Proračun krovne konstrukcije za industrijsku halu

Stepić, Antun

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:123:280401

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

Antun Stepić

Split, 2015

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Proračun krovne konstrukcije za industrijsku halu

Završni rad

Split, 2015

Sažetak:

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

Ključne riječi:

Trapezasta greda,glavni nosač,vatrootpornost,sendvič paneli,dokaz nosivnosti,dokaz uporabljivosti

Calculation of the roof structure for an industrial hall

Abstract:

Trapezoidal beams,proof of fire resistance and the attached draft of plan positions of the main carrier and details.

Keywords:

trapezoidal beams,main carrier,sizing,fire resistance,sandwich panels,proof load,proof of usability

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: ANTUN STEPIĆ

BROJ INDEKSA: 4158

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

PREDMET: Osnova drevnih konstrukcija

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Proračun krovne konstrukcije za industrijsku halu

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 trapezastii lijepljeni lamelirani nosač promijenjivog poprečnog presjeka
- Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom $\alpha = 3°$
- Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku $l = 7{,}50$ m
- 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.rujan.2015

Voditelj Završnog rada:

V.pred. Đuro Nižetić,dipl.ing.građ.

1. Tehnički opis

1.1 Konstruktivni sustav krova

Konstruktivni sustav je trapezasta greda raspona L = 24,00 m. Visina nosača u tjemenu iznosi

h = 1.60 m. Krovna ploha je u odnosu na horizontalnu ravninu nagnuta pod kutom

α = 3°. Glavni nosači konstrukcije tlocrtno su paralelni i nalaze se na međusobnom razmaku

l = 7,50 m. Ukupna dužina same konstrukcije iznosi 75,0 m.

1.2 Statička analiza sustava

Proračun je izvršen prema EC 5.

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 proračun upotrijebljena je kombinacija s najvećim utjecajem, dakle vlastita težina konstrukcije + djelovanje snijega i vlastita težina konstrukcije + djelovanje vjetra.

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 pravokutnog poprečnog presjeka.

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 14 cm x 22 cm i nalaze se na razmaku 2,01 m. DIN 1052:2004-08

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

1.4.1 Drveni 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.

1.5.2 Zaštita metalnih elemenata

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 - Paneli

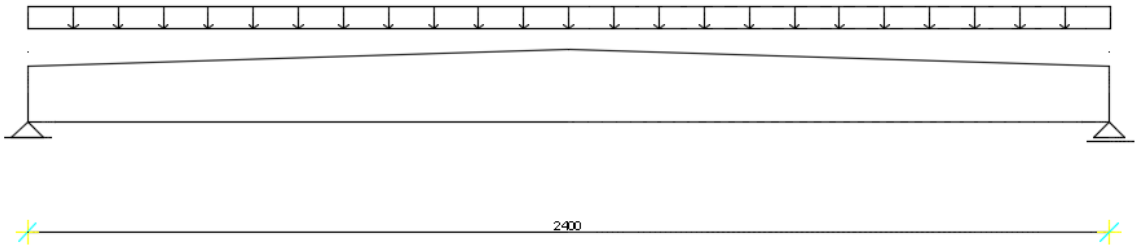
$Stalno\ opterećenje$

$Folija$		0,03
$OSB/3$	$22\ mm$	0,14
$Rebra$		0,15
$Izolacija$		0,08
$OSB/3$	$15\ mm$	0,10

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

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

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

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

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

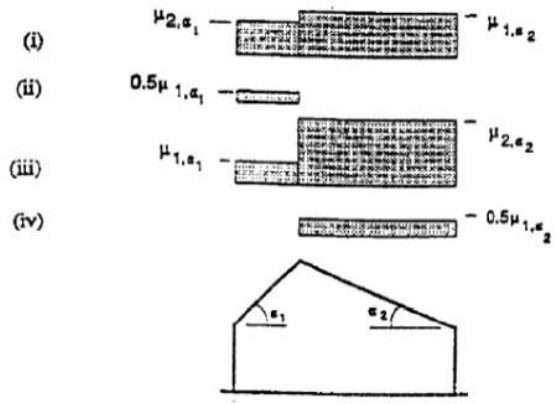


Slika 1. *Karta područja za opterećenje snijegom*

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

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	$0° \le \alpha \le 15°$	$15° < \alpha \le 30°$	$30° < \alpha < 60°$	$\alpha \ge 60°$
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

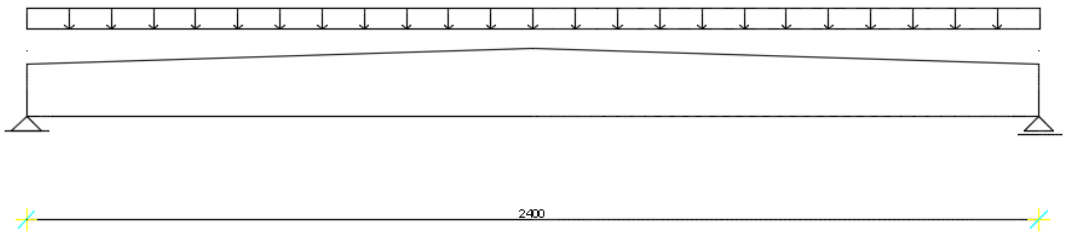
$$\mu_i = 0{,}8\ za\ 0^\circ \le 3^\circ \le 15^\circ$$

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

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

Opterećenje snijegom preko cijele krovne ploče:

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



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} :

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

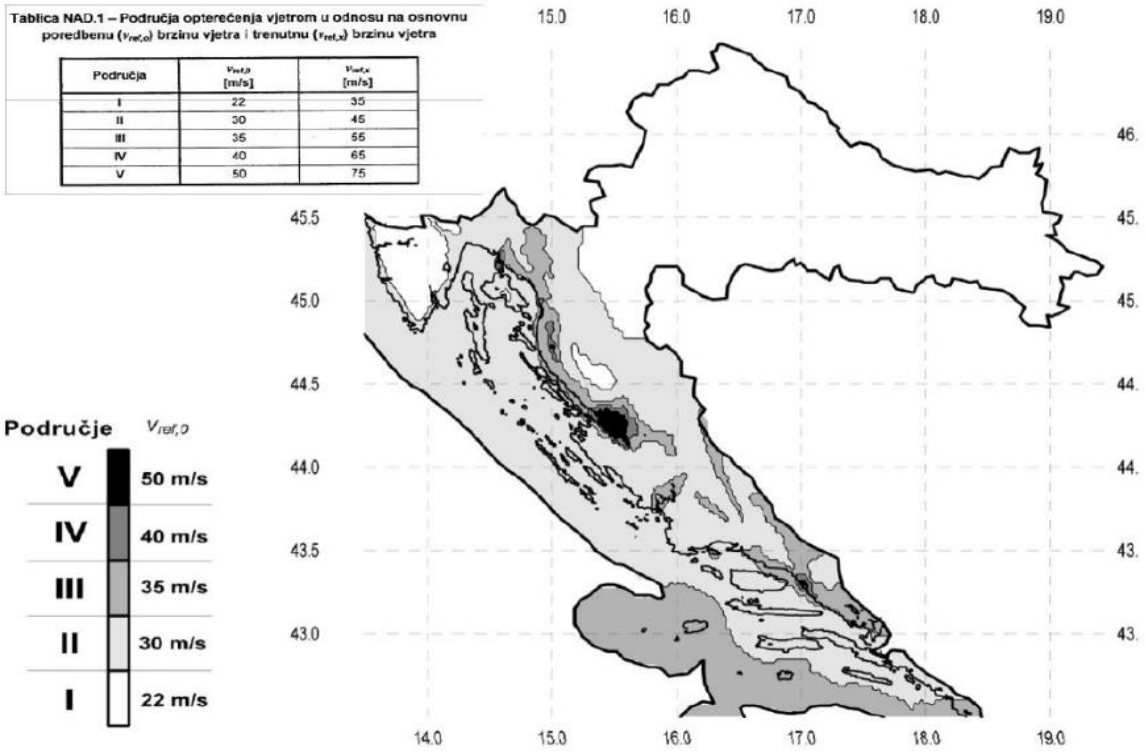
$$\rho \rightarrow gustoća\ zraka\ (kg/m^3)$$

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

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

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

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



Slika 3. Područja opterećenja vjetrom i osnovne poredbene brzine vjetrom

$$v_{ref,0} = 30\ m/s\ za\ područje\ III, Split, do\ 100\ m\ nadmorske\ visine$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$v_{ref} = 1{,}0 \cdot 1{,}0 \cdot 1{,}1 \cdot 30{,}0 = 30{,}0\ m/s$$

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 30{,}0^2 = 562{,}5\ N/m^2$$

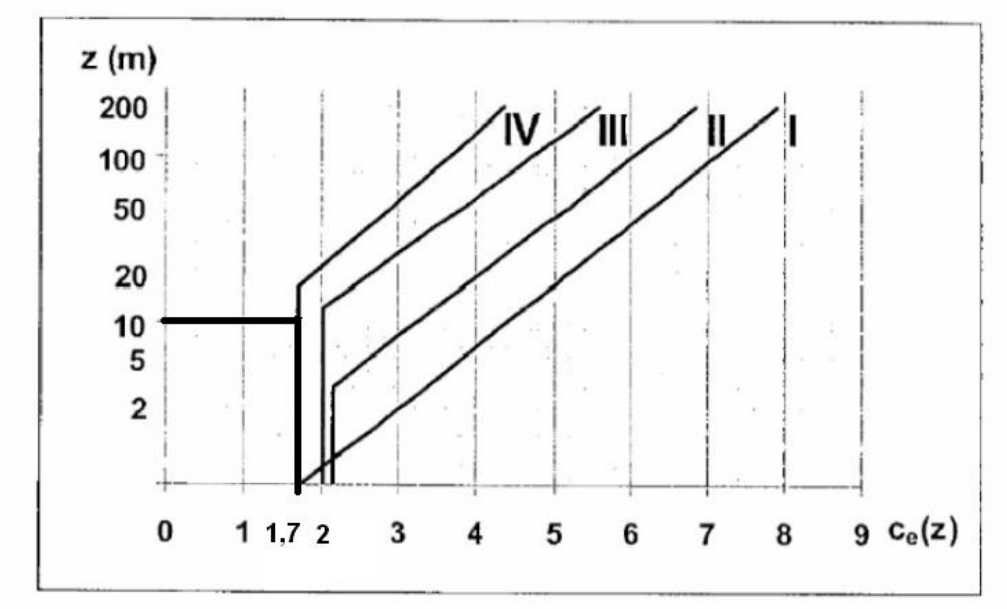
$$q_{ref} = 0{,}563\ kN/m^2$$

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**

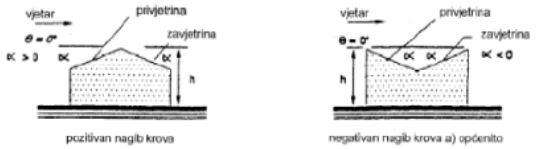
Slika 4. Dijagram određivanja koeficijenta izloženosti za regije P5 – P10

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

ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA VANJSKOG TLAKA

DJELOVANJE VJETRA

Koeficijent vanjskog tlaka C_{pe} – dvostrešni krovovi



(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

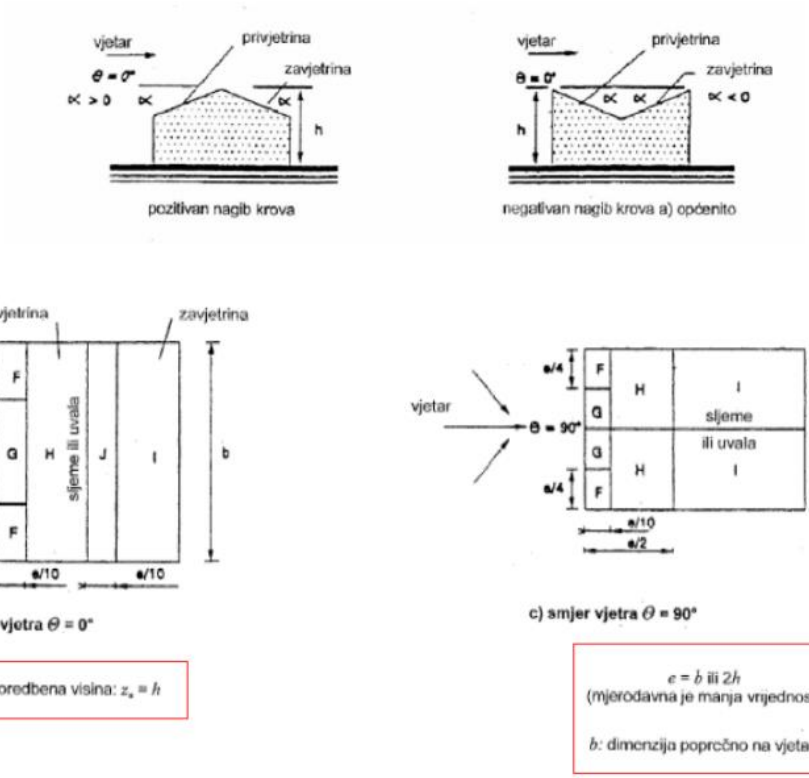
Za dvostrešne krovove koeficijenti vanjskog pritiska određuju se tako da se krovna površina podijeli na zone, dok se referentna visina z_e uzima kao ukupna visina građevine.

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 → $c_{pi} = \pm 0{,}3$



b) smjer vjetra $\Theta = 0°$

c) smjer vjetra $\Theta = 90°$

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 plhe ploštine 10 m^2:

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

$Za\ \alpha = -3^{\circ}$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	-0,2

$Za\ \alpha = +3^{\circ}$

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,2	-0,7	+0,2

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

$q_{ref} = 0{,}956\ kN/m^2$

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

PODRUČJE	F	G	H	I
$c_{pe,10}$	-1,8	-1,20	-0,7	+/- 0,2
w_e (kN/m^2)	-1,73	-1,15	-0,67	+/- 0,19

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

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

$q_{ref} = 0{,}563\ kN/m^2$

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

$w_e = 0{,}563 \cdot 1{,}70 \cdot 0{,}30 = \pm 0{,}28\ (kN/m^2)$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

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

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

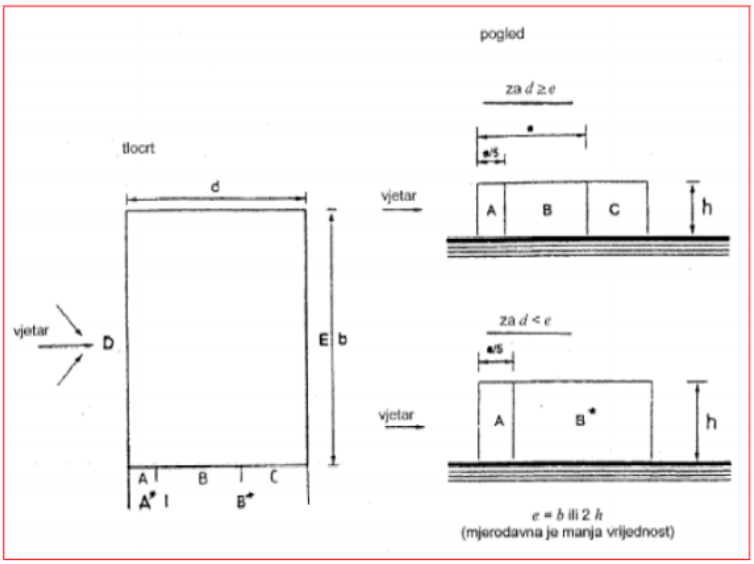
PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-1,73	-1,15	-0,67	-0,19
w_i (kN/m^2)	+0,28	+0,28	+0,28	+0,28
w_k (kN/m^2)	-2,81	-1,43	-0,95	-0,47
W_k (kN/m')	-21,07	-10,73	-7,13	-3,53

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

PODRUČJE	F	G	H	I
w_e (kN/m^2)	-1,73	-1,15	-0,67	-0,19
w_i (kN/m^2)	-0,28	-0,28	-0,28	-0,28
w_k (kN/m^2)	-1,45	-0,87	-0,39	+0,09
W_k (kN/m')	-10,88	-6,53	-2,93	+0,68

Mjerodavno W1

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

Koeficijent vanjskog tlaka c_{pe} – vanjski zidovi

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

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

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

$q_{ref} = 0{,}563\ kN/m^2$

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

$w_e = 0{,}563 \cdot 1{,}70 \cdot 0{,}30 = \pm 0{,}28\ (kN/m^2)$

Rezultirajuće djelovanje vjetra

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

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

$q_{ref} = 0{,}563\ kN/m^2$

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

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

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

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

PODRUČJE	A,A*	B,B*	C
w_e (kN/m^2)	-0,96	-0,77	-0,48
w_i (kN/m^2)	+0,28	+0,28	+0,28
w_k (kN/m^2)	-1,24	-1,05	-1,76
W_k (kN/m')	-1,86	-1,58	-2,64

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

PODRUČJE	A,A*	B,B*	C
w_e (kN/m^2)	-0,96	-0,77	-0,48
w_i (kN/m^2)	-0,28	-0,28	-0,28
w_k (kN/m^2)	-0,68	-0,49	-0,2
W_k (kN/m')	-1,02	-0,74	-0,3

Mjerodavno vjetar W1.

Za područje D i E:

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

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

PODRUČJE	D	E
w_e (kN/m^2)	+0,77	-0,28
w_i (kN/m^2)	+0,28	+0,28
w_k (kN/m^2)	+0,49	-0,48
W_k (kN/m')	+3,68	-3,6

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

PODRUČJE	D	E
w_e (kN/m^2)	+0,77	-0,28
w_i (kN/m^2)	-0,28	-0,28
w_k (kN/m^2)	+1,05	$\pm$0,00
W_k (kN/m')	+7,87	$\pm$0,00

Mjerodavno W1 za područje E, W2 za područje D.

3. Granično stanje uporabljivosti

Djelovanja:

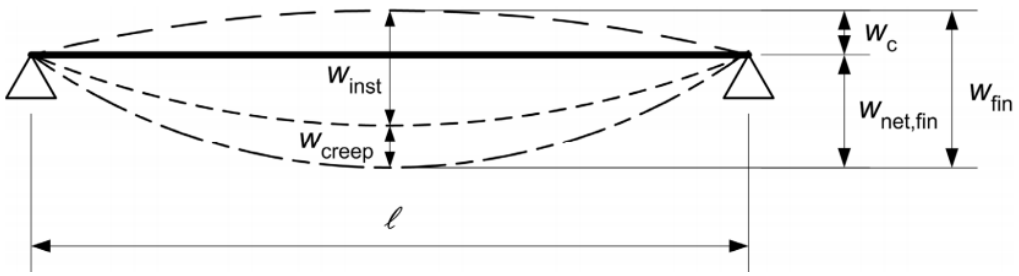
Stalno opterećenje – Vlastita težina:

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

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

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

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

$$w_{Q,inst} = \frac{5}{384} \cdot \frac{Q_d \cdot L^4}{E_{mean} \cdot I} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2{,}70 \cdot 24000^4}{12600 \cdot \frac{180 \cdot 1600^3}{12}} = 15{,}06\ mm$$

$$w_{G,inst} = \frac{G_k}{Q_k} \cdot w_{Q,inst} = \frac{3{,}75}{2{,}70} \cdot 15{,}06 = 20{,}92\ mm$$

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

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

$$w_{G,fin} = 20{,}92 \cdot (1 + 0{,}80) = 36\ mm$$

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

$$w_{Q,fin} = 15{,}06 \cdot (1 + 0{,}0 \cdot 0{,}80) = 15{,}06\ mm$$

$$w_{fin} = 36 + 15{,}06 = 51{,}06\ mm$$

Dokaz za granično stanje uporabljivosti:

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

$$15{,}06 \leq \frac{24000}{300} = 80{,}0\ mm$$

$$\eta = \frac{15{,}06}{80{,}0} \cdot 100 = 0{,}188 \cdot 100 = 18{,}8\ \%$$

3.2 Nazovistalna kombinacija

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

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

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

$w_{Q,fin} = 0{,}0 \cdot 15{,}06 \cdot (1 + 0{,}80) = 0{,}0\ mm$

$w_{fin} = w_{G,fin} + w_{Q,fin} = 36 + 0{,}0 = 36\ mm$

Dokaz:

$-\ izvođenje\ bez\ početnog\ nadvišenja$

$w_{fin} - w_0 = 36 - 0{,}0 = 36 < \frac{L}{200} = 120{,}0\ mm$

$\eta = \frac{36}{120{,}0} \cdot 100 = 0{,}30 \cdot 100 = 30{,}0\ \%$

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

$$M_{l/2} = -397{,}68 kNm \rightarrow dobiveno\ proračunom\ reznih\ sila$$

Poprečna sila

$$V_{l=0} = +\ 101{,}48\ kN \rightarrow dobiveno\ proračunom\ reznih\ sila$$

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 = 18/160cm

$A = 18{,}0 \cdot 160{,}0 = 2880{,}0\ cm^2$

$$W_{ap,y} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{18{,}0 \cdot 160{,}0^2}{6} = 76800{,}0\ cm^3$$

Normalno rubno naprezanje od momenta savijanja prema EC5:

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

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

$$\sigma_{m,d} = \left(1 + 1{,}4 \cdot \tan\alpha_{ap} + 5{,}4 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2\right) \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{m,d} = \left(1 + 1{,}4 \cdot \tan 3^\circ + 5{,}4 \cdot \left(\tan 3^\circ\right)^2\right) \cdot \frac{655{,}92 \cdot 10^6}{76800{,}0 \cdot 10^3}$$

$\sigma_{m,d} = 9{,}29\ N/mm^2$

Vlačno naprezanje okomito na vlakanca u području tjemena prema EC5:

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}2 \cdot \tan \alpha_{ap} \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}2 \cdot \tan 3^{\circ} \cdot \frac{655{,}92 \cdot 10^{6}}{76800{,}0 \cdot 10^{3}} = 0{,}09\ N/mm^2$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{109{,}32 \cdot 10^{3}}{2880{,}0 \cdot 10^{2}} = 0{,}57 N/mm^2$$

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.

$\gamma_M = 1{,}30 - preporučeni\ parcijalni\ koeficijent\ za\ LLD$

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:

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

$$k_r = 1$$

$$\frac{9{,}29}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 0{,}46 < 1$$

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

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

$\tau_d = 0{,}57 N/mm^2$

$k_{dis} = 1{,}3$

$k_{dis} = 1{,}3 \rightarrow za\ sedlaste\ grede\ prema$ DIN $1052{:}\ 2004 - 08 h_0 = 600\ mm - usporedna\ isina$

$(umjesto\ usporedne\ visine\ u\ EC5\ proračun\ se\ provodi\ usporednim\ volumenom\ V_0 = 0{,}01\ m^3)$

$$\frac{0{,}09}{1{,}4 \cdot \left(\frac{600}{1600}\right)^{0,3} \cdot 0{,}36} + \left(\frac{0{,}57}{2{,}52}\right)^2 = 0{,}29 < 1$$

Kontrola za klimatski uvjetovna poprečnanaprezanja (promjena vlažnosti okoline)

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

$k_{dis} = 1{,}3 \rightarrow za\ trapezaste\ grede$

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

$$\frac{0{,}09}{1{,}3 \cdot \left(\frac{600}{1600}\right)^{0,3} \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}36} = 0{,}43 < 1$$

Dokaz stabilnosti na izbočavanje:

Proračunska vrijednost momenta savijanja:

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

Normalno rubno naprezanje:

$$\sigma_{m,d} = \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h^2} = \frac{6 \cdot 655{,}92 \cdot 10^6}{18 \cdot 160^2 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 8{,}54 \ N/mm^2$$

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 polovini raspona, razmak pridržanih točaka:

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

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{(12{,}0 \cdot 10^3) \cdot (160 \cdot 10)}{\pi \cdot (18 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{28{,}0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1{,}45$$

$$k_m = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} = \frac{1}{1{,}45^2} = 0{,}47$$

Dokaz stabilnosti:

$Prema$ DIN 1052: $2004 - 08$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{8{,}54}{0{,}47 \cdot 19{,}38} = 0{,}93 < 1$$

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

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

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

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

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

$M_{Q,d} = \gamma_Q \cdot M_{Q,k} = 1{,}50 \cdot 397{,}68\ = 596{,}52\ kNm$

$M_d = M_{G,d} + M_{q,d} = 270{,}0\ - 596{,}52 = 326{,}52\ kNm$

$M_{ap,d} = 326{,}52\ kNm$

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

$V_{Q,d} = \gamma_Q \cdot V_{Q,k} = 1{,}50 \cdot\ 101{,}48 = 152{,}22\ kN$

$V_d = V_{G,d} + V_{q,d} = 45{,}0\ - 152{,}22\ = -107{,}22\ kN$

Geometrijske karakteristike poprečnog presjeka b/h = 18/160cm

$A = 18{,}0 \cdot 160{,}0 = 2880{,}0\ cm^2$

$$W_{ap,y} = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{18{,}0 \cdot 160{,}0^2}{6} = 76800{,}0\ cm^3$$

Normalno rubno naprezanje od momenta savijanja prema EC5:

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

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

$$\sigma_{m,d} = \left(1 + 1{,}4 \cdot \tan\alpha_{ap} + 5{,}4 \cdot \left(\tan\alpha_{ap}\right)^2\right) \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{m,d} = \left(1 + 1{,}4 \cdot \tan 3^\circ + 5{,}4 \cdot \left(\tan 3^\circ\right)^2\right) \cdot \frac{326{,}52\ \cdot 10^6}{76800{,}0 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{m,d} = 4{,}62\ N/mm^2$$

Vlačno naprezanje okomito na vlakanca u području tjemena prema EC5:

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}2 \cdot \tan \alpha_{ap} \cdot \frac{M_{ap}}{W_{ap}}$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}2 \cdot \tan 3^{\circ} \cdot \frac{326{,}52 \cdot 10^{6}}{76800{,}0 \cdot 10^{3}} = 0{,}05\ N/mm^2$$

Posmično naprezanje:

$$\tau_d = 1{,}5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{107{,}22 \cdot 10^{3}}{2880{,}0 \cdot 10^{2}} = 0{,}56 N/mm^2$$

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.

$\gamma_M = 1{,}30 - preporučeni\ parcijalni\ koeficijent\ za\ LLD$

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:

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

$$k_r = 1$$

$$\frac{4{,}62}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 0{,}24 < 1$$

$$\sigma_{t,90,d} = 0{,}05\ N/mm^2$$

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

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

$$\tau_d = 0{,}56 N/mm^2$$

$$k_{dis} = 1{,}3$$

$$k_{dis} \rightarrow koeficijent\ kojim\ se\ uvažava\ učinak\ nelinearne\ raspodjele\ naprezanja$$

$$u\ području\ tjemena\ (EC5\colon k_{dis} = 1{,}4)$$

$$h_0 = 600\ mm - usporedna\ isina$$

$$(umjesto\ usporedne\ visine\ u\ EC5\ proračun\ se\ provodi\ usporednim\ volumenom\ V_0 = 0{,}01\ m^3)$$

$$\frac{0{,}05}{1{,}4 \cdot \left(\frac{600}{1600}\right)^{0,3} \cdot 0{,}36} + \left(\frac{0{,}56}{2{,}52}\right)^2 = 0{,}18 < 1$$

Kontrola za klimatski uvjetovna poprečnanaprezanja (promjena vlažnosti okoline)

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

$$k_{dis} = 1{,}3 \rightarrow za\ trapezaste\ grede$$

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

$$\frac{0{,}05}{1{,}3\cdot\left(\frac{600}{1600}\right)^{0{,}3}\cdot 0{,}6\cdot 0{,}36}=0{,}22<1$$

Dokaz stabilnosti na izbočavanje:

Proračunska vrijednost momenta savijanja:

$M_{ap,d}=326{,}52\ \ kNm$

Normalno rubno naprezanje:

$$\sigma_{m,d}=\frac{6\cdot M_{ap,d}}{b\cdot h^2}=\frac{6\cdot 326{,}52\ \cdot 10^6}{18\cdot 160^2\cdot 10^3}$$

$\sigma_{m,d}=4{,}25\ \ N/mm^2$

Koeficijent izbočavanja:

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

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

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

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

$$\lambda_{rel,m}=\sqrt{\frac{(12{,}0\cdot 10^3)\cdot(160\cdot 10)}{\pi\cdot(18\cdot 10)^2}}\cdot\sqrt{\frac{28{,}0}{\sqrt{10500\cdot 600}}}=1{,}45$$

$$k_m=\frac{1}{\lambda_{rel,m}^2}=\frac{1}{1{,}45^2}=0{,}47$$

Dokaz stabilnosti prema $\mathrm{DIN}\ 1052{:}\ 2004-08$:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{k_m\cdot f_{m,d}}=\frac{4{,}25}{0{,}47\cdot 19{,}38}=0{,}47<1$$

5. Dimenzioniranje podrožnica

Djelovanja:

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

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

Vlastita težina

$$q_{G,k} = g_k \cdot \frac{a}{\cos\alpha} = 0{,}50 \cdot \frac{2{,}0}{\cos 3^\circ} = 1{,}00\ kN/m'$$

Snijeg

$$q_{S,k} = s_k \cdot \frac{a}{\cos\alpha} = 0{,}36 \cdot \frac{2{,}0}{\cos 3^\circ} = 0{,}72\ kN/m'$$

Vjetar W1

$$q_{W1,k} = w_k \cdot \frac{a}{\cos\alpha} = -0{,}95 \cdot \frac{2{,}0}{\cos 3^\circ} = -1{,}90\ kN/m'$$

5.1.KOMBINACIJA 1 →Vlastita težina "+" Snijeg

$$q_d = 1{,}35 \cdot q_{G,k} + 1{,}50 \cdot q_{S,k}$$

$$q_d = 1{,}35 \cdot 1{,}0 + 1{,}50 \cdot 0{,}72 = 2{,}43\ kN/m'$$

$$q_{z,d} = q_d \cdot \cos\alpha = 2{,}43 \cdot \cos 3^\circ = 2{,}42\ kN/m'$$

$$q_{y,d} = q_d \cdot \sin\alpha = 2{,}43 \cdot \sin 3^\circ = 0{,}12\ kN/m'$$

Rezne sile → Određene primjenom metode anvelopa na kontinuiranom nosaču čime su određeni njegovi ekstremi reznih sila u polju i iznad ležajeva nosača

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

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

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

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

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{2{,}42 \cdot 7{,}50^2}{8} = 17{,}01\ kNm$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0{,}12 \cdot 7{,}50^2}{8} = 0{,}84\ kNm$$

$$V_{y,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{z,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 2{,}42 \cdot 7{,}50 = 11{,}34\ kN$$

$$V_{z,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{y,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 0{,}12 \cdot 7{,}50 = 0{,}56\ kN$$

Mjerodavna uzdužna sila u podrožnicama:

$$N = 18{,}0\ kN\ (vlak)$$

5.1.1.1. Sekundarni nosači – Podrožnice – Van sustava stabilizacije

Van sustava stabilizacije b/h = 14/22 cm

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308\ cm^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129\ cm^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718\ cm^3$$

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

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

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

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

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

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

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

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18{,}00 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}58\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{17{,}01 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 15{,}06\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0{,}84 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 1{,}17\ N/mm^2$$

$$\tau_{y,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{11{,}34 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}55\ N/mm^2$$

$$\tau_{z,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{0{,}56 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}03\ N/mm^2$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84{,}18 < 140 \rightarrow\ k_m = 1{,}0 \quad k_{red} = 0{,}7$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

Proračun presjeka napregnutih u jednom glavnom smjeru
Primenjuje se na ravno cjelovito drvo, lijepljeno lamelirano drvo ili proizvode na osnovi drva. konstantnog presjeka čija su vlakanaca uglavnom paralelna s duljinom elementa. Pretpostavlja se da je element napregnut u smjeru samo jedne njegove glavne osi.

Vlak i dvoosno savijanje: Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}58}{11{,}42} + \frac{15{,}06}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{1{,}17}{19{,}38} = 0{,}86 < 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0{,}58}{11{,}42} + 0{,}7 \cdot \frac{15{,}06}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{1{,}17}{19{,}38} = 0{,}66 < 1{,}0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}55}{2{,}42}\right)^2 + \left(\frac{0{,}03}{2{,}42}\right)^2 = 0{,}052 < 1{,}0$$

Poprečni presjek zadovoljava.

Usvojeno b/h = 14/22 cm

5.1.1.2. Sekundarni nosači – Podrožnice – U sustavu stabilizacije

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI SENDVIČ PANELA

Dokaz nosivosti i stabilnosti koji pridržavaju tlačni pojas glavnog nosača

U sustavu stabilizacije b/h = 14/22 cm

Zamjenjujuće djelovanje (stabilizacija LLN):

$$F_d = \frac{N_d \cdot (1 - k_c)}{80}$$

Pri čemu je srednja vrijednost vlačne sile u gornjem pojasu LLN-a:

$$N_d = (1 - k_m) \cdot \frac{M_{y,d}}{h_1}$$

Koeficijent izbočavanja:

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

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h_1}{\pi \cdot b_1^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{05}}}}$$

$$l_{ef} = \frac{12{,}00}{\cos 3^\circ} = 12{,}02\ m$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{12{,}02 \cdot 10^3 \cdot (160{,}0 \cdot 10)}{\pi \cdot 180^2}} \cdot \sqrt{\frac{28{,}0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1{,}45$$

$$k_m = \frac{1}{{\lambda_{rel,m}}^2} = \frac{1}{1{,}45^2} = 0{,}47$$

$$N_d = (1 - 0{,}47) \cdot \frac{655{,}92}{1{,}60} = 217{,}27kN$$

Koeficijent izvijanja:

$$k_c = min\left\{\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - {\lambda_{rel,c}}^2}}; 1{,}0\right\}$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\mathrm{f_{c,0,k}}}{\mathrm{E_{0,05}}}}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{12{,}03 \cdot 10^3}{0{,}289 \cdot 180} = 231{,}25$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{231{,}25}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24{,}00}{10500}} = 3{,}52$$

$$k = 0{,}5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot \left(\lambda_{rel,c} - 0{,}3\right) + {\lambda_{rel,c}}^2\right]$$

$$\beta_c = 0{,}1\ za\ LLN$$

$$k = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}1 \cdot (3{,}52 - 0{,}3) + 3{,}52^2] = 6{,}85$$

$$k_c = min\left\{\frac{1}{6{,}85 + \sqrt{6{,}85^2 - 3{,}52^2}}; 1{,}0\right\} = min\{0{,}077; 1{,}0\} = 0{,}078$$

$$F_d = \frac{217{,}27 \cdot (1 - 0{,}078)}{80} = 2{,}50\ kN$$

Ove podrožnice preuzimaju opterećenja sa krovne plohe i sile stabilizacije glavnih nosača (dvoosno savijanje i tlak)

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308\ cm^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129\ cm^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718\ cm^3$$

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{c,o,d} = n \cdot \frac{F_d}{A}$$

$$n = \frac{7}{2} = 3{,}5 \ (broj\ nosača\ po\ spregu)$$

$$\sigma_{c,o,d} = 3{,}5 \cdot \frac{2{,}50 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}28\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{17{,}01 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 15{,}06\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0{,}84 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 1{,}17\ N/mm^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0{,}289 \cdot 140} = 185{,}36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0{,}183$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84{,}18 < 140 \rightarrow \ k_m = 1{,}0 \quad k_{red} = 0{,}7$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}28}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + \frac{15{,}06}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{1{,}17}{19{,}38} = 0{,}88 < 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}28}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + 0{,}7 \cdot \frac{15{,}06}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{1{,}17}{19{,}38} = 0{,}69 < 1{,}0$$

5.1.2. Spojevi glavni nosači – podrožnice

Zamjenjujuće djelovanje od izbočavanja:

$$q_d = k_1 \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot \bar{l}}$$

$$k_1 = min\left\{1; \sqrt{\frac{15}{\bar{l}}}\right\} = min\left\{1; \sqrt{\frac{15}{12{,}02}}\right\} = 1$$

$$n = \frac{7}{2} = 3{,}5$$

$$N_d = 217{,}27kN$$

$$q_d = 1 \cdot \frac{5{,}5 \cdot 217{,}27}{30 \cdot 12{,}02} = 3{,}31\ kN/m$$

Djelovanje vjetra (na jedan spreg)

$$q_{w,1,d} = \frac{q_{w,d}}{2} = \frac{-0{,}95}{2} = -0{,}48\ kN/m$$

Ukupno djelovanje:

$$q_{TOT,d} = q_d + q_{w,1,d} = 3{,}31 - 0{,}48 = 2{,}83\ kN/m'$$

Ukupno u čvorovima:

$$F_d = q_{TOT,d} \cdot \bar{a} = 2{,}83 \cdot \frac{4{,}0}{\cos 3^\circ} = -11{,}33\ kN$$

Sile u pojasevima $O_3(U_3)$ glavnog nosača

$$N_{O_3(U_3)d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}^2}{8 \cdot e} = \frac{2{,}83 \cdot 12{,}02^2}{8 \cdot 7{,}5} = 6{,}81\ kN$$

Sile u vertikalama (podrožnice)

$$N_{V_1 d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}}{2} = \frac{2{,}83 \cdot 12{,}02}{2} = 13{,}82\ kN$$

Sile u dijagonalama

$$\tan\beta = \frac{\frac{12{,}02}{4}}{7{,}5} = 0{,}40 \rightarrow \beta = 21{,}83°$$

$$N_{D_1 d} = \frac{N_{V_1 d} - \frac{F_d}{2}}{\cos\beta} = \frac{13{,}82 - \frac{11{,}33}{2}}{\cos 21{,}83°} = 8{,}78\ kN$$

5.1.3. Dokaz za podrožnice

$$\sigma_{c,0,V_1,d} = \frac{N_{V_1 d}}{A} = \frac{13{,}82 \cdot 10^3}{140 \cdot 220} = 0{,}45\ N/mm^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0{,}289 \cdot 140} = 185{,}36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0{,}183$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{17{,}01 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 15{,}06\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0{,}84 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 1{,}17\ N/mm^2$$

$$\sigma_{c,o,d} = 3{,}5 \cdot \frac{2{,}50 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}28\ N/mm^2$$

Komentar: Proračun je na strani sigurnosti jer je kod $\sigma_{c,0,V_1,d}$uzeta sila u prvoj podrožnici – vertikali sprega.

Dokaz nosivosti i stabilnosti

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1{,}0$$

$$\frac{0{,}28 + 0{,}45}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + \frac{15{,}06}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{1{,}17}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 1{,}023$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1{,}0$$

$$\frac{0{,}28 + 0{,}45}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + 0{,}7 \cdot \frac{15{,}06}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{1{,}17}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 0{,}808 < 1{,}0$$

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

$$q_d = 1{,}00 \cdot q_{G,k} - 1{,}50 \cdot q_{W1,k}$$

$$q_{z,d} = 1{,}00 \cdot q_{G,k} \cdot \cos\alpha - 1{,}50 \cdot q_{W1,k}$$

$$q_{z,d} = 1{,}00 \cdot 0{,}50 \cdot \cos 3^{\circ} - 1{,}50 \cdot 1{,}90 = -2{,}35\ kN/m'$$

$$q_{y,d} = 1{,}35 \cdot q_{G,k} \cdot \sin\alpha = 1{,}35 \cdot 0{,}50 \cdot \sin 3^{\circ} = 0{,}04\ kN/m'$$

Rezne sile → Određene primjenom metode anvelopa na kontinuiranom nosaču čime su određeni njegovi ekstremi reznih sila u polju i iznad ležajeva nosača

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

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

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

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

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{2{,}35 \cdot 7{,}50^2}{8} = 16{,}52\ kNm$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0{,}04 \cdot 7{,}50^2}{8} = 0{,}28\ kNm$$

$$V_{y,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{z,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 2{,}35 \cdot 7{,}50 = 11{,}02\ kN$$

$$V_{z,d} = \frac{5}{8} \cdot q_{y,d} \cdot l = \frac{5}{8} \cdot 0{,}04 \cdot 7{,}50 = 0{,}19\ kN$$

Mjerodavna uzdužna sila u podrožnicama:

$$N = 18{,}0\ kN\ (vlak)$$

5.2.1.1. Sekundarni nosači – Podrožnice – Van sustava stabilizacije

Van sustava stabilizacije b/h = = 14/22 cm

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308\ cm^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129\ cm^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718\ cm^3$$

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.

$\gamma_M = 1{,}30 - preporučeni\ parcijalni\ koeficijent\ za\ LLD$

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

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

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

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

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

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

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18{,}00 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}58\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16{,}52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14{,}63\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0{,}28 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 0{,}39\ N/mm^2$$

$$\tau_{y,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{11{,}02 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}53\ N/mm^2$$

$$\tau_{z,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{0{,}19 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}01\ N/mm^2$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84{,}18 < 140 \rightarrow\ k_m = 1{,}0 \quad k_{red} = 0{,}7$$

Vlak i dvoosno savijanje: Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}58}{11{,}42} + \frac{14{,}63}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{0{,}39}{19{,}38} = 0{,}66 < 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0{,}58}{11{,}42} + 0{,}7 \cdot \frac{14{,}63}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{0{,}39}{19{,}38} = 0{,}59 < 1{,}0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}53}{2{,}42}\right)^2 + \left(\frac{0{,}01}{2{,}42}\right)^2 = 0{,}047 < 1{,}0$$

Poprečni presjek zadovoljava.

Usvojeno b/h = 14/22 cm

5.2.1.2. Sekundarni nosači – Podrožnice – U sustavu stabilizacije

U sustavu stabilizacije b/h = 14/22 cm

Karakteristike poprečnog presjeka:

$$A = 14 \cdot 22 = 308\ cm^2$$

$$W_y = \frac{14 \cdot 22^2}{6} = 1129\ cm^3$$

$$W_z = \frac{22 \cdot 14^2}{6} = 718\ cm^3$$

Zamjenjujuće djelovanje (stabilizacija LLN):

$$F_d = \frac{N_d \cdot (1 - k_c)}{80}$$

Pri čemu je srednja vrijednost vlačne sile u gornjem pojasu LLN-a:

$$N_d = (1 - k_m) \cdot \frac{M_{y,d}}{h_1}$$

Koeficijent izbočavanja:

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

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{l_{ef} \cdot h_1}{\pi \cdot b_1^2}} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sqrt{E_{0,05} \cdot G_{05}}}}$$

$$l_{ef} = \frac{12{,}00}{\cos 3^\circ} = 12{,}02\ m$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{12{,}02 \cdot 10^3 \cdot (160{,}0 \cdot 10)}{\pi \cdot 180^2}} \cdot \sqrt{\frac{28{,}0}{\sqrt{10500 \cdot 600}}} = 1{,}45$$

$$k_m = \frac{1}{{\lambda_{rel,m}}^2} = \frac{1}{1{,}45^2} = 0{,}47$$

$$N_d = (1 - 0{,}47) \cdot \frac{655{,}92}{1{,}60} = 217{,}27kN$$

$$k_c = min\left\{\frac{1}{k + \sqrt{k^2 - {\lambda_{rel,c}}^2}}; 1{,}0\right\}$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\mathrm{f_{c,0,k}}}{\mathrm{E_{0,05}}}}$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_z} = \frac{12{,}03 \cdot 10^3}{0{,}289 \cdot 180} = 231{,}25$$

$$\lambda_{rel,c} = \frac{231{,}25}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24{,}00}{10500}} = 3{,}52$$

$$k = 0{,}5 \cdot \left[1 + \beta_c \cdot \left(\lambda_{rel,c} - 0{,}3\right) + {\lambda_{rel,c}}^2\right]$$

$\beta_c = 0{,}1\ za\ LLN$

$$k = 0{,}5 \cdot [1 + 0{,}1 \cdot (3{,}52 - 0{,}3) + 3{,}52^2] = 6{,}85$$

$$k_c = min\left\{\frac{1}{6{,}85 + \sqrt{6{,}85^2 - 3{,}52^2}}; 1{,}0\right\} = min\{0{,}077; 1{,}0\} = 0{,}078$$

$$F_d = \frac{217{,}27 \cdot (1 - 0{,}078)}{80} = 2{,}50\ kN$$

Ove podrožnice preuzimaju opterećenja sa krovne plohe i sile stabilizacije glavnih nosača (dvoosno savijanje i tlak)

Proračunska naprezanja:

$$\sigma_{c,o,d} = n \cdot \frac{F_d}{A}$$

$$n = \frac{7}{2} = 3{,}5 \ (broj\ nosača\ po\ spregu)$$

$$\sigma_{c,o,d} = 3{,}5 \cdot \frac{2{,}50 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}28\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16{,}52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14{,}63\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0{,}28 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 0{,}39\ N/mm^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0{,}289 \cdot 140} = 185{,}36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0{,}183$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h}{b^2} = \frac{7500 \cdot 220}{140^2} = 84{,}18 < 140 \rightarrow \ k_m = 1{,}0 \quad k_{red} = 0{,}7$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti:

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}28}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + \frac{14{,}63}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{0{,}39}{19{,}38} = 0{,}85 < 1{,}0$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}28}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + 0{,}7 \cdot \frac{14{,}63}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{0{,}39}{19{,}38} = 0{,}63 < 1{,}0$$

5.2.2. Spojevi glavni nosači – Podrožnice

Zamjenjujuće djelovanje od izbočavanja:

$$q_d = k_1 \cdot \frac{n \cdot N_d}{30 \cdot \bar{l}}$$

$$k_1 = min\left\{1; \sqrt{\frac{15}{\bar{l}}}\right\} = min\left\{1; \sqrt{\frac{15}{12{,}02}}\right\} = 1$$

$$n = \frac{7}{2} = 3{,}5$$

$$N_d = 217{,}27kN$$

$$q_d = 1 \cdot \frac{5{,}5 \cdot 217{,}27}{30 \cdot 12{,}02} = 3{,}31\ kN/m$$

Djelovanje vjetra (na jedan panel) :

$$q_{w,1,d} = \frac{q_{w,d}}{2} = \frac{-0{,}95}{2} = -0{,}48\ kN/m$$

Ukupno djelovanje:

$$q_{TOT,d} = q_d + q_{w,1,d} = 3{,}31 - 0{,}48 = 2{,}83\ kN/m'$$

Ukupno u čvorovima:

$$F_d = q_{TOT,d} \cdot \bar{a} = 2{,}83 \cdot \frac{4{,}0}{\cos 3^\circ} = -11{,}33\ kN$$

Sile u pojasevima $O_3(U_3)$ glavnog nosača

$$N_{O_3(U_3)d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}^2}{8 \cdot e} = \frac{2{,}83 \cdot 12{,}02^2}{8 \cdot 7{,}5} = 6{,}81\ kN$$

Sile u vertikalama (podrožnice)

$$N_{V_1 d} = \frac{q_{TOT,d} \cdot \bar{l}}{2} = \frac{2{,}83 \cdot 12{,}02}{2} = 13{,}82\ kN$$

Sile u dijagonalama

$$\tan\beta = \frac{\frac{12{,}02}{4}}{7{,}5} = 0{,}40 \rightarrow \beta = 21{,}83°$$

$$N_{D_1 d} = \frac{N_{V_1 d} - \frac{F_d}{2}}{\cos\beta} = \frac{13{,}82 - \frac{11{,}33}{2}}{\cos 21{,}83°} = 8{,}78\ kN$$

5.2.3. Dokaz za glavne nosače (rubni pojasevi)

Sendvič paneli spojeni su na glavne nosače u neposredno iznad gornjeg pojasa nosača. Pretpostavlja se približno jednolika raspodjela naprezanja od uvođenja sile panela u glavni nosač na 1/6 njegove visine (sudjelujuća visina).

$$\overline{h_1} = \frac{h_1}{6} = \frac{160}{6} = 26{,}67\ cm$$

$$\bar{A} = b_1 \cdot \overline{h_1} = 18{,}0 \cdot 26{,}67 = 480{,}06\ cm^2$$

Proračunsko naprezanje od panela:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{O_3(U_3)d}}{\bar{A}} = \frac{6{,}81 \cdot 10^3}{480{,}06 \cdot 10^2} = 0{,}14\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16{,}52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14{,}63\ N/mm^2$$

Koeficijenti k_c i k_m

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{4{,}005 \cdot 1000}{0{,}289 \cdot 180} = 76{,}98 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0{,}617$$

$$\frac{l_{ef} \cdot h_1}{b_1^2} = \frac{4005 \cdot 1600}{180^2} = 197{,}78 > 140 \rightarrow k_m = 1{,}0$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{14{,}63}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{0{,}14}{0{,}617 \cdot 16{,}62} = 0{,}768 < 1$$

5.2.4. Dokaz za podrožnice

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18{,}00 \cdot 10^3}{308 \cdot 10^2} = 0{,}58\ N/mm^2$$

$$\sigma_{c,0,V_1,d} = \frac{N_{V_1 d}}{A} = \frac{13{,}82 \cdot 10^3}{140 \cdot 220} = 0{,}45\ N/mm^2$$

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_{min}} = \frac{7500}{0{,}289 \cdot 140} = 185{,}36 \rightarrow (TAB) \quad k_c = 0{,}183$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{16{,}52 \cdot 10^6}{1129 \cdot 10^3} = 14{,}63\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0{,}28 \cdot 10^6}{718 \cdot 10^3} = 0{,}39\ N/mm^2$$

Dokaz nosivosti i stabilnosti

$Prema$ DIN 1052: 2004 − 08

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1{,}0$$

$$\frac{0{,}28 + 0{,}45}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + \frac{14{,}63}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{0{,}39}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 1{,}01$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d} + \sigma_{c,0,V_1,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} < 1{,}0$$

$$\frac{0{,}28 + 0{,}45}{0{,}183 \cdot 16{,}62} + 0{,}7 \cdot \frac{14{,}63}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{0{,}39}{1{,}0 \cdot 19{,}38} = 0{,}79 < 1{,}0$$

KOMNETAR: Nakon dimenzioniranja cijelog sustava dobio sam da sve opterećenje primaju paneli pa su podrožnice suvišne!

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.

Stvarna kombinacija ($\mathrm{P_k} = 0\ ;\ \mathrm{A_d} = 0$)

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

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

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

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

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 $\rightarrow$ $t_f = 30\ \text{min}$; $t_f \rightarrow$ potrebno vrijeme vatrootpornosti u min

Brzina nagorijevanja β_n drvene građe

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

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

Gubitak presjeka:

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

Dimenzije poprečnog presjeka nakon 30 min požara:

$b_{(t_f)} = b - 2 \cdot d_{(t_f)} = 18{,}0 - 2 \cdot 2{,}1 = 13{,}8\ cm$

$h_{(t_f)} = h - 2 \cdot d_{(t_f)} = 160{,}0 - 2 \cdot 2{,}1 = 155{,}8\ cm$

OSTATAK POPREČNOG PRESJEKA

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

$u_r = 2 \cdot b_{(t_f)} + 2 \cdot h_{(t_f)} = 2 \cdot 13{,}8 + 2 \cdot 155{,}8 = 339{,}2\ cm$

Površina nagorenog poprečnog presjeka:

$A_r = b_{(t_f)} \cdot h_{(t_f)} = 13{,}8 \cdot 155{,}8 = 2150{,}04\ cm^2$

$W_{y,r} = \frac{b_{(t_f)} \cdot h_{(t_f)}^{\ 2}}{6} = \frac{13{,}8 \cdot 155{,}8^2}{6} = 55829{,}37\ cm^3$

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{406{,}8 \cdot 10^6}{55829{,}37 \cdot 10^3} = 7{,}28\ N/mm^2$$

Proračunske vrijednosti čvrstoća i modula uz vrijednost koeficijenta modifikacije

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

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

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

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

$f_k \rightarrow karakteristične\ vrijednosti$ 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:

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

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{225} \cdot \frac{339{,}2 \cdot 10^{-2}}{2150{,}04 \cdot 10^{-4}} = 0{,}99$$

Za tlačnu čvrstoću paralelno sa vlakancima:

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

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{125} \cdot \frac{339{,}2 \cdot 10^{-2}}{2150{,}04 \cdot 10^{-4}} = 0{,}99$$

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

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

$$k_{mod,fi} = 1 - \frac{1}{333} \cdot \frac{339{,}2 \cdot 10^{-2}}{2150{,}04 \cdot 10^{-4}} = 0{,}99$$

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

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0{,}99 \cdot 1{,}15 \cdot \frac{28{,}0}{1{,}0} = 32{,}2\ N/mm^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0{,}99 \cdot 1{,}15 \cdot \frac{10500}{1{,}0} = 12075\ N/mm^2$$

$$G_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{G_{05}}{\gamma_{M,fi}} = 0{,}99 \cdot 1{,}15 \cdot \frac{600}{1{,}0} = 690\ N/mm^2$$

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.

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

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(12{,}0 \cdot 10^3) \cdot (155{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32{,}2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 1{,}86$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda^2_{rel,m,fi}} = \frac{1}{1{,}86^2} = 0{,}29$$

DOKAZ:

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{7{,}28}{0{,}29 \cdot 32{,}2} = 0{,}77 < 1$$

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkaže:

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

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(24{,}0 \cdot 10^3) \cdot (155{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32{,}2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 2{,}64$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{2{,}64^2} = 0{,}15$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{7{,}28}{0{,}43 \cdot 32{,}2} = 1{,}49$$

-Sustav za stabilizaciju mora biti izveden na nosacima da izdrži požar opterećenja 30 minuta

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

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

$M_{Q,d,fi} = \psi_{1,1} \cdot M_{Q,k} = 0{,}7 \cdot 397{,}68 = 278{,}38\ kNm$

$M_{d,fi} = M_{G,d,fi} + M_{Q,d,fi} = 270{,}0 - 278{,}38 = -8{,}38\ kNm$

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE POPREČNOG PRESJEKA - ANALOGNO KOMBINACIJI 1

$$\sigma_{m,y,d,fi} = \frac{M_{d,fi}}{W_{y,r}} = \frac{8{,}38 \cdot 10^6}{55829{,}37 \cdot 10^3} = 0{,}015\ N/mm^2$$

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

DOKAZ STABILNOSTI:

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

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

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.

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

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(12{,}0 \cdot 10^3) \cdot (155{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32{,}2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 1{,}86$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda^2_{rel,m,fi}} = \frac{1}{1{,}86^2} = 0{,}29$$

DOKAZ:

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{0{,}015}{0{,}29 \cdot 32{,}2} = 0{,}002 < 1$$

Ukoliko sustav za stabilizaciju otkaže:

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

$$\lambda_{rel,m,fi} = \sqrt{\frac{(24{,}0 \cdot 10^3) \cdot (155{,}8 \cdot 10)}{\pi \cdot (13{,}8 \cdot 10)^2}} \cdot \sqrt{\frac{32{,}2}{\sqrt{12075 \cdot 690}}} = 2{,}64$$

$$k_{m,fi} = \frac{1}{\lambda_{rel,m,fi}^2} = \frac{1}{2{,}64^2} = 0{,}15$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d,fi}}{k_{m,fi} \cdot f_{m,d,fi}} = \frac{0{,}015}{0{,}43 \cdot 32{,}2} = 0{,}001 < 1$$

7. Dokaz sendvič panela

Pokrov je izveden od sendvič panela izrađenih u kombinaciji ploče od složenog krupnog iverja OSB/3 i drva četinara C24, dimenzije b/h = 317/3050 mm dužine l = 15,0 m.
Veličina elementa kojeg dokazujemo iznosi 7,50 x 3,05 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.

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

$q_{y,d} = q_d \cdot \sin 10^\circ = 9{,}11 \cdot \sin 3^\circ = 0{,}48\ kN/m'$

$q_{z,d} = q_d \cdot \cos 10^\circ = 9{,}11 \cdot \cos 3^\circ = 9{,}10\ kN/m'$

Rezne sile:

$$M_{y,d} = q_{z,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 9{,}10 \cdot \frac{7{,}5^2}{8} = 63{,}98\ kNm$$

$$V_{z,d} = q_{y,d} \cdot \frac{l}{2} = 9{,}10 \cdot \frac{7{,}5}{2} = 34{,}13\ kN$$

$$M_{z,d} = q_{y,d} \cdot \frac{l^2}{8} = 0{,}48 \cdot \frac{3{,}0^2}{8} = 0{,}54\ kNm$$

$$V_{y,d} = q_{z,d} \cdot \frac{l}{2} = 0{,}48 \cdot \frac{3{,}0}{2} = 0{,}72\ kN$$

$$N = 18{,}0\ kN\ (vlak)$$

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

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

-za I profile

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

-za C profile

$b_{eff} = 80 + 360 = 440\ mm$

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:

$$\sigma_{t,o,d} = \frac{N_d}{A} = \frac{18{,}0 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}08\ N/mm^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{63{,}98 \cdot 10^6}{5614{,}27 \cdot 10^3} = 11{,}39 N/mm^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{0{,}54 \cdot 10^6}{15721{,}05 \cdot 10^3} = 0{,}03\ N/mm^2$$

$$\tau_{y,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{y,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{0{,}72 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}004\ N/mm^2$$

$$\tau_{z,d} = 1{,}5 \cdot \frac{V_{z,d}}{A} = 1{,}5 \cdot \frac{34{,}13 \cdot 10^3}{2185{,}6 \cdot 10^2} = 0{,}23\ N/mm^2$$

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

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

Vlak i dvoosno savijanje: Prema DIN 1052:2004-08

$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{0{,}08}{6{,}51} + \frac{11{,}39}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + 0{,}7 \cdot \frac{0{,}03}{19{,}38} = 0{,}601 < 1{,}0$$

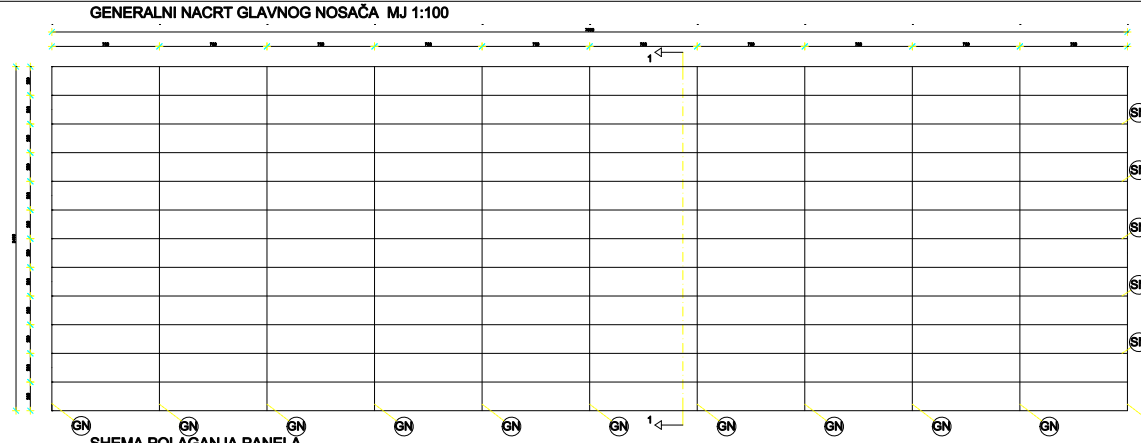
$$\frac{\sigma_{t,o,d}}{f_{t,o,d}} + k_{red} \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{k_m \cdot f_{m,d}} = \frac{0{,}08}{6{,}51} + 0{,}7 \cdot \frac{11{,}39}{1{,}0 \cdot 19{,}38} + \frac{0{,}03}{19{,}38} = 0{,}425 < 1{,}0$$

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 = \left(\frac{0{,}004}{4{,}71}\right)^2 + \left(\frac{0{,}23}{4{,}71}\right)^2 = 0{,}002 < 1{,}0$$

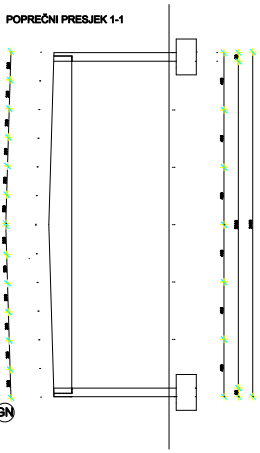
8. Literatura

- 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)

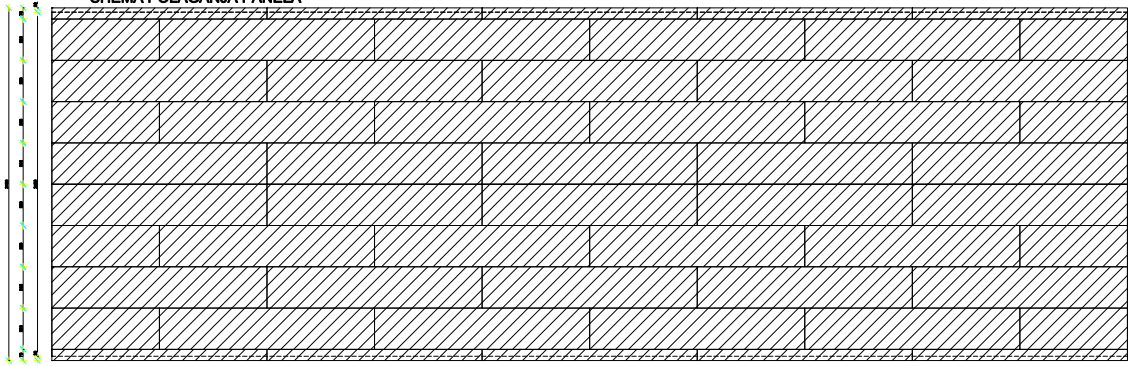
GENERALNI NACRT GLAVNOG NOSAČA MJ 1:100



POPREČNI PRESJEK 1-1



SHEMA POLAGANJA PANELA



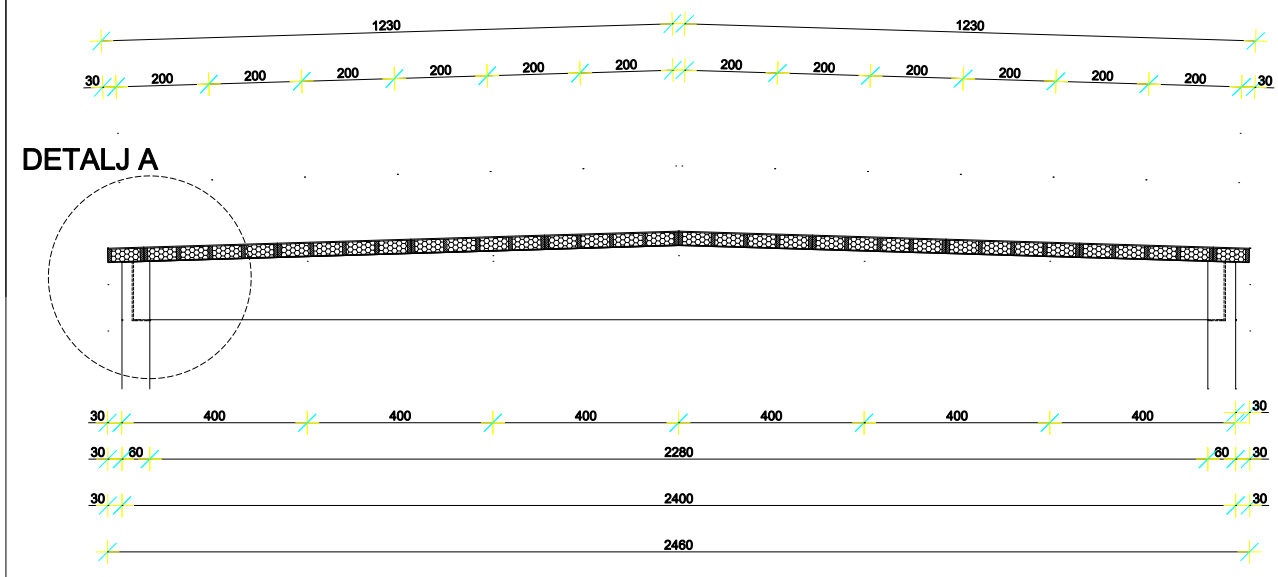
GN - Glavni nosač
SN - Sekundarni nosač

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU	
PREDMET	ODABRANE DRVENE KONSTRUKCIJE - ZAVRŠNI RAD
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA
SADRŽAJ LISTA	GENERALNI NACRT
STUDENT	ANTUN STIPIĆ

GODINA: 2020./2021.

M 1:100

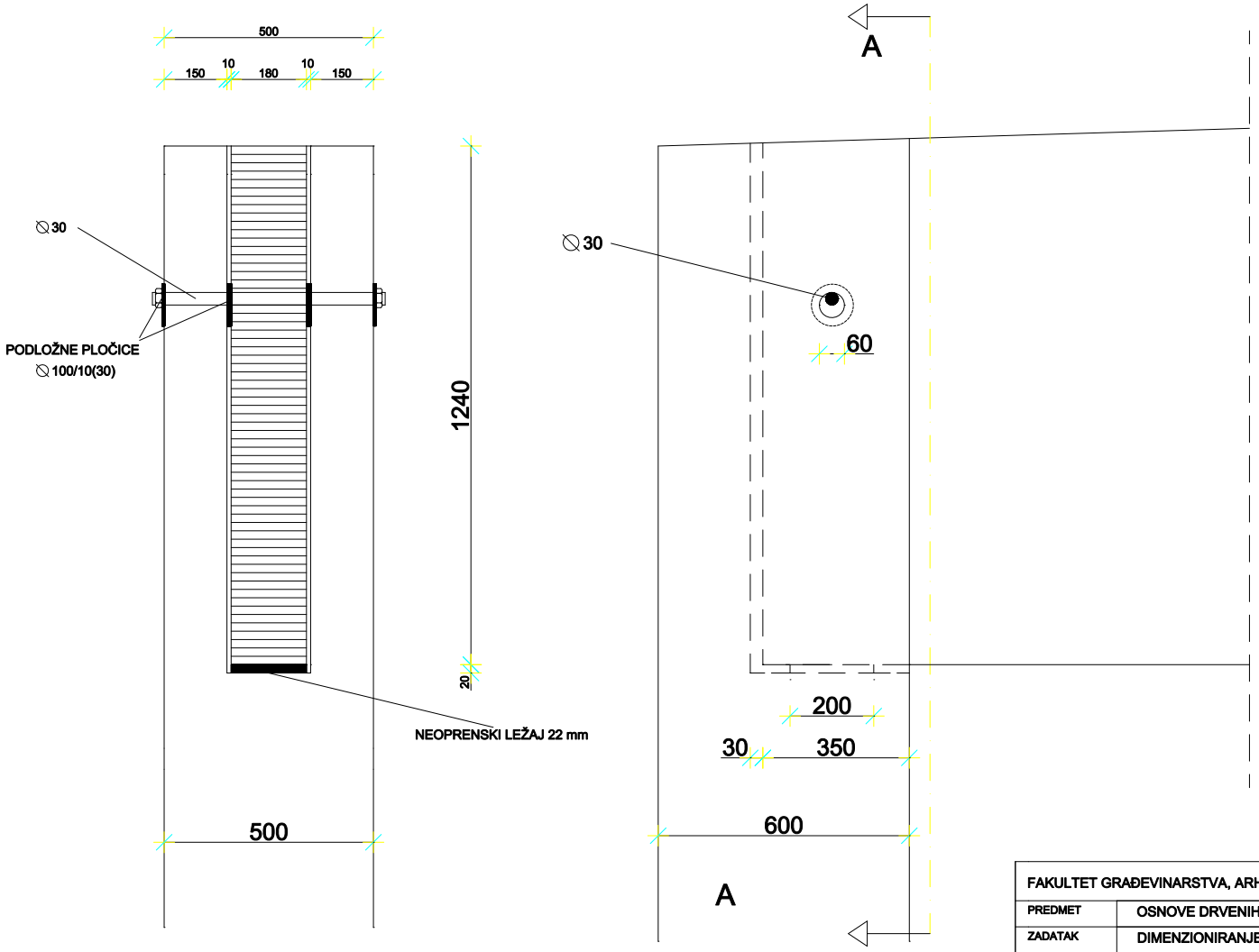
RADIONIČKI NACRT GLAVNOG NOSAČA
MJ 1:50



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU		
PREDMET	OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA - ZAVRŠNI RAD	DATUM
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA	05.09.2018
SADRŽAJ LISTA	RADIONIČKI NACRT	MJERILO:
STUDENT	ANTUN STIPIĆ	1:50

DETALJ A M1:10

PRESJEK A-A



FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE U SPLITU	
PREDMET	OSNOVE DRVENIH KONSTRUKCIJA - ZAVRŠNI RAD
ZADATAK	DIMENZIONIRANJE SUSTAVA
SADRŽAJ LISTA	DETALJ A
STUDENTI	ANTUN STEPIĆ