

Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene

Minić, Andrija

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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:157:284497>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-14**



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 U RIJECI**

Andrija Minić

**Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene
Design of Steel Construction Hall of the Warehouse Purpose**

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Preddiplomski stručni studij
Čelične konstrukcije**

**Andrija Minić
0114022215**

**Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene
Design of Steel Construction Hall of the Warehouse Purpose**

Završni rad

Rijeka, studeni 2019.

ZAVRŠNI ZADATAK

(ispunjava mentor, preuzima se u Referadi - mora biti ispisan na memorandumu
Fakulteta)

IZJAVA

Završni rad izradio sam samostalno, u suradnji s mentoricom 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.

Andrija Minić

U Rijeci, 5. studenog 2019.

ZAHVALA

Hvala svima koji su mi bili potpora tokom studiranja!

Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene

Sažetak:

Zadatak ovog završnog rada je izrada glavnog projekta čelične konstrukcije koristeći se važećim propisima za čelične konstrukcije. Glavni projekt konstrukcije sadrži sljedeće elemente: tehnički opis, program kontrole i osiguranja kvalitete, analizu djelovanja, statički proračun, mehaničku otpornost i stabilnost konstrukcije, proračun spojeva i nacрте. Objekt je smješten u Puli na nadmorskoj visini od 100 metara. Osne dimenzije konstrukcije su 36x60 metara. Glavna nosiva konstrukcija hale je čelična rešetka priključena na nosive stupove visine 9 metara, a međusobnog raspona 36 metara. Za krovnu i fasadnu oblogu upotrebljen je trapezni lim. Svi elementi nosive konstrukcije izrđeni su od konstrukcijskog čelika S235. Spojevi elemenata izvedeni su vijčanim vezama visoke kvalitete i zavarivanjem.

Ključne riječi:

Čelik, hala, konstrukcija, dimenzioniranje.

Design of Steel Construction Hall of the Warehouse Purpose

Abstract:

Assignment of the final work is to design the main steel structure using the valid regulations for steel structures. The main project includes the following elements: technical description, program control and quality assurance, action analysis, static calculation, mechanical resistance and stability of structure, joint calculation and technical drawings. The building is located in Pula at the elevation of 100 meters above sea level. Building is 36 meters wide and 60 meters long. The main load-bearing element of the hall is a truss structure connected with the 9 meters high columns at the 36 meter span. Trapezoidal sheet metal is used as a roof and facade plectet. All structural elements are made of S235 constructional steel. The joints of the elements are made with high quality bolt connections and welding.

Keywords:

Steel, Hall, Construction, Design

SADRŽAJ

POPIS SLIKA	1
POPIS TABLICA	4
POPIS OZNAKA, SIMBOLA I KRATICA	5
1. TEHNIČKI OPIS	14
1.1. Opis konstrukcije	14
1.2. Proračun konstrukcije	15
1.3. Materijali za izradu konstrukcije	15
1.4. Primijenjeni propisi	15
2. PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE	17
2.1. Uvjeti za izradu čelične konstrukcije	17
2.2. Propisi	18
2.3. Opće napomene za izradu čelične konstrukcije	18
2.4. Elementi konstrukcije	19
2.5. Materijali za izradu konstrukcije	19
2.6. Antikorozijska zaštita	19
2.7. Protupožarna zaštita	19
2.8. Prijem elemenata čelične konstrukcije	19
3. DISPOZICIJA	21
4. ANALIZA DJELOVANJA	22
4.1. Stalno opterećenje krovne plohe	22
4.2. Opterećenje snijegom na krovnu plohu	22
4.3. Opterećenje vjetrom na konstrukciju	25
4.3.1. <i>Geometrijske karakteristike i osnovni podaci</i>	25
4.3.2. <i>Proračun osnovne brzine vjetra</i>	26
4.3.3. <i>Proračun osnovnog pritiska uslijed djelovanja osnovne brzine vjetra</i>	27
4.3.4. <i>Proračun srednje brzine vjetra</i>	27
4.3.5. <i>Proračun intenziteta turbulencije</i>	28
4.3.6. <i>Proračun pritiska za brzinu vjetra kod udara</i>	28
4.3.7. <i>Određivanje koeficijenata vanjskog pritiska na vanjske površine konstrukcije</i>	29
4.3.8. <i>Određivanje koeficijenata unutarnjeg pritiska na unutarnje površine konstrukcije</i>	35
4.3.9. <i>Rezultantni tlak vjetra</i>	35

5. STATIČKI PRORAČUN, MEHANIČKA OTPORNOST I STABILNOST KONSTRUKCIJE	40
5.1. Podrožnica	40
5.1.1. Analiza djelovanja na podrožnicu	40
5.1.2. Kombinacije djelovanja na podrožnicu (GSN,GSU)	40
5.1.3. Preliminarni proračun podrožnice	42
5.1.4. Statički proračun podrožnice	43
5.1.5. Klasifikacija poprečnog presjeka podrožnice	45
5.1.6. Otpornost poprečnog presjeka podrožnice na savijanje	46
5.1.7. Otpornost poprečnog presjeka podrožnice na poprečnu silu	46
5.1.8. Interakcija M-V na razini poprečnog presjeka podrožnice	47
5.1.9. Otpornost elementa podrožnice na bočno torzijsko izvijanje	48
5.1.10. Provjera progiba podrožnice (GSU)	53
5.2. Glavni nosač konstrukcije	54
5.2.1. Analiza djelovanja na glavni nosač konstrukcije	54
5.2.2. Kombinacije djelovanja na glavni nosač konstrukcije (GSN,GSU)	55
5.2.3. Stup glavnog nosača konstrukcije	57
5.2.4. Donji pojas rešetke nosača konstrukcije	70
5.2.5. Gornji pojas rešetke glavnog nosača konstrukcije	75
5.2.6. Ispuna rešetke glavnog nosača konstrukcije	79
5.2.7. Provjera progiba glavnog nosača konstrukcije (GSU)	85
5.3. Spregovi	86
5.3.1. Analiza djelovanja na horizontalno poprečni spreg	86
5.3.2. Klasifikacija poprečnog presjeka horizontalno poprečnog sprega	87
5.3.3. Otpornost poprečnog presjeka horizontalno poprečnog sprega	88
5.3.4. Otpornost horizontalno poprečnog sprega na čisto izvijanje	89
5.3.5. Analiza djelovanja na horizontalno uzdužni spreg	91
5.3.6. Klasifikacija poprečnog presjeka horizontalno uzdužnog sprega	92
5.3.7. Otpornost poprečnog presjeka horizontalno uzdužnog sprega	93
5.3.8. Otpornost horizontalno uzdužnog sprega na čisto izvijanje	94
5.3.9. Analiza djelovanja na vertikalno poprečni spreg	95
5.3.10. Klasifikacija poprečnog presjeka vertikalno poprečnog sprega	96
5.3.11. Otpornost poprečnog presjeka vertikalno poprečnog sprega	97
5.3.12. Otpornost vertikalno poprečnog sprega na čisto izvijanje	98
5.3.13. Analiza djelovanja na vertikalno uzdužni spreg	100

5.3.14. Klasifikacija poprečnog presjeka vertikalno uzdužnog sprega	101
5.3.15. Otpornost poprečnog presjeka vertikalno uzdužnog sprega	101
5.3.16. Otpornost vertikalno uzdužnog sprega na čisto izvijanje	103
6. PRORAČUN SPOJEVA	105
6.1. Spoj stup- temelj (DETALJ „A“)	105
6.1.1. Otpornost vijaka na posmik	105
6.1.2. Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala	106
6.1.3. Otpornost vijaka na vlak	107
6.1.4. Interakcija posmika i vlaka priključka	108
6.1.5. Otpornost zavara	109
6.2. Spoj stup-gornji pojas rešetke (DETALJ „B“)	110
6.2.1. Otpornost zavara	111
6.3. Spoj podrožnica-gornji pojas rešetke (DETALJ „C“)	112
6.3.1. Otpornost vijaka na vlak	112
6.4. Spoj stup-donji pojas rešetke	113
6.4.1. Otpornost zavara	114
6.5. Spoj dijagonalna ispuna-donji/gornji pojas rešetke	115
6.5.1. Otpornost zavara	115
7. LITERATURA	117
8. NACRTI	118
8.1. Dispozicija objekta Mj. 1:300, LIST 1	118
8.2. Poprečni presjek b-b Mj. 1:50, LIST 2	118
8.3. Detalj spoja stupa i temelja „DETALJ A“ Mj. 1:10, LIST 3	118
8.4. Detalj spoja stupa i gornjeg pojasa „DETALJ B“ Mj. 1:10, LIST 4	118
8.5. Detalj spoja gornjeg pojasa i podrožnice „DETALJ C“ Mj. 1:10, LIST 5	118

POPIS SLIKA

Slika 1. *Karakteristično stalno opterećenje u čvorovima okvira*, (izradio autor)

Slika 2. *Karta snježnih područja Republike Hrvatske*, (HRN EN 1991-1-3)

Slika 3. *Koeficijenti oblika opterećenja snijegom za dvostrešan krov*, (HRN EN 1991-1-3)

Slika 4. *Slučaj simetričnog opterećenja za dvostrešan krov*, (HRN EN 1991-1-3)

Slika 5. *Slučaj asimetričnog opterećenja za dvostrešan krov*, (HRN EN 1991-1-3)

Slika 6. *Karakteristično opterećenje snijegom u čvorovima okvira*, (izradio autor)

Slika 7. *Karta osnovne brzine vjetra v_b za Republiku Hrvatsku*, (HRN EN 1991-1-4)

Slika 8. *Legenda za vertikalne zidove*, (HRN EN 1991-1-4)

Slika 9. *Legenda za dvostrešna krovišta*, (HRN EN 1991-1-4)

Slika 10. *Prikaz koeficijenata unutrašnjeg tlaka*, (HRN EN 1991-1-4)

Slika 11. *Grafički prikaz djelovanja vjetra na vertikalne površine konstrukcije*, (izradio autor)

Slika 12. *Grafički prikaz djelovanja vjetra na glavni okvir konstrukcije za smjer djelovanja $\theta=0[^\circ]$* , (izradio autor)

Slika 13. *Grafički prikaz djelovanja vjetra na glavni okvir konstrukcije za smjer djelovanja $\theta=90 [^\circ]$* , (izradio autor)

Slika 14. *Karakteristično opterećenje vjetrom za smjer djelovanja $\theta=0 [^\circ]$ u čvorovima okvira (zone vjetra DFHIJE)*, (izradio autor)

Slika 15. *Dijagrami M i V za najveću pozitivnu kombinaciju podrožnice, GSN*, (izradio autor)

Slika 16. *Dijagrami M i V , za najveću negativnu kombinaciju podrožnice, GSN*, (izradio autor)

Slika 17. *Poprečni presjek podrožnice, IPN 220*, (izradio autor)

Slika 18. *Karakteristično stalno djelovanje na glavni nosač*, (izradio autor)

Slika 19. *Karakteristično djelovanje snijega na glavni nosač*, (izradio autor)

Slika 20. *Karakteristično djelovanje vjetra za slučaj 1 na glavni nosač*, (izradio autor)

Slika 21. *Karakteristično djelovanje vjetra za slučaj 2 na glavni nosač*, (izradio autor)

Slika 22. *Kombinacije djelovanja za GSN(ULS)*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 23. *Kombinacije djelovanja za GSU(SLS)*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 24. *Dijagram unutrašnjih uzdužnih sila N [kN] glavnog okvira*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 25. *Dijagram unutrašnjih poprečnih sila V [kN] glavnog okvira*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 26. *Dijagram momentata M [kNm] glavnog okvira*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 27. *Poprečni presjek stupa glavnog okvira, HE 500 A*, (izradio autor)

Slika 28. *Poprečni presjek donjeg pojasa rešetke, 200x200x10*, (izradio autor)

Slika 29. *Poprečni presjek gornjeg pojasa rešetke, 200x200x10*, (izradio autor)

Slika 30. *Poprečni presjek dijagonalne ispune rešetke, 100x100x8*, (izradio autor)

Slika 31. *Poprečni presjek vertikalne ispune rešetke, 100x100x8*, (izradio autor)

Slika 32. *Proračunski progib i pomak glavnog okvira*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 33. *Statički sustav i proračunsko opterećenje na horizontalno poprečni spreg*, (izradio autor)

Slika 34. *Unutrašnje uzdužne sile horizontalno poprečnog sprega*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 35. *Poprečni profil horizontalno poprečnog sprega, šuplja cijev 108/12.5*, (izradio autor)

Slika 36. *Statički sustav i proračunsko djelovanje na horizontalno uzdužni spreg*, (izradio autor)

Slika.37. *Unutrašnje uzdužne sile horizontalno uzdužnog sprega*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 38. *Poprečni profil horizontalno uzdužnog sprega, šuplja cijev 44.5/12.5*, (izradio autor)

Slika 39. *Statički sustav i proračunsko djelovanje na vertikalno poprečni spreg*, (izradio autor)

Slika 40. *Unutrašnje uzdužne sile vertikalno poprečni spreg*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 41. *Poprečni profil vertikalno poprečnog sprega, šuplja cijev 70/12.5*, (izradio autor)

Slika 42. *Statički sustav i proračunsko djelovanje na vertikalno uzdužni spreg*, (izradio autor)

Slika 43. *Unutrašnje uzdužne sile vertikalno uzdužnog sprega*, (Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk)

Slika 44. *Poprečni profil vertikalno uzdužnog sprega, šuplja cijev 70/12.5*, (izradio autor)

Slika 45. *Priključak glavnog stupa okvira i temelja*, (izradio autor)

Slika 46. *Priključak podrožnice i gornjeg pojasa rešetke*, (izradio autor)

Slika 47. *Priključak podrožnice i gornjeg pojasa rešetke*, (izradio autor)

Slika 48. *Priključak stupa i gornjeg pojasa rešetke*, (izradio autor)

Slika 49. *Priključak dijagonalne ispune i donjeg/gornjeg pojasa rešetke*, (izradio autor)

POPIS TABLICA

Tablica 1. *Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu, , (HRN EN 1991-1-3)*

Tablica 2. *Koeficijent oblika opterećenja snijegom, , (HRN EN 1991-1-3)*

Tablica 3. *Kategorije terena i vrijednosti parametara z_0 i z_{min} , , (HRN EN 1991-1-4)*

Tablica 4. *Vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih objekata, (HRN EN 1991-1-4)*

Tablica 5. *Vrijednost koeficijenta tlaka za dvostrešne krovove (smjer vjetra $\theta=0^\circ$), (HRN EN 1991-1-4)*

Tablica 6. *Vrijednost koeficijenta tlaka za dvostrešne krovove (smjer vjetra $\theta=90^\circ$), (HRN EN 1991-1-4)*

Tablica 7. *Krivulje bočno-torzijskog izvijanja za poprečne presjeke, (HRN EN 1993-1-1)*

Tablica 8. *Faktori imperfekcije ovisni o krivulji izvijanja za bočno torzijsko izvijanje, (HRN EN 1993-1-1)*

Tablica 9. *Vrijednost faktora C_1 i C_2 za slučajeve poprečnih opterećenja, (HRN EN 1993-1-1)*

Tablica 10. *Vrijednost faktora C_1 u ovisnosti o ψ , (HRN EN 1993-1-1)*

Tablica 11. *Krivulje izvijanja ovisno o poprečnim presjecima, (HRN EN 1993-1-1)*

Tablica 12. *Vrijednosti koeficijenata nesavršenosti ovisno o krivulji izvijanja za čisto izvijanje, (HRN EN 1993-1-1)*

POPIS OZNAKA, SIMBOLA I KRATICA

Kratice

GSU/ULS-Granično stanje nosivosti/“Ultimate Limit State“

GSN/SLS-Granično stanje uporabljivosti/“Service Limit State“

GSU/SLS:CHR-karakteristična kombinacija/“Service Limit State: Characteristic“

GSU/SLS:FRE-česta kombinacija/“Service Limit State: Frequent“

GSU/SLS:QPR-kvazistalna kombinacija/“Service Limit State: Quasipermanent“

Simboli

A α

α -kut nagiba, °

α -faktor imperfekcije za čisto izvijanje

α_{LT} – faktor imperfekcije za bočno torzijsko izvijanje

α_v -koeficijent za određivanje računske otpornosti na posmik ($\alpha_v=0.6$ za k.v. 8.8 gdje posmična površina prolazi kroz dio vijka s navojem)

α_b -koeficijent za određivanje računske otpornosti na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

α_d -pomoćni koeficijent za određivanje minimalne vrijednosti koeficijenta α_b (u smjeru naprezanja)

B β

β_w -korelacijski koeficijent za zavare ($\beta_w=0.8$ prema normi EN 10025 i kvaliteti čelika S235)

$\Gamma\gamma$

γ_G -za GSN parcijalni koeficijent za stalno djelovanje ($\gamma_G=1.35$), osim u slučaju kada je djelovanje vjetra većeg iznosa od stalnog djelovanja i negativnog predznaka ($\gamma_G=1.00$), za GSU parcijalni koeficijent za stalno djelovanje ($\gamma_G=1.00$), u slučaju kada je djelovanje vjetra većeg iznosa od stalnog djelovanja i negativnog predznaka ($\gamma_G=1.00$)

γ_Q -za GSN parcijalni koeficijent za promjenjivo djelovanje ($\gamma_Q=1.5$), osim u slučaju kada je djelovanje vjetra većeg iznosa od stalnog djelovanja i negativnog predznaka ($\gamma_Q=0$), za

GSU parcijalni koeficijent za stalno djelovanje ($\gamma_Q=1.00$), osim u slučaju kada je djelovanje vjetra većeg iznosa od stalnog djelovanja i negativnog predznaka ($\gamma_Q=0$)

γ_{M0} -parcijalni faktor sigurnosti kod otpornosti poprečnog presjeka elementa ($\gamma_{M0}=1.0$)

γ_{M1} -parcijalni faktor sigurnosti kod otpornosti elementa na bočno torzijsko izvijanje ($\gamma_{M1}=1.1$)

γ_{M2} -parcijalni faktor sigurnosti kod otpornosti vijčanih spojeva ($\gamma_{M2}=1.25$)

$\Delta\delta$

δ_{MAX} -maksimalni progib elementa za GSU, mm

δ -progib elementa, mm

$E\varepsilon$

ε -deformacija, bezdimenzionalna veličina ili izražena u postocima

$H\eta$

η -iskoristivost, bezdimenzionalna veličina ili izražena u postocima

η -koeficijent kod provjere izbočavanja hrpta ($\eta=1.2$ za vruće valjane profile)

$\Theta\theta$

θ -pružanje smjera vjetra, °

$\Lambda\lambda$

λ_y - svedena vitkost za čisto izvijanje u y smjeru

λ_z - svedena vitkost za čisto izvijanje u z smjeru

λ_{LT} -svedena vitkost elementa bočno torzijskog izvijanja

$M\mu$

μ_i -koeficijent oblika opterećenja snijegom u ovisnosti o nagibu krova

$\Pi\pi$

π -matematička vrijednost broja ($\pi=3.14\dots$)

$P\rho$

ρ_{ZRAK} -gustoća zraka (usvaja se prema normi i iznosi 1.25 kg/m^3)

$\Sigma\sigma$

Σ -oznaka sume

$\Phi\phi$

ϕ_y -pomoćni koeficijent čistog izvijanja za y smjer

ϕ_z -pomoćni koeficijent čistog izvijanja za z smjer

ϕ_{LT} -pomoćni koeficijent bočno torzijskog izvijanja

$X\chi$

χ_y -koeficijent redukcije čistog izvijanja u y smjeru

χ_z -koeficijent redukcije čistog izvijanja u z smjeru

χ_{LT} -koeficijent redukcije bočno torzijskog izvijanja

$\Psi\psi$

ψ_w -faktor kombinacije za vjetar ($\psi_w = 0,6$)

ψ_s -faktor kombinacije za snijeg ($\psi_s = 0,5$)

Oznake

Aa

A_V -posmična površina, cm^2

A - površina, cm^2

A_s -vlačna površina vijka, cm^2

a -debljina zavara, mm

a_{\max} -maksimalna debljina zavara, mm

Bb

b -razmak glavnih nosivih okvira konstrukcije, m

b -širina poprečnog presjeka profila, mm

Cc

c -ravni dio elementa poprečnog presjeka, mm

C_{my} -koeficijent za proračun interakcije M-N na razini elementa

C_e -koeficijent izloženosti

C_t -toplinski koeficijent

c_{dir} -faktor smjera djelovanja vjetra (preporučena vrijednost $c_{dir}=1$)

c_{season} -faktor godišnjeg doba (preporučena vrijednost $c_{season}=1$)

$c_r(z)$ -faktor hrapavosti terena

$c_0(z)$ -faktor orografije ili vertikalne razvedenosti terena (preporučena vrijednost $c_0(z)=1.00$)

$c_e(z)$ -faktor izloženosti u ovisnosti o visini terena i zoni

c_{pe} -koeficijent za vanjski pritisak koji ovisi o površini opterećene plohe A (m^2), $c_{pe} = c_{pe,10}$ vrijedi ukoliko je površina veća od $10 m^2$

c_{pi} -koeficijent unutarnjeg pritiska

C1,C2-faktori za slučajeve poprečnih opterećenja kod bočno torzijskog izvijanja

Dd

d-promjer vijka, mm

d_0 -promjer rupe vijka, mm

Ee

e-razmak sekundarne nosive konstrukcije (podrožnica), m

E-modul elastičnosti materijala ($E_{\text{čELIK}} = 210\,000 \text{ MPa}$), kN/m^2

e_1 -krajnji razmaci vijaka paralelni sa silom djelovanja, mm

e_2 -krajnji razmaci vijaka okomiti sa silom djelovanja, mm

Ff

F_{gk} -raspodijeljena sila po nosaču od stalnog opterećenja, kN/m'

$F_{sk,1}$ -raspodijeljena sila po nosaču od snježnog opterećenja, kN/m'

f_y -granica popuštanja (za konstrukcijski čelik $f_{y,235} = 235 \text{ N/mm}^2$), N/mm^2

f_{MAX} -maksimalni dopušteni progib

f_{ub} -vlačna čvrstoća vijka, N/mm^2

f_u -vlačna čvrstoća osnovnog materijala ($f_{u,235}=360 N/mm^2$), N/mm^2

$F_{v,Rd}$ -proračunska posmična otpornost jednog vijka, kN

$\Sigma F_{v,Rd}$ -proračunska posmična otpornost vijaka u spoju, kN

$F_{b,Rd}$ -proračunska otpornost jednog vijka na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala, kN

$\Sigma F_{b,Rd}$ -proračunska otpornost vijaka u spoju na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala, kN

$F_{t,Rd}$ -proračunska vlačna otpornost jednog vijka, kN

$\Sigma F_{t,Rd}$ -proračunska vlačna otpornost vijaka u spoju, kN

$F_{w,Ed}$ -proračunsko djelovanje na zavar, kN

$F_{w,Rd}$ -proračunska otpornost zavara za jednu jedinicu duljine, kN

$F_{w,Rk}$ -karakteristična proračunska otpornost zavara, kN

Gg

g_k -karakteristična vrijednost djelovanja od stalnog opterećenja, kN/m^2

G_k -sile djelovanja stalnog opterećenja, kN

G-stalno opterećenje za kombinacije djelovanja GSN i GSU, kN/m

G – modul posmika, ($G_{\text{ČELIK}}=81000 \text{ MPa}$), kN/m^2

Hh

h-visina poprečnog presjeka profila, mm

h_w - duljina hrpta, mm

Ii

I_v -intenzitet turbulencije

I_{pot} -potreban moment tromosti, m^4

I_y -moment tromosti u smjeru osi y, m^4

I_z – moment tromosti u smjeru osi z, cm^4

I_w – konstanta krivljenja, cm^6

I_t – torzijska konstanta, cm^4

Kk

k_i -kombinacije djelovanja za GSN i GSU, kN/m

k_{yy} -koeficijent interakcije M-N na razini elementa

k_{zy} -koeficijent interakcije M-N na razini elementa

k_r -faktor terena u ovisnosti o duljini hrapavosti

k_1 -faktor turbulencije (preporučena vrijednost $k_1=1$)

k_1 - koeficijent za određivanje računске otpornosti na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala (okomito na smjer naprezanja)

k_2 -koeficijent za određivanje otpornosti vijka na vlak ($k_2=0.90$ za vijke bez upuštene glave)

Ll

L-duljina elementa, m

L_{cr} – duljina između točaka bočnog pridržanja, m

ΣL -duljina zavora, cm

Mm

$M_{y,Ed}$ -proračunski moment savijanja oko osi y, kNm

$M_{z,Ed}$ -proračunski moment savijanja oko osi z, kNm

M_{cr} – elastični kritični moment za bočno torzijsko izvijanje, kNm

$M_{b,Rd}$ -proračunska nosivost na bočno torzijsko izvijanje elementa, kNm

$M_{c,y,Rd}$ -proračunski moment otpornosti elementa oko osi y, kNm

$M_{y,Rk}$ -karakteristični moment savijanja oko osi y, kNm

$M_{z,Rk}$ -karakteristični moment savijanja oko osi z, kNm

Nn

$N_{c,Ed}$ -proračunska tlačna sila djelovanja, kN

$N_{t,Ed}$ -proračunska vlačna sila djelovanja, kN

$N_{c,Rd}$ - proračunska tlačna otpornost, kN

$N_{t,Rd}$ - proračunska vlačna otpornost, kN

$N_{pl,Rd}$ -proračunska plastična otpornost, kN

$N_{pl,V}$ -proračunska plastična interakcija N-V, kN

$N_{cr,y}$ -elastična kirična sila čistog izvijanja oko osi y, kN

$N_{cr,z}$ -elastična kritična sila čistog izvijanja oko osi z, kN

$N_{b,Rd}$ -proračunska nosivost sile čistog izvijanja, kN

$N_{c,Rk}$ -karakteristična tlačna sila, kN

$N_{t,Rk}$ -karakteristična vlačna sila, kN

n-broj vijaka u spoju

N_1, N_2 -spreg vlačne/tlačne sila, kN

Pp

p_1 - unutarnji razmaci vijaka paralelni sa silom djelovanja, mm

p_2 - unutarnji razmaci vijaka okomiti sa silom djelovanja, mm

Qq

q_b -osnovni pritisak vjetra, kN/m²

q_p -pritisak vjetra pri vršnoj brzini, kN/m²

q-preliminarno opterećenje, suma svih djelovanja na element bez množenja parcijalnim faktorima, kN/m

q_{Ed} -proračunsko djelovanje, kN/m

Rr

r- radijus zakrivljenosti između hrpta i pojasnica, mm

r_2 - radijus zakrivljenosti na krajevima pojasnica, mm

Ss

$s_{k,0}$ -karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu u ovisnosti o nadmorskoj visini i zoni snježnih područja, izdaje svaka država na temelju prikupljenih i obrađenih podacima o količinama padalina u pojedinim regijama te države (Slika 2.), kN/m²

$S_{k,1/2}$ -slučajevi karakterističnog opterećenja snijegom na krovnu plohu, kN/m²

S_k - sile djelovanja snježnog opterećenja, kN

S-opterećenje snijegom za kombinacije djelovanja GSN i GSU, kN/m

Tt

t_w - debljina hrpta, mm

t_f - debljina pojasnica, mm

t -debljina osnovnog materijala, mm

Vv

$v_{b,0}$ -fundamentalna vrijednost osnovne brzine vjetra za područje prema „nominalnoj karti vjetra“ koju izdaje svaka država na temelju prikupljenih i obrađenih podataka o izmjerenim brzinama pojedinih regija te države (Slika 7.), m/s

$V_{y,Ed}$ -proračunska poprečna sila u smjeru osi y, kN

$V_{z,Ed}$ -proračunska poprečna sila u smjeru osi z, kN

$V_{pl,Rd}$ -proračunska plastična otpornost elementa na poprečnu silu, kN

Ww

w_e -pritisak vjetra na vanjske površine, kN/m²

w_i -pritisak vjetra na unutarnje površine, kN/m²

w -rezultantni pritisak vjetra, kN/m²

$W_{1,2}$ -opterećenje vjetrom za slučaje 1 i 2 za kombinacije djelovanja GSN i GSU, kN/m

W_y – moment otpora u smjeru osi y, cm³

W_z - moment otpora u smjeru osi z, cm³

$W_{pl,y}$ - moment otpora u smjeru osi y, cm³

Xx

x_1, x_2 -krak vlačne/tlačne sile u spregu, cm

Zz

z_0 -duljina hrapavosti u ovisnosti o kategoriji terena, m

$z_{0,II}$ -duljina hrapavosti za kategoriju terena II ($z_{0,II}=0.05$ m)

z_{min} -minimalna visina hrapavosti, m

z_{max} -maksimalna visina hrapavosti, m

z -visina konstrukcije u sljemenu, m

z_e -referentna visina za vanjski pritisak, m

z_i -referentna visina za unutarnji pritisak, m

1. TEHNIČKI OPIS

1.1. Opis konstrukcije

Projektom je predviđena izrada statičkog proračuna čelične konstrukcije hale namijenjene skladištenju proizvoda trgovačkih lanaca na području grada Pule. Konstrukcija je tlocrtnih osnih dimenzija 36,00 x 60,00 metara sa visinom u sljemenu od 10,30 metara. U strehama je visina jednaka visini stupa, odnosno 9,00 metara. Nagib dvostrešnog krova iznosi 4 stupnja što je ekvivalent padu od 7 posto. Objekt je jednoetažan. Ukupna površina korištenja skladišnog prostora iznosi 2160 m², a predviđena su dva ulaza dimenzija 5,00x5,00 metara, jedan na zabatoj strani, a drugi na uzdužnoj strani. Glavni nosivi okvir konstrukcije osmišljen je kao priključak rešetke na stupove visine 9,00 metara. Ukupno je 11 glavnih okvira na međusobnom razmaku od 6,00 metara. Glavni okvir čine element od dva stupa, na međusobnom razmaku od 36,00 m, te rešetka izvedena od gornjeg pojasa, donjeg pojasa i ispunama koje čine vertikalni i dijagonalni elementi. Kao pokrov krovnih ploha konstrukcije odabrani su TRIMOTERM SNV200, „sendvič“ paneli obloženi toplinsko-zvučnom izolacijom. Globalna stabilizacija konstrukcije riješena je pomoću vertikalnih i horizontalnih spregova na vertikalnim ploham i krovnim ploham. Kao elementi oslanjanja stupova na tlo odabrani su temelji samci dimenzija 1,20x1,20 m sa vijencem za zaštitu od smrzavanja.

Statičkom analizom obuhvaćena su opterećenja od stalnog djelovanja, djelovanje vjetera i snijega za područje grada Pule koja djeluju na konstrukciju. Za ovaj je proračun analiza opterećenja napravljena za jedan reprezentativni okvir raspona 36,00 metara uzevši u obzir najnepovoljniju kombinaciju opterećenja te je prema istoj napravljeno dimenzioniranje.

Za glavne stupove konstrukcije odabrani su čelični profili HE 500 A visine 9,00 metara. Stupovi su upeto priključeni na temelje samce. Spoj stupa i temelja izveden je pomoću vijaka M27, k.v. 8.8. te je prethodno na stup zavarena čelična ploča dimenzija 760x585x20 mm debljine vara 8.4 mm. Na vrh stupa je zavarena čelična ploča dimenzija 490x300x10 mm maksimalne debljine vara 7 mm. Bočna pridržanja nalaze se na pola visine, odnosno 4,50 metara te su izvedeni pomoću uzdužnih prečki.

Za elemente donjeg i gornjeg pojasa odabrani su šuplji kvadratni čelični profili dimenzija 200x200x10 mm. Na spoju sa stupom prethodno su zavareni na čeličnu ploču debljine 12 mm dimenzija 190x240 varovima debljine 7 mm. Potom se kao takvi elementi preko zavarene čelične ploče zavaruju varovima debljine 7 mm za glavne stupove okvira.

Za elemente ispuna rešetkastog nosača kojeg čine dijagonalni i vertikalni elementi odabrani su šuplji kvadratni čelični profili dimenzija 100x100x8 mm. Direktno se zavaruju varovima debljine 5 mm za element donjeg i gornjeg pojasa rešetke.

Za elemente sekundarnih nosaša odabran je čelični profil IPN 220 duljine 6,00 metara. Spoj podrožnice i gornjeg pojasa ostvaren je vijčano upotrebom dva vijka M12, k.v. 8.8. na svakom spoju sa gornjim pojansom. Kako bi takav spoj bio izvediv prethodno se na gornji pojas zavaruje uzdignuta čelična ploča. Za potrebe proračuna podrožnica je promatrana kao prosta greda. Bočna pridržanja nalaze se na trećinama raspona, odnosno na 2,00 metara te su izvedena pomoću poprečnih prečki.

Za elemente globalne stabilizacije konstrukcije, odnosno izvedbu vertikalnih i horizontalnih spregova, odabrani su šuplji okrugli čelični profili: horizontalno poprečni spreg dim. 108/12.5, horizontalno uzdužni spreg dim. 44.5/5, vertikalno uzdužni spreg 70/12.5 i vertikalno poprečni 70/12.5.

1.2. Proračun konstrukcije

Proračun i dimenzioniranje elemenata čelične konstrukcije provedeno je prema važećim normama. Svi glavni nosivi elementi čelične konstrukcije razmatrani su kao ravninski sustavi, a statički proračun konstrukcije proveden je u programu Robot Structural Analysis 2018, AutoDesk.

1.3. Materijali za izradu konstrukcije

Prilikom dimenzioniranja dijelova čelične konstrukcije korišteni su sljedeći materijali:

1. elementi glavne nosive konstrukcije izrađeni od čelika S235
2. elementi sekundarne nosive konstrukcije izrađeni od čelika S235
3. vijci su izvedeni od čelika klase 8.8
4. beton za temelje klase C35/45
5. armatura za temelje Q636

1.4. Primijenjeni propisi

Proračun unutarnjih sila, momenata savijanja i dimenzioniranje elemenata čelične konstrukcije hale proveden je prema sljedećim propisima:

Analiza opterećenja

EN 1991-1-1 Vlastita težina građevine

EN 1991-1-3 Djelovanje snijega na konstrukciju

EN 1991-1-4 Djelovanje vjetra na konstrukciju

Dimenzioniranje

EN 1993-1-1 Dimenzioniranje čeličnih konstrukcija, opća pravila

EN 1993-1-8 Dimenzioniranje čeličnih spojeva

2. PROGRAM KONTROLE I OSIGURANJA KVALITETE

2.1. 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 predočiti 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.

Navedena dokumentacija sastavni je dio dokumentacije za tehnički pregled konstrukcije. Tijekom izrade i montaže konstrukcije izvođač radova dužan je voditi zakonom propisane dnevnik, 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.

2.2. Propisi

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

2.3. Opće napomene za izradu čelične konstrukcije

Prilikom rezanja materijala treba paziti na mogućnost pojave lokalnih zareza, 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 vizualnu 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.

2.4. Elementi konstrukcije

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

2.5. Materijali 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.

2.6. 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.

2.7. 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 nanosene zaštite.

2.8. 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 izvođač

3. DISPOZICIJA

NAPOMENA: Pogledati pod poglavlje **8. Nacrti**.

4. ANALIZA DJELOVANJA

4.1. Stalno opterećenje krovne plohe

Krovna ploha sastoji se od sljedećih elemenata:

-sendvič paneli (Trimoterm SNV 200)..... $g_1=0.35$ [kN/m²]

-sekundarna konstrukcija+spregovi..... $g_2=0.40$ [kN/m²]

-instalacije..... $g_3=0.15$ [kN/m²]

Ukupna karakteristična vrijednost djelovanja od stalnog opterećenja:

$$g_k = \Sigma g = g_1 + g_2 + g_3 = 0.35 + 0.40 + 0.15 = 0.90 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

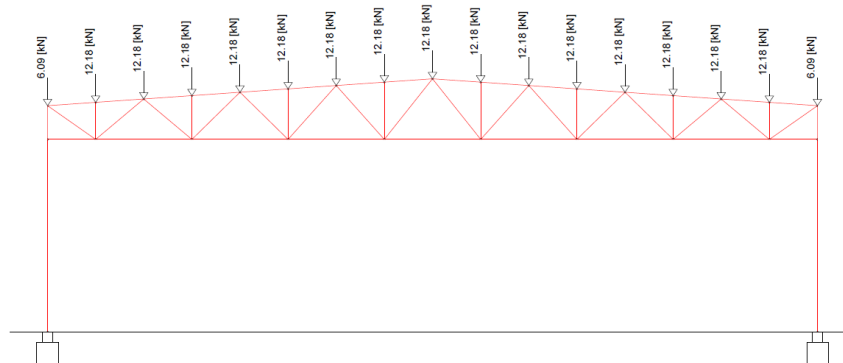
Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$F_{gk} = g_k \cdot b = 0.9 \cdot 6.00 = 5.4 \text{ [kN/m]}$$

Sila djelovanja u pojedinom čvoru okvira od utjecaja stalnog opterećenja:

$$G_k = g_k \cdot e \cdot b = 0.90 \cdot 2.255 \cdot 6.00 = 12.18 \text{ [kN]}$$

$$G_k/2 = 6.09 \text{ [kN]}$$



Slika 1: Karakteristično stalno opterećenje u čvorovima okvira

4.2. Opterećenje snijegom na krovnu plohu

Analiza djelovanja snijega provedena je prema europskoj normi za djelovanje snijega EN 1991-1-3:2008 i nacionalnom dodatku HRN EN 1991-1-3:2008.



Slika 2: Karta snježnih područja Republike Hrvatske

Tablica 1: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu

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
1000	2,00	4,00	3,50	5,00
1100	3,00	5,00	4,00	5,50
1200	4,00	6,00	4,50	6,00
1300	5,00	7,00		7,00
1400	6,00	8,00		8,00
1500		9,00		9,00
1600		10,00		10,00
1700		11,00		11,00
1800		12,00		

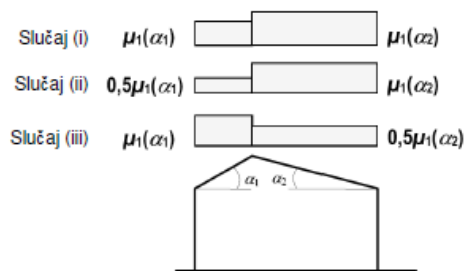
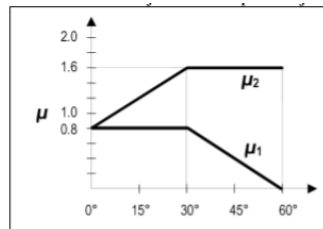
Napomena: ako je nadmorska visina između vrijednosti navedenih u tablici, treba uzeti prvu veću vrijednost.

Objekt je smješten u Puli (1.područje-priobalje i otoci) na visini od 100 m.n.m

$s_{k,0}=0,50$ [kN/m²]

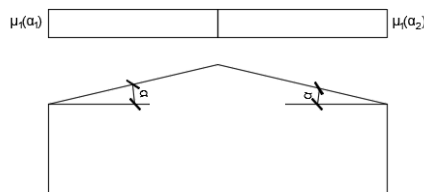
Tablica 2: Koeficijent oblika opterećenja snijegom

Kut nagiba krova α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
	μ_1	0,8	$0,8 \frac{60-\alpha}{30}$
μ_2	$0,8 + 0,8 \frac{\alpha}{30}$	1,6	-



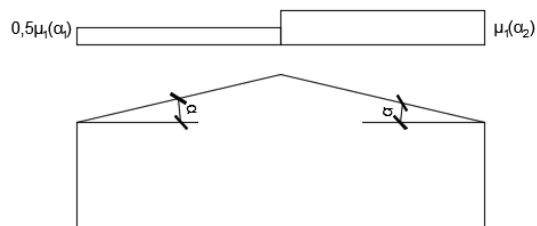
Slika 3: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom za dvostrešni krov

SLUČAJ (1)



Slika 4: Slučaj simetričnog opterećenja za dvostrešan krov

SLUČAJ (2)



Slika 5: Slučaj asimetričnog opterećenja za dvostrešan krov

Za kut nagiba krova je $\alpha=4^\circ$; iz *Tablice 2.* definiramo koeficijent oblika μ_1

$$\mu_1=0,8$$

Karakteristično opterećenje snijegom je dato prema izrazu:

$$S_k=\mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_{k,0}$$

$$S_{k,1}=1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,5=0,4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$S_{k,2}=0,5 \cdot (1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,5)=0,2 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

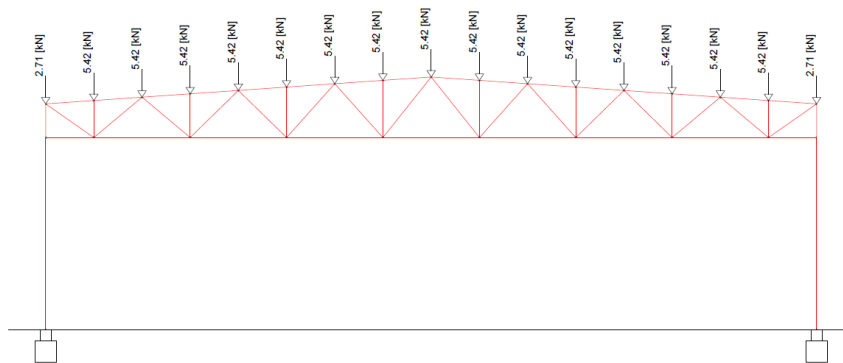
$$F_{S1}=S_1 \cdot b=0,4 \cdot 6=2,4 \text{ [kN/m]}'$$

Karakteristično opterećenje u čvorovima okvira od promjenjivog opterećenja snijegom:

$$S_k=S_{k,1} \cdot e \cdot b$$

$$S_k=0,4 \cdot 2,255 \cdot 6,00=5,42 \text{ [kN]}$$

$$S_k/2=2,71 \text{ [kN]}$$



Slika 6: Karakteristično opterećenje snijegom u čvorovima okvira

4.3. Opterećenje vjetrom na konstrukciju

Analiza opterećenja vjetrom provedena je prema europskoj normi za djelovanje vjetra EN 1991-1-4:2008 i nacionalnom dodatku HRN EN 1991-1-4:2008.

4.3.1. Geometrijske karakteristike i osnovni podaci

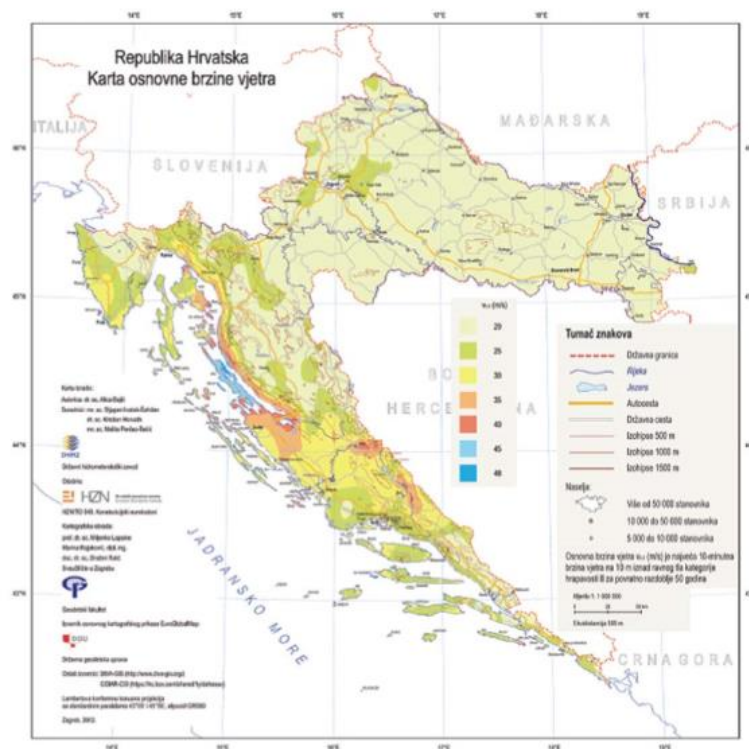
-lokacija: Pula, Hrvatska

-nadmorska visina terena: 100 m.n.m.

- raspon objekta: $L=36$ [m]
- dužina objekta: $B=60$ [m]
- visina objekta u sljemenu: $h=10.30$ [m]
- visina objekta u strehi: $h=9$ [m]
- nagib krova: $\alpha=4$ [°]

4.3.2. Proračun osnovne brzine vjetra

Osnovna brzina vjetra ovisi o području u kojem projektiramo konstrukciju. Ovisi o faktoru smjera puhanja vjetra, faktoru godišnjeg doba te o srednjoj brzini vjetra za to područje.



Slika 7: Karta osnovne brzine vjetra v_b za Republiku Hrvatsku

-iz karte očitamo srednju brzinu vjetra $v_{b,0}$ za Pulu

$$v_{b,0}=30 \text{ [m/s]}$$

Osnovna brzina vjetra računa se prema izrazu:

$$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 30 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 30 \text{ [m/s]}$$

4.3.3. Proračun osnovnog pritiska uslijed djelovanja osnovne brzine vjetra

Osnovni pritisak računa se prema izrazu:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho_{ZRAK} \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 30^2 = 0.5625 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

4.3.4. Proračun srednje brzine vjetra

Srednja brzina vjetra računa se prema izrazu:

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

Faktor hrapavosti terena određuje se prema izrazu u ovisnosti zadanih uvjeta:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za } z_{\min} < z < z_{\max}$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za } z < z_{\min}$$

Tablica 3: Kategorije terena i vrijednosti parametara z_0 i z_{\min}

Kategorija terena	z_0 [m]	z_{\min} [m]
0. more ili priobalne površine izložene otvorenom moru	0,003	1
I. jezera ili ravne i vodoravne površine sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II. površine s niskom vegetacijom poput trave i izdvojenih prepreka (drveće, kuće) s razmacima od najmanje 20 visina prepreka	0,05	2
III. područje s jednolikim pokrovom vegetacije ili zgrada ili izdvojenih prepreka s razmacima od najviše 20 visina prepreka (sela, predgrađa, stalne šume)	0,3	5
IV. gradska područja u kojima je najmanje 15% površine izgrađeno i čija prosječna visina zgrada prelazi 15 metara	1,0	10

Prema Tablici 3. za kategoriju terena 0 odabiremo slijedeće vrijednosti:

$z_0 = 0.003$ [m]-duljina hrapavosti terena

$z_{0,II} = 0.05$ [m] -duljina hrapavosti za kategoriju terena II

$z_{\min} = 1$ [m]-minimalna duljina hrapavosti

Provjera uvjeta:

$$z_{\min} < z < z_{\max}$$

$$1 < 10.30 < 200$$

Uvjet zadovoljava!

Faktor hrapavosti terena određuje se prema izrazu budući da je prvi uvjet zadovoljen:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$$

Faktor terena određuje se prema izrazu:

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0.07} = 0.19 \cdot \left(\frac{0.003}{0.05}\right)^{0.07} = 0.15604$$

Faktor hrapavosti terena:

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = k_r \cdot \ln\left(\frac{10.30}{0.003}\right) = 1.271$$

Srednja brzina vjetra na visini sljemena konstrukcije $z=10.30$ m iznosi:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1.271 \cdot 1.00 \cdot 30 = 38.13 \text{ [m/s]}$$

4.3.5. Proračun intenziteta turbulencije

Intenzitet turbulencije određuje se prema izrazu:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{10.30}{0.003}\right)} = 0.123$$

4.3.6. Proračun pritiska za brzinu vjetra kod udara

Pritisak brzine vjetra pri udaru određuje se prema izrazu:

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{ZRAKA}} \cdot v_m^2(z)$$

Pritisak vjetra pri vršnoj brzini za $z=10.30$ m iznosi:

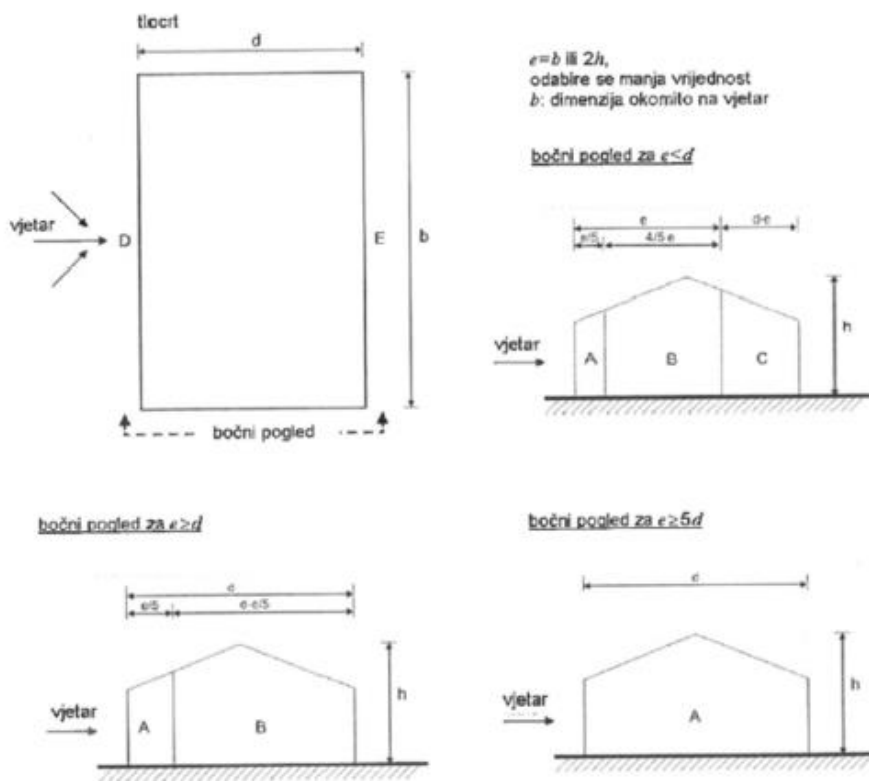
$$q_p(10.30) = (1 + 7 \cdot 0.123) \cdot \frac{1}{2} \cdot 1.25 \cdot 38.13^2 = 1691,07 \text{ [N/m}^2\text{]} = 1.70 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

4.3.7. Određivanje koeficijenta vanjskog pritiska na vanjske površine konstrukcije

Pritisak vjetra na vanjske površine određuje se prema izrazu:

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

Vertikalni zidovi



Slika 8: Legenda za vertikalne zidove

Smjer vjetra: $\Theta = 0$ [°]

Parametar e :

$$e = \min\{b; 2 \cdot h\} = \min\{60; 2 \cdot 10.30\} = \min\{60; 20.6\} = 20.60 \text{ [m]} \rightarrow e < d = 20.60 < 36$$

Vertikalne površine:

$$A=(e/5) \cdot h=(20.60/5) \cdot 10.30=42.44 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$B=(4 \cdot e/5) \cdot h=(4 \cdot 20.60/5) \cdot 10.30=169.75 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$C=(d-e) \cdot h=(36-20.60) \cdot 10.30=158.62 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$D=b \cdot h=60 \cdot 10.30=618 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$E=b \cdot h=60 \cdot 10.30=618 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sve površine su veće od 10 m^2 pa vrijedi $c_{pe}=c_{pe,10}$

Provjera uvjeta:

$$h/d=10.3/36=0.29 \rightarrow 0.29 < 1$$

Tablica 4: Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih objekata

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

-koeficijente vanjskog pritiska za vertikalne zidove određujemo primjenom *Tablice 4.* te za pojedinu zonu iznose:

$$c_{pe}(A)=-1,2$$

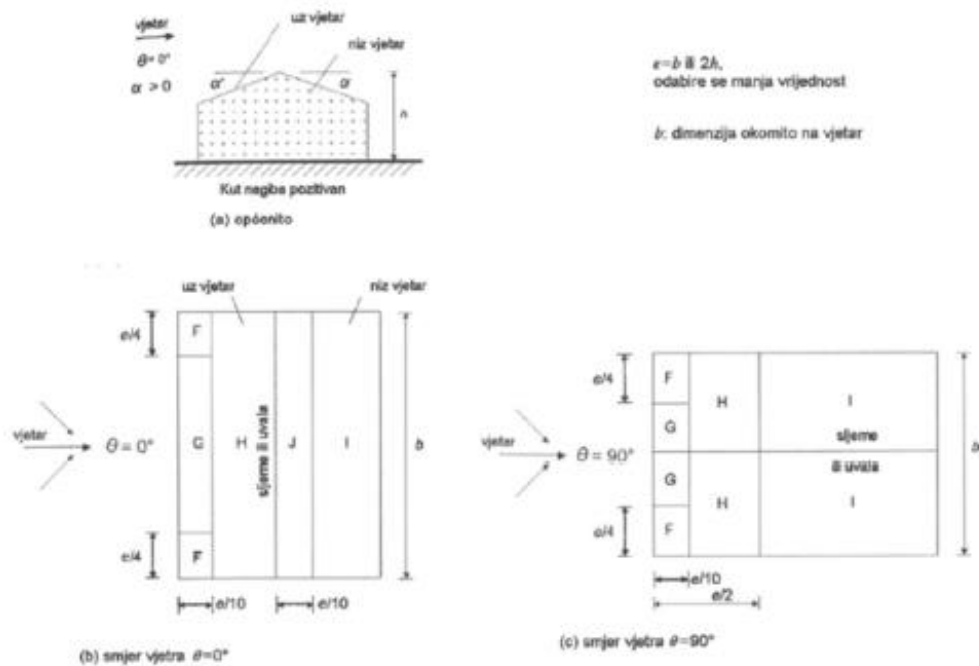
$$c_{pe}(B)=-0,8$$

$$c_{pe}(C)=-0,5$$

$$c_{pe}(D)=+0,8$$

$$c_{pe}(E)=-0,5$$

Dvostrešan krov



Slika 9: Legenda za dvostrešnakrovišta

Smjer vjetra: $\Theta = 0$ [°]

Nagib krova: $\alpha = 4$ [°]

Parametar e:

$$e = \min\{b; 2 \cdot h\} = \min\{60; 2 \cdot 10.30\} = \min\{60; 20.6\} = 20.60 \text{ [m]}$$

Krovne površine:

$$F = (e/4) \cdot (e/10) = (20.60/4) \cdot (20.60/10) = 10.61 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G = [b - (e/2)] \cdot (e/10) = [60 - (20.60/2)] \cdot (20.60/10) = 102.38 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$H = [(e/2) - (e/10)] \cdot b = [(20.60/2) - (20.60/10)] \cdot 60 = 494.4 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$I = [(e/2) - (e/10)] \cdot b = [(20.60/2) - (20.60/10)] \cdot 60 = 494.4 \text{ m}^2$$

$$J = (e/10) \cdot b = (20.60/10) \cdot 60 = 123.60 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sve površine su veće od 10m² pa vrijedi $c_{pe}=c_{pe10}$

$\alpha=4^\circ$ (Uzet uvjet za $\alpha=5^\circ \rightarrow$ Stroži kriterij!)

Tablica 5: Vrijednost koeficijenta tlaka za dvostrešne krovove (smjer vjetra $\theta=0^\circ$)

Nagib α	Područje za smjer vjetra $\theta=0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,6		+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0				-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

-koeficijente vanjskog pritiska za dvostrešno krovšte određujemo primjenom *Tablice 5.* te za pojedinu zonu iznose:

$$c_{pe}(F)=-1,7/0,0$$

$$c_{pe}(G)=-1,2/0,0$$

$$c_{pe}(H)=-0,6/0,0$$

$$c_{pe}(I)=-0,6$$

$$c_{pe}(J)= +0,2/-0,6$$

Smjer vjetra: $\theta=90$ [°]

Nagib krova: $\alpha=4$ [°]

Parametar e:

$$e=\min\{b;2\cdot h\}=\min\{36;2\cdot 10.30\}=\min\{36;20.6\}=20.60 \text{ [m]}$$

Krovne površine:

$$F=(e/4) \cdot (e/10)=(20.60/4) \cdot (20.60/10)=10.61 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$G=[b-(e/2)] \cdot (e/10)=[36-(20.60/2)] \cdot (20.60/10)=52.94 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$H=[(e/2)-(e/10)] \cdot (b/2)=[(20.60/2)-(20.60/10)] \cdot (36/2)=148.32 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$I=[d-(e/2)] \cdot (b/2)=[60-(20.60/2)] \cdot (36/2)=894.60 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sve površine su veće od 10m^2 pa vrijedi $c_{pe}=c_{pe10}$

$\alpha=4^\circ$ (Uzet uvjet za $\alpha=5^\circ \rightarrow$ Stroži kriterij!)

Tablica 6: Vrijednost koeficijenta tlaka za dvostrešne krovove (smjer vjetra $\theta=90^\circ$)

Nagib α	Područje za smjer vjetra $\theta=90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

-koeficijente vanjskog pritiska za dvostrešno krovšte određujemo primjenom Tablice 6. te za pojedinu zonu iznose:

$$c_{pe}(F)=-1,6$$

$$c_{pe}(G)=-1,3$$

$$c_{pe}(H)=-0,7$$

$$c_{pe}(I)=-0,6$$

Vanjske vertikalne površine

$$W_e(A)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-1,2)=-2,04 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(B)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,8)= -1,36 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(C)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,5)= -0,85 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(D)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot 0,8= 1,36 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(E)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,5)= -0,85 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Dvostrešni krovovi u smjeru vjetra $\theta=0$ [°]

$$W_e(F)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-1,7)=-2,89 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(G)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-1,2)=-2,04 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(H)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,6)=-1,02 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(I)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,6)=-1,02 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(J)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,6)=-1,02 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(K)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot 0,20=0,34 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Dvostrešni krovovi u smjeru vjetra $\theta=90$ [°]

$$W_e(F)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-1,6)=-2,72 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(G)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-1,3)=-2,21 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(H)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,7)=-1,19 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W_e(I)=q_p(z_e) \cdot c_{pe}=1,70 \cdot (-0,6)=-1,02 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

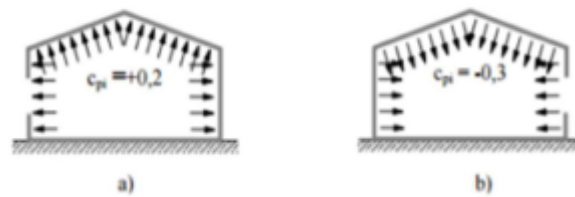
4.3.8. Određivanje koeficijenta unutarnjeg pritiska na unutarnje površine konstrukcije

Pritisak vjetra na unutarnje površine određuje se prema izrazu:

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi}$$

-u slučaju kada nam nisu poznati podaci o otvorima u zgradi usvaja se najnepovoljniji učinak od:

a) $c_{pi} = +0,2$ i b) $c_{pi} = -0,3$



Slika 10: Prikaz koeficijenta unutrašnjeg tlaka

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 1,70 \cdot 0,2 = 0,34 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$w_i = q_p(z_i) \cdot c_{pi} = 1,70 \cdot (-0,3) = -0,51 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

4.3.9. Rezultantni tlak vjetra

Rezultantni pritisak, odnosno tlak vjetra određen je prema izrazu:

$$W = W_e - W_i$$

Vanjske vertikalne površine

$$W(A) = W_e - W_i$$

$$= -2,04 - 0,34$$

$$= -2,38 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(A) = W_e - W_i$$

$$= -2,04 + 0,51$$

$$= -1,53 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(B) = W_e - W_i$$

$$= -1,36 - 0,34$$

$$= -1,70 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(B) = W_e - W_i$$

$$= -1,36 + 0,51$$

$$= -0,85 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(C)=w_e-w_i$$

$$=-0,85-0,34$$

$$=-1,19 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(C)=w_e-w_i$$

$$=-0,85+0,51$$

$$=-0,34 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(D)=w_e-w_i$$

$$=1,36-0,34$$

$$=1,02 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(D)=w_e-w_i$$

$$=1,36+0,51$$

$$=1,87 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(E)=w_e-w_i$$

$$=-0,85-0,34$$

$$=-1,19 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(E)=w_e-w_i$$

$$=-0,85+0,51$$

$$=-0,34 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Dvostrešni krov, smjer vjetra $\theta=0$ [°]

$$W(F)=w_e-w_i$$

$$=-2,89-0,34$$

$$=-3,23 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(F)=w_e-w_i$$

$$=-2,89+0,51$$

$$=-2,38 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(G)=w_e-w_i$$

$$=-2,04-0,34$$

$$=-2,38 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(G)=w_e-w_i$$

$$=-2,04+0,51$$

$$=-1,53 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(H)=w_e-w_i$$

$$=-1,02-0,34$$

$$=-1,36 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(H)=w_e-w_i$$

$$=-1,02+0,51$$

$$=-0,51 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(I)=w_e-w_i$$

$$=-1,02-0,34$$

$$=-1,36 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(I)=w_e-w_i$$

$$=-1,02+0,51$$

$$=-0,51 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(J)=w_e-w_i$$

$$=-1,02-0,34$$

$$=-1,36 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$W(J)=w_e-w_i$$

$$=-1,02+0,51$$

$$=-0,51 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\begin{aligned}
 W(J) &= w_e - w_i \\
 &= 0,34 - 0,34 \\
 &= 0 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W(J) &= w_e - w_i \\
 &= 0,34 + 0,51 \\
 &= 0,85 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

Dvostrešni krov, smjer vjetra $\theta=90$ [°]

$$\begin{aligned}
 W(F) &= w_e - w_i \\
 &= -2,72 - 0,34 \\
 &= -3,06 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W(F) &= w_e - w_i \\
 &= -2,72 + 0,51 \\
 &= -2,21 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W(G) &= w_e - w_i \\
 &= -2,21 - 0,34 \\
 &= -2,55 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

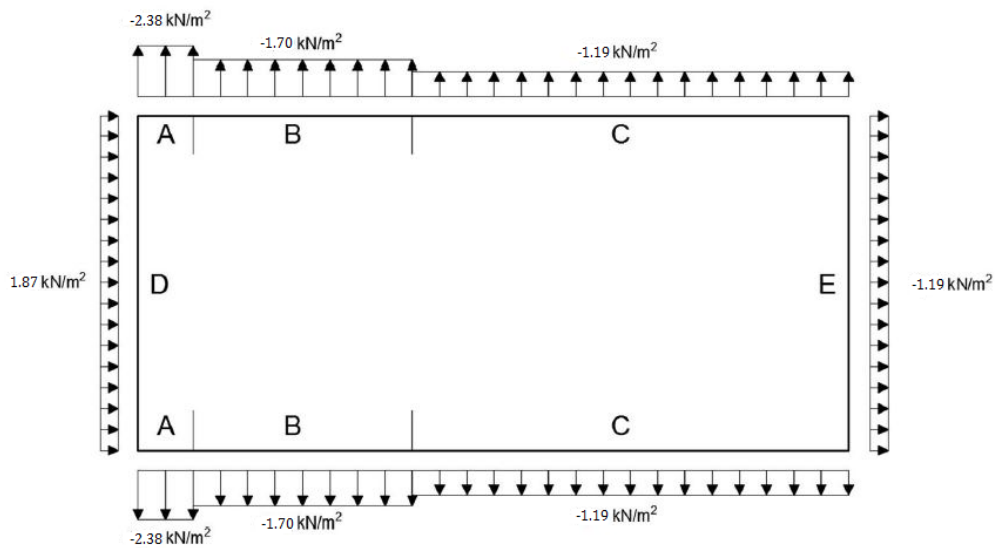
$$\begin{aligned}
 W(G) &= w_e - w_i \\
 &= -2,21 + 0,51 \\
 &= -1,70 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W(H) &= w_e - w_i \\
 &= -1,19 - 0,34 \\
 &= -1,53 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

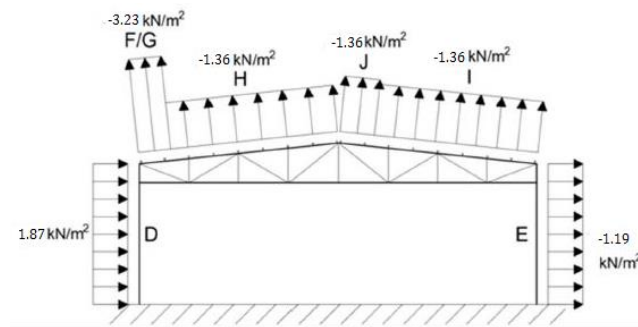
$$\begin{aligned}
 W(H) &= w_e - w_i \\
 &= -1,19 + 0,51 \\
 &= -0,68 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W(J) &= w_e - w_i \\
 &= -1,02 - 0,34 \\
 &= -1,36 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$

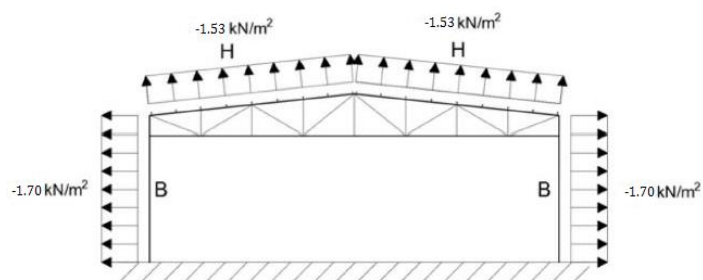
$$\begin{aligned}
 W(J) &= w_e - w_i \\
 &= -1,02 + 0,51 \\
 &= -0,51 \text{ [kN/m}^2\text{]}
 \end{aligned}$$



Slika 11: Grafički prikaz djelovanja vjetra na vertikalne površine konstrukcije



Slika 12: Grafički prikaz djelovanja vjetra na glavni okvir konstrukcije za smjer djelovanja $\theta=0$ [°]



Slika 13: Grafički prikaz djelovanja vjetra na glavni okvir konstrukcije za smjer djelovanja $\theta=90$ [°]

Izračun

Raspodijeljena sila na glavni stup okvira:

$$W=W_{k,D} \cdot b = +1.87 \cdot 6.00 = 11.22 \text{ [kN/m]}$$

$$W=W_{k,E} \cdot b = -1.19 \cdot 6.00 = -7.14 \text{ [kN/m]}$$

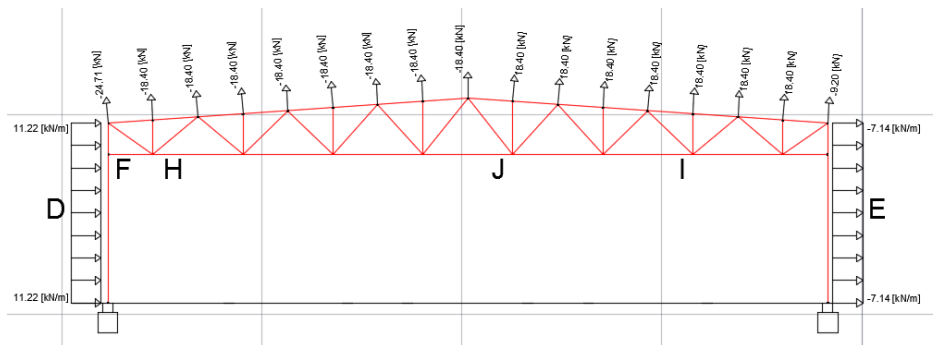
Karakteristično opterećenje u čvorovima okvira od promjenjivog opterećenja snijegom:

$$W=w_{k,i} \cdot e \cdot b$$

Sile vjetra W_k na krov-promatramo središnji okvir kroz krovne zone F/G-H-I-J, $\Theta=0$ [°]

$$W_{F/G}=W_{k,F/G} \cdot e \cdot b = -3.23 \cdot 2.255 \cdot 6.00 = -49.42 \text{ [kN]}, W_{F/G} / 2 = -24.71 \text{ [kN]}$$

$$W_{H,I,J}=W_{k2,H,I,J} \cdot e \cdot b = -1.36 \cdot 2.255 \cdot 6.00 = -18.40 \text{ [kN]}, W_{I/2} = -9.20 \text{ [kN]}$$



Slika 14: Karakteristično opterećenje vjetrom za smjer djelovanja $\Theta=0$ [°] u čvorovima okvira (zone vjetra DFHIJE)

5. STATIČKI PRORAČUN, MEHANIČKA OTPORNOST I STABILNOST KONSTRUKCIJE

5.1. Podrožnica

5.1.1. Analiza djelovanja na podrožnicu

Stalno djelovanje

$$g=0.9 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Promjenjivo djelovanje

$$\text{Snijeg} \rightarrow s=0.4 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\text{Vjetar 1} \rightarrow w_1=-3.23 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\text{Vjetar 2} \rightarrow w_2=1.87 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

Stalno opterećenje na podrožnicu

$$G=g \cdot e=0.9 \cdot 2.26=2.04 \text{ [kN/m]}$$

Opterećenje snijegom na podrožnicu

$$S=s \cdot e=0.4 \cdot 2.26=0.91 \text{ [kN/m]}$$

Opterećenje vjetrom na podrožnicu

$$W_1= w_1 \cdot e=-3.23 \cdot 2.26=-7.30 \text{ [kN/m]}$$

$$W_2= w_2 \cdot e=1.87 \cdot 2.26=4.23 \text{ [kN/m]}$$

5.1.2. Kombinacije djelovanja na podrožnicu (GSN,GSU)

Granično stanje nosivosti

1) STALNO+SNIJEG

$$K_1= \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot S= 1.35 \cdot 2.04 + 1.5 \cdot 0.91=4.12 \text{ [kN/m]}$$

2) STALNO+VJETAR 1

$$K_2= \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_1= 1.35 \cdot 2.04 - 1.5 \cdot 7.30=-8.20 \text{ [kN/m]}$$

3) STALNO+VJETAR 2

$$K_3= \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_2= 1.35 \cdot 2.04 + 1.5 \cdot 4.23=9.10 \text{ [kN/m]}$$

4) STALNO+VJETAR 1+SNIJEG

$$K_4 = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_1 + \psi_S \cdot \gamma_Q \cdot S = 1.35 \cdot 2.04 - 1.5 \cdot 7.30 + 0.5 \cdot 1.5 \cdot 0.91 = -7.52 \text{ [kN/m]}$$

5) STALNO+VJETAR 2+SNIJEG

$$K_5 = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_2 + \psi_S \cdot \gamma_Q \cdot S = 1.35 \cdot 2.04 + 1.5 \cdot 4.23 + 0.5 \cdot 1.5 \cdot 0.91 = 9.79 \text{ [kN/m]}$$

6) STALNO+SNIJEG+VJETAR 1

$$K_6 = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot S + \psi_W \cdot \gamma_Q \cdot W_1 = 1.0 \cdot 2.04 + 0 \cdot 0.91 - 0.6 \cdot 1.5 \cdot 7.3 = -4.53 \text{ [kN/m]}$$

7) STALNO+SNIJEG+VJETAR 2

$$K_7 = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot S + \psi_W \cdot \gamma_Q \cdot W_2 = 1.35 \cdot 2.04 + 1.5 \cdot 0.91 + 0.6 \cdot 1.5 \cdot 4.23 = 7.93 \text{ [kN/m]}$$

Najveća pozitivna kombinacija 5 ($q_{Ed} = 9.79 \text{ [kN/m]}$).

Najveća negativna kombinacija 2 ($q_{Ed} = -8.20 \text{ [kN/m]}$).

Granično stanje uporabljivosti

8) STALNO+SNIJEG

$$K_8 = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot S = 1.00 \cdot 2.04 + 1.00 \cdot 0.91 = 2.95 \text{ [kN/m]}$$

9) STALNO+VJETAR 1

$$K_9 = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_1 = 1.00 \cdot 2.04 - 1.00 \cdot 7.30 = -5.26 \text{ [kN/m]}$$

10) STALNO+VJETAR 2

$$K_{10} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_2 = 1.00 \cdot 2.04 + 1.00 \cdot 4.23 = 6.27 \text{ [kN/m]}$$

11) STALNO+VJETAR 1+SNIJEG

$$K_{11} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_1 + \psi_S \cdot \gamma_Q \cdot S = 1.00 \cdot 2.04 - 1.00 \cdot 7.30 + 0.5 \cdot 0 \cdot 0.91 = -5.26 \text{ [kN/m]}$$

12) STALNO+VJETAR 2+SNIJEG

$$K_{12} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot W_2 + \psi_S \cdot \gamma_Q \cdot S = 1.00 \cdot 2.04 + 1.00 \cdot 4.23 + 0.5 \cdot 1.00 \cdot 0.91 = 6.73 \text{ [kN/m]}$$

13) STALNO+SNIJEG+VJETAR 1

$$K_{13} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot S + \psi_W \cdot \gamma_Q \cdot W_1 = 1.0 \cdot 2.04 + 0 \cdot 0.91 - 0.6 \cdot 1.00 \cdot 7.3 = -2.34 \text{ [kN/m]}$$

14) STALNO+SNIJEG+VJETAR 2

$$K_{14} = \gamma_G \cdot G + \gamma_Q \cdot S + \psi_W \cdot \gamma_Q \cdot W_2 = 1.00 \cdot 2.04 + 1.00 \cdot 0.91 + 0.6 \cdot 1.00 \cdot 4.23 = 5.89 \text{ [kN/m]}$$

5.1.3. Preliminarni proračun podrožnice

Preliminarni proračun se koristi kako bi dobili okvirne dimenzije poprečnog presjeka elementa kojeg proračunavamo, u ovom slučaju proste grede. Međutim preliminarni proračun nije dovoljan te je nužno provesti sve ostale provjere (klasifikacija poprečnog presjeka, otpornost poprečnog presjeka, otpornost elementa, provjera progiba)

Preliminarni proračun se provodi prema dopuštenim pomacima, odnosno progibima. Uvjet koji mora biti zadovoljen glasi:

$$f_{\text{MAX}} \leq L/200$$

Preliminarni proračun se računa prema slijedećem izrazu:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I_y}$$

$$q = G + S + W_2 = 2.04 + 0.91 + 4.23 = 7,18 \text{ [kN/m]}$$

Navedeni izraz mijenja oblik i glasi:

$$I_{\text{pot}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^3}{E} \cdot 200 \cdot 10^8$$
$$I_{\text{pot}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{7.18 \cdot 6^3}{210000000} \cdot 200 \cdot 10^8 = 1923.22$$
$$I_{\text{pot}} = 1923.22 \text{ cm}^4$$

ODABRANI PROFIL

IPN 200 ($I_y = 2140 \text{ cm}^4$)

Provjera preliminarnog uvjeta:

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I_y}$$

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{7.18 \cdot 6^4}{210\,000\,000 \cdot 2140 \cdot 10^{-8}}$$

$$f = 0,027$$

$$f \leq L/200$$

$$0,027 \leq 6/200$$

$$0,027 < 0,03$$

NAPOMENA: S obzirom da je preliminarnim proračunom zadovoljen uvjet odabranim profilom IPN 200 za jako malu vrijednost (0.003) , odabiremo profil IPN 220 ($I_y=3060 \text{ cm}^4$) s kojim idemo u postupak proračuna sekundarne konstrukcije.

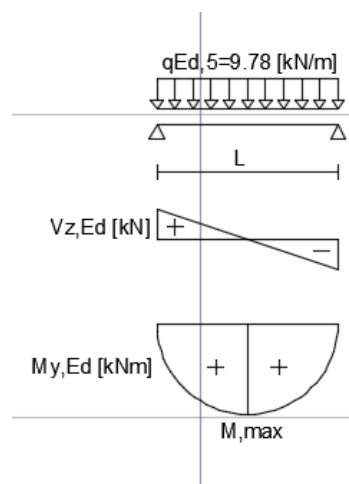
5.1.4. Statički proračun podrožnice

Proračun momenata i unutrašnjih sila za kombinaciju 5, GSN

$$q_{Ed,5}=9.79 \text{ [kN/m]}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{q_{Ed,5} \cdot l^2}{8} = \frac{9.79 \cdot 6.00^2}{8} = 44.06 \text{ [kNm]}$$

$$V_{z,Ed} = \frac{q_{Ed,5} \cdot l}{2} = \frac{9.79 \cdot 6.00}{2} = 29.37 \text{ [kN]}$$



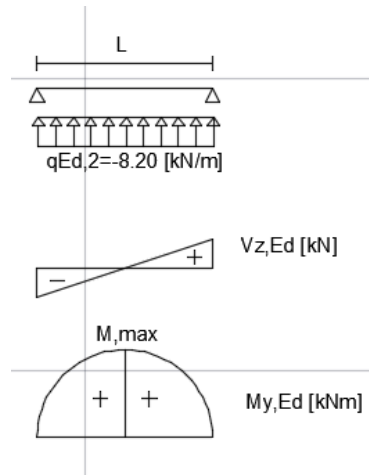
Slika 15: Dijagrami M i V za najveću pozitivnu kombinaciju podrožnice, GSN

Proračun momenata i unutrašnjih sila za kombinaciju 2, GSN

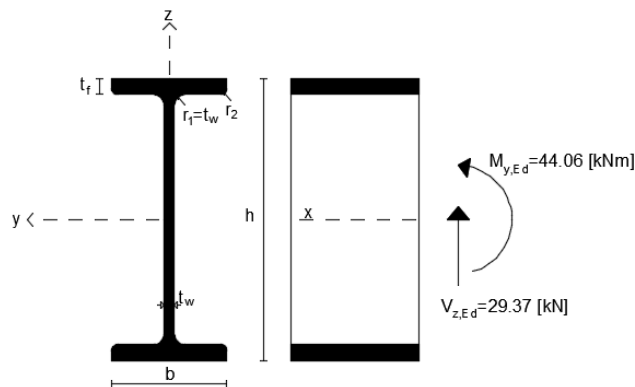
$$q_{Ed,2}=-8.20 \text{ [kN/m]}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{q_{Ed,2} \cdot l^2}{8} = \frac{-8.20 \cdot 6.00^2}{8} = -36.90 \text{ [kNm]}$$

$$V_{z,Ed} = \frac{q_{Ed,2} \cdot l}{2} = \frac{-8.20 \cdot 6.00}{2} = -24.60 \text{ [kN]}$$



Slika 16: Dijagrami M i V za najveću negativnu kombinaciju podrožnice, GSN



Slika 17: Poprečni presjek podrožnice, IPN 220

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, IPN 220

Dimenzije poprečnog presjeka:

$A=39.5 \text{ cm}^2$, $h=220 \text{ mm}$, $b=98 \text{ mm}$, $t_w=8.1 \text{ mm}$, $t_f=12.2 \text{ mm}$, $r=t_w=8.1 \text{ mm}$, $r_2=4.9 \text{ mm}$

Statičke veličine:

$I_y=3060 \text{ cm}^4$, $I_z=162 \text{ cm}^4$, $W_y=278 \text{ cm}^3$, $W_z=33.1 \text{ cm}^3$, $W_{pl,y}=324 \text{ cm}^3$, $I_t=18.6 \text{ cm}^4$,
 $I_w=17.8 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^6$

5.1.5. Klasifikacija poprečnog presjeka podrožnice

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1$$

Klasifikacija pojasnice-vanjski tlačni element

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\varepsilon$$

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{98}{2} - \frac{8.1}{2} - 8.1$$

$$c = 36.85 \text{ mm}$$

$$\frac{36.85}{12.2} \leq 9\varepsilon$$

$$2,86 < 9$$

Uvjet zadovoljen! Pojasnica klase 1!

Klasifikacija hrpta-unutarnji element izložen savijanju

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = h_w$$

$$h_w = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 220 - 2 \cdot 12.2 - 2 \cdot 8.1$$

$$h_w = 179.4 \text{ mm}$$

$$\frac{179}{8.1} \leq 72\varepsilon$$

$$22.15 < 72$$

Uvjet zadovoljen! Hrpat klase 1!

Poprečni presjek IPN 220 klasa 1!

5.1.6. Otpornost poprečnog presjeka podrožnice na savijanje

Izraz otpornosti presjeka na savijanje:

$$M_{c,y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{c,y,Rd} = \frac{324 \cdot 23,5}{1}$$

$$M_{c,y,Rd} = 7614 \text{ kNcm} = 76.14 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,Ed} = 44.06 \text{ [kNm]}$$

$$M_{y,ed} \leq M_{c,y,Rd}$$

$$44.06 < 76.14$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na savijanje:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,y,Rd}} \cdot 100\% = \frac{44.06}{76.14} \cdot 100\% = 58 \%$$

5.1.7. Otpornost poprečnog presjeka podrožnice na poprečnu silu

Provjera izbočavanja hrpta na posmik zbog utjecaja poprečne sile

Uvjet izbočavanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{220 - 2 \cdot 12,2}{8,1} = 24,15$$

$$72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,2} = 60$$

$$24,15 < 60$$

Uvjet zadovoljen!

Ukrute na hrptu nisu potrebne!

Posmična površina

$$A_V = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f = 39.5 - 2 \cdot 9.8 \cdot 1.22 + (0.81 + 0.49) \cdot 1.22$$

$$A_V = 17.17 \text{ cm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.2 \cdot 19.56 \cdot 0.81 = 19.02 \text{ cm}^2$$

$A_V = 19.02 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Minimalna posmična površina!

Izraz otpornosti presjeka na poprečnu silu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{19.02 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 258,06 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} = 29.37 \text{ [kN]}$$

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

$$29.37 < 258.06$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na poprečnu silu:

$$\eta = \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} \cdot 100\% = \frac{29.37}{258.06} \cdot 100\% = 11.4 \%$$

5.1.8. Interakcija M-V na razini poprečnog presjeka podrožnice

Uvjet interakcije:

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

$$29.37 \leq 0,5 \cdot 258.06$$

$$29.37 < 129.03$$

NAPOMENA: U slučaju kada je poprečna sila V_{Ed} manja od polovice plastične otpornosti $V_{pl,Rd}$ na poprečnu silu, učinak poprečne sile na savijanje se ne uzima u obzir.

5.1.9. Otpornost elementa podrožnice na bočno torzijsko izvijanje

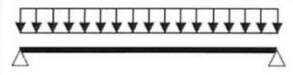

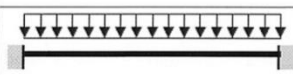

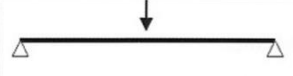

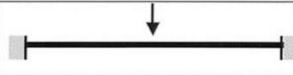
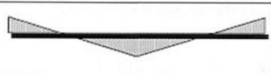
Tablica 7: Krivulje bočno-torzijskog izvijanja za poprečne presjeka

Poprečni presjek	Ograničenja	Krivulja izvijanja
Valjani I presjeci	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Zavareni I presjeci	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Ostali presjeci	-	d

Tablica 8: Faktori imperfekcije ovisan o krivulji izvijanja

Krivulja izvijanja	a	b	c	d
Faktor imperfekcije α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tablica 9: Vrijednost faktora C_1 i C_2 za slučajeve poprečnih opterećenja

Opterećenje i uvjeti oslanjanja	Dijagram momenta savijanja	C_1	C_2
		1,127	0,454
		2,578	1,554
		1,348	0,630
		1,683	1,645

Za IPN 220 valjani profil uz ograničenje $h/b=220/98=2.25>2$ iz Tablice 7. očitamo b krivulju izvijanja. Za krivulju izvijanja b, iz Tablice 8. očitamo faktor imperfekcije $\alpha_{LT}=0.34$. Prema Tablici 9. očitamo vrijednosti faktora $C_1=1.127$ i $C_2=0.454$ uzevši u obzir da podrožnicu dimenzioniramo kao prostu gredu sa kontinuiranim opterećenjem po cijeloj duljini.

Izračun otpornosti podrožnice na bočno torzijsko izvijanje s bočnim pridržanjima na krajevima $L_{cr}=6\text{ m}$

Elastični kritični moment bočno torzijskog izvijanja dan je izrazom:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_W}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$

$$M_{cr} = 1,127 \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 162}{600^2} \cdot \sqrt{\frac{0.0178}{162} + \frac{600^2 \cdot 8100 \cdot 18,6}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 162}}$$

$$M_{cr} = 4224,63 \text{ Ncm}$$

Svedena vitkost elementa dana je izrazom:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{324 \cdot 23,5}{4224,63}}$$

$$\lambda_{LT} = 1,343$$

Pomoćni koeficijent bočno torzijskog izvijanja:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,343 - 0,2) + 1,343^2]$$

$$\phi_{LT} = 1,6$$

Koeficijent redukcije bočno torzijskog izvijanja:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,6 + \sqrt{1,6^2 - 1,343^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,405$$

Proračunska nosivost na bočno torzijsko izvijanje:

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

$$M_{b,Rd} = 0,41 \frac{324 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$M_{b,Rd} = 2837,95 \text{ kNcm} = 28,38 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$44,06 > 28,38$$

Uvjet ne zadovoljava!

Izračun otpornosti podrožnice na bočno torzijsko izvijanje s bočnim pridržanjima na polovici raspona $L_{cr}=3\text{ m}$

Elastični kritični moment bočno torzijskog izvijanja dan je izrazom:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$
$$M_{cr} = 1,127 \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 162}{300^2} \cdot \sqrt{\frac{0,0178}{162} + \frac{300^2 \cdot 8100 \cdot 18,6}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 162}}$$

$$M_{cr} = 8449,26 \text{ Ncm}$$

Svedena vitkost elementa dana je izrazom:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{324 \cdot 23,5}{8449,26}}$$

$$\lambda_{LT} = 0,95$$

Pomoćni koeficijent bočno torzijskog izvijanja:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,95 - 0,2) + 0,95^2]$$

$$\phi_{LT} = 1,079$$

Koeficijent redukcije bočno torzijskog izvijanja:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,079 + \sqrt{1,079^2 - 0,95^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,629$$

Proračunska nosivost na bočno torzijsko izvijanje:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
$$M_{b,Rd} = 0,629 \frac{324 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$M_{b,Rd} = 4353,83 \text{ kNcm} = 43,54 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$44.06 > 43.54$$

Uvjet ne zadovoljava!

Izračun otpornosti podrožnice na bočno torzijsko izvijanje s bočnim pridržanjima na trećinama raspona $L_{cr}=2 \text{ m}$

Elastični kritični moment bočno torzijskog izvijanja dan je izrazom:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$
$$M_{cr} = 1,127 \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 162}{200^2} \cdot \sqrt{\frac{0,0178}{162} + \frac{200^2 \cdot 8100 \cdot 18,6}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 162}}$$
$$M_{cr} = 12673,89 \text{ Ncm}$$

Svedena vitkost elementa dana je izrazom:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$
$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{324 \cdot 23,5}{12673,89}}$$
$$\lambda_{LT} = 0,78$$

Pomoćni koeficijent bočno torzijskog izvijanja:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,78 - 0,2) + 0,78^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,903$$

Koeficijent redukcije bočno torzijskog izvijanja:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,903 + \sqrt{0,903^2 - 0,78^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,74$$

Proračunska nosivost na bočno torzijsko izvijanje:

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

$$M_{b,Rd} = 0,74 \frac{324 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$M_{b,Rd} = 5122,15 \text{ kNcm} = 51,22 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$44,06 < 51,22$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost elementa na bočno torzijsko izvijanje:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{44,06}{51,22} \cdot 100\% = 86 \%$$

5.1.10. Provjera progiba podrožnice (GSU)

Mjerodavna kombinacija za provjeru progiba:

$$K_{12} = \text{STALNO} + \text{VJETAR 2} + \text{SNIJEG}$$

$$q_{Ed,12} = 6,73 \text{ [kN/m]}$$

Maksimalan dozvoljeni progib podrožnice

$$\delta_{MAX} = L/200 = 600/200 = 3 \text{ cm} = 30 \text{ mm}$$

Progib podrožnice računamo prema izrazu:

$$\delta = \frac{0,0069 \cdot q_{Ed,12} \cdot L^4}{E \cdot I_y}$$

$$\delta = \frac{0,0069 \cdot 0,067 \cdot 600^4}{21\,000 \cdot 3060}$$

$$\delta = 0.93 \text{ cm} = 9.3 \text{ mm}$$

Uvjet uporabljivosti:

$$\delta \leq \delta_{MAX}$$

$$9.3 < 30$$

Uvjet zadovoljen!

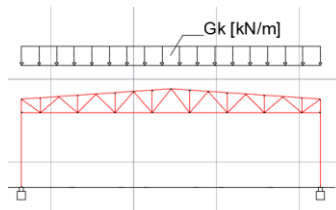
5.2. Glavni nosač konstrukcije

5.2.1. Analiza djelovanja na glavni nosač konstrukcije

Stalno djelovanje

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$G_k = g_k \cdot b = 0.9 \cdot 6.00 = 5.4 \text{ [kN/m]}$$



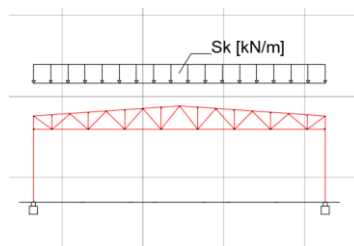
Slika 18: Karakteristično stalno djelovanje na glavni nosač

Promjenjivo djelovanje

SNIJEG

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$S_k = S_1 \cdot b = 0.4 \cdot 6 = 2.4 \text{ [kN/m]}$$

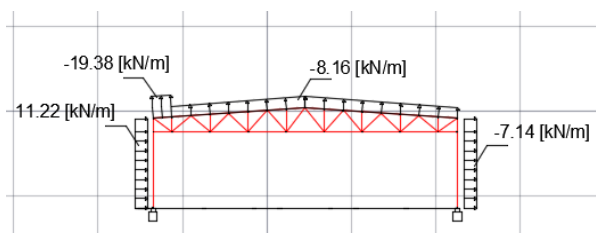


Slika 19: Karakteristično djelovanje snijega na glavni nosač

VJETAR 1

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$W = w_{\text{zona}} \cdot b \text{ [kN/m]}, w_{\text{zona}} - \text{Slika 12.}$$

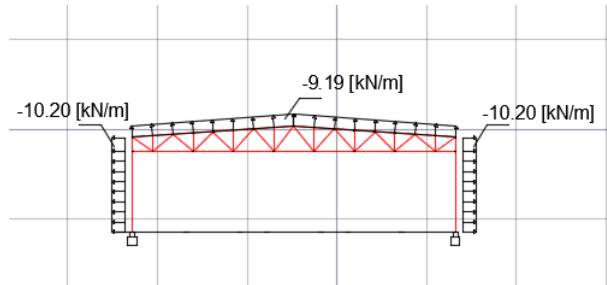


Slika 20: Karakteristično djelovanje vjetra za slučaj 1 na glavni nosač

VJETAR 2

Raspodijeljena sila na glavni nosač:

$$W = w_{z, \text{zona}} \cdot b \text{ [kN/m]}, w_{z, \text{zona}} - \text{Slika 13.}$$



Slika 21: Karakteristično djelovanje vjetra za slučaj 2 na glavni nosač

5.2.2. Kombinacije djelovanja na glavni nosač konstrukcije (GSN,GSU)

NAPOMENA: Kombinacije djelovanja napravljene su u programskom paketu Robot Structural Analysis 2018, Autodesk. Slijede oznake karakterističnih djelovanja: 1-vlastita težina, 2-stalno djelovanje, 3-promjenjivo djelovanje snijega, 4-promjenjivo djelovanje vjetra za slučaj 1, 5-promjenjivo djelovanje vjetra za slučaj 2.

Granično stanje nosivosti

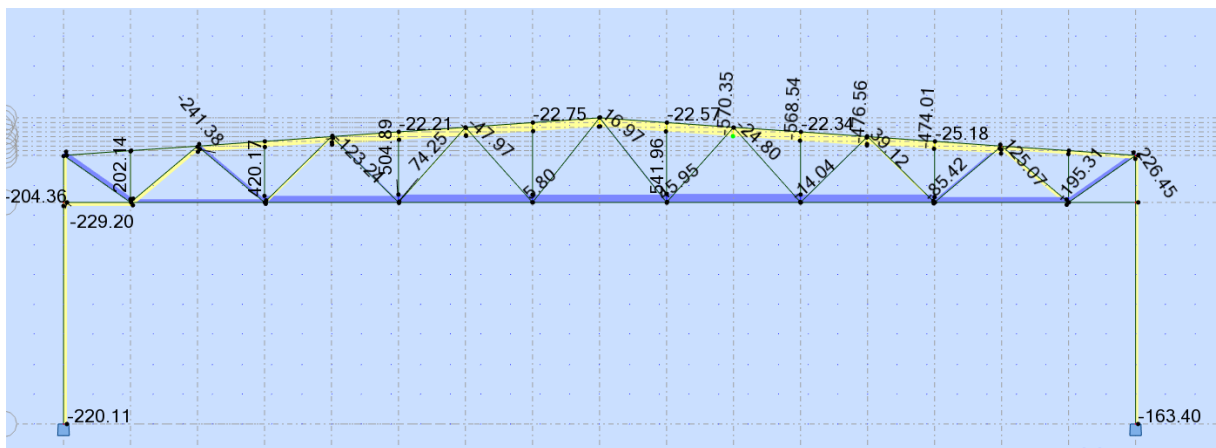
Combinations/Comp.	Definition
ULS/1	1*1.35 + 2*1.35
ULS/2	1*1.35 + 2*1.35 + 3*0.75 + 4*1.50
ULS/3	1*1.35 + 2*1.35 + 4*1.50
ULS/4	1*1.35 + 2*1.35 + 3*0.75 + 5*1.50
ULS/5	1*1.35 + 2*1.35 + 5*1.50
ULS/6	1*1.00
ULS/7	1*1.00 + 3*0.75 + 4*1.50
ULS/8	1*1.00 + 4*1.50
ULS/9	1*1.00 + 3*0.75 + 5*1.50
ULS/10	1*1.00 + 5*1.50
ULS/11	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50
ULS/12	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 4*0.90
ULS/13	1*1.35 + 2*1.35 + 3*1.50 + 5*0.90
ULS/14	1*1.00 + 3*1.50
ULS/15	1*1.00 + 3*1.50 + 4*0.90
ULS/16	1*1.00 + 3*1.50 + 5*0.90

Slika 22: Kombinacije djelovanja za GSN(ULS)

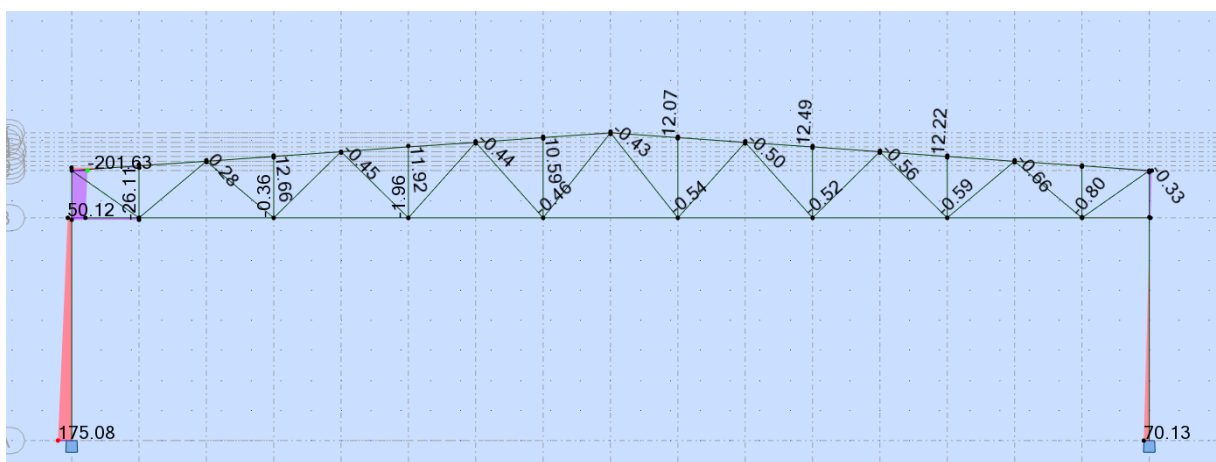
Granično stanje uporabljivosti

SLS:CHR/ 1	1*1.00 + 2*1.00
SLS:CHR/ 2	1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.50 + 4*1.00
SLS:CHR/ 3	1*1.00 + 2*1.00 + 4*1.00
SLS:CHR/ 4	1*1.00 + 2*1.00 + 3*0.50 + 5*1.00
SLS:CHR/ 5	1*1.00 + 2*1.00 + 5*1.00
SLS:CHR/ 6	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00
SLS:CHR/ 7	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 4*0.60
SLS:CHR/ 8	1*1.00 + 2*1.00 + 3*1.00 + 5*0.60

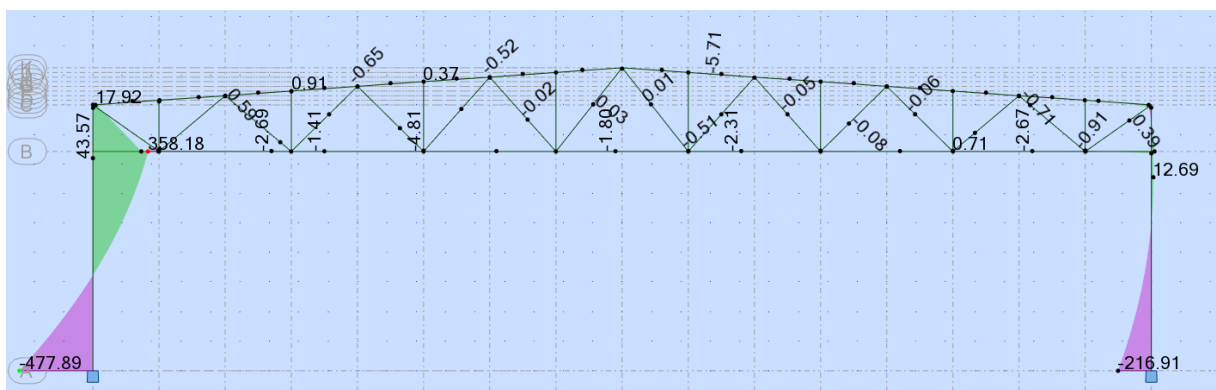
Slika 23: Kombinacije djelovanja za GSU(SLS)



Slika 24: Dijagram unutrašnjih uzdužnih sila N [kN] glavnog okvira

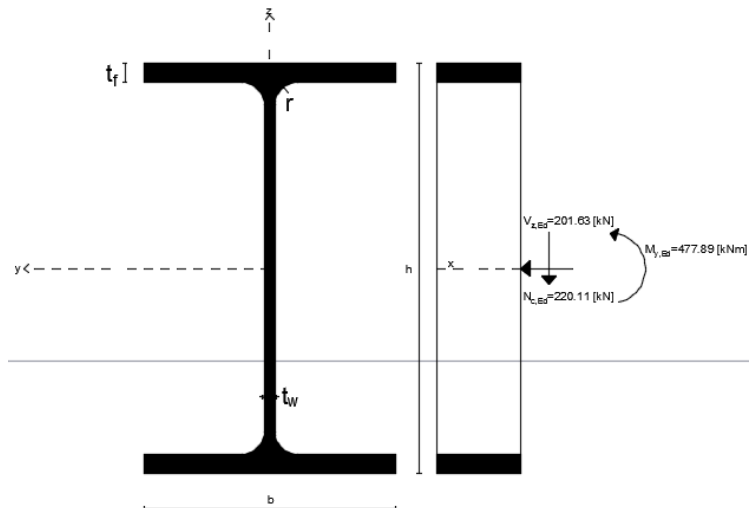


Slika 25: Dijagram unutrašnjih poprečnih sila V [kN] glavnog okvira



Slika 26: Dijagram momentata M [kNm] glavnog okvira

5.2.3. Stup glavnog nosača konstrukcije



Slika 27: Poprečni presjek stupa glavnog okvira, HE 500 A

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, HE 500 A

Dimenzije poprečnog presjeka:

$$A=197.5 \text{ cm}^2, h=490 \text{ mm}, b=300 \text{ mm}, t_w=12 \text{ mm}, t_f=23 \text{ mm}, r=27 \text{ mm}$$

Statičke veličine:

$$I_y=86970 \text{ cm}^4, I_z=10370 \text{ cm}^4, W_y=3550 \text{ cm}^3, W_z=691.1 \text{ cm}^3, W_{pl,y}=3949 \text{ cm}^3,$$

$$I_t=309.3 \text{ cm}^4, I_w=5643 \cdot 10^{-3} \text{ cm}^6$$

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Klasifikacija pojasnice-vanjski tlačni element

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{c}{t_f} \leq 9\epsilon$$

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{300}{2} - \frac{12}{2} - 27$$

$$c = 117 \text{ mm}$$

$$\frac{117}{23} \leq 9\epsilon$$

$$5.09 < 9$$

Uvjet zadovoljen! Pojasnica klase 1!

Klasifikacija hrpta-unutarnji element izložen tlaku i savijanju

Uvjet za klasu 1:

Za $\alpha > 0.5$

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

Za $\alpha < 0.5$

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

Proračun „ α “:

$$a = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_w \cdot f_y} = \frac{220.11 \cdot 1}{2 \cdot 1.2 \cdot 23.5}$$

$$a = 3.9 \text{ [cm]}$$

$$c = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 490 - 2 \cdot 23 - 2 \cdot 27$$

$$c = 390 \text{ [mm]}$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{298} \cdot \left(\frac{390}{2} + 39 \right)$$

$$\alpha = 0.51$$

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

$$\frac{390}{11} \leq \frac{396}{13 \cdot 0.51 - 1}$$

$$35.45 < 70.34$$

Uvjet zadovoljen! Hrbat klase 1!

Poprečni presjek HE 500 A klasa 1!

b) Otpornost poprečnog presjeka na tlak

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$N_{c,Rd} = \frac{197.5 \cdot 23,5}{1}$$
$$N_{c,Rd} = 4641.25 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$220.11 < 4641.25$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{220.11}{4641.25} \cdot 100\% = 4.74 \%$$

c) Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Izraz otpornosti presjeka na savijanje:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$M_{y,Rd} = \frac{3949 \cdot 23.5}{1}$$
$$M_{y,Rd} = 92801.5 \text{ kNcm} = 928.02 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,ed} \leq M_{c,y,Rd}$$
$$477.89 < 928.02$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na savijanje:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,y,Rd}} \cdot 100\% = \frac{477.89}{928.02} \cdot 100\% = 51.5 \%$$

d) Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera izbočavanja hrpta na posmik zbog utjecaja poprečne sile

Uvjet izbočavanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{h - 2t_f}{t_w} = \frac{490 - 2 \cdot 23}{12}$$

$$\frac{h_w}{t_w} = 37$$

$$72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1,2} = 60$$

$$37 < 60$$

Uvjet zadovoljen!

Ukrute na hrptu nisu potrebne!

Posmična površina

$$A_V = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + r) \cdot t_f = 197.5 - 2 \cdot 30 \cdot 2.3 + (1.2 + 2.7) \cdot 2.3$$

$$A_V = 68.47 \text{ cm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t_w = 1.2 \cdot 44.4 \cdot 1.2 = 63.94 \text{ cm}^2$$

$A_V = 63.94 \text{ cm}^2 \rightarrow$ Minimalna posmična površina!

Izraz otpornosti presjeka na poprečnu silu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{63.94 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 867.47 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$201.63 < 867.47$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na poprečnu silu:

$$\eta = \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} \cdot 100\% = \frac{201.63}{867.47} \cdot 100\% = 23.24 \%$$

e) Interakcija M-V-N na razini poprečnog presjeka stupa

Interakcija M-N

Uvjeti interakcije:

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

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

Gornji uvjet interakcije M-N:

$$220.11 \leq 0,25 \cdot 4641.25$$

$$220.11 < 1160.31$$

Donji uvjet interakcije M-N:

$$220.11 \leq \frac{0.5 \cdot 44.4 \cdot 1.2 \cdot 23.5}{1}$$

$$220.11 < 626.04$$

Uvjeti zadovoljeni!

Interakcija M-N na razini presjeka nije potrebna!

Interakcija M-V

Uvjet interakcije:

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

$$175.08 \leq 0,5 \cdot 867.47$$

$$175.08 < 433.74$$

NAPOMENA: U slučaju kada je poprečna sila V_{Ed} manja od polovice plastične otpornosti $V_{pl,Rd}$ na poprečnu silu, učinak poprečne sile na savijanje se ne uzima u obzir.

Interakcija N-V

$$N_{pl,V} = N_{pl} \cdot \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_z}{V_{pl}} \right)^2} \right] \right\} \cdot \frac{A_v}{A}$$

$$N_{pl,V} = 4641.25 \cdot \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{201.63}{867.47} \right)^2} \right] \right\} \cdot \frac{63.94}{197.5}$$

$$N_{pl,V} = 1461.44 \text{ [kN]}$$

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

$$220.11 < 1461.44$$

f) Otpornost elementa stupa na bočno torzijsko izvijanje

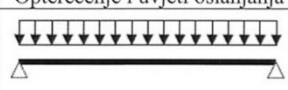

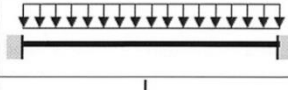
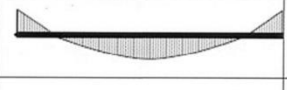

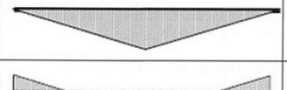


Tablica 7: Krivulje bočno-torzijskog izvijanja za poprečne presjeka

Poprečni presjek	Ograničenja	Krivulja izvijanja
Valjani I presjeci	$h/b \leq 2$	a
	$h/b > 2$	b
Zavareni I presjeci	$h/b \leq 2$	c
	$h/b > 2$	d
Ostali presjeci	-	d

Tablica 8: Faktori imperfekcije ovisan o krivulji izvijanja

Krivulja izvijanja	a	b	c	d
Faktor imperfekcije α_{LT}	0,21	0,34	0,49	0,76

Tablica 9: Vrijednost faktora C_1 i C_2 za slučajeve poprečnih opterećenja

Opterećenje i uvjeti oslanjanja	Dijagram momenta savijanja	C_1	C_2
		1,127	0,454
		2,578	1,554
		1,348	0,630
		1,683	1,645

Za HE 400 A valjani profil uz ograničenje $h/b=490/300=1.63>2$ iz *Tablice 7.* očitamo d krivulju izvijanja. Za krivulju izvijanja d, iz *Tablice 8.* očitamo faktor imperfekcije $\alpha_{LT}=0.76$.

Tablica 10: Vrijednost faktora C1 u ovisnosti o ψ

ψ	C_1
+1,00	1,00
+0,75	1,14
+0,50	1,31
+0,25	1,52
0,00	1,77
-0,25	2,05
-0,50	2,33
-0,75	2,57
-1,00	2,55

Odnosi momentnog dijagrama daju vrijednosti ψ , a pomoću *Tablice 10.* očitamo vrijednost C1.

$$\psi = M_2/M_1 = 358.18/477.89 = -0.75 \rightarrow C1 = 2.57$$

$$\psi = M_3/M_2 = 0/358.18 = 0 \rightarrow C1 = 1.77$$

Izračun otpornosti stupa na bočno torzijsko izvijanje s bočnim pridržanjima na sredini visine elementa $L_{cr}=4.5$ m, $C1=1.77$

Elastični kritični moment bočno torzijskog izvijanja dan je izrazom:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2} \cdot \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}}$$

$$M_{cr} = 1.77 \frac{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 10370}{450^2} \cdot \sqrt{\frac{5.643}{10370} + \frac{450^2 \cdot 8100 \cdot 309.3}{\pi^2 \cdot 21\,000 \cdot 10370}}$$

$$M_{cr} = 288630 \text{ Ncm}$$

Svedena vitkost elementa dana je izrazom:

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{3949 \cdot 23,5}{288630}}$$

$$\lambda_{LT} = 0.567$$

Pomoćni koeficijent bočno torzijskog izvijanja:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,76 \cdot (0,567 - 0,2) + 0,567^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,80$$

Koeficijent redukcije bočno torzijskog izvijanja:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,80 + \sqrt{0,80^2 - 0,567^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,733$$

Proračunska nosivost na bočno torzijsko izvijanje:

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

$$M_{b,Rd} = 0,73 \cdot \frac{3949 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$M_{b,Rd} = 61586 \text{ kNcm} = 615,86 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$477,89 < 615,86$$

Uvjet zadovoljava!

Iskoristivost poprečnog presjeka na bočno torzijsko izvijanje:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{477,89}{615,86} \cdot 100\% = 77,6 \%$$

g) Otpornost elementa stupa na čisto izvijanje

Tablica 11: Krivulje izvijanja ovisno o poprečnim presjecima

Poprečni presjeci		Ograničenja	Izvijanje oko osi	Linija izvijanja	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Valjani presjeci		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm	y-y	a
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	z-z	b
				y-y	c
				z-z	d
Zavareni I profili		$t_f \leq 40$ mm	y-y	b	
			z-z	c	
		$t_f > 40$ mm	y-y	c	
			z-z	d	
Šuplji presjeci		vruće dogotovljeni	bilo koje	a	
		hladno oblikovani	bilo koje	c	
Zavareni sandučasti presjeci		općenito (osim kao ispod)	bilo koje	b	
		debljina vara: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $b/t_w < 30$	bilo koje	c	
U-, T- i puzni presjeci			bilo koje	c	
L- presjeci			bilo koje	b	

Tablica 12: Vrijednosti koeficijenta nesavršenosti ovisno o krivulji izvijanja

Krivulja izvijanja	a ₀	a	b	c	d
Faktor imperfekcije α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Otpornost elementa stupa na čisto izvijanje oko osi y-y

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 86970}{900^2}$$

$$N_{cr,y} = 22253.76 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$\lambda_y = \sqrt{\frac{197,5 \cdot 23,5}{22253,76}}$$
$$\lambda_y = 0,46$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$
$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,46 - 0,20) + 0,46^2]$$
$$\phi_y = 0,63$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}}$$
$$\chi_y = \frac{1}{0,63 + \sqrt{0,63^2 - 0,46^2}}$$
$$\chi_y = 0,94$$

Otpornost elementa stupa na čisto izvijanje oko osi z-z

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr}^2}$$
$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 10370}{450^2}$$
$$N_{cr,z} = 10613,85 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dana je izrazom:

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_z = \sqrt{\frac{197,5 \cdot 23,5}{10613,85}}$$

$$\lambda_z = 0,66$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,66 - 0,20) + 0,66^2]$$

$$\phi_z = 0,8$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,8 + \sqrt{0,8^2 - 0,66^2}}$$

$$\chi_z = 0,799$$

Vrijednost koeficijenta redukcije:

$$\chi = \min(\chi_y; \chi_z) = \min(0,94; 0,799)$$

$$\chi = 0,799$$

Proračunska nosivost čistog izvijanja dana je izrazom:

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

$$N_{b,Rd} = 0,8 \cdot \frac{197,5 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$N_{b,Rd} = 3375,45 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$220.11 < 3375.45$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{220.11}{3375.45} \cdot 100\% = 6.52 \%$$

h) Interakcija M-N na razini elementa stupa

Proračunski moment savijanja i proračunska uzdužna sila:

$$M_{y,Ed} = 477.89 \text{ [kNm]}$$

$$N_{Ed} = 220.11 \text{ [kN]}$$

Karakteristične vrijednosti nosivosti elementa na tlak i savijanje dani su izrazima:

Karakteristična nosivost na tlak

$$N_{Rk} = A \cdot f_y$$

$$N_{Rk} = 197,5 \cdot 23,5$$

$$N_{Rk} = 4641.25 \text{ kN}$$

Karakteristična nosivost na savijanje

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y$$

$$M_{y,Rk} = 3949 \cdot 23.5$$

$$M_{y,Rk} = 928.02 \text{ kNm}$$

Potrebni podaci za izračun interakcije M-N na razini elementa

$$\lambda_y = 0,46 \quad \Phi_y = 0,63 \quad \chi_y = 0,94$$

$$\lambda_z = 0,66 \quad \Phi_z = 0,80 \quad \chi_z = 0,8$$

$$\lambda_{LT} = 0,57 \quad \Phi_{LT} = 0,80 \quad \chi_{LT} = 0,73$$

Koeficijent C_{my} dan je izrazom:

$$C_{my} = 0,60 + 0,40 \cdot \psi$$

$$C_{my} = 0,60 + 0,40 \cdot 0$$

$$C_{my} = 0,60$$

Koeficijent interakcije k_{yy} dan je izrazom:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left[1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\phi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left[1 + (0,46 - 0,2) \cdot \frac{220.11}{0,63 \cdot \frac{4641.25}{1,1}} \right] \leq 0,60 \cdot \left(1 + 0,8 \cdot \frac{220.11}{0,94 \cdot \frac{4641.25}{1,1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,61 < 0,63$$

Koeficijent interakcije k_{zy} dan je izrazom:

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy}$$

$$k_{zy} = 0,60 \cdot 0,61 = 0,37$$

Uvjeti interakcije M-N na razini elementa dani su izrazima:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Provjera gornjeg uvjeta

$$\frac{220.11}{0,94 \cdot \frac{4641.25}{1,1}} + 0,61 \cdot \frac{477.89}{0,71 \cdot \frac{928.02}{1,1}} \leq 1$$

$$0,54 < 1$$

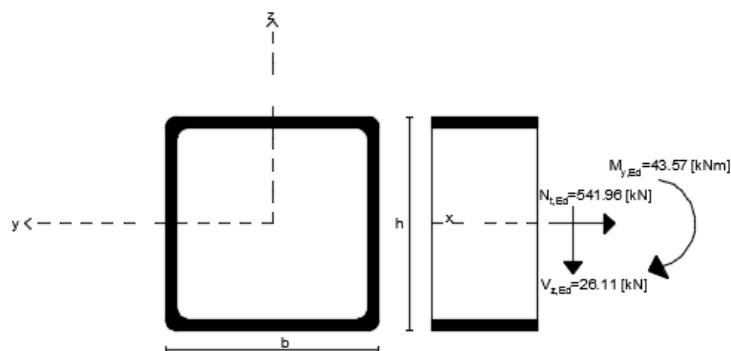
Uvjet zadovoljen!

Provjera donjeg uvjeta

$$\frac{220.11}{0.8 \cdot \frac{4641.25}{1.1}} + 0.37 \cdot \frac{477.89}{0.71 \cdot \frac{928.02}{1.1}} \leq 1$$
$$0.36 < 1$$

Uvjet zadovoljen!

5.2.4. Donji pojas rešetke nosača konstrukcije



Slika 28: Poprečni presjek donjeg pojasa rešetke, 200x200x10

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, kvadratni šuplji profil 200x200x10

Dimenzije poprečnog presjeka:

A=73.4 cm², h=200 mm, b=200 mm, t=10 mm

Statičke veličine:

I_y=4338 cm⁴, W_y=434 cm³, W_{pl,y}=516 cm³, I_t=7048 cm⁴

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Klasifikacija presjeka-unutarnji element izložen savijanju

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = h - 2 \cdot t = 200 - 20 \cdot 1$$

$$c = 180 \text{ [mm]}$$

$$\frac{180}{20} \leq 72$$

$$9 < 72$$

Uvjet zadovoljen!

Poprečni presjek 200x200x10 klasa 1!

b) Otpornost poprečnog presjeka na vlak

Izraz otpornosti presjeka na vlak:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{73.4 \cdot 23,5}{1}$$

$$N_{t,Rd} = 1724.9 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$541.96 < 1724.9$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na vlak:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{541.96}{1724.9} \cdot 100\% = 31.4 \%$$

c) Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Izraz otpornosti presjeka na savijanje:

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{y,Rd} = \frac{516 \cdot 23.5}{1}$$

$$M_{y,Rd} = 12126 \text{ kNcm} = 121.26 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,ed} \leq M_{c,y,Rd}$$

$$43.57 < 121.26$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na savijanje:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} \cdot 100\% = \frac{43.57}{121.26} \cdot 100\% = 36 \%$$

d) Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

Provjera izbočavanja hrpta na posmik zbog utjecaja poprečne sile

Uvjet izbočavanja hrpta:

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta}$$

$$\frac{h_w}{t} = \frac{h - 2 \cdot t}{t} = \frac{200 - 2 \cdot 10}{10} = 18$$

$$72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{1}{1.2} = 60$$

$$18 < 60$$

Uvjet zadovoljen!

Nema izbočavanja!

Posmična površina

$$A_V = \frac{A \cdot h}{b + h} = \frac{73.4 \cdot 20}{20 + 20}$$

$$A_V = 36.7 \text{ cm}^2 > \eta \cdot h_w \cdot t = 1.2 \cdot 18 \cdot 1 = 21.6 \text{ cm}^2$$

$$36.7 > 21.6$$

Izraz otpornosti presjeka na poprečnu silu:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_V \cdot \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{36.7 \cdot \left(\frac{23,5}{\sqrt{3}}\right)}{1}$$

$$V_{pl,Rd} = 497.94 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} = 26.11 \text{ [kN]}$$

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

$$26.11 < 497.94$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na poprečnu silu:

$$\eta = \frac{V_{z,Ed}}{V_{pl,Rd}} \cdot 100\% = \frac{26.11}{497.94} \cdot 100\% = 5.2 \%$$

e) Interakcija M-V-N poprečnog presjeka

Interakcija M-N

$$N_{Ed} = -229.20 \text{ [kN]}$$

Uvjeti interakcije:

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

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

Gornji uvjet interakcije:

$$229.20 \leq 0,25 \cdot 1724.9$$

$$229.2 < 431.23$$

Donji uvjet interakcije:

$$229.20 \leq \frac{0.5 \cdot 18 \cdot 1 \cdot 23.5}{1}$$

$$229.2 > 211.5$$

Donji uvjet nije zadovoljio, potrebna je redukcija:

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t}{A}$$

$$a = \frac{73.4 - 2 \cdot 20 \cdot 1}{73.4}$$

$$a = 0,455$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

$$n = \frac{541.96}{1724.9} = 0.314$$

$$M_{c,y,Rd} \cdot \frac{1 - n}{1 - 0,5 \cdot a} \leq M_{c,y,Rd}$$

$$121.26 \cdot \frac{1 - 0,314}{1 - 0,5 \cdot 0,455} \leq 121.26$$

$$106.74 < 121.26$$

Uvjet nosivosti:

$$M_{y,ed} \leq M_{c,y,Rd}$$

$$43.57 < 106.74$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na savijanje:

$$\eta = \frac{M_{y,Ed}}{M_{c,y,Rd}} \cdot 100\% = \frac{43.57}{106.74} \cdot 100\% = 40.82 \%$$

Interakcija M-V

Uvjet interakcije:

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

$$26.11 \leq 0,5 \cdot 497.94$$

$$26.11 < 248.97$$

NAPOMENA: U slučaju kada je poprečna sila V_{Ed} manja od polovice plastične otpornosti $V_{pl,Rd}$ na poprečnu silu, učinak poprečne sile na savijanje se ne uzima u obzir.

Interakcija N-V

$$N_{pl,V} = N_{pl} \cdot \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_z}{V_{pl}} \right)^2} \right] \right\} \cdot \frac{A_v}{A}$$

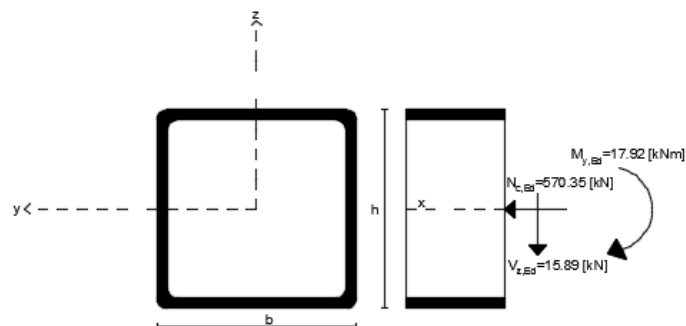
$$N_{pl,V} = 1724.9 \cdot \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{26.11}{497.94} \right)^2} \right] \right\} \cdot \frac{36.7}{73.4}$$

$$N_{pl,V} = 861.26 \text{ [kN]}$$

$$N_{Ed} < N_{pl,V}$$

$$229.20 < 861.26$$

5.2.5. Gornji pojas rešetke glavnog nosača konstrukcije



Slika 29: Poprečni presjek gornjeg pojasa rešetke, 200x200x10

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, kvadratni šuplji profil 200x200x10

NAPOMENA: Iste veličine kao i donji pojas.

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Klasifikacija presjeka-unutarnji element izložen tlaku i savijanju

Uvjet za klasu 1:

Za $\alpha > 0.5$

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

Za $\alpha < 0.5$

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

Proračun „ α “:

$$a = \frac{N_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} = \frac{570.35 \cdot 1}{2 \cdot 1 \cdot 23.5}$$

$$a = 12.135 \text{ [cm]}$$

$$c = h - 2 \cdot t = 200 - 2 \cdot 10$$

$$c = 180 \text{ [mm]}$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \cdot \left(\frac{c}{2} + a \right) = \frac{1}{18} \cdot \left(\frac{18}{2} + 11.53 \right)$$

$$\alpha = 1.174$$

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

$$\frac{180}{10} \leq \frac{396 \cdot 1}{13 \cdot 1.174 - 1}$$

$$18 < 27.77$$

Uvjet zadovoljen!

Poprečni presjek 200x200x10 klasa 1!

b) Otpornost poprečnog presjeka na tlak

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$N_{c,Rd} = \frac{73.4 \cdot 23,5}{1}$$
$$N_{c,Rd} = 1724.9 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$570.35 < 1724.9$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{570.35}{1724.9} \cdot 100\% = 33.1 \%$$

c) Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

NAPOMENA: $M_{y,Ed}=17.92$ [kNm], vrijednost momenta savijanja u gornjem pojasu je manja od vrijednosti momenta savijanja u donjem pojasu, uvjet zadovoljava!

d) Otpornost poprečnog presjeka na poprečnu silu

NAPOMENA: $V_{z,Ed}=15.89$ [kN], vrijednost poprečne sile u gornjem pojasu je manja od vrijednosti poprečne sile u donjem pojasu, uvjet zadovoljava!

e) Interakcija M-V-N poprečnog presjeka

NAPOMENA: Interakcije M-V-N zadovoljavaju pošto su vrijednosti unutrašnjih sila u gornjem pojasu manje od vrijednosti u donjem pojasu.

f) Otpornost elementa gornjeg pojasa na čisto izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr,yz} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{yz}}{L_{cr}^2}$$
$$N_{cr,yz} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 4338}{225^2}$$
$$N_{cr,yz} = 17760 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda_{yz} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$\lambda_{yz} = \sqrt{\frac{73,4 \cdot 23,5}{17760}}$$
$$\lambda_{yz} = 0,31$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi_{yz} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$
$$\phi_{yz} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,31 - 0,20) + 0,31^2]$$
$$\phi_{yz} = 0,56$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi_{yz} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$
$$\chi_{yz} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 - 0,31^2}}$$
$$\chi_{yz} = 0,97$$

Proračunska nosivost čistog izvijanja dana je izrazom:

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

$$N_{b,Rd} = 0,97 \cdot \frac{73,4 \cdot 35,5}{1,1}$$

$$N_{b,Rd} = 2297,75 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} = -570,35 \text{ [kN]}$$

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

$$570,35 < 2297,75$$

Uvjet zadovoljen!

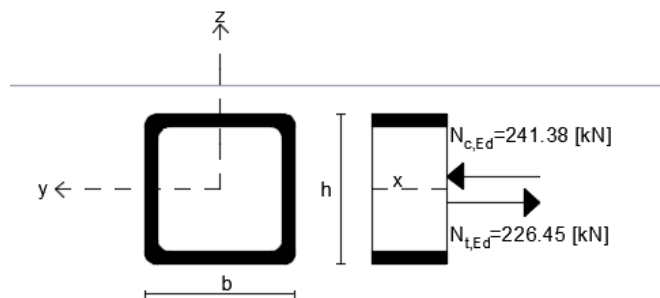
Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{570,35}{2297} \cdot 100\% = 24,8 \%$$

5.2.6. Ispuna rešetke glavnog nosača konstrukcije

Dijagonalna ispunjena rešetke

$$N_{Ed,max} = 226,45 \text{ [kN]}, N_{Ed,min} = -241,38 \text{ [kN]}$$



Slika 30: Poprečni presjek dijagonalne ispunjene rešetke, 100x100x8

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, kvadratni šuplji profil 100x100x8

Dimenzije poprečnog presjeka:

$$A = 28,5 \text{ cm}^2, h = 100 \text{ mm}, b = 100 \text{ mm}, t = 8 \text{ mm}$$

Statičke veličine:

$$I_y=396 \text{ cm}^4, W_y=79.1 \text{ cm}^3, W_{pl,y}=96.9 \text{ cm}^3, I_t=644 \text{ cm}^4$$

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Klasifikacija presjeka-unutarnji element izložen tlaku

Uvjet za klasu 1:

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

$$c = h - 2 \cdot t = 100 - 2 \cdot 8 = 84 \text{ mm}$$

$$\frac{84}{8} \leq 33 \cdot 1$$

$$10.5 < 33$$

Uvjet zadovoljen!

Poprečni presjek 100x100x8 klasa 1!

b) Otpornost poprečnog presjeka na tlak

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{28.5 \cdot 23.5}{1}$$

$$N_{c,Rd} = 669.75 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$241.38 < 669.75$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{241.38}{669.75} \cdot 100\% = 36\%$$

c) Otpornost poprečnog presjeka na vlak

Izraz otpornosti presjeka na vlak:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{28.5 \cdot 23,5}{1}$$

$$N_{t,Rd} = 669.75 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{t,Ed} = 226.45 \text{ [kN]}$$

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

$$226.45 < 669.75$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na vlak:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{226.45}{669.75} \cdot 100\% = 33.8 \%$$

d) Otpornost elementa dijagonalne ispune na čisto izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr,yz} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{yz}}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr,yz} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 396}{293^2}$$

$$N_{cr,yz} = 956 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda_{yz} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\lambda_{yz} = \sqrt{\frac{28,5 \cdot 23,5}{956}}$$

$$\lambda_{yz} = 0,84$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi_{yz} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$

$$\phi_{yz} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,84 - 0,20) + 0,84^2]$$

$$\phi_{yz} = 0,92$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi_{yz} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}}$$

$$\chi_{yz} = \frac{1}{0,92 + \sqrt{0,92^2 - 0,84^2}}$$

$$\chi_{yz} = 0,77$$

Proračunska nosivost čistog izvijanja dana je izrazom:

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

$$N_{b,Rd} = 0,77 \cdot \frac{28,5 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$N_{b,Rd} = 486,83 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$241,38 < 486,83$$

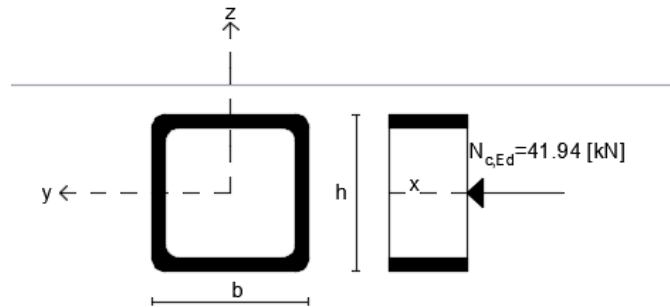
Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{241,38}{486,83} \cdot 100\% = 49,6 \%$$

Vertikalna ispunna rešetke

$$N_{Ed,min} = -41.94 \text{ [kN]}$$



Slika 31: Poprečni presjek dijagonalne ispunne rešetke, 100x100x8

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, kvadratni šuplji profil 100x100x8

NAPOMENA: Iste veličine kao i dijagonalna ispunna rešetke.

a) Klasifikacija poprečnog presjeka

Klasifikacija hrpta-unutarnji element izložen tlaku

NAPOMENA: Klasifikacija poprečnog presjeka ista kao i dijagonalna ispunna rešetke.

b) Otpornost poprečnog presjeka na tlak

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{28.5 \cdot 23.5}{1}$$

$$N_{c,Rd} = 669.75 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$41.94 < 669.75$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{41.94}{669.75} \cdot 100\% = 6.3 \%$$

c) Otpornost elementa vertikalne ispune na čisto izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr,yz} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{yz}}{L_{cr}^2}$$
$$N_{cr,yz} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 396}{173^2}$$
$$N_{cr,yz} = 2742.35 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda_{yz} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$\lambda_{yz} = \sqrt{\frac{28.5 \cdot 23.5}{2742.35}}$$
$$\lambda_{yz} = 0.494$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi_{yz} = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$
$$\phi_{yz} = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,494 - 0,20) + 0,494^2]$$
$$\phi_{yz} = 0,65$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi_{yz} = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda_y^2}}$$
$$\chi_{yz} = \frac{1}{0.65 + \sqrt{0.65^2 - 0.494^2}}$$
$$\chi_{yz} = 0,93$$

Proračunska nosivost čistog izvijanja dana je izrazom:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
$$N_{b,Rd} = 0.93 \cdot \frac{28.5 \cdot 23,5}{1,1}$$
$$N_{b,Rd} = 566.24 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

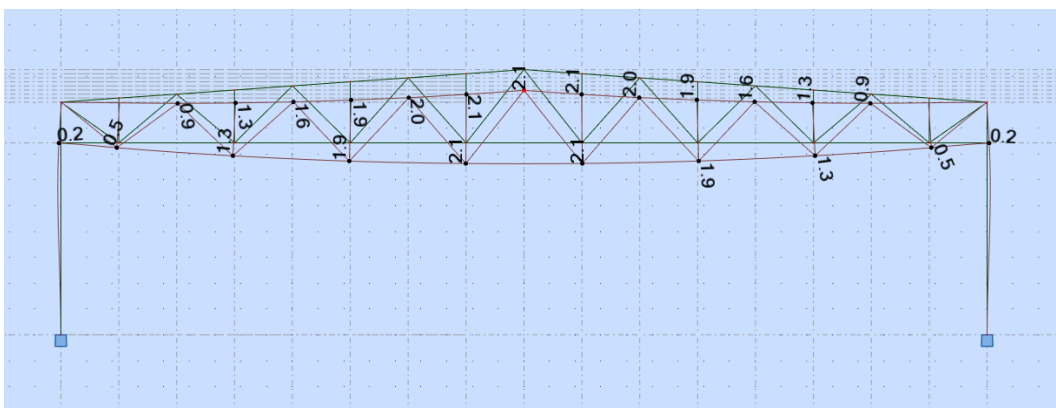
$$N_{c,Ed} \leq N_{b,Rd}$$
$$41.94 < 566.24$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{41.94}{566.24} \cdot 100\% = 7.4 \%$$

5.2.7. Provjera progiba glavnog nosača konstrukcije (GSU)



Slika 32: Proračunski progib i pomak glavnog okvira

Proračunski progibi i pomaci glavnog okvira

Najveći vertikalni progib:

$$\delta_{\text{MAX,VERT.}} = 21 \text{ [mm]}$$

Najveći horizontalni pomak:

$$\delta_{\text{MAX,HOR.}} = 2 \text{ [mm]}$$

Maksimalno dopušteni vertikalni progib glavnog okvira dan je izrazom:

$$f_{\text{MAX}}=L/250$$

$$f_{\text{MAX}}=36000/250$$

$$f_{\text{MAX,VERT.}}=144 \text{ [mm]}$$

Maksimalno dopušteni horizontalni pomak dan je izrazom:

$$f_{\text{MAX}}=H/150$$

$$f_{\text{MAX}}=9000/150$$

$$f_{\text{MAX,HOR.}}=60 \text{ [mm]}$$

Uvjeti graničnog stanja uporabljivosti (GSU):

$$f_{\text{MAX,VERT.}} > \delta_{\text{MAX,VERT.}} \rightarrow 144 > 21$$

$$f_{\text{MAX,HOR.}} > \delta_{\text{MAX,HOR.}} \rightarrow 2 > 60$$

Uvjeti zadovoljeni!

GSU zadovoljava!

Iskoristivost graničnog stanja uporabljivosti

Vertikalni progib glavnog okvira:

$$\eta = \delta_{\text{MAX,VERT.}} / f_{\text{MAX,VERT.}} = 14.6 \%$$

Horizontalni pomak glavnog okvira:

$$\eta = \delta_{\text{MAX,VERT.}} / f_{\text{MAX,VERT.}} = 3.33 \%$$

5.3. Spregovi

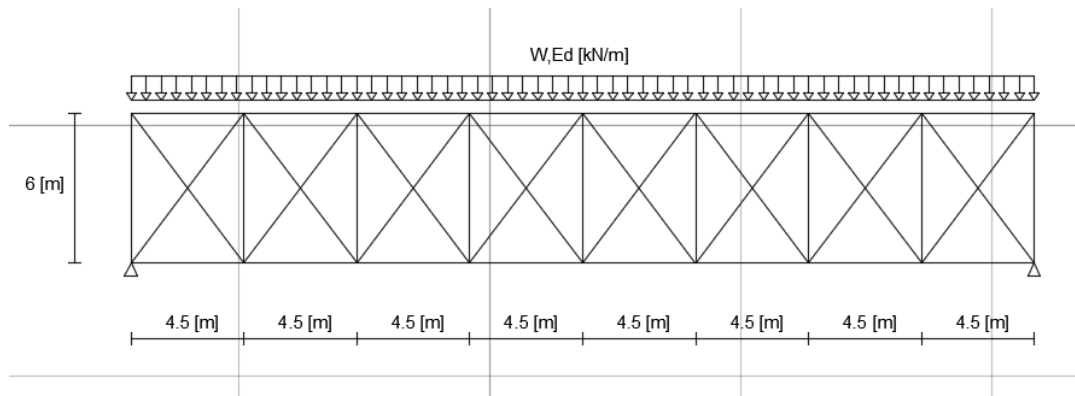
5.3.1. Analiza djelovanja na horizontalno poprečni spreg

Kritično djelovanje vjetra:

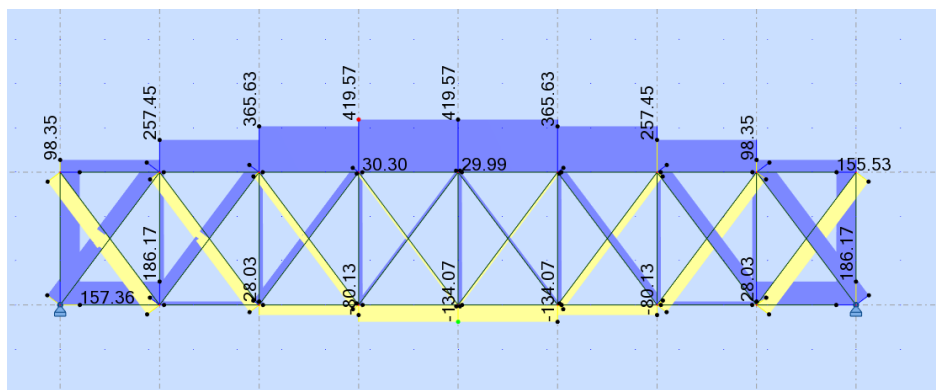
$$W_{k,D} = (h/2) \cdot w_D = (10.30/2) \cdot 1.87 = 9.63 \text{ [kN/m]}$$

Proračunsko opterećenje vjetrom na horizontalno poprečni spreg dan je izrazom:

$$W_{Ed} = \gamma_Q \cdot W_{k,D} = 1.5 \cdot 8.42 = 14.45 \text{ [kN/m]}$$

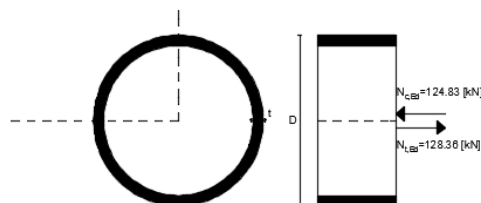


Slika 33: Statički sustav i proračunsko opterećenje na horizontalno poprečni spreg



Slika 34: Unutrašnje uzdužne sile horizontalno poprečnog sprega

5.3.2. Klasifikacija poprečnog presjeka horizontalno poprečnog sprega



Slika 35: Poprečni profil horizontalno poprečnog sprega, šuplja cijev 108/12.5

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, okrugli cijevni šuplji profil 108/12.5

Dimenzije poprečnog presjeka:

$A=37.5 \text{ cm}^2$, $D=108 \text{ mm}$, $t=12.5 \text{ mm}$

Statičke veličine:

$$I=435 \text{ cm}^4, W=80.5 \text{ cm}^3, W_{pl,y}=115 \text{ cm}^3, I_t=870 \text{ cm}^4$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50\varepsilon^2$$

$$\frac{108}{12.5} \leq 50 \cdot 1^2$$

$$8.64 < 50$$

Uvjet zadovoljen! Cijev klase 1!

5.3.3. Otpornost poprečnog presjeka horizontalno poprečnog sprega

Otpornost presjeka na vlak

$$N_{t,Ed}=128.36 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na vlak:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{37.5 \cdot 23,5}{1}$$

$$N_{t,Rd} = 881.25 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$128.36 < 881.25$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na vlak:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{126.36}{881.25} \cdot 100\% = 14.34 \%$$

Otpornost presjeka na tlak

$$N_{c,Ed} = -124.83 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{37.5 \cdot 23.5}{1}$$

$$N_{c,Rd} = 881.25 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} = -124.83 \text{ [kN]}$$

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

$$124.83 < 881.25$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{124.83}{881.25} \cdot 100\% = 14.20 \%$$

5.3.4. Otpornost horizontalno poprečnog sprega na čisto izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 435}{751.2^2}$$

$$N_{cr} = 159.86 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{37,5 \cdot 23,5}{159,86}}$$

$$\lambda = 2,348$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (2,348 - 0,20) + 2,348^2]$$

$$\phi = 3,48$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = \frac{1}{3,48 + \sqrt{3,48^2 - 2,348^2}}$$

$$\chi = 0,17$$

Proračunska nosivost čisto izvijanja dana je izrazom:

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

$$N_{b,Rd} = 0,17 \cdot \frac{37,5 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$N_{b,Rd} = 136,19 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$124,83 < 136,19$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{124,83}{136,19} \cdot 100\% = 91,66 \%$$

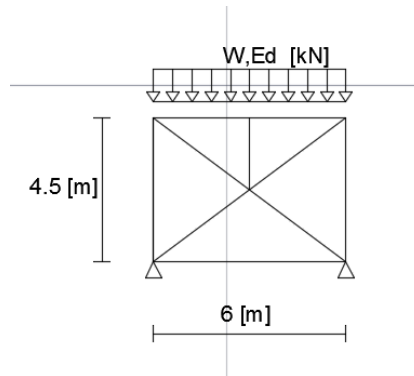
5.3.5. Analiza djelovanja na horizontalno uzdužni spreg

Kritično djelovanje vjetra:

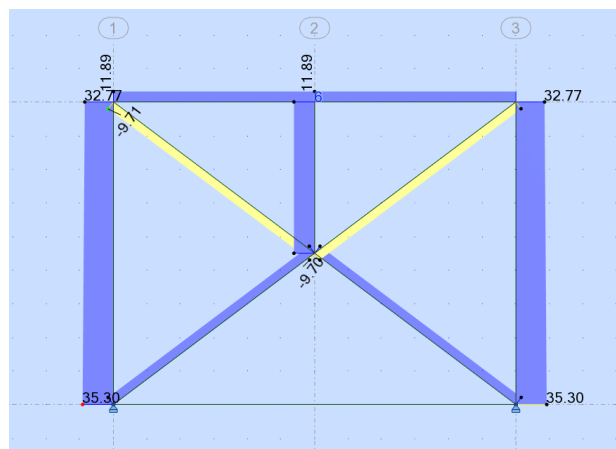
$$W_{k,D} = (h/2) \cdot w_D = (9/2) \cdot 1.87 = 8.42 \text{ [kN]}$$

Proračunsko opterećenje vjetrom na horizontalno uzdužni spreg dan je izrazom:

$$W_{Ed} = \gamma_Q \cdot W_{k,D} = 1.5 \cdot 8.42 = 12.63 \text{ [kN]}$$

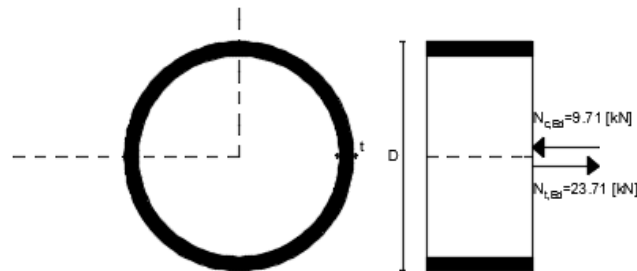


Slika 36: Statički sustav i proračunsko djelovanje na horizontalno uzdužni spreg



Slika 37: Unutrašnje uzdužne sile horizontalno uzdužnog sprega

5.3.6. Klasifikacija poprečnog presjeka horizontalno uzdužnog sprega



Slika 38. Poprečni profil horizontalno uzdužnog sprega, šuplja cijev 44.5/12.5

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, okrugli cijevni šuplji profil 44.5/5

Dimenzije poprečnog presjeka:

$A=6.2 \text{ cm}^2$, $D=44.5 \text{ mm}$, $t=5 \text{ mm}$

Statičke veličine:

$I=12.3 \text{ cm}^4$, $W=5.53 \text{ cm}^3$, $W_{pl,y}=7.84 \text{ cm}^3$, $I_t=24.6 \text{ cm}^4$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50 \cdot \epsilon^2$$

$$\frac{44.5}{5} \leq 50 \cdot 1^2$$

$$8.9 < 50$$

Uvjet zadovoljen! Cijev klase 1!

5.3.7. Otpornost poprečnog presjeka horizontalno uzdužnog sprega

Otpornost presjeka na vlak

$$N_{t,Ed}=23.71 \text{ [kN]}$$

$$N_{t,Ed}=10.13 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na vlak:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{6,2 \cdot 23,5}{1}$$

$$N_{t,Rd} = 145,7 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$23.71 < 145,7$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na vlak:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{23.71}{145,7} \cdot 100\% = 16,27 \%$$

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Ed}=-9.71 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{c,Rd} = \frac{6,2 \cdot 23,5}{1}$$

$$N_{c,Rd} = 145,7 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} = -9.71 \text{ [kN]}$$

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

$$9.71 < 145.7$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{9.71}{145.7} \cdot 100\% = 6.67 \%$$

5.3.8. Otpornost horizontalno uzdužnog sprega na čisto izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 12.3}{375^2}$$

$$N_{cr} = 18.13 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{6.2 \cdot 23.5}{18.13}}$$

$$\lambda = 2.84$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi = 0.5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0.20) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0.5 \cdot [1 + 0.21 \cdot (2.84 - 0.20) + 2.84^2]$$

$$\phi = 4.81$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$
$$\chi = \frac{1}{4.81 + \sqrt{4.81^2 - 2.84^2}}$$
$$\chi = 0,047$$

Proračunska nosivost čistog izvijanja dana je izrazom:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
$$N_{b,Rd} = 0,11 \cdot \frac{6.2 \cdot 23.5}{1,1}$$
$$N_{b,Rd} = 14.57 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} = -9.71 \text{ [kN]}$$

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

$$9.71 < 14.57$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{9.71}{14.57} \cdot 100\% = 66.5 \%$$

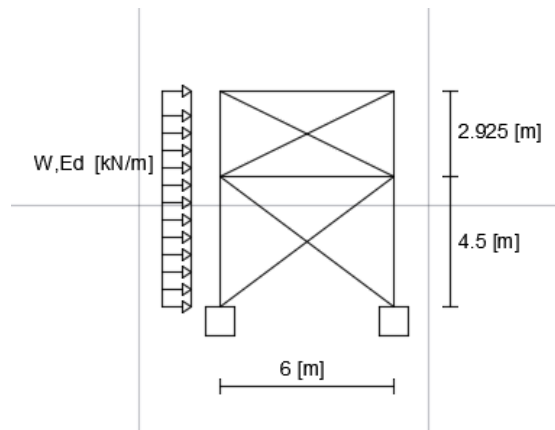
5.3.9. Analiza djelovanja na vertikalno poprečni spreg

Kritično djelovanje vjetra:

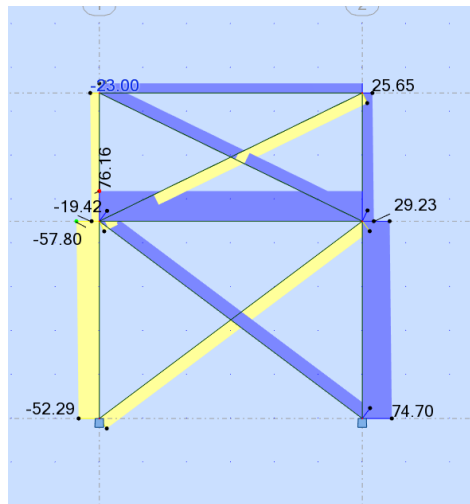
$$W_{k,D} = 0.25 \cdot L \cdot w_D = 0.25 \cdot 60 \cdot 1.87 = 28.05 \text{ [kN/m]}$$

Proračunsko opterećenje vjetrom na horizontalno poprečni spreg dan je izrazom:

$$W_{Ed} = \gamma_Q \cdot W_{k,D} = 1.5 \cdot 28.05 = 42.08 \text{ [kN/m]}$$

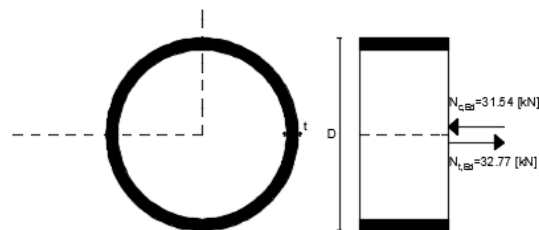


Slika 39: Statički sustav i proračunsko djelovanje na vertikalno poprečni spreg



Slika 40: Unutrašnje uzdužne sile vertikalno poprečni spreg

5.3.10. Klasifikacija poprečnog presjeka vertikalno poprečnog sprega



Slika 41: Poprečni profil vertikalno poprečnog sprega, šuplja cijev 70/12.5

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, okrugli cijevni šuplji profil 70/12.5

Dimenzije poprečnog presjeka:

$$A=22.6 \text{ cm}^2, D=70 \text{ mm}, t=12.5 \text{ mm}$$

Statičke veličine:

$$I=97.7 \text{ cm}^4, W=27.9 \text{ cm}^3, W_{pl,y}=42 \text{ cm}^3, I_t=195 \text{ cm}^4$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$$

$$\frac{70}{12.5} \leq 50 \cdot 1^2$$

$$5.6 < 50$$

Uvjet zadovoljen! Cijev klase 1!

5.3.11. Otpornost poprečnog presjeka vertikalno poprečnog sprega

Otpornost poprečnog presjeka na vlak

$$N_{t,Ed}=32.77 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na vlak:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{t,Rd} = \frac{22.6 \cdot 23,5}{1}$$

$$N_{t,Rd} = 531.1 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$32.77 < 531.1$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na vlak:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{32.77}{531.1} \cdot 100\% = 6,17 \%$$

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Ed} = -31.54 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$N_{c,Rd} = \frac{22,6 \cdot 23,5}{1}$$
$$N_{c,Rd} = 531,1 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} = 31.54 \text{ [kN]}$$

$$N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$31.54 < 531,1$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{31.54}{531,1} \cdot 100\% = 5,93 \%$$

5.3.12. Otpornost vertikalno poprečnog sprega na čisto izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 97.7}{668^2}$$
$$N_{cr} = 42.78 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{22,6 \cdot 23,5}{42,78}}$$

$$\lambda = 3,52$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (3,52 - 0,20) + 3,52^2]$$

$$\phi = 7,04$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi = \frac{1}{7,04 + \sqrt{7,04^2 - 3,52^2}}$$

$$\chi = 0,076$$

Proračunska nosivost čistog izvijanja dana je izrazom:

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

$$N_{b,Rd} = 0,76 \cdot \frac{22,6 \cdot 23,5}{1,1}$$

$$N_{b,Rd} = 35,91 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} = -31,54 \text{ [kN]}$$

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

$$31,54 < 35,91$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{31,54}{35,91} \cdot 100\% = 87,8 \%$$

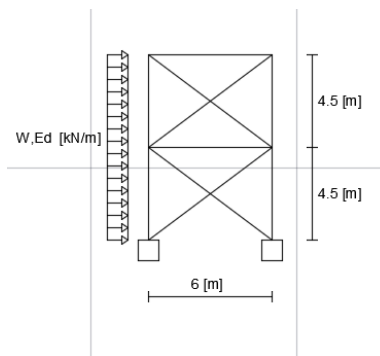
5.3.13. Analiza djelovanja na vertikalno uzdužni spreg

Kritično djelovanje vjetra:

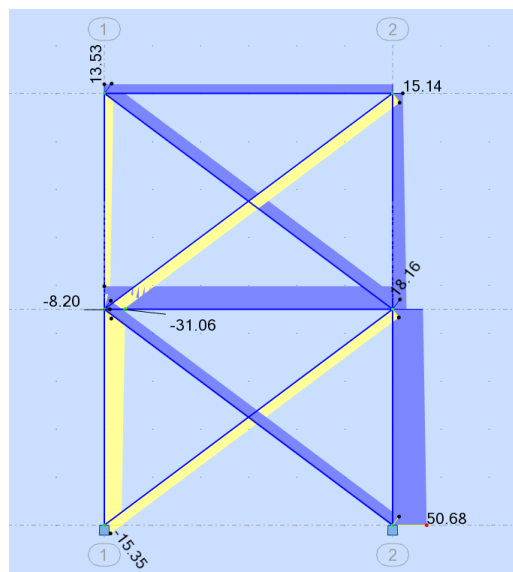
$$W_{k,D} = (h/2) \cdot w_D = (10,30/2) \cdot 1,87 = 9,63 \text{ [kN/m]}$$

Proračunsko opterećenje vjetrom na horizontalno poprečni spreg dan je izrazom:

$$W_{Ed} = \gamma_Q \cdot W_{k,D} = 1,5 \cdot 8,42 = 14,45 \text{ [kN/m]}$$

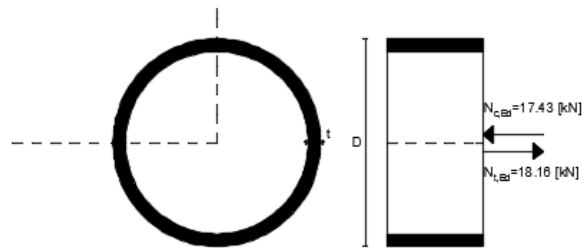


Slika 42: Statički sustav i proračunsko djelovanje na vertikalno uzdužni spreg



Slika 43: Unutrašnje uzdužne sile vertikalno uzdužnog sprega

5.3.14. Klasifikacija poprečnog presjeka vertikalno uzdužnog sprega



Slika 44: Poprečni profil vertikalno uzdužnog sprega, šuplja cijev 70/12.5

Geometrijske karakteristike i statičke veličine odabranog profila, okrugli šuplji cijevni profil 70/12.5

Dimenzije poprečnog presjeka:

$$A=22.6 \text{ cm}^2, D=70 \text{ mm}, t=12.5 \text{ mm}$$

Statičke veličine:

$$I=97.7 \text{ cm}^4, W=27.9 \text{ cm}^3, W_{pl,y}=42 \text{ cm}^3, I_t=195 \text{ cm}^4$$

Uvjet za klasu 1:

$$\frac{d}{t} \leq 50\epsilon^2$$

$$\frac{70}{12.5} \leq 50 \cdot 1^2$$

$$5,6 < 50$$

Uvjet zadovoljen! Cijev klase 1!

5.3.15. Otpornost poprečnog presjeka vertikalno uzdužnog sprega

Otpornost poprečnog presjeka na vlak

$$N_{t,Ed}=18.16 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na vlak:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$N_{t,Rd} = \frac{22,6 \cdot 23,5}{1}$$
$$N_{t,Rd} = 531,1 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{t,Ed} \leq N_{t,Rd}$$
$$18,16 < 531,1$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na vlak:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{18,26}{531,1} \cdot 100\% = 3,4 \%$$

Otpornost poprečnog presjeka na tlak

$$N_{c,Ed} = -17,43 \text{ [kN]}$$

Izraz otpornosti presjeka na tlak:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$
$$N_{c,Rd} = \frac{22,6 \cdot 23,5}{1}$$
$$N_{c,Rd} = 531,1 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$N_{c,Ed} \leq N_{c,Rd}$$
$$17,43 < 531,1$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na tlak:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{c,Rd}} \cdot 100\% = \frac{17,43}{531,1} \cdot 100\% = 3,28 \%$$

5.3.16. Otpornost vertikalno uzdužnog sprega na čisto izvijanje

Elastična kritična sila izvijanja dana je izrazom:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L_{cr}^2}$$
$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 97,7}{750^2}$$
$$N_{cr} = 35,99 \text{ kN}$$

Svedena vitkost elementa dan je izrazom:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$
$$\lambda = \sqrt{\frac{22,6 \cdot 23,5}{35,99}}$$
$$\lambda = 3,84$$

Pomoćni koeficijent dan je izrazom:

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\lambda - 0,20) + \lambda^2]$$
$$\phi = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (3,84 - 0,20) + 3,84^2]$$
$$\phi = 8,26$$

Koeficijent redukcije dan je izrazom:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}}$$
$$\chi = \frac{1}{8,26 + \sqrt{8,26^2 - 3,84^2}}$$
$$\chi = 0,064$$

Proračunska nosivost čistog izvijanja dana je izrazom:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$
$$N_{b,Rd} = 0,64 \cdot \frac{22,6 \cdot 23,5}{1,1}$$
$$N_{b,Rd} = 30,9 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

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

$$17,43 < 30,9$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost poprečnog presjeka na čisto izvijanje:

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{b,Rd}} \cdot 100\% = \frac{17,43}{30,9} \cdot 100\% = 56,31 \%$$

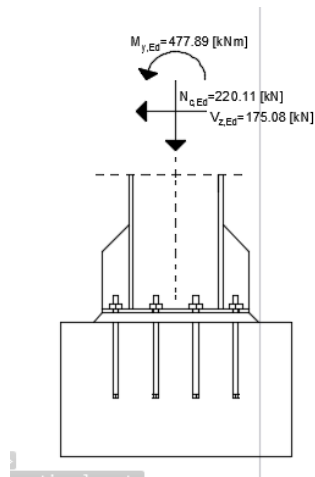
6. PRORAČUN SPOJEVA

6.1. Spoj stup- temelj (DETALJ „A“)

$$N_{Ed} = -220.11 \text{ [kN]}$$

$$M_{y,Ed} = 477.89 \text{ [kNm]}$$

$$V_{z,Ed} = 175.08 \text{ [kN]}$$



Slika 45: Priključak glavnog stupa okvira i temelja

Vijak: M 27, k.v. 8.8., $f_{ub} = 800 \text{ [N/mm}^2\text{]}$, $t = 20 \text{ [mm]}$, $A_s = 459 \text{ [mm}^2\text{]}$

$d_0 = 30 \text{ [mm]}$, $d = 27 \text{ [mm]}$

$e_1 = 67.5 \text{ [mm]}$, $e_2 = 67.5 \text{ [mm]}$

$p_1 = 625 \text{ [mm]}$, $p_2 = 150 \text{ [mm]}$

6.1.1. Otpornost vijaka na posmik

Otpornost jednog vijaka na posmik dan je izrazom:

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$
$$F_{V,Rd} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 4,59}{1,25}$$
$$F_{V,Rd} = 176,26 \text{ kN}$$

Posmična otpornost za n-broj vijaka u spoju dana je izrazom:

$$\sum F_{V,Rd} = F_{V,Rd} \cdot n$$

$$\sum F_{V,Rd} = 176,26 \cdot 8$$

$$\sum F_{V,Rd} = 1410,08 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \sum F_{V,Rd}$$

$$175,08 < 1410,08 \text{ (kN)}$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost n-vijaka u spoju na posmik:

$$\eta = \frac{V_{z,Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \cdot 100\% = \frac{175,08}{1410,08} \cdot 100\% = 12,42 \%$$

6.1.2. Otpornost na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala

Koeficijent α_b u smjeru naprezanja za krajnje vijke da je izrazom:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 \cdot d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{67,5}{3 \cdot 30}; \frac{800}{360}; 1\right)$$

$$\alpha_b = \min(0,75; 2,22; 1)$$

$$\alpha_b = 0,75$$

Koeficijent k_1 okomito na smjer naprezanja za krajnje vijke dan je izrazom:

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

$$k_1 = \min\left(2,8 \cdot \frac{67,5}{30} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_1 = \min(4,6; 2,5)$$

$$k_1 = 2,5$$

Otpornost jednog vijaka na pritisak po omotaču rupe osnovnog materijala dan je izrazom:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$
$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,75 \cdot 36 \cdot 2,7 \cdot 2}{1,25}$$
$$F_{b,Rd} = 291,6 \text{ kN}$$

Otpornost po omotaču rupe osnovnog materijala za n-broj vijaka u spoju dan je izrazom:

$$\sum F_{b,Rd} = F_{v,Rd} \cdot n$$
$$\sum F_{b,Rd} = 291,6 \cdot 8$$
$$\sum F_{b,Rd} = 2332,8 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti:

$$V_{z,Ed} \leq \sum F_{v,Rd}$$
$$175,08 < 2332,8 \text{ (kN)}$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost n-vijaka u spoju na posmik:

$$\eta = \frac{V_{z,Ed}}{\sum F_{v,Rd}} \cdot 100\% = \frac{175,08}{2332,8} \cdot 100\% = 7,5 \%$$

6.1.3. Otpornost vijaka na vlak

Otpornost jednog vijaka na vlak dan je izrazom:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_S}{\gamma_{M2}}$$
$$F_{t,Rd} = \frac{0,90 \cdot 80 \cdot 4,59}{1,25}$$
$$F_{t,Rd} = 264,38 \text{ [kN]}$$

Otpornost na vlak za n-broja vijaka u spoju dan je izrazom:

$$\sum F_{t,Rd} = F_{t,Rd} \cdot n$$
$$\sum F_{t,Rd} = 264,38 \cdot 4$$
$$\sum F_{t,Rd} = 1057,52 \text{ [kN]}$$

Određivanje vlačne sile od djelovanja momenta na spoju:

$$X_1 = h - \frac{t_f}{2} + e_1$$

$$X_1 = 490 - 11.5 + 67.5 = 0.546 \text{ m}$$

$$N_1 = \frac{M_{y,Ed}}{X_1}$$

$$N_1 = \frac{477.89}{0.546}$$

$$N_1 = 875.25 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti vijka na vlak:

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

$$875.25 < 1057.52$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost priključka:

$$\eta = \frac{N_1}{\sum F_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{875.25}{1057.52} \cdot 100\% = 82.76 \%$$

6.1.4. Interakcija posmika i vlaka priključka

Uvjet interakcije posmika i vlaka u priključku dana je izrazom:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{175.08/8}{176.26} + \frac{875.25/4}{1.4 \cdot 264.38} \leq 1$$

$$0.71 \leq 1$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost priključka:

$$\eta = 0.71 \cdot 100\% = 71 \%$$

6.1.5. Otpornost zavara

Maksimalna debljina zavara dana je izrazom:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot \min \{t, t_f, t_w\} = 0,7 \cdot \min \{20, 23, 12\} = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \text{ [mm]}$$

$$a = 8,4 \text{ [mm]}$$

Određivanje tlačne sile od djelovanja momenta na spoju:

$$X_2 = h - \frac{t_f}{2}$$

$$X_2 = 490 - 11,5 = 0,479 \text{ m}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{X_2}$$

$$N_2 = \frac{477,89}{0,479}$$

$$N_2 = 997,68 \text{ kN}$$

Proračun duljine zavara:

$$\sum L = b + b - t_w - 2r + 2t_f = 300 + 300 - 12 - 54 + 46 = 580 \text{ [mm]}$$

Proračunska otpornost zavara dana je izrazom:

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u \cdot a}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} = \frac{36 \cdot 0,84}{\sqrt{3} \cdot 0,8} = 21,83$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M2}} \cdot \sum L$$

$$F_{w,Rd} = \frac{21,83}{1,25} \cdot 58$$

$$F_{w,Rd} = 1012,91 \text{ kN}$$

Proračunsko djelovanje na zavar dan je izrazom:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{(N_2)^2 + \left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2}$$
$$F_{w,Ed} = \sqrt{(997.68)^2 + \left(\frac{175.08}{2}\right)^2}$$
$$F_{w,Ed} = 1001.51 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zavara:

$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$
$$1001.51 < 1012.91$$

Uvjet zadovoljen!

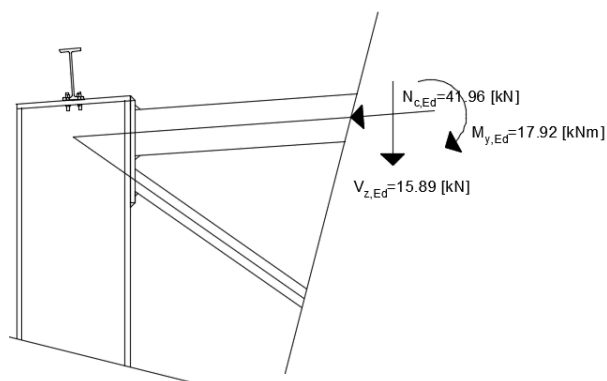
Iskoristivost zavara:

$$\eta = \frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \cdot 100\% = \frac{1001.51}{1012.91} \cdot 100\% = 98.87 \%$$

6.2. Spoj stup-gornji pojas rešetke (DETALJ „B“)

$$M_{y,Ed} = 17.92 \text{ [kNm]}$$

$$V_{z,Ed} = 15.89 \text{ [kN]}$$



Slika 46: Priključak stupa i gornjeg pojasa rešetke

6.2.1. Otpornost zavora

Maksimalna debljina zavora dana je izrazom:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot \min\{t, t_1\} = 0,7 \cdot \min\{20, 10\} = 0,7 \cdot 10$$

$$a = 7 \text{ [mm]}$$

Određivanje tlačne sile od djelovanja momenta na spoju:

$$X_2 = h - \frac{t}{2}$$

$$X_2 = 200 - 5 = 195 \text{ mm}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{X_2}$$

$$N_2 = \frac{17.92}{0,195}$$

$$N_2 = 91.89 \text{ kN}$$

Proračun duljine zavora:

$$\sum L = 4 \cdot b = 4 \cdot 200 = 800 \text{ [mm]}$$

Proračunska otpornost zavora dana je izrazom:

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u \cdot a}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} = \frac{36 \cdot 0.7}{\sqrt{3} \cdot 0.8} = 18.19$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M2}} \cdot \sum L$$

$$F_{w,Rd} = \frac{18.19}{1,25} \cdot 80$$

$$F_{w,Rd} = 1164.16 \text{ kN}$$

Proračunsko djelovanje na zavar dan je izrazom:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{(N_2)^2 + \left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{(91.89)^2 + \left(\frac{15.89}{2}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 92.23 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zavora:

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

$$92.23 < 1164.16$$

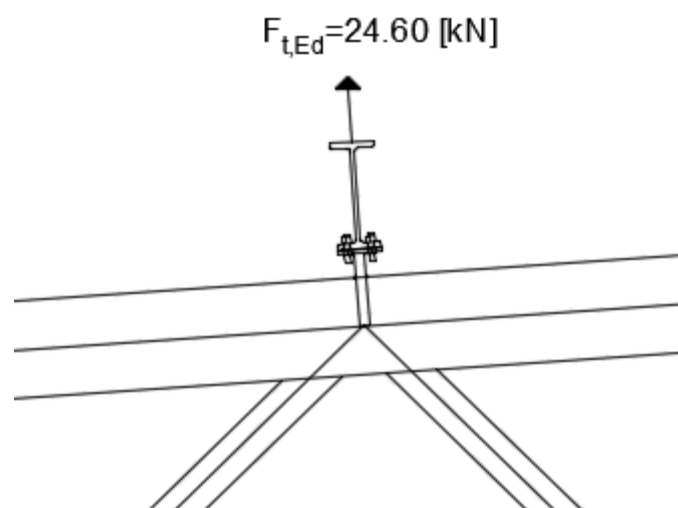
Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost zavora:

$$\eta = \frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \cdot 100\% = \frac{92.23}{1164.16} \cdot 100\% = 7.9 \%$$

6.3. Spoj podrožnica-gornji pojas rešetke (DETALJ „C“)

6.3.1. Otpornost vijaka na vlak



Slika 47: Priključak podrožnice i gornjeg pojasa rešetke

Mjerodavna sila za dimenzioniranje spoja priključka iz najveće negativne kombinacije 2:

$$F_{t,Ed} = 24.60 \text{ [kN]}$$

ODABRANO:

Vijak M12, k.v. 8.8

Otpornost jednog vijaka na vlak dan je izrazom:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_S}{\gamma_{M2}}$$
$$F_{t,Rd} = \frac{0,90 \cdot 80 \cdot 0.843}{1,25}$$
$$F_{t,Rd}=48.56 \text{ [kN]}$$

Otpornost na vlak za n-broja vijaka u spoju dan je izrazom:

$$\sum F_{t,Rd} = F_{t,Rd} \cdot n$$
$$\sum F_{t,Rd} = 48,56 \cdot 2$$
$$\sum F_{t,Rd} = 97,12 \text{ [kN]}$$

Uvjet nosivosti vijaka na vlak:

$$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$$
$$24.60 < 97.12$$

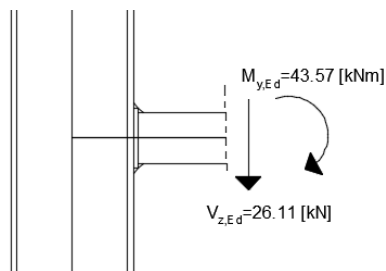
Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost priključka:

$$\eta = \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \cdot 100\% = \frac{24.60}{97.12} \cdot 100\% = 25.33 \%$$

6.4. Spoj stup-donji pojas rešetke

$M_{y,Ed}=43.57 \text{ [kNm]}$, $V_{z,Ed}=23.11 \text{ [kN]}$



Slika 48: Priključak stupa i donjeg pojasa rešetke

6.4.1. Otpornost zavora

Maksimalna debljina zavora dana je izrazom:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot \min\{t, t_1\} = 0,7 \cdot \min\{20, 10\} = 0,7 \cdot 10$$

$$a = 7 \text{ [mm]}$$

Određivanje tlačne sile od djelovanja momenta na spoju:

$$X_2 = h - \frac{t}{2}$$

$$X_2 = 200 - 5 = 195 \text{ mm}$$

$$N_2 = \frac{M_{y,Ed}}{X_2}$$

$$N_2 = \frac{43.57}{0,195}$$

$$N_2 = 223.44 \text{ kN}$$

Proračun duljine zavora:

$$\sum L = 4 \cdot b = 4 \cdot 200 = 800 \text{ [mm]}$$

Proračunska otpornost zavora dana je izrazom:

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u \cdot a}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} = \frac{36 \cdot 0,7}{\sqrt{3} \cdot 0,8} = 18,19$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M2}} \cdot \sum L$$

$$F_{w,Rd} = \frac{18,19}{1,25} \cdot 80$$

$$F_{w,Rd} = 1164,16 \text{ kN}$$

Proračunsko djelovanje na zavar dan je izrazom:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{(N_2)^2 + \left(\frac{V_{z,Ed}}{2}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = \sqrt{(223.44)^2 + \left(\frac{23.11}{2}\right)^2}$$

$$F_{w,Ed} = 92.23 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zavara:

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

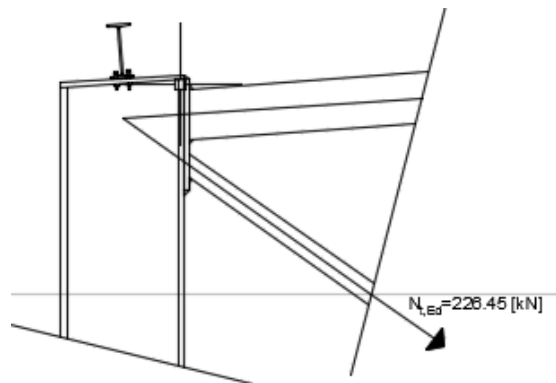
$$223.74 < 1164.16$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost zavara:

$$\eta = \frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \cdot 100\% = \frac{223.74}{1164.16} \cdot 100\% = 19.22 \%$$

6.5. Spoj dijagonalna ispuna-donji/gornji pojas rešetke



Slika 49: Priključak dijagonalna ispuna i donjeg/gornjeg pojasa rešetke

$$N_{Ed} = 226.45 \text{ [kN]}$$

6.5.1. Otpornost zavara

Maksimalna debljina zavara dana je izrazom:

$$a_{max} = 0,7 \cdot \min\{t, t_1\} = 0,7 \cdot \min\{10, 8\} = 0,7 \cdot 8$$

$$a = 5.6 \text{ [mm]}$$

Proračun duljine zavora:

$$\sum L = 4 \cdot b = 4 \cdot 100 = 400 \text{ [mm]}$$

Proračunska otpornost zavora dana je izrazom:

$$F_{w,Rk} = \frac{f_u \cdot a}{\sqrt{3} \cdot \beta_w} = \frac{36 \cdot 0.5}{\sqrt{3} \cdot 0.8} = 12.99$$

$$F_{w,Rd} = \frac{F_{w,Rk}}{\gamma_{M2}} \cdot \sum L$$

$$F_{w,Rd} = \frac{12.99}{1.25} \cdot 40$$

$$F_{w,Rd} = 415.68 \text{ kN}$$

Proračunsko djelovanje na zavar dan je izrazom:

$$F_{w,Ed} = 226.45 \text{ kN}$$

Uvjet nosivosti zavora:

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

$$226.45 < 415.68$$

Uvjet zadovoljen!

Iskoristivost zavora:

$$\eta = \frac{F_{w,Ed}}{F_{w,Rd}} \cdot 100\% = \frac{226.45}{415.68} \cdot 100\% = 54.48 \%$$

Napomena: Vertikalne ispune rešetke dimenzija poprečnog presjeka 100x100x8 su tlačni elementi u rešetci. Zavaruju se za gornji i donji pojas varovima debljine 5 mm.

7. LITERATURA

- 1) Androić B., Dujmović D., Džeba I., *Čelične konstrukcije I*, IA Projektiranje d.o.o., Zagreb, 2009.
- 2) Androić B., Dujmović D., Džeba I., *Modeliranje konstrukcija prema Eurocode 3*, IA Projektiranje d.o.o., Zagreb, 2004.
- 3) Androić B., Dujmović D., Džeba I., *Čelične konstrukcije 2/Numerički primjeri prema EC3*, IA Projektiranje d.o.o., Zagreb, 2007.
- 4) HRN EN 1991-1-1:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-1: Opća djelovanja -- Prostorne težine, vlastita težina i uporabna opterećenja za zgrade (EN 1991-1-1:2002) Eurocode 1 -- Actions on structures -- Part 1-1: General actions -- Densities, self-weight, imposed loads for buildings (EN 1991-1-1:2002)
- 5) HRN EN 1991-1-3:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenje snijegom (EN 1991-1-3:2003) Eurocode 1 -- Actions on structures -- Part 1-3: General actions -- Snow load (EN 1991-1-3:2003)
- 6) HRN EN 1991-1-4:2008 Eurokod 1 -- Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-4: Opća djelovanja -- Djelovanja vjetra (EN 1991-1-4:2005) Eurocode 1 -- Actions on structures -- Part 1-4: General actions -- Wind action (EN 1991-1-4:2005)
- 7) HRN EN 1993-1-10:2008 Eurokod 3 -- Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-10: Žilavost materijala i svojstva kroz debljinu elementa (EN 1993-1-10:2005+AC:2005) Eurocode 3 -- Design of steel structures -- Part 1-10: Material toughness and through-thickness properties (EN 1993-1-10:2005+AC:2005)
- 8) HRN EN 1993-1-11:2008 Eurokod 3 -- Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-11: Projektiranje konstrukcija s vlačnim komponentama (EN 1993-1-11:2006) Eurocode 3 -- Design of steel structures -- Part 1-11: Design of structures with tension components (EN 1993-1-11:2006)
- 9) HRN EN 1993-1-1:2008 Eurokod 3 -- Projektiranje čeličnih konstrukcija -- Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1993-1-1:2005+AC:2006) Eurocode 3 -- Design of steel structures -- Part 1-1: General rules and rules for buildings (EN 1993-1-1:2005+AC:2006)

8. NACRTI

8.1. Dispozicija objekta Mj. 1:300, LIST 1

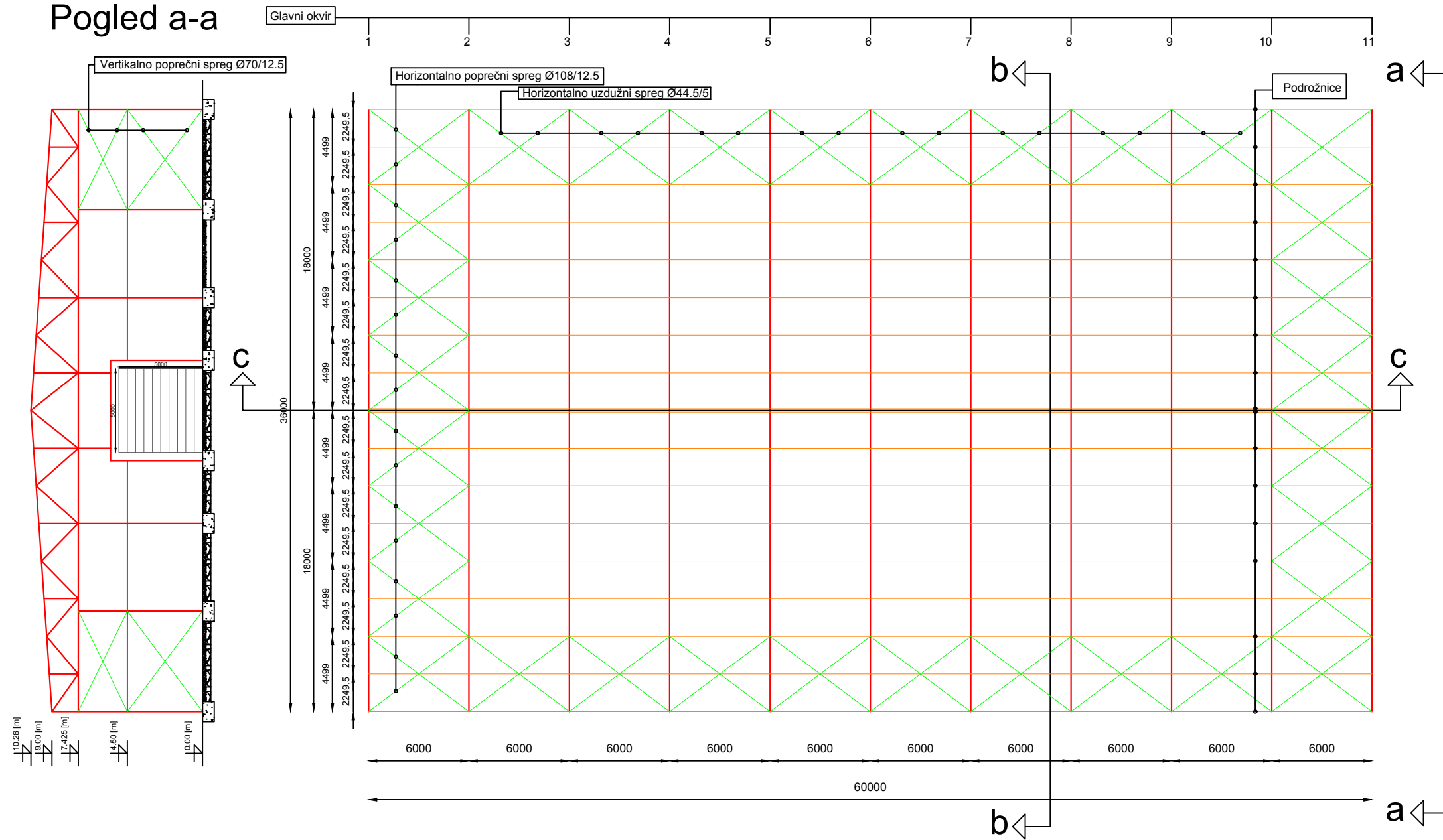
8.2. Poprečni presjek b-b Mj. 1:50, LIST 2

8.3. Detalj spoja stupa i temelja „DETALJ A“ Mj. 1:10, LIST 3

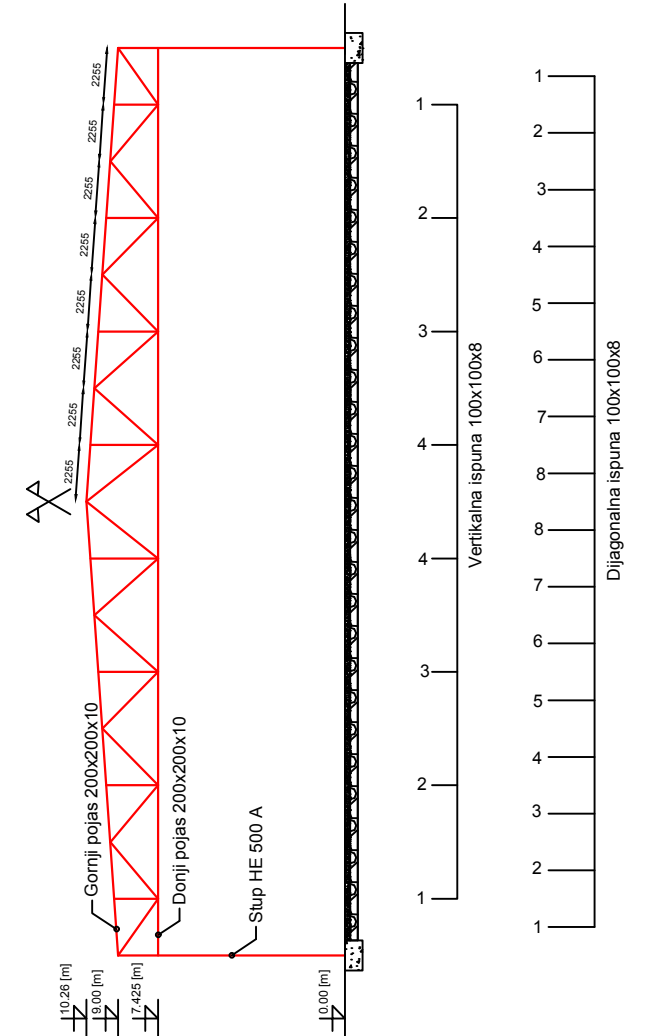
8.4. Detalj spoja stupa i gornjeg pojasa „DETALJ B“ Mj. 1:10, LIST 4

8.5. Detalj spoja gornjeg pojasa i podrožnice „DETALJ C“ Mj. 1:10, LIST 5

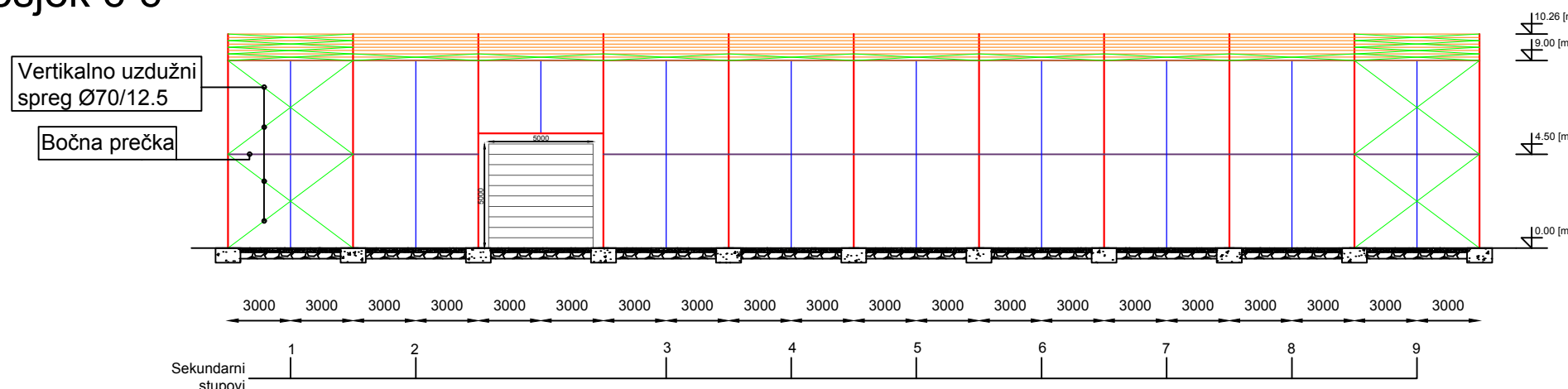
Pogled a-a



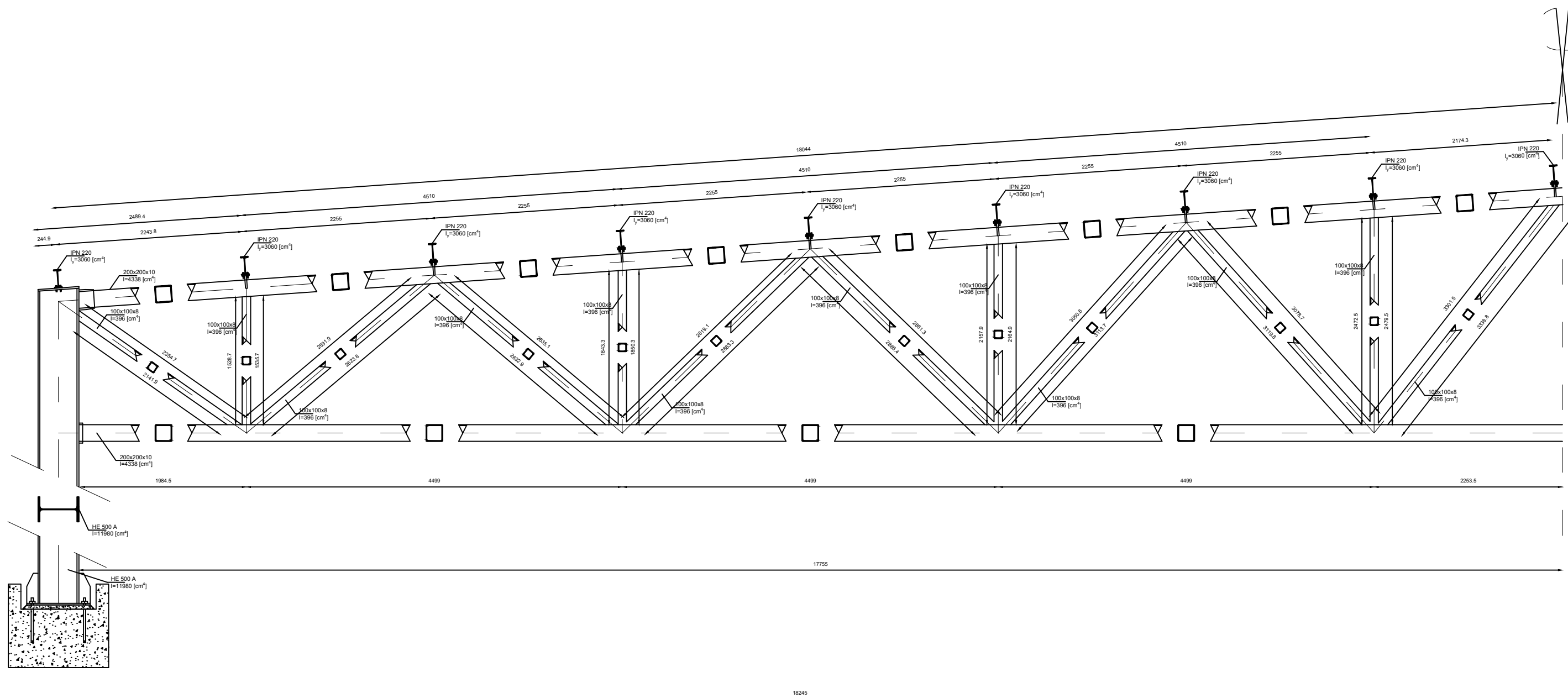
Presjek b-b



Presjek c-c



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
NAZIV RADA: Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene		SADRŽAJ NACRTA: Dispozicija objekta	
STUDENT: Andrija Minić		KOLEGIJ: Završni rad	
MENTOR: doc. dr. sc. Paulina Krolo	DATUM: 05.11.2019.	MJERILO: 1:300	LIST: 1.



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI

NAZIV RADA:
Proračun čelične konstrukcije
hale skladišne namjene

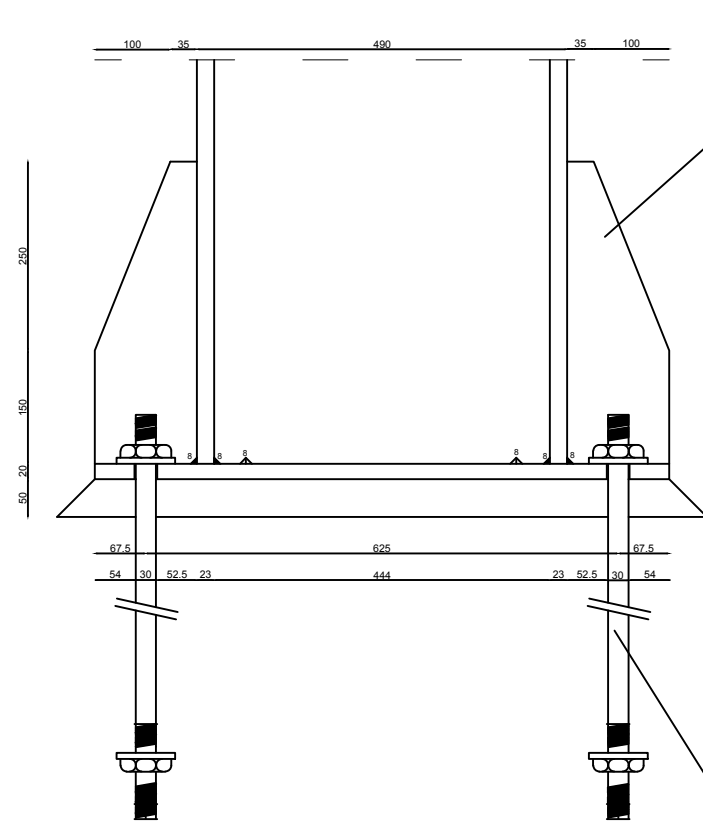
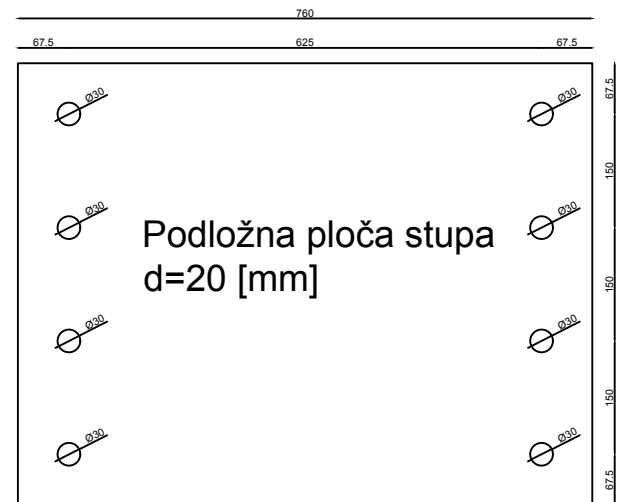
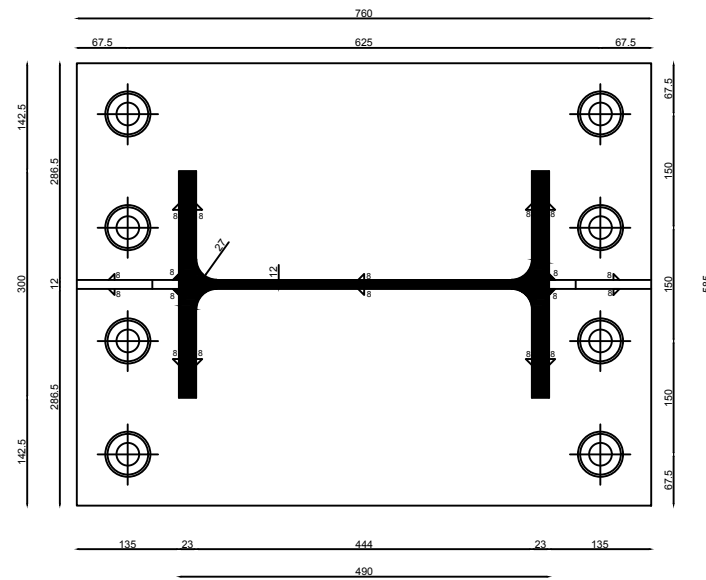
SADRŽAJ NACRTA:
Poprečni presjek b-b

STUDENT: Andrija Minić

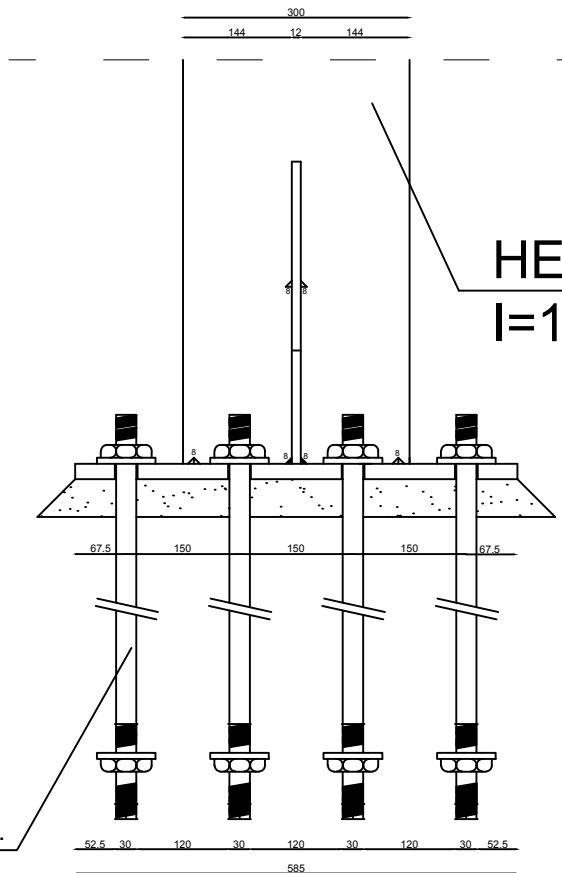
KOLEGIJ: Završni rad

MENTOR: doc. dr. sc. Paulina Krolo

DATUM: 05.11.2019.	MJERILO: 1:50	LIST: 2.
-----------------------	------------------	-------------

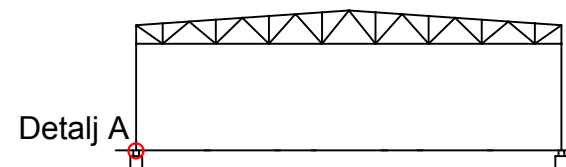


Ukruta
 $\neq 150 \times 12 \times 400$

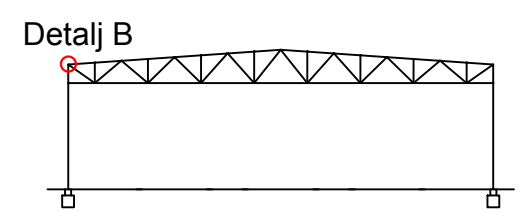
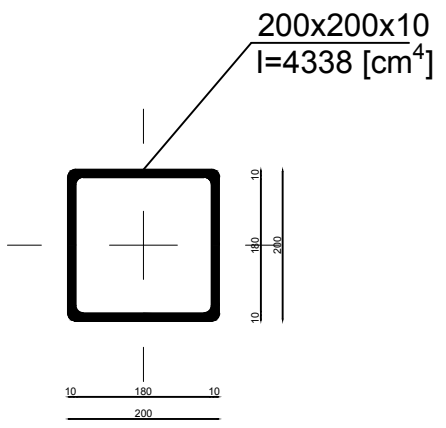
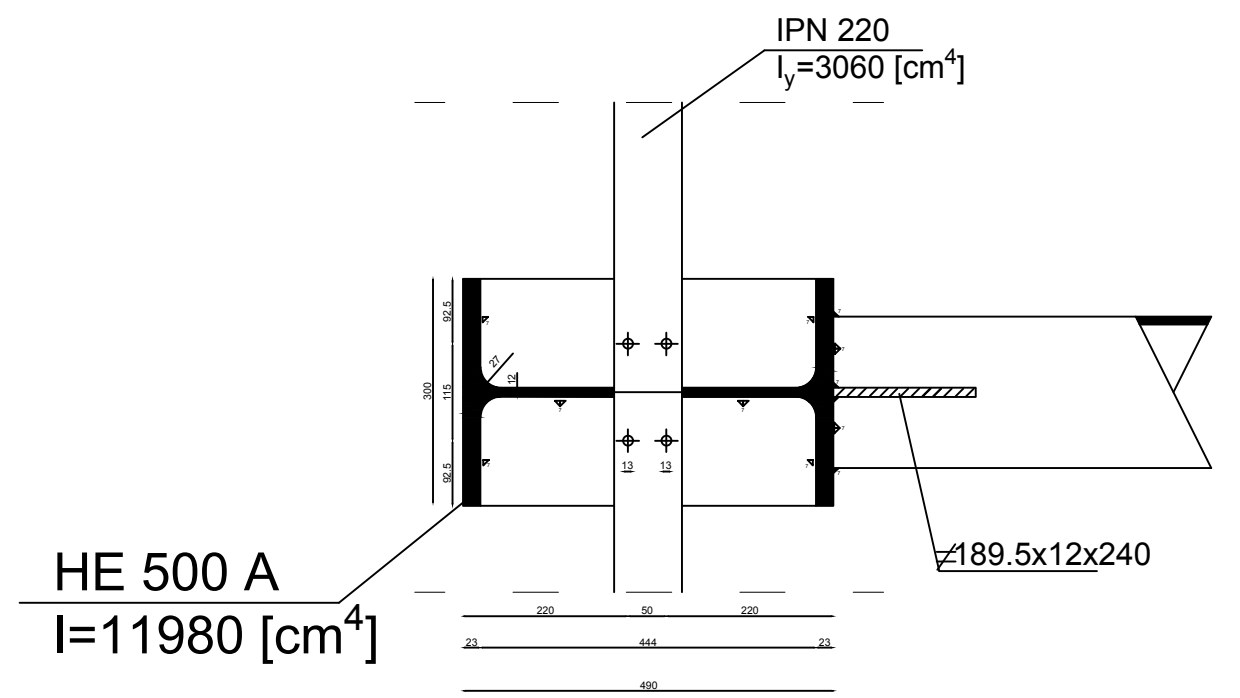
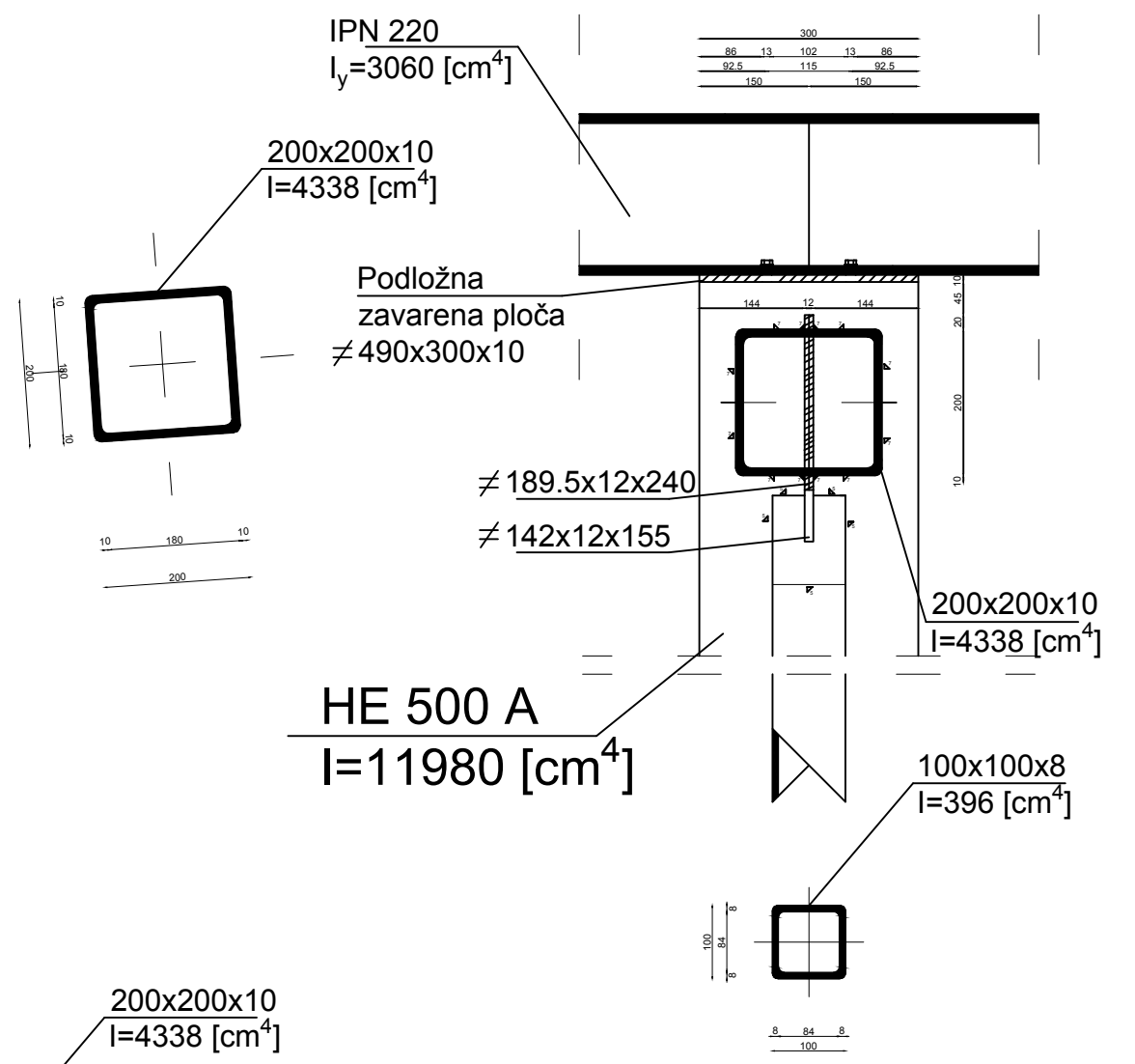
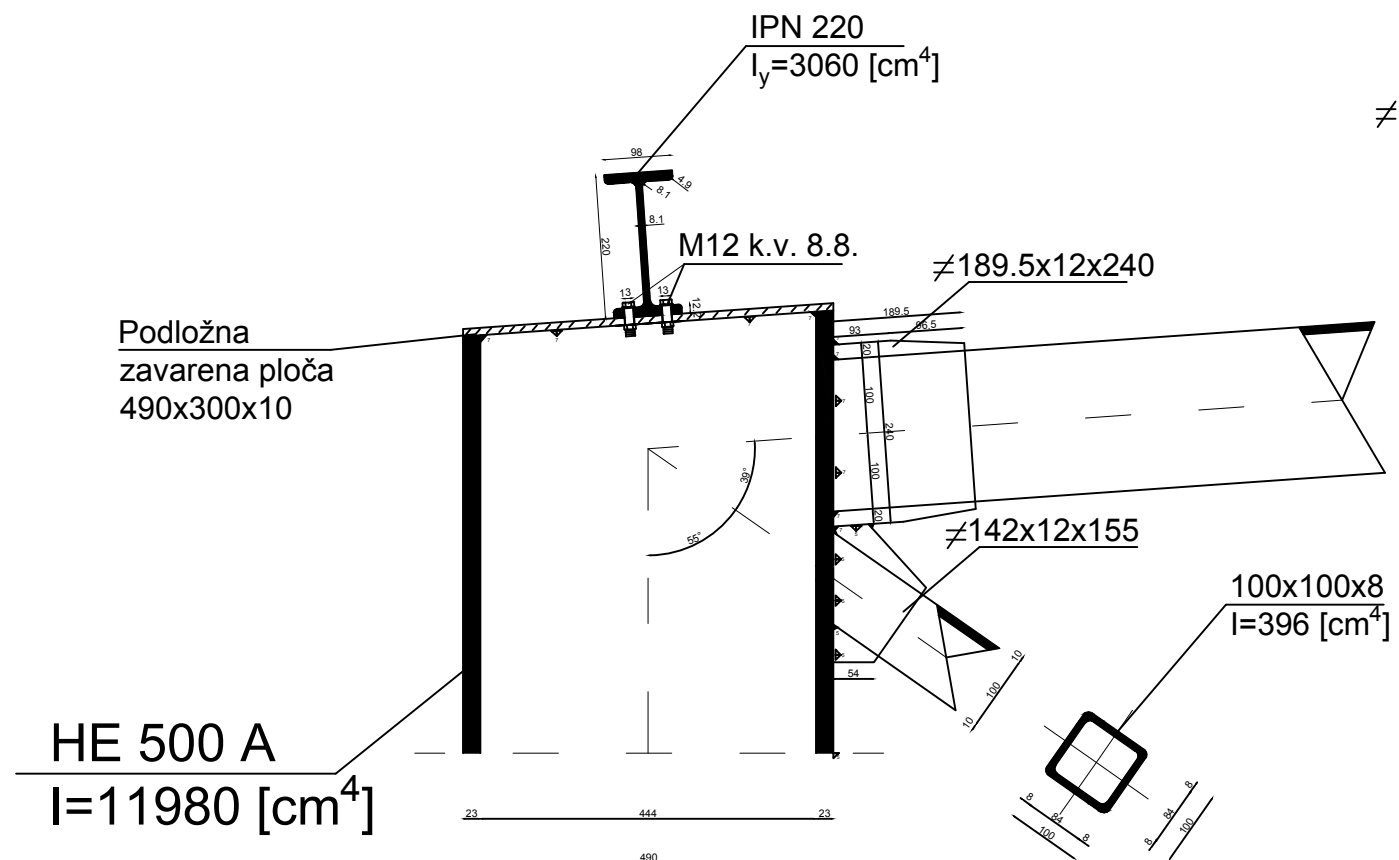


HE 500 A
 $I=11980 [cm^4]$

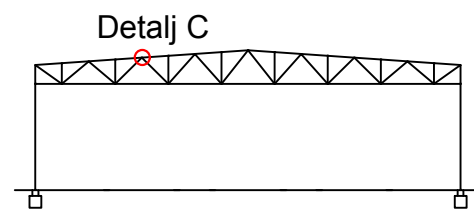
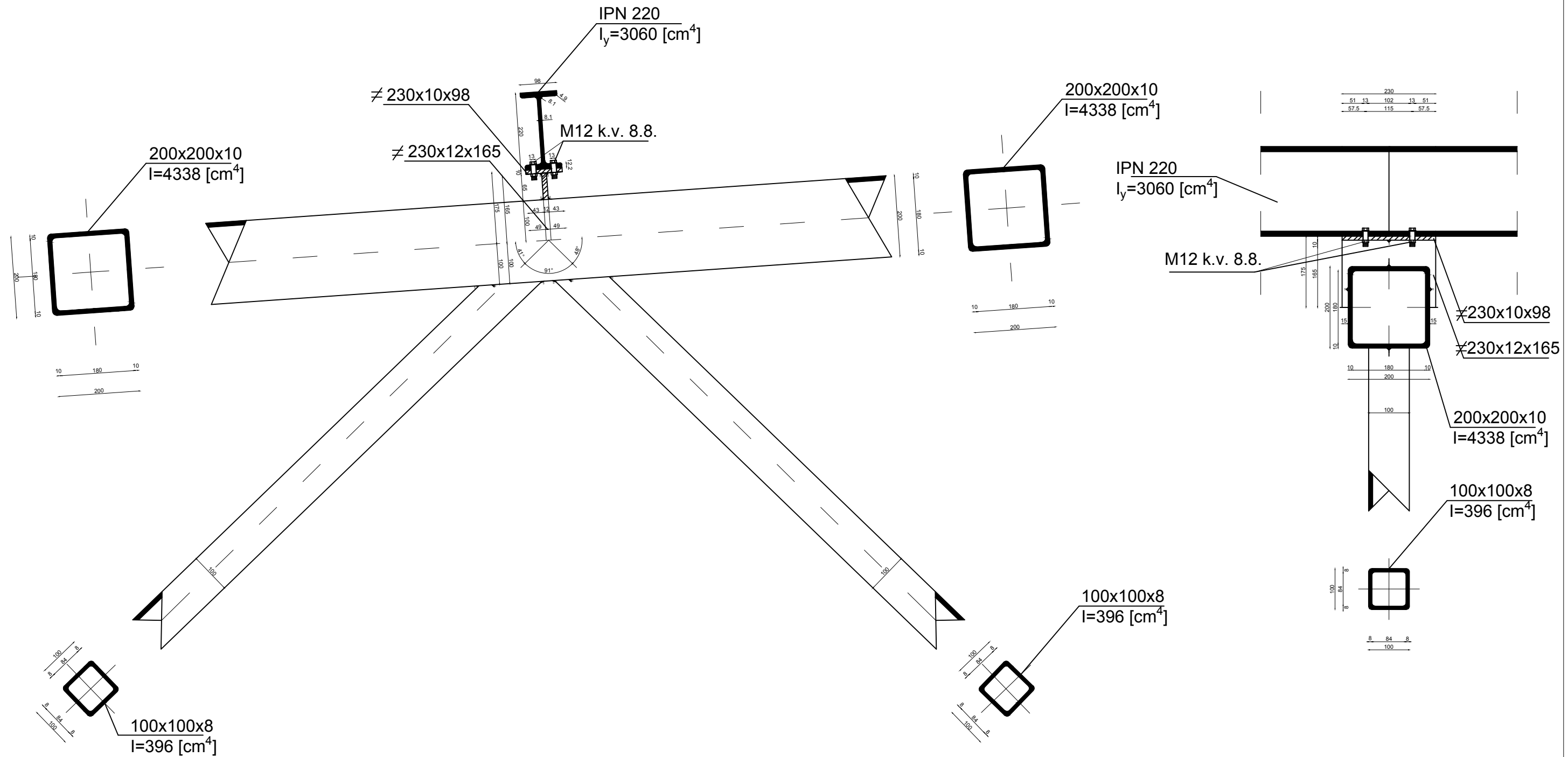
Sidreni vijci M27 k.v. 8.8.
 s podložnom pločicom
 100x12x100



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
NAZIV RADA: Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene		SADRŽAJ NACRTA: Detalj spoja stupa HE 500 A i temelja	
STUDENT: Andrija Minić		KOLEGIJ: Završni rad	
MENTOR: doc. dr. sc. Paulina Krolo	DATUM: 05.11.2019.	MJERILO: 1:10	LIST: 3.



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI			
NAZIV RADA: Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene		SADRŽAJ NACRTA: Detalj B; spoj stupa HE 500 A i gornjeg pojasa rešetke 200x200x10	
STUDENT: Andrija Minić		KOLEGIJ: Završni rad	
MENTOR: doc. dr. sc. Paulina Krolo	DATUM: 05.11.2019.	MJERILO: 1:10	LIST: 4.



GF	GRAĐEVINSKI FAKULTET SVEUČILIŠTA U RIJECI		
NAZIV RADA: Proračun čelične konstrukcije hale skladišne namjene		SADRŽAJ NACRTA: Detalj C; spoj podrožnice IPN 220 i gornjeg pojasa rešetke 200x200x10	
STUDENT: Andrija Minić		KOLEGIJ: Završni rad	
MENTOR: doc. dr. sc. Paulina Krolo		DATUM: 05.11.2019.	MJERILO: 1:10
		LIST: 5.	