Osnove drvenih konstrukcija

Šilović, Jurica

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:924613

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split







SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Jurica Šilović

Split, 2015

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Osnove drvenih konstrukcija

Završni rad

Split, 2015

Sažetak:

Dimenzioniranje sedlaste grede za industrijsku halu, dokaz vatrootpornosti te priloženi nacrti plana pozicija glavnog nosača i detalja.

Ključne riječi:

Sedlasta greda, glavni nosač, dimenzioniranje, vatrootpornost, sendvič paneli, dokaz nosivosti, dokaz uporabljivosti

Basics of timber structures

Abstract:

Sizing saddle beams for industrial hall, proof of fire resistance and the attached draft of plan positions of the main carrier and details.

Keywords:

Saddle beam, main carrier, sizing, fire resistance, sandwich panels, proof load, proof of usability

Sadržaj:

1. Tehnički opis 3
   1.1. Konstruktivni sustav krova 3
   1.2. Statička analiza sustava 3
   1.3. Opis konstruktivnih elemenata 4
      1.3.1. Glavni nosači 4
      1.3.2. Podrožnice 4
      1.3.3. Sendvič panel 4
   1.4. Materijali 4
   1.5. Zaštita i priprema za transport 5
   1.6. Transport i montaža 5
2. Analiza opterećenja 6
   2.1. Stalno opterećenje 6
   2.2. Promjenjivo opterećenje 7
      2.2.1. Djelovanje snijega 7
3. Granično stanje uporabljivosti 22
   3.1 Karakteristična (rijetka) kombinacija 22
   3.2 Nazovistalna kombinacija 24

4. Statički proračun 25
4.1. Opterećenja i proračun reznih sila 25
4.1.1. Stalno opterećenje – Vlastita težina 25
4.1.2. Promjenjivo opterećenje - Snijeg 25
4.1.3. Promjenjivo opterećenje – Vjetar W1 25
4.2. KOMBINACIJA 1 → Vlastita težina " + " Snijeg 26
4.3. KOMBINACIJA 2 → Vlastita težina " + " Vjetar W1 34
5. Proračun panela 41
5.1. Proračun sendvič panela 45
5.2. Proračun sendvič panela na duljini između dva glavna nosača 48
6. Vatrootpornost drvene konstrukcije 51
6.1. KOMBINACIJA 1 → Vlastita težina " + " Snijeg 52
6.2. KOMBINACIJA 2 → Vlastita težina " + " Vjetar W1 56
7. Literatura 58

1. Tehnički opis

1.1. Konstruktivni sustav krova

Konstruktivni sustav je zakrivljeni lijepljeni lamelirani nosač promjenjivog poprečnog presjeka duž raspona, konkretno sedlasta greda duljine L = 24,00 m. Visina sedlaste grede u tjemenu je 2,62 m. Poprečni presjek sedlaste grede u tjemenu je dimenzije b/h = 22/180 cm , a debljina lamele iznosi t = 30 mm. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 10°$. Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku l = 7,50 m. Stabiliziranje konstrukcije predviđeno je sendvič panelima. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi 75,00 m.

1.2. Statička analiza sustava

Proračun je izvršen prema normi DIN 1052::2004-08.
Konstrukcija je izložena djelovanju sljedećih opterećenja: vlastita težina, vjetar i snijeg.
Predmetna građevina se nalazi na području Splita, do 100 m nadmorske visine, kategorija zemljišta IV .
Odgovarajući koeficijenti za vjetar i snijeg uzeti su prema tome iz propisanih tablica.
Za statički sustav odabrane su dvije mjerodavne kombinacije sa najvećim utjecajem na konstrukciju.
Kombinacija 1 uključuje opterećenje od vlastite težine konstrukcije i snijega. Kombinacija 2 određena je djelovanjem vlastite težine konstrukcije i mjerodavnog vjetra.
Proračun reznih sila za glavni nosač određen je aproksimacijom zakrivljenog lijepljenog lameliranog nosača prostom gredom na dužini cijelog raspona. Proračun reznih sila za sekundarni nosač određen je pomoću kontinuiranog nosača sa 10 polja, gdje su ležajevi postavljeni na udaljenosti l = 7,50 m. Proračun sekundarnog nosača proveden je pomoću znanja metode pomaka i metode anvelopa čime su dobivene mjerodavne rezne sile.
Ovakav model za proračun daje približan i dovoljno točan rezultat.
Izvršena je analiza bočnog opterećenja u kombinaciji s vjetrom koji djeluje okomito na glavni nosač i izbočava ga. Cilj ovog proračuna je prostorna stabilizacija konstrukcije.

1.3. Opis konstruktivnih elemenata

1.3.1. Glavni nosači

Glavni nosači predstavljaju nosivi dio konstrukcije i prenose vertikalna opterećenja na nosive zidove i dalje na temeljno tlo. Dimenzionirani su da prime utjecaj od vlastite težine i opterećenja od snijega i vjetra. Oni su promjenjivog pravokutnog poprečnog presjeka. Na dužini l = 22,00 m glavnog nosača postavljena su ojačanja kroz sedlastu gredu u obliku čeličnih šipki okruglog poprečnog presjeka M12. Šipke su postavljenje u otvor veličine ∅ 14 mm te su oblijepljene epoksidnim smolama. Glavni nosač oslonjen je neoprenskim ležajevima, dimenzija 220/220/42 mm, u armiranog betonski zid poprečnog presjeka b/h = 60/50 mm.

1.3.2. Podrožnice

Podrožnica prenosi opterećenje s krovne plohe na glavne nosače. Elementi podrožnice koji imaju i funkciju vertikala vjetrovnog sprega, kvadratnog su poprečnog presjeka dimenzija b/h = 18/20 cm i nalaze se na razmaku 3,046 m. Provedenim dokazom nosivosti i graničnog stanja uporabljivosti sendvič panela podrožnice nisu potrebne. Sendvič paneli obavljaju prostornu stabilizaciju sustava.

1.3.3. Sendvič panel

Pokrov je izveden od sendvič panela izrađenih u kombinaciji ploče od složenog krupnog iverja OSB/3 i drva četinara C24, dimenzije b/h = 317/2880 mm dužine l = 15,0 m.

1.4. Materijali

Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od drva klase GL28c . Karakteristične vrijednosti čvrstoća, modula i gustoće za ovu klasu:

$f_{m,k}$ = 28,0 N/mm^2
$f_{t,0,k}$ = 16,5 N/mm^2
$f_{c,0,k}$ = 24,0 N/mm^2
$E_{0,mean}$ = 12600 N/mm^2
G_{mean} = 780 N/mm^2
ρ = 410 kg/m^3

1.5. Zaštita i priprema za transport

Zaštita nosivih elemenata se vrši fungicidnim premazima za zaštitu od prodora vode i nametnika. Zaštita se nanosi u tri sloja, s tim da se dva sloja nanose u tvornici prije transporta, a treći, završni sloj nanosi se nakon definitivne montaže. Nosači se nakon ove operacije pakiraju u PVC da bi se zaštitili od vlage u narednim fazama, a ako se radi o težim transportima mogu se zaštiti i od mehaničkih oštećenja.

1.6. Transport i montaža

Planom transporta prikazuje se i opisuje način transporta te dokazuje mehanička otpornost i stabilnost kod kritičnih operacija i specifičnih načina oslanjanja ili položaja LLN. Transportni putovi moraju biti utvrđeni, pri čemu se mora voditi računa o radijusima krivina prema zahtjevima specijalnih vozila i slobodnim profilima.
Montaža se mora provesti prema planu montaže.
Izvođač je dužan izraditi plan montaže nosača kojeg treba zajedno s transportnim planom dostaviti nadzornoj službi na suglasnost. Plan montaže ovjerava projektant konstrukcije.
Međustanja konstrukcije u fazi montaže potrebno je provjeriti vodeći računa o mjestima i načinima hvatanja/oslanjanja u fazama podizanja i montaže. Mjesta hvatanja potrebno je osigurati od oštećenja.
Glavni nosači se izrađuju na podu, zatim se pomoću dizalice podižu u vertikalni položaj.
Posebnu pažnju treba posvetiti osiguranju stabilnosti u fazama i elementima koji kod montaže imaju naprezanja suprotna od očekivanih u eksploataciji. Konačno na već postavljenu konstrukciju postavlja se pokrov.
Nosači se trebaju transportirati u takvom položaju u kakvom će kasnije primiti opterećenje.
Transport i montažu treba obaviti tako da se izbjegnu moguća oštećenja dijelova konstrukcije.

2. Analiza opterećenja

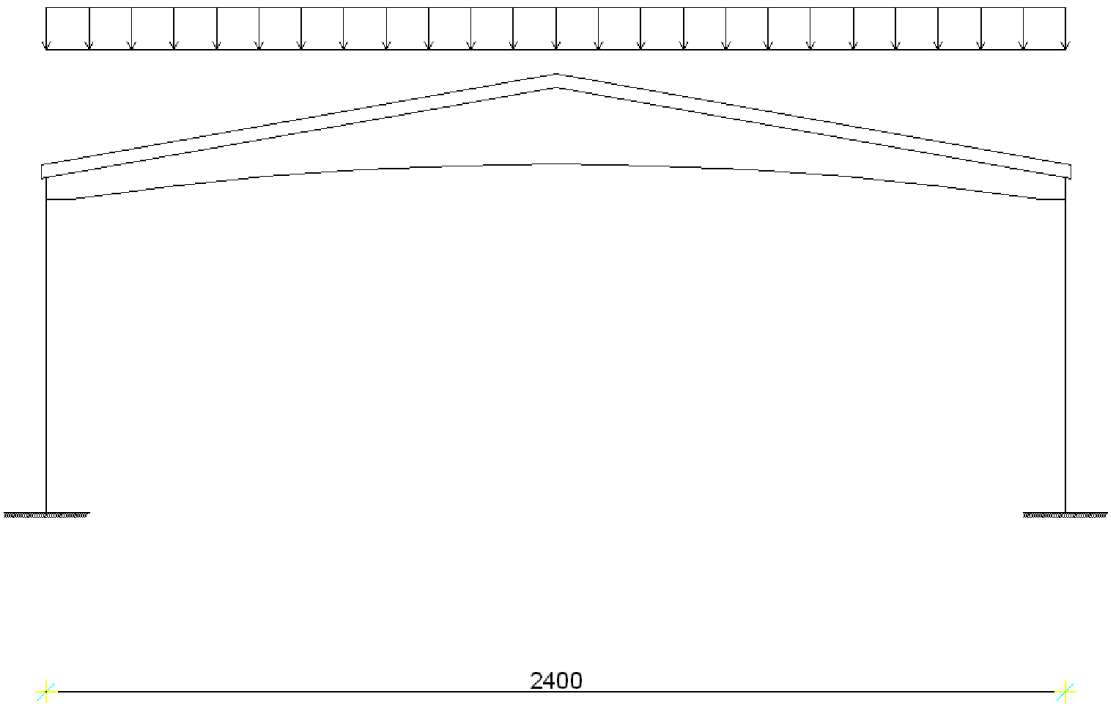
2.1. Stalno opterećenje

Vlastita težina

Stalno opterećenje

Instalacije: g = 0,50 kN/m^2

G_k = 0,50 kN/m^2 * 7,50 m = 3,75 kN/m'



2.2. Promjenjivo opterećenje

2.2.1. Djelovanje snijega

$$s = \mu_i \cdot c_e \cdot c_i \cdot s_k \ (kN/m^2)$$

$$s_k \rightarrow karakteristična\ vrijednost\ opterećenja\ na\ tlu\ u\ kN/m^2$$

$$s_k = 0{,}45\ kN/m^2 \rightarrow Split, do\ 100\ m\ nadmorske\ visine$$

DJELOVANJE SNIJEGA

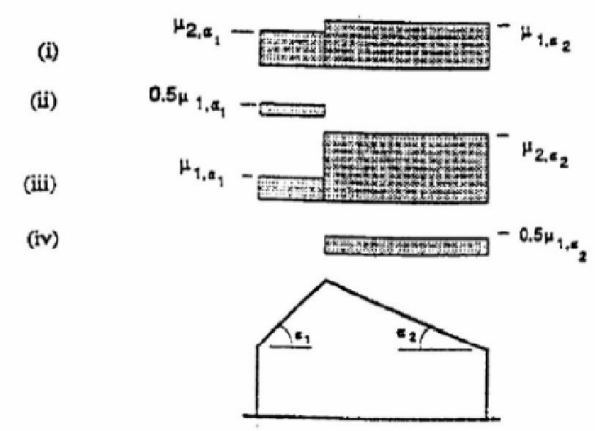


Slika 1. *Karta područja za opterećenje snijegom*

$\mu_i \rightarrow koeficijent\ oblika\ za\ opterećenje\ snijegom, očitano\ ga\ ovisno\ o\ obliku\ i\ nagibu\ krova$

DJELOVANJE SNIJEGA

Rasporedi opterećenja snijegom u ovisnosti o koeficijentu oblika μ_i za dvostrešne krovove prikazani su sljedećim slikama:



Napomena: Uzima se u obzir najnepovoljniji razmještaj opterećenja

Vrijednosti pojedinih koeficijenata oblika μ_i u ovisnosti o nagibu krova prikazane su na sljedećoj tablici:

Kut nagiba krova	**$0° \leq \alpha \leq 15°$**	**$15° < \alpha \leq 30°$**	**$30° < \alpha < 60°$**	**$\alpha \geq 60°$**
koeficijent oblika μ_1	0,8	0,8	0,8 (60 - α) / 30	0,0
koeficijent oblika μ_2	0,8	0,8 + 0,6 (α - 15) / 30	1,1 (60 - α) /30	0,0

Slika 2. Tablica koeficijenata oblika za dvostrešne krovove

$$\mu_i = 0{,}8\ za\ 0^\circ \leq 10^\circ \leq 15^\circ$$

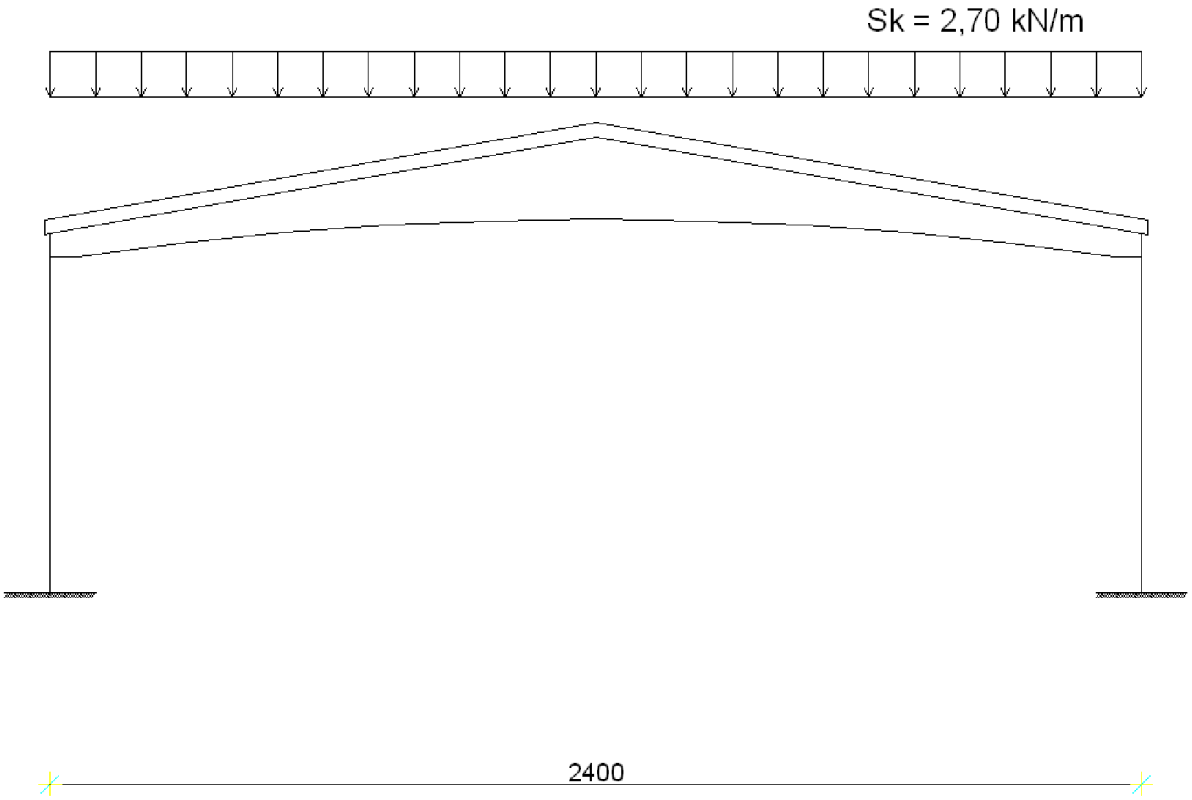
$$c_e = 1{,}0 \rightarrow koeficijent\ izloženosti$$

$$c_t = 1{,}0 \rightarrow toplinski\ koeficijent$$

Opterećenje snijegom preko cijele krovne ploče:

$$s = 0{,}8 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}45 = 0{,}36\ kN/m^2$$

S_k = 0,36 kN/m^2 * 7,50 m = 2,70 kN/m'



2.2.2. Djelovanje vjetra

$$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}\ (kN/m^2) \rightarrow pritisak\ vjetra\ na\ vanjske\ površine$$

$$w_i = q_{ref} \cdot c_i(z_i) \cdot c_{pi}\ (kN/m^2) \rightarrow pritisak\ vjetra\ na\ unutarnje\ površine$$

$$z_e\ , z_i\ \rightarrow referentne\ visine\ za\ lokalni\ ili\ unutarnji\ tlak$$

$$q_{ref}\ \rightarrow\ referentni\ pritisak\ srednje\ brzine\ vjetra$$

$$c_{pe}\ , c_{pi}\ \rightarrow vanjski\ i\ unutarnji\ koeficijenti\ pritiska$$

Proračun referentnog pritiska vjetra q_{ref} :

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{ref}^2$$

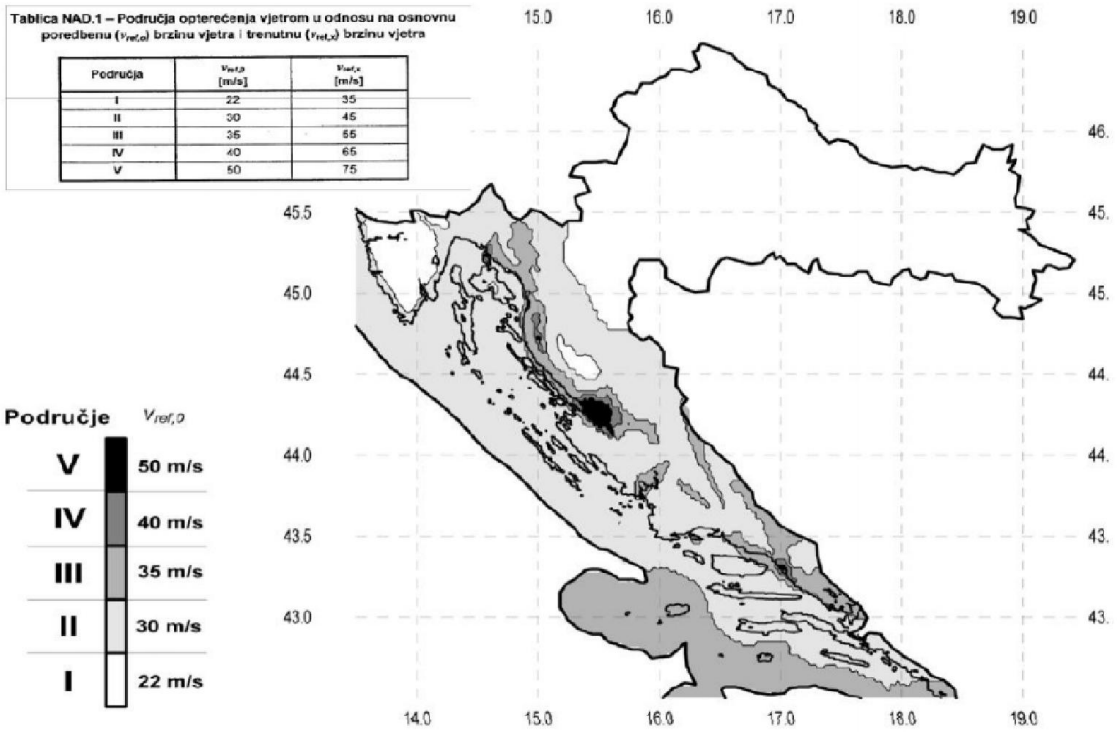
$$\rho \rightarrow gustoća\ zraka\ (kg/m^3)$$

$$\rho = 1{,}25\ kg/m^3$$

$$v_{ref}\ \rightarrow referentna\ brzina$$

$$v_{ref} = c_{DIR} \cdot c_{TEM} \cdot c_{ALT} \cdot v_{ref,0}$$

$$v_{ref,0} \rightarrow osnovna\ poredbena\ brzina\ vjetra$$



Slika 3. Područja opterećenja vjetrom i osnovne poredbene brzine vjetrom

$$v_{ref,0} = 35\ m/s\ za\ područje\ III, Split, do\ 100\ m\ nadmorske\ visine$$

$$c_{DIR} \rightarrow koeficijent\ smjer\ vjetra$$

$$c_{DIR} = 1{,}0$$

$$c_{TEM} \rightarrow koeficijent\ ovisan\ o\ godišnjem\ dobu$$

$$c_{TEM} = 1{,}0$$

$$c_{ALT} \rightarrow koeficijent\ nadmorske\ visine$$

$$c_{ALT} = 1{,}0 + 0{,}001 \cdot a_s$$

$$a_s \rightarrow nadmorska\ visina\ mjesta\ (m)$$

$$c_{ALT} = 1{,}0 + 0{,}001 \cdot 100 = 1{,}1$$

$$v_{ref} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}1 \cdot 35{,}0 = 38{,}5\ m/s$$

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 38{,}5^2 = 926{,}41\ N/m^2$$

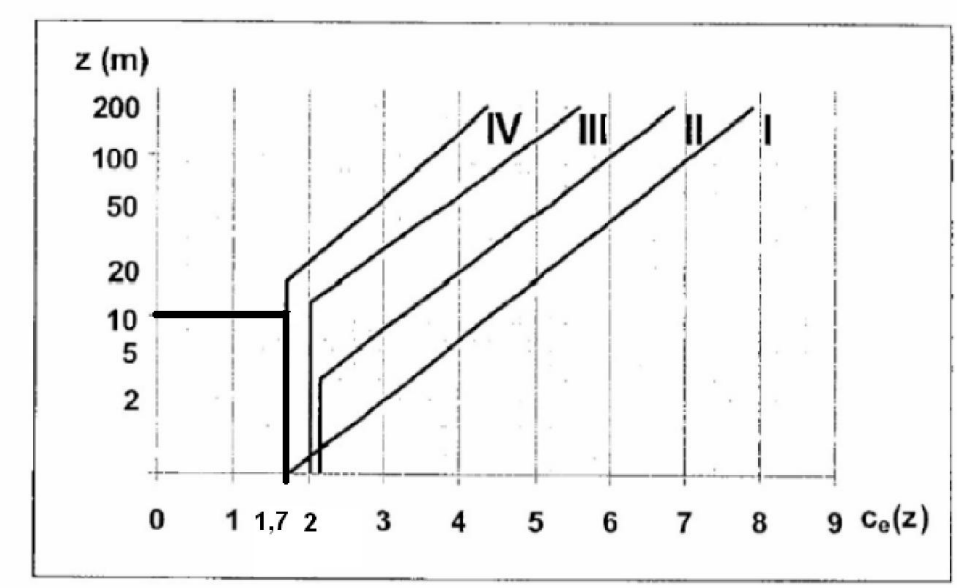
$$q_{ref} = 0{,}926\ kN/m^2$$

Određivanje koeficijenta $c_e(z_e)$ vrši se u odnosu na kategoriju terena, tj. izloženosti djelovanju vjetra.

Iz dijagrama, uzimajući u obzir visinu kostrukcije z = 10m i kategoriju terena IV. , očitan je koeficijent c_e .

DJELOVANJE VJETRA

Koeficijent izloženosti $C_e(z)$ u ovisnosti o visini objekta iznad terena i kategoriji zemljišta:



Za regije **P5-P10**

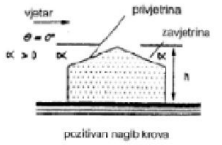
Slika 4. Dijagram određivanja koeficijenta izloženosti za regije P5 – P10

Očitano iz dijagrama: $c_e(z_e) = 1{,}70$

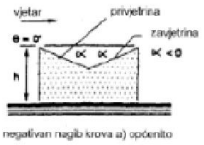
ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA VANJSKOG TLAKA

DJELOVANJE VJETRA

Koeficijent vanjskog tlaka C_{pe} – dvostrešni krovovi



pozitivan nagib krova



negativan nagib krova a) općenito

(1) Koeficijenti vanjskoga tlaka c_{pe} za građevine i dijelove građevina ovise o veličini opterećene plohe A. Oni su prikazani u mjerodavnim tablicama za odgovarajuće oblike zgrada za opterećene plohe ploštine od 1 m^2 i od 10 m^2 kao $c_{pe,1}$, tj. $c_{pe,10}$. Za druge veličine opterećenih ploha dobiju se promijenjene vrijednosti iz slike 10.2.1.

Smjer vjetra $\theta = 0°$										
nagib α	područja 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	-0,3		-0,3	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-0,3		-0,3	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2					
30°	0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4					
45°	+0,7		+0,7		+0,6		-0,2		-0,3	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Smjer vjetra $\theta = 90°$								
nagib α	područja 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	

NAPOMENA 1 Kod θ = 0° i nagiba strehe od α = +15° do +30° tlak u privjetrini brzo se mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti, tako da su dane i pozitivne i negativne vrijednosti.

NAPOMENA 2 Za nagibe krova između danih vrijednosti može se upotrijebiti linearna interpolacija ako su vrijednosti istoga predznaka. (Ne smije se interpolirati za α = +5° do α = -5°, nego valja uzeti vrijednosti za ravne krovove iz točke 10.2.3.)

Slika 5. Tablice za određivanje koeficijenata vanjskog tlaka po zonama

Za dvostrešne krovove koeficijenti vanjskog pritiska određuju se tako da se krovna površina podijeli na zone, dok se referentna visina z_e uzima kao ukupna visina građevine.

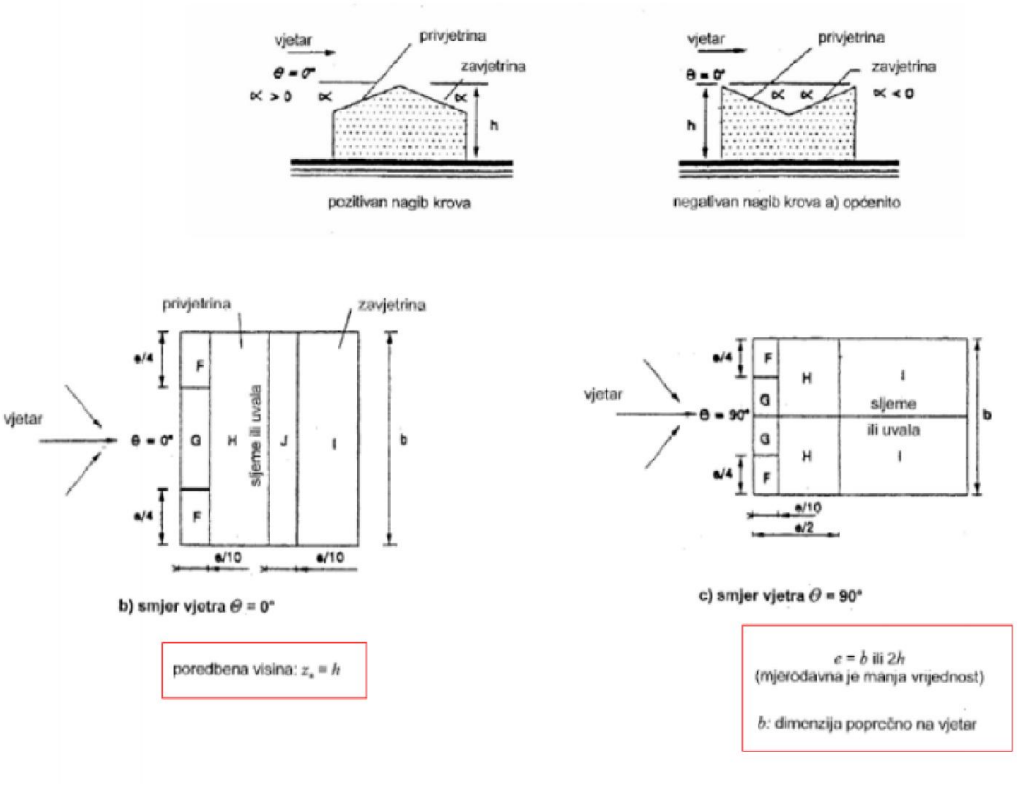
Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} za građevine i dijelove građevine ovise o veličini opterećene plohe A.

Kod $\theta = 0°$ i nagiba strehe od $\alpha = +15°$ do $+ 30°$ tlak u privjetrini brzo se mijenja između pozitivnih i negativnih vrijednosti, tako da su dane i pozitivne i negativne vrijednosti. Za nagibe krova između danih vrijednosti može se upotrijebiti linearna interpolacija ako su vrijednosti istoga predznaka. Ne smije se interpolirati za $\alpha = +5°$ do $\alpha = -5°$, nego valja uzeti vrijednosti za ravne krovove.

ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA UNUTRAŠNJEG TLAKA

Koeficijenti c_{pi} ovise o veličini i raspodjeli otvora na oblozi hale (fasada i krov). U ovom primjeru nije definiran raspored i veličina otvora, zato se za vrijednosti c_{pi} usvaja vrijednost iz starih normi.

Unutrašnji koeficijent pritiska → $c_{pi} = \pm 0{,}3$



Slika 6. Podjela krovne površine na zone

Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} za građevine i dijelove građevina ovise o veličini opterećene plohe A.
Koeficijenti vanjskog tlaka c_{pe} za opterećene plohe površine 10 m^2:

$Smjer\ vjetra\ \rightarrow\ \theta = 0^{\circ}$

$Za\ \alpha = -10^{\circ} \ldots linearna\ interpolacija$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-2,40	-1,25	-0,85	-0,40	-0,50

$Za\ \alpha = +10^{\circ} \ldots linearna\ interpolacija$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,30	-1,00	-0,45	-0,35	-0,65

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-0,95	-0,50	-0,20	-0,35	-0,65

$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}\ (kN/m^2)$

$q_{ref} = 0{,}926\ kN/m^2$

$c_e(z_e) = 1{,}70$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-2,40	-1,25	-0,85	-0,40	-0,50
w_e (kN/m^2)	-3,78	-1,45	-1,34	-0,63	-0,79

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-1,30	-1,00	-0,45	-0,35	-0,65
w_e (kN/m^2)	-2,05	-1,57	-0,71	-0,55	-1,02

PODRUČJE	F	G	H	I	J
$c_{pe,10}$	-0,95	-0,50	-0,20	-0,35	-0,65
w_e (kN/m^2)	-1,50	-0,79	-0,31	-0,55	-1,02

$c_{pi} = \pm 0{,}3\ \rightarrow unutrašnji\ koeficijent\ pritiska$

$w_i = q_{ref} \cdot c_i(z_i) \cdot c_{pi}\ (kN/m^2)$

$q_{ref} = 0{,}926\ kN/m^2$

$c_i(z_i) = 1{,}70$

$w_i = 0{,}926 \cdot 1{,}70 \cdot 0{,}30 = \pm 0{,}47\ (kN/m^2)$

Rezultirajuće djelovanje vjetra:

$w_k = w_e - w_i \ (kN/m^2)$

$W_k = w_k \cdot L \ (kN/m')$

$L = 7{,}50 \ m \ \ldots razmak \ okvira$

$Vjetar \ W1 \qquad pozitivni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = +0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	-3,78	-1,45	-1,34	-0,63	-0,79
w_i (kN/m^2)	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47
w_k (kN/m^2)	-4,25	-1,92	-1,81	-1,10	-1,26
W_k (kN/m')	-31,88	-14,40	-13,58	-8,25	-9,45

$Vjetar \ W2 \qquad pozitivni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = +0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	-2,05	-1,57	-0,71	-0,51	-1,02
w_i (kN/m^2)	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47
w_k (kN/m^2)	-2,52	-2,04	-1,18	-1,02	-1,49
W_k (kN/m')	-18,90	-15,30	-8,85	-7,65	-11,18

$Vjetar \ W3 \qquad pozitivni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = +0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	-1,50	-0,79	-0,31	-0,55	-1,02
w_i (kN/m^2)	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47
w_k (kN/m^2)	-1,97	-1,26	-0,78	-1,02	-1,49
W_k (kN/m')	-14,78	-9,38	-5,85	-7,65	-11,18

$Vjetar \ W4 \qquad negativni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = -0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	-3,78	-1,45	-1,34	-0,63	-0,79
w_i (kN/m^2)	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
w_k (kN/m^2)	-3,31	-0,98	-0,87	-0,16	-0,32
W_k (kN/m')	-24,83	-7,35	-6,53	-1,20	-2,40

$Vjetar\ W5 \qquad negativni\ unutarnji\ pritisak\ (c_{pi} = -0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	-2,05	-1,57	-0,71	-0,51	-1,02
w_i (kN/m^2)	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
w_k (kN/m^2)	-1,97	-1,26	-0,78	-1,02	-1,49
W_k (kN/m')	-11,85	-8,25	-1,80	-0,60	-4,13

$Vjetar\ W6 \qquad negativni\ unutarnji\ pritisak\ (c_{pi} = -0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I	J
w_e (kN/m^2)	-1,50	-0,79	-0,31	-0,55	-1,02
w_i (kN/m^2)	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
w_k (kN/m^2)	-1,03	-0,32	+0,16	-0,08	-0,55
W_k (kN/m')	-7,73	-2,40	+1,20	-0,60	-4,13

Mjerodavno W1 i W6.

$Smjer\ vjetra\ \rightarrow\ \theta = 90^{\circ}$

$Za\ \alpha = -10^{\circ} \ldots linearna\ interpolacija$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,85	-1,20	-0,75	-0,70

$Za\ \alpha = +10^{\circ} \ldots linearna\ interpolacija$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,45	-1,30	-0,65	-0,50

$c_{pi} = \pm 0{,}3\ \rightarrow unutrašnji\ koeficijent\ pritiska$

$w_i = q_{ref} \cdot c_i(z_i) \cdot c_{pi}\ (kN/m^2)$

$q_{ref} = 0{,}926\ kN/m^2$

$c_i(z_i) = 1{,}70$

$w_i = 0{,}926 \cdot 1{,}70 \cdot 0{,}30 = \pm 0{,}47\ (kN/m^2)$

Rezultirajuće djelovanje vjetra:

$w_k = w_e - w_i \ (kN/m^2)$

$W_k = w_k \cdot L \ (kN/m')$

$L = 7{,}50 \ m \ \ldots razmak \ okvira$

$Vjetar \ W1 \qquad pozitivni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = +0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-1,85	-1,20	-0,75	-0,70
w_i (kN/m^2)	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47
w_k (kN/m^2)	-2,32	-1,67	-1,32	-1,17
W_k (kN/m')	-17,40	-12,53	-9,90	-8,78

$Vjetar \ W2 \qquad pozitivni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = +0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-1,45	-1,30	-0,65	-0,50
w_i (kN/m^2)	+0,47	+0,47	+0,47	+0,47
w_k (kN/m^2)	-1,92	-1,77	-1,12	-0,97
W_k (kN/m')	-14,40	-13,28	-8,40	-7,28

$Vjetar \ W3 \qquad negativni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = -0{,}3)$

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-1,85	-1,20	-0,75	-0,70
w_i (kN/m^2)	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
w_k (kN/m^2)	-1,38	-0,73	-0,28	-0,23
W_k (kN/m')	-10,35	-5,48	-2,10	-1,73

$Vjetar \ W4 \qquad negativni \ unutarnji \ pritisak \ (c_{pi} = -0{,}3)$

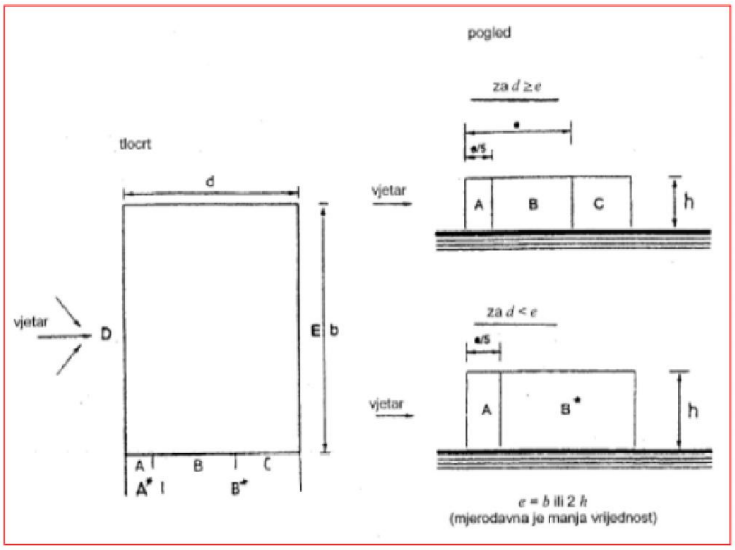
PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-1,45	-1,30	-0,65	-0,50
w_i (kN/m^2)	-0,47	-0,47	-0,47	-0,47
w_k (kN/m^2)	-0,89	-0,83	-0,18	-0,03
W_k (kN/m')	-6,68	-6,23	-1,35	-0,23

Mjerodavno W1.

Koeficijent vanjskog tlaka c_{pe} – vanjski zidovi

DJELOVANJE VJETRA

Koeficijent vanjskog tlaka C_{pe} – vanjski zidovi



Tablica 10.2.1 – Koeficijenti vanjskoga tlaka za vertikalne zidove pravokutnih niskih građevina

Područje	A, A*		B, B*		C		D		E	
d/h	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
≤ 1	- 1,0	- 1,3	- 0,8	- 1,0	- 0,5		+ 0,8	+ 1,0	- 0,3	
≥ 4	- 1,0	- 1,3	- 0,8	- 1,0	- 0,5		+ 0,8	+ 1,0	- 0,3	

Slika 7. Koeficijenti vanjskog tlaka za vanjske zidove

Koeficijenti vanjskog tlaka za vertikalne zidove pravokutnih niskih građevina:

$h = 10{,}0\ m$

$d = L = 24{,}0\ m$

$d/h = 24{,}0/10{,}0 = 2{,}4$

PODRUČJE	A,A*	B,B*	C	D	E
$c_{pe,10}$	-1,0	-0,8	-0,5	+0,8	-0,3

$c_{pi} = \pm 0{,}3 \rightarrow unutrašnji\ koeficijent\ pritiska$

$w_i = q_{ref} \cdot c_i(z_i) \cdot c_{pi}\ (kN/m^2)$

$q_{ref} = 0{,}926\ kN/m^2$

$c_i(z_i) = 1{,}70$

$w_i = 0{,}926 \cdot 1{,}70 \cdot 0{,}30 = \pm 0{,}47\ (kN/m^2)$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

$w_k = w_e - w_i\ (kN/m^2)$

$w_e = q_{ref} \cdot c_e(z_e) \cdot c_{pe}\ (kN/m^2)$

$q_{ref} = 0{,}926\ kN/m^2$

$c_e(z_e) = 1{,}70$

$W_k = w_k \cdot L\ (kN/m')$

$L = 1{,}50\ m \ldots razmak\ sekundarnih\ nosača$

$Vjetar\ W1 \qquad pozitivni\ unutarnji\ pritisak\ (c_{pi} = +0{,}3)$

PODRUČJE	A,A*	B,B*	C
w_e (kN/m^2)	-1,57	-1,26	-0,79
w_i (kN/m^2)	+0,47	+0,47	+0,47
w_k (kN/m^2)	-2,04	-1,73	-1,32
W_k (kN/m')	-3,06	-2,60	-1,98

$Vjetar\ W2 \qquad negativni\ unutarnji\ pritisak\ (c_{pi} = -0{,}3)$

PODRUČJE	A,A*	B,B*	C
w_e (kN/m^2)	-1,57	-1,26	-0,79
w_i (kN/m^2)	-0,47	-0,47	-0,47
w_k (kN/m^2)	-1,10	-0,79	-0,32
W_k (kN/m')	-1,65	-1,19	-0,48

Mjerodavno vjetar W1.

Za područje D i E:

$L = 7{,}50\ m \ldots razmak\ okvira$

$Vjetar\ W1 \qquad pozitivni\ unutarnji\ pritisak\ (c_{pi} = +0{,}3)$

PODRUČJE	D	E
w_e (kN/m^2)	+1,26	-0,47
w_i (kN/m^2)	+0,47	+0,48
w_k (kN/m^2)	+0,79	-0,95
W_k (kN/m')	+5,93	-7,13

$Vjetar\ W2 \qquad negativni\ unutarnji\ pritisak\ (c_{pi} = -0{,}3)$

PODRUČJE	D	E
w_e (kN/m^2)	+1,26	-0,47
w_i (kN/m^2)	-0,47	-0,47
w_k (kN/m^2)	+1,73	$\pm$0,00
W_k (kN/m')	+12,98	$\pm$0,00

Mjerodavno W1 za područje E, W2 za područje D.

3. Granično stanje uporabljivosti

Djelovanja:

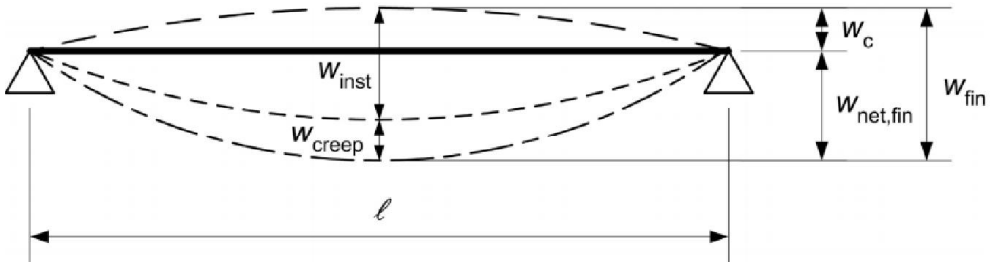
$Stalno\ opterećenje - Vlastita\ težina$:

G_k = 3,75 kN/m'

$Promjenjivo\ opterećenje - Snijeg$:

S_k = 2,70 kN/m'

Odabir kombinacije djelovanja, za granična stanja uporabljivosti, ovisi o prirodi učinka koji se provjerava, npr. nepovratni, povratni ili dugotrajni. Prema DIN 1052::2004-08, dokaz se se provodi za karakterističnu (rijetku) i nazovistalnu kombinaciju.



$Slika\ 8. Komponente\ progiba$

3.1 Karakteristična (rijetka) kombinacija

$$E_d = E\left\{\sum \gamma_G \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_Q \cdot Q_{k,1} \oplus \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}\right\}$$

$\gamma_G = 1{,}00$

$\gamma_Q = 1{,}00$

Za granična stranja uporabljivosti, parcijalni koeficijenti uzimaju se kao 1,0 , osim ako drugačije nije određeno.

$G_d = 1{,}00 \cdot 3{,}75 = 3{,}75\ kN/m'$

$Q_d = 1{,}00 \cdot 2{,}70 = 2{,}70\ kN/m'$

$$w_{Q,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_d \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2{,}70 \cdot 24000^4}{12600 \cdot \frac{220 \cdot 1800^3}{12}} = 8{,}66\ mm$$

$$w_{G,inst} = \frac{G_k}{Q_k} \cdot w_{Q,inst} = \frac{3{,}75}{2{,}70} \cdot 8{,}66 = 12{,}03\ mm$$

$$w_{fin} = w_{G,fin} + w_{Q,fin}$$

$$w_{G,fin} = w_{G,inst} \cdot (1 + k_{def})$$

$$k_{def} \rightarrow faktor\ deformacije$$

$$k_{def} = 0{,}80\ za\ lijepljenje\ lamelirane\ nosače$$

$$w_{G,fin} = 12{,}03 \cdot (1 + 0{,}80) = 21{,}65\ mm$$

$$w_{Q,fin} = w_{Q,inst} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

$$\psi_{2,1} \rightarrow koeficijent\ kombinacija$$

$$\psi_{2,1} = 0{,}0 \ldots za\ promjenjivo\ opterećenje\ vjetra$$

$$w_{Q,fin} = 8{,}66 \cdot (1 + 0{,}0 \cdot 0{,}80) = 8{,}66\ mm$$

$$w_{fin} = 21{,}65 + 8{,}66 = 30{,}31\ mm$$

Dokaz za granično stanje uporabljivosti:

$$w_{Q,inst} \leq \frac{L}{300}$$

$$8{,}66 \leq \frac{24000}{300} = 80{,}0\ mm$$

$$\eta = \frac{8{,}66}{80{,}0} \cdot 100 = 0{,}108 \cdot 100 = 10{,}8\ \%$$

$$w_{fin} - w_{G,inst} \leq \frac{L}{200}$$

$$30{,}31 - 12{,}03 = 18{,}03\ mm \leq \frac{24000}{200} = 120{,}0\ mm$$

$$\eta = \frac{18{,}03}{120{,}0} \cdot 100 = 0{,}150 \cdot 100 = 15{,}0\ \%$$

3.2 Nazovistalna kombinacija

$$E_d = E\left\{\sum \gamma_G \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}\right\}$$

$$w_{fin} - w_0 < \frac{L}{200}$$

$$w_{Q,fin} = \psi_{2,1} \cdot w_{Q,inst} \cdot (1 + k_{def})$$

$$w_{Q,fin} = 0{,}0 \cdot 8{,}66 \cdot (1 + 0{,}80) = 0{,}0\ mm$$

$$w_{fin} = w_{G,fin} + w_{Q,fin} = 21{,}65 + 0{,}0 = 21{,}65\ mm$$

Dokaz:

$-$ *izvođenje bez početnog nadvišenja*

$$w_{fin} - w_0 = 21{,}65 - 0{,}0 = 21{,}65 < \frac{L}{200} = 120{,}0\ mm$$

$$\eta = \frac{21{,}65}{120{,}0} \cdot 100 = 0{,}180 \cdot 100 = 18{,}0\ \%$$

4. Statički proračun

4.1. Opterećenja i proračun reznih sila

4.1.1. Stalno opterećenje – Vlastita težina

Moment

$$M_{l/2} = g_k \cdot \frac{l^2}{8} = 3{,}75 \cdot \frac{24^2}{8} = 270\ kNm$$

Poprečna sila

$$V_{l=0} = V_{l=L} = g_k \cdot \frac{L}{2} = 3{,}75 \cdot \frac{24{,}0}{2} = 45{,}0\ kN$$

Uzdužna sila

$$N = 0\ kN$$

4.1.2. Promjenjivo opterećenje - Snijeg

Moment

$$M_{l/2} = s_k \cdot \frac{l^2}{8} = 2{,}70 \cdot \frac{24^2}{8} = 194{,}4\ kNm$$

Poprečna sila

$$V_{l=0} = V_{l=L} = s_k \cdot \frac{L}{2} = 2{,}70 \cdot \frac{24{,}0}{2} = 32{,}4\ kN$$

Uzdužna sila

$$N = 0\ kN$$

4.1.3. Promjenjivo opterećenje – Vjetar W1

Moment

$$M_{l/2} = -787{,}50\ kNm\ \rightarrow dobiveno\ proračunom\ reznih\ sila$$

Poprečna sila

$$V_{l=0} = +\ 147{,}33\ kN \rightarrow dobiveno\ proračunom\ reznih\ sila$$

Uzdužna sila

$$N = 0\ kN$$

4. 2. KOMBINACIJA 1 → Vlastita težina " + " Snijeg

$$E_d = E\left\{\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1} \gamma_{G,j} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}\right\}$$

$\gamma_{G,j} = 1{,}35$

$\gamma_{Q,1} = 1{,}50$

$q_{G,d} = \gamma_G \cdot q_{G,k} = 1{,}35 \cdot 3{,}75 = 5{,}06\ kN/m'$

$q_{Q,d} = \gamma_Q \cdot q_{Q,k} = 1{,}50 \cdot 2{,}70 = 4{,}05\ kN/m'$

$q_d = q_{G,d} + q_{q,d} = 5{,}06 + 4{,}05 = 9{,}11\ kN/m'$

$$M_{ap,d} = q_d \cdot \frac{l^2}{8} = 9{,}11 \cdot \frac{24{,}0^2}{8} = 655{,}92\ kNm$$

$$V_{A,d} = q_d \cdot \frac{l}{2} = 9{,}11 \cdot \frac{24{,}0}{2} = 109{,}32\ kN$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka b/h = 22/180 cm

$A = 22{,}0 \cdot 180{,}0 = 3960{,}0\ cm^2$

$$W_{ap,y} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{22{,}0 \cdot 180{,}0^2}{6} = 118800{,}0\ cm^3$$

Normalno rubno naprezanje od momenta savijanja prema DIN 1052::2004-08:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap}}{b \cdot h_{ap}^2} = k_l \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1{,}4 \cdot \tan\alpha_{ap} + 5{,}4 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2$$

$k_1 = 1 + 1{,}4 \cdot \tan 10^\circ + 5{,}4 \cdot (\tan 10^\circ)^2 = 1{,}41$

$k_2 = 0{,}35 - 8 \cdot \tan 10^\circ = -1{,}06$

$$k_3 = 0{,}6 + 8{,}3 \cdot \tan\alpha_{ap} - 7{,}8 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2 = 1{,}82$$

$$k_4 = 6 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2 = 0{,}19$$

$$k_l = 1{,}41 - 1{,}06 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + 1{,}82 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + 0{,}19 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$\sigma_{m,d} = \left(1{,}41 - 1{,}06 \cdot (k_{ap}) + 1{,}82 \cdot (k_{ap})^2 + 0{,}19 \cdot (k_{ap})^3\right) \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r}$$

$$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} = 8000 + \frac{180}{2} = 8090\ cm$$

$$r_{in} - \ unutrašnji\ polumjer$$

$$k_{ap} = \frac{180}{8090} = 0{,}022$$

$$\sigma_{m,d} = (1{,}41 - 1{,}06 \cdot (0{,}022) + 1{,}82 \cdot (0{,}022)^2 + 0{,}19 \cdot (0{,}022)^3) \cdot \frac{655{,}92 \cdot 10^6}{118800{,}0 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 7{,}66\ N/mm^2$$

Vlačno naprezanje okomito na vlakanca u području tjemena prema DIN 1052::2004-08:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0{,}2 \cdot \tan\alpha$$

$$k_5 = 0{,}2 \cdot \tan 10^\circ = 0{,}035$$

$$k_6 = 0{,}25 - 1{,}5 \cdot \tan\alpha + 2{,}6 \cdot (\tan\alpha)^2$$

$$k_6 = 0{,}25 - 1{,}5 \cdot \tan 10^\circ + 2{,}6 \cdot (\tan 10^\circ)^2 = 0{,}07$$

$$k_7 = 2{,}1 \cdot \tan\alpha - 4 \cdot (\tan\alpha)^2$$

$$k_7 = 2{,}1 \cdot \tan 10^\circ - 4 \cdot \left(\tan 10^\circ\right)^2 = 0{,}25$$

$$k_p = 0{,}035 + 0{,}07 \cdot (0{,}022) + 0{,}25 \cdot (0{,}022)^2 = 0{,}037$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}037 \cdot \frac{655{,}92 \cdot 10^6}{118800{,}0 \cdot 10^3} = 0{,}21\ N/mm^2$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{109{,}32 \cdot 10^3}{3960{,}0 \cdot 10^2} = 0{,}41\ N/mm^2$$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti GL28C/1 :

$f_{m,k} = 28\ N/mm^2$

$f_{t,0,k} = 16{,}5\ N/mm^2$

$f_{t,90,k} = 0{,}5\ N/mm^2$

$f_{c,0,k} = 24\ N/mm^2$

$f_{c,90,k} = 2{,}7\ N/mm^2$

$f_{v,k} = 3{,}5\ N/mm^2$

$E_{0,mean} = 12600\ N/mm^2$

$E_{90,mean} = 390\ N/mm^2$

$G_{mean} = 720\ N/mm^2$

$\rho_k = 380\ kg/m^3$

$$E_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot E_{0,mean} = \frac{5}{6} \cdot 12600 = 10500\ \frac{N}{mm^2}$$

$$G_{0,05} = \frac{5}{6} \cdot G_{mean} = \frac{5}{6} \cdot 720 = 600\ \frac{N}{mm^2}$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje $k_{mod} = 0{,}70$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje $k_{mod} = 0{,}90$

Kod kombinacije opterećenja različitog trajanja, za $\mathrm{k_{mod}}$, u proračun se uvodi vrijednost za opterećenje sa najkraćim trajanjem.

$\gamma_M = 1{,}30 - parcijalni\ koeficijent\ za\ LLD\ prema$ DIN 1052: 2004 − 08

DIN 1052: 2004 − 08 :

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{28\ N/mm^2}{1{,}30} = 19{,}38\ N/mm^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{16{,}5\ N/mm^2}{1{,}30} = 11{,}42\ N/mm^2$$

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{0{,}5\ N/mm^2}{1{,}30} = 0{,}35\ N/mm^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{24\ N/mm^2}{1{,}30} = 16{,}62\ N/mm^2$$

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{2{,}7\ N/mm^2}{1{,}30} = 1{,}87\ N/mm^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{3{,}5\ N/mm^2}{1{,}30} = 2{,}42\ N/mm^2$$

Normalno rubno naprezanje

Naprezanja pri savijanju u području sljemena treba zadovoljiti sljedeći izraz:

$$\sigma_{m,d} < k_r \cdot f_{m,d}$$

gdje se s k_r uzima u obzir smanjenje čvrstoće zbog savijanja lamela tijekom proizvodnje.

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} < 1$$

Za zakrivljene i sedlaste grede k_r treba uzeti kao:

$$k_r = \begin{cases} 1 \quad za\ r_{in}/t \geq 240 \\ 0{,}76 + 0{,}001 \cdot r_{in}/t\ za\ r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{80 \cdot 10^3}{30} = 2666{,}67 > 240$$

$$k_r = 1$$

$Prema$ DIN $1052{:}\ 2004-08$:

$$\frac{7{,}66}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 0{,}395 < 1$$

Područje tjemena (vlačno naprezanje okomito na vlakanca i posmično naprezanje od poprečne sile):

U području sljemena najveće vlačno naprezanje okomito na vlakanca $\sigma_{t,90,d}$ treba zadovoljiti sljedeći izraz:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

sa:

$$k_{vol} = \begin{cases} 1, & za\ cjelovito\ drvo \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^2, & za\ lamelirano\ drvo\ i\ furnirsku\ građu \\ & sa\ svim\ furnirima\ paralelnim\ s\ osi\ grede \end{cases}$$

$V_0 \rightarrow referentni\ volumen\ od\ 0{,}01\ m^3$

$V \rightarrow napregnuti\ volumen\ područja\ sljemena, u\ m^3, a\ ne\ treba\ biti\ veći\ od\ 2V_b/3,$

$gdje\ je\ V_b\ ukupni\ volumen\ grede$

Umjesto usporednog volumena proračun će se provesti pomoću usporedne visine.

$k_{dis} \rightarrow faktor\ kojim\ se\ uzima\ u\ obzir\ učinak\ raspodjele\ naprezanja\ u\ području\ sljemena$

$k_{dis} = 1{,}3 \rightarrow za\ sedlaste\ grede\ prema$ DIN $1052{:}\ 2004-08$

Za kombinirani vlak okomito na vlakanca i posmik treba zadovoljiti izraz:

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0{,}3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 < 1$$

$\tau_d = 0{,}00\ N/mm^2$

$Prema$ DIN $1052{:}\ 2004-08$:

$$\frac{0{,}21}{1{,}3 \cdot \left(\frac{600}{1800}\right)^{0{,}3} \cdot 0{,}35} + \left(\frac{0{,}00}{2{,}42}\right)^2 = 0{,}642 < 1$$

Kontrola za klimatski uvjetovna poprečna naprezanja (promjena vlažnosti okoline) :

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot 0{,}6 \cdot f_{t,90,d}} < 1$$

$k_{dis} = 1{,}15 \rightarrow prema$ DIN $1052{:}\,2004 - 08$

$Prema$ DIN $1052{:}\,2004 - 08$:

$$\frac{0{,}21}{1{,}15 \cdot \left(\frac{600}{1800}\right)^{0,3} \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}35} = 1{,}209 > 1$$

Nosač je potrebno ojačati u području prekoračenja vlačnih naprezanja okomito na vlakanca sa šest lijepljenih navijenih šipki M12 na razmaku 440 cm.

Područje vlačnog naprezanja okomito na vlakanca odgovara duljini $k = 22{,}00\ m$.

$k = 22{,}00\ m$

Mjerodavna vlačna sila:

$$F_{t,90,d} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b^2 \cdot a_1}{640 \cdot n}$$

Razmak pojačanja:

$$a_1 = \frac{k}{5} = 22{,}0 \cdot \frac{10^2}{5} = 440{,}0\ cm$$

Broj elemenata pojačanja u području a_1 : n=6

$$F_{t,90,d} = \frac{0{,}21 \cdot (22{,}0 \cdot 10)^2 \cdot (440{,}0 \cdot 10)}{640 \cdot 6} = 11646{,}25\ N$$

Dokaz lijepljenog spoja šipka – nosač:

$$\frac{\tau_{ef,d}}{f_{kl,d}} < 1$$

$$\tau_{ef,d} = \frac{2 \cdot F_{t,90,d}}{\pi \cdot l_{ad} \cdot d_r}$$

$l_{ad} - 1/2\ dužine\ navijene$ šipke

$d_r -\ promjer$ šipke: $20\ mm$

$$l_{ad} = \frac{h_{ap}}{2} = \frac{180}{2} = 90\ cm$$

$$\tau_{ef,d} = \frac{2 \cdot 11646{,}25}{\pi \cdot (90 \cdot 10) \cdot 12} = 0{,}69\ N/mm^2$$

Karakteristična vrijednost posmične čvrstoće lijepljenog spoja:

$$500 \leq l_{ad} \leq 1000\ mm$$

$$f_{kl,k} = 3{,}5 - 0{,}0015 \cdot 900 = 2{,}15\ N/mm^2$$

$$f_{kl,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{kl,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{2{,}15}{1{,}30} = 1{,}49\ N/mm^2$$

$$\frac{\tau_{ef,d}}{f_{kl,d}} = \frac{0{,}69}{1{,}49} = 0{,}463 < 1$$

Dokaz stabilnosti na izbočavanje:

Proračunska vrijednost momenta savijanja:

$$M_{ap,d} = 655{,}92\ kNm$$

Normalno rubno naprezanje:

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 655{,}92 \cdot 10^6}{22 \cdot 180^2 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 5{,}52\ N/mm^2$$

Koeficijent izbočavanja:

$$k_m = \begin{cases} 1 \; za \; \lambda_{rel,m} \leq 0{,}75 \\ 1{,}56 - 0{,}75 \cdot \lambda_{rel,m} \; za \; 0{,}75 < \lambda_{rel,m} \leq 1{,}4 \\ \dfrac{1}{\lambda_{rel,m}^2} za \; 1{,}4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef,y} \cdot h}{\pi \cdot b^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}}}}$$

Nosač je bočno pridržan u sredini raspona, razmak pridržanih točaka:

$$l_{ef.y} = \frac{24{,}0}{2} = 12{,}0 \; m$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{(12{,}0 \cdot 10^3) \cdot (180 \cdot 10)}{\pi \cdot (22 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{28{,}0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1{,}26$$

$$k_m = 1{,}56 - 0{,}75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1{,}56 - 0{,}75 \cdot 1{,}26 = 0{,}62$$

Dokaz stabilnosti:

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{5{,}52}{0{,}62 \cdot 19{,}38} = 0{,}459 < 1$$

4.3. KOMBINACIJA 2 → Vlastita težina " + " Vjetar W1

Karakteristike poprečnog presjeka, materijala te pripadajući koeficijenti i izrazi su objašnjeni kroz proračun za Kombinaciju 1. Za Kombinaciju 2 proračun će se provesti analogno Kombinaciji 1.

$$E_d = E\left\{\sum_{j\geq 1}\gamma_{G,j}\cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{Q,1}\cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i>1}\gamma_{G,j}\cdot\psi_{0,i}\cdot Q_{k,i}\right\}$$

$\gamma_{G,j} = 1{,}00$

$\gamma_{Q,1} = 1{,}50$

$M_{G,d} = \gamma_G \cdot M_{G,k} = 1{,}00 \cdot 270{,}0 = 270{,}0\ kNm$

$M_{Q,d} = \gamma_Q \cdot M_{Q,k} = 1{,}50 \cdot 787{,}5 = 1181{,}25\ kNm$

$M_d = M_{G,d} + M_{q,d} = 270{,}0\ -1181{,}25 = 911{,}25\ kNm$

$M_{ap,d} = 911{,}25\ kNm$

$V_{G,d} = \gamma_G \cdot V_{G,k} = 1{,}00 \cdot 45{,}0 = 45{,}0\ kN$

$V_{Q,d} = \gamma_Q \cdot V_{Q,k} = 1{,}50 \cdot 147{,}33 = 221{,}0\ kN$

$V_d = V_{G,d} + V_{q,d} = 45{,}0\ -221{,}0 = -176{,}0\ kN$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka b/h = 22/180 cm

$A = 22{,}0 \cdot 180{,}0 = 3960{,}0\ cm^2$

$W_{ap,y} = \dfrac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \dfrac{22{,}0 \cdot 180{,}0^2}{6} = 118800{,}0\ cm^3$

Normalno rubno naprezanje od momenta savijanja prema DIN 1052::2004-08:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap}}{b \cdot h_{ap}^2} = k_l \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$k_1 = 1 + 1{,}4 \cdot \tan\alpha_{ap} + 5{,}4 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2$$

$$k_1 = 1 + 1{,}4 \cdot \tan 10^\circ + 5{,}4 \cdot \left(\tan 10^\circ\right)^2 = 1{,}41$$

$$k_2 = 0{,}35 - 8 \cdot \tan 10^\circ = -1{,}06$$

$$k_3 = 0{,}6 + 8{,}3 \cdot \tan\alpha_{ap} - 7{,}8 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2 = 1{,}82$$

$$k_4 = 6 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2 = 0{,}19$$

$$k_l = 1{,}41 - 1{,}06 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + 1{,}82 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + 0{,}19 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3$$

$$\sigma_{m,d} = \left(1{,}41 - 1{,}06 \cdot \left(k_{ap}\right) + 1{,}82 \cdot \left(k_{ap}\right)^2 + 0{,}19 \cdot \left(k_{ap}\right)^3\right) \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_{ap} = \frac{h_{ap}}{r}$$

$$r = r_{in} + \frac{h_{ap}}{2} = 8000 + \frac{180}{2} = 8090\ cm$$

$$k_{ap} = \frac{180}{8090} = 0{,}022$$

$$\sigma_{m,d} = (1{,}41 - 1{,}06 \cdot (0{,}022) + 1{,}82 \cdot (0{,}022)^2 + 0{,}19 \cdot (0{,}022)^3) \cdot \frac{911{,}25 \cdot 10^6}{78732{,}0 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 10{,}64\ N/mm^2$$

Vlačno naprezanje okomito na vlakanca u području tjemena prema DIN 1052::2004-08:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2$$

$$k_5 = 0{,}2 \cdot \tan\alpha$$

$$k_5 = 0{,}2 \cdot \tan 10^\circ = 0{,}035$$

$$k_6 = 0{,}25 - 1{,}5 \cdot \tan\alpha + 2{,}6 \cdot (\tan\alpha)^2$$

$$k_6 = 0{,}25 - 1{,}5 \cdot \tan 10^\circ + 2{,}6 \cdot \left(\tan 10^\circ\right)^2 = 0{,}07$$

$$k_7 = 2{,}1 \cdot \tan\alpha - 4 \cdot (\tan\alpha)^2$$

$$k_7 = 2{,}1 \cdot \tan 10^\circ - 4 \cdot \left(\tan 10^\circ\right)^2 = 0{,}25$$

$$k_p = 0{,}035 + 0{,}07 \cdot (0{,}022) + 0{,}25 \cdot (0{,}022)^2 = 0{,}037$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}037 \cdot \frac{911{,}25 \cdot 10^6}{118800{,}0 \cdot 10^3} = 0{,}28\ N/mm^2$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{176{,}0 \cdot 10^3}{3960 \cdot 10^2} = 0{,}67\ N/mm^2$$

Normalno rubno naprezanje
Naprezanja pri savijanju u području sljemena treba zadovoljiti sljedeći izraz:

$$\sigma_{m,d} < k_r \cdot f_{m,d}$$

gdje se s k_r uzima u obzir smanjenje čvrstoće zbog savijanja lamela tijekom proizvodnje.

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} < 1$$

Za zakrivljene i sedlaste grede k_r treba uzeti kao:

$$k_r = \begin{cases} 1 \quad za\ r_{in}/t \geq 240 \\ 0{,}76 + 0{,}001 \cdot r_{in}/t\ za\ r_{in}/t < 240 \end{cases}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{80 \cdot 10^3}{30} = 2666{,}67 > 240$$

$$k_r = 1$$

$Prema$ DIN $1052{:}\,2004 - 08$

$$\frac{10{,}64}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 0{,}549 < 1$$

Područje tjemena (vlačno naprezanje okomito na vlakanca i posmično naprezanje od poprečne sile):

U području sljemena najveće vlačno naprezanje okomito na vlakanca $\sigma_{t,90,d}$ treba zadovoljiti sljedeći izraz:

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

sa:

$$k_{vol} = \begin{cases} 1, & za\ cjelovito\ drvo \\ \left(\frac{V_0}{V}\right)^2, & za\ lamelirano\ drvo\ i\ furnirsku\ građu \\ & sa\ svim\ furnirima\ paralelnim\ s\ osi\ grede \end{cases}$$

$V_0 \rightarrow referentni\ volumen\ od\ 0{,}01\ m^3$

$V \rightarrow napregnuti\ volumen\ područja\ sljemena, u\ m^3, a\ ne\ treba\ biti\ veći\ od\ 2V_b/3,$

$gdje\ je\ V_b\ ukupni\ volumen\ grede$

Umjesto usporednog volumena proračun će se provesti pomoću usporedne visine.

$k_{dis} \rightarrow faktor\ kojim\ se\ uzima\ u\ obzir\ učinak\ raspodjele\ naprezanja\ u\ području\ sljemena$

$k_{dis} = 1{,}3 \rightarrow za\ sedlaste\ grede\ prema$ DIN 1052: 2004 − 08

Za kombinirani vlak okomito na vlakanca i posmik treba zadovoljiti izraz:

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot f_{t,90,d}} + \left(\frac{\tau_d}{f_{v,d}}\right)^2 < 1$$

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{14{,}73 \cdot 10^3}{3960{,}0 \cdot 10^2} = 0{,}06\ N/mm^2$$

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{0{,}28}{1{,}3 \cdot \left(\frac{600}{1800}\right)^{0,3} \cdot 0{,}35} + \left(\frac{0{,}06}{2{,}42}\right)^2 = 0{,}856 < 1$$

Kontrola za klimatski uvjetovna poprečna naprezanja (promjena vlažnosti okoline) :

$$\frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot \left(\frac{h_0}{h_{ap}}\right)^{0,3} \cdot 0{,}6 \cdot f_{t,90,d}} < 1$$

$k_{dis} = 1{,}15 \rightarrow prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$k_{dis}\ nije\ definiran\ prema\ HRN\ EN$ 1995 − 1 − 1

$$\frac{0{,}28}{1{,}15 \cdot \left(\frac{600}{1800}\right)^{0,3} \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}35} = 1{,}612 > 1$$

Nosač je potrebno ojačati u području prekoračenja vlačnih naprezanja okomito na vlakanca sa šest lijepljenih navijenih šipki M12 na razmaku 440 cm.

Područje vlačnog naprezanja okomito na vlakanca odgovara duljini $k = 22{,}00\ m$.

$k = 22{,}00\ m$

Mjerodavna vlačna sila:

$$F_{t,90,d} = \frac{\sigma_{t,90,d} \cdot b^2 \cdot a_1}{640 \cdot n}$$

Razmak pojačanja:

$$a_1 = \frac{k}{5} = 22{,}0 \cdot \frac{10^2}{5} = 440{,}0\ cm$$

Broj elemenata pojačanja u području a_1 : n=6

$$F_{t,90,d} = \frac{0{,}28 \cdot (22{,}0 \cdot 10)^2 \cdot (295{,}0 \cdot 10)}{640 \cdot 6} = 15528{,}33\ N$$

Dokaz lijepljenog spoja šipka – nosač:

$$\frac{\tau_{ef,d}}{f_{kl,d}} < 1$$

$$\tau_{ef,d} = \frac{2 \cdot F_{t,90,d}}{\pi \cdot l_{ad} \cdot d_r}$$

$l_{ad} - 1/2\ dužine\ navijene$ šipke

$d_r -\ promjer$ šipke: $20\ mm$

$$l_{ad} = \frac{h_{ap}}{2} = \frac{180}{2} = 90\ cm$$

$$\tau_{ef,d} = \frac{2 \cdot 15528{,}32}{\pi \cdot (90 \cdot 10) \cdot 12} = 0{,}92\ N/mm^2$$

Karakteristična vrijednost posmične čvrstoće lijepljenog spoja:

$$500 \leq l_{ad} \leq 1000\ mm$$

$$f_{kl,k} = 3{,}5 - 0{,}0015 \cdot 900 = 2{,}15\ N/mm^2$$

$$f_{kl,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{kl,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{2{,}15}{1{,}30} = 1{,}49\ N/mm^2$$

$$\frac{\tau_{ef,d}}{f_{kl,d}} = \frac{0{,}92}{1{,}49} = 0{,}662 < 1$$

Dokaz stabilnosti na izbočavanje:

Proračunska vrijednost momenta savijanja:

$M_{ap,d} = 787{,}5\ kNm$

Normalno rubno naprezanje:

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 787{,}5 \cdot 10^6}{22 \cdot 180^2 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 6{,}63\ N/mm^2$$

Koeficijent izbočavanja:

$$k_m = \begin{cases} 1\ za\ \lambda_{rel,m} \leq 0{,}75 \\ 1{,}56 - 0{,}75 \cdot \lambda_{rel,m}\ za\ 0{,}75 < \lambda_{rel,m} \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} za\ 1{,}4 < \lambda_{rel,m} \end{cases} \leq 1{,}4$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef,y} \cdot h}{\pi \cdot b^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{0,05}}}}$$

Nosač je bočno pridržan u sredini raspona, razmak pridržanih točaka:

$$l_{ef.y} = \frac{24{,}0}{2} = 12{,}0\ m$$

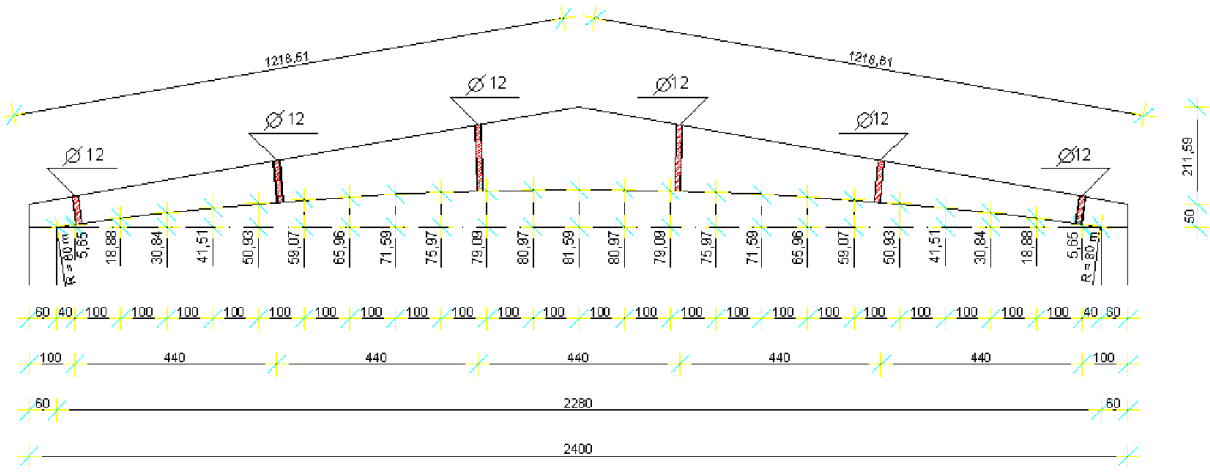
$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{(12{,}0 \cdot 10^3) \cdot (180 \cdot 10)}{\pi \cdot (22 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{28{,}0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1{,}26$$

$$k_m = 1{,}56 - 0{,}75 \cdot \lambda_{rel,m} = 1{,}56 - 0{,}75 \cdot 1{,}26 = 0{,}62$$

Dokaz stabilnosti:

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{6{,}63}{0{,}62 \cdot 19{,}38} = 0{,}552 < 1$$



Slika 9. Sedlasta greda sa ojačanjima

5. Proračun panela

Pokrov je izveden od sendvič panela izrađenih u kombinaciji ploče od složenog krupnog iverja OSB/3 i drva četinara C24, dimenzije b/h = 317/2880mm dužine l = 15,0 m.
Veličina elementa kojeg dokazujemo iznosi 15,0 x 2,88 m.

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti C24 :

$f_{m,k} = 24{,}0\ N/mm^2$

$f_{t,0,k} = 14{,}0\ N/mm^2$

$f_{c,0,k} = 21{,}0\ N/mm^2$

$f_{v,k} = 2{,}5\ N/mm^2$

$E_{0,mean} = 11000\ N/mm^2$

Karakteristične vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti OSB/3 :

$f_{m,k} = 16{,}4\ N/mm^2$

$f_{t,0,k} = 9{,}4\ N/mm^2$

$f_{c,0,k} = 15{,}4\ N/mm^2$

$f_{v,k} = 6{,}8\ N/mm^2$

$E_{0,mean} = 4930\ N/mm^2$

Jedinstvene vrijednosti čvrstoća i modula elastičnosti dobivene su kao aritmetička sredina sastava sendvič panela.

$$f_{m,k} = \frac{24{,}0 + 16{,}4}{2} = 20{,}2\ N/mm^2$$

$$f_{t,0,k} = \frac{14{,}0 + 9{,}4}{2} = 11{,}7\ N/mm^2$$

$$f_{c,0,k} = \frac{21{,}0 + 15{,}4}{2} = 18{,}2\ N/mm^2$$

$$f_{v,k} = \frac{2{,}5 + 6{,}8}{2} = 9{,}3\ N/mm^2$$

Proračunske vrijednosti:

$$f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

Uporabna klasa 1, dugotrajno opterećenje $k_{mod} = 0{,}70$

Uporabna klasa 1, kratkotrajno opterećenje $k_{mod} = 0{,}90$

Kod kombinacije opterećenja različitog trajanja, za $\mathrm{k_{mod}}$, u proračun se uvodi vrijednost za opterećenje sa najkraćim trajanjem.

$\gamma_M = 1{,}30 - parcijalni\ koeficijent\ za\ LLD\ prema$ DIN $1052{:}\,2004 - 08$

DIN $1052{:}\,2004 - 08$:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{20{,}2\ N/mm^2}{1{,}30} = 13{,}98\ N/mm^2$$

$$f_{t,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{9{,}4\ N/mm^2}{1{,}30} = 6{,}51\ N/mm^2$$

$$f_{c,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{18{,}2\ N/mm^2}{1{,}30} = 12{,}6\ N/mm^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0{,}90 \cdot \frac{6{,}8\ N/mm^2}{1{,}30} = 4{,}71\ N/mm^2$$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka: b/h = 288,0/3,7 cm

Kombinacija za koju se provodi proračun je $Kombinacija\ 1\ \rightarrow Vlastita\ težina\ +\ Snijeg.$

Promatra se dvoosno savijanje u kombinaciji sa mjerodavnom uzdužnom silom koja je jednaka uzdužnoj sili koja djeluje u podrožnicama.

Vlastita težina - Paneli

$Stalno\ opterećenje$

$Folija$ 0,03

$OSB/3\ \ 22\ mm$ 0,14

$Rebra$ 0,15

$Izolacija$ 0,08

$OSB/3\ \ 15\ mm$ 0,10

$$g_k\ =\ 0{,}50\ kN/m^2$$

G_k = 0,50 kN/m^2 * 7,50 m = 3,75 kN/m'

$\gamma_{G,j} = 1{,}35$

$\gamma_{Q,1} = 1{,}50$

$q_{G,d} = \gamma_G \cdot q_{G,k} = 1{,}35 \cdot 3{,}75 = 5{,}06\ kN/m'$

$q_{Q,d} = \gamma_Q \cdot q_{Q,k} = 1{,}50 \cdot 2{,}70 = 4{,}05\ kN/m'$

$q_d = q_{G,d} + q_{q,d} = 5{,}06 + 4{,}05 = 9{,}11\ kN/m'$

$q_{y,d} = q_d \cdot \sin 10^\circ = 9{,}11 \cdot \sin 10^\circ = 1{,}58\ kN/m'$

$q_{z,d} = q_d \cdot \cos 10^\circ = 9{,}11 \cdot \cos 10^\circ = 8{,}97\ kN/m'$

Promatrani element se promatra i proračunava kao kontinuirani nosač preko 2 polja, gdje se svaki ležaj nalazi na međusobnoj udaljenosti $l = 15{,}0\ m$.

$Rezne\ sile\ \rightarrow Određene\ primjenom\ metode\ anvelopa\ na\ kontinuiranom\ nosaču$ čime su

$određeni\ njegovi\ ekstremi\ reznih\ sila\ u\ polju\ i\ iznad\ ležajeva\ nosača$

$M_{polja} = 0{,}1 \cdot q \cdot l^2\ \rightarrow Moment\ u\ polju\ (kNm)$

$M_{iznad\ ležaja} = \dfrac{q \cdot l^2}{8}\ \rightarrow Moment\ u\ polju\ (kNm)$

$V_{krajnji\ ležajevi} = \dfrac{3}{8} \cdot q \cdot l$

$V_{referentni\ srednji\ ležaj} = \dfrac{5}{8} \cdot q \cdot l$

Rezne sile:

$$M_{y,d} = q_{z,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 8{,}97 \cdot \frac{7{,}5^2}{8} = 63{,}07\ kNm$$

$$V_{z,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{y,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 1{,}58 \cdot 7{,}50 = 7{,}41\ kN$$

$$M_{z,d} = q_{y,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 1{,}58 \cdot \frac{3{,}0^2}{8} = 1{,}78\ kNm$$

$$V_{y,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{z,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 8{,}97 \cdot 3{,}0 = 16{,}82\ kN$$

$$N = 19{,}13\ kN\ (vlak)$$

5.1. Proračun sendvič panela

Sudjelujuća (efektivna) širina I, odnosno C presjeka prema DIN1052:2004-08:

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \quad (ili\ b_{t,ef} + b_w)$$

$$b_{ef} = 0{,}5 \cdot b_{c,ef} + b_w \quad (ili\ 0{,}5 \cdot b_{t,ef} + b_w)$$

Najveće dopuštene vrijednosti sudjelujuće širine $b_{c,ef}$ odnosno $b_{t,ef}$ (uzimajuću u obzir posmične deformacije i stabilnost tlačnog pojasa) uzete su iz tablice.

$Za\ OSB\ ploče$:

$$b_{c,ef} = 0{,}25 \cdot l$$

$$b_{c,ef} = 0{,}25 \cdot 2880 = 720\ mm$$

Za I profile:

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w$$

$$b_{ef} = 720 + 80 = 800\ mm$$

Za C profile:

$$b_{ef} = 0{,}5 \cdot b_{c,ef} + b_w$$

$$b_{ef} = 0{,}5 \cdot 720 + 80 = 360 + 80 = 440\ mm$$

Karakteristike poprečnog presjeka za I profil:

$$W_y = \frac{80 \cdot 2{,}2^2}{6} + \frac{80 \cdot 1{,}5^2}{6} + \frac{8 \cdot 28^2}{6} = 1139{,}87\ cm^3$$

$$W_y = \frac{80 \cdot 2{,}2^2}{6} + \frac{80 \cdot 1{,}5^2}{6} + \frac{8 \cdot 28^2}{6} = 1139{,}87\ cm^3$$

$$W_z = \frac{2{,}2 \cdot 80^2}{6} + \frac{1{,}5 \cdot 80^2}{6} + \frac{28 \cdot 8^2}{6} = 4245{,}33\ cm^3$$

Karakteristike poprečnog presjeka za C profil:

$$W_y = \frac{44 \cdot 2{,}2^2}{6} + \frac{44 \cdot 1{,}5^2}{6} + \frac{8 \cdot 28^2}{6} = 1097{,}33\ cm^3$$

$$W_z = \frac{2{,}2 \cdot 44^2}{6} + \frac{1{,}5 \cdot 44^2}{6} + \frac{28 \cdot 8^2}{6} = 1492{,}53\ cm^3$$

Karakteristike poprečnog presjeka panela:

$$A = 288 \cdot (1{,}5 + 2{,}2) + 5 \cdot 8 \cdot 28 = 2185{,}6\ cm^2$$

$$W_{y,ukp} = 3 \cdot W_{y,I} + 2 \cdot W_{y,C} = 3 \cdot 1139{,}87 + 2 \cdot 1097{,}33 = 5614{,}27\ cm^3$$

$$W_{z,ukp} = 3 \cdot W_{z,I} + 2 \cdot W_{z,C} = 3 \cdot 4245{,}33 + 2 \cdot 1492{,}53 = 15721{,}05\ cm^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{19{,}13 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}09\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{63{,}07 \cdot 10^6}{5614{,}27 \cdot 10^3} = 11{,}23\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1{,}78 \cdot 10^6}{15721{,}05 \cdot 10^3} = 0{,}11\ N/mm^2$$

$$\tau_{y,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{16{,}82 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}02\ N/mm^2$$

$$\tau_{z,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{7{,}41 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}05\ N/mm^2$$

$k_m = 1{,}0 \ \rightarrow koeficijent\ izbočavanja$

$k_{red} = 0{,}7 \ \rightarrow koeficijent\ redukcije\ za\ pravokutne\ poprečne\ presjeke$

Vlak i dvoosno savijanje:

Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}09}{6{,}51} + \frac{11{,}23}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{0{,}11}{19{,}38} = 0{,}597 < 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0{,}09}{6{,}51} + 0{,}7 \cdot \frac{11{,}23}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{0{,}11}{19{,}38} = 0{,}425 < 1{,}0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}02}{4{,}71}\right)^2 + \left(\frac{0{,}05}{4{,}71}\right)^2 = 0{,}001 < 1{,}0$$

Odabrani sendvič paneli zadovoljavaju dokaz nosivosti i stabilnosti.

5.2. Proračun sendvič panela na duljini između dva glavna nosača

Analogno proračunu panela u punoj veličini vrši se proračun panela oslonjenog na glavne nosače.

Promatrani sustav promatramo kao prostu gredu duljine jednaku razmaku između dva glavna nosača $l = 7{,}50\ m$.

Rezne sile:

$$M_{y,d} = q_{z,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 8{,}97 \cdot \frac{7{,}5^2}{8} = 63{,}07\ kNm$$

$$V_{z,d} = q_{y,d} \cdot \frac{l}{2} = 1{,}58 \cdot \frac{7{,}5}{2} = 5{,}93\ kN$$

$$M_{z,d} = q_{y,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 1{,}58 \cdot \frac{3{,}0^2}{8} = 1{,}78\ kNm$$

$$V_{y,d} = q_{z,d} \cdot \frac{l}{2} = 8{,}97 \cdot \frac{3{,}0}{2} = 13{,}46\ kN$$

$$N = 19{,}13\ kN\ (vlak)$$

PRORAČUN SENDVIČ PANELA

Sudjelujuća (efektivna) širina I, odnosno C presjeka prema DIN1052:2004-08:

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w \quad (ili\ b_{t,ef} + b_w)$$

$$b_{ef} = 0{,}5 \cdot b_{c,ef} + b_w \quad (ili\ 0{,}5 \cdot b_{t,ef} + b_w)$$

Najveće dopuštene vrijednosti sudjelujuće širine $b_{c,ef}$ odnosno $b_{t,ef}$ (uzimajuću u obzir posmične deformacije i stabilnost tlačnog pojasa) uzete su iz tablice.

$Za\ OSB\ ploče$:

$$b_{c,ef} = 0{,}25 \cdot l$$

$$b_{c,ef} = 0{,}25 \cdot 2880 = 720\ mm$$

Za I profile:

$$b_{ef} = b_{c,ef} + b_w$$

$$b_{ef} = 720 + 80 = 800\ mm$$

Za C profile:

$$b_{ef} = 0{,}5 \cdot b_{c,ef} + b_w$$

$$b_{ef} = 0{,}5 \cdot 720 + 80 = 360 + 80 = 440\ mm$$

Karakteristike poprečnog presjeka za I profil:

$$W_y = \frac{80 \cdot 2{,}2^2}{6} + \frac{80 \cdot 1{,}5^2}{6} + \frac{8 \cdot 28^2}{6} = 1139{,}87\ cm^3$$

$$W_z = \frac{2{,}2 \cdot 80^2}{6} + \frac{1{,}5 \cdot 80^2}{6} + \frac{28 \cdot 8^2}{6} = 4245{,}33\ cm^3$$

Karakteristike poprečnog presjeka za C profil:

$$W_y = \frac{44 \cdot 2{,}2^2}{6} + \frac{44 \cdot 1{,}5^2}{6} + \frac{8 \cdot 28^2}{6} = 1097{,}33\ cm^3$$

$$W_z = \frac{2{,}2 \cdot 44^2}{6} + \frac{1{,}5 \cdot 44^2}{6} + \frac{28 \cdot 8^2}{6} = 1492{,}53\ cm^3$$

Karakteristike poprečnog presjeka panela:

$$A = 288 \cdot (1{,}5 + 2{,}2) + 5 \cdot 8 \cdot 28 = 2185{,}6\ cm^2$$

$$W_{y,ukp} = 3 \cdot W_{y,I} + 2 \cdot W_{y,C} = 3 \cdot 1139{,}87 + 2 \cdot 1097{,}33 = 5614{,}27\ cm^3$$

$$W_{z,ukp} = 3 \cdot W_{z,I} + 2 \cdot W_{z,C} = 3 \cdot 4245{,}33 + 2 \cdot 1492{,}53 = 15721{,}05\ cm^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{19{,}13 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}09\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{63{,}07 \cdot 10^6}{5614{,}27 \cdot 10^3} = 11{,}23\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{1{,}78 \cdot 10^6}{15721{,}05 \cdot 10^3} = 0{,}11\ N/mm^2$$

$$\tau_{y,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{13{,}46 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}09\ N/mm^2$$

$$\tau_{z,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{5{,}93 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}04\ N/mm^2$$

$k_m = 1{,}0 \rightarrow koeficijent\ izbočavanja$

$k_{red} = 0{,}7 \rightarrow koeficijent\ redukcije\ za\ pravokutne\ poprečne\ presjeke$

Vlak i dvoosno savijanje:

Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}09}{6{,}51} + \frac{11{,}23}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{0{,}11}{19{,}38} = 0{,}597 < 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0{,}09}{6{,}51} + 0{,}7 \cdot \frac{11{,}23}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{0{,}11}{19{,}38} = 0{,}425 < 1{,}0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}09}{4{,}71}\right)^2 + \left(\frac{0{,}04}{4{,}71}\right)^2 = 0{,}001 < 1{,}0$$

Sendvič panel odabranih geometrijskih karakteristika zadovoljava dokaz nosivosti i stabilnosti.

6. Vatrootpornost drvene konstrukcije

Izvanredna proračunska situacija – puna kombinacija:

$$E_{dA} = E\left\{\sum \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{PA} \cdot P_k \oplus A_d \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum \psi_{2,1} \cdot Q_{k,i}\right\}$$

$\oplus \rightarrow oznaka\ za\ "da\ bude\ kombiniran\ sa"$

$\sum \rightarrow oznaka\ "za\ kombinirani\ učinak"$

$G_{k,j} \rightarrow karakteristična\ vrijednost\ stalnog\ djelovanja$

$P_k \rightarrow karakteristična\ vrijednost\ djelovanja\ prednapinjanja$

$Q_{k,1} \rightarrow karakteristična\ vrijednost\ dominantnog\ promjenjivog\ djelovanja$

$Q_{k,i} \rightarrow karakteristične\ vrijednosti\ ostalih\ promjenjivih\ djelovanja$

$A_d \rightarrow proračunska\ vrijednost\ izvanrednog\ djelovanja$

$\gamma_{GA,j} \rightarrow parcijalni\ koeficijent\ stalnog\ djelovanja\ za\ izvanredne\ proračunske\ situacije$

$\gamma_{PA} \rightarrow parcijalni\ koeficijent\ za\ djelovanje\ prouzročeno\ prednapinjanje\ za\ izvanredne\ proračunske\ situacije$

$\psi \rightarrow koeficijenti\ kombinacija$

Ova situacija uključuje jedno izričito djelovanje, u ovom slučaju požar.

PRORAČUNSKE VRIJEDNOSTI DJELOVANJA U POŽARU

Stvarna kombinacija ($P_k = 0\ ;\ A_d = 0$)

$$E_{dA} = E\left\{\sum \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum \psi_{2,1} \cdot Q_{k,i}\right\}$$

$\gamma_{GA,j} = 1{,}0$

$\psi \rightarrow Koeficijent\ kombinacije\ za\ zgrade$

$\psi_{1,1} = 0{,}7 \rightarrow Kategorija\ D: trgovine$

6. 1. KOMBINACIJA 1 → Vlastita težina " + " Snijeg

$q_{G,d,fi} = \gamma_{GA,j} \cdot q_{G,k} = 1{,}0 \cdot 3{,}75 = 3{,}75\ kN/m'$

$q_{Q,d,fi} = \psi_{1,1} \cdot q_{Q,k} = 0{,}7 \cdot 2{,}70 = 1{,}89\ kN/m'$

$q_{d,fi} = q_{G,d,fi} + q_{Q,d,fi} = 3{,}75 + 1{,}89 = 5{,}64\ kN/m'$

$M_{d,fi} = q_{d,fi} \cdot \frac{l^2}{8} = 5{,}64 \cdot \frac{24{,}0^2}{8} = 406{,}8\ kNm$

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA:

Tražena klasa F30 → $t_f = 30\ \text{min}$; t_f → potrebno vrijeme vatrootpornosti u min

Brzina nagorijevanja β_n drvene građe

Lijepljeno lamelirano drvo GL28C/1 → $\rho_k = 380\ kg/m^3$

$\rho_k \geq 290 \frac{kg}{m^3} \rightarrow \beta_n = 0{,}7\ \text{mm/min}$

Gubitak presjeka:

$d_{(t_f)} = \beta_n \cdot t_f = 0{,}7 \cdot 30 = 21{,}0\ mm$

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 min požara:

$b_{(t_f)} = b - 2 \cdot d_{(t_f)} = 22{,}0 - 2 \cdot 2{,}1 = 17{,}8\ cm$

$h_{(t_f)} = h - 2 \cdot d_{(t_f)} = 180{,}0 - 2 \cdot 2{,}1 = 175{,}8\ cm$

OSTATAK POPREČNOG PRESJEKA:

„Opseg“ – Zbroj duljina nagorenih stranica ostatka poprečnog presjeka („nagoreni opseg“):

$u_r = 2 \cdot b_{(t_f)} + 2 \cdot h_{(t_f)} = 2 \cdot 17{,}8 + 2 \cdot 175{,}8 = 387{,}2\ cm$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$A_r = b_{(t_f)} \cdot h_{(t_f)} = 17{,}8 \cdot 175{,}8 = 3129{,}24\ cm^2$

$W_{y,r} = \frac{b_{(t_f)} \cdot h_{(t_f)}^{\ 2}}{6} = \frac{17{,}8 \cdot 175{,}8^2}{6} = 91686{,}73\ cm^3$

$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{406{,}8 \cdot 10^6}{91686{,}73 \cdot 10^3} = 4{,}44\ N/mm^2$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije:

$\mathrm{k_{mod,fi}} = 1{,}0$

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}}$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} \rightarrow za\ LLN$$

$f_k \rightarrow karakteristične\ vrijednosti\ čvrstoća\ pri\ normalnoj\ temperaturi$

$E_{0,05} \rightarrow karakteristična\ vrijednost\ E-modula\ pri\ normalnoj\ temperaturi$

$G_{05} \rightarrow karakteristična\ vrijednost\ G-modula\ pri\ normalnoj\ temperaturi$

$\gamma_{M,fi} = 1{,}0 \rightarrow parcijalni\ koeficijent\ svojstava\ materijala\ u\ požaru$

$k_{fi} \rightarrow faktor\ za\ određivanje\ 20\%\ fraktilne\ vrijednosti\ iz\ 5\%\ fraktilne\ vrijednosti\ svojstva\ materijala$

$k_{fi} = 1{,}15\ za\ lijepljeno\ lamelirano\ drvo$

Za savojnu čvrstoću:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{387{,}2 \cdot 10^{-2}}{3129{,}24 \cdot 10^{-4}} = 0{,}95$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{387{,}2 \cdot 10^{-2}}{3129{,}24 \cdot 10^{-4}} = 0{,}90$$

Za vlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima te za E i G module:

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{u_r}{A_r}$$

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{387{,}2 \cdot 10^{-2}}{3129{,}24 \cdot 10^{-4}} = 0{,}96$$

$u_r[m]\ ;\ A_r[m^2]$

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0{,}95 \cdot 1{,}15 \cdot \frac{28{,}0}{1{,}0} = 30{,}59\ N/mm^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0{,}05}}{\gamma_{M,fi}} = 0{,}96 \cdot 1{,}15 \cdot \frac{10500}{1{,}0} = 11592{,}00\ N/mm^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0{,}96 \cdot 1{,}15 \cdot \frac{600}{1{,}0} = 662{,}40\ N/mm^2$$

DOKAZ STABILNOSTI:

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1\ za\ \lambda_{rel,m,fi} \leq 0{,}75 \\ 1{,}56 - 0{,}75 \cdot \lambda_{rel,m,fi}\ za\ 0{,}75 < \lambda_{rel,m,fi} \\ \frac{1}{\lambda^2_{rel,m,fi}}\ za\ 1{,}4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases} \leq 1{,}4$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t_f)}}{\pi \cdot b_{(t_f)}^{\ 2}}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sqrt{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}}$$

Dokaz se provodi prema DIN 1052:2004-08 uvodeći u proračun geometrijske karakteristike ostatka nagorenog poprečnog presjeka te vrijednosti čvrstoća i modula u požaru.

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkaže u požaru, dokaz se provodi za konstrukciju bez pridržanja.

$$l_{ef,fi} = 12{,}00\ m$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(12{,}0 \cdot 10^3) \cdot (175{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (17{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{30{,}59}{\sqrt{11592{,}00 \cdot 662{,}40}}} = 1{,}53$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda^2_{rel,m,fi}} = \frac{1}{1{,}53^2} = 0{,}43$$

DOKAZ:

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{4{,}44}{0{,}43 \cdot 30{,}59} = 0{,}338 < 1$$

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkaže:

$$l_{ef,fi} = 24{,}00\ m$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(24{,}0 \cdot 10^3) \cdot (175{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (17{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{30{,}59}{\sqrt{11592{,}00 \cdot 662{,}40}}} = 2{,}16$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{2{,}16^2} = 0{,}12$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{4{,}44}{0{,}21 \cdot 30{,}59} = 0{,}691 < 1$$

6. 2. KOMBINACIJA 2 → Vlastita težina " + " Vjetar W1

$M_{G,d,fi} = \gamma_{GA,j} \cdot M_{G,k} = 1{,}0 \cdot 270{,}0 = 270{,}0\ kNm$

$M_{Q,d,fi} = \psi_{1,1} \cdot M_{Q,k} = 0{,}7 \cdot 787{,}5 = 551{,}25\ kNm$

$M_{d,fi} = M_{G,d,fi} + M_{Q,d,fi} = 270{,}0 - 551{,}25 = -281{,}25\ kNm$

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA - ANALOGNO KOMBINACIJI 1

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{281{,}25 \cdot 10^6}{91686{,}73 \cdot 10^3} = 3{,}08\ N/mm^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije → ANALOGNO KOMBINACIJI 1

DOKAZ STABILNOSTI:

$$k_{m,fi} = \begin{cases} 1\ za\ \lambda_{rel,m,fi} \le 0{,}75 \\ 1{,}56 - 0{,}75 \cdot \lambda_{rel,m,fi}\ za\ 0{,}75 < \lambda_{rel,m,fi} \\ \frac{1}{\lambda^2_{rel,m,fi}}\ za\ 1{,}4 < \lambda_{rel,m,fi} \end{cases} \le 1{,}4$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{l_{ef,fi} \cdot h_{(t_f)}}{\pi \cdot b_{(t_f)}^{\ 2}}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,d,fi}}{\sqrt{E_{d,fi} \cdot G_{d,fi}}}}$$

Dokaz se provodi prema DIN 1052:2004-08 uvodeći u proračun geometrijske karakteristike ostatka nagorenog poprečnog presjeka te vrijednosti čvrstoća i modula u požaru.

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkaže u požaru, dokaz se provodi za konstrukciju bez pridržanja.

$l_{ef,fi} = 12{,}00\ m$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(12{,}0 \cdot 10^3) \cdot (175{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (17{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{30{,}59}{\sqrt{11592{,}00 \cdot 662{,}40}}} = 1{,}53$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda^2_{rel,m,fi}} = \frac{1}{1{,}53^2} = 0{,}43$$

DOKAZ:

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{3{,}08}{0{,}43 \cdot 30{,}59} = 0{,}234 < 1$$

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkaže:

$$l_{ef,fi} = 24{,}00\ m$$

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(24{,}0 \cdot 10^3) \cdot (175{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (17{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{30{,}59}{\sqrt{11592{,}00 \cdot 662{,}40}}} = 2{,}16$$

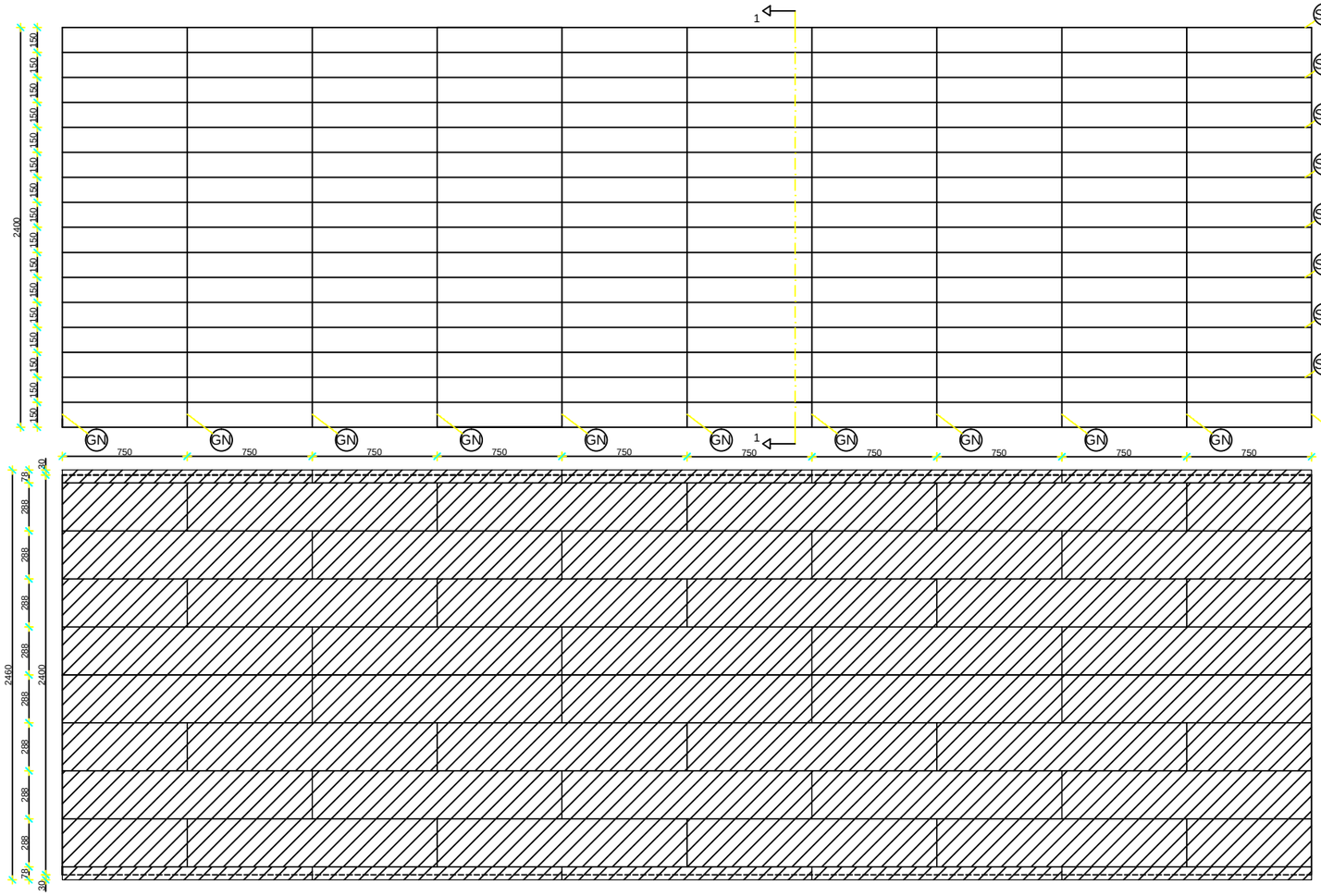
$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{2{,}16^2} = 0{,}12$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{3{,}08}{0{,}21 \cdot 30{,}59} = 0{,}479 < 1$$

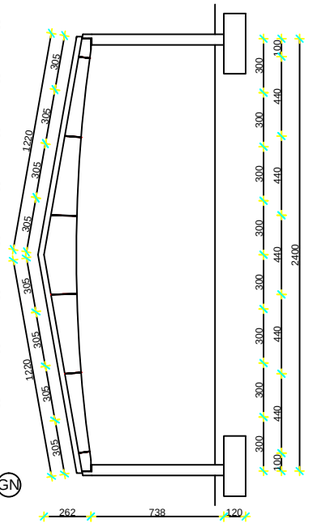
7. Literatura

- Predavanja iz predmeta Osnove drvenih konstrukcija, V. pred. Đuro Nižetić, dipl. ing. građ.
- Vježbe iz predmeta Osnove drvenih konstrukcija, V. pred. Đuro Nižetić, dipl. ing. građ. ; Maja Ban, znanstvena novakinja (asistentica)
- Norma DIN 1052:2004-08
- Norma nHRN EN 1995-1-1, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-1: Općenito – Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1995-1-1:2004+AC:2006+A1:2008)
- nHRN EN 1995-1-2, Eurokod 5: Projektiranje drvenih konstrukcija – Dio 1-2: Općenito – Proračun konstrukcija na djelovanje požara (EN 1995-1-2:2004+AC:2009)

GENERALNI NACRT GLAVNOG NOSAĻA MJ 1:100



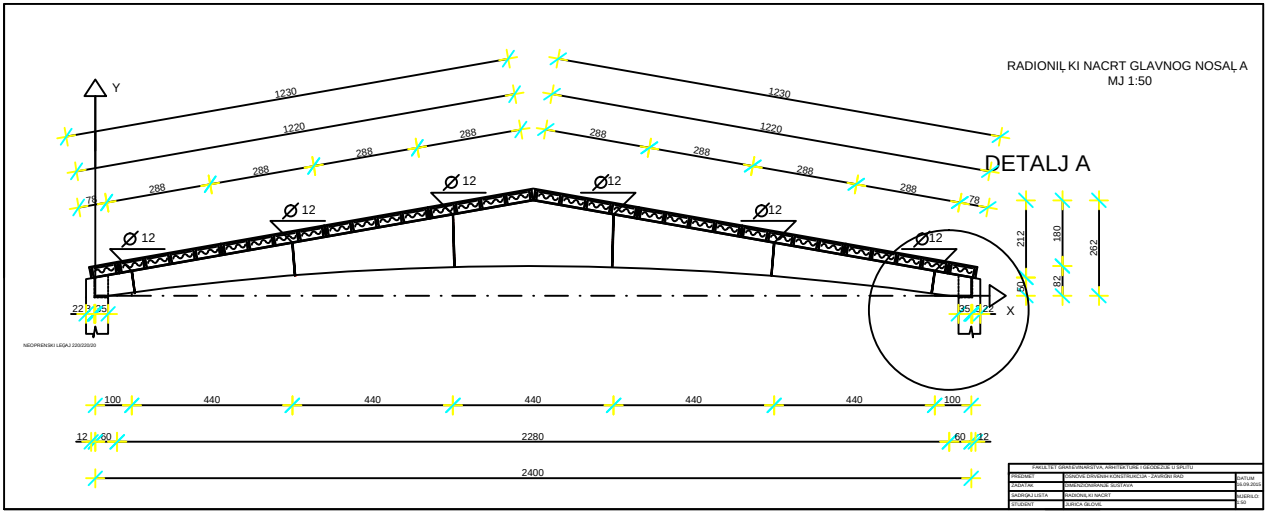
POPREĻNI PRESJEK 1-1



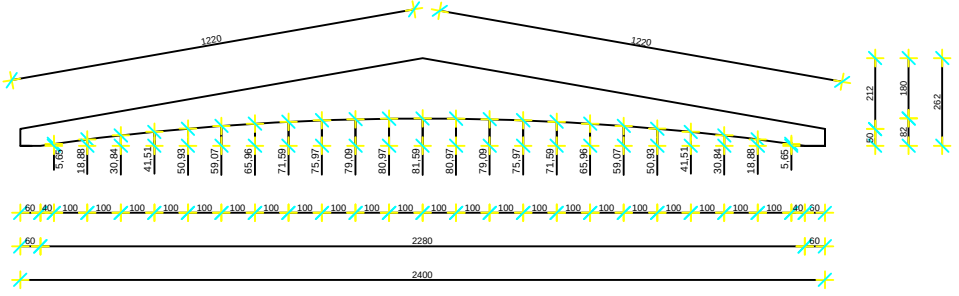
GN - Glavni nosaļ
SN - Sekundarni nosaļ

SHEMA POLAGANJA PANELA

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA - ZAVRŠNI RAD	DATUM: 16.09.2015.
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	
SADRŽAJ LISTA	GENERALNI NACRT	M 1:100
STUDENT	JURICA GLOVIL	

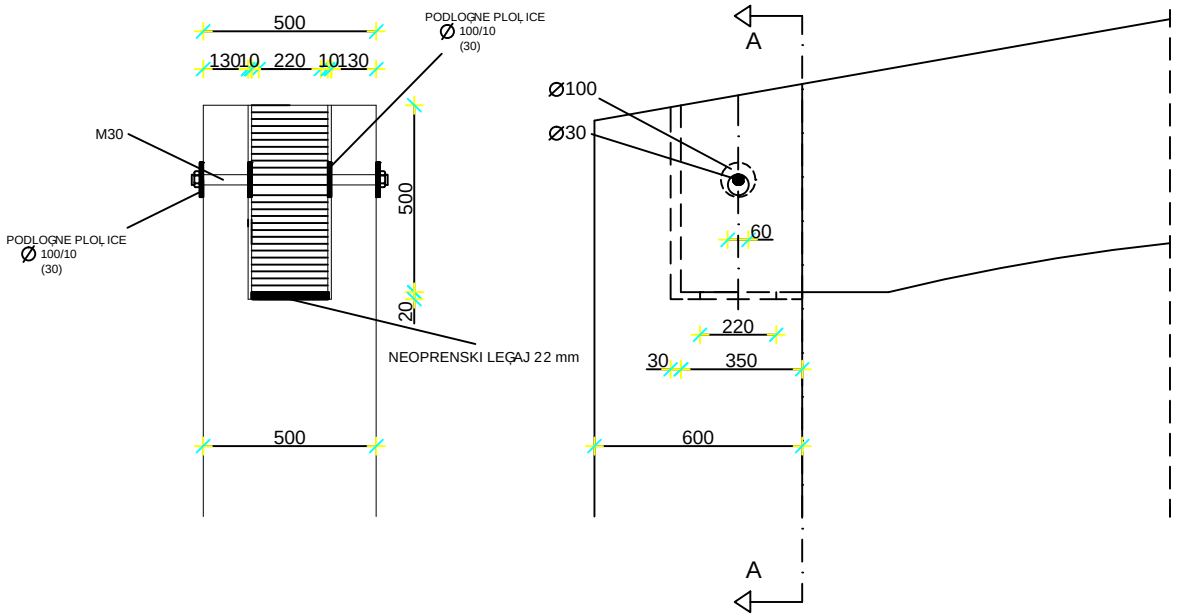

RADIONIL KI NACRT GLAVNOG NOSAL A
MJ 1:50
DETALJ A
Y
X
1230
1220
288
78
Ø12
212
180
262
50
82
22
35
NEOPRENSKI LEGAJ 220/250/20
100
440
2280
60
12
2400
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU
PREDMET
ZADAĆA
SADRŽAJ LISTA
STUDENT
ZGRADE DRVENIH KONSTRUKCIJA - ZAVRŠNI RAD
DIMENZIONIRANJE SUSTAVA
RADIONIL KI NACRT
JURICA GILOVIĆ
DATUM
09.09.2022.
MJERILO
1:50

RADIONIĽKI NACRT GLAVNOG NOSAĽA
- GEOMETRIJA MJ 1:50



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	DRVENE I DRVENO-BETONSKE KONSTRUKCIJE - ZAVRŠNI RAD	DATUM 18.06.2019.
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	
SADRŽAJ LISTA	RADIONIĽKI NACRT - GEOMETRIJA	PODRUČJE
STUDENT	MARICA GLOVAC	UNI

DETALJ A MJ 1:10



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA - ZAVRŠNI RAD	DATUM: 16.09.2015
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	
SADRŽAJ LISTA	DETALJ NEOPRENSKOG LEŽAJA	M 1:10
STUDENT	JURICA GILOVIĆ	

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **1.**

BROJ INDEKSA: **4088**

KATEDRA: **Katedra za metalne i drvene konstrukcije**

PREDMET: **Osnove drvenih konstrukcija**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Dimenzioniranje sustava

Opis zadatka:

- Proračun krovne konstrukcije za industrijsku halu
- Predmetna građevina se nalazi na području Splita, do 100 m nadmorske visine, kategorija zemljišta IV
- Visina građevine iznosi 10,00 m
- Drveni elementi konstrukcije izrađeni su od drva klase GL28c
- Konstruktivni sustav je zakrivljeni lijepljeni lamelirani nosač promijenjivog poprečnog presjeka, konkretno sedlasta greda
- Poprečni presjek sedlaste grede u tjemenu je dimenzije b/h = 22/180 cm , a debljina lamele iznosi t = 30 mm
- Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 10°$
- Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku l = 7,50 m
- Glavni nosači oslanjaju se na armirano betonske stupove b/h = 60/50 cm preko neoprenski ležajeva.
- Ukupna dužina same konstrukcije iznosi 75,00 m
- Tlocrtna površina hale iznosi 24,00 x 75,00 m
- Pokrov je izveden od sendvič panela izrađenih u kombinaciji ploče od složenog krupnog iverja OSB/3 i drva četinara C24, dimenzije b/h = 317/2880 mm raspona l = 15,0 m.

U Splitu, 16.09.2015

Voditelj Završnog rada: V. pred. Đuro Nižetić, dipl. ing. građ.