

Dimenzioniranje čeličnog portalnog okvira

Lanča, Natali

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:157:454332>

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](#)



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Natali Lanča

Dimenzioniranje čeličnog portalnog okvira

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij
Osnove čeličnih konstrukcija**

Natali Lanča

JMBAG: 0114029237

Dimenzioniranje čeličnog portalnog okvira

Završni rad

Rijeka, rujan 2019.

IZJAVA

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

Natali Lanča

U Rijeci, 02. rujna 2019.

SADRŽAJ

SAŽETAK	7
TEHNIČKI OPIS	8
1. ANALIZA OPTEREĆENJA	9
1.1. Stalno djelovanje	9
1.2. Promjenjivo djelovanje	9
1.2.1. Djelovanje snijega	9
1.2.2. Djelovanje vjetra	12
2. KOMBINACIJA DJELOVANJA	26
2.1. Vertikalna opterećenja	26
2.1.1. GSN – granična stanja nosivosti	26
2.1.2. GSU – granična stanja uporabljivosti	27
2.2. Horizontalna opterećenja	28
2.2.1. GSN – granična stanja nosivosti	28
2.2.2. GSU – granično stanje uporabljivosti	28
3. STATIČKI PRORAČUN	29
3.1. GSN – granično stanje nosivosti	29
3.2. GSU – granično stanje uporabljivosti	32
3.3. Stupovi	33
3.3.1. Klasifikacija poprečnog presjeka – GSN	33
3.3.2. Otpornost poprečnog presjeka – GSN	35
3.3.3. Otpornost elementa na bočno torzijsko izvijanje – GSN	37
3.3.4. Provjera progiba – GSU	41
3.4. Prečka	41
3.4.1. Klasifikacija poprečnog presjeka	42
3.4.2. Otpornost poprečnog presjeka – GSN	42
3.4.3. Otpornost elementa na bočno torzijsko izvijanje – GSN	44
3.4.4. Provjera progiba – GSU	46
4. NACRTI	47
5. ZAKLJUČAK	48
6. LITERATURA	49

POPIS SLIKA

Slika 1: Karta snježnih područja [2].....	10
Slika 2: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom za jednostrešni krov [2]	11
Slika 3: Područje opterećenja vjetrom s obzirom na osnovnu brzinu vjetra $v_{b,0}$ [1].....	12
Slika 4: Grafički prikaz faktora izloženosti $c_e(z)$ za $c_0 = 1,0$ i $k_1 = 1,0$ u ovisnosti o visini iznad tla z i kategorijama terena 0 – IV [1].....	14
Slika 5: Podjela zona vertikalnih zidova za konstrukciju s ravnim krovom i legenda [1] ..	15
Slika 6: Podjela zona za ravne krovove nagiba od $- 5^\circ$ do 5° s legendom [1]	16
Slika 7: Tlocrt čelične hale na koju uzdužno djeluje vjetar	17
Slika 8: Tlocrt hale sa zonama D i E, dimenzijama b (okomito na djelovanje vjetra) i d (paralelno na djelovanje vjetra)	17
Slika 9: Bočni pogled na halu s podjelom na zone A, B i C.....	17
Slika 10: Prikaz krovne plohe opterećene vjetrom podijeljene na zone F, G, H i I.....	18
Slika 11: Karakteristični dijagrami opterećenja uzrokovani djelovanjem vjetra iskazani u kN/m^2	20
Slika 12: Tlocrt čelične hale na koju poprečno djeluje vjetar.....	21
Slika 13: Tlocrt hale sa zonama D i E, dimenzijama b (okomito na djelovanje vjetra) i d (paralelno na djelovanje vjetra)	21
Slika 14: Pogled na pročelje hale s podjelom na zone A i B prema kriteriju $e > d$	22
Slika 15: Prikaz krovne plohe opterećene vjetrom podijeljene na zone F, G, H i I.....	23
Slika 16: Karakteristični dijagrami opterećenja uzrokovani djelovanjem vjetra iskazani u kN/m^2	25
Slika 17: Ulazni podaci za statički proračun GSN izraženi u kN/m^2	29
Slika 18: Prikaz dobivenih vertikalnih i horizontalnih reakcija u kN	29
Slika 19: Prikaz vrijednosti dijagrama uzdužnih sila u kN	30
Slika 20: Prikaz vrijednosti dijagrama poprečnih sila u kN	30
Slika 21: Prikaz vrijednosti momenata savijanja u kNm	31
Slika 22: Ulazni podaci za statički proračun GSU u kN/m^2	32
Slika 23: Pomaci u mm	32
Slika 24: Poprečni presjek HEA300 na stupovima	33
Slika 25: Mjerodavni dijagram opterećenja za određivanje klase unutarnjih elementa izloženih savijanju i tlaku [4]	33

Slika 26: Mjerodavni dijagram opterećenja za određivanje klase vanjskih elementa izloženih tlaku (4)	34
Slika 27: Prikaz učvršćivanja štapa koji je s jedne strane uklješten, dok je s druge strane zglobno vezan [3].....	39
Slika 28: Poprečni presjek HEA300 na prečki.....	41
Slika 29: Prikaz učvršćivanja prečke koji je uklještena za stupove.	45

POPIS TABLICA

Tablica 1: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu [2]	10
Tablica 2: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom s dijagramom [2].....	11
Tablica 3: Kategorije terena i parametri terena [1].....	13
Tablica 4: Vrijednosti koeficijenata vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada [1].....	15
Tablica 5: Dimenzije i statičke veličine profila HEA300 tipa S275 na stupovima	33
Tablica 6: Tablica za određivanje C_1 preko ψ [4]	38
Tablica 7: Tablica krivulja izvijanja preko koje se određuje faktor imperfekcije [4]...	40
Tablica 8: Dimenzije i statičke veličine profila HEA300 tipa S275 na prečki.....	42

SAŽETAK

U ovom završnom radu provedeno je dimenzioniranje portalnog okvira čelične hale smještene u gradu Pazinu koji se nalazi u središnjem djelu Istre na nadmorskoj visini 270 m n.m. Čelična hala smještena je u industrijsku zonu gdje je vegetacija zanemariva i teren je bez prepreka. Čelični portalni okvir je dimenzionirana na stalno i promjenjivo opterećenje prema europskim normama i nacionalnim dodacima za Hrvatsku za granična stanja nosivosti i granična stanja uporabivosti. Statički proračun izrađen je u računalnom programu Tower. Stupovi i prečke zadovoljili su uvjete GSN i GSU.

Ključne riječi: portalni okvir, čelična konstrukcija, GSN, GSU.

TEHNIČKI OPIS

Hala se sastoji od pet portalnih okvira koji se nalaze na osnoj udaljenosti od 5 metara. Stupovi hale su visoki 7 metara, dok je prečka dugačka 10 metara. Profil oba elementa okvira je HEA300. Kvaliteta čelika od kojeg će biti izgrađeni je S275. Krovni pokrov čine sendvič paneli koji stvaraju pritisak od 0,30 kN/m² ravnog krova hale.

Najveće vertikalno opterećenje dobiveno je kombinacijom stalnog opterećenja, vjetra i snijega kao dominantno promjenjivo opterećenje. Najveće horizontalno opterećenje stvara vjetar s lijeve strane.

Ukupna manipulativna površina hale je 200 m².

Za izradu temelja samaca koristi se beton klase C30/37 (marke M40) i rebrasti betonski čelik B500B prema posebnom projektu i iskazu armature. Između temelja samaca nasipava se lomljeni kamen 0 – 300 mm u slojevima ukupne debljine 60 cm iznad kojeg se planira tampon 0 – 63 mm u sloju 25 cm. Prečka se upeto pričvršćuje za stupove preko ploče debljine 20 mm vijcima kvalitete 8.8 i zavarima. Za zaštitu od korozije koristi se premaz koji se nanosi dva puta kao antikorozivni temelj i završni premaz na HEA300 profilima.

Potrebno je nanijeti protupožarni premaz u debljini suhog filma do 1100 mikrometara koji je sukladan EU direktivama za zaštitu od požara. Nanosi se na antikorozivnu podlogu s kojom mora biti u skladu.

1. ANALIZA OPTEREĆENJA

Analiza opterećenja provedena je u skladu s europskom normom EN Eurocode 1 (EC1), koji se odnosi na djelovanja, odnosno nacionalnim dodatkom (HRN EN). Korištene norme Eurocode-a su HRN EN 1991-1-4: 2012. i NA (djelovanje vjetra) i HRN EN-1991-1-3 (djelovanje snijega).

1.1. Stalno djelovanje

- vlastita težina pokrova (sendvič paneli) g_k iznosi 0,30 kN/m²

1.2. Promjenjivo djelovanje

1.2.1. Djelovanje snijega

Opterećenje snijegom na krovu računa se prema formuli

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad (1)$$

gdje je:

s_k karakteristična vrijednost opterećenja snijegom na tlu

μ_i faktor oblika opterećenja snijegom na krovu

C_e faktor izloženosti (za Hrvatsku prema nacionalnom dodatku je uvijek $C_e = 1.0$)

C_t toplinski koeficijent (za Hrvatsku prema nacionalnom dodatku je uvijek $C_t = 1.0$)

Karakteristična vrijednost proračunskog opterećenja snijegom na tlu s_k za lokaciju građevine na području grada Pazina (Slika 1), koji spada u 2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre (Tablica 1) te se nalazi na nadmorskoj visini od 270 m iznosi $s_k = 0,75$ kN/m²



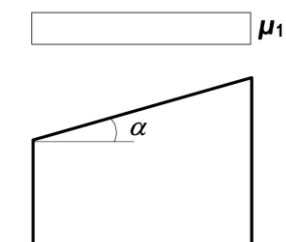
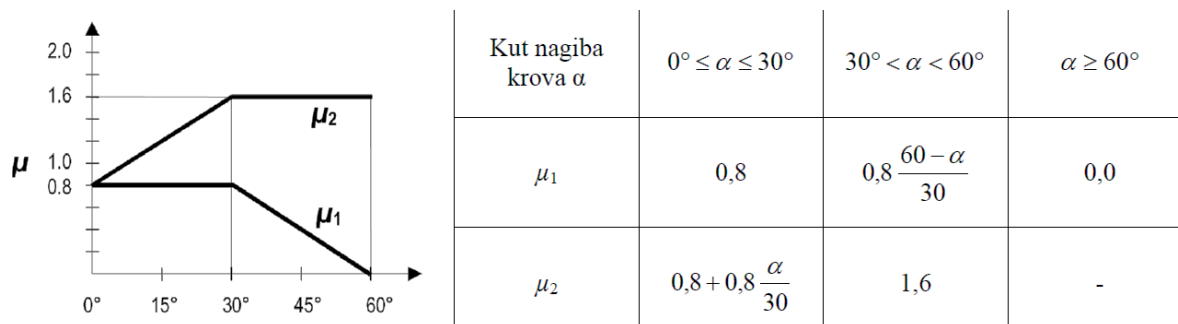
Slika 1. Karta snježnih područja [2]

Tablica 1: Karakteristične vrijednosti proračunskog opterećenja snijegom na tlu [2]

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		

Koeficijent oblika opterećenja snijegom na krovu μ_i ovisi o krovnom nagibu građevine stoga za ravni krov pod kutem $\alpha = 0^\circ$ iznosi $\mu_i = 0,8$

Tablica 2: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom s dijagramom [2]



Slika 2: Koeficijenti oblika opterećenja snijegom za jednostrešni krov [2]

Izračun opterećenja snijegom na krovu s prema formuli (1):

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

$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75$$

$$s = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

1.2.2. Djelovanje vjetra

Djelovanje vjetra na građevine određuje se s obzirom na vanjski i unutarnji tlak vjetra za koje se smatra da djeluju istovremeno na površine konstrukcije. Tlak usmjeren prema površini uzima se kao pozitivan, a usisavanje – usmjereno od površine – kao negativno (HRN EN 1991-1-4: 2012. i NA).

Osnovna brzina vjetra v_b računa se po formuli:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (2)$$

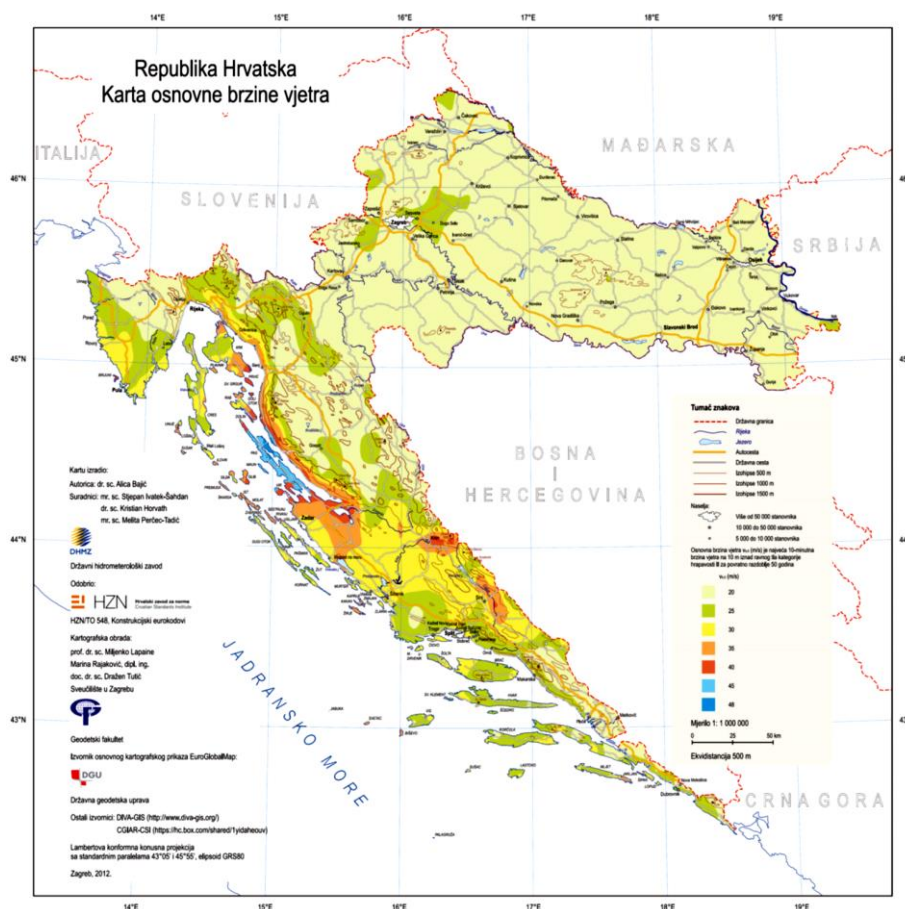
gdje je:

c_{dir} koeficijent smjera vjetra ($c_{dir} = 1,00$)

c_{season} koeficijent ovisan o godišnjem dobu ($c_{season} = 1,00$)

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

Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra očitana karti osnovne brzine vjetra (Slika 3) za lokaciju grada Pazina iznosi $v_{b,0} = 20$ m/s



Slika 3: Područje opterećenja vjetrom s obzirom na osnovnu brzinu vjetra $v_{b,0}$ [1]

Čelični portalni okvir

Izračun osnovne brzine vjetra v_b :

$$v_b = 1 \cdot 1 \cdot 20$$

$$v_b = 20 \text{ m/s}$$

Osnovni tlak q_b izazvan osnovnom brzinom vjetra dobiva se prema sljedećoj formuli:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_{zrak} \cdot v_b^2 \quad (3)$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2$$

$$q_b = 0,250 \text{ kN/m}^2$$

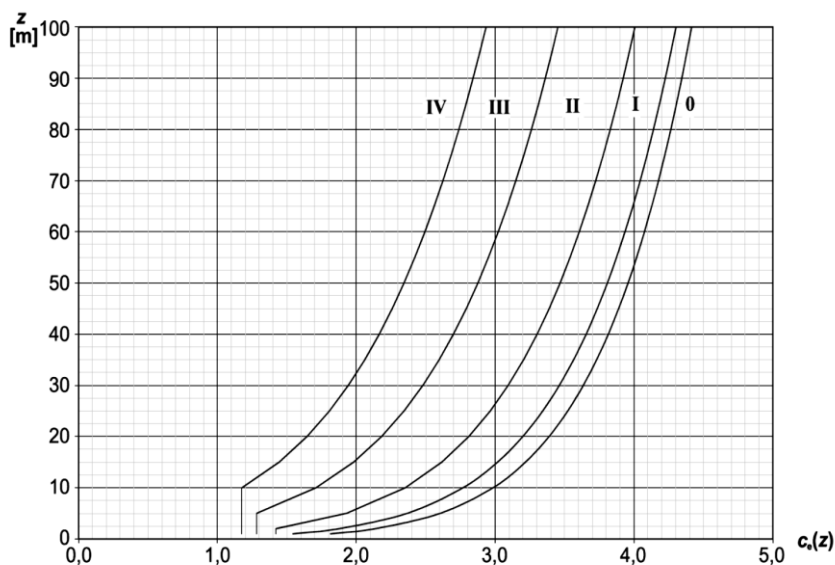
gdje je: ρ_{zrak} gustoća zraka ($\rho_{zrak} = 1,25 \text{ kg/m}^3$)

Koeficijent izloženosti $c_e(z)$ određuje se s obzirom na zone ovisne o parametrima i kategorijama terena (Tablica 3) očitanjem iz dijagrama (Slika 4)

Tablica 3: Kategorije terena i parametri terena [1]

KATEGORIJA TERENA	
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreka
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrada ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreka (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivena zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m

Područje oko grada Pazina spada u I kategoriju terena (zonu) prema gornjoj tablici.



Slika 4: Grafički prikaz faktora izloženosti $c_e(z)$ za $c_0=1,0$ i $k_f=1,0$ u ovisnosti o visini iznad tla z i kategorijama terena 0 – IV [1]

Iz dijagrama se očita koeficijent $c_e(z)$ s obzirom na kategoriju terena i visini konstrukcije iznad terena. Referentna visina z_e iznosi 7 m, pa je $c_e(7) \rightarrow c_e = 2,2$

Tlak vjetra koji djeluje okomito na vanjske površine w_e računa se prema formuli

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (4)$$

gdje je:

$q_p(z_e)$	vanjski vršni tlak
z_e	referentna visina za vanjski tlak (jednaka je visini građevine)
c_{pe}	koeficijent tlaka za vanjski tlak

Vanjski vršni tlak se računa prema sljedećoj formuli:

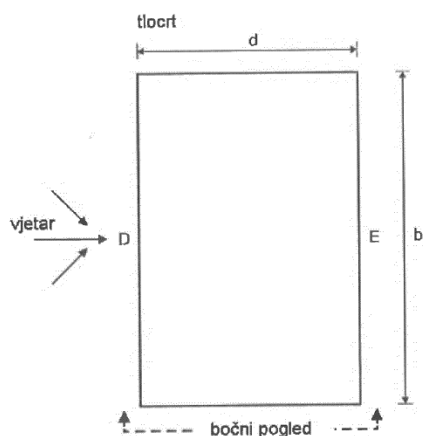
$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad (5)$$

Za određivanje vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka c_{pe} potrebno je odrediti veličinu površine svake zone (Slika 5 i 6) na koju djeluje vjetar. Ukoliko je površina zone A:

$A < 1 \text{ m}^2$	tada je	$c_{pe} = c_{pe,1}$
$1 \leq A \leq 10 \text{ m}^2$	tada je	$c_{pe} = c_{pe,1} + (c_{pe,10} - c_{pe,1}) \cdot \log_{10} A$
$A > 10 \text{ m}^2$	tada je	$c_{pe} = c_{pe,10}$

Čelični portalni okvir

Koeficijenti vanjskog tlaka $c_{pe,1}$ i $c_{pe,10}$ se očitaju iz tablice u zavisnosti o odnosu visine i duljine h/d konstrukcije (Tablica 4) ili odnosu visine nadozida, radijusu ili kutu zabata i visini konstrukcije (Tablica 5)



$$e = b \text{ ili } 2h$$

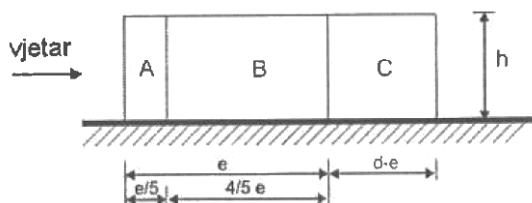
(odabire se manja vrijednost)

b – dimenzija okomita na vjetar

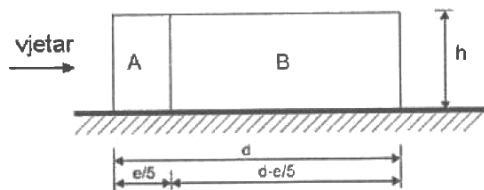
h – visina do sljemena konstrukcije

d – dimenzija paralelna s vjetrom

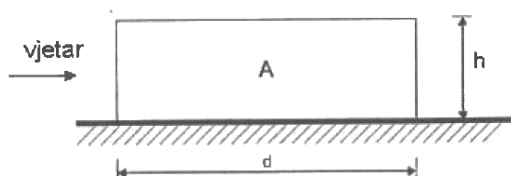
Bočni pogled ukoliko je $e < d$



Bočni pogled za $e \geq d$



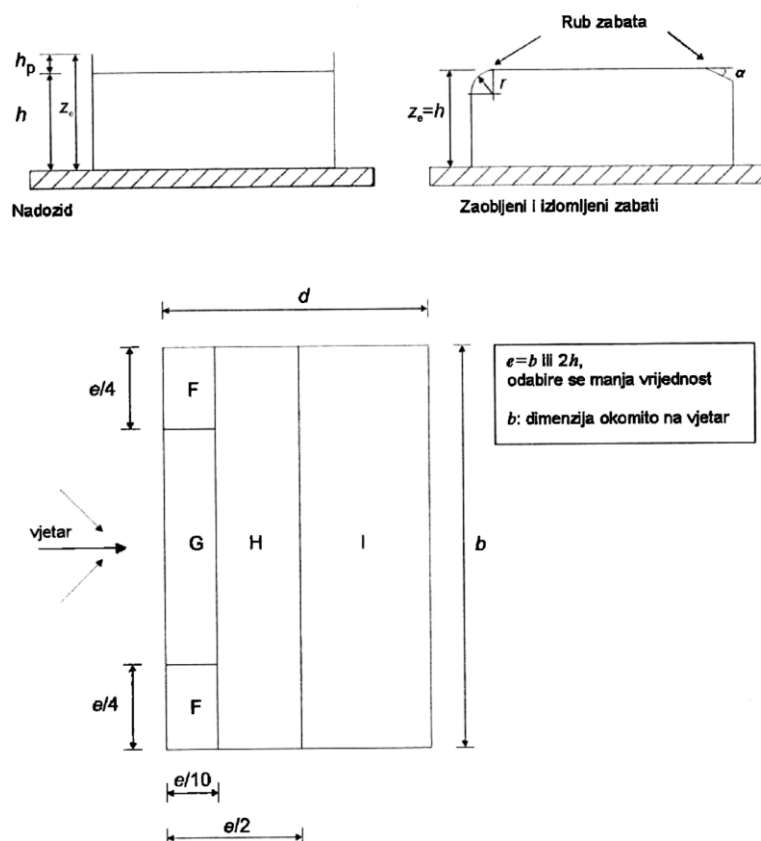
Bočni pogled ukoliko je $e \geq 5d$



Slika 5: Podjela zona vertikalnih zidova za konstrukciju s ravnim krovom i legenda [1]

Tablica 4: Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za vertikalne zidove tlocrtno pravokutnih zgrada [1]

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

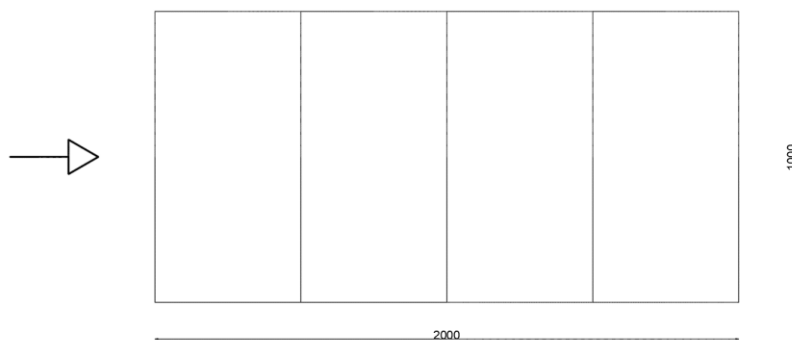


Slika 6: Podjela zona za ravne krovove nagiba od -5° do 5° s legendom [1]

Tablica 5: Vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za ravne krovove [1]

Vrsta krova	Područje								
	F		G		H		I		
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	
Oštri zabati	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,6	
S nadozidima	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,6
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,6
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,6
Zaobljeni zabati	$r/h=0,05$	-1,0	-1,5	-1,2	-1,8	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2
	$r/h=0,10$	-0,7	-1,2	-0,8	-1,4	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
	$r/h=0,20$	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
Izlomljeni zabati	$\alpha=30^\circ$	-1,0	-1,5	-1,0	-1,5	-0,3	-0,3	+0,2	-0,2
	$\alpha=45^\circ$	-1,2	-1,8	-1,3	-1,9	-0,4	-0,4	+0,2	-0,2
	$\alpha=60^\circ$	-1,3	-1,9	-1,3	-1,9	-0,5	-0,5	+0,2	-0,2

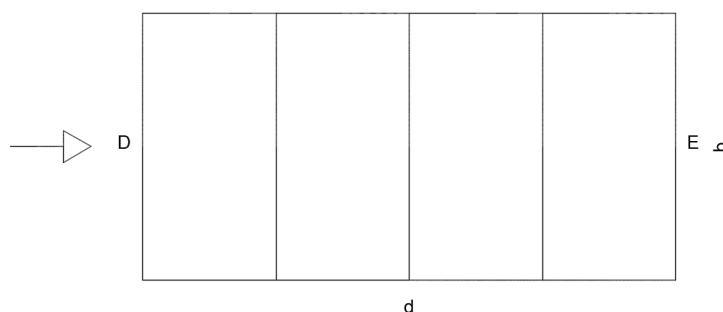
1.2.2.1. Smjer vjetra uzdužno na čeličnu halu



Slika 7: Tlocrt čelične hale na koju uzdužno djeluje vjetar

VANJSKI TLAK W_e

A) Vertikalne stijene hale

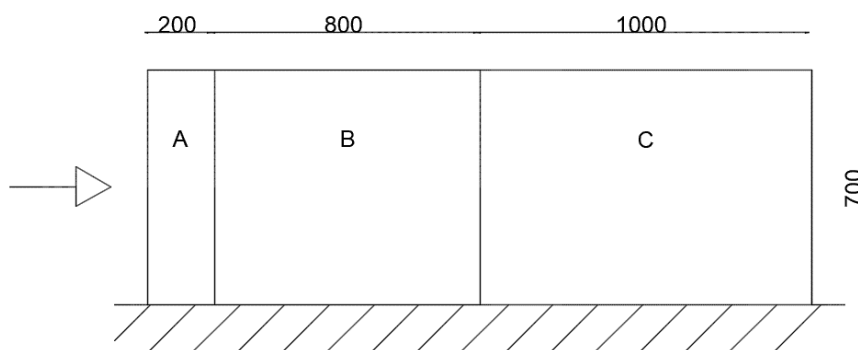


Slika 8: Tlocrt hale sa zonama D i E, dimenzijama b (okomito na djelovanje vjetra) i d (paralelno na djelovanje vjetra)

$$e = \min(b; 2h) = \min(10; 14 \text{ m}) = 10 \text{ m}$$

$$e = 10 \text{ m} \quad d = 20 \text{ m}$$

$$e < d \rightarrow 10 < 20$$



Slika 9: Bočni pogled na halu s podjelom na zone A, B i C

Čelični portalni okvir

Površina A = 14,00 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$
Površina B = 56,00 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$
Površina C = 70,00 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,5$
$h/d = 7/20 = 0,35$		
Površina D = 7 · 10 = 70 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = +0,7$
Površina E = 70 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,3$

Tlakovi pri vršnoj brzini $q_p(z_e)$ po formuli (5) za pojedine zone iznose:

$$q_p^A = q_p^B = q_p^C = q_p^D = q_p^E = 2,2 \cdot 0,25 = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

Tlak vjetra koji djeluje okomito na vanjske površine w_e prema formuli (4):

$$W_e^A = -0,55 \cdot 1,2 = -0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^B = -0,55 \cdot 0,8 = -0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^C = -0,55 \cdot 0,5 = -0,275 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^D = 0,55 \cdot 0,7 = 0,385 \text{ kN/m}^2$$

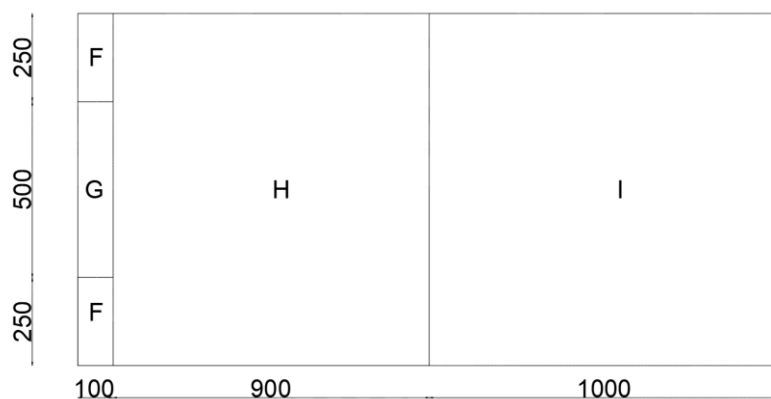
$$W_e^E = -0,55 \cdot 0,3 = -0,165 \text{ kN/m}^2$$

B) Na krovnu plohu

$$e = \min(b; 2h) = \min(10; 14 \text{ m}) = 10 \text{ m}$$

$$e = 10 \text{ m} \quad d = 20 \text{ m}$$

$$e < d \rightarrow 10 < 20$$



Slika 10: Prikaz krovne plohe opterećene vjetrom podijeljene na zone F, G, H i I

Čelični portalni okvir

Površina F = 25,00 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = -1,8$
Površina G = 50,00 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$
$h/d = 7/20 = 0,35$		
Površina H = 90,00 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = -0,7$
Površina I = 100,00 m ²	> 10 m ²	$c_{pe} = c_{pe,10} = \pm 0,4$

Tlakovi pri vršnoj brzini $q_p(z_e)$ po formuli (5) za pojedine zone iznose:

$$q_p^F = q_p^G = q_p^H = q_p^I = 2,2 \cdot 0,25 = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

Tlak vjetra koji djeluje okomito na vanjske površine w_e prema formuli (4):

$$w_e^F = -0,55 \cdot 1,8 = -0,99 \text{ kN/m}^2$$

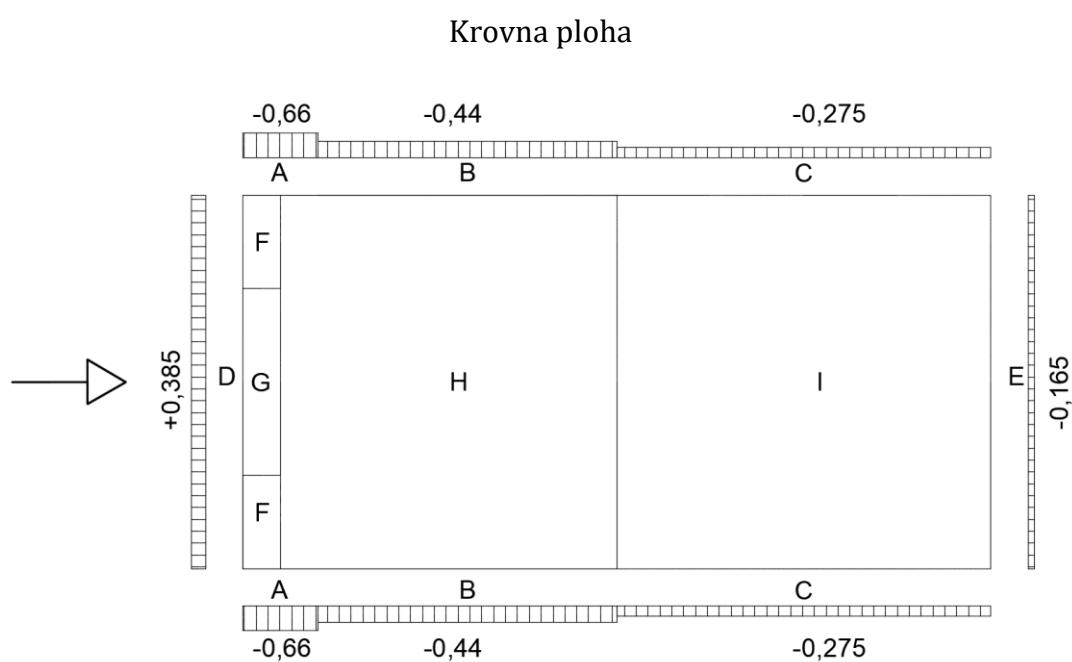
$$w_e^G = -0,55 \cdot 1,2 = -0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$w_e^H = -0,55 \cdot 0,7 = -0,385 \text{ kN/m}^2$$

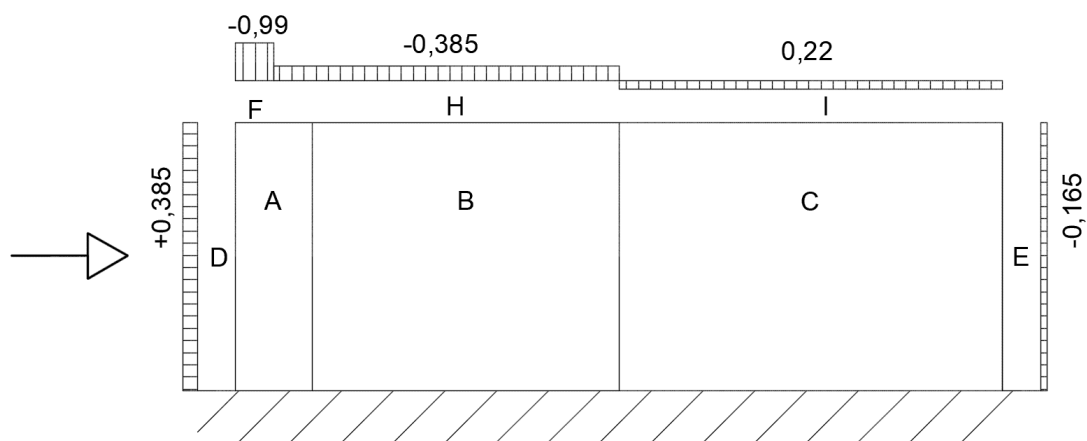
$$w_e^I = \pm 0,55 \cdot 0,4 = 0,22 \text{ kN/m}^2$$

UNUTARNJI TLAK w_i

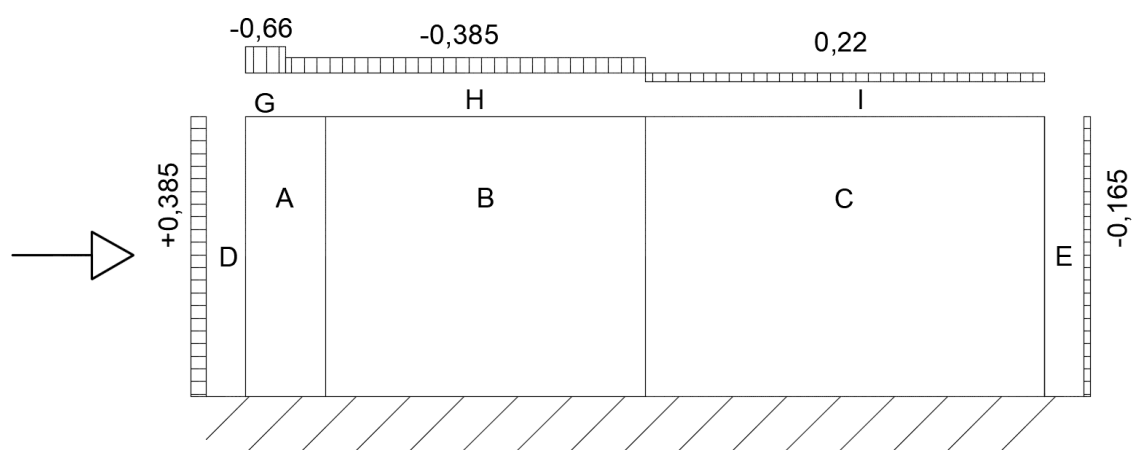
$$w_i = 0 \text{ kN/m}^2 \text{ (zatvorena građevina)}$$



Uzdužni presjek uz rub hale

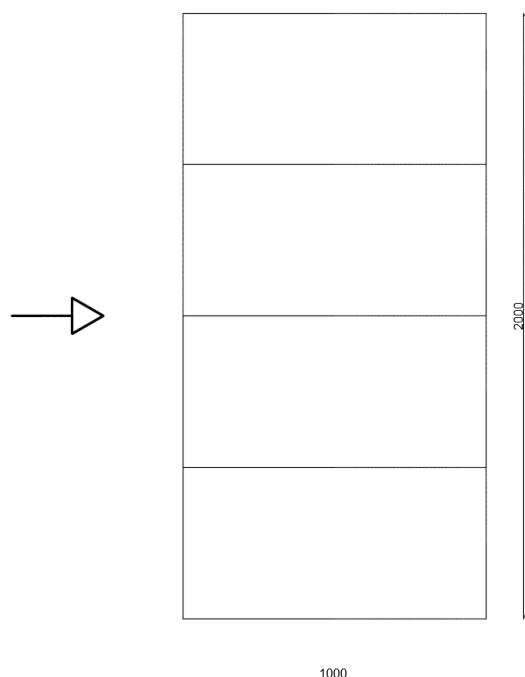


Uzdužni presjek po sredini hale



Slika 11: Karakteristični dijagrami opterećenja uzrokovani djelovanjem vjetra iskazani u kN/m²

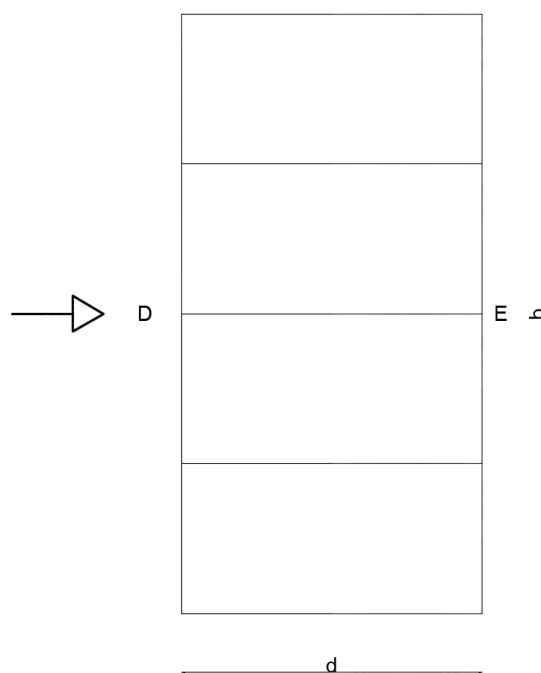
1.2.2.2. Smjer vjetra poprečno na čeličnu halu



Slika 12: Tlocrt čelične hale na koju poprečno djeluje vjetar

VANJSKI TLAK W_e

A) Vertikalne stijene hale



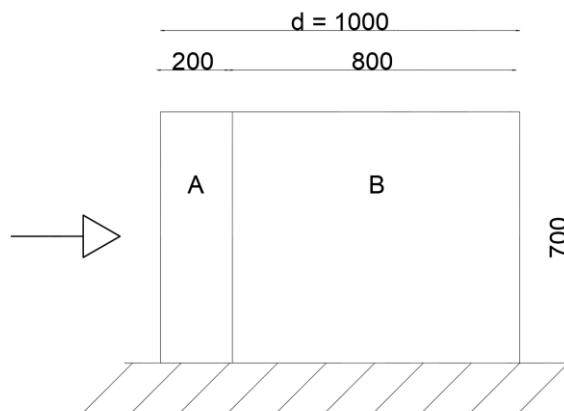
Slika 13: Tlocrt hale sa zonama D i E, dimenzijama b (okomito na djelovanje vjetra) i d (paralelno na djelovanje vjetra)

Čelični portalni okvir

$$e = \min(b; 2h) = \min(20; 14 \text{ m}) = 14 \text{ m}$$

$$e = 14 \text{ m} \quad d = 10 \text{ m}$$

$$e > d \rightarrow 14 > 10$$



Slika 14: Pogled na pročelje hale s podjelom na zone A i B prema kriteriju $e > d$

$$\text{Površina A} = 14,00 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$$

$$\text{Površina B} = 56,00 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = -0,8$$

$$h/d = 7/20 = 0,7$$

$$\text{Površina D} = 7 \cdot 20 = 140 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = +0,76$$

$$\text{Površina E} = 140 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = -0,62$$

Tlakovi pri vršnoj brzini $q_p(z_e)$ po formuli (5) za pojedine zone iznose:

$$q_p^A = q_p^B = q_p^D = q_p^E = 2,2 \cdot 0,25 = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

Tlak vjetra koji djeluje okomito na vanjske površine w_e prema formuli (4):

$$W_e^A = -0,55 \cdot 1,2 = -0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^B = -0,55 \cdot 0,8 = -0,44 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^D = 0,55 \cdot 0,76 = 0,418 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^E = -0,55 \cdot 0,62 = -0,341 \text{ kN/m}^2$$

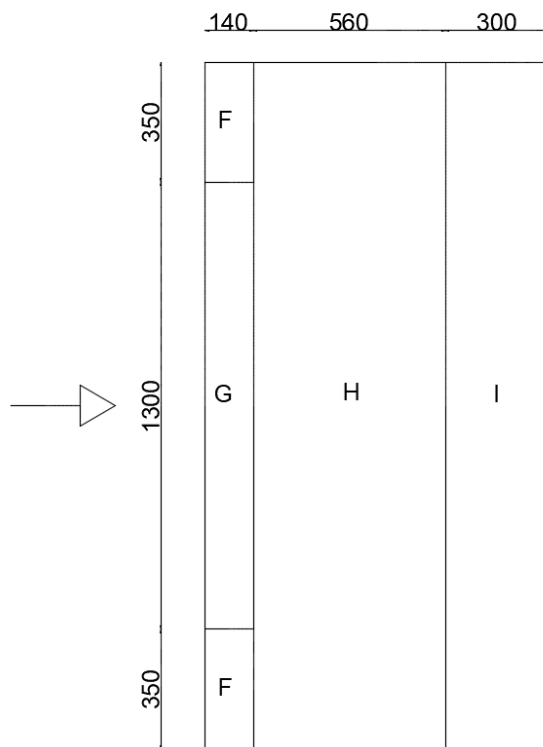
Čelični portalni okvir

B) Na krovnu plohu

$$e = \min(b; 2h) = \min(20; 14 \text{ m}) = 14 \text{ m}$$

$$e = 14 \text{ m} \quad d = 10 \text{ m}$$

$$e > d \rightarrow 14 < 10$$



Slika 15: Prikaz krovne plohe opterećene vjetrom podijeljene na zone F, G, H i I

$$\text{Površina F} = 49,00 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = -1,8$$

$$\text{Površina G} = 18,20 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = -1,2$$

$$h/d = 7/10 = 0,7$$

$$\text{Površina H} = 112,00 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = -0,7$$

$$\text{Površina I} = 60,00 \text{ m}^2 > 10 \text{ m}^2 \quad c_{pe} = c_{pe,10} = \pm 0,4$$

Tlakovi pri vršnoj brzini $q_p(z_e)$ po formuli (5) za pojedine zone iznose:

$$q_p^F = q_p^G = q_p^H = q_p^I = 2,2 \cdot 0,25 = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

$$q_p = 0,55 \text{ kN/m}^2$$

Čelični portalni okvir

Tlak vjetra koji djeluje okomito na vanjske površine w_e prema formuli (4):

$$W_e^F = -0,55 \cdot 1,8 = -0,99 \text{ kN/m}^2$$

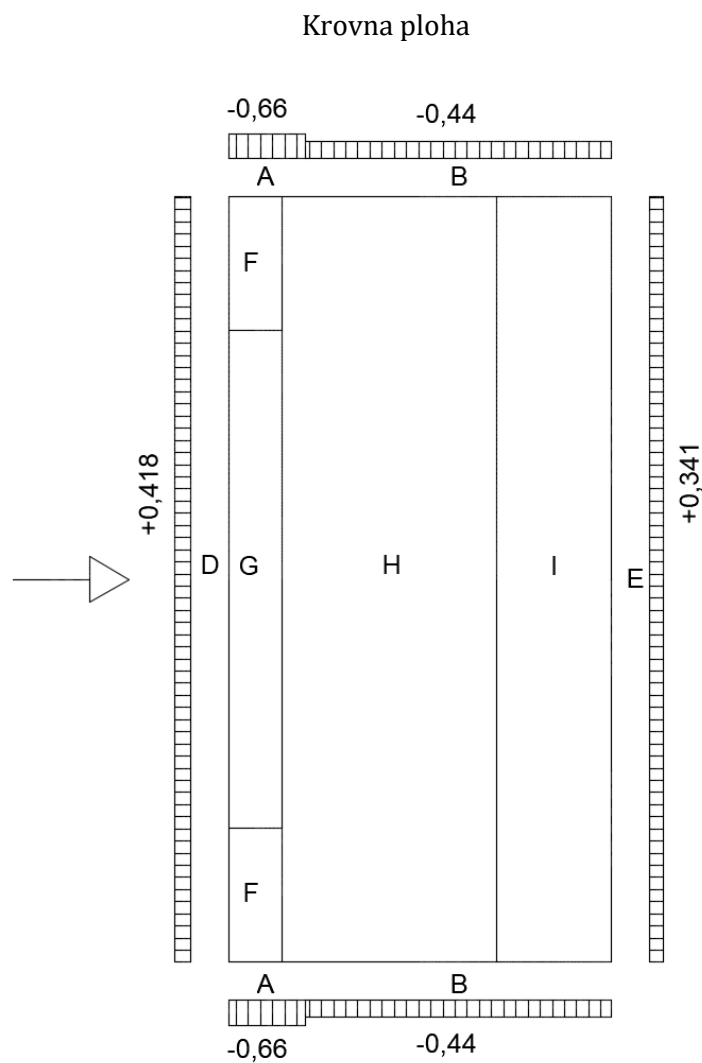
$$W_e^G = -0,55 \cdot 1,2 = -0,66 \text{ kN/m}^2$$

$$W_e^H = -0,55 \cdot 0,7 = -0,385 \text{ kN/m}^2$$

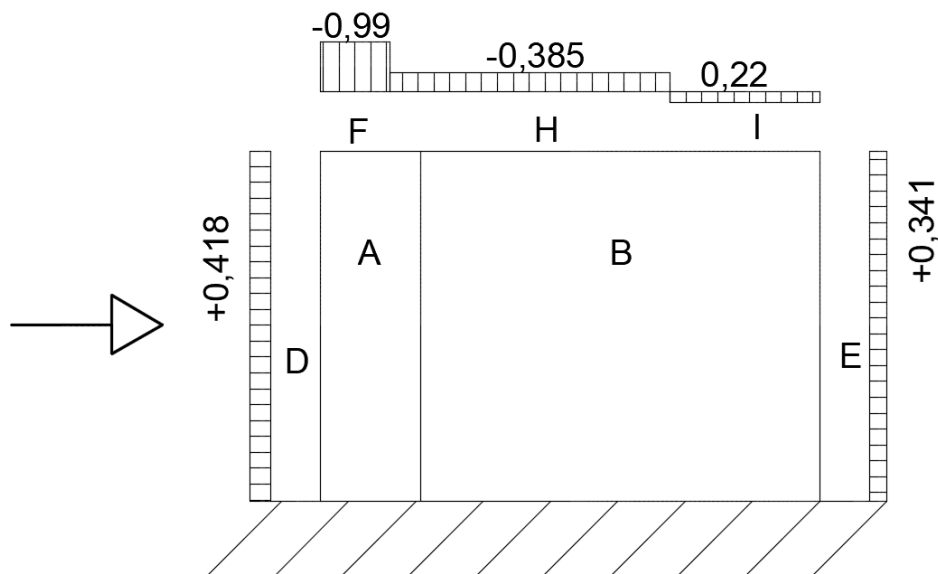
$$W_e^I = \pm 0,55 \cdot 0,4 = 0,22 \text{ kN/m}^2$$

UNUTARNJI TLAK W_i

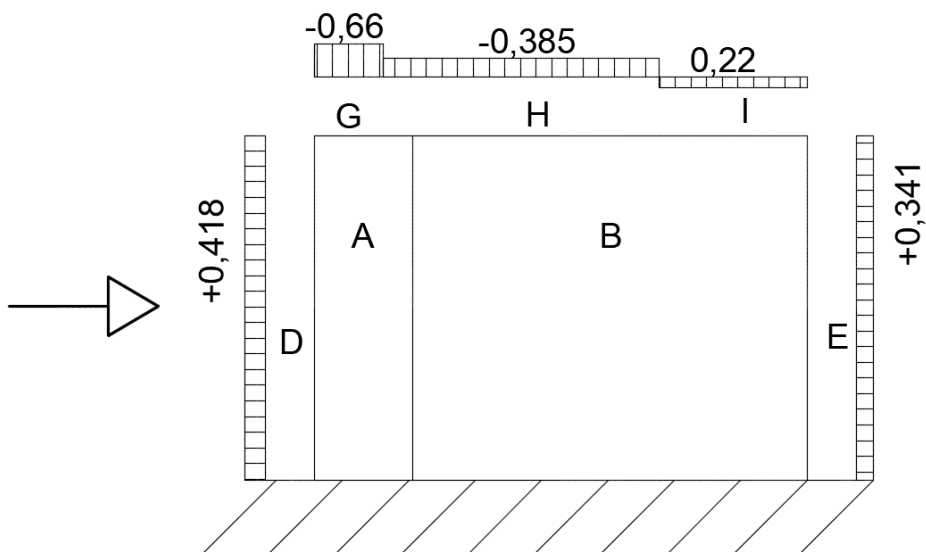
$W_i = 0 \text{ kN/m}^2$ (zatvorena građevina)



Poprečni presjek uz rub hale



Poprečni presjek po sredini hale



Slika 16: Karakteristični dijagrami opterećenja uzrokovani djelovanjem vjetra iskazani u kN/m^2

2. KOMBINACIJA DJELOVANJA

Moguća djelovanja na konstrukciju:

g_k – karakteristično stalno kontinuirano djelovanje od vlastite težine sendvič panela

$$g_k = 0,30 \text{ kN/m}^2$$

s_k – karakteristično promjenjivo djelovanje od snijega

$$s_k = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

w_k – karakteristično promjenjivo djelovanje od vjetra

$$w_k = 0,22 \text{ kN/m}^2$$

Kako bi se dobili proračunske vrijednosti djelovanja, karakteristične vrijednosti djelovanja množimo s parcijalnim koeficijentima ovisno o promjenjivosti djelovanja:

$$\gamma_G - \text{parcijalni koeficijent sigurnosti za stalno djelovanje} \quad \gamma_G = 1,35$$

$$\gamma_Q - \text{parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjivo djelovanje} \quad \gamma_Q = 1,5$$

Kod istovremenog djelovanja snijega i vjetra, manje dominantnije proračunsko djelovanje množimo sa faktorom kombinacije ψ_0 čime umanjujemo opterećenje tog djelovanja na konstrukciju ψ_0 (vjetar) = 0,6 i ψ_0 (snijeg) = 0,5

2.1. Vertikalna opterećenja

2.1.1. GSN – granična stanja nosivosti

- stalno + snijeg

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k \quad (6)$$

$$q_d = 1,35 \cdot 0,30 + 1,5 \cdot 0,6$$

$$q_d = 1,31 \text{ kN/m}^2$$

- stalno + vjetar

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_k \quad (7)$$

$$q_d = 1,35 \cdot 0,30 + 1,5 \cdot 0,22$$

$$q_d = 0,74 \text{ kN/m}^2$$

- stalno + snijeg + vjetar (snijeg dominantan)

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k + \gamma_Q \cdot w_k \cdot \psi_0 \quad (8)$$

$$q_d = 1,35 \cdot 0,3 + 1,5 \cdot 0,6 + 1,5 \cdot 0,22 \cdot 0,6$$

$$q_d = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

- stalno + vjetar + snijeg (vjetar dominantan)

$$q_d = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_k + \gamma_Q \cdot s_k \cdot \psi_0 \quad (9)$$

$$q_d = 1,35 \cdot 0,3 + 1,5 \cdot 0,22 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,5$$

$$q_d = 1,19 \text{ kN/m}^2$$

Mjerodavno opterećenje GSN $q_d = 1,50 \text{ kN/m}^2$

$$q_d^y = 1,50 \cdot 5,0 \text{ m} = 7,50 \text{ kN/m'}$$

2.1.2. GSU – granična stanja uporabljivosti

- stalno + snijeg

$$q_d = g_k + s_k \quad (10)$$

$$q_d = 0,3 + 0,6$$

$$q_d = 0,9 \text{ kN/m}^2$$

- stalno + vjetar

$$q_d = g_k + w_k \quad (11)$$

$$q_d = 0,30 + 0,22$$

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

- stalno + snijeg + vjetar (snijeg dominantan)

$$q_d = g_k + s_k + w_k \cdot \psi_0 \quad (12)$$

$$q_d = 0,3 + 0,6 + 0,22 \cdot 0,6$$

$$q_d = 1,03 \text{ kN/m}^2$$

- stalno + vjetar + snijeg (vjetar dominantan)

$$q_d = g_k + w_k + s_k \cdot \psi_0 \quad (13)$$

$$q_d = 0,3 + 0,22 + 0,6 \cdot 0,5$$

$$q_d = 0,82 \text{ kN/m}^2$$

Mjerodavna opterećenja GSU $q_d = 1,03 \text{ kN/m}^2$

$$q_d^y = 1,03 \cdot 5,0 \text{ m} = 5,15 \text{ kN/m'}$$

2.2. Horizontalna opterećenja

2.2.1. GSN – granična stanja nosivosti

- vjetar – lijeva strana

$$q_d = \gamma_Q \cdot w_k \quad (14)$$

$$q_d = 0,418 \cdot 1,5$$

$$q_{d^z} = 0,63 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d^z} = 0,63 \cdot 5,0 \text{ m} = \mathbf{3,15 \text{ kN/m'}}$$

- vjetar – desna strana po formuli (14)

$$q_d = \gamma_Q \cdot w_k$$

$$q_d = 0,341 \cdot 1,5$$

$$q_{d^z} = 0,51 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d^z} = 0,51 \cdot 5,0 \text{ m} = \mathbf{2,55 \text{ kN/m'}}$$

2.2.2. GSU – granično stanje uporabljivosti

- vjetar – lijeva strana

$$q_d = w_k \quad (15)$$

$$q_{d^z} = 0,42 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{d^z} = 0,42 \cdot 5,0 \text{ m} = \mathbf{2,10 \text{ kN/m'}}$$

- vjetar – desna strana po formuli (15)

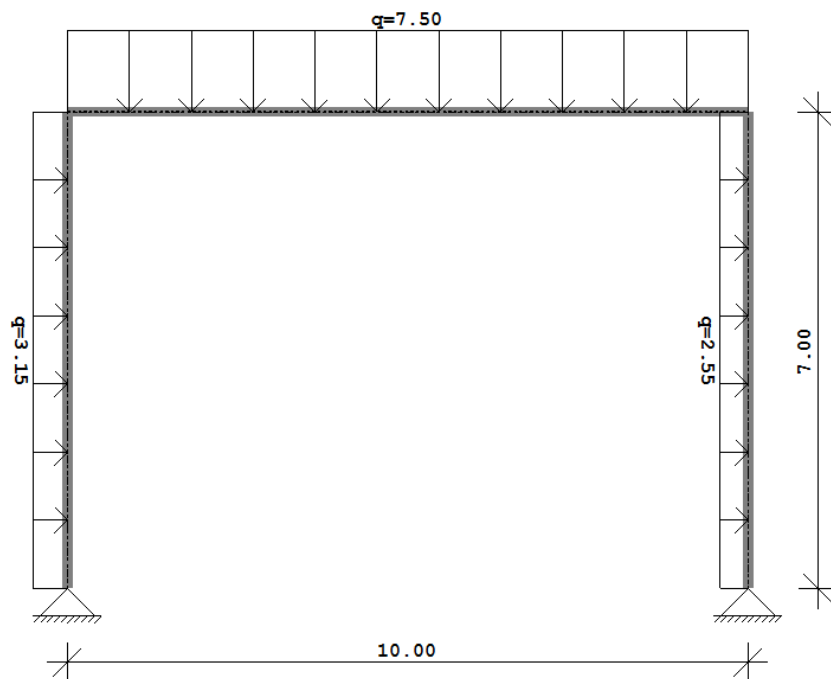
$$q_d = w_k$$

$$q_{d^z} = 0,34 \text{ kN/m}^2$$

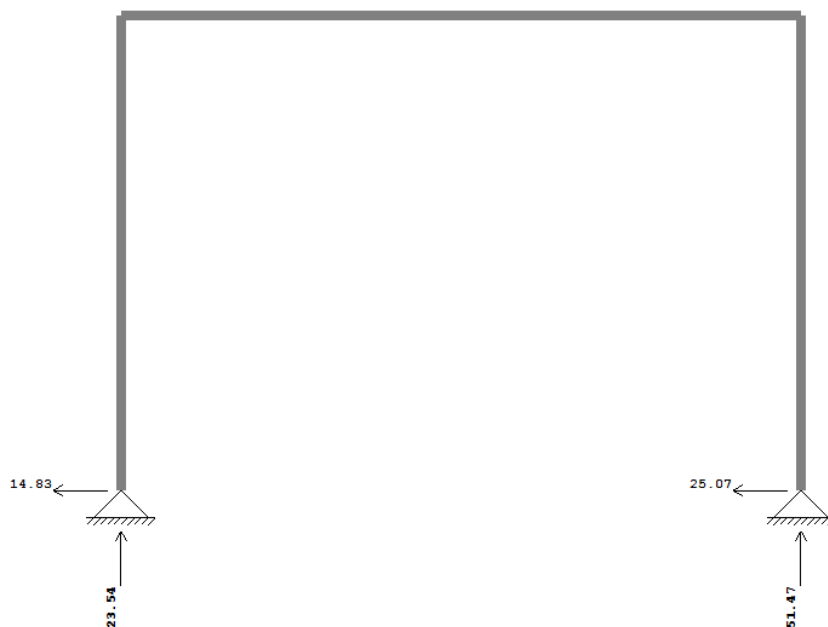
$$q_{d^z} = 0,34 \cdot 5,0 \text{ m} = \mathbf{1,70 \text{ kN/m'}}$$

3. STATIČKI PRORAČUN

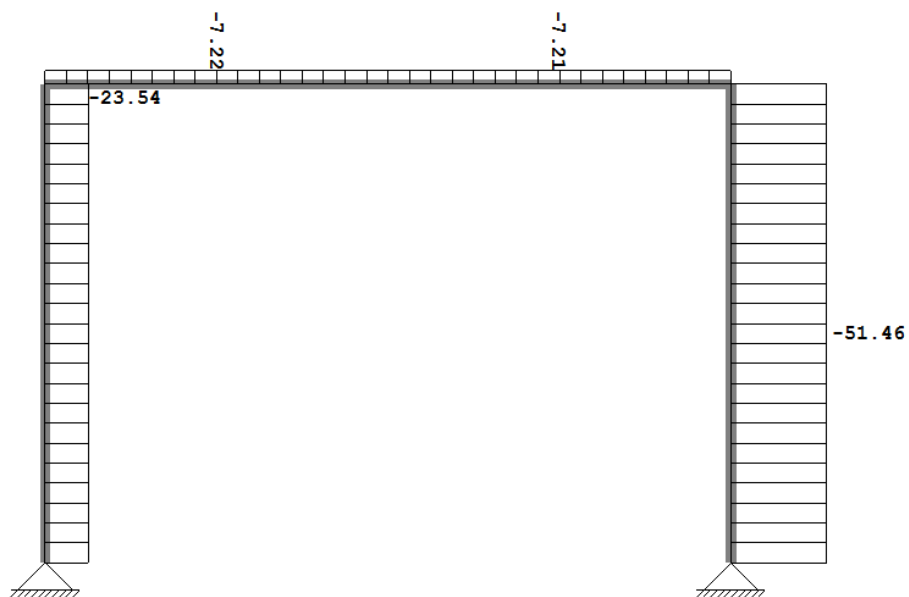
3.1. GSN – granično stanje nosivosti



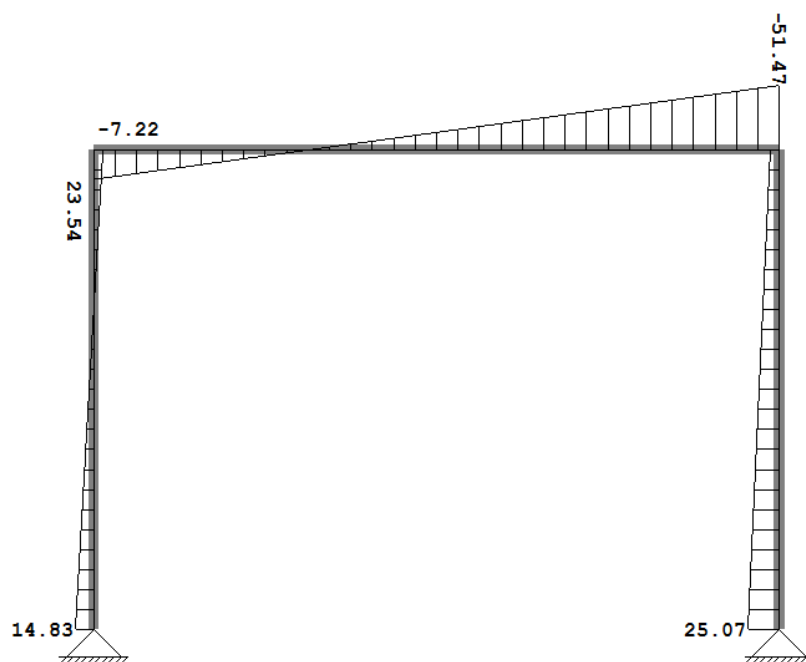
Slika 17: Ulazni podaci za statički proračun GSN izraženi u kN/m'



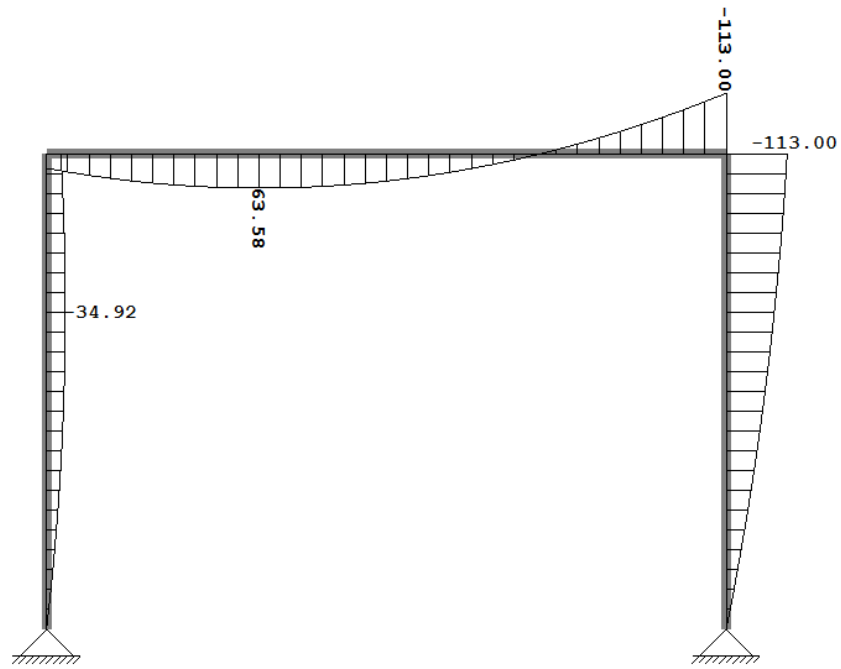
Slika 18: Prikaz dobivenih vertikalnih i horizontalnih reakcija u kN



Slika 19: Prikaz vrijednosti dijagrama uzdužnih sila u kN

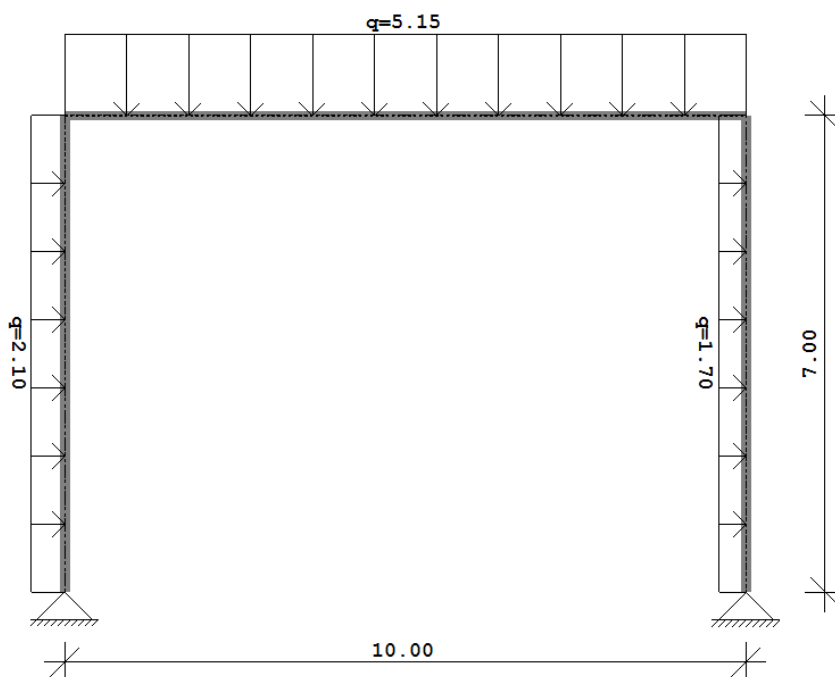


Slika 20: Prikaz vrijednosti dijagrama poprečnih sila u kN

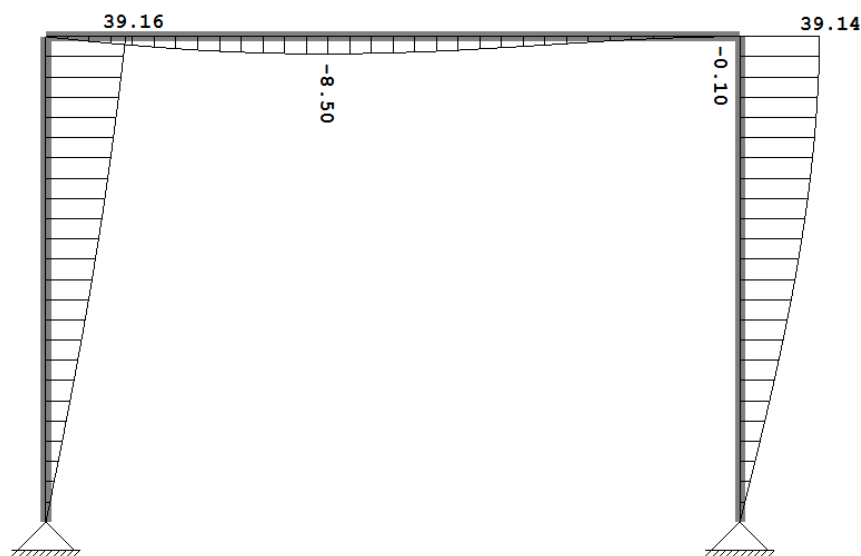


Slika 21: Prikaz vrijednosti momenata savijanja u kNm

3.2. GSU – granično stanje uporabljivosti

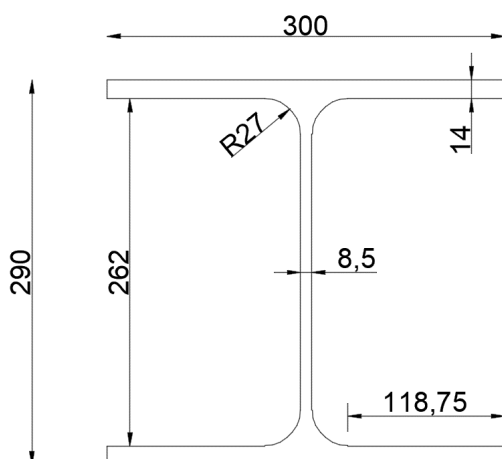


Slika 22: Ulazni podaci za statički proračun GSU u kN/m'



Slika 23: Pomaci u mm

3.3. Stupovi



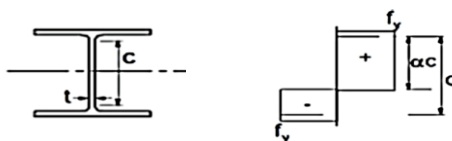
Slika 24: Poprečni presjek HEA300 na stupovima

Tablica 5: Dimenzije i statičke veličine profila HEA300 tipa S275 na stupovima

Širina b	300 mm
Visina h	290 mm
Debljina pojasnice t_f	14 mm
Debljina hrpta t_w	8,5 mm
Radijus zaobljenja r	27 mm
Površina A	112,5 cm ²
Polumjer tromosti i_y	12,74 cm
Polumjer tromosti i_z	7,49 cm
Youngov modul elastičnosti E	210 000 N/mm ²
Modul smicanja G	81 000 N/mm ²
Poissonov koeficijent ν	0,3
Granica popuštanja f_y	275 N/mm ²
Čvrstoća f_u	430 N/mm ²

3.3.1. Klasifikacija poprečnog presjeka – GSN

- **hrbat** (tlak + savijanje)



Slika 25: Mjerodavni dijagram opterećenja za određivanje klase unutarnjih elementa izloženih savijanju i tlaku [4]

uvjet za klasu I preuzet iz [5]:

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} \quad \text{za } \alpha > 0,5 \quad (16)$$

proračun „ α “ preuzet iz [5]

$$N_{C,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot a \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (17)$$

$$a = \frac{N_{Ed}}{2 \cdot t_w \cdot f_y} = \frac{51,46}{2 \cdot 0,85 \cdot 27,5} = 1,10 \text{ cm}$$

$$c = d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 208 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot d = \frac{d}{2} + a \quad (18)$$

$$\alpha = \frac{1}{d} \cdot \left(\frac{d}{2} + a \right) = \frac{1}{20,8} \cdot \left(\frac{20,8}{2} + 1,10 \right) = 0,55 < 1$$

$$\alpha = 0,6$$

$$\frac{c}{t} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} \quad (19)$$

$$\varepsilon (S275) = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{275}} = 0,92 \quad (20)$$

$$c = 20,8 \text{ cm}$$

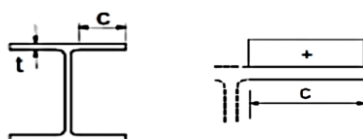
$$t = t_w = 0,85 \text{ cm}$$

$$\frac{20,8}{0,85} \leq \frac{396 \cdot 0,92}{13 \cdot 0,6 - 1}$$

$$24,47 < 53,58$$

Proračunom je dobiveno da je hrbat klasa 1.

- **pojasnice** (obje tlačne)



Slika 26: Mjerodavni dijagram opterećenja za određivanje klase vanjskih elementa izloženih tlaku [4]

uvjet za klasu I iz literature [5]

$$\frac{c}{t} \leq 9 * \varepsilon \quad c = d = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - r = \frac{300}{2} - \frac{8,5}{2} - 27 = 118,75 \text{ mm}$$

$$\frac{118,75}{14} \leq 9 * 0,92 \quad t = t_f = 14 \text{ mm}$$

$$8,48 > 8,28$$

uvjet za klasu II iz [5]

$$\frac{c}{t} \leq 10 * \varepsilon$$

$$\frac{118,75}{14} \leq 10 * 0,92$$

$$8,48 < 9,2$$

Proračunom je izračunato da su pojasnice klasa 2.

3.3.2. Otpornost poprečnog presjeka – GSN

Presjek je klasa 2 stoga se otpornost računa po teoriji plastičnosti. Za izračun otpornosti potrebni su površina presjeka A , granica popuštanja f_y , faktor sigurnosti za otpornost poprečnog presjeka γ_{M0} , moment otpora poprečnog presjeka W_y , posmična površina A_v te rezne sile.

Iznos tlačne sile koja djeluje na lijevi stup je $N_{Ed} = 23,54$ kN, momenta savijanja $M_{Ed} = 34,92$ kNm te poprečne sile je $V_{Ed} = 23,54$ kN. Prilikom interakcije savijanja i posmika M_{Ed} iznosi 56,5 kNm, a V_{Ed} iznosi 12,54 kN. Kod djelovanja savijanja i tlaka, tlačna sila je veličine 51,46 kN, a moment 113 kNm. Interakcijom tlaka i posmika, vrijednost N_{Ed} je 51,46 kN, dok je V_{Ed} 25,07 kN.

- Otpornost poprečnog presjeka na tlak preuzet iz [5]

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (17)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{112,5 * 27,5}{1,0} = 3093,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} > N_{c,Ed}$$

$$3093,75 > 51,46 \text{ kN}$$

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje preuzet iz [5]

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (21)$$

$$M_{y,Rd} = \frac{1260 * 27,5}{1,0} = 34\,650 \text{ kNcm} = 346,5 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} > M_{y,Ed}$$

$$346,5 > 113,0 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost preuzeta iz [5]

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad (22)$$

Provjera izbočavanja hrpta

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \frac{\epsilon}{\eta} \quad (23)$$

gdje je h_w – razmak od između unutarnjeg ruba pojasnica

d – ravni dio hrpta

$\eta = 1,2$ za valjane profile

$$\frac{h - 2 * t_f}{t_w} \leq 72 * \frac{\epsilon}{\eta}$$

$$\frac{290 - 2 * 14}{8,5} \leq 72 * \frac{0,92}{1,2}$$

$$30,82 < 55,2$$

Nema izbočavanja hrpta.

$$A_{vz} = A - 2 * b * t_f + (t_w + 2 * r) * t_f \geq \eta * h_w * t_w \quad (24)$$

$$A_{vz} = 112,5 - 2 * 30 * 1,4 + (0,85 + 2 * 2,7) * 1,4 \geq 1,2 * 26,2 * 0,85$$

$$A_{vz} = 37,25 > 26,72 = 37,25 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{37,25 * 27,5 / \sqrt{3}}{1,0} = 591,42 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} > V_{pl,Ed}$$

$$591,42 > 25,07 \text{ kN}$$

- Interakcija tlaka i savijanja preuzeta iz [5]

$$N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd} \quad (25)$$

$$51,46 < 0,25 * 3093,75 = 773,44 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (26)$$

$$51,46 < \frac{0,5 * 26,2 * 0,85 * 27,5}{\gamma_{M0}} = 306,21 \text{ kN} \text{ onda je}$$

$$M_{V,N,y,Ed} = M_{pl,y,Rd} = 346,5 \text{ kNm}$$

- Interakcija savijanja i posmika preuzeta iz [5]

$$V_{Ed} \leq 0,5 * V_{pl,Rd} \quad (27)$$

$$12,54 < 0,5 * 591,42 = 295,71 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Ed} = M_{y,c,Rd} \quad (28)$$

$$M_{y,V,Ed} = 346,5 \text{ kNm}$$

- Interakcija tlaka i posmika preuzeta iz [5]

$$N_{pl,V} = N_{pl} \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_z}{V_{pl}} \right)^2} \right] A_v / A \right\} \quad (29)$$

$$N_{pl,V} = N_{pl} \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{25,07}{25,07} \right)^2} \right] \frac{37,25}{112,5} \right\} = 51,46 * 0,67$$

$$= 34,42 \text{ kN}$$

3.3.3. Otpornost elementa na bočno torzijsko izvijanje – GSN

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M1}} \quad (30)$$

Čelični portalni okvir

gdje je χ_{LT} faktor redukcije koji ovisi o izvijanju

$W_{pl,y}$ moment otpora klase 2

γ_{M1} koeficijent sigurnosti za otpornost elementa

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} \leq 1 \quad (31)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] \quad (32)$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} \quad (33)$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{210000}{2(1+0,3)} = 8077 \text{ kN/cm}^2 \quad (34)$$

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 E I_z}{l_{cr}^2} * \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{cr}^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} \quad (35)$$

gdje je M_{cr} elastični kritični moment bočnog torzijskog izvijanja

l_{cr} razmak između točaka bočnog pridržaja

G modul posmika

λ bez dimenzijska vitkost

ϕ bočno torzijsko izvijanje

Za određivanje koeficijenta C_1 izračunat je faktor ψ koji predstavlja odnos između momenata na osloncima te on za stupove iznosi 0. Iz tablice 6 očitano je $C_1 = 1,77$.

Tablica 6: Tablica za određivanje C_1 preko ψ [4]

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

Čelični portalni okvir

Za određivanje M_{cr} potrebne su sljedeće konstante profila HEA300:

$$I_w = 1\,200\,000 \text{ cm}^6 \quad \text{konstanta krivljenja}$$

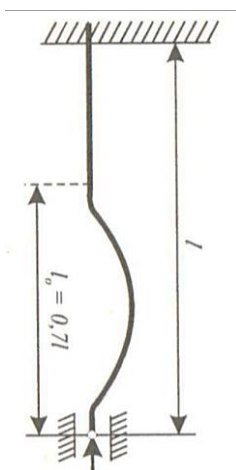
$$I_t = 85,17 \text{ cm}^4 \quad \text{torzijska konstanta}$$

$$I_z = 6\,310 \text{ cm}^4 \quad \text{moment inercije}$$

Također je potrebno definirati l_{cr} koja za uvjet u kojem je jedan kraj štapa uklješten, a drugi zglobno vezan iznosi 70% od nedeformirane duljine štapa l (Slika 27).

$$l_{cr} = 0,7 \cdot l \quad (36)$$

portalnog okvira $l_{cr} = 0,7 \cdot 7 = 4,9 \text{ m}$



Slika 27: Prikaz učvršćivanja štapa koji je s jedne strane uklješten, dok je s druge strane zglobno vezan [3].

Iz jednadžbe (35) dobiva se:

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 E I_z}{l_{cr}^2} * \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{cr}^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} = 1,77 * \frac{\pi^2 * 21000 * 6310}{490^2} * \sqrt{\frac{1200000}{6310} + \frac{490^2 * 8077 * 85,17}{\pi^2 * 21000 * 6310}} =$$
$$171\,511,87 \text{ kNcm} = 1\,715,19 \text{ kNm}$$

Iz jednadžbe (33) određen je λ_{LT} :

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1383 * 27,5}{171511,87}} = 0,471$$

Krivulja izvijanja za bočno torzijsko izvijanje a određena je iz Tablice 7. Budući da je presjek valjani, a odnos $h/b = 290/300 = 0,97$ je manji od 2 te stoga faktor imperfekcije α_{LT} iznosi 0,21.

Tablica 7: Tablica krivulja izvijanja preko koje se određuje faktor imperfekcije [4].

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

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

Iz jednadžbe (32) dobije se:

$$\begin{aligned}\phi_{LT} &= 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 [1 + 0,21 (0,471 - 0,2) + 0,471^2] \\ &= 0,639\end{aligned}$$

Faktor redukcije iznosi:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,639 + \sqrt{0,639^2 - 0,471^2}} = 0,93$$

Moment otpornosti elementa na bočno torzijsko izvijanje prema (30) formuli iznosi:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,93 * \frac{1383 * 27,5}{1,1} = 32 154,75 \text{ kNcm} = 321,55 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{113 \text{ kNm}}{321,55 \text{ kNm}} = 0,35 < 1$$

uvjet zadovoljen

3.3.4. Provjera progiba – GSU

Prilikom provjere progiba kao mjerodavno horizontalno opterećenje je stalno opterećenje i opterećenje vjetrom na lijevom stupu koje iznosi $q = 2,10 \text{ kN/m}'$. Progib na lijevom stupu je veličine 39,16 mm. Maksimalni dopušteni horizontalni pomak na vrhu stupa mora biti manji od $H/150$.

$$\rho = 39,16 \text{ mm}$$

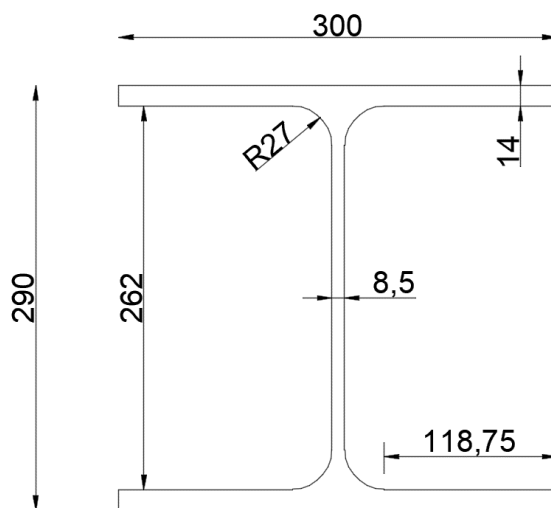
$$\rho_{h.dop} = \frac{H}{150} \quad (37)$$

$$\rho \leq \rho_{h.dop}$$

$$3,92 \text{ cm} < \frac{700}{150} = 4,67 \text{ cm}$$

Uvjet GSU je zadovoljen.

3.4. Prečka



Slika 28: Poprečni presjek HEA300 na prečki.

Tablica 8: Dimenzije i statičke veličine profila HEA300 tipa S275 na prečki.

Širina b	300 mm
Visina h	290 mm
Debljina pojasnice t_f	14 mm
Debljina hrpta t_w	8,5 mm
Radijus zaobljenja r	27 mm
Površina A	112,5 cm²
Polumjer tromosti i_y	12,74 cm
Polumjer tromosti i_z	7,49 cm
Youngov modul elastičnosti E	210 000 N/mm²
Modul smicanja G	81 000 N/mm²
Poissonov koeficijent ν	0,3
Granica popuštanja f_y	275 N/mm²
Čvrstoća f_u	430 N/mm²

3.4.1. Klasifikacija poprečnog presjeka

Prečka je HEA300 profila i vrste djelovanja (tlak + savijanje) isto kao i stupovi stoga je i ista klasa (vidi poglavlje 3.3.1.). Proračunom je dobiveno da je hrbat klasa 1, a pojasnice klasa 2. Proračun otpornosti poprečnog presjeka radi se po teoriji plastičnosti pošto je presjek klasa 2.

3.4.2. Otpornost poprečnog presjeka – GSN

Iznos tlačne sile koja djeluje na prečku je $N_{Ed} = 7,22$ kN, momenta savijanja $M_{Ed} = 113,0$ kNm te poprečne sile je $V_{Ed} = 51,47$ kN. Prilikom interakcije savijanja i posmika vrijednost M_{Ed} je 113,0 kNm, a V_{Ed} iznosi 51,47 kN. Kod djelovanja savijanja i tlaka, tlačna sila je veličine 7,21 kN, a moment 113,0 kNm. Interakcijom tlaka i posmika, vrijednost N_{Ed} je 7,21 kN, dok je V_{Ed} 51,47 kN.

- Otpornost poprečnog presjeka na tlak preuzeta iz [6]

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (17)$$

$$N_{c,Rd} = \frac{112,5 * 27,5}{1,0} = 3093,75 \text{ kN}$$

$$N_{c,Rd} > N_{c,Ed}$$

$$3093,75 > 7,22 \text{ kN}$$

- Otpornost poprečnog presjeka na savijanje preuzeta iz [6]

$$M_{y,Rd} = \frac{W_y * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (21)$$

$$M_{y,Rd} = \frac{1260 * 27,5}{1,0} = 34\ 650 \text{ kNcm} = 346,5 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} > M_{y,Ed}$$

$$346,5 > 113,0 \text{ kNm}$$

- Posmična otpornost preuzeta iz [6]

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} \quad (22)$$

$$A_{vz} = 37,25 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{37,25 * 27,5 / \sqrt{3}}{1,0} = 591,42 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} > V_{pl,Ed}$$

$$591,42 > 25,07 \text{ kN}$$

- Interakcija tlaka i savijanja preuzeta iz [6]

$$N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd} \quad (25)$$

$$7,21 < 0,25 * 3093,75 = 773,44 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (26)$$

$$51,46 < \frac{0,5 * 26,2 * 0,85 * 27,5}{\gamma_{M0}} = 306,21 \text{ kN} \text{ onda je}$$

$$M_{V,N,y,Ed} = M_{pl,y,Rd} = 346,5 \text{ kNm}$$

- Interakcija savijanja i posmika preuzeta iz [6]

$$V_{Ed} \leq 0,5 * V_{pl,Rd} \quad (27)$$

$$51,47 < 0,5 * 591,42 = 295,71 \text{ kN}$$

$$M_{y,V,Ed} = M_{y,c,Rd} \quad (28)$$

$$M_{y,V,Ed} = 346,5 \text{ kNm}$$

- Interakcija tlaka i posmika preuzeta iz [6]

$$N_{pl,V} = N_{pl} \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{V_z}{V_{pl}} \right)^2} \right] A_v / A \right\} \quad (29)$$

$$N_{pl,V} = N_{pl} \left\{ 1 - \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{51,47}{51,47} \right)^2} \right] \frac{37,25}{112,5} \right\} = 51,46 * 0,67$$

$$= 34,42 \text{ kN}$$

3.4.3. Otpornost elementa na bočno torzijsko izvijanje - GSN

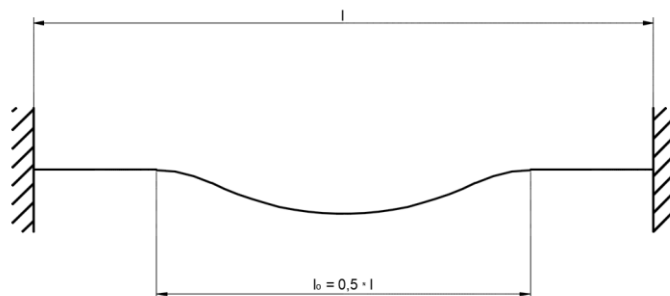
$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M1}} \quad (30)$$

Za određivanje koeficijenta C_1 izračunat je faktor ψ koji predstavlja odnos između momenata na osloncima te on za stupove iznosi - 1,78. Iz tablice 6 očitano je $C_1 = 2,55$.

Kritična duljina izvijanja l_{cr} za uvjet obostranog uklještenja iznosi 50% od nedeformirane duljine štapa l (Slika 27).

$$l_{cr} = 0,5 \cdot l \quad (38)$$

$$l_{cr} = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ m}$$



Slika 29: Prikaz učvršćivanja prečke koji je uklještena za stupove.

Iz jednađbe (35) dobiva se:

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi^2 E I_z}{l_{cr}^2} * \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{l_{cr}^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} = 2,55 * \frac{\pi^2 * 21000 * 6310}{500^2} * \sqrt{\frac{1200000}{6310} + \frac{500^2 * 8077 * 85,17}{\pi^2 * 21000 * 6310}} =$$

$$239\,252,95 \text{ kNcm} = 2\,392,53 \text{ kNm}$$

Iz jednađbe (33) određen je λ_{LT} :

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1383 * 27,5}{239252,95}} = 0,399$$

Faktor imperfekcije α_{LT} , kao i za stupove, iznosi 0,21 (prema Tablici 7).

Iz jednađbe (32) dobije se:

$$\phi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\lambda_{LT} - 0,2) + \lambda_{LT}^2] = 0,5 [1 + 0,21 (0,399 - 0,2) + 0,399^2]$$

$$= 0,600$$

Faktor redukcije iznosi:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \lambda_{LT}^2}} = \frac{1}{0,600 + \sqrt{0,600^2 - 0,399^2}} = 0,95$$

Moment otpornosti elementa na bočno torzijsko izvijanje prema (30) formuli iznosi:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} * \frac{W_{pl,y} * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,95 * \frac{1383 * 27,5}{1,1} = 32\,846,25 \text{ kNcm} = 328,46 \text{ kNm}$$

UVJET NOSIVOSTI:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{113 \text{ kNm}}{328,46 \text{ kNm}} = 0,34 < 1$$

Uvjet otpornosti je zadovoljen.

3.4.4. Provjera progiba – GSU

Mjerodavno vertikalno opterećenje $q = 5,15 \text{ kN/m'}$. Progib na prečki iznosi 0,85 cm.

Dopušteni vertikalni pomak na prečki mora biti manji od $L/200$ [6].

$$\rho = 0,85 \text{ cm}$$

$$\rho_{v.dop} = \frac{L}{200} \tag{39}$$

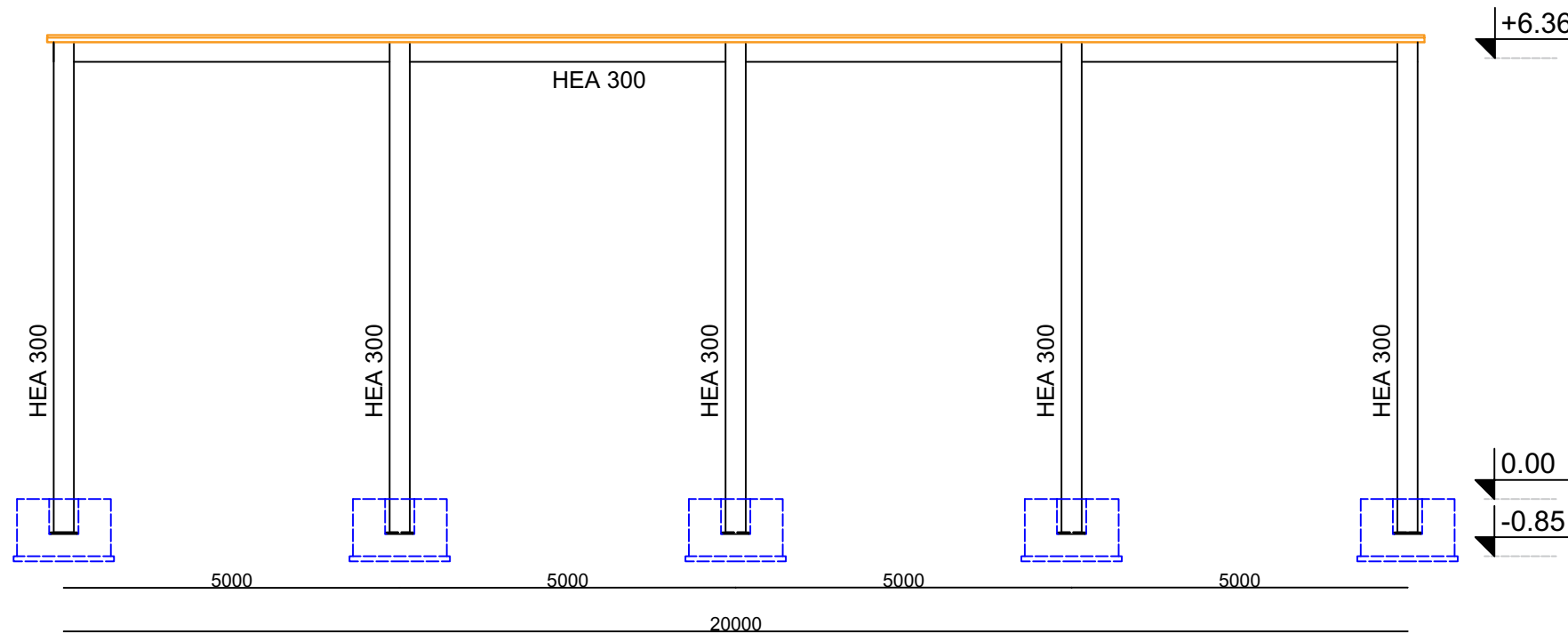
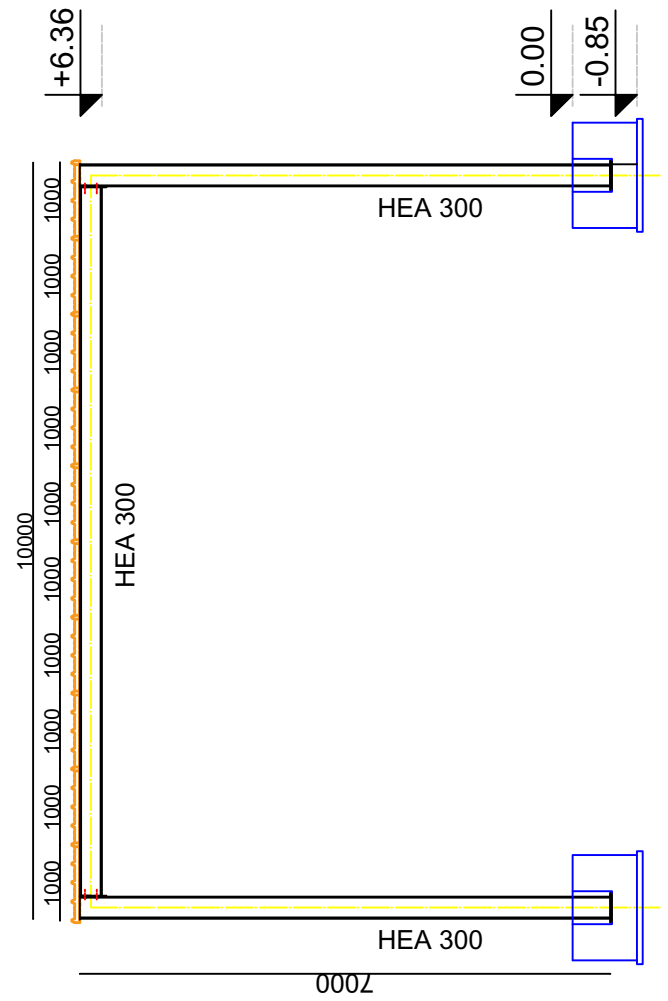
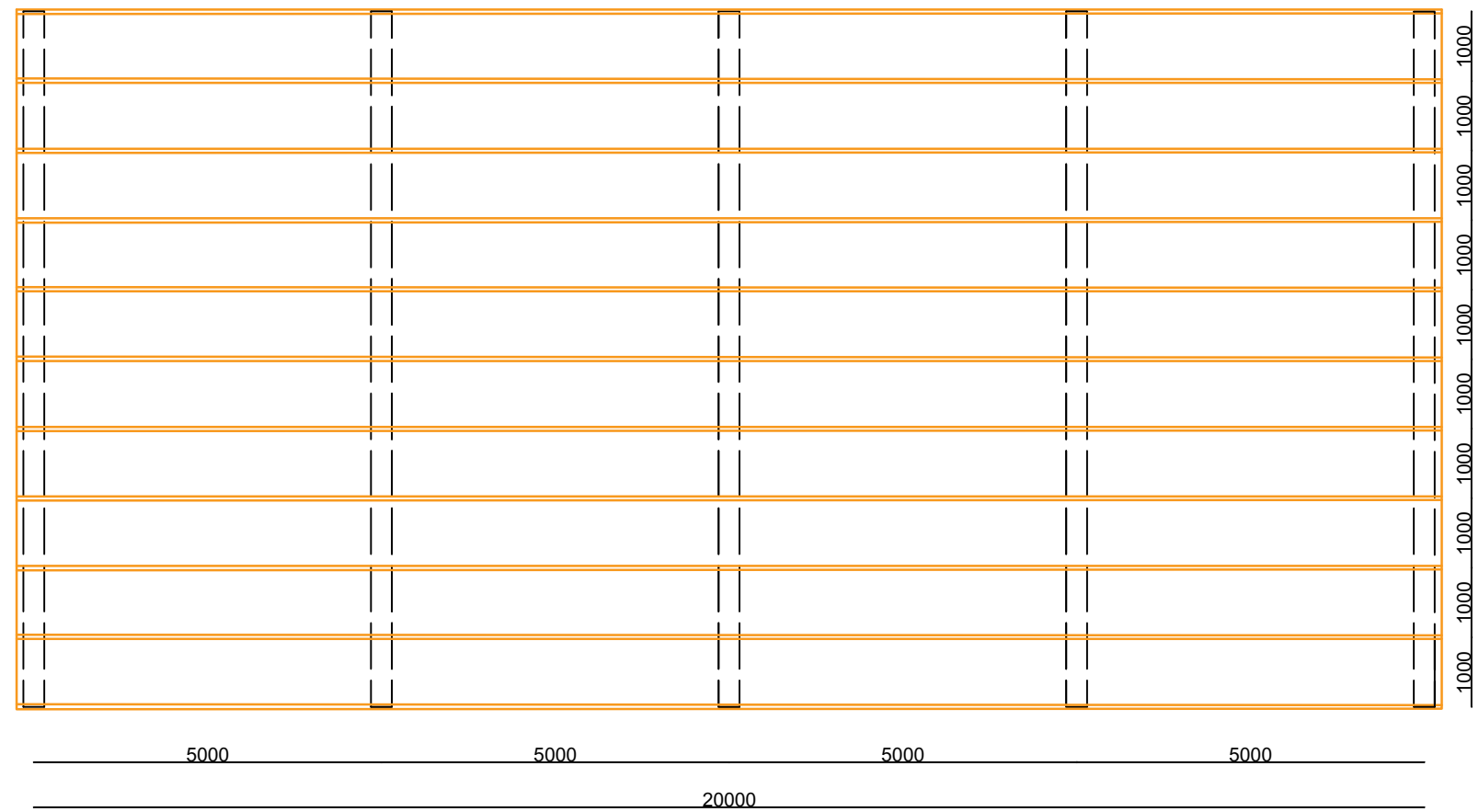
$$\rho \leq \rho_{v.dop}$$

$$0,85 \text{ cm} < \frac{1000}{200} = 5 \text{ cm}$$

Uvjet GSU je zadovoljen.

4. NACRTI

DISPOZICIJA PORTALNOG OKVIRA MJ 1:100



GF GRAĐEVINSKI FAKULTET, SVEUČILIŠTE U RIJECI			
Završni rad: DIMENZIONIRANJE ČELIČNOG PORTALNOG OKVIRA		Sadržaj nacрта: DISPOZICIJA PORTALNOG OKVIRA	
Student: Natali Lanča		Kolegij: Osnove čeličnih konstrukcija	
Mentor: Izv.prof.dr.sc. Mladen Bulić dipl.ing.građ.	Datum: IX 2019.	Mjerilo: 1:100	List: 1

5. ZAKLJUČAK

Okviri portalnog oblika s ravnom gredom su dosta jednostavni za izvedbu i pogodni su kod izrade manjih hala i drugih sličnih objekata. Odabrani čelični profili stupova i prečke portalnog okvira zadovoljavaju uvjete za granično stanje nosivosti i granično stanje uporabljivosti. Mjerodavan je horizontalni pomak okvira. Iskorištenost iznosi 84% (3,92/4,67).

6. LITERATURA

- [1] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., *Čelične konstrukcije 1*, IA Projektiranje, Zagreb, 2009.
- [2] HZN: Eurokod 3: *Projektiranje čeličnih konstrukcija*, Dio 1-8, HRN EN 1993-1-1, Brisel, 2005.
- [3] <https://tehnika.page.tl/Tehni%26%23269%3Bka-mehanika.htm>
(20.07.2019.)
- [4] https://moodle.srce.hr/2018-2019/pluginfile.php/2090286/mod_resource/content/1/Tablice%20za%201.kolokvij.pdf (20.07.2019.)
- [5] Džeba, I., Androić, B., Dujmović, D., *Metalne konstrukcije 3*, IA Projektiranje, Zagreb, 1998
- [6] Androić, B., Dujmović, D., Džeba, I., *Čelične konstrukcije 2*, IA Projektiranje, Zagreb, 2007.