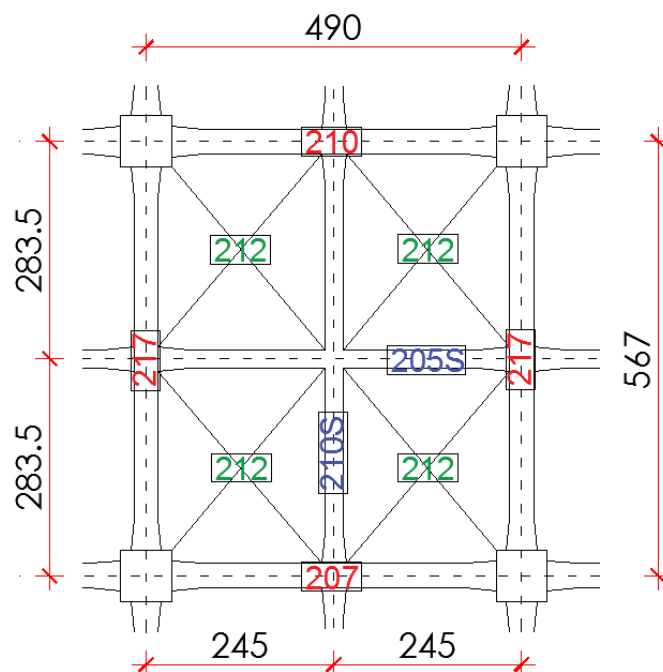
V_{Rdc} predstavlja nosivost betona na poprečne sile koji ne uzima u obzir utjecaj poprečne armature. Može se zaključiti da poprečnu silu u stupu može preuzeti sam „beton“ bez utjecaja poprečne armature.

10 PRIMJENA KONSTRUKCIJE - SKLADIŠTE

U ovom djelu rada analizirana je ista konstrukcija kao u prvom djelu uz napomenu da je uporabno opterećenje povećano sa 5 kN/m^2 na 15 kN/m^2 , dok su stalno i dodatno stalno jednaki kao u prvom djelu. Provedene su provjere nosivosti za stropnu i krovnu ploču te za karakteristične presjeke na okvirnom sustavu.

10.1 Provjere nosivosti ploča

Stropna ploča



Slika 65: Statički sustav stropne ploče

Proračunska opterećenja:

- stalno $g = 5,52 \text{ kN/m}^2$

- uporabno $q = 15 \text{ kN/m}^2$

$$q'_{ed} = \gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q \cdot \frac{1}{2} = 1,35 \cdot 5,52 + 1,5 \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} = 18,70 \text{ kN/m}^2$$

$$q''_{ed} = \gamma_Q \cdot q \cdot \frac{1}{2} = 1,5 \cdot 15 \cdot \frac{1}{2} = 11,25 \text{ kN/m}^2$$

Momenti savijanja u polju za smjer x ($l_x = 2,45$ m)

$$M_{Ed,x} = \left(\frac{q'_{ed}}{\varphi_{6x}} + \frac{q''_{ed}}{\varphi_{1x}} \right) \cdot l_x^2 = \left(\frac{18,70}{43,84} + \frac{11,25}{21,12} \right) \cdot 2,45^2 = 5,76 \text{ kNm/m'}$$

Momenti savijanja u polju za smjer y ($l_y = 2,835$ m)

$$M_{Ed,y} = \left(\frac{q'_{ed}}{\varphi_{6y}} + \frac{q''_{ed}}{\varphi_{1y}} \right) \cdot l_y^2 = \left(\frac{18,70}{76,64} + \frac{11,25}{36,86} \right) \cdot 2,835^2 = 4,41 \text{ kNm/m'}$$

Proračunsko opterećenje na osloncu u smjeru osi x:

$$q_{ed} = \gamma_G \cdot g + \gamma_Q \cdot q = 1,35 \cdot 5,52 + 1,5 \cdot 15 = 29,95 \text{ kN/m}^2$$

$$q'_{ed} = \kappa_x \cdot q_{ed} = 0,63 \cdot 29,95 = 20,07 \text{ kN/m}^2$$

Proračunsko opterećenje u smjeru osi y na osloncu:

$$q_{ed}'' = \kappa_y \cdot q_{ed}$$

$$\kappa_y = 1 - \kappa_x = 1 - 0,63 = 0,37$$

$$q_{ed}'' = \kappa_y \cdot q_{ed} = 0,37 \cdot 29,95 = 11,08 \text{ kN/m}^2$$

Moment savijanja na osloncu u smjeru x:

$$M_{Ed,x} = -\frac{1}{12} \cdot q'_{ed} \cdot l_x^2 = -\frac{1}{12} \cdot 20,07 \cdot 2,45^2 = -10,04 \text{ kNm/m'}$$

Moment savijanja na osloncu u smjeru y:

$$M_{Ed,y} = -\frac{1}{12} \cdot q_{ed}'' \cdot l_y^2 = -\frac{1}{12} \cdot 11,08 \cdot 2,835^2 = -7,42 \text{ kNm/m'}$$

Nosivosti presjeka isti su kao u prvom slučaju.

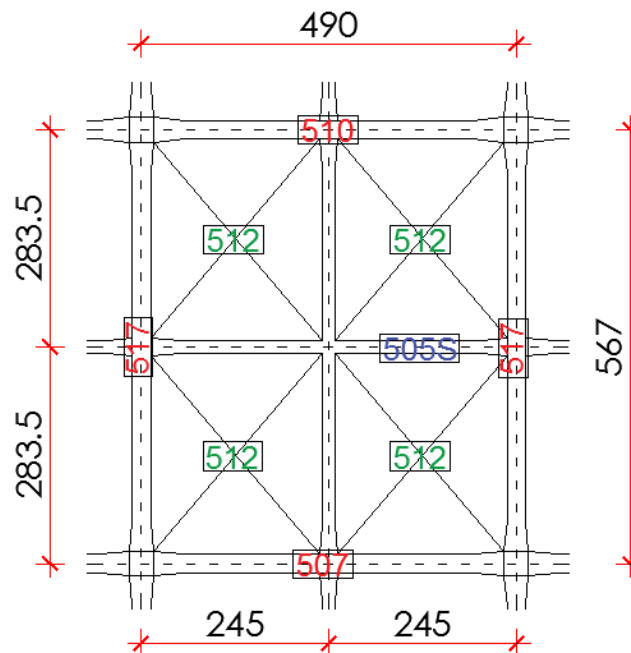
Nosivost ploče 211 - polje x smjer: $M_{Rd} = 12,39$ kNm

Nosivost ploče 211 - polje y smjer: $M_{Rd} = 11,13$ kNm

Nosivost ploče poz. 212 na osloncu x smjer: $M_{Rd} = 6,41$ kNm

Nosivost ploče poz. 212 na osloncu y smjer: $M_{Rd} = 6,41$ kNm

Krovna ploča



Slika 66: Statički sustav krovne ploče

Proračunska opterećenja za krovnu konstrukciju ostala su nepromijenjiva u odnosu na prvi dio rada pa se stoga niti momenti savijanja i nosivosti u ploči nisu promijenili.

Usporedba momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd}

		STROPNE PLOČE				KROVNA PLOČA	
		M_{Ed} (kNm/m)	M_{Rd} (kNm/m)			M_{Ed} (kNm/m)	M_{Rd} (kNm/m)
POLJE	smjer x	$M_{Ed} = 5,76$	$M_{Rd} = 12,39$		smjer x	$M_{Ed} = 0,93$	$M_{Rd} = 4,07$
	smjer y	$M_{Ed} = 4,41$	$M_{Rd} = 11,13$		smjer y	$M_{Ed} = 0,71$	$M_{Rd} = 2,97$
OSLONAC	smjer x	$M_{Ed} = 10,04$	$M_{Rd} = 6,41$		smjer x	$M_{Ed} = 1,98$	$M_{Rd} = 2,93$
	smjer y	$M_{Ed} = 7,42$	$M_{Rd} = 6,41$		smjer y	$M_{Ed} = 1,55$	$M_{Rd} = 2,12$

11 PRORAČUN NOSIVOSTI GREDA

Vrijednosti nosivosti greda jednake su kao u prvom djelu rada.

Greda poz.116 - LIJEVO: $M_{Rd} = 319,31$ kNm

Greda poz.116 - DESNO: $M_{Rd} = 463,80$ kNm

Greda poz.117 - LIJEVO: $M_{Rd} = 295,07$ kNm

Greda poz.117 - DESNO: $M_{Rd} = 442,85$ kNm

Greda poz.216 - LIJEVO: $M_{Rd} = 211,28$ kNm

Greda poz.216 - DESNO: $M_{Rd} = 259,96$ kNm

Greda poz.217 - LIJEVO: $M_{Rd} = 295,07$ kNm

Greda poz.217 - DESNO: $M_{Rd} = 329,81$ kNm

Greda poz.218 - LIJEVO: $M_{Rd} = 295,07$ kNm

Greda poz.218 - DESNO: $M_{Rd} = 642,43$ kNm

Grede poz. 300 i 400 imaju iste nosivosti kao poz. 200.

Greda poz.516 - LIJEVO: $M_{Rd} = 42,47$ kNm

Greda poz.516 - DESNO: $M_{Rd} = 151,92$ kNm

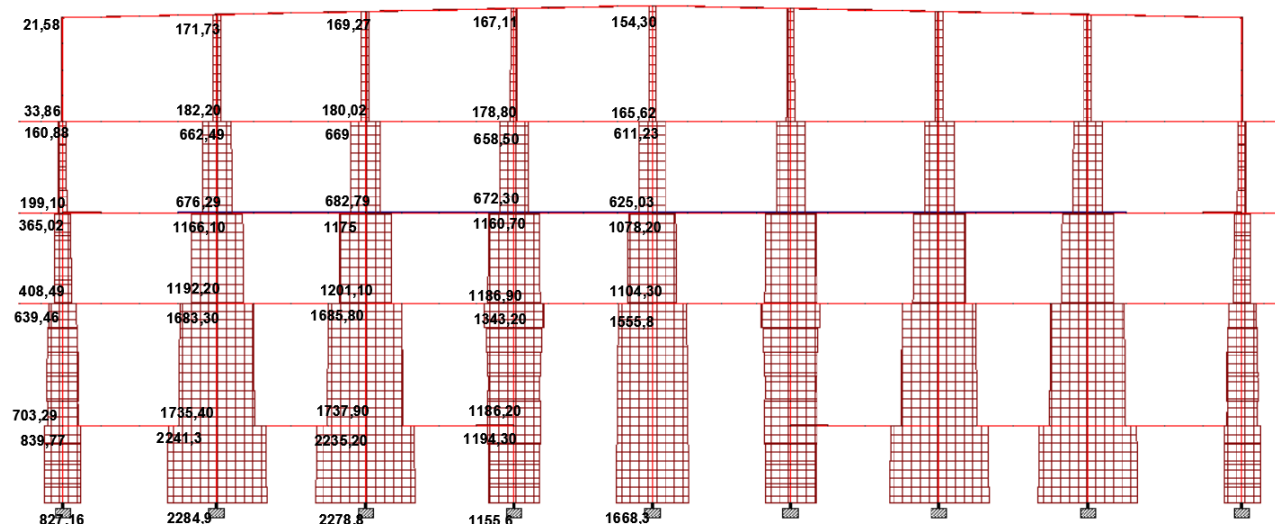
Grede poz. 517 i 518 imaju iste nosivosti kao i greda poz. 516.

12 REZULTATI - SKLADIŠTE

12.1 Presječne sile u stupovima

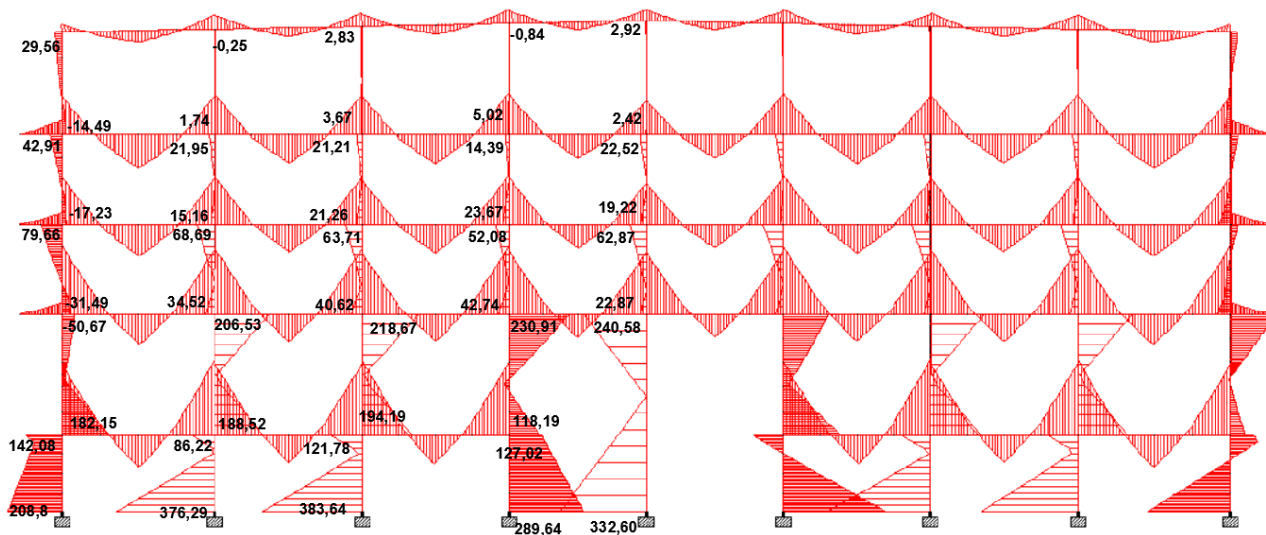
Uzdužna sila u stupovima

$$\sum G + \sum \psi_{2,I} \cdot Q_{k,i}$$



Slika 67: Dijagram uzdužnih sila u stupovima za drugi slučaj uporabnog opterećenja [kN]

Momenti savijanja u stupovima (za potresnu kombinaciju)



Slika 68: Dijagram momenata savijanja u stupovima za drugi slučaj uporabnog opterećenja [kNm]

Nosivosti stupova

Tablica 12: Momenti nosivosti na dnu stupa

POZICIJA	b (cm)	h (cm)	As (cm ²)	N _{Ed} (kN)	ω	ν	μ	M _{Rd} (kNm)
STUP 101	77	77	13,57	-827,16	0,03	-0,06	0,045	493,06
STUP 102	77	77	13,57	-2284,9	0,03	-0,16	0,08	876,54
STUP 103	77	77	13,57	-2278,8	0,03	-0,16	0,08	876,54
STUP 104	77	77	13,57	-1155,6	0,03	-0,08	0,055	602,62
STUP 105	77	77	32,23	-1208,2	0,06	-0,08	0,08	876,54
STUP 201	67	67	11,4	-703,29	0,03	-0,07	0,055	397,01
STUP 202	67	67	11,4	-1735,4	0,03	-0,16	0,08	577,46
STUP 203	67	67	11,4	-1737,9	0,03	-0,16	0,08	577,46
STUP 204	67	67	11,4	-1186,2	0,03	-0,11	0,065	469,19
STUP 301	55	55	11,4	-408,49	0,04	-0,06	0,08	319,44
STUP 302	55	55	11,4	-1192,2	0,04	-0,16	0,08	319,44
STUP 303	55	55	11,4	-1201,1	0,04	-0,17	0,08	319,44
STUP 304	55	55	11,4	-1186,9	0,04	-0,16	0,08	319,44
STUP 401	40	40	9,42	-199,1	0,06	-0,05	0,075	115,20
STUP 402	40	40	9,42	-676,29	0,06	-0,18	0,13	199,68
STUP 403	40	40	9,42	-682,78	0,06	-0,18	0,13	199,68
STUP 404	40	40	9,42	-672,3	0,06	-0,18	0,13	199,68
STUP 501	32	32	3,08	-33,86	0,03	-0,01	0,04	31,46
STUP 502	32	32	3,08	-182,2	0,03	-0,07	0,06	47,19
STUP 503	32	32	3,08	-180,02	0,03	-0,07	0,06	47,19
STUP 504	32	32	3,08	-178,8	0,03	-0,07	0,06	47,19

Tablica 13: Momenti nosivosti na vrhu stupa

POZICIJA	b (cm)	h (cm)	As (cm ²)	N _{Ed} (kN)	ω	ν	μ	M _{Rd} (kNm)
STUP 101	77	77	13,57	-893,77	0,03	-	0,045	493,06
STUP 102	77	77	13,57	-2241,3	0,03	-	0,08	876,54
STUP 103	77	77	13,57	-2235,2	0,03	-	0,08	876,54
STUP 104	77	77	13,57	-1194,3	0,03	-	0,055	602,62
STUP 105	77	77	32,23	-1555,8	0,06	-	0,105	1150,46
STUP 201	67	67	11,4	-639,46	0,03	-	0,045	324,82
STUP 202	67	67	11,4	-1683,3	0,03	-	0,08	577,46
STUP 203	67	67	11,4	-1685,8	0,03	-	0,08	577,46
STUP 204	67	67	11,4	-1343,2	0,03	-	0,11	794,01
STUP 301	55	55	11,4	-365,02	0,04	-	0,055	219,62
STUP 302	55	55	11,4	-1160,1	0,04	-	0,08	319,44
STUP 303	55	55	11,4	-1175	0,04	-	0,08	319,44
STUP 304	55	55	11,4	-1160,7	0,04	-	0,085	339,41
STUP 401	40	40	9,42	-160,88	0,06	-	0,055	84,48
STUP 402	40	40	9,42	-662,49	0,06	-	0,105	161,28
STUP 403	40	40	9,42	-669	0,06	-	0,135	207,36
STUP 404	40	40	9,42	-658,5	0,06	-	0,135	207,36
STUP 501	32	32	3,08	-21,58	0,03	-	0,04	31,46
STUP 502	32	32	3,08	-171,7	0,03	-	0,06	47,19
STUP 503	32	32	3,08	-169,27	0,03	-	0,06	47,19
STUP 504	32	32	3,08	-167,11	0,03	-	0,06	47,19

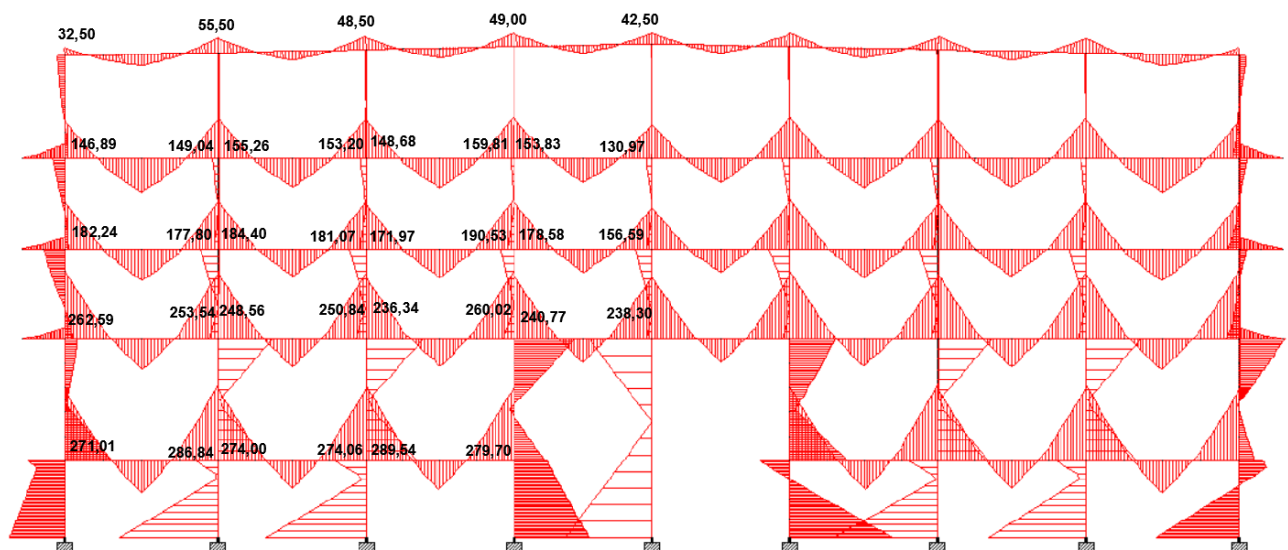
Omjer M_{Ed}/M_{Rd} za stupove

0,76	0,02	0,06	0,04	0,06
0,48	0,04	0,08	0,11	0,11
0,51	0,14	0,10	0,07	0,11
0,16	0,08	0,11	0,12	0,10
0,36	0,22	0,20	0,15	0,14
0,10	0,11	0,13	0,13	0,09
0,16	0,36	0,38	0,29	0,20
0,46	0,33	0,34	0,25	
0,29	0,10	0,14	0,14	
0,43	0,43	0,44	0,47	0,38

Slika 69: Omjeri momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} za stupove

12.2 Presječne sile u gredama

Momenti savijanja u gredama



Slika 70: Dijagram momenata savijanja u gredama za drugi slučaj uporabnog opterećenja [kNm]

Omjer M_{Ed}/M_{Rd} za grede

	0,76	0,37	0,37	0,32	0,32	0,28	0,28	0,27
	0,69	0,58	0,53	0,47	0,51	0,26	0,52	0,23
	0,86	0,68	0,62	0,55	0,58	0,30	0,61	0,27
	0,93	0,78	0,71	0,64	0,70	0,34	0,71	0,32
	0,81	0,61	0,89	0,61	0,93	0,63		

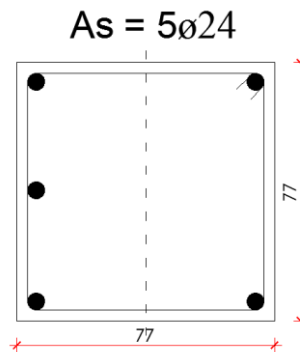
Slika 71: Omjer momenata savijanja M_{Ed} i momenata nosivosti M_{Rd} u gredama

13 PROVJERE SIGURNOSTI U POTRESNOJ KOMBINACIJI

13.1 Provjera sposobnosti deformiranja stupova

STUP S104

$N_{Ed} = -1155,80$ kN (tlak)



$A_s = 3\phi 24$

$$v = \frac{N}{b \cdot h \cdot f_c} = \frac{1155,80}{77 \cdot 77 \cdot 1,78} = 0,11$$

$$L_v = \frac{M}{V} = \frac{289,64}{227,94} = 1,27 \text{ m}$$

$$\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w \cdot s_h} = \frac{2 \cdot 0,28}{77 \cdot 30} = 2,42 \cdot 10^{-4}$$

$\rho_d = 0 \rightarrow$ u stupu nema dijagonalne armature

$$\omega = \omega' = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{13,57 \cdot 26,4}{77 \cdot 77 \cdot 2,4} = 0,03$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_h}{2h_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right)$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 73,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 73,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{3 \cdot 71,20^2 + 35,60^2}{6 \cdot 73,6 \cdot 73,6}\right) = 0,074$$

$$\theta_{um} = \frac{1}{1,5} \cdot 0,016 \cdot (0,3^{0,11}) \cdot \left[\frac{(0,03)}{(0,03)}\right]^{0,225} \cdot \left(\frac{1,27^{0,35}}{0,77}\right) \cdot 25^{(0,074 \cdot 2,42 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{19,56}{1,78})} \cdot 1$$

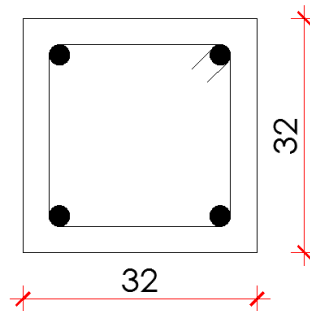
$$\theta_{um} = 0,011$$

$$\theta_{um} = 0,75 \cdot \frac{0,011}{1,20} = 0,0069$$

STUP 501

$N_{Ed} = -21,58$ kN (tlak)

$$A_s = 4\emptyset 14$$



$$A_s = 2\emptyset 14 = 3,08 \text{ cm}^2$$

$$v = \frac{N}{b \cdot h \cdot f_c} = \frac{21,58}{32 \cdot 32 \cdot 1,78} = 0,012$$

$$L_v = \frac{M}{V} = \frac{29,56}{4,45} = 6,64 \text{ m}$$

$$\rho_{sx} = \frac{A_{sx}}{b_w \cdot s_h} = \frac{2 \cdot 0,28}{32 \cdot 30} = 5,83 \cdot 10^{-4}$$

$\rho_d = 0 \rightarrow$ u stupu nema dijagonalne armature

Zbog jednakog rasporeda šipki u stupu, koeficijent armiranja vlačne i tlačne armature je isti.

$$\omega = \omega' = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{3,08 \cdot 26,4}{32 \cdot 32 \cdot 2,4} = 0,033$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{s_h}{2b_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{s_h}{2h_0}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sum b_i^2}{6 \cdot b_0 \cdot h_0}\right)$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 28,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{30}{2 \cdot 28,6}\right) \cdot \left(1 - \frac{4 \cdot 28^2}{6 \cdot 28,6 \cdot 28,6}\right) = 0,082$$

$$\theta_{um} = \frac{1}{1,5} \cdot 0,016 \cdot (0,3^{0,012}) \cdot \left[\frac{(0,033)}{(0,033)} \right]^{0,225} \cdot \left(\frac{6,64^{0,35}}{0,32} \right) \cdot 25^{(0,082 \cdot 5,83 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{19,56}{1,78})} \cdot 1$$

$$\theta_{um} = 0,030$$

$$\theta_{um} = 0,75 \cdot \frac{0,030}{1,20} = 0,019$$

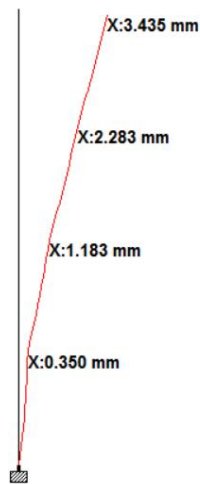
Kut zaokreta vlakana dobiven u STAAD-u

$$\theta = \frac{\Delta}{l}$$

Δ - međukatni pomak dobiven u 3D modelu

l - svjetla visina stupa

Pomak stupa S104 (POTRES DESNO)



Slika 72: Pomak stupa S101

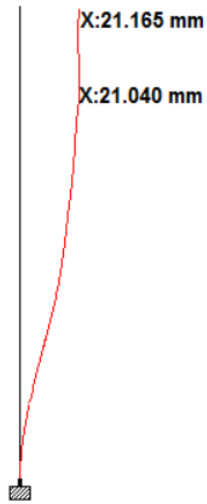
$$\theta = \frac{\Delta}{l} = \frac{3,435 \text{ mm}}{2300 \text{ mm}} = 0,0015$$

$$\theta_{um} \geq \theta \rightarrow 0,0069 > 0,0015$$

Pomak stupa S501 (POTRES DESNO)

Pomak stupa S501 dobije se kao razlika pomaka gornjeg (S501) i donjeg (S401) stupa:

$$\Delta = \Delta_{S501} - \Delta_{S401} = 21,165 - 21,040 = 1,125 \text{ mm}$$



Slika 73:Pomak stupa S501

$$\theta = \frac{\Delta}{l} = \frac{1,125 \text{ mm}}{3780 \text{ mm}} = 0,0003$$

$$\theta_{um} \geq \theta \rightarrow 0,019 > 0,0003$$

14 PROVJERA NOSIVOSTI NA POPREČNE SILE

STUP S104

$$\sum M_{Rc} = M_{Rd}^{104,g} + M_{Rd}^{204,d} = 602,62 + 469,19 = 1071,81 \text{ kNm}$$

$$\sum M_{Rb} = M_{Rd}^{118} = 442,85 \text{ kNm}$$

Momenti na krajevima stupova određuju se po formuli:

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} \cdot \min \left(\frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} \right)$$

$\gamma_{Rd} = 1,0$ za presjeke stupova oko čvora greda - stup

$$\frac{\sum M_{Rb}}{\sum M_{Rc}} = \frac{442,85}{1071,81} = 0,41$$

Iz toga slijedi da su momenti nosivosti u stupu S101:

$$M_{Rd}^{101,g} = 602,62 \cdot 0,41 = 247,07 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd}^{101,d} = 602,62 \cdot 0,41 = 247,07 \text{ kNm}$$

Mjerodavna poprečna sila u stupu dobije se o formuli:

$$V_{Ed} = \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{l_{cl}}$$

gdje je

$M_{Rd,i}$ - moment nosivosti na gornjem/donjem djelu stupa

l_{cl} - svjetla visina stupa = 2,30 m

Vrijednosti momenata nosivosti stupova potrebno je pomnožiti sa faktorom povjerenja za razinu znanja 1, pa se dobivaju slijedeće vrijednosti:

$$M_{Rd,1} = 247,07 \cdot 1,35 = 333,55 \text{ kNm (na vrhu stupa)}$$

$$M_{Rd,1} = 247,07 \cdot 1,35 = 333,55 \text{ kNm (na dnu stupa)}$$

$$V_{Ed} = \frac{M_{Rd,1} + M_{Rd,2}}{l_{cl}} = \frac{333,55 + 333,55}{2,30} = 290,04 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti tlačnih štapova

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot \frac{1}{ctg\theta + tg\theta}$$

$$V_{Rd,max} = 1,0 \cdot 77 \cdot 66,4 \cdot 0,557 \cdot 0,88 \cdot \frac{1}{1,2 + \frac{1}{1,2}} = \mathbf{1232,50 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} < V_{Rd,max}$$

$$\mathbf{290,04 < 1232,50}$$

Poprečna sila koju nose spone $\varnothing 6$; $m = 2$; $s = 30 \text{ cm}$

$$V_{Rds} = \frac{A_{sw}^1 \cdot m}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot ctg\theta$$

$$V_{Rds} = \frac{0,28 \cdot 2}{30} \cdot 66,4 \cdot 17,00 \cdot 1,2 = \mathbf{25,29 \text{ kN}}$$

$$V_{Ed} > V_{Rds}$$

$$\mathbf{290,04 > 25,29 \text{ (ne zadovoljava!)}}$$

Minimalna poprečna armatura

- najveći razmak spona iz uvjeta minimalne poprečne armature

$$s_{l,max} = \frac{A_{sw} \cdot m}{\rho_{w,min} \cdot b_w}$$

$$\rho_{w,min} = 0,15 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{1,9}{208,7} = 0,0014$$

Za spone $\varnothing 6$; $A_{sw} = 0,28 \text{ cm}^2$; $m = 2$

$$s_{l,max} = \frac{0,28 \cdot 2}{0,0014 \cdot 77} = 5,19 \text{ cm}$$

$$s = \frac{A_{sw} \cdot m \cdot z \cdot f_{yd} \cdot ctg\theta}{V_{Ed}} = \frac{0,28 \cdot 2 \cdot 66,4 \cdot 17 \cdot 1,2}{195,50} = 3,88 \text{ cm}$$

Mjerodavni razmak spona $\varnothing 6$ trebao bi biti na 4 cm.

Proračun V_{Rdc}

$$V_{Rdc} = \left[C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{664}} = 1,55$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{9,05}{77 \cdot 66,4} = 0,0018$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} = \frac{1155,8}{77 \cdot 77} = 0,195 \frac{kN}{cm^2} = 1,95 MPa$$

$$C_{Rdc} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$V_{Rdc} = \left[0,12 \cdot 1,55 \cdot (100 \cdot 0,0018 \cdot 20)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \cdot 1,95 \right] \cdot 770 \cdot 664 = \mathbf{295,30 kN}$$

$$\mathbf{290,04 < 295,30}$$

15 ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu provedena je analiza i ocjena stanja postojeće konstrukcije riječkog Skladišta br. 17. U prvom djelu konstrukcija se promatrala kao zgrada javne (ugostiteljske) namjene u kojem je uporabno opterećenje iznosilo 5 kN/m^2 . Izrađen je model postojeće konstrukcije u izvornom obliku sa svim rasponima te presjecima elemenata u računalnom programu STAAD.Pro. Provedeni su proračuni na potresno djelovanje prema Eurokodu 8 te ocjena zgrade na jednom poprečnom okviru. Budući da se zgrada nalazi u sklopu Lučke uprave te joj je pristup onemogućen, podaci o konstrukciji su dobiveni samo iz arhivskih nacrti. Rezultati analize pokazali su da se nigdje u okviru ne otvaraju plastični zglobovi niti formiranje mehanizama. Provjerom na poprečne sile dolazi se do zaključka da u stupovima nema dovoljno spona (poprečne armature), što se moglo i pretpostaviti na temelju arhivskih nacrti armature koji su korišteni za određivanje površina armature u konstrukcijskim elementima.

U drugom djelu rada istu konstrukciju promatralo se za njenu „stvarnu“ primjenu, odnosno uporabno opterećenje iznosi 15 kN/m^2 , što odgovara opterećenju za skladište. Kao i u prvom djelu rada, izrađen je model u 3D obliku te je na temelju rezultata ponovno provedena analiza i ocjena konstrukcije. Na temelju dobivenih reznih sila, momenata savijanja te pomaka pojedinih katova, dolazi se do zaključka kako se niti sa ovom namjenom konstrukcije nigdje u njoj ne otvaraju plastični zglobovi. Očekivano, provjere na poprečne sile nisu zadovoljile, tj. količina poprečne armature koja je ugrađena u elemente nije dovoljna te bi te elemente bilo potrebno ojačati. Najveći utjecaj pri preuzimanju potresnih sila imaju zidovi velikih dimenzija, pod uvjetom da ostanu cjeloviti u potresu.

Na temelju analiza obje konstrukcije može se zaključiti da je konstrukcija dobro oblikovana, odnosno da je raspored elemenata u konstrukciji jako dobro izveden. Zidovi u uzdužnom i poprečnom smjeru sa svojom velikom duljinom uvelike doprinose nosivosti i krutosti cijele konstrukcije te su oni glavni razlog zbog čega ne dolazi do otvaranja plastičnih zglobova u okvirnoj konstrukciji.

U sljedećem koraku trebalo bi se analizirati armiranobetonske zidove konstrukcije te provjeriti njihovu nosivost za promatrano potresno djelovanje. U radu je obrađeno samo potresno djelovanje na konstrukciju, ali ne i utjecaj klorida zbog neposredne blizine mora. Analiza je izvršena na temelju pretpostavljenih svojstava materijala uobičajenih za vrijeme gradnje. Za određivanje točnih svojstava materijala trebala bi se obaviti terenska ispitivanja, za svojstva betona koristilo bi se vađenje valjaka te ispitivanje sklerometrom. Za analiziranje čelika trebalo bi ispitati šipke te u okviru istražnih radova provjeriti ugrađene šipke armature u gredama, pločama, zidovima i usporediti ih s izvedbenim nacrtima.

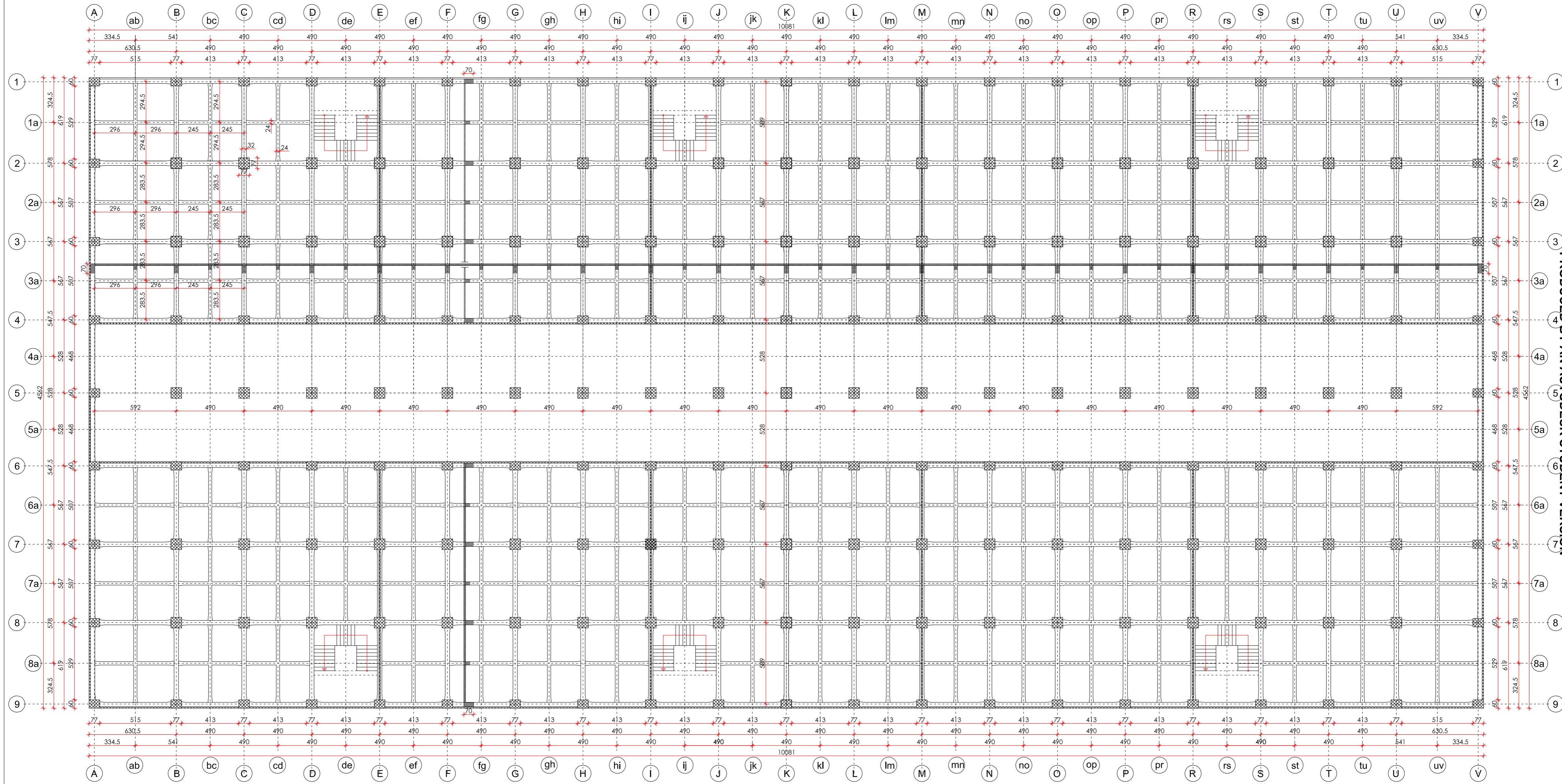
16 LITERATURA

- [1] HRN EN 1991-1-1: 2012 Eurokod 1: Djelovanja na konstrukciju - Dio 1-1: Opća djelovanja - Obujamske težine, vlastite težine i uporabna opterećenja zgrade (EN 1991-1-1:2002 + AC:2009) uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1991 - 1 - 4: 2012/NA:2012
- [2] HRN EN 1992-1-1:2013 Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004 + AC:2010) uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1992 - 1 - 1:2013/NA:2013
- [3] HRN EN 1998-1:2011 Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade (EN 1998-1:2004 + AC:2009) uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1998 1:2011/NA:2011
- [4] Karte potresnih područja Republike Hrvatske: <http://seizkarta.gfz.hr/>, pristup 15.11.2020.
- [5] I. Tomičić: Betonske konstrukcije, DHGK, Zagreb, 1996
- [6] HRN EN 1998-3:2011: Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija -- 3. dio: Ocjenjivanje i obnova zgrada (EN 1998-3:2005+AC:2010) uz pripadajući nacionalni dodatak HRN EN 1998-3:2011/NA:2011
- [7] Državni arhiv u Rijeci, Fond Tehnički uredi grada Rijeke, sign. DARI, JU 51, kutija 30, (1906-1908).
- [8] Riječka luka - povijest, izgradnja, promet, urednik: Ervin Dubrović, Muzej Grada Rijeke, Rijeka 2001.
- [9] Google maps, pristup 06.10.2020

17 NACRTNA DOKUMENTACIJA

STROP IZNAD PODRUMA

MJ 1:200

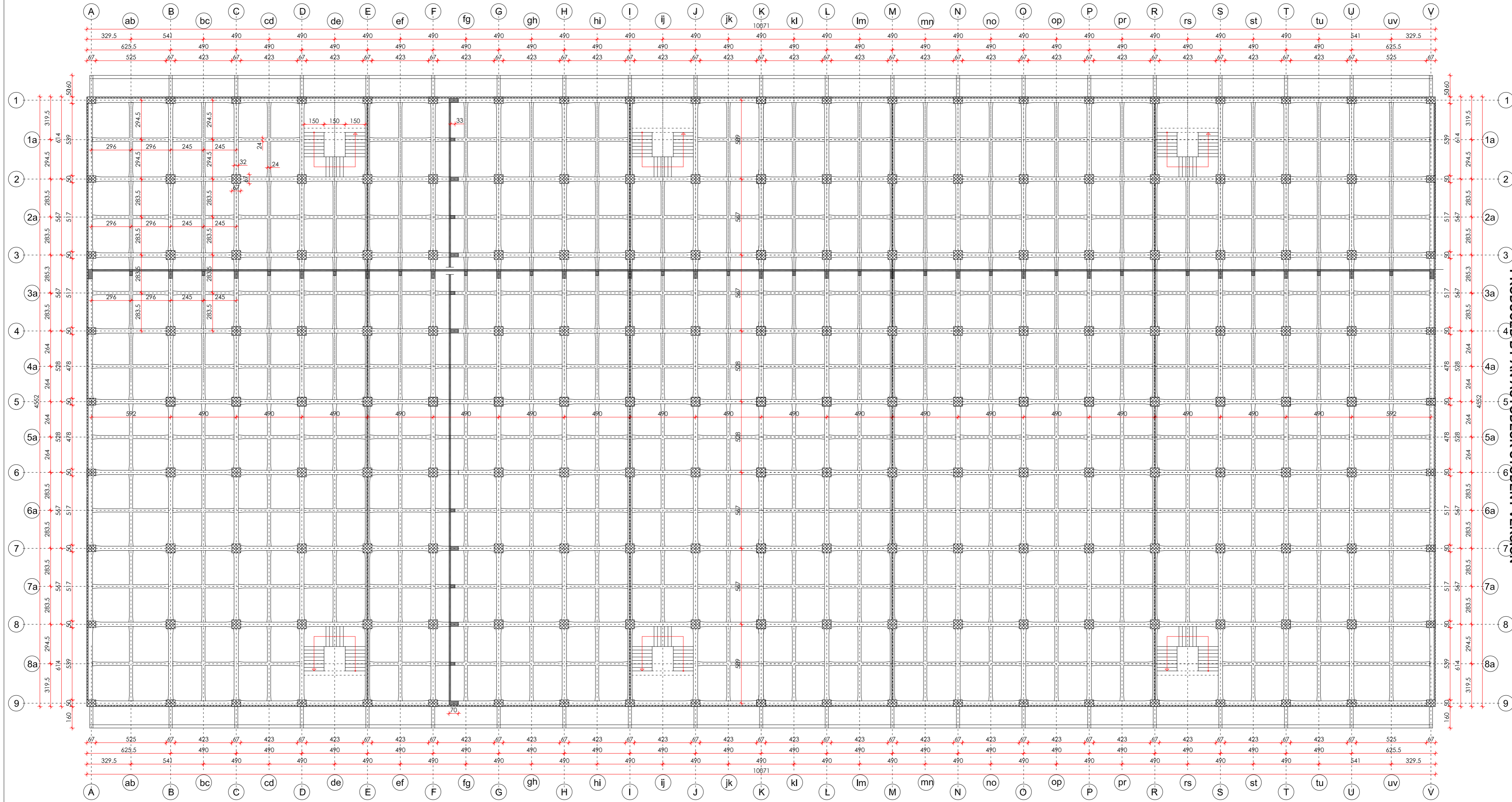


PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

GF GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: OČJENA KONSTRUKCIJE LUKOG SKLADIŠTA 17 U RIJECI		Sadržaj nacrt: STROP IZNAD PODRUMA	
Student: Toni Škropeta		Kolegij: POTRESNO INŽENJERSTVO	
Mentor: prof.dr.sc.Davor Grandić,dip.ling.grad.	Datum: 23.02.2021	Mjerilo: 1:200	List: 1

STROP IZNAD PRIZEMLJA MJ 1:200

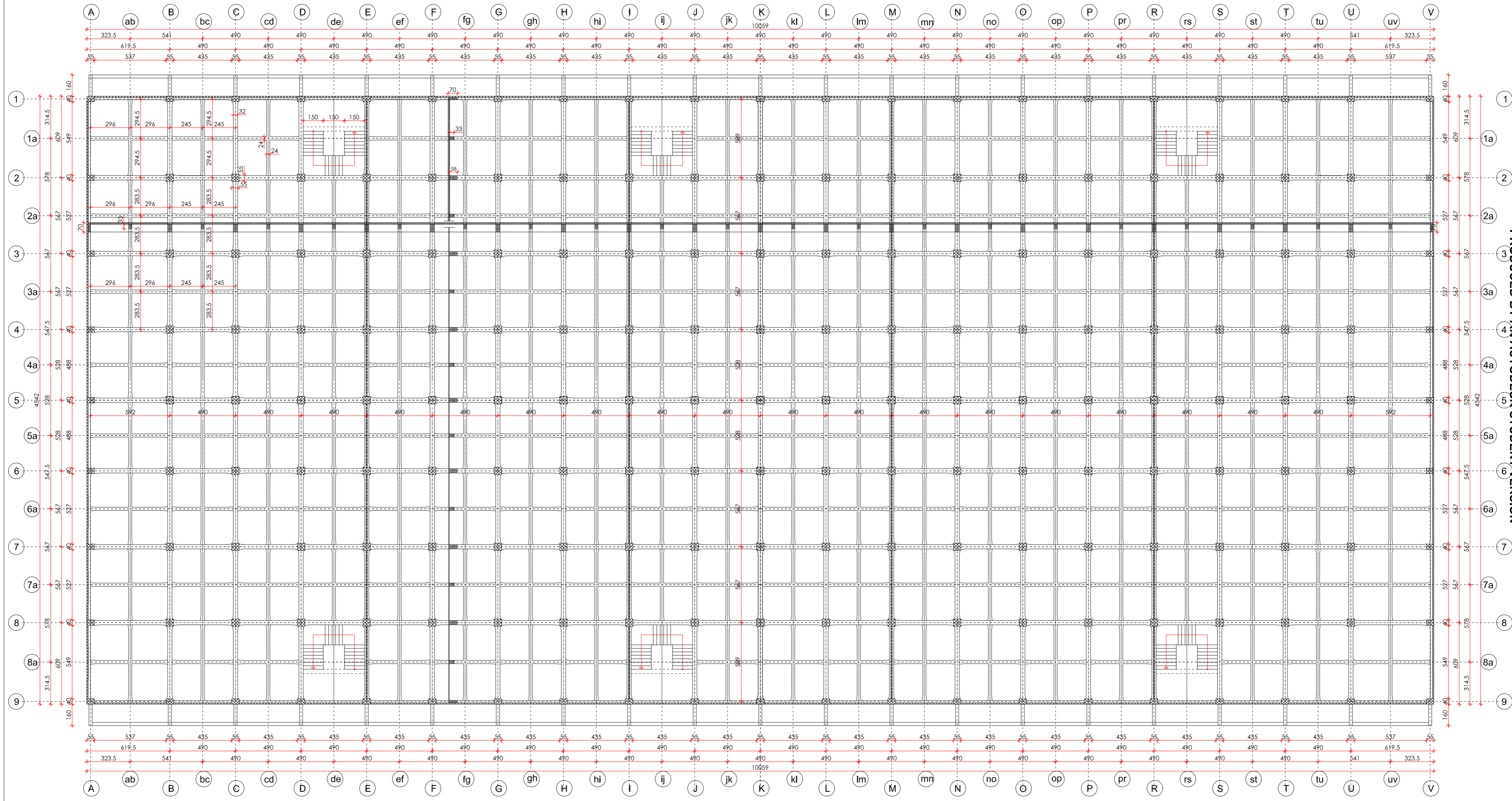


PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

GF GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad:		Sadržaj nacrt:	
OCJENA KONSTRUKCIJE LUČKOG SKLADIŠTA 17 U RIJECI		STROP IZNAD PRIZEMLJA	
Student: Toni Škropeta		Kolegij: POTRESNO INŽENJERSTVO	
Mentor: prof.dr.sc.Davor Grandić,dip.Ing.grad.	Datum: 23.02.2021	Mjeric: 1:200	List: 2

STROP IZNAD 1. KATA MJ 1:200

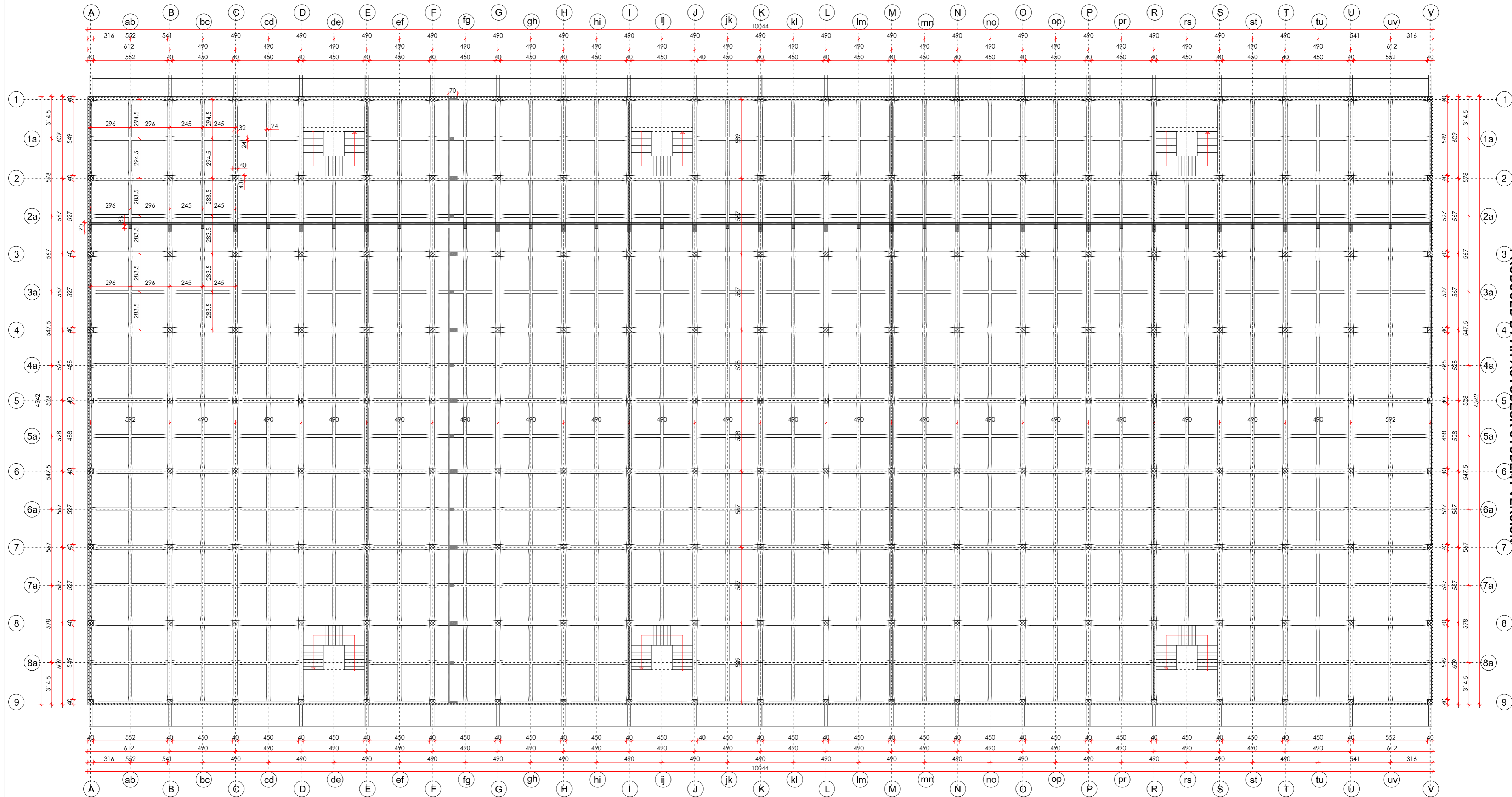


PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: OCIJENA KONSTRUKCIJE LUČKOG SKLADIŠTA 17 U RIJECI		Sadržaj nacrt: STROP IZNAD 1.KATA	
Student: Toni Škropeta		Kolegij: POTRESNO INŽENJERSTVO	
Mentor: prof.dr.sc.Davor Grandić,dip.ling.grad.	Datum: 23.02.2021	Mjerilo: 1:200	List: 3

STROP IZNAD 2. KATA MJ 1:200

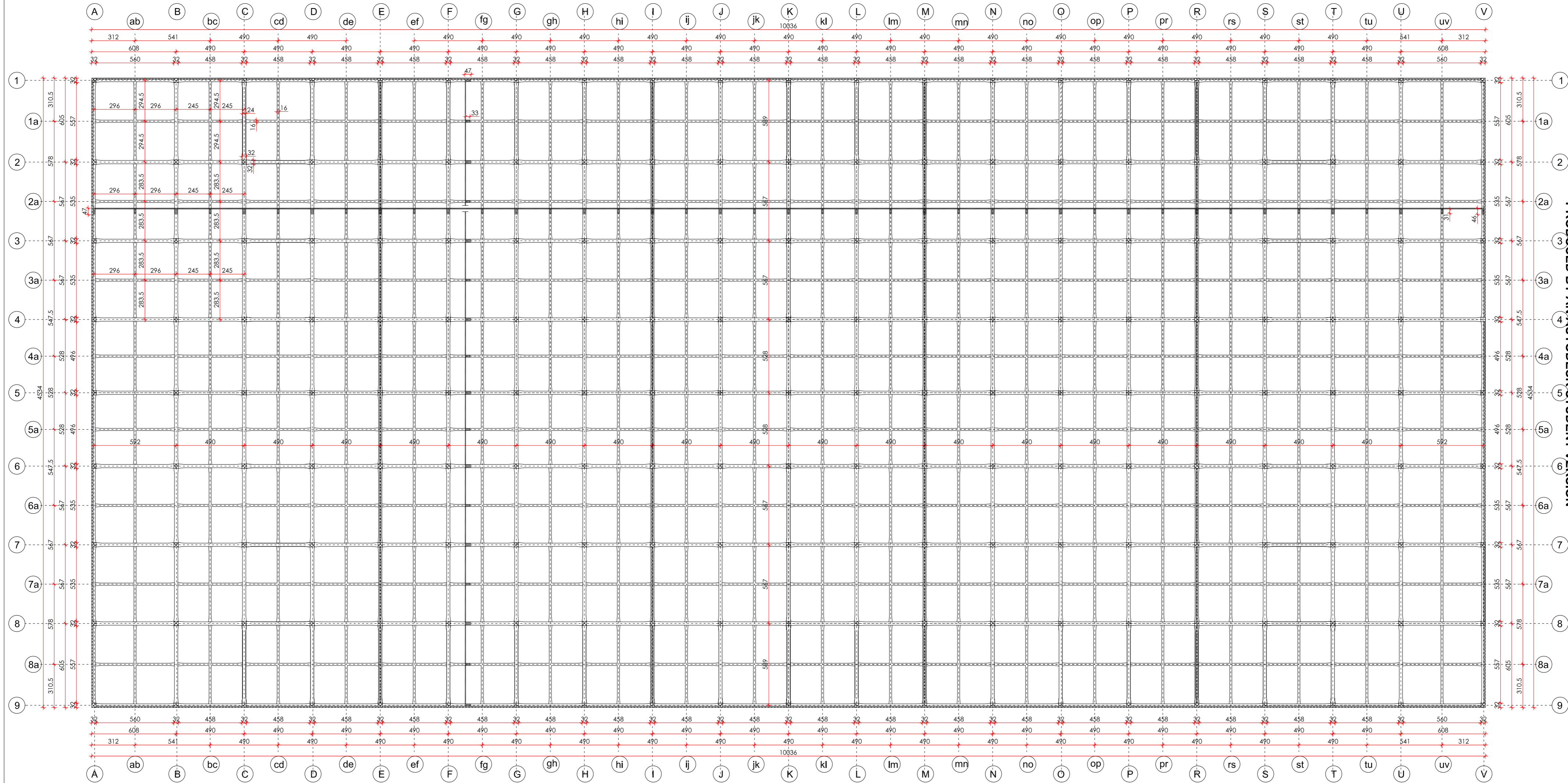


PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

GF GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI	
Diplomski rad:	Sadržaj nacrt:
OCJENA KONSTRUKCIJE LUČKOG SKLADIŠTA 17 U RIJECI	STROP IZNAD 2. KATA
Student:	Kolegij:
Toni Škropeta	POTREŠNO INŽENJERSTVO
Mentor:	Datum:
prof.dr.sc.Davor Grandić,dip.Ing.grad.	23.02.2021
	Mjeric:
	1:200
	4

STROP IZNAD 3. KATA MJ 1:200

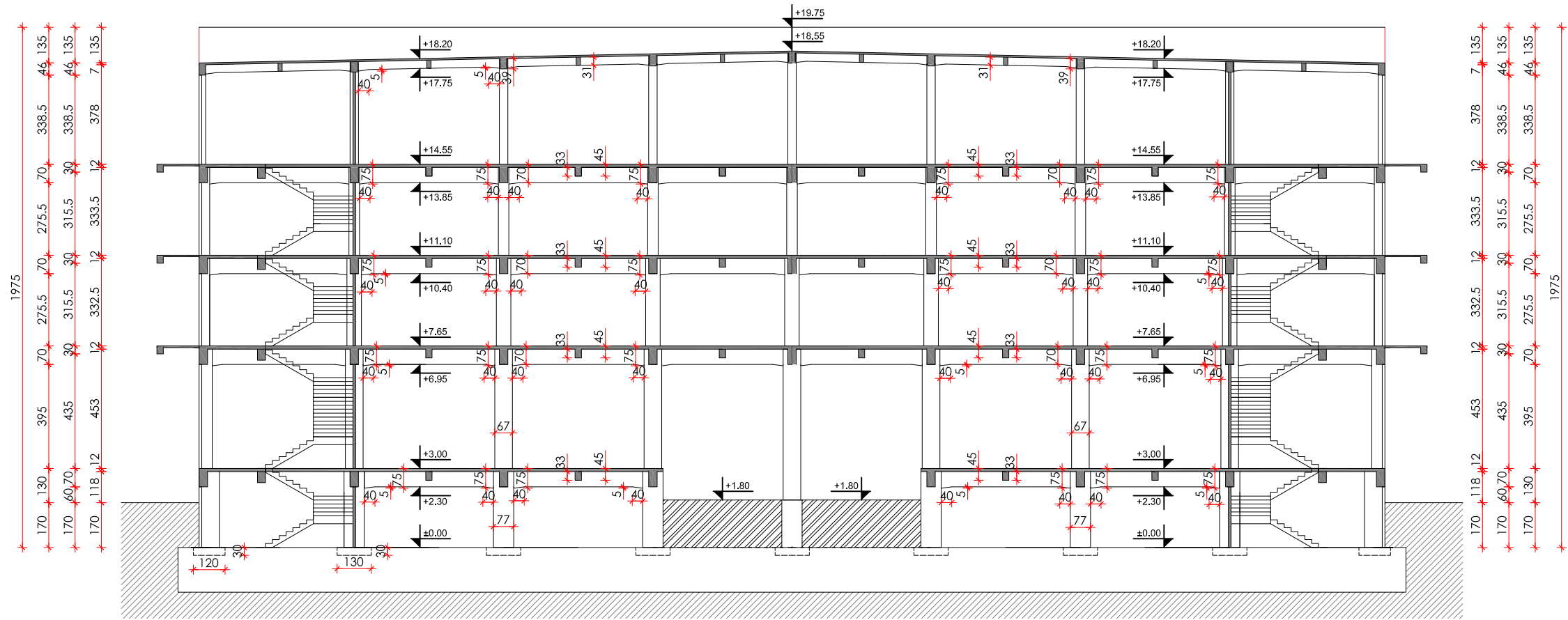



PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION

GF GRADEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad:		Sadržaj nacrt:	
OCJENA KONSTRUKCIJE LUČKOG SKLADIŠTA 17 U RIJECI		STROP IZNAD 3.KATA	
Student:		Kolegij:	
Toni Škropeta		POTRESNO INŽENJERSTVO	
Mentor:		Datum:	
prof.dr.sc.Davor Grandić,dip.ling.grad.		23.02.2021	
		Mjeric:	1:200
		List:	5

PRESJEK A-A
MJ 1:200



 GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Diplomski rad: OCJENA KONSTRUKCIJE LUČKOG SKLADIŠTA 17 U RIJECI		Sadržaj nacrt: PRESJEK A-A	
Student: Toni Škropeta		Kolegij: POTRESNO INŽENJERSTVO	
Mentor: prof.dr.sc.Davor Grandić, dipl.ing.građ.	Datum: 23.02.2021	Mjerilo: 1:200	List: 6