

Dimenzioniranje čelične nadstrešnice ljetne kuhinje

Ivić, Simona

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:157:115481>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

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

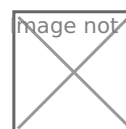


image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Simona Ivić

Dimenzioniranje čelične nadstrešnice ljetne kuhinje

Završni rad

Rijeka, 2022.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Preddiplomski sveučilišni studij

Osnove čeličnih konstrukcija

**Simona Ivić
JMBAG: 0114031081**

Dimenzioniranje čelične nadstrešnice ljetne kuhinje

Završni rad

Rijeka, veljača 2022.

Naziv studija: **Preddiplomski sveučilišni studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

**DIMENZIONIRANJE ČELIČNE NADSTREŠNICE LJETNE KUHINJE
DESIGN OF STEEL STRUCTURE OF THE SUMMER KITCHEN CANOPY**

Kandidatkinja: **SIMONA IVIĆ**

Kolegij: **OSNOVE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

Završni rad broj: **21-P-22**

Zadatak:

Provesti analizu i dimenzioniranje čelične nosive konstrukcije nadstrešnice ljetne kuhinje prema projektnom zadatku. Provjeriti otpornost svih elemenata konstrukcije s dimenzijama prema dispoziciji (stupovi, grede, nosači pokrova, nosači obloge i vjetrovni vezovi) za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabivosti. Koristiti programski paket Robot Structural Analysis Professional, sve prema europskim normama za čelične konstrukcije HRN EN 1993. Djelovanja na konstrukciju izračunati prema HRN EN 1991, te Nacionalnom dodatku za primjenu u Republici Hrvatskoj. Građevina se nalazi u mjestu Boljun. Nacrtati tlocrtnu dispoziciju građevine, poprečni i uzdužni presjek, te uraditi proračun karakterističnih spojeva.

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentor:

izv. prof. dr. sc. Mladen Bulić,
dipl. ing. građ.

IZJAVA

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



Simona Ivić

U Rijeci, 18. veljače 2022.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentoru izv.prof.dr.sc. Mladenu Buliću na pomoći, strpljenju i prenesenom znanju. Hvala prijateljima i obitelji koji su bili uz mene i pružali mi podršku na ovom (produženom) putu do diplome.

SAŽETAK

U svrhu izvedbe nadstrešnice za ljetnu kuhinju u sklopu obiteljske kuće u Istri, proveden je proračun te dimenzioniranje čelične konstrukcije nadstrešnice. Analiza djelovanja provedena je prema europskim normama i standardima te nacionalnim dodatcima za Hrvatsku, a provodi se za stalno i promjenjivo opterećenje. Statički proračun izrađen je u programu *Robot Structural Analysis Professional*. Elementi nadstrešnice dimenzionirani su za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti te zadovoljavaju sve uvjete za mehaničku otpornost i stabilnost. Također, proračunati su spojevi koji zadovoljavaju uvjete nosivosti. Nacrtime je prikazana dispozicija konstrukcije te detalji spojeva.

Ključne riječi: čelik, čelična konstrukcija, nadstrešnica, dimenzioniranje, granično stanje nosivosti, granično stanje uporabljivosti

ABSTRACT

As part of the construction of a summer kitchen canopy for a family house in Istria, a calculation and dimensioning of the steel construction of the canopy needs to be carried out. The analysis was conducted for constant and variable load according to European norms and standards and the national appendix for Croatia. The Robot Structural Analysis Professional was utilized for the static calculation. The elements of the canopy are dimensioned for the limit state of bearing capacity and the limit state of usability and meet all the requirements for mechanical resistance and stability. Also, joints were calculated and meet the bearing capacity conditions. The plan contains the disposition of the structure as well as detailed drawings of the structure joints.

Keywords: steel, steel construction, canopy, dimensioning, ultimate limit state, limit state of usability

SADRŽAJ

POPIS SLIKA.....	1
POPIS TABLICA.....	3
1. PROJEKTNI ZADATAK.....	4
2. TEHNIČKI OPIS.....	5
2.1. Opis konstrukcije.....	5
2.2. O proračunu konstrukcije.....	5
2.3. Materijal za izradu konstrukcije.....	6
2.4. Primijenjeni propisi.....	6
2.5. Antikorozijska zaštita.....	6
2.6. Protupožarna zaštita.....	6
3. PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE.....	7
4. LISTA PRISTANKA – COMPLIANCE LIST.....	12
5. ANALIZA DJELOVANJA.....	14
5.1. Stalna opterećenja (G).....	14
5.1.1. Vlastita težina konstrukcije.....	14
5.1.2. Vlastita težina pokrova.....	14
5.2. Promjenjiva opterećenja (Q).....	14
5.2.1. Snijeg.....	15
5.2.2. Vjetar.....	18
Vanjski longitudinalni pritisak ($\theta=0^\circ$).....	21
Vanjski longitudinalni pritisak ($\theta=90^\circ$).....	28
6. MEHANIČKA OTPORNOST I STABILNOST KONSTRUKCIJE.....	33
6.1. Plan pozicija.....	33
6.2. Djelovanja na konstrukciju.....	35
6.3. Kombinacije djelovanja.....	37

7.	DIMENZIONIRANJE ELEMENATA ZA GSN I GSU	46
7.1.	Provjera za GSN.....	46
7.1.1.	Stup	46
7.1.2.	Greda	53
7.1.3.	Nosač pokrova	60
7.1.4.	Nosač obloge.....	64
7.1.5.	Vjetrovni vez.....	71
7.2.	Provjera za GSU.....	72
7.2.1.	Podrožnica.....	72
7.2.2.	Nosač obloge.....	72
7.2.3.	Stup	73
7.2.4.	Greda	73
8.	PRORAČUN SPOJEVA	74
8.1.	Spoj stupa na betonski temelj – detalj A.....	74
8.2.	Spoj grede na stup – detalj B (zavareni spoj)	78
9.	NACRTI	79
10.	ZAKLJUČAK	82
	LITERATURA	83

POPIS SLIKA

Slika 1: Koeficijent oblika opterećenja snijegom (HRN EN-1991-1-3)	15
Slika 2: Koeficijent oblika opterećenja za jednostrešni krov (HRN EN-1991-1-3)	16
Slika 3: Karta snježnih područja (HRN EN-1991-1-3).....	17
Slika 4: Karta osnovne brzine vjetra (HRN EN-1991-1-4).....	19
Slika 5: Vjetrovne zone za vertikalne plohe (HRN EN-1991-1-4).....	22
Slika 6: Protok zraka kod nadstrešnice kada postoji vertikalna prepreka (HRN EN-1991-1-4)	23
Slika 7: Vjetrovne zone za ravni krov nadstrešnice	23
Slika 8: Djelovanje vjetra za slučaj 1.....	26
Slika 9: : Presjek 1-1 (minimalne vrijednosti)	26
Slika 10: Presjek 1-1 (maksimalne vrijednosti).....	27
Slika 11: Presjek 2-2 (minimalne vrijednosti).....	27
Slika 12: Presjek 2-2 (maksimalne vrijednosti).....	28
Slika 13: Protok zraka kod nadstrešnice kada ne postoji vertikalna prepreka (HRN EN-1991-1-4)	28
Slika 14: Vjetrovne zone za ravni krov nadstrešnice	29
Slika 15: Djelovanje vjetra za slučaj 2	30
Slika 16: Presjek 1-1 (minimalne vrijednosti).....	30
Slika 17: Presjek 1-1 (maksimalne vrijednosti).....	31
Slika 18: Presjek 2-2 (minimalne vrijednosti).....	31
Slika 19: Presjek 2-2 (maksimalne vrijednosti).....	32
Slika 20: Plan pozicija.....	34
Slika 21: Numeracija elemenata.....	36
Slika 22: Numeracija čvorova.....	36
Slika 23: Dijagram sila u smjeru osi x za glavne nosače	38
Slika 24: Dijagram sila u smjeru osi z za glavne nosače.....	38
Slika 25: Dijagram momenata savijanja oko osi y za glavne nosače	39
Slika 26: Dijagram sila u smjeru osi z za nosače pokrova	40
Slika 27: Dijagram sila u smjeru osi y za nosače obloge	40
Slika 28: Dijagram momenata savijanja oko osi y za nosače pokrova	41

Slika 29: Dijagram momenata savijanja oko osi y za nosače obloge.....	41
Slika 30: Dijagram momenata savijanja oko osi z za nosače obloge.....	42
Slika 31: Reakcije u osloncima.....	45

POPIS TABLICA

Tablica 1: Koeficijent oblika opterećenja snijego (HRN EN-1991-1-3)	15
Tablica 2: Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (HRN EN-1991-1-3)	17
Tablica 3: : Kategorije i parametri terena (HRN EN-1991-1-4)	20
Tablica 4: Preporučene vrijednosti za koeficijent vanjskog pritiska za vertikalne zidove (HRN EN 1991-1-4)	22
Tablica 5: Koeficijenti vanjskog pritiska za ravni krov nadstrešnice (HRN EN-1991-1-4)	24
Tablica 6: Maksimalne sile u stupovima	39
Tablica 7: Maksimalne sile u gredama	39
Tablica 8: Maksimalne sile nosača pokrova	42
Tablica 9: Maksimalne sile nosača obloge	43
Tablica 10: Maksimalni pomak (ukupno opterećenje)	43
Tablica 11: Maksimalni pomak (promjenjivo opterećenje)	44
Tablica 12: Maksimalni progib (ukupno opterećenje)	44
Tablica 13: Maksimalni progib (promjenjivo opterećenje)	44
Tablica 14: Reakcije u osloncima	45
Tablica 15: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka stupa	46
Tablica 16: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka grede	53
Tablica 17: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka nosača pokrova	60
Tablica 18: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka nosača obloge	64

1. PROJEKTNI ZADATAK

Objekt je predviđen kao nadstrešnica za ljetnu kuhinju u dvorištu obiteljske kuće koja je smještena u mjestu Boljun, općina Lupoglav, Istra na nadmorskoj visini 253 m.

Namjena građevine je zaštita od vjetrova, sunca i padalina kako bi se predviđene aktivnosti ispod građevine odvijale neometano. Zahtijeva se slobodna površina tlocrtnih dimenzija 3,0 m × 4,0 m koja bi pokrivala malu vanjsku kuhinju koja se sastoji od kuhinjskog bloka te roštilja.

Zamišljeno je da se čelična konstrukcija obloži letvičastim drvenim ili imitacijom drvenog materijala radi prozračnosti prostora kojeg natkriva te zbog same estetike.

Pretpostavljeno temeljno tlo je vapnenački kamenjar. Dopušteno specifično naprezanje temeljnog tla usvojeno je 300 kN/m².

Svi ostali elementi bitni za odnos između klijenta i projektanta u vezi realizacije ovoga projekta definirati će se putem Potvrde pristanka (Compliance list).

2. TEHNIČKI OPIS

2.1. Opis konstrukcije

Predviđena je izvedba nadstrešnice obrnutog "L" oblika sa ravnim krovom i pokrovom od valovitog lima. Tlocrtna dimenzija koje se odnose na osi elemenata iznose 3,0 m × 4,0 m, a visina konstrukcije od kote terena do osi grede iznosi 3,0 m. Ukupna visina nadstrešnice iznosi 3,08 m iznad kote tla.

Glavni nosači raspona 4 m, postavljeni su na osnovnom razmaku od 2 m. Sastoje se od stupa i grede kvadratnih, hladnooblikovanih profila dimenzija 160×160×10 mm.

Stupovi su međusobno povezani nosačima obloge, dok grede povezuju nosači pokrova. Predviđena su 3 nosača obloge (na visini 0,2 m, 1,5 m i 2,8 m od kote terena) i 3 nosača pokrova (na poziciji 0,2 m, 1,6 m i 3,0 m od početka grede) između glavnih nosača. Podrožnice su izvedene od pravokutnih, hladnooblikovanih profila dimenzije 80×40×4 mm, a nosači obloge od istih profila dimenzija 40×80×4 mm.

U krovnoj ravnini, između dvije grede postavljen je horizontalni vez u svrhu stabilizacije krovne ravnine, dok je za vertikalnu stabilizaciju postavljen vertikalni vez između dva stupa. Odabran je puni profil od čelika dimenzije $\Phi=12$ mm.

Ispod stupova postavljeni su temelji samci koji su međusobno povezani temeljnim gredama.

2.2. O proračunu konstrukcije

Statički proračun, analiza djelovanja i dimenzioniranje elemenata čelične konstrukcije provedeni su u skladu s europskim normama (Eurocode).

Odabir dimenzija i profila elemenata proveden je prema uvjetima za granično stanje uporabivosti i granično stanje nosivosti.

Statički proračun konstrukcije proveden je u računalnom programu *Robot Structural Analysis Professional*.

2.3. Materijal za izradu konstrukcije

Elementi čelične konstrukcije izrađeni su od čelika klase S 355.

Svi spojevi elemenata izvedeni su zavarom, dok su za spoj stupa na temelj uz zavare korišteni i vijci (kvalitete 10.6).

Za armiranobetonske temelje korišten je beton C25/30 te armatura B500B.

2.4. Primijenjeni propisi

EN 1991 Eurocode 1 – Djelovanja na konstrukcije

EN 1993 Eurocode 3 – Projektiranje čeličnih konstrukcija

2.5. Antikorozijska zaštita

Elementi čelične konstrukcije nadstrešnice štite se jednim temeljnim premazom na prethodno opjeskarenoj podlozi do čistoće Sa 2 ½. Nakon montaže potrebno je popraviti sva oštećenja temeljnog premaza. Drugi premaz nanosi se nakon odmašćivanja površine, a debljina temeljnih premaza iznosi 2×20 µm. Završna obrada propisana je prikazom mjera zaštite od požara sredstvima s karakteristikom F30.

2.6. Protupožarna zaštita

Zahtijevana vatrootpornost elemenata čelične konstrukcije je F30. Na podlogu od dva temeljna premaza nanosi se zaštitno protupožarno sredstvo s karakteristikom vatrootpornosti F30 koje je kompatibilan sa temeljnom antikorozijskom zaštitom.

3. PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE

3.1 Uvjeti za izradu čelične konstrukcije

Izrada čelične konstrukcije mora se povjeriti onom izvođaču koji ima odgovarajuće reference već izvedenih sličnih objekata. U tehničkoj dokumentaciji (projektu) predviđena je vrsta i kvaliteta materijala od kojeg treba izraditi konstrukciju. Odstupanja u kvaliteti materijala može odobriti jedino projektant konstrukcije.

Izvođač radova dužan je prije početka radova predložiti nadzornom inženjeru sljedeću važeću dokumentaciju:

- uvjerenja o kvaliteti osnovnog i dodatnog materijala, sredstava za spajanje te sredstava za antikorozijsku zaštitu,
- uvjerenje o podobnosti pogona za izvođenje zavarivačkih radova
- uvjerenja zavarivača koji će raditi na izradi konstrukcije za vrstu zavarivačkih radova koja će se primjenjivati, za traženu debljinu, materijal i položaj zavarivanja,
- specifikacija postupaka zavarivanja i odobrenje o primjeni postupaka zavarivanja,
- uvjerenja o ispravnosti strojeva za izvođenje zavarivačkih radova
- plan izvođenja zavarivačkih radova
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje antikorozijske zaštite
- ovlaštenja svih odgovornih osoba u sustavu interne kontrole izvođača,
- plan rada interne kontrole izvođača.

Prije pristupanja radovima na montaži potrebno je predložiti odobreni *Projekt montaže*.

Navedena dokumentacija sastavni je dio dokumentacije za tehnički pregled konstrukcije. Tijekom izrade i montaže konstrukcije izvođač radova dužan je voditi zakonom propisane dnevničke, koje je uz internu kontrolu izvođača dužan ovjeriti i nadzorni inženjer. Ako se materijal za izradu konstrukcije nabavlja i tijekom izrade

čelične konstrukcije, potrebno je nadzornom organu staviti na uvid odgovarajuća uvjerenja o kvaliteti.

Prije isporuke konstrukcije na gradilište vrši se prijem konstrukcije u radionici uz pribavljenu kompletnu dokumentaciju o kvaliteti. O prijemu konstrukcije sastavlja se zapisnik koji ovjeravaju svi sudionici izgradnje: investitor, izvođač radova u radionici, nadzorni inženjer te predstavnik izvođača radova na montaži konstrukcije.

3.2 Propisi

Potrebno je pridržavati se svih normi i propisa navedenih u projektu te poštovati pravila dobre izvedbe.

3.3 Opće napomene za izradu čelične konstrukcije u radionici

Prilikom rezanja materijala treba paziti na mogućnost pojave lokalnih zarez, naročito kod vlačno napregnutih elemenata, Svaki uočeni zarez potrebno je izbrusiti ili dovariti i izbrusiti.

Svi elementi trebaju biti izrađeni u granicama dopuštenih odstupanja. Premaše li odstupanja granične vrijednosti, potrebno je zatražiti suglasnost projektanta na izvedeno stanje.

Kod zavarivačkih radova potrebno je osigurati stalnu kontrolu prije, u toku i nakon izvedenih radova. Površine za zavarivanje moraju biti kvalitetno pripremljene i bez masnoće, rđe i druge prljavštine. Poslije izvedenih radova potrebno je obaviti dimenzionalnu i vizuelnu kontrolu te kontrole predviđene projektom. Po potrebi, izvodi se i probno sklapanje o čemu se sastavlja zapisnik, kojega ovjerava nadzorni inženjer. Prilikom izvođenja zavarivačkih radova potrebno je voditi računa da konstrukcija nakon hlađenja ne poprimi neželjeni deformirani oblik. Ne dopušta se zavarivanje na temperaturi nižoj od 0°C.

Za radove koji nakon potpunog sklapanja konstrukcije neće biti vidljivi, radi se zapisnik o preuzimanju u trenutku dostupnosti svih dijelova konstrukcije pregledu.

Dijelovi konstrukcije moraju se prije transporta na gradilište označiti i osigurati od oštećenja prije i u toku transporta na gradilište.

3.4 Elementi konstrukcije

Elemente konstrukcije potrebno je izraditi u svemu prema specifikacijama, crtežima i napucima iz ovog dijela projekta.

3.5 Materijal za izradu konstrukcije

Materijali za izradu konstrukcije navedeni su u statičkom proračunu te na priloženim radioničkim nacrtima. Cjelokupan korišteni materijal mora imati odgovarajuća uvjerenja o kvaliteti, a na osnovnom materijalu se mora vidljivo označiti broj šarže i lima sa uvjerenja. Prilikom razrezivanja proizvoda valjanja na manje dijelove potrebno je za važnije elemente nosive čelične konstrukcije prenositi i broj šarže i lima. Na elemente osjetljive na umaranje materijala, prenošenje osnovnih podataka mora se izvršiti bez utiskivanja oznaka, npr. bojom.

3.6 Antikorozijska zaštita

Antikorozijsku zaštitu smije se nanositi strogo prema zahtjevima projekta i propisa. Posebnu pažnju treba obratiti na vlažnost zraka i temperaturu. Nakon završene izvedbe svakog sloja potrebno je provjeriti debljinu i prionljivost premaza.

3.7 Protupožarna zaštita

Protupožarnu zaštitu smije se nanositi strogo prema zahtjevima projekta, propisa i uputa proizvođača. Posebnu pažnju treba obratiti na čistoću i suhoću površine. Nakon završene izvedbe svakog sloja potrebno je provjeriti debljinu i prionljivost nanešene zaštite.

3.8 Prijem elemenata čelične konstrukcije

Prijem elemenata čelične konstrukcije u radionici obavlja se prije isporuke na gradilište na temelju radioničkih crteža i specifikacije. Prilikom prijema radova potrebno je uz dokumentaciju navedenu u točki 3.1 staviti na uvid i sljedeće:

- radioničke nacрте sa specifikacijama
- dnevnik izrade u radionici
- dnevnik zavarivačkih radova u radionici
- dnevnik izvođenja antikorozijske zaštite
- izvješće interne kontrole o kvaliteti izvedenih radova

Prijem montirane čelične konstrukcije na gradilištu obavlja se na temelju radioničkih crteža i projekta montaže. Prilikom prijema izvedene konstrukcije potrebno je staviti na uvid i sljedeće dokumente:

- kompletnu dokumentaciju sa primopredaje konstrukcije u radionici
- projekt montaže
- radioničke nacрте sa specifikacijama
- dnevnik izvođenja radova na montaži
- dnevnik zavarivačkih radova na montaži
- dnevnik izvođenja antikorozijske zaštite
- izvješće interne kontrole o kvaliteti izvedenih radova
- uvjerenja o kvaliteti dodatnog materijala, sredstava za spajanje te sredstava za antikorozijsku i protupožarnu zaštitu
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje radova na montaži
- uvjerenja zavarivača koji će raditi na izradi i montaži konstrukcije za vrstu zavarivačkih radova koja će se primjenjivati, za traženu debljinu, materijal i položaj zavarivanja

- specifikacija postupaka zavarivanja i odobrenje o primjeni postupaka zavarivanja
- uvjerenja o ispravnosti strojeva za izvođenje zavarivačkih radova
- plan izvođenja zavarivačkih radova
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje antikorozijske zaštite
- uvjerenje o podobnosti izvođača za izvođenje protupožarne zaštite
- ovlaštenja svih odgovornih osoba u sustavu interne kontrole izvođača
- plan rada interne kontrole izvođača

4. LISTA PRISTANKA – COMPLIANCE LIST

		LISTA PRISTANKA			Odobrenje za:		Potpis
					Tehnički dio		
					Kvaliteta		
					Tržište		
		Investitor					
		Projekt					
		Oznaka					
		Broj					
		Datum					
Br.	Metoda ili vrsta aktivnosti/ispitivanja	Kriterij pristanka	Način pristanka	Znak	Napomene		
0.0.	JEZIK - OPĆENITO	Hrvatski		0			
1.0	PRORAČUN KONSTRUKCIJE						
1.1	Eurocode 3	EN 1993 - 1 - 1		0			
1.2	Eurocode 2	EN 1992 - 1 - 1		0			
1.3	Eurocode 3	EN 1993 - 1 - 2		0			
2.0	DJELOVANJA						
2.1	Vjetra	Brzina vjetra 108 km/h	Po cijeloj visini	Y			
2.2	Snijeg	100 m n. M. I zona		Y			
2.3	Promjena temperaute	+/- 35 °C		Y			
3.0	OSNOVNI MATERIJAL						
3.1	Konstruktivski čelik	EN 10025		0			
3.2	Kvalitetna grupa	S 355 JR G2		0			
4.0	VIJČANI PRIKLJUČCI						
4.1	Kvaliteta materijala za vijke	8.8 ISO 898 - 1		0			
4.2	Matica za vijak	8 ISO 898 - 2		0			
4.3	Podložna pločica			0			
4.4	AKZ - vruća galvanizacija	DIN 267 - Part 10		0			
Ref.				Y	pristanak naručioca		
				N	bez pristanka		
				P	djelomična sugl.		
				0	podrazumjeva se ali bez navoda nar.		

		LISTA PRISTANKA			Odobrenje za:		Potpis	
					Tehnički dio			
					Kvaliteta			
					Tržište			
		Investitor						
		Projekt						
		Oznaka						
		Broj						
		Datum						
Br.	Metoda ili vrsta aktivnosti/ispitivanja	Kriterij pristanka	Način pristanka	Znak	Napomene			
5.0	ZAVARENI PRIKLJUČCI							
5.1	Osiguranje kvalitete	EN 729 - 2	uvjerenje/izvještaj	0				
5.2	Kvaliteta - kriterij prihvaćanja	EN 25 817		0				
5.3	Kvaliteta za NDE/UT	EN 1 714	uvjerenje 10%	0				
5.4	Kvaliteta za NDE/MT	EN 1 290	uvjerenje 5%	0				
5.5	Kvaliteta - vizualni pregled	EN 970	100%	0				
5.6	Uvjerenje zavarivača	EN 287 - 1		0				
5.7	Kvaliteta za ispitivanje NDE/PT	EN 1 289		0				
5.8	Kvaliteta za NDE/RK	EN 1 435		0				
6.0	DIMENZIONALNA KONTROLA							
7.0	AKZ - GALVANIZACIJA							
7.1	Priprema površine	ISO 8501		0				
7.2	Metoda ispitivanja	KSB 10/5 - 2.0		0				
7.3	Način kontrole	KSB 10/5 - 2.1		0				
8.0	AKZ - VRUĆE CINČANJE	DIN 267		0				
9.0	DOKUMENTACIJA ZA							
9.1	Općenito	ISO 9001	izvještaj	0				
9.2	Zavarivanje	EN 729 - 2		0				
9.3	Odgovornost za zavarivanje	EN 719	ovlaštenje	0				
10.0	IZRADA I MONTAŽA	ENV 1090 - 1		0				
Ref.				Y	pristanak naručioca			
				N	bez pristanka			
				P	djelomična sugl.			
				0	podrazumjeva se ali bez navoda nar.			

5. ANALIZA DJELOVANJA

Analiza opterećenja čelične konstrukcije provedena je u skladu s europskim normama za čelične konstrukcije EN Eurocode 1 (EC1) i nacionalnim dodatkom (nHRN EN). Opterećenja su podijeljena na stalna i promjenjiva.

5.1. Stalna opterećenja (G)

Analiza stalnih opterećenja na konstrukciju provedena je u skladu s europskim normama HRN EN 1991-1-1 i HRN EN 1991-1-1:2012/NA:2012.

5.1.1. *Vlastita težina konstrukcije*

Težina konstrukcije automatski je proračunata je u program Robot Structural Analysis Professional.

5.1.2. *Vlastita težina pokrova*

Vlastita težina pokrova od valovitog lima iznosi $g_p = 0,15$ kN/m².

5.2. Promjenjiva opterećenja (Q)

Promjenjiva opterećenja koja djeluju na objekt su snijeg i vjetar. Analiza promjenjivih opterećenja provedena su u skladu s europskim normama HRN EN 1991-1-3:2012 i HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2012 za snijeg te HRN EN 1991-1-4:2012, HRN EN 1991-1-4:2012/NA:2012 za vjetar.

5.2.1. Snijeg

Proračun djelovanja snijega na krov izvodi se prema formuli:

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

gdje je:

μ_i koeficijent oblika krova,

C_e koeficijent izloženosti,

C_t toplinski koeficijent,

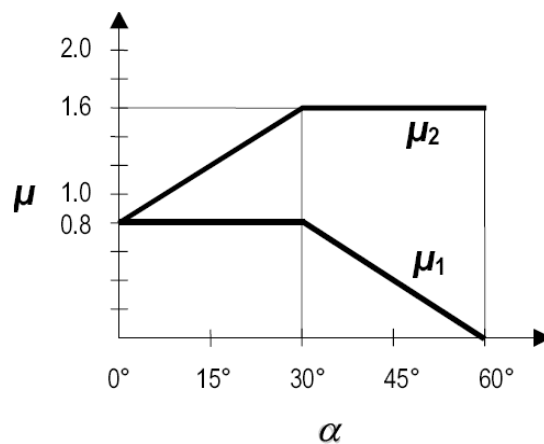
s_k karakteristično opterećenje snijegom.

Koeficijent oblika krova ovisi o kutu nagiba krova α (Slika 1, Slika 2, Tablica 1)

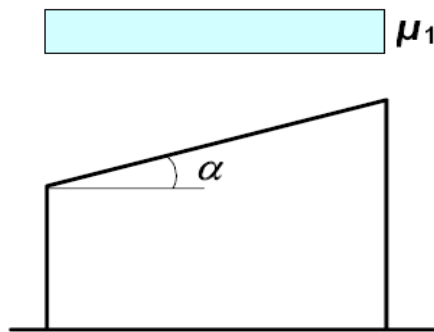
$\alpha=0^\circ$ (ravni krov): $\mu_i = 0,8$

Kut nagiba krova α	$0^\circ \leq \alpha < 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60-\alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha/30$	1,6	-

Tablica 1: Koeficijent oblika opterećenja snijego (HRN EN-1991-1-3)



Slika 1: Koeficijent oblika opterećenja snijegom (HRN EN-1991-1-3)

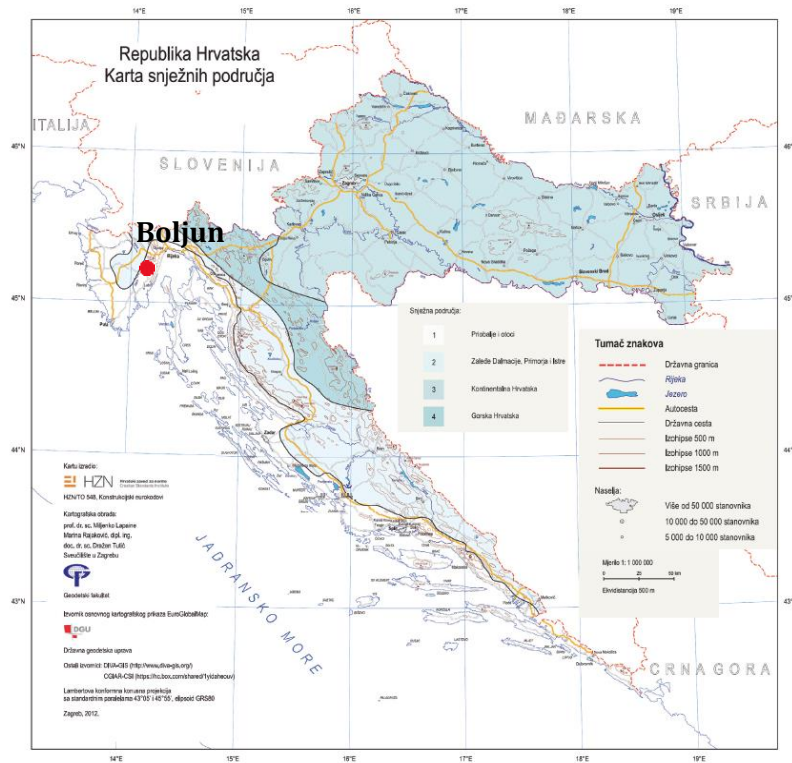


Slika 2: Koeficijent oblika opterećenja za jednostrešni krov
(HRN EN-1991-1-3)

Koeficijent izloženosti za područje Republike Hrvatske, prema nacionalnom dodatku iznosi: $C_e=1,0$.

Toplinski koeficijent za područje Republike Hrvatske, prema nacionalnom dodatku iznosi: $C_t=1,0$.

Karakteristično opterećenje snijegom ovisi o geografskom položaju objekta. Objekt se nalazi u mjestu Boljun (Istarska Županija, Hrvatska -) čija je nadmorska visina 253 m i po karti snježnih područja spada u 2. Zonu (Slika 3, Tablica 2), pa karakteristično opterećenje snijegom iznosi: $s_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$



Slika 3: Karta snježnih područja (HRN EN-1991-1-3)

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

Tablica 2: Opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine (HRN EN-1991-1-3)

Proračun opterećenja snijega na krov:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,75 = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

5.2.2. Vjetar

Proračun osnovne brzine vjetra izvodi se prema formuli:

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

gdje je:

C_{dir} faktor smjera djelovanja vjetra,

C_{season} faktor godišnjeg doba pojave vjetra,

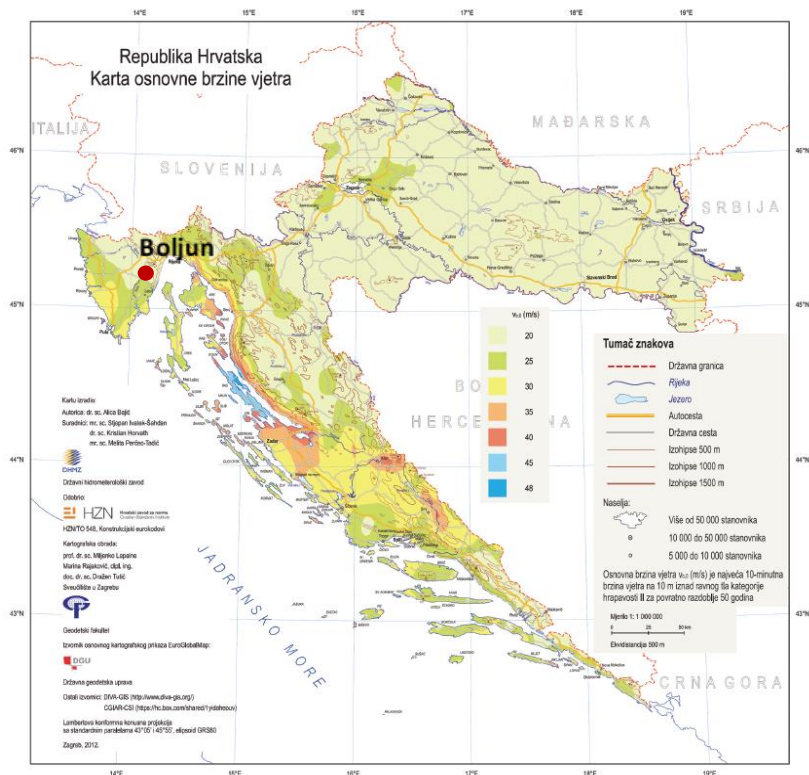
$v_{b,0}$ osnovna brzina vjetra.

Faktor smjera djelovanja vjetra za područje Republike Hrvatske, prema nacionalnom dodatku iznosi: $C_{dir} = 1,0$

Faktor godišnjeg doba pojave vjetra za područje Republike Hrvatske, prema nacionalnom dodatku iznosi: $C_{season} = 1,0$

Osnovna brzina vjetra ovisi o geografskom položaju objekta.

Očitana vrijednost osnovne brzine vjetra za lokaciju objekta Boljun, Istarska Županija (Slika 4) iznosi: $v_{b,0} = 20$ m/s



Slika 4: Karta osnovne brzine vjetra (HRN EN-1991-1-4)

Proračun osnovne brzine vjetra:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20 = 20 \text{ m/s}$$

Proračun osnovnog pritiska vjetra izvodi se prema formuli:

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

gdje je:

ρ_{air} gustoća zraka ($\rho_{air} = 1,25 \text{ kN/m}^3$),

v_b osnovna brzina vjetra ($v_b = 20 \text{ m/s}$).

Proračun osnovnog pritiska vjetra q_b uslijed brzine v_b :

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

Proračun pritiska vjetra za brzinu vjetra kod udara izvodi se prema formuli:

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

gdje je:

$c_e(z)$ koeficijent izloženosti na visini z (visina konstrukcije),

q_b osnovni pritisak vjetra ($q_b = 0,25 \text{ kN/m}^2$).

Koeficijent izloženosti na visini z – određuje se s obzirom na kategoriju terena koja ovisi o pokrovu i preprekama i s obzirom na visinu konstrukcije

Lokacija na kojoj se nalazi objekt spada u II. Kategoriju terena prema Tablica 3.

Za visinu konstrukcije $z = 3 \text{ m}$ i II. kategoriju terena iz dijagrama je očitana vrijednost koeficijenta izloženosti $c_e(3) = 1,9$.

KATEGORIJA TERENA		z_0 (m)	z_{min} (m)
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezeri ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreka	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrada ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreka (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

Tablica 3: : Kategorije i parametri terena (HRN EN-1991-1-4)

Proračun pritiska vjetra za brzinu vjetra kod udara:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 1,9 \cdot 0,25 = 0,475 \text{ kN/m}^2$$

Vanjski longitudinalni pritisak ($\theta=0^\circ$)

Opterećenje uslijed vanjskog djelovanja vjetra proračunava se prema formuli:

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

gdje je:

$q_p(z_e)$ vanjski pritisak vjetra kod udara ($q_p(3m)=0,475 \text{ kN/m}^2$)

z_e referentna visina za vanjski tlak (visina objekta=3 m)

c_{pe} koeficijent vanjskog pritiska.

Koeficijent vanjskog pritiska kod vertikalnih zidova ovisi o površini vjetrove zone i odnosu h/d , dok kod krova ovisi o kutu nagiba krova α

Koeficijent vanjskog tlaka očitava se iz Tablica 4 za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnog objekta (Slika 5), površinu $c_{pe,i} = c_{pe,10}$ ($>10 \text{ m}^2$) i odnos $h/d=1$.

$$b = 4 \text{ m}$$

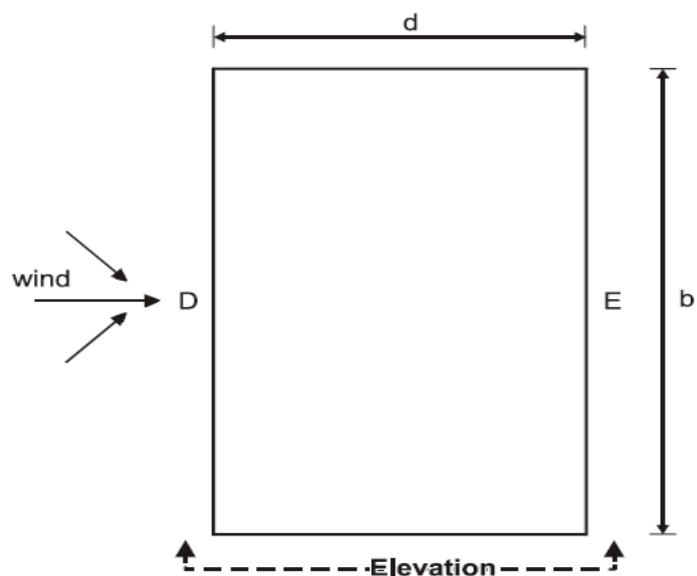
$$d = 3 \text{ m}$$

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

$$e = \min \left\{ \begin{array}{l} b = 4 \text{ m} \\ 2 \cdot h = 2 \cdot 3 = 6 \text{ m} \end{array} \right\} = 4 \text{ m}$$

$$h/d = 1/1 = 1$$

$$D = E = h \cdot b = 12 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2$$

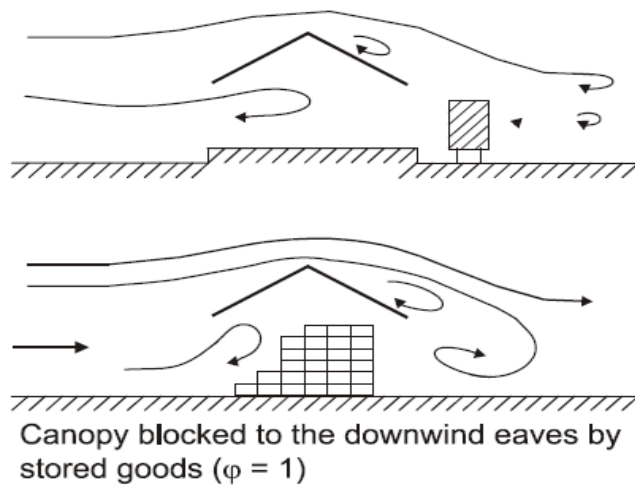


Slika 5: Vjetrovne zone za vertikalne plohe (HRN EN-1991-1-4)

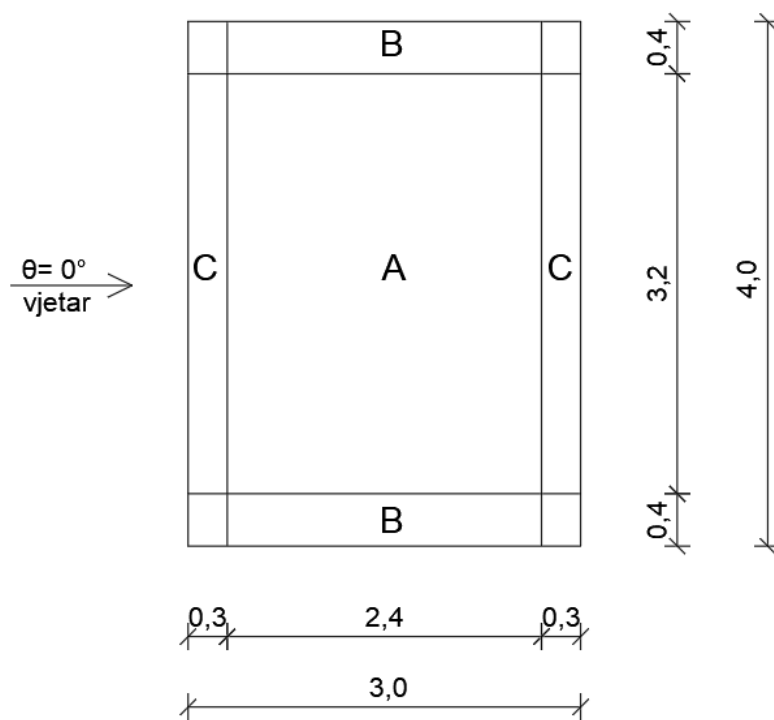
Područje	A		B		C		D		E	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≥ 5	-1,4	-1,7	-0,8	-1,1	-0,5	-0,7	+0,8	+1,0	-0,5	-0,7
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	-0,5

Tablica 4: Preporučene vrijednosti za koeficijent vanjskog pritiska za vertikalne zidove (HRN EN 1991-1-4)

Koeficijent vanjskog tlaka za jednostrešni krov nagiba $\alpha = 0^\circ$ (Slika 7) i nadstrešnicu (Slika 6) kod koje je prodor vjetra spriječen vertikalnom stijenom ($\varphi = 1$) očitava se iz Tablica 5.



Slika 6: Protok zraka kod nadstrešnice kada postoji vertikalna prepreka
(HRN EN-1991-1-4)



Slika 7: Vjetrovne zone za ravni krov nadstrešnice

			Net Pressure coefficients $c_{p,net}$		
			Key plan		
Roof angle α	Blockage φ	Overall Force Coefficients c_f	Zone A	Zone B	Zone C
0°	Maximum all φ	+ 0,2	+ 0,5	+ 1,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,6	- 1,3	- 1,4
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 1,8	- 2,2
5°	Maximum all φ	+ 0,4	+ 0,8	+ 2,1	+ 1,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 1,1	- 1,7	- 1,8
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,2	- 2,5
10°	Maximum all φ	+ 0,5	+ 1,2	+ 2,4	+ 1,6
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,9	- 1,5	- 2,0	- 2,1
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 2,1	- 2,6	- 2,7
15°	Maximum all φ	+ 0,7	+ 1,4	+ 2,7	+ 1,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,1	- 1,8	- 2,4	- 2,5
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
20°	Maximum all φ	+ 0,8	+ 1,7	+ 2,9	+ 2,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,3	- 2,2	- 2,8	- 2,9
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,9	- 3,0
25°	Maximum all φ	+ 1,0	+ 2,0	+ 3,1	+ 2,3
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,6	- 2,6	- 3,2	- 3,2
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,5	- 2,8
30°	Maximum all φ	+ 1,2	+ 2,2	+ 3,2	+ 2,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 1,8	- 3,0	- 3,8	- 3,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,5	- 2,2	- 2,7
NOTE + values indicate a net downward acting wind action - values represent a net upward acting wind action					

Tablica 5: Koeficijenti vanjskog pritiska za ravni krov nadstrešnice (HRN EN-1991-1-4)

Koeficijent vanjskog tlaka za vertikalne plohe:

$$\text{Zona D: } c_{pe,D} = +0,8$$

$$\text{Zona E: } c_{pe,E} = -0,5$$

Koeficijent vanjskog tlaka za jednostrešni krov:

$$\text{Zona A: } c_{pe,A}^{min} = -1,5 \quad c_{pe,A}^{max} = +0,5$$

$$\text{Zona B: } c_{pe,B}^{min} = -1,8 \quad c_{pe,B}^{max} = +1,8$$

$$\text{Zona C: } c_{pe,C}^{min} = -2,2 \quad c_{pe,C}^{max} = +1,1$$

Proračun opterećenja uslijed djelovanja vjetra:

$$w = w_e - w_i$$

Gdje je

w_e vanjsko djelovanje vjetra

w_i unutarnje djelovanje vjetra (nema unutarnjeg djelovanja vjetra)

$w_i = 0 \text{ kN/m}^2$

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

$$w_A^{min} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,A}^{min} = 0,475 \cdot (-1,5) = -0,71 \text{ kN/m}^2$$

$$w_A^{max} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,A}^{max} = 0,475 \cdot 0,5 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B^{min} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,A}^{min} = 0,475 \cdot (-1,8) = -0,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B^{max} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,B}^{max} = 0,475 \cdot 1,8 = 0,86 \text{ kN/m}^2$$

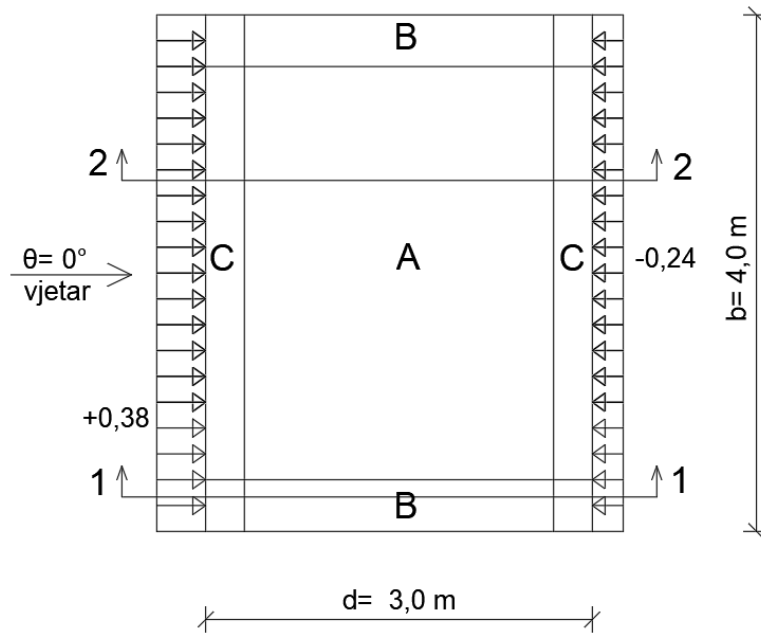
$$w_C^{min} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,C}^{min} = 0,475 \cdot (-2,2) = -1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C^{max} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,C}^{max} = 0,475 \cdot 1,1 = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

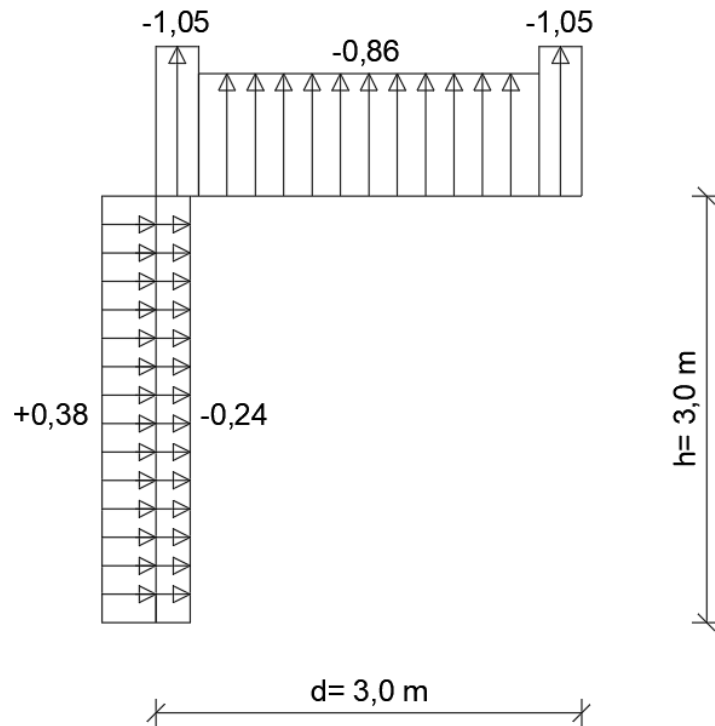
$$w_D = q_p(z_e) \cdot c_{pe,D} = 0,475 \cdot 0,8 = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

$$w_E = q_p(z_e) \cdot c_{pe,E} = 0,475 \cdot (-0,5) = -0,24 \text{ kN/m}^2$$

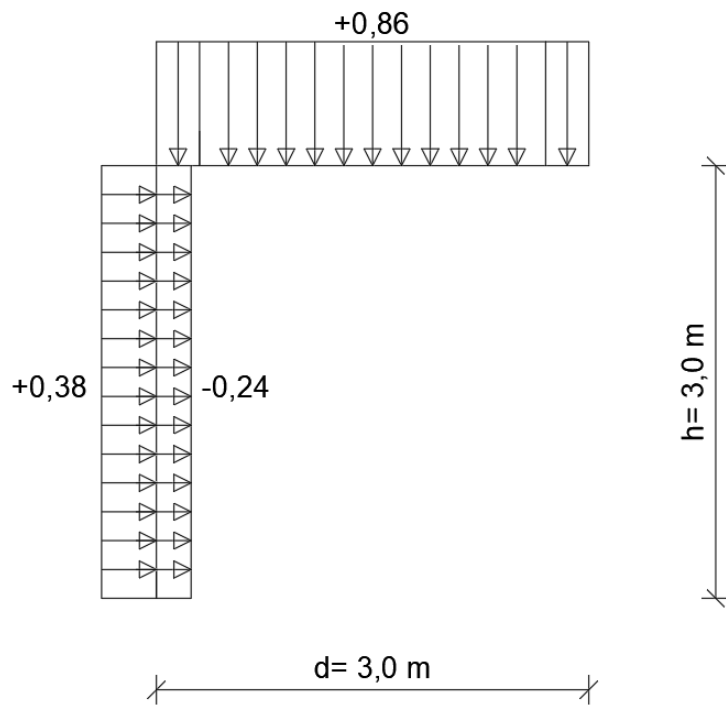
Grafički prikaz opterećenja vjetra ($\theta=0^\circ$)



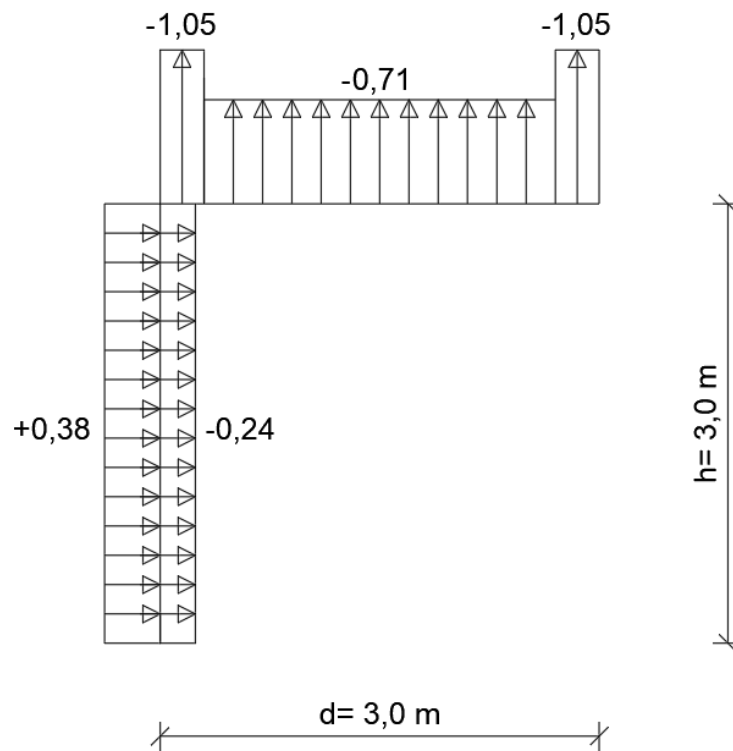
Slika 8: Djelovanje vjetra za slučaj 1



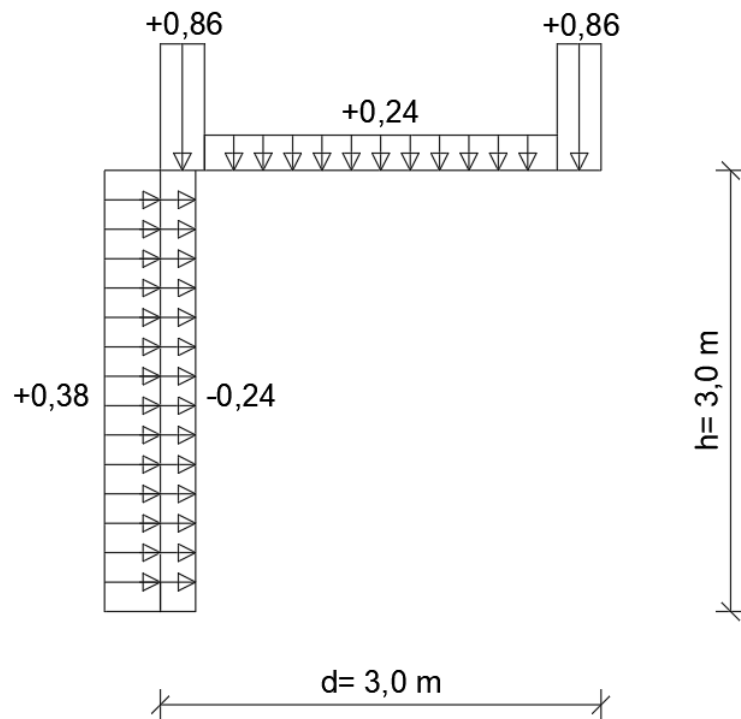
Slika 9: : Presjek 1-1 (minimalne vrijednosti)



Slika 10: Presjek 1-1 (maksimalne vrijednosti)



Slika 11: Presjek 2-2 (minimalne vrijednosti)

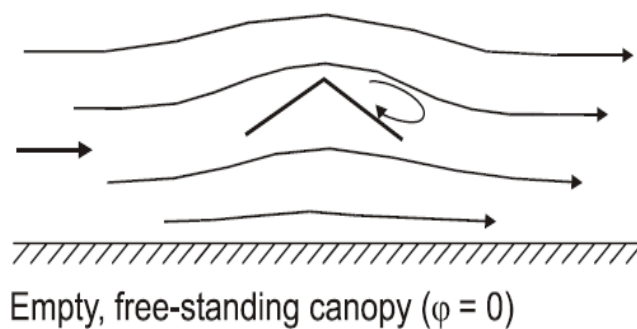


Slika 12: Presjek 2-2 (maksimalne vrijednosti)

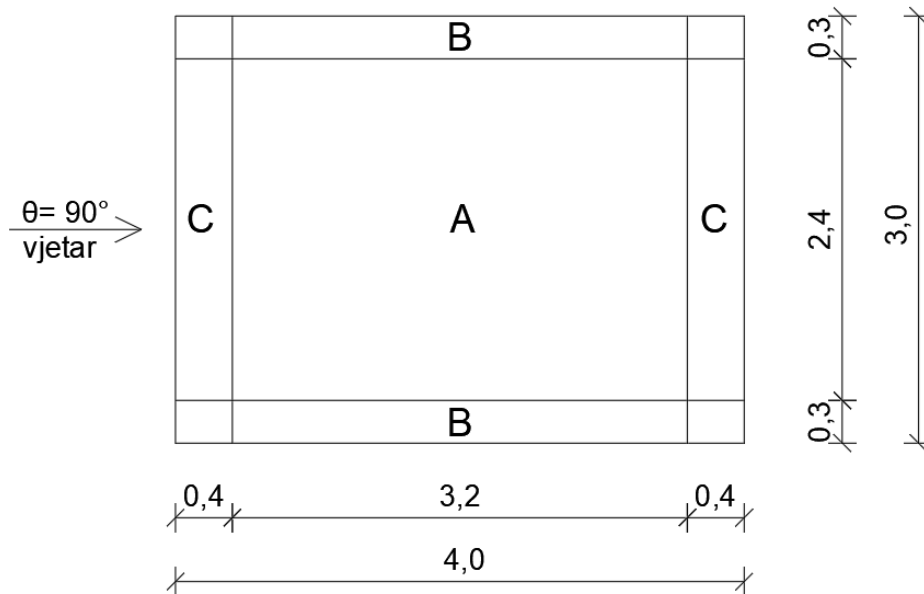
Vanjski longitudinalni pritisak ($\theta=90^\circ$)

Pošto objekt ima samo jedan vertikalni zid, u ovom slučaju, kada vjetar puše pod kutem $\theta=90^\circ$, nema vertikalnog pritiska na taj zid.

Koeficijent vanjskog tlaka za jednostrešni krov nagiba $\alpha = 0^\circ$ i nadstrešnicu (Slika 13) kod koje je slobodan prolaz vjetar ispod ($\varphi = 0$) očitava se iz Tablica 5.



Slika 13: Protok zraka kod nadstrešnice kada ne postoji vertikalna prepreka
(HRN EN-1991-1-4)



Slika 14: Vjetrovne zone za ravni krov nadstrešnice

Koeficijent vanjskog tlaka za jednostrešni krov:

$$\text{Zona A: } c_{pe,A}^{min} = -0,6 \quad c_{pe,A}^{max} = +0,5$$

$$\text{Zona B: } c_{pe,B}^{min} = -1,3 \quad c_{pe,B}^{max} = +1,8$$

$$\text{Zona C: } c_{pe,C}^{min} = -1,4 \quad c_{pe,C}^{max} = +1,1$$

Proračun opterećenja uslijed djelovanja vjetra:

$$w = q_p(z_e) \cdot c_{pe}$$

$$w_A^{min} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,A}^{min} = 0,475 \cdot (-0,6) = -0,29 \text{ kN/m}^2$$

$$w_A^{max} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,A}^{max} = 0,475 \cdot 0,5 = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

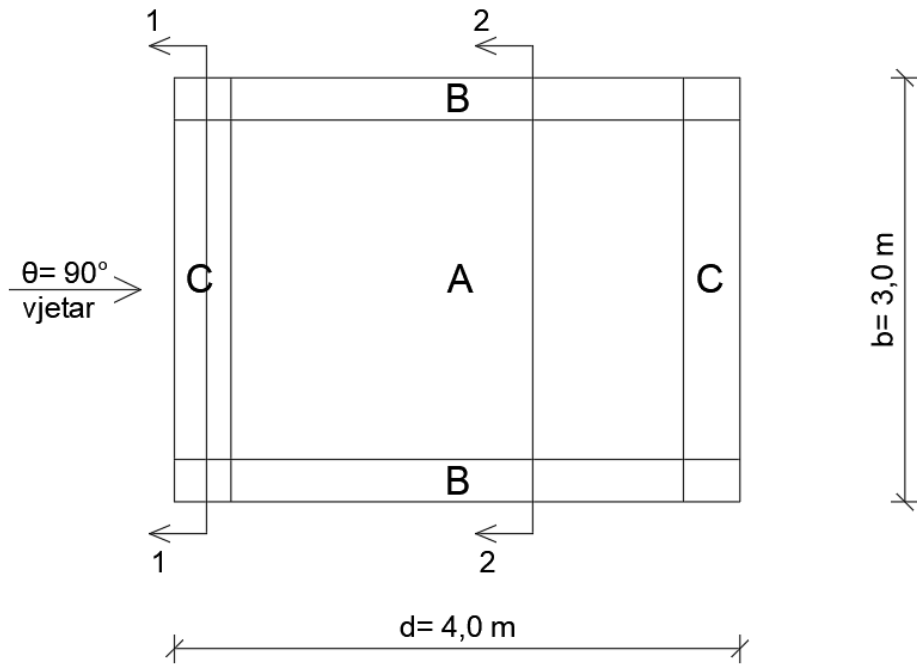
$$w_B^{min} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,B}^{min} = 0,475 \cdot (-1,3) = -0,62 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B^{max} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,B}^{max} = 0,475 \cdot 1,8 = 0,86 \text{ kN/m}^2$$

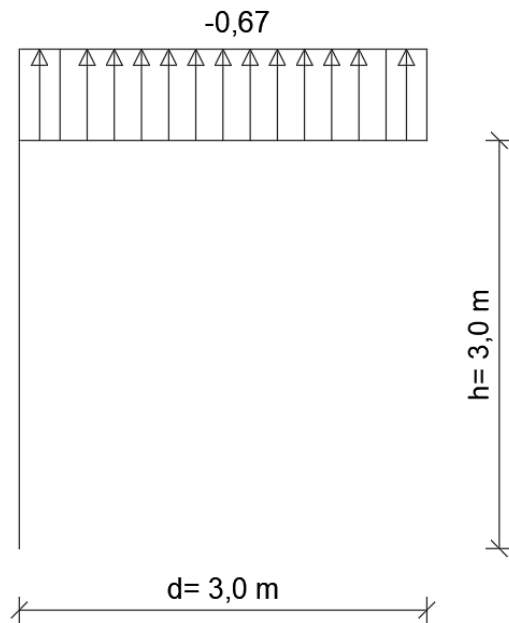
$$w_C^{min} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,C}^{min} = 0,475 \cdot (-1,4) = -0,67 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C^{max} = q_p(z_e) \cdot c_{pe,C}^{max} = 0,475 \cdot 1,1 = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

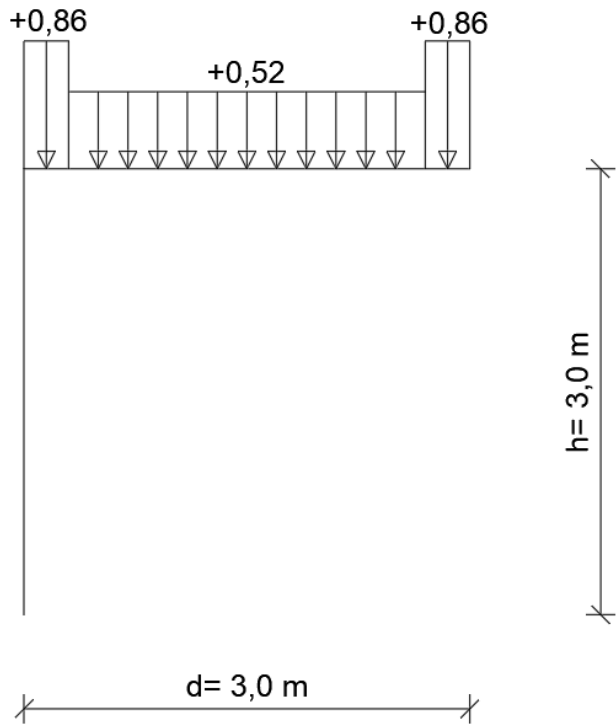
Grafički prikaz opterećenja vjetra ($\theta=90^\circ$)



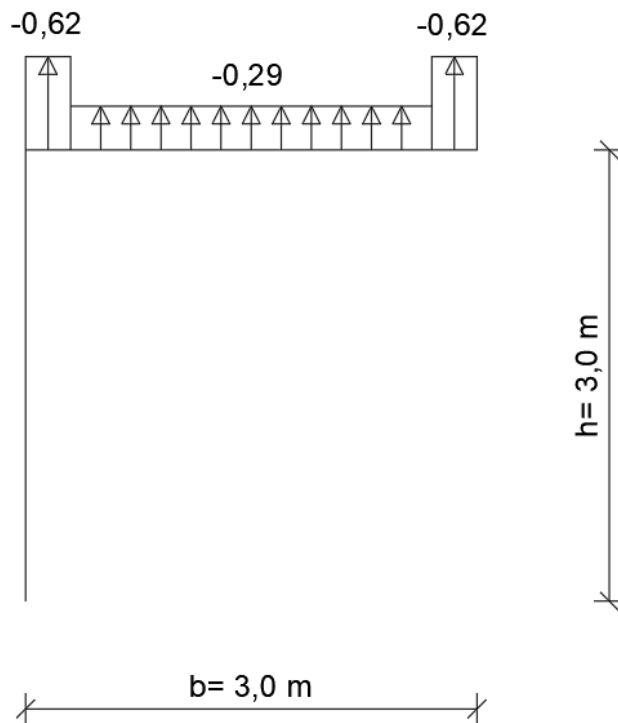
Slika 15: Djelovanje vjetra za slučaj 2



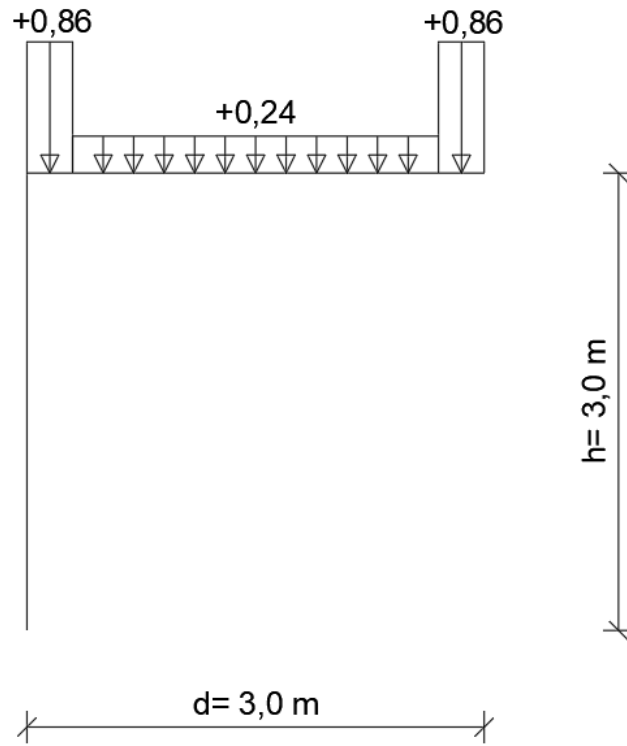
Slika 16: Presjek 1-1 (minimalne vrijednosti)



Slika 17: Presjek 1-1 (maksimalne vrijednosti)



Slika 18: Presjek 2-2 (minimalne vrijednosti)



Slika 19: Presjek 2-2 (maksimalne vrijednosti)

6. MEHANIČKA OTPORNOST I STABILNOST KONSTRUKCIJE

Potrebno je zadovoljiti uvjete mehaničke otpornosti i stabilnosti konstrukcije ovisno o djelovanju na konstrukciju tj. kombinacijama djelovanja za GSU i GSN. Statički proračun je izrađen u programu *Robot Structural Analysis Professional*.

6.1. Plan pozicija

Čelična konstrukcija sastoji se od 3 glavna nosača obrnutog "L" oblika, podrožnica, nosača obloge te horizontalnih i vertikalnih stabilizacijskih vezova između glavnih okvira. Sva tri glavna nosača su jednaka te se sastoje od stupa i grede čiji su profili cijevnog kvadratnog oblika, izvedeni od hladno dogotovljenog čelika, dimenzija 160×160×10 mm. Nosači obloge i nosači pokrova (podrožnice) izvedeni su od cijevnih pravokutnih profila dimenzija 80×40×4 mm, dok su profili stabilizacijskih vezova od punog čelika promjera $\Phi 12$ mm.

Elementi konstrukcije numerirani su na sljedeći način i prikazani na Slika 20:

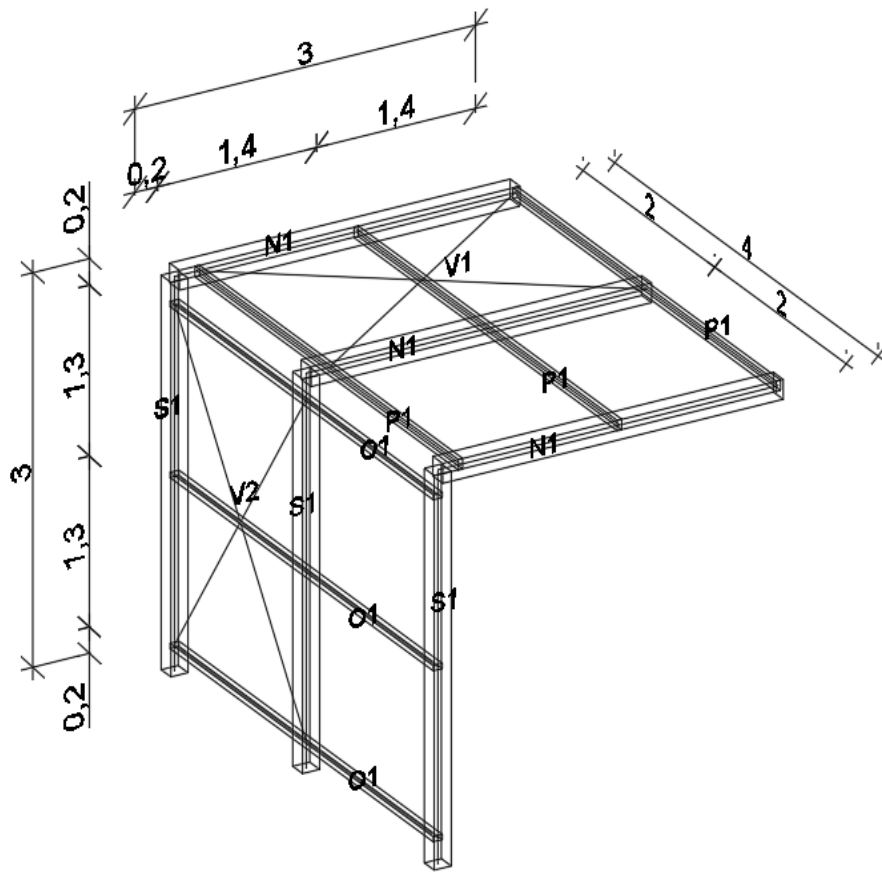
N1 – glavni nosači (grede)

S1 – stupovi

V1 i *V2* – horizontalni i vertikalni vez

P1 – nosači pokrova (podrožnice)

O1 – nosači obloge



Slika 20: Plan pozicija

6.2. Djelovanja na konstrukciju

Prema analizi djelovanja, na konstrukciju djeluju sljedeća opterećenja:

G – vlastita težina konstrukcije, kontinuirano dužno opterećenje
($G = 22,1 \text{ kg/m}$)

p – vlastita težina pokrova, kontinuirano površinsko opterećenje
($P = 0,15 \text{ kN/m}^2$)

s – težina snijega, kontinuirano površinsko opterećenje
($s = 0,6 \text{ kN/m}^2$)

w_1 – vjetar – slučaj 1, kontinuirano površinsko opterećenje

$$w_A^{max} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

$$w_B^{max} = 0,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C^{max} = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

$$w_D = 0,38 \text{ kN/m}^2$$

$$w_E = -0,24 \text{ kN/m}^2$$

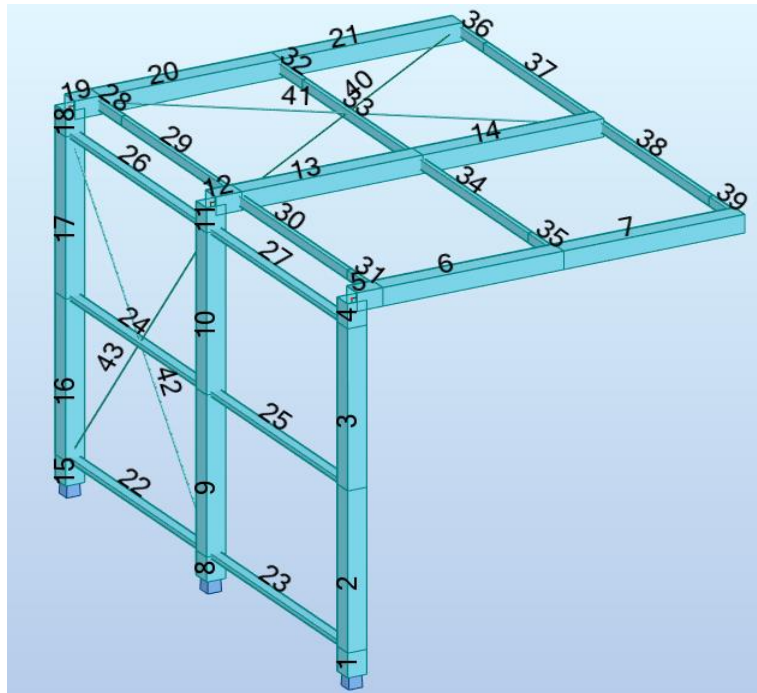
w_2 – vjetar – slučaj 2, kontinuirano površinsko opterećenje

$$w_A^{max} = 0,24 \text{ kN/m}^2$$

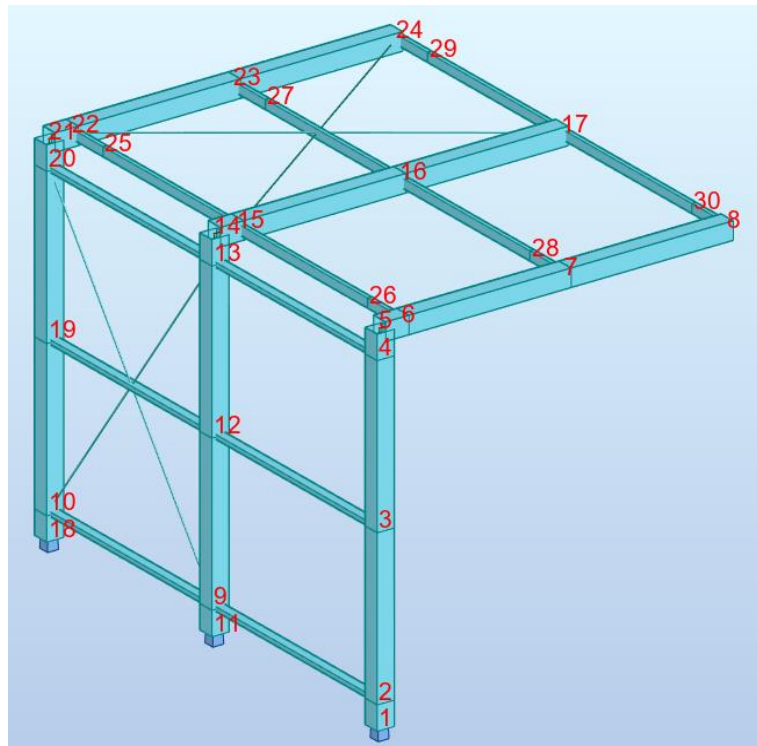
$$w_B^{max} = 0,86 \text{ kN/m}^2$$

$$w_C^{max} = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Proračun stabilnosti konstrukcije proveden je u programu "*Robot Structural Analysis Professional.*" Opterećenja su raspodijeljena kao kontinuirane sile koje djeluju na nosačima obloge i nosačima pokrova. U Robotu je konstrukcija automatski podijeljena na elemente i čvorove čija je numeracija prikazana na Slika 21 i Slika 22.



Slika 21: Numeracija elemenata



Slika 22: Numeracija čvorova

6.3. Kombinacije djelovanja

Karakteristične vrijednosti djelovanja potrebno je pomnožiti s parcijalnim koeficijentima kako bi se dobile proračunske vrijednosti djelovanja. Razlikujemo parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno djelovanje ($\gamma_G = 1,35$) i parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjivo djelovanje ($\gamma_Q = 1,5$).

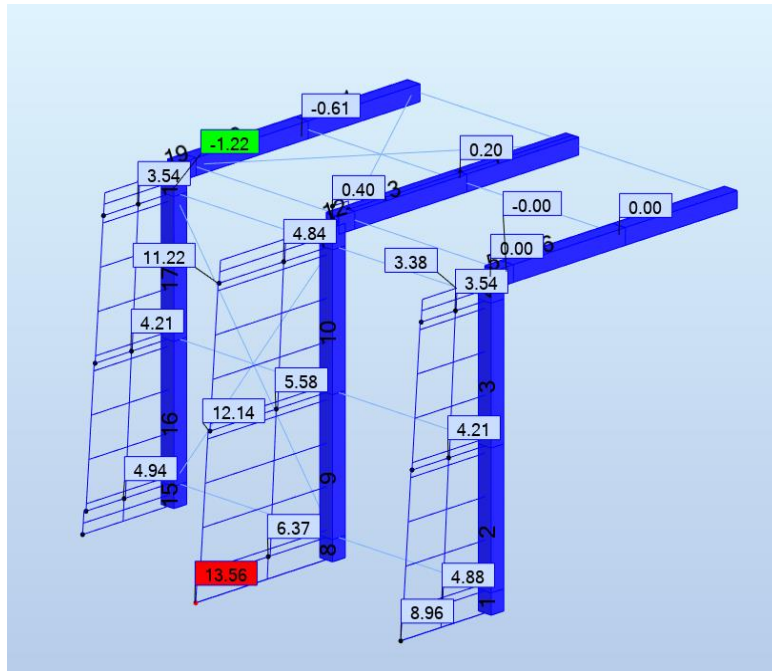
Kod istovremenog djelovanja vjetra i snijega, potrebno je umanjiti manje dominantno proračunsko djelovanje tako da ga pomnožimo sa faktorom kombinacije ψ_0 .

$$\psi_0(\text{vjetar}) = 0,6$$

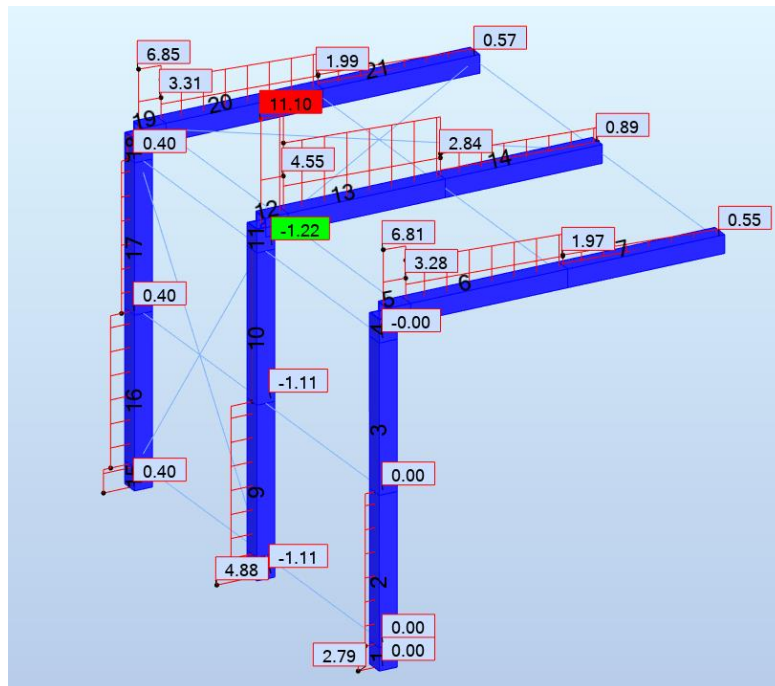
$$\psi_0(\text{snijeg}) = 0,5$$

Kombinacije djelovanja za granično stanje nosivosti (GSN)

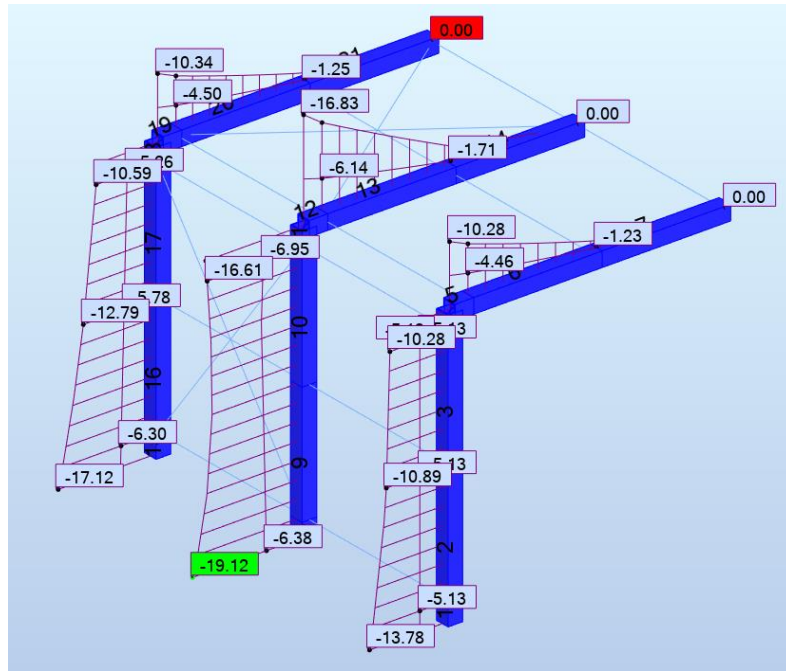
COMB1	$1,35 \cdot (G + p) + 1,50 \cdot (s)$
COMB2	$1,00 \cdot (G + p) + 1,50 \cdot (w1)$
COMB3	$1,00 \cdot (G + p) + 1,50 \cdot (w2)$
COMB4	$1,35 \cdot (G + p) + 1,50 \cdot (s) + 0,6 \cdot 1,50 \cdot (w1)$
COMB5	$1,35 \cdot (G + p) + 1,50 \cdot (s) + 0,6 \cdot 1,50 \cdot (w2)$
COMB6	$1,35 \cdot (G + p) + 0,5 \cdot 1,50 \cdot (s) + 1,50 \cdot (w1)$
COMB7	$1,35 \cdot (G + p) + 0,5 \cdot 1,50 \cdot (s) + 1,50 \cdot (w2)$



Slika 23: Dijagram sila u smjeru osi x za glavne nosače



Slika 24: Dijagram sila u smjeru osi z za glavne nosače



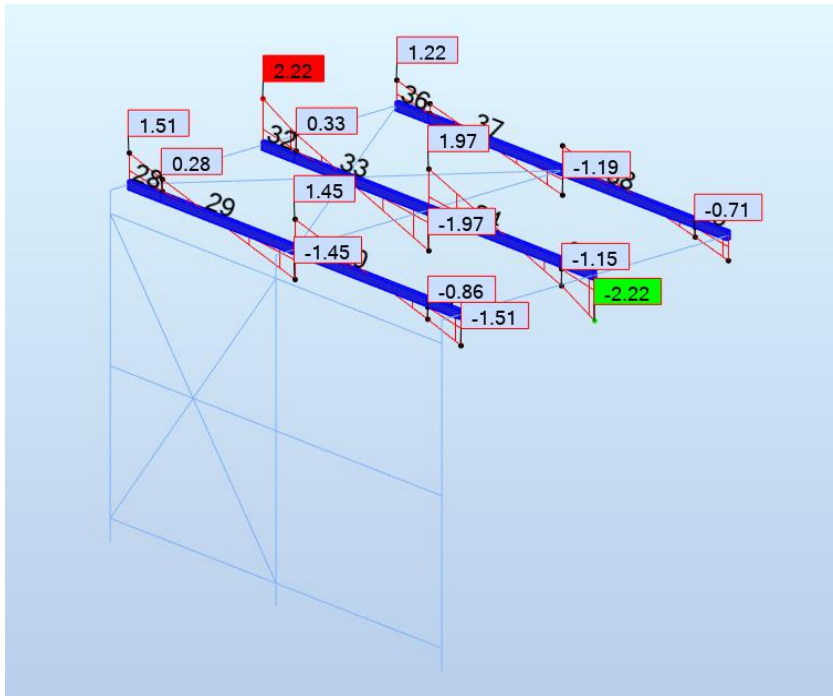
Slika 25: Dijagram momenata savijanja oko osi y za glavne nosače

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	13.56	0.08	4.88	-0.35	-6.15	0.02
Member	8	18	8	18	4	8
Node	11	20	11	20	5	11
Case	10 (C)	9 (C)	7 (C)	8 (C)	8 (C)	10 (C)
MIN	4.04	-0.09	-1.22	-0.81	-19.12	-0.02
Member	4	4	11	1	8	3
Node	5	4	13	1	11	4
Case	8 (C)	9 (C)	9 (C)	9 (C)	11 (C)	9 (C)

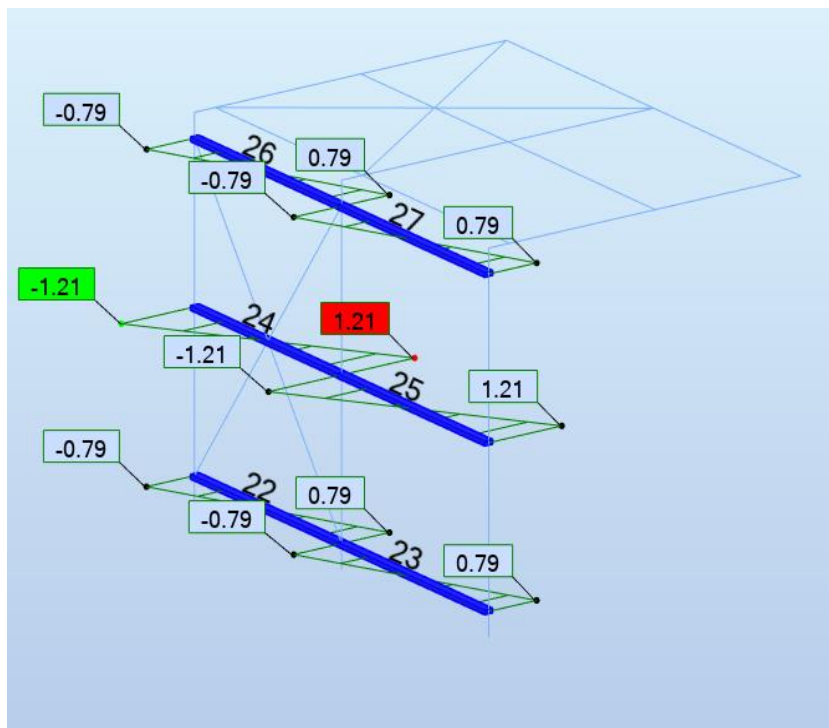
Tablica 6: Maksimalne sile u stupovima

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	1.22	0.08	11.10	0.00	0.00	0.00
Member	12	19	12	5	21	14
Node	14	21	14	5	24	17
Case	9 (C)	9 (C)	10 (C)	10 (C)	9 (C)	7 (C)
MIN	-1.22	-0.30	0.74	-0.00	-16.83	-0.83
Member	19	20	7	12	12	20
Node	21	22	8	14	14	22
Case	9 (C)	9 (C)	7 (C)	9 (C)	10 (C)	9 (C)

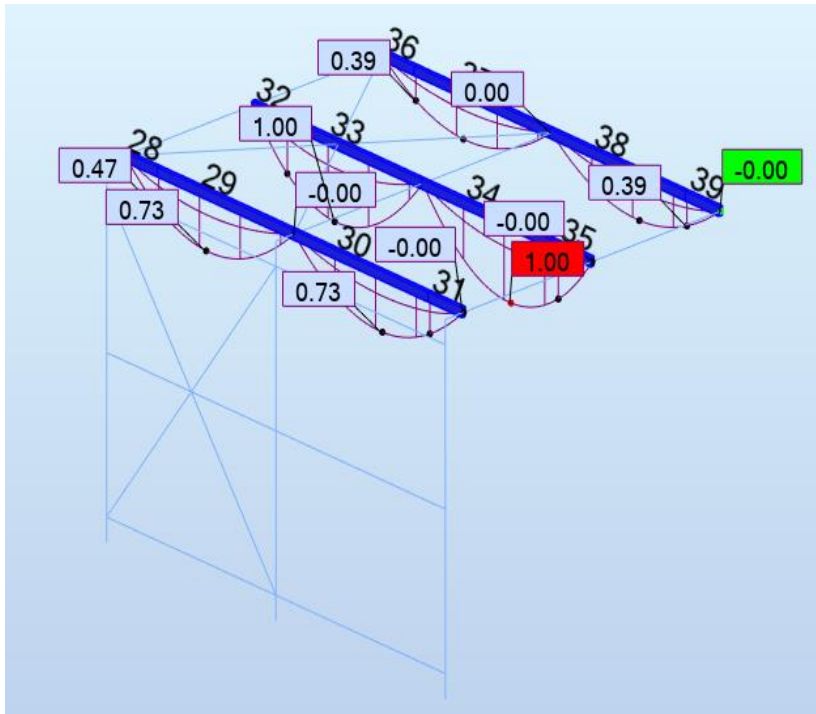
Tablica 7: Maksimalne sile u gredama



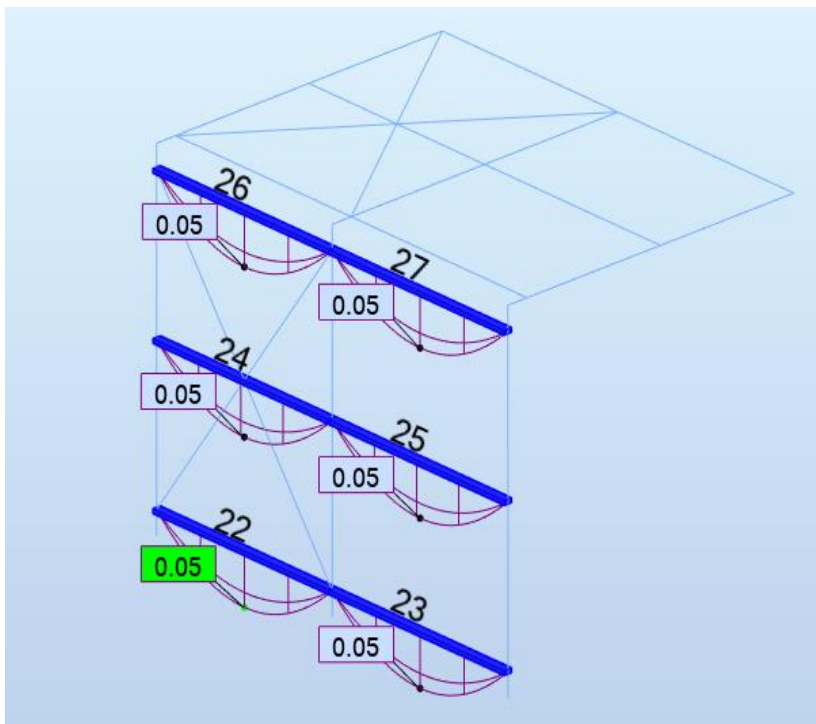
Slika 26: Dijagram sila u smjeru osi z za nosače pokrova



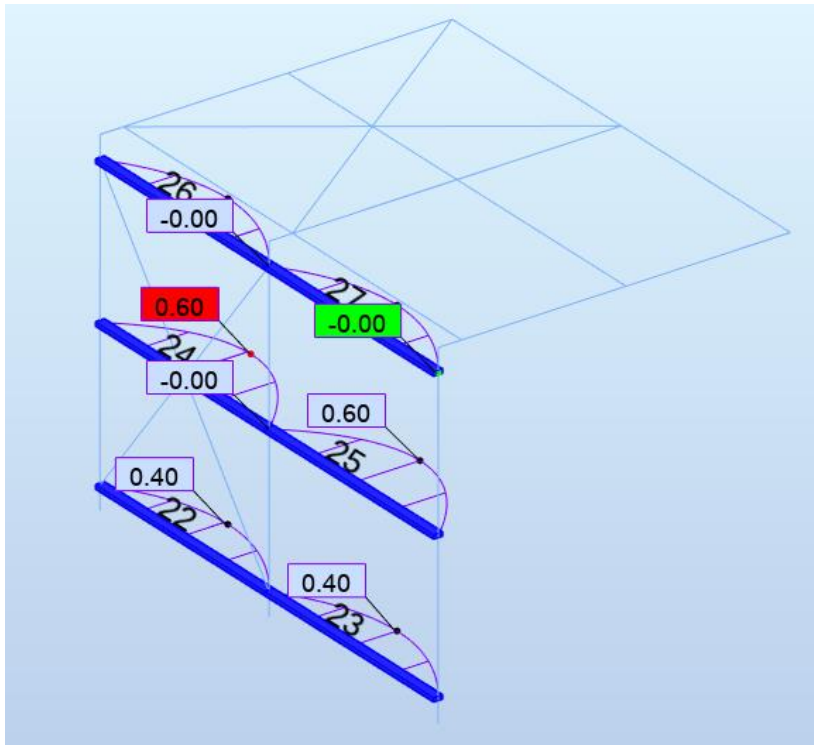
Slika 27: Dijagram sila u smjeru osi y za nosače obloge



Slika 28: Dijagram momenata savijanja oko osi y za nosače pokrova



Slika 29: Dijagram momenata savijanja oko osi y za nosače obloge



Slika 30: Dijagram momenata savijanja oko osi z za nosače obloge

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	0.19	0.00	2.22	0.0	0.67	0.00
Member	31	36	32	28	35	33
Node	26	24	23	22	28	27
Case	9 (C)	9 (C)	9 (C)	6 (C)	9 (C)	11 (C)
MIN	-0.29	-0.00	-2.22	0.0	0.0	-0.00
Member	39	28	35	28	28	36
Node	30	22	7	22	22	29
Case	9 (C)	11 (C)	9 (C)	6 (C)	6 (C)	9 (C)

Tablica 8: Maksimalne sile nosača pokrova

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	0.11	1.21	0.09	0.0	0.0	0.0
Member	27	24	22	22	22	22
Node	13	12	10	10	10	10
Case	9 (C)	7 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)
MIN	-0.01	-1.21	-0.09	0.0	0.0	0.0
Member	24	24	22	22	22	22
Node	19	19	9	10	10	10
Case	9 (C)	7 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)	6 (C)

Tablica 9: Maksimalne sile nosača obloge

Kombinacije djelovanja za granično stanje uporabivosti (GSU)

COMB8	$1,00 \cdot (G + p) + 1,00 \cdot (s)$
COMB9	$1,00 \cdot (G + p) + 1,00 \cdot (w1)$
COMB10	$1,00 \cdot (G + p) + 1,00 \cdot (w2)$
COMB11	$1,00 \cdot (G + p) + 1,00 \cdot (s) + 0,6 \cdot 1,00 \cdot (w1)$
COMB12	$1,00 \cdot (G + p) + 1,00 \cdot (s) + 0,6 \cdot 1,00 \cdot (w2)$
COMB13	$1,00 \cdot (G + p) + 0,5 \cdot 1,00 \cdot (s) + 1,00 \cdot (w1)$
COMB14	$1,00 \cdot (G + p) + 0,5 \cdot 1,00 \cdot (s) + 1,00 \cdot (w2)$

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	11	2	0.0	0.005	0.010	0.001
Node	14	24	1	29	17	24
Case	16 (C)	16 (C)	13 (C)	17 (C)	16 (C)	16 (C)
MIN	0.0	-0	-27	-0.006	0.0	-0.002
Node	1	21	17	30	1	26
Case	13 (C)	17 (C)	16 (C)	17 (C)	13 (C)	16 (C)

Tablica 10: Maksimalni pomak (ukupno opterećenje)

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)	RX (Rad)	RY (Rad)	RZ (Rad)
MAX	7	2	0.0	0.004	0.006	0.001
Node	14	24	1	29	17	24
Case	16 (C)	16 (C)	13 (C)	17 (C)	16 (C)	16 (C)
MIN	0.0	-0	-18	-0.005	0.0	-0.001
Node	1	21	17	30	1	26
Case	13 (C)	17 (C)	16 (C)	17 (C)	13 (C)	16 (C)

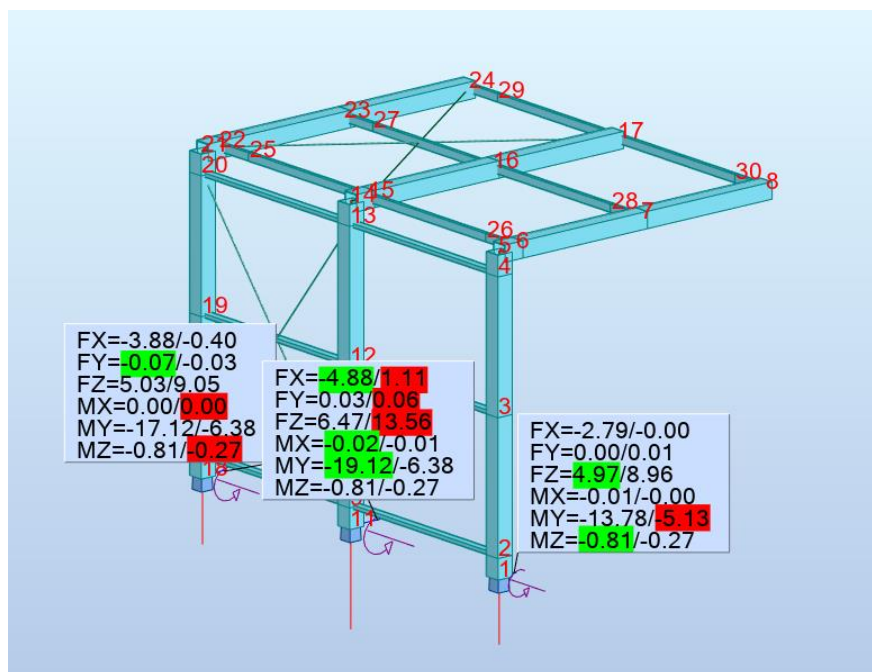
Tablica 11: Maksimalni pomak (promjenjivo opterećenje)

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
MAX	0	1	1
Member	9	25	9
Case	13 (C)	18 (C)	16 (C)
MIN	-0	-0	-1
Member	19	20	34
Case	17 (C)	16 (C)	16 (C)

Tablica 12: Maksimalni progib (ukupno opterećenje)

	UX (mm)	UY (mm)	UZ (mm)
MAX	0	1	0
Member	12	24	9
Case	16 (C)	14 (C)	16 (C)
MIN	-0	-0	-1
Member	21	20	34
Case	17 (C)	16 (C)	16 (C)

Tablica 13: Maksimalni progib (promjenjivo opterećenje)



Slika 31: Reakcije u osloncima

	FX (kN)	FY (kN)	FZ (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)
MAX	1.11	0.06	13.56	0.00	-0.68	-0.04
Node	11	11	11	18	1	18
Case	10 (C)	10 (C)	10 (C)	11 (C)	2	1
MIN	-4.88	-0.07	0.45	-0.02	-19.12	-0.81
Node	11	18	1	11	11	1
Case	7 (C)	10 (C)	2	10 (C)	11 (C)	9 (C)

Tablica 14: Reakcije u osloncima

7. DIMENZIONIRANJE ELEMENATA ZA GSN I GSU

Dimenzioniranje elemenata provodi se za granično stanje uporabljivosti i za granično stanje nosivosti. Za GSN su klasificirani poprečni presjeci elemenata te je proračunata otpornost poprečnih presjeka i otpornost samog elementa s obzirom na način opterećenja. Što se tiče GSN, provjereni su i zadovoljeni maksimalni progibi i pomaci za promjenjivo i stalno opterećenje.

7.1. Provjera za GSN

7.1.1. Stup

Vrsta opterećenja: savijanje + tlak + poprečna sila

Najveće vrijednosti uzdužnih sila:

Element br. 8 $N_{Ed} = 4,88 \text{ kN}$ (tlak)

Najveće vrijednosti poprečnih sila:

Element br. 8 $V_{Ed} = 13,56 \text{ kN}$

Najveće vrijednosti momenata savijanja:

Element br.8 $M_{Ed} = -19,12 \text{ kNm}$

Klasa čelika: S355

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = 0,81$$

Profil	Dimenzije poprečnog presjeka						Statičke veličine			Konstante	
	G kg/m	A cm ²	h mm	b mm	t mm	r mm	I cm ⁴	W cm ³	W _{pl} cm ³	I _t cm ⁴	W _t cm ³
kvadratni hladno dogotovljeni 160×160×10	43,7	55,7	160	160	10	5	1990	249	304	3482	450

Tablica 15: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka stupa

Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT (unutarnji element)

Uvjet za klasu 1:

$$\alpha > 0,5: \frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\alpha \leq 0,5: \frac{c}{t} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

Proračun "α":

$$N_{Ed} = N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(2a \cdot t_w) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{\frac{2 \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{4,88}{\frac{2 \cdot 1 \cdot 35,5}{1,0}} = 0,069 \text{ cm}$$

$$\alpha \cdot d = \frac{d}{2} + a$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{130} \left(\frac{130}{2} + 0,69 \right) = 0,51 > 0,5$$

$$d = c = h - 3t = 160 - 3 \cdot 10 = 130 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{d}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\frac{130}{10} \leq \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,51 - 1}$$

$$13 < 56,97 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Hrbat je klasa 1.

POJASNICA (unutarnji element)

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$
$$\frac{b - 3 \cdot t}{t} \leq 33 \cdot \varepsilon$$
$$\frac{160 - 3 \cdot 10}{10} \leq 33 \cdot 0,81$$
$$13 < 26,73 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Pojasnice su klasa 1.

Poprečni presjek je klasa 1.

Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{55,7 \cdot 35,5}{1,0} = 1977,35 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$4,88 \text{ kN} < 1977,35 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{304 \cdot 35,5}{1,0} = 10792 \text{ kNcm} = 107,92 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$
$$19,12 \text{ kNm} < 107,92 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost poprečnog presjeka na posmik

Provjera izbočavanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$
$$\frac{h - 2t}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$
$$\frac{160 - 2 \cdot 10}{10} \leq 72 \cdot \frac{0,81}{1,2}$$
$$14 < 48,6$$

ZADOVOLJAVA – neće doći do izbočavanja hrpta!

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{38,4 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 787,04 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t + (2 \cdot t + 2 \cdot r) \cdot t \geq \eta \cdot h \cdot 2 \cdot t$$
$$55,7 - 2 \cdot 16 \cdot 1 + (2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5) \cdot 1 \geq 1,2 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 1$$

$$26,7 \text{ cm}^2 < 38,4 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 38,4 \text{ cm}^2$$

Interakcija M-V

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,Rd}$$

$$13,56 \leq 0,5 \cdot 787,04$$

$$13,56 \text{ kN} < 393,52 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Interakcija M-N

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$$

$$4,88 \leq 0,25 \cdot 1977,35$$

$$4,88 \text{ kN} < 494,34 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$4,88 \leq \frac{0,5 \cdot (16 - 2 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 35,5}{1,0}$$

$$4,88 \text{ kN} < 248,5 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Oko osi y

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$I = 1990 \text{ cm}^4$$

$$l_{cr} = 2 \cdot l = 2 \cdot 300 = 600 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,49$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1990}{600^2} = 1145,7 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{55,7 \cdot 35,5}{1145,7}} = 1,31$$

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,31 - 0,2) + 1,31^2] = 1,63$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,63 + \sqrt{1,63^2 - 1,31^2}} = 0,38$$

Oko osi z

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$I = 970 \text{ cm}^4$$

$$l_{cr} = l = 130 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,49$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 970}{130^2} = 24405,37 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{55,7 \cdot 35,5}{24405,37}} = 0,28$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,28 - 0,2) + 0,28^2] = 0,56$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,28^2}} = 0,96$$

$$\chi = \min(\chi_y, \chi_z) = 0,38$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,38 \cdot \frac{55,7 \cdot 35,5}{1,1} = 683,08 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$4,88 \text{ kN} < 683,08 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost elemenata na bočno torzijsko izvijanje

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I = 1990 \text{ cm}^4$$

$$L = 130 \text{ cm}$$

$$I_t = 3482 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0,49$$

$$W_{pl} = 304 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I}} \right]$$

Kritični momenti $M_1 = -19,12 \text{ kNm}$, $M_2 = -6,95 \text{ kNm}$ (srednji stup)

$$\psi = \frac{M_2}{M_1} = \frac{-6,95}{-19,12} = 0,36$$

$$C_1 = 1,52$$

$$I_w = \frac{t \cdot b^3}{24} \cdot (h - t)^2 = \frac{1 \cdot 16^3}{24} \cdot (16 - 1)^2 = 38400 \text{ cm}^4$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I}} \right]$$

$$= 1,52 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1990}{130^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{38400}{1990} + \frac{130^2 \cdot 8077 \cdot 3482}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1990}} \right] = 1269789,52 \text{ kNcm}$$

$$\chi_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{304 \cdot 35,5}{1269789,52}} = 0,09 < 0,4 \rightarrow \chi = 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot \frac{304 \cdot 35,5}{1,1} = 9810,91 \text{ kNcm} = 98,11 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$$

$$19,12 \text{ kNm} < 98,11 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

7.1.2. Greda

Vrsta opterećenja: savijanje + tlak + poprečna sila

Najveće vrijednosti uzdužnih sila:

Element br. 12 $N_{Ed} = 1,22 \text{ kN (tlak)}$

Najveća vrijednost poprečnih sila:

Element br. 12 $V_{Ed} = 11,10 \text{ kN}$

Najveće vrijednosti momenata savijanja:

Element br. 12 $M_{Ed} = -16,83 \text{ kNm}$

Klasa čelika: S355

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = 0,81$$

Profil	Dimenzije poprečnog presjeka						Statičke veličine			Konstante	
	G kg/m	A cm ²	h mm	b mm	t mm	r mm	I cm ⁴	W cm ³	W _{pl} cm ³	I _t cm ⁴	W _t cm ³
kvadratni hladno dogotovljeni 160×160×10	43,7	55,7	160	160	10	5	1990	249	304	3482	450

Tablica 16: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka grede

Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT (unutarnji element)

Uvjet za klasu 1:

$$\alpha > 0,5: \frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\alpha \leq 0,5: \frac{c}{t} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

Proračun "α":

$$N_{Ed} = N_{pl.Rd}$$
$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(2a \cdot t_w) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$a = \frac{N_{Ed}}{\frac{2 \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{1,22}{\frac{2 \cdot 1 \cdot 35,5}{1,0}} = 0,017 \text{ cm}$$

$$\alpha \cdot d = \frac{d}{2} + a$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{130} \left(\frac{130}{2} + 0,17 \right) = 0,5$$

$$d = c = h - 3t = 160 - 3 \cdot 10 = 130 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

$$\frac{d}{t} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

$$\frac{130}{10} \leq \frac{36 \cdot 0,81}{0,5}$$

$$13 < 58,32 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Hrbat je klasa 1.

POJASNICA (unutarnji element)

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{b - 3 \cdot t}{t} \leq 33\varepsilon$$

$$\frac{160 - 3 \cdot 10}{10} \leq 33 \cdot 0,81$$

$$13 < 26,73 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Pojasnice su klasa 1.

Poprečni presjek je klasa 1.

Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{55,7 \cdot 35,5}{1,0} = 1977,35 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$1,22 \text{ kN} < 1977,35 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{304 \cdot 35,5}{1,0} = 10792 \text{ kNcm} = 107,92 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$16,83 \text{ kNm} < 107,92 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost poprečnog presjeka na posmik

Provjera izbočavanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h - 2t}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{160 - 2 \cdot 10}{10} \leq 72 \cdot \frac{0,81}{1,2}$$

$$14 < 48,6 \quad \text{ZADOVOLJAVA} - \text{ neće doći do izbočavanja hrpta!}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{38,4 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 787,04 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t + (2 \cdot t + 2 \cdot r) \cdot t \geq \eta \cdot h \cdot 2 \cdot t$$

$$55,7 - 2 \cdot 16 \cdot 1 + (2 \cdot 1 + 2 \cdot 0,5) \cdot 1 \geq 1,2 \cdot 16 \cdot 2 \cdot 1$$

$$26,7 \text{ cm}^2 \leq 38,4 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 38,4 \text{ cm}^2$$

Interakcija M-V

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,Rd}$$

$$11,10 \leq 0,5 \cdot 787,04$$

$$11,10 \text{ kN} < 393,52 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Interakcija M-N

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$$

$$1,22 \leq 0,25 \cdot 1977,35$$

$$1,22 \text{ kN} < 494,34 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$1,22 \leq \frac{0,5 \cdot (16 - 2 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 35,5}{1,0}$$

$$1,22 \text{ kN} < 248,5 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Oko osi y

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I = 1990 \text{ cm}^4$$

$$l_{cr} = 2 \cdot l = 2 \cdot 300 = 600 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,49$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1990}{600^2} = 1145,7 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{55,7 \cdot 35,5}{1145,7}} = 1,31$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,31 - 0,2) + 1,31^2] = 1,63$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,63 + \sqrt{1,63^2 - 1,31^2}} = 0,38$$

Oko osi z

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I = 1990 \text{ cm}^4$$

$$l_{cr} = l = 140 = 140 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,49$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1990}{140^2} = 21043,41 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{55,7 \cdot 35,5}{21043,41}} = 0,31 < 0,4 \rightarrow \chi_z = 1$$

$$\chi = \min(\chi_y, \chi_z) = 0,38$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,38 \cdot \frac{55,7 \cdot 35,5}{1,1} = 683,08 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$1,22 \text{ kN} < 683,08 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost elemenata na bočno torzijsko izvijanje

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I = 1990 \text{ cm}^4$$

$$L = 140 \text{ cm}$$

$$I_t = 3482 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0,49$$

$$W_{pl} = 304 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I}} \right]$$

Kritični momenti $M_1 = -16,83 \text{ kNm}$, $M_2 = 0 \text{ kNm}$ (greda u sredini)

$$\psi = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0}{-16,83} = 0$$

$$C_1 = 1,77$$

$$I_w = \frac{t \cdot b^3}{24} \cdot (h - t)^2 = \frac{1 \cdot 16^3}{24} \cdot (16 - 1)^2 = 38400 \text{ cm}^4$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \left[\sqrt{\frac{I_w}{I} + \frac{L^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I}} \right]$$

$$= 1,77 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1990}{140^2} \cdot \left[\sqrt{\frac{38400}{1990} + \frac{140^2 \cdot 8077 \cdot 3482}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 1990}} \right] = 1371461,21 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{304 \cdot 35,5}{1371461,21}} = 0,09 < 0,4 \rightarrow \chi = 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot \frac{304 \cdot 35,5}{1,1} = 9810,91 \text{ kNcm} = 98,11 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$$

$$16,83 \text{ kNm} < 98,11 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

7.1.3. Nosač pokrova

Vrsta opterećenja: moment savijanja + poprečna sila

Najveće vrijednosti poprečnih sila:

Element br. 32 $V_{Ed} = 2,22 \text{ kN}$

Najveće vrijednosti momenata savijanja:

Element br. 34 $M_{Ed} = 1,0 \text{ kNm}$

Klasa čelika: S355

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = 0,81$$

Profil			Dimenzije poprečnog presjeka				Statičke veličine						Konstante	
	G	A	h	b	t	r	I_y	W_y	$W_{pl,y}$	I_z	W_z	$W_{pl,z}$	I_t	W_t
	kg/m	cm ²	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³
pravokutni hladno dogotovljeni	6,71	8,55	80	40	4	8	64,8	16,2	20,9	21,5	10,7	12,8	55,2	21,9

Tablica 17: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka nosača pokrova

Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT (unutarnji element)

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{h - 2t - 2r}{t} \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{80 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 8}{4} = \frac{56}{4} \leq 72 \cdot 0,81$$

$$14 < 58,32 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Hrbat je klasa 1.

POJASNICA (unutarnji element: gornja opterećena na tlak)

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$
$$\frac{b - 2 \cdot t - 2 \cdot r}{t} \leq 33\varepsilon$$
$$\frac{40 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 8}{4} = \frac{16}{4} \leq 33 \cdot 0,81$$
$$4 < 26,73 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Pojasnica je klasa 1.

Poprečni presjek je klasa 1.

Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20,9 \cdot 35,5}{1,0} = 741,95 \text{ kNcm} = 7,42 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$
$$1,0 \text{ kNm} < 7,42 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost poprečnog presjeka na posmik

Provjera izbočavanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$
$$\frac{h - 2t}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$
$$\frac{80 - 2 \cdot 4}{4} \leq 72 \cdot \frac{0,81}{1,2}$$
$$18 < 48,6 \quad \text{ZADOVOLJAVA} - \text{ neće doći do izbočavanja hrpta!}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7,68 \cdot 35}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 155,19 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t + (2 \cdot t + 2 \cdot r) \cdot t \geq \eta \cdot h \cdot 2 \cdot t$$

$$8,55 - 2 \cdot 4 \cdot 0,4 + (2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,8) \cdot 0,4 \geq 1,2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 0,4$$

$$6,31 \text{ cm}^2 \leq 7,68 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 7,68 \text{ cm}^2$$

Interakcija M-V

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,Rd}$$

$$2,22 \leq 0,5 \cdot 155,19$$

$$2,22 \text{ kN} < 77,6 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost elemenata na bočno torzijsko izvijanje

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$I_z = 21,5 \text{ cm}^4$$

$$I_t = 55,2 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0,49$$

$$W_{y,pl} = 20,9 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,45$$

$$k = k_w = 1$$

$$z_g = \frac{h}{2} = 4 \text{ cm}$$

$$I_w = \frac{t \cdot b^3}{24} \cdot (h - t)^2 = \frac{0,4 \cdot 4^3}{24} \cdot (8 - 0,4)^2 = 61,61 \text{ cm}^4$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1,13 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 21,5}{(1 \cdot 200)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \frac{61,61}{21,5} + \frac{(1 \cdot 200)^2 \cdot 8077 \cdot 55,2}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 21,5} + (0,45 \cdot 4)^2} - 0,45 \cdot 4 \right] = 7743,3 \text{ kNcm}$$

$$\chi_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{20,9 \cdot 35,5}{7743,3}} = 0,31 < 0,4 \rightarrow \chi = 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1 \cdot \frac{20,9 \cdot 35,5}{1,1} = 674,5 \text{ kNcm} = 6,75 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$$

$$1,0 \text{ kNm} < 6,75 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

7.1.4. Nosač obloge

Vrsta opterećenja: uzdužna sila + poprečna sila + moment savijanja

Najveće vrijednosti uzdužnih sile:

Element br. 24 $N_{Ed} = 1,21 \text{ kN (tlak)}$

Najveće vrijednosti poprečnih sila:

Element br. 22 $V_{Ed} = 0,09 \text{ kN}$

Najveće vrijednosti momenata savijanja:

Element br. 24 $M_{Ed} = 0,6 \text{ kNm}$

Klasa čelika: S355

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_u = 510 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = 0,81$$

Profil	Dimenzije poprečnog presjeka						Statičke veličine						Konstante	
	G kg/m	A cm ²	h mm	b mm	t mm	r mm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	W _{pl,y} cm ³	I _z cm ⁴	W _z cm ³	W _{pl,z} cm ³	I _t cm ⁴	W _t cm ³
pravokutni hladno dogotovljeni	6,71	8,55	80	40	4	8	21,5	10,7	12,8	64,8	16,2	20,9	55,2	21,9

Tablica 18: Geometrijske karakteristike i statičke veličine poprečnog presjeka nosača obloge

Klasifikacija poprečnog presjeka

HRBAT (unutarnji element)

Uvjet za klasu 1:

$$\alpha > 0,5: \frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\alpha \leq 0,5: \frac{c}{t} \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$$

Proračun "α":

$$N_{Ed} = N_{pl.Rd}$$
$$N_{Ed} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(2a \cdot t_w) \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$a = \frac{N_{Ed}}{\frac{2 \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{1,21}{\frac{2 \cdot 0,4 \cdot 35,5}{1,0}} = 0,04 \text{ cm}$$
$$\alpha \cdot d = \frac{d}{2} + a$$
$$\alpha = \frac{1}{d} \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{16} \left(\frac{16}{2} + 0,4 \right) = 0,53 > 0,5$$
$$d = h - 2t - 2r = 40 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 8 = 16 \text{ mm}$$
$$\frac{c}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$
$$\frac{h - 2t - 2r}{t} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$
$$\frac{40 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 8}{4} \leq \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,53 - 1}$$
$$4 < 54,46 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Hrbat je klasa 1.

POJASNICA (unutarnji element)

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t} \leq 33\varepsilon$$
$$\frac{b - 2t - 2r}{t} \leq 33\varepsilon$$
$$\frac{80 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 8}{4} \leq 33 \cdot 0,81$$
$$14 < 26,73 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Pojasnice su klasa 1.

Poprečni presjek je KLASA 1.

Otpornost poprečnog presjeka

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{8,55 \cdot 35,5}{1,0} = 303,53 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd}$$

$$1,21 \text{ kN} < 303,53 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{12,8 \cdot 35,5}{1,0} = 454,4 \text{ kNcm} = 4,54 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$$

$$0,6 \text{ kNm} < 4,54 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost poprečnog presjeka na posmik

Provjera izbočavanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h - 2t}{t} \leq 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{40 - 2 \cdot 4}{4} \leq 72 \cdot \frac{0,81}{1,2}$$

$$8 < 48,6 \quad \text{ZADOVOLJAVA} - \text{ neće doći do izbočavanja hrpta!}$$

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3,84 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 78,7 \text{ kN}$$

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t + (2 \cdot t + 2 \cdot r) \cdot t \geq \eta \cdot h \cdot 2 \cdot t$$

$$8,55 - 2 \cdot 8 \cdot 0,4 + (2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,8) \cdot 0,4 \geq 1,2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 0,4$$

$$3,11 \text{ cm}^2 < 3,84 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 3,84 \text{ cm}^2$$

Interakcija M-V

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,Rd}$$

$$0,09 \leq 0,5 \cdot 78,7$$

$$0,09 \text{ kN} < 39,35 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Interakcija M-N

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd}$$

$$1,21 \leq 0,25 \cdot 303,53$$

$$1,21 \text{ kN} < 75,88 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$1,21 \leq \frac{0,5 \cdot (4 - 2 \cdot 0,4) \cdot 0,4 \cdot 35,5}{1,0}$$

$$1,21 \text{ kN} < 22,72 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost elementa na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \chi \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

Oko osi y

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I_y = 64,8 \text{ cm}^4$$

$$l_{cr} = l = 200 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,49$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 64,8}{200^2} = 335,76 \text{ kN}$$

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,55 \cdot 35,5}{335,76}} = 0,95$$

$$\Phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,95 - 0,2) + 0,95^2] = 1,14$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{1,14 + \sqrt{1,14^2 - 0,95^2}} = 0,61$$

Oko osi z

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I_z = 21,5 \text{ cm}^4$$

$$l_{cr} = l = 200 \text{ cm}$$

$$\alpha = 0,49$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 21,5}{200^2} = 111,4 \text{ kN}$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{8,55 \cdot 35,5}{111,4}} = 1,65$$

$$\Phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,2) + \lambda^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,65 - 0,2) + 1,65^2] = 2,2$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = \frac{1}{2,2 + \sqrt{2,2^2 - 1,65^2}} = 0,27$$

$$\chi = \min(\chi_y, \chi_z) = 0,27$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,27 \cdot \frac{8,55 \cdot 35,5}{1,1} = 74,5 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$$

$$1,21 \text{ kN} < 74,5 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost elemenata na bočno torzijsko izvijanje

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$E = 21000 \text{ kN/cm}^2$$

$$I_z = 64,8 \text{ cm}^4$$

$$L = 200 \text{ cm}$$

$$I_t = 55,2 \text{ cm}^4$$

$$\alpha = 0,49$$

$$W_{pl,y} = 12,8 \text{ cm}^3$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$C_1 = 1,13$$

$$C_2 = 0,45$$

$$k = k_w = 1$$

$$z_g = \frac{h}{2} = 2 \text{ cm}$$

$$I_w = \frac{t \cdot b^3}{24} \cdot (h - t)^2 = \frac{0,4 \cdot 8^3}{24} \cdot (4 - 0,4)^2 = 110,59 \text{ cm}^4$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)} = \frac{21000}{2 \cdot (1 + 0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot L)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w}\right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} - C_2 \cdot z_g \right]$$

$$M_{cr} = 1,13 \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 21,5}{(1 \cdot 200)^2} \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1}\right)^2 \frac{110,59}{64,8} + \frac{(1 \cdot 200)^2 \cdot 8077 \cdot 55,2}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 64,8} + (0,45 \cdot 2)^2} - 0,45 \cdot 2 \right] = 4478,3 \text{ kNcm}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{12,8 \cdot 35,5}{4478,3}} = 0,32 < 0,4 \rightarrow \chi = 1$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1,0 \cdot \frac{12,8 \cdot 35,5}{1,1} = 413,09 \text{ kNcm} = 4,13 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd}$$

$$0,6 \text{ kNm} < 4,13 \text{ kNm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

7.1.5. Vjetrovni vez

Vrsta opterećenja: uzdužna sila

Najveća vrijednost uzdužne sile:

Element br. 41 $N_{Ed} = -0,03 \text{ kN (vlak)}$

Klasifikacija poprečnog presjeka

Klasifikacija poprečnog presjeka se ne provodi za vlačne elemente, poprečni presjek je klasa 1.

Otpornost vlačnog elementa spojenog zavarom

$$A = 1,13 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,13 \cdot 355}{1,0} = 40,12 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

$$0,03 \text{ kN} < 40,12 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

7.2. Provjera za GSU

7.2.1. Podrožnica

- Vertikalni progib

Maksimalni progib od ukupnog djelovanja $\delta_{max} = 1$ mm (element 34)

Dopušteni progib: $\delta_{max,dop} = L/200 = 2000/200 = 10$ mm

$$\delta_{max} < \delta_{max,dop}$$

$$1 \text{ mm} < 10 \text{ mm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Maksimalni progib od promjenjivog djelovanja $\delta_2 = 1$ mm (element 34)

Dopušteni progib: $\delta_{2,dop} = L/250 = 2000/250 = 8$ mm

$$\delta_2 < \delta_{2,dop}$$

$$1 \text{ mm} < 8 \text{ mm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

7.2.2. Nosač obloge

- Horizontalni progib

Maksimalni progib od ukupnog djelovanja $\delta_{max} = 1$ mm (element 25)

Dopušteni progib: $\delta_{max,dop} = L/200 = 2000/200 = 10$ mm

$$\delta_{max} < \delta_{max,dop}$$

$$1 \text{ mm} < 10 \text{ mm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Maksimalni progib od promjenjivog djelovanja $\delta_2 = 1$ mm (element 24)

Dopušteni progib: $\delta_{2,dop} = L/250 = 2000/250 = 8$ mm

$$\delta_2 < \delta_{2,dop}$$

$$1 \text{ mm} < 8 \text{ mm} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

7.2.3. Stup

- Horizontalni pomak na vrhu stupa

Maksimalni pomak od ukupnog djelovanja: $u_{max} = 11$ mm (čvor 14)

Dopušteni pomak: $u_{max,dop} = H/150 = 3000/150 = 20$ mm

$$u_{max} < u_{max,dop}$$

11 mm < 20 mm ZADOVOLJAVA!

7.2.4. Greda

- Vertikalni progib na kraju grede

Maksimalni progib od ukupnog djelovanja $\delta_{max} = 27$ mm (čvor 17)

Dopušteni progib: $\delta_{max,dop} = 2L/200 = 2 \cdot 3000/200 = 30$ mm

$$\delta_{max} < \delta_{max,dop}$$

27 mm < 30 mm ZADOVOLJAVA!

- Vertikalni progib na kraju grede

Maksimalni progib od promjenjivog djelovanja $\delta_2 = 18$ mm (čvor 17)

Dopušteni pomak: $\delta_{2,dop} = 2L/250 = 2 \cdot 3000/250 = 24$ mm

$$\delta_2 < \delta_{2,dop}$$

18 mm < 24 mm ZADOVOLJAVA!

8. PRORAČUN SPOJEVA

Otpornost spojeva proračunata je s obzirom na djelovanja i način spoja (vijčani ili zavareni spoj).

8.1. Spoj stupa na betonski temelj – detalj A

Proračun vijčanih spojeva

Vijci M20, k.v. 10.9 (4 vijka)

$$d = 20 \text{ mm}$$

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$A_s = 245 \text{ mm}^2$$

$$f_{yb} = 900 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_{ub} = 1000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$t = 20 \text{ mm}$$

$$e_1 = 50 \cdot \frac{20}{10} = 100 \text{ mm}$$

$$e_2 = 40 \cdot \frac{20}{10} = 80 \text{ mm}$$

Djelovanje na vijke

Poprečna sila: $V_{z,Ed} = 13,56 \text{ kN}$

Moment savijanja: $M_{y,Ed} = 19,12 \text{ kNm}$

$$M_{y,Ed} = N_1 \cdot x_1$$

$$x_1 = 300 \text{ mm}$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{x_1} = \frac{19,12}{0,3} = 63,73 \text{ kN}$$

Otpornost na posmik

- Otpornost za jedan vijak i jednu reznu površinu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 100 \cdot 2,45}{1,25} = 117,6 \text{ kN}$$

$$\alpha_v = 0,6$$

- Otpornost za 4 vijka i jednu reznu površinu ($n = 4, m = 1$):

$$\overline{F_{v,Rd}} = n \cdot m \cdot F_{v,Rd} = 4 \cdot 1 \cdot 117,6 = 470,4 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{v,Rd}}$$

$$13,56 \text{ kN} < 470,4 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na vlak

- Otpornost za jedan vijak:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 100 \cdot 2,45}{1,25} = 176,4 \text{ kN}$$

$$k_2 = 0,9$$

- Otpornost za sve vijke u spoju ($n=2$):

$$\overline{F_{t,Rd}} = n \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 176,4 = 352,8 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_1 \leq \overline{F_{t,Rd}}$$

$$63,73 \text{ kN} < 352,8 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

- Otpornost za jednu rupu:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 51 \cdot 2 \cdot 2}{1,25} = 408 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \min(1,52; 1,96; 1) = 1$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{100}{3 \cdot 22} = 1,52$$

$$\frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{510} = 1,96$$

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min(7,39; 2,5) = 2,5$$

$$2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{80}{22} - 1,7 = 7,39$$

- Otpornost za sve rupe ($n = 4$):

$$\overline{F_{b,Rd}} = n \cdot F_{b,Rd} = 4 \cdot 408 = 1632 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \overline{F_{b,Rd}}$$

$$13,56 \text{ kN} < 1632 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Interakcija posmika i vlaka

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{4} = \frac{13,56}{4} = 3,39 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 117,6 \text{ kN}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{N_1}{2} = \frac{63,73}{2} = 31,87 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 176,4 \text{ kN}$$

$$\frac{3,39}{117,6} + \frac{31,87}{1,4 \cdot 176,4} = 0,16 < 1 \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

Proračun zavarenog spoja

Djelovanje na zavar

Poprečna sila: $V_{z,Ed} = 13,56$ kN

Moment savijanja: $M_{y,Ed} = 19,12$ kNm

$$M_{y,Ed} = N_2 \cdot x_2$$

$$x_2 = h - t = 160 - 10 = 150 \text{ mm}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{x_2} = \frac{19,12}{0,15} = 127,47 \text{ kN}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N_2^2} = \sqrt{\left(\frac{13,56}{2}\right)^2 + 127,47^2} = 127,65 \text{ kN}$$

Otpornost jedne jedinice duljine kutnog zavara:

$a = 5$ mm

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w} a}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{51}{\sqrt{3} \cdot 0,9} \cdot 0,5}{1,25} = 13,09$$

Ukupna otpornost zavara:

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} \cdot \sum L = 13,09 \cdot 57 = 746,13 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \sum L &= b - 3t + h - 3t + 2 \cdot (170 - 15) = 160 - 3 \cdot 10 + 160 - 3 \cdot 10 + 2 \cdot 155 \\ &= 570 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$F_{w,Ed} \leq \overline{F_{w,Rd}}$$

$$127,65 \text{ kN} < 746,13 \text{ kN} \quad \text{ZADOVOLJAVA!}$$

8.2. Spoj grede na stup – detalj B (zavareni spoj)

Djelovanje na zavar

Poprečna sila: $V_{z,Ed} = 11,10$ kN

Moment savijanja: $M_{y,Ed} = 16,83$ kNm

$$M_{y,Ed} = N \cdot x$$

$$x = h - t = 160 - 10 = 150 \text{ mm}$$

$$N = \frac{M_{y,Ed}}{x} = \frac{16,83}{0,15} = 112,2 \text{ kN}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2 + N^2} = \sqrt{\left(\frac{11,1}{2}\right)^2 + 112,2^2} = 112,34 \text{ kN}$$

Otpornost jedne jedinice duljine kutnog zavara:

$$F_{w,Rd} = \frac{\frac{f_u}{\sqrt{3}\beta_w} a}{\gamma_{M2}} = \frac{\frac{51}{\sqrt{3} \cdot 0,9} \cdot 0,5}{1,25} = 13,09 \text{ kN}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

Ukupna otpornost zavara:

$$\overline{F_{w,Rd}} = F_{w,Rd} \cdot \sum L = 13,09 \cdot 13 = 170,17 \text{ kN}$$

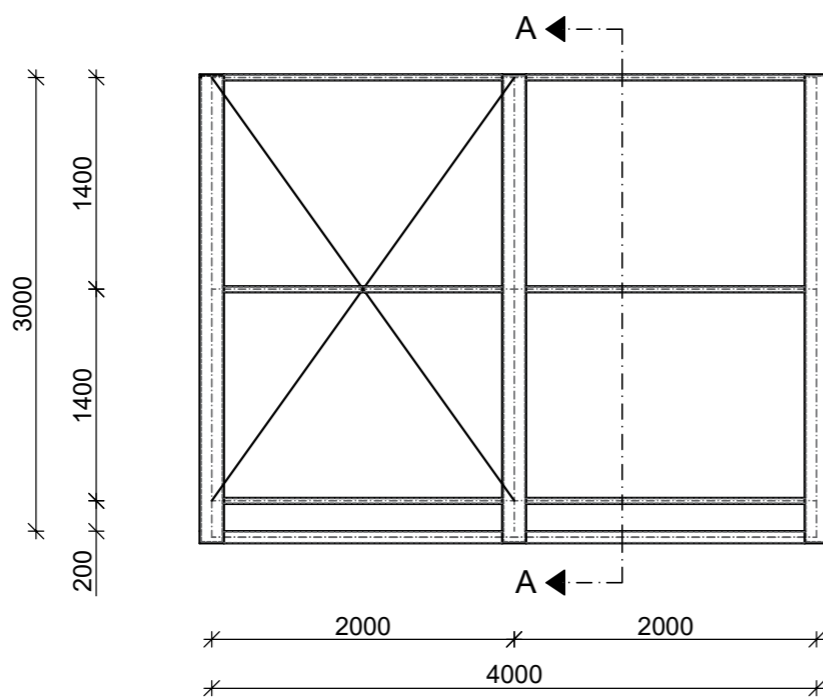
$$\sum L = b - 3t = 160 - 3 \cdot 10 = 130 \text{ mm}$$

$$F_{w,Ed} \leq \overline{F_{w,Rd}}$$

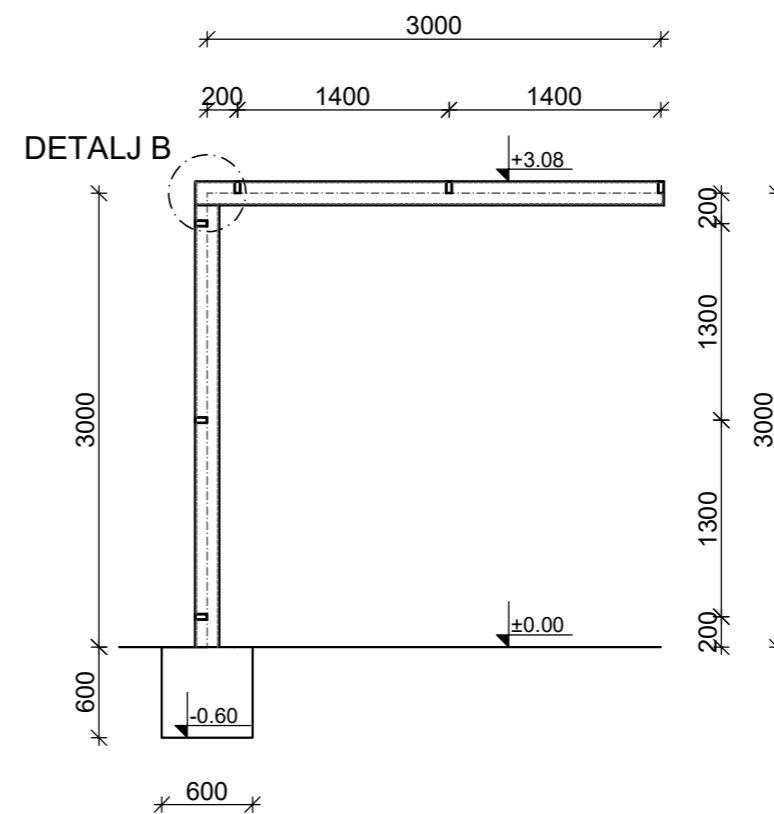
$$112,34 \text{ kN} < 170,17 \text{ kN} \text{ ZADOVOLJAVA!}$$

9. NACRTI

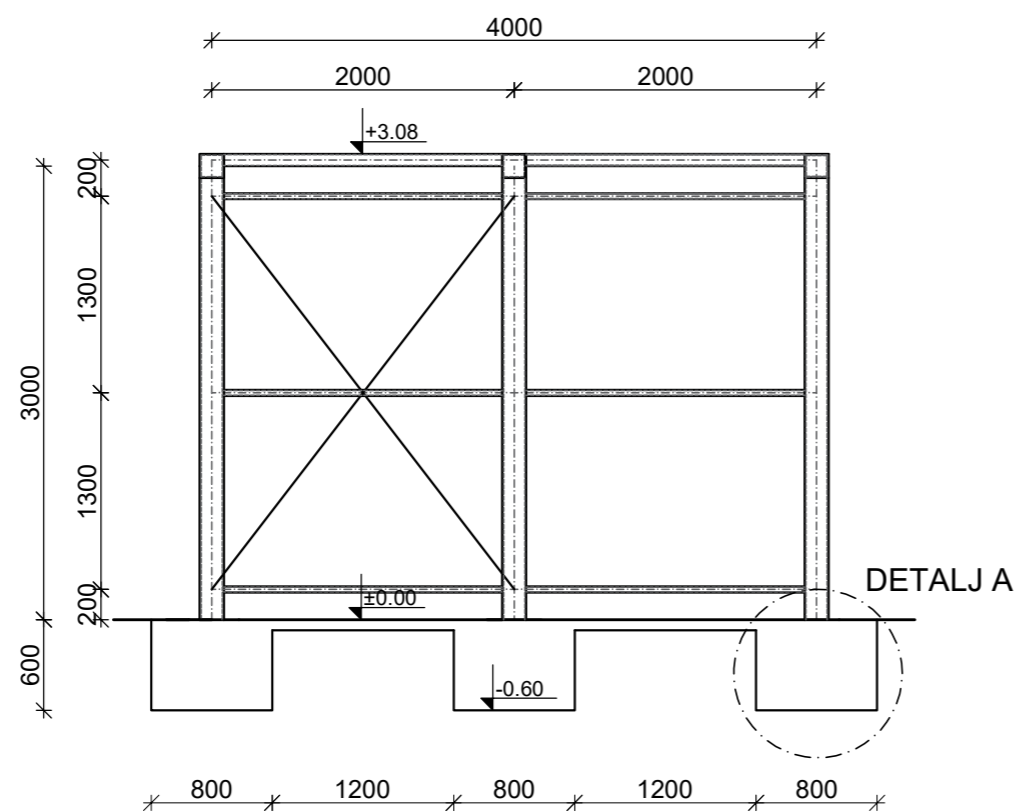
TLOCRTNA DISPOZICIJA



PRESJEK A-A

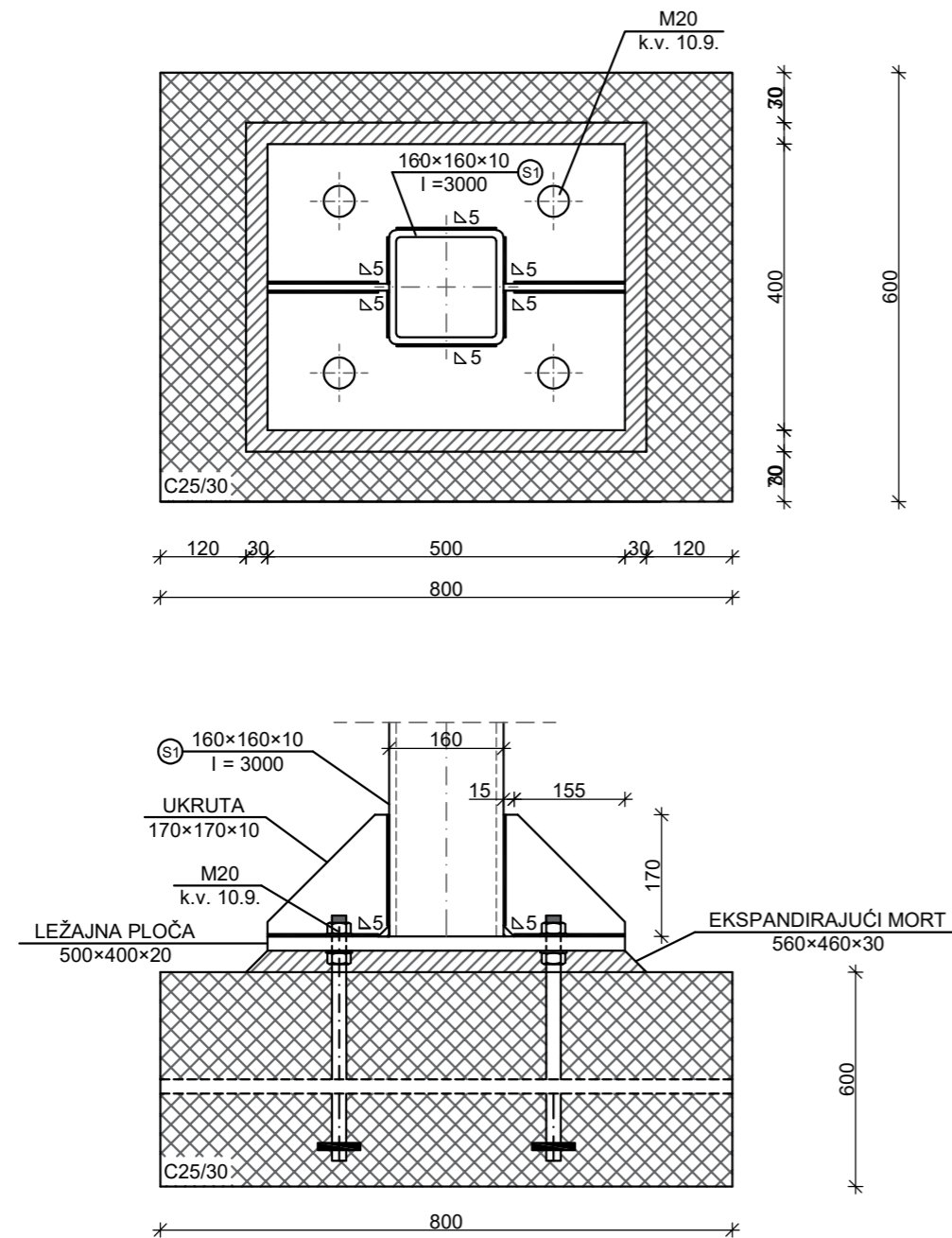


UZDUŽNI POGLED

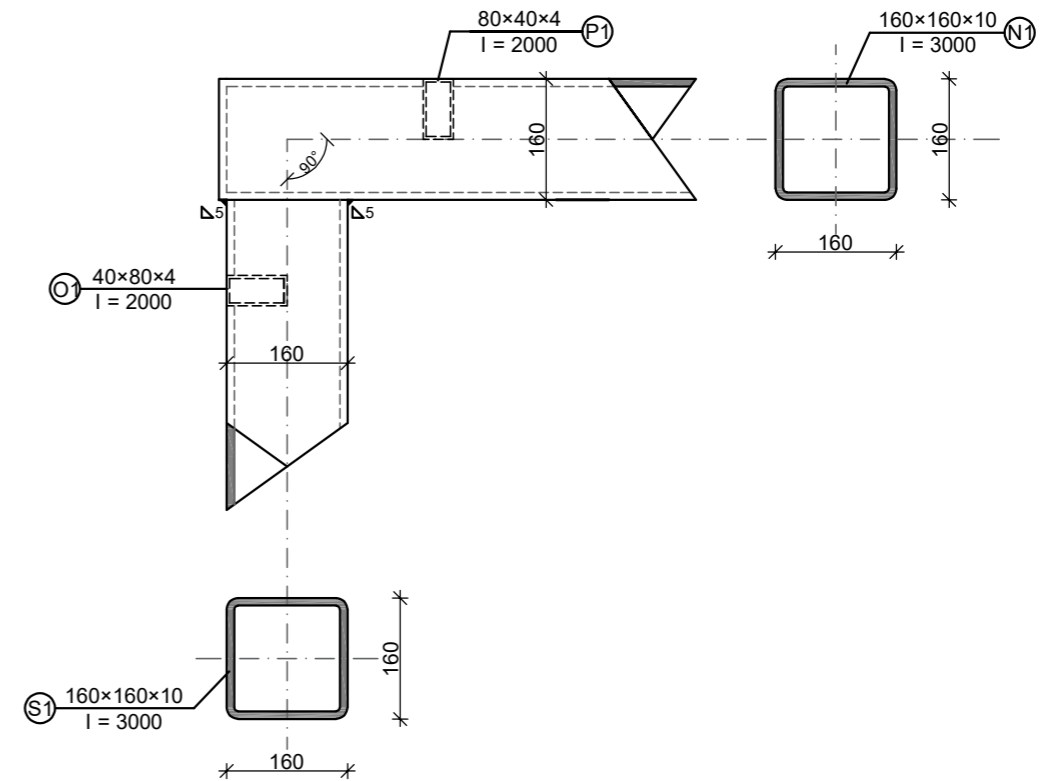


GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad DIMENZIONIRANJE ČELIČNE NADSTREŠNICE LJETNE KUHINJE		Sadržaj nacrta: DISPOZICIJA NADSTREŠNICE	
Studentica: Simona Ivić		Kolegij: OSNOVE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA	
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Mladen Bulić	Datum: 22.2.2022.	Mjerilo: 1:50	List: 80

DETALJ A SPOJ STUP-BETONSKI TEMELJ M 1:10



DETALJ B SPOJ STUP-GREDA M 1:10



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad DIMENSIONIRANJE ČELIČNE NADSTREŠNICE LJETNE KUHINJE		Sadržaj nacрта: DETALJI SPOJEVA	
Studentica: Simona Ivić		Kolegij: OSNOVE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA	
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Mladen Bulić	Datum: 22.2.2022.	Mjerilo: 1:10	List: 81

10. ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada bio je dimenzioniranje čelične nadstrešnice, što je uspješno obavljeno. Konstrukcija zadovoljava sve uvjete graničnog stanja uporabivosti (GSU) i graničnog stanja nosivosti (GSN).

Zanimljivo je spomenuti kako je iskoristivost za uvjete graničnog stanja nosivosti poprilično mala (ispod 20%). Na temelju toga se može zaključiti kako bi se, u svrhu uštede materijala i financijskih sredstava, mogao smanjiti poprečni presjek svih elemenata. Međutim, provjera za granično stanje uporabivosti pokazuje drugačije rezultate i ne tako malu iskoristivost. To je rezultat relativno velikih dimenzija krova zbog čega dolazi do značajnih progiba i pomaka konstrukcije, zbog čega bi manji poprečni presjek elemenata zadovoljio uvjete za granično stanje nosivosti, ali ne i uvjete za granično stanje uporabivosti.

Nadstrešnica je uspješno proračunata za sva stalna i promjenjiva opterećenja te su odabrani zadovoljavajući profili elemenata i same dimenzije elemenata.

LITERATURA

- [1] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Čelične konstrukcije 1, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.
- [2] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., Čelične konstrukcije 2, IA Projektiranje, Zagreb, 2007.
- [3] Džeba, I., Androić, B., Dujmović, D., Metalne konstrukcije 3, IA Projektiranje, Zagreb, 1998.
- [4] HRN EN 1991-1-3:2012/NA, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-3: Opća djelovanja – Opterećenje snijegom
- [5] HRN EN 1991-1-4:2012/NA, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije - Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra
- [6] HRN EN 1993-1-1, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za građevine, Brisel, 2005.
- [7] HRN EN 1993-1-8, Eurokod 3: Projektiranje čeličnih konstrukcija - Dio 1-8: Proračun priključaka, Brisel, 2005.
- [8] Nastavni materijali: Osnove čeličnih konstrukcija, Paulina Krolo