

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**ANA ANIĆ i PERO PERIĆ**

**MONTAŽNA  
INDUSTRIJSKA HALA**

**PROJEKTNI ZADATAK IZ KOLEGIJA  
DRVENE KONSTRUKCIJE**

**ZAGREB, 2021.**



# ***1. PROJEKTNI ZADATAK***



### ***3. DISPOZICIJA KONSTRUKCIJE***



## ***4. ANALIZA OPTEREĆENJA***



## ***5. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE ELEMENATA POKROVA***

## 5.1. STATIČKI PRORAČUN

### 5.1.1. Karakteristične vrijednosti pojedinačnih djelovanja po m<sup>2</sup> elementa pokrova

Stalno djelovanje:

$$G_k = g = 0,15 = 0,15 \text{ kN/m}^2$$

Djelovanje snijega:

$$Q_{k,s} = \cos \alpha \cdot s = \cos 14,00^\circ \cdot 1,00 = 0,97 \text{ kN/m}^2$$

Djelovanje vjetra:

$$Q_{k,w,\min} = w_{\min} = -1,63 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{k,w,\max} = w_{\max} = 0,10 \text{ kN/m}^2$$

### 6.1.2. Proračunska djelovanja po m<sup>2</sup> elementa pokrova

Proračunske vrijednosti opterećenja za kombinaciju djelovanja "snijeg + pritiskajući vjetar":

$$q_{z,d} = \gamma_Q \cdot (Q_{k,s} \cdot \cos \alpha) + \gamma_Q \cdot \psi_{1,Q,w} \cdot Q_{k,w,\max}$$

$$q_{z,d} = 1,50 \cdot (0,97 \cdot \cos 14,00^\circ) + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 0,10 = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

Proračunske vrijednosti opterećenja za kombinaciju djelovanja "snijeg + pritiskajući vjetar":

$$q_{z,d} = \gamma_Q \cdot \psi_{1,Q,s} \cdot (Q_{k,s} \cdot \cos \alpha) + \gamma_Q \cdot Q_{k,w,\max}$$

$$q_{z,d} = 1,50 \cdot 0,50 \cdot (0,97 \cdot \cos 14,00^\circ) + 1,50 \cdot 0,10 = 0,86 \text{ kN/m}^2$$

Proračunske vrijednosti opterećenja za kombinaciju djelovanja "odižujući vjetar":

$$q_{z,d} = \gamma_Q \cdot |Q_{k,w,\min}|$$

$$q_{z,d} = 1,50 \cdot |-1,63| = 2,45 \text{ kN/m}^2$$

### 6.1.3. Mjerodavna kombinacija djelovanja po m<sup>2</sup> elementa pokrova

Mjerodavna kombinacija djelovanja:

mjerodavna kombinacija djelovanja je "odižujući vjetar"

$$q_{z,d} = 2,45 \text{ kN/m}^2$$

## 6.2. DIMENZIONIRANJE ELEMENTA POKROVA

### 6.2.1. Općenito

Tip elementa:

predmetni element pokrova nominalne je debljine 50 mm te sadrži ispunu od mineralne vune

predmetni element pokrova sastavljen je od ispune i čeličnih profiliranih limova nominalne debljine 0,5 mm

Dimenzioniranje elementa prema vrijednostima iz kataloga proizvođača:

Isofire Roof

vidjeti legendu sa strane 16

RAVNOJEDRANO RESPORBENO OPTEREĆENJE	ČELIČNI LIMOVİ 0,5 / 0,5 mm - Oslonac 120 mm					ČELIČNI LIMOVİ 0,5 / 0,5 mm - Oslonac 120 mm						
	NOMINALNA DEBLJINA PANEĻA mm					NOMINALNA DEBLJINA PANEĻA mm						
	60	90	100	120	150	60	90	100	120	150		
kg/m <sup>2</sup>	Rastojanje oslonaca max cm					Rastojanje oslonaca max cm						
80	325	355	415	470	515	550	345	370	425	490	535	595
100	300	325	370	425	480	525	310	335	390	445	495	570
120	270	300	345	390	435	505	290	310	355	405	450	515
140	255	270	315	360	405	470	270	290	325	370	415	480
160	245	265	300	335	380	435	255	270	310	355	390	450
180	225	245	280	315	355	405	245	255	290	325	360	425
200	210	225	270	300	335	390	225	245	280	310	345	400
220	195	215	255	285	315	370	210	235	265	300	335	380
250	175	195	230	270	295	345	190	210	245	280	310	355

Vrijednosti proračuna za statičko dimenzioniranje u skladu sa normom EN 14509. Granični ugib 1/200 l. Tereti ravnomjerno raspoređeni u tabeli za nosivost su normalizovane vrijednosti i odnose se na promjenjiva opterećenja. Inter-ose u istoj tabeli za nosivost bile su izračunate primjenivši na ova opterećenja bezbednosne koeficijente predviđeni standardom EN 14509.

TEŽINA PANEĻA		NOMINALNA DEBLJINA PANEĻA mm							
DEBLJINA LIMVA mm		50	60	90	100	120	150	170	200
0,5 / 0,5	kg/m <sup>2</sup>	14,4	15,4	17,4	19,4	21,4	24,4	26,4	29,4
0,6 / 0,6	kg/m <sup>2</sup>	16,2	17,2	19,2	21,2	23,2	26,2	28,2	31,2

DIMENZIONALNE TOLERANCIJE (u skladu sa EN 14509)		TOLERANCIJE mm	
Duzina	L ≤ 3 m	± 5 mm	
	L > 3 m	± 10 mm	
Korisona širina	± 2 mm		
Debljina	D ≤ 100 mm	± 2 mm	
	D > 100 mm	± 2 %	
Odstupanje od uzpravnog	6 mm		
Odstupanje unutrašnji metalni nosači	± 3 mm		
Uklapanje donjih limova	F = 0 + 3 mm		
L=Duzina, D=Debljina, F=razmak između ostionaca			

TERMIČKA IZOLACIJA		U skladu sa normativom EN 14509 A. 10							
U		NOMINALNA DEBLJINA PANEĻA mm							
		50	60	90	100	120	150	170	200
W/m <sup>2</sup> K		0,78	0,65	0,50	0,41	0,34	0,28	0,24	0,20
kcal/m <sup>2</sup> h °C		0,67	0,57	0,43	0,35	0,29	0,24	0,21	0,17

U skladu sa metodom proračuna EN ISO 6946		NOMINALNA DEBLJINA PANEĻA mm							
K		50	60	90	100	120	150	170	200
W/m <sup>2</sup> K		0,72	0,61	0,44	0,36	0,30	0,25	0,22	0,19
kcal/m <sup>2</sup> h °C		0,64	0,52	0,38	0,32	0,26	0,22	0,19	0,16

REAKCIJA NA PLAMEN  
Po zahtevu, ISOPAN može da izda sljedeće certifi kate koji potvrđuju ponaranje na plamen:

REAKCIJA NA PLAMEN  
A2-S1-D0 (EN 13501-1)

OTPORNOST NA PLAMEN  
REI 30 - ISOFIRE ROOF 50 mm (EN 13501-2)  
REI 60 - ISOFIRE ROOF 80 mm (EN 13501-2)  
REI 120 - ISOFIRE ROOF 100 mm (EN 13501-2)

D=mm (od 150-300-350)  
Druga dimenzija: po zahtjevu

Dokaz nosivosti elementa:

$$\frac{Q_{Ed}}{Q_{Rd}} \leq 1,00$$

$$\frac{2,45}{2,50} = 0,98 < 1,00$$

Element nominalnih karakteristika zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 98 %.



## ***6. STATIČKI PRORAČUN I DIMENZIONIRANJE SEKUNDARNIH NOSAČA (PODROŽNICA)***



## 6.1. STATIČKI PRORAČUN

### 6.1.1. Karakteristične vrijednosti pojedinačnih djelovanja po m' nosača

Stalno djelovanje:

$$G_k = e \cdot g = 1,29 \cdot 1,05 = 1,35 \text{ kN/m'}$$

Djelovanje snijega:

$$Q_{k,s} = e \cdot (\cos \alpha \cdot s) = 1,29 \cdot (\cos 14,00^\circ \cdot 1,00) = 1,25 \text{ kN/m'}$$

Djelovanje vjetra:

$$Q_{k,w,\min} = e \cdot w_{\min} = 1,29 \cdot (-1,63) = -2,10 \text{ kN/m'}$$

$$Q_{k,w,\max} = e \cdot w_{\max} = 1,29 \cdot 0,10 = 0,13 \text{ kN/m'}$$

### 6.1.2. Projekcije proračunskih djelovanja po m' nosača na pravce osi tromosti presjeka

Proračunske vrijednosti opterećenja za kombinaciju djelovanja "stalno + snijeg":

$$q_{z,d} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,s}) \cdot \cos \alpha$$

$$q_{z,d} = (1,35 \cdot 1,35 + 1,50 \cdot 1,25) \cdot \cos 14,00^\circ = 3,60 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,s}) \cdot \sin \alpha$$

$$q_{y,d} = (1,35 \cdot 1,35 + 1,50 \cdot 1,25) \cdot \sin 14,00^\circ = 0,90 \text{ kN/m'}$$

Proračunske vrijednosti opterećenja za kombinaciju djelovanja "stalno + vjetar":

$$q_{z,d} = (\gamma_G \cdot G_k) \cdot \cos \alpha + \gamma_Q \cdot Q_{k,w,\max}$$

$$q_{z,d} = (1,35 \cdot 1,35) \cdot \cos 14,00^\circ + 1,50 \cdot 0,13 = 1,97 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = (\gamma_G \cdot G_k) \cdot \sin \alpha$$

$$q_{y,d} = (1,35 \cdot 1,35) \cdot \sin 14,00^\circ = 0,44 \text{ kN/m'}$$

Proračunske vrijednosti opterećenja za kombinaciju djelovanja "stalno + snijeg + vjetar":

$$q_{z,d} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,s}) \cdot \cos \alpha + \gamma_Q \cdot \psi_{1,Q,w} \cdot Q_{k,w,\max}$$

$$q_{z,d} = (1,35 \cdot 1,35 + 1,50 \cdot 1,25) \cdot \cos 14,00^\circ + 1,50 \cdot 0,60 \cdot 0,13 = 3,71 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,s}) \cdot \sin \alpha$$

$$q_{y,d} = (1,35 \cdot 1,35 + 1,50 \cdot 1,25) \cdot \sin 14,00^\circ = 0,90 \text{ kN/m'}$$

Proračunske vrijednosti opterećenja za kombinaciju djelovanja "stalno + vjetar + snijeg":

$$q_{z,d} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_{1,Q,s} \cdot Q_{k,s}) \cdot \cos \alpha + \gamma_Q \cdot Q_{k,w,\max}$$

$$q_{z,d} = (1,35 \cdot 1,35 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 1,25) \cdot \cos 14,00^\circ + 1,50 \cdot 0,13 = 2,88 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = (\gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot \psi_{1,Q,s} \cdot Q_{k,s}) \cdot \sin \alpha$$

$$q_{y,d} = (1,35 \cdot 1,35 + 1,50 \cdot 0,50 \cdot 1,25) \cdot \sin 14,00^\circ = 0,67 \text{ kN/m'}$$

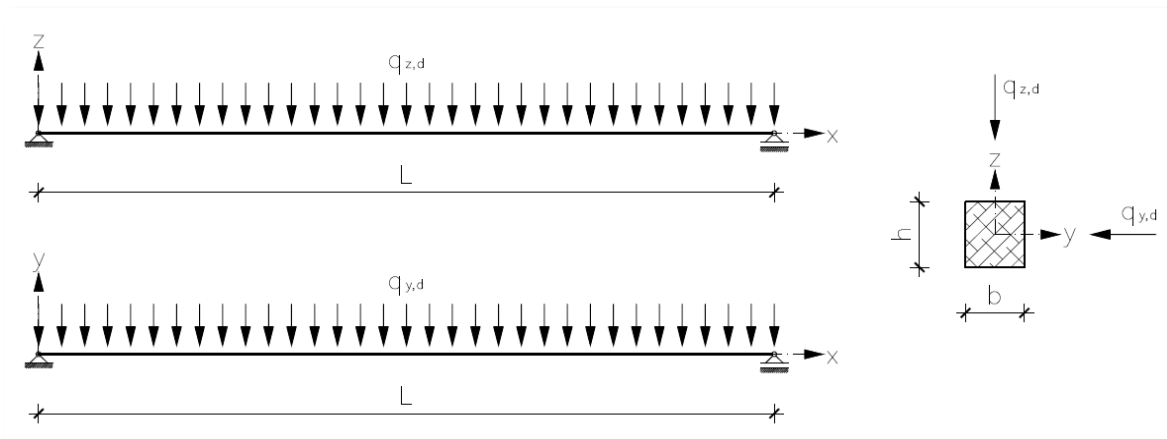
### 6.1.3. Mjerodavna kombinacija djelovanja po m' nosača na pravce osi tromosti presjeka

Mjerodavna kombinacija djelovanja:

mjerodavna kombinacija djelovanja je "stalno + snijeg + vjetar"

$$q_{z,d} = 3,71 \text{ kN/m'}$$

$$q_{y,d} = 0,90 \text{ kN/m'}$$



### 6.1.4. Statički proračun nosača

Statički proračun unutarnjih momenata:

$$M_{y,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l^2}{8} = \frac{3,71 \cdot 4,00^2}{8} = 7,42 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l^2}{8} = \frac{0,90 \cdot 4,00^2}{8} = 1,79 \text{ kNm}$$

Statički proračun reakcija na osloncima:

$$V_{z,d} = \frac{q_{z,d} \cdot l}{2} = \frac{3,71 \cdot 4,00}{2} = 7,42 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = \frac{q_{y,d} \cdot l}{2} = \frac{0,90 \cdot 4,00}{2} = 1,79 \text{ kN}$$

$$V_d = \sqrt{V_{z,d}^2 + V_{y,d}^2} = \sqrt{7,42^2 + 1,79^2} = 7,64 \text{ kN}$$

$$F_{c,90,d} = V_{z,d} = 7,42 \text{ kN}$$

### 6.1.5. Provjera na odizanje pokrova i potkonstrukcije

Statički proračun odizujuće reakcije na osloncima:

$$F_{uw,90,d} = \frac{|1,50 \cdot Q_{k,w,min} + (1,00 \cdot G_k) \cdot \cos \alpha| \cdot l}{2} = \frac{|1,50 \cdot (-2,10) + (1 \cdot 1,35) \cdot \cos 14,00^\circ| \cdot 4,00}{2}$$

$$F_{uw,90,d} = 3,68 \text{ kN}$$

Dokaz nosivosti na odizanje:

$$\frac{|1,50 \cdot Q_{k,w,min}|}{(1,00 \cdot G_k) \cdot \cos \alpha} \leq 1,00$$

$$\frac{|1,50 \cdot (-2,10)|}{1,00 \cdot 1,35 \cdot \cos 14,00^\circ} = 2,40 > 1,00$$

Element presjeka 140/180 mm ne zadovoljava uvjete nosivosti na odižuće djelovanje vjetra, stoga je potrebno primijeniti sustav pridržanja prikladan za sprječavanje odizanja pokrova i potkonstrukcije koji će na svakom od oslonaca moći preuzeti silu od 3,68 kN.

### **6.1.6. Određivanje faktora izmjene za trajanje opterećenja i sadržaj vlage**

Koeficijent modifikacije:

klasa uporabljivosti je 2

najkraće, tj. mjerodavno opterećenje je kratkotrajno

$$k_{mod} = 0,90$$

### **6.1.7. Određivanje parcijalnog koeficijenta za svojstva materijala**

Parcijalni koeficijent za materijal:

materijal je lijepljeno lamelirano drvo klase GL24h

$$\gamma_M = 1,30$$

## 6.2. DIMENZIONIRANJE PREMA KRAJNJEM GRANIČNOM STANJU

### 6.2.1. Provjera nosivosti na posmik u ležaju

Proračunska vrijednost posmičnog naprezanja:

$$\tau_{v,d} = \frac{V_d}{A_{eff}} = \frac{V_d}{b_{eff} \cdot h_a} = \frac{V_d}{k_{cr} \cdot b \cdot h_a} = \frac{7,64 \cdot 10^3}{0,67 \cdot 140 \cdot 180} = 0,45 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja oslabljenja poprečnog presjeka elementa:

predmetni element nije oslabljen na opterećenom rubu (nije zasječen na osloncu)

$$k_v = 1,00$$

Proračunska vrijednost posmične čvrstoće:

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,70}{1,30} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na posmik:

$$\frac{\tau_{v,d}}{k_v \cdot f_{v,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{0,45}{1,00 \cdot 1,87} = 0,24 < 1,00$$

Element presjeka 140/180 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 24 %.

### 6.2.2. Provjera nosivosti na tlak okomito na vlakanca u ležaju

Proračunska vrijednost tlačnog naprezanja okomito na vlakanca:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{a,eff}} = \frac{F_{c,90,d}}{b_a \cdot l_a} = \frac{7,42 \cdot 10^3}{140 \cdot 80} = 0,66 \text{ N/mm}^2$$

Koeficijent utjecaja konfiguracije opterećenja, mogućnosti cijepanja i stupnja gnječenja:

predmetni element oslonjen je cijelom širinom svog presjeka na gornji pojas glavnog nosača

$$b_a = 140 \text{ mm}$$

predmetni element oslonjen je do polovice širine presjeka gornjeg pojasa glavnog nosača

$$l_a = 80 \text{ mm}$$

predmetni element oslonjen je diskretno i kontinuirano opterećen cijelom duljinom, pri čemu je  $l_1 < 2 \cdot h$

$$k_{c,90} = 1,00$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće okomito na vlakanca:

$$f_{c,90,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,90,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{2,70}{1,30} = 1,87 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na tlak okomito na vlakanca:

$$\frac{\sigma_{c,90,d}}{k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{0,66}{1,00 \cdot 1,87} = 0,35 < 1,00$$

Element presjeka 140/180 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 35 %.

### 6.2.3. Provjera nosivosti na savijanje (bez dokaza stabilnosti) u polju

Koeficijent oblika poprečnog presjeka napregnutog savijanjem:

predmetni element je pravokutnog poprečnog presjeka

$$k_m = 0,70$$

Proračunska vrijednost naprezanja od savijanja:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{M_{y,d}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = \frac{7,42 \cdot 10^6}{\frac{140 \cdot 180^2}{6}} = 9,82 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{M_{z,d}}{\frac{b^2 \cdot h}{6}} = \frac{1,79 \cdot 10^6}{\frac{140^2 \cdot 180}{6}} = 3,05 \text{ N/mm}^2$$

Proračunska vrijednost čvrstoće na savijanje:

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,90 \cdot \frac{24,00}{1,30} = 16,62 \text{ N/mm}^2$$

Dokaz nosivosti elementa na savijanje:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$\frac{9,82}{16,62} + 0,70 \cdot \frac{3,05}{16,62} = 0,72 < 1,00$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1,00$$

$$0,70 \cdot \frac{9,82}{16,62} + \frac{3,05}{16,62} = 0,60 < 1,00$$

Element presjeka 140/180 mm zadovoljava uvjete nosivosti uz iskoristivost 72 %.

## 6.3. DIMENZIONIRANJE PREMA GRANIČNOM STANJU UPORABIVOSTI

### 6.3.1. Karakteristične vrijednosti progiba od stalnog djelovanja

Statički proračun unutarnjih momenata o stalnog djelovanja:

$$M_{y,d}^{G_k} = \frac{(G_k \cdot \cos \alpha) \cdot l^2}{8} = \frac{(1,35 \cdot \cos 14,00^\circ) \cdot 4,00^2}{8} = 2,63 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d}^{G_k} = \frac{(G_k \cdot \sin \alpha) \cdot l^2}{8} = \frac{(1,35 \cdot \sin 14,00^\circ) \cdot 4,00^2}{8} = 0,66 \text{ kNm}$$

Karakteristične vrijednosti progiba od stalnog djelovanja u pravcima osi tromosti presjeka:

$$u_{inst,z}^{G_k} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{G_k} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I_y} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{G_k}}{G_{0,mean} \cdot A} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{G_k} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{G_k}}{G_{0,mean} \cdot b \cdot h}$$

$$u_{inst,z}^{G_k} = \frac{5}{48} \cdot \frac{2,63 \cdot 10^6 \cdot 4000^2}{11600 \cdot \frac{140 \cdot 180^3}{12}} + 1,20 \cdot \frac{2,63 \cdot 10^6}{720 \cdot 140 \cdot 180} = 5,72 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y}^{G_k} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{z,d}^{G_k} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I_z} + 1,20 \cdot \frac{M_{z,d}^{G_k}}{G_{0,mean} \cdot A} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{z,d}^{G_k} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot \frac{b^3 \cdot h}{12}} + 1,20 \cdot \frac{M_{z,d}^{G_k}}{G_{0,mean} \cdot b \cdot h}$$

$$u_{inst,y}^{G_k} = \frac{5}{48} \cdot \frac{0,66 \cdot 10^6 \cdot 4000^2}{11600 \cdot \frac{140^3 \cdot 180}{12}} + 1,20 \cdot \frac{0,66 \cdot 10^6}{720 \cdot 140 \cdot 180} = 2,33 \text{ mm}$$

Karakteristična početna vrijednost progiba od stalnog djelovanja:

$$u_{inst}^{G_k} = \sqrt{u_{inst,z}^{G_k}{}^2 + u_{inst,y}^{G_k}{}^2} = \sqrt{5,72^2 + 2,33^2} = 6,18 \text{ mm}$$

Koeficijent deformacije za stalno djelovanje:

klasa uporabljivosti je 2

predmetno opterećenje je stalno

$$k_{def,G} = 0,80$$

### 6.3.2. Karakteristične vrijednosti progiba od djelovanja snijega

Statički proračun unutarnjih momenata od djelovanja snijega:

$$M_{y,d}^{Q_{k,s}} = \frac{(Q_{k,s} \cdot \cos \alpha) \cdot l^2}{8} = \frac{(1,25 \cdot \cos 14,00^\circ) \cdot 4,00^2}{8} = 2,43 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d}^{Q_{k,s}} = \frac{(Q_{k,s} \cdot \sin \alpha) \cdot l^2}{8} = \frac{(1,25 \cdot \sin 14,00^\circ) \cdot 4,00^2}{8} = 0,61 \text{ kNm}$$

Karakteristične vrijednosti progiba od djelovanja snijega u pravcima osi tromosti presjeka:

$$u_{inst,z}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I_y} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}}}{G_{0,mean} \cdot A} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}}}{G_{0,mean} \cdot b \cdot h}$$

$$u_{inst,z}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{2,43 \cdot 10^6 \cdot 4000^2}{11600 \cdot \frac{140 \cdot 180^3}{12}} + 1,20 \cdot \frac{2,43 \cdot 10^6}{720 \cdot 140 \cdot 180} = 5,29 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{z,d}^{Q_{k,s}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I_z} + 1,20 \cdot \frac{M_{z,d}^{Q_{k,s}}}{G_{0,mean} \cdot A} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot \frac{b^3 \cdot h}{12}} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,s}}}{G_{0,mean} \cdot b \cdot h}$$

$$u_{inst,y}^{Q_{k,s}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{0,61 \cdot 10^6 \cdot 4000^2}{11600 \cdot \frac{140^3 \cdot 180}{12}} + 1,20 \cdot \frac{0,61 \cdot 10^6}{720 \cdot 140 \cdot 180} = 2,15 \text{ mm}$$

Karakteristična početna vrijednost progiba od djelovanja snijega:

$$u_{inst}^{Q_{k,s}} = \sqrt{u_{inst,z}^{Q_{k,s}^2} + u_{inst,y}^{Q_{k,s}^2}} = \sqrt{5,29^2 + 2,15^2} = 5,71 \text{ mm}$$

Koeficijent deformacije za djelovanje snijega:

klasa uporabljivosti je 2

predmetno opterećenje je srednjetrojno

$$k_{def,s} = 0,25$$

### 6.3.3. Karakteristične vrijednosti progiba od djelovanja vjetra

Statički proračun unutarnjih momenata od djelovanja vjetra:

$$M_{y,d}^{Q_{k,w}} = \frac{Q_{k,w} \cdot l^2}{8} = \frac{0,13 \cdot 4,00^2}{8} = 0,26 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d}^{Q_{k,w}} = 0,00 \text{ kNm}$$

Karakteristične vrijednosti progiba od djelovanja vjetra u pravcima osi tromosti presjeka:

$$u_{inst,z}^{Q_{k,w}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,w}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I_y} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,w}} \cdot l^2}{G_{0,mean} \cdot A} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,w}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,w}}}{G_{0,mean} \cdot b \cdot h}$$

$$u_{inst,z}^{Q_{k,w}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{0,26 \cdot 10^6 \cdot 4000^2}{11600 \cdot \frac{140 \cdot 180^3}{12}} + 1,20 \cdot \frac{0,26 \cdot 10^6}{720 \cdot 140 \cdot 180} = 0,56 \text{ mm}$$

$$u_{inst,y}^{Q_{k,w}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{z,d}^{Q_{k,w}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot I_z} + 1,20 \cdot \frac{M_{z,d}^{Q_{k,w}}}{G_{0,mean} \cdot A} = \frac{5}{48} \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,w}} \cdot l^2}{E_{0,mean} \cdot \frac{b^3 \cdot h}{12}} + 1,20 \cdot \frac{M_{y,d}^{Q_{k,w}}}{G_{0,mean} \cdot b \cdot h}$$

$$u_{inst,y}^{Q_{k,w}} = \frac{5}{48} \cdot \frac{0,00 \cdot 10^6 \cdot 4000^2}{11600 \cdot \frac{140^3 \cdot 180}{12}} + 1,20 \cdot \frac{0,00 \cdot 10^6}{720 \cdot 140 \cdot 180} = 0,00 \text{ mm}$$

Karakteristična početna vrijednost progiba od djelovanja vjetra:

$$u_{inst}^{Q_{k,w}} = \sqrt{u_{inst,z}^{Q_{k,w}^2} + u_{inst,y}^{Q_{k,w}^2}} = \sqrt{0,56^2 + 0,00^2} = 0,56 \text{ mm}$$

Koeficijent deformacije za djelovanje vjetra:

klasa uporabljivosti je 2

predmetno opterećenje je kratkotrajno

$$k_{def,W} = 0,00$$

### 6.3.4. Proračunska vrijednost progiba od promjenjivih djelovanja i ukupnog progiba

Proračunske vrijednosti progiba za kombinaciju djelovanja "stalno + snijeg":

$$u_{2,inst} = (1 + k_{def,S}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,s}}$$

$$u_{2,inst} = (1 + 0,25) \cdot 5,71 = 7,14 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = (1 + k_{def,G}) \cdot u_{inst}^{G_k} + (1 + k_{def,S}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,s}}$$

$$u_{net,fin} = (1 + 0,80) \cdot 6,18 + (1 + 0,25) \cdot 5,71 = 18,27 \text{ mm}$$

Proračunske vrijednosti progiba za kombinaciju djelovanja "stalno + vjetar":

$$u_{2,inst} = (1 + k_{def,W}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,w}}$$

$$u_{2,inst} = (1 + 0,00) \cdot 0,56 = 0,56 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = (1 + k_{def,G}) \cdot u_{inst}^{G_k} + (1 + k_{def,W}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,w}}$$

$$u_{net,fin} = (1 + 0,80) \cdot 6,18 + (1 + 0,00) \cdot 0,56 = 11,69 \text{ mm}$$

Proračunske vrijednosti progiba za kombinaciju djelovanja "stalno + snijeg + vjetar":

$$u_{2,inst} = (1 + k_{def,S}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,s}} + \psi_{2,Q,w} \cdot (1 + k_{def,W}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,w}}$$

$$u_{2,inst} = (1 + 0,25) \cdot 5,71 + 0,50 \cdot (1 + 0,00) \cdot 0,56 = 7,42 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = (1 + k_{def,G}) \cdot u_{inst}^{G_k} + (1 + k_{def,S}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,s}} + \psi_{2,Q,w} \cdot (1 + k_{def,W}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,w}}$$

$$u_{net,fin} = (1 + 0,80) \cdot 6,18 + (1 + 0,25) \cdot 5,71 + 0,50 \cdot (1 + 0,00) \cdot 0,56 = 18,55 \text{ mm}$$

Proračunske vrijednosti progiba za kombinaciju djelovanja "stalno + vjetar + snijeg":

$$u_{2,inst} = \psi_{2,Q,s} \cdot (1 + k_{def,S}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,s}} + (1 + k_{def,W}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,w}}$$

$$u_{2,inst} = 0,20 \cdot (1 + 0,25) \cdot 5,71 + (1 + 0,00) \cdot 0,56 = 1,99 \text{ mm}$$

$$u_{net,fin} = (1 + k_{def,G}) \cdot u_{inst}^{G_k} + \psi_{2,Q,s} \cdot (1 + k_{def,S}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,s}} + (1 + k_{def,W}) \cdot u_{inst}^{Q_{k,w}}$$

$$u_{net,fin} = (1 + 0,80) \cdot 6,18 + 0,20 \cdot (1 + 0,25) \cdot 5,71 + (1 + 0,00) \cdot 0,56 = 13,12 \text{ mm}$$

### 6.3.5. Provjera uporabivosti

Granična vrijednost progiba:

$$\max u_{2,inst} = \frac{l}{300} = \frac{4000}{300} = 13,33 \text{ mm}$$

$$\max u_{net,fin} = \frac{l}{200} = \frac{4000}{200} = 20,00 \text{ mm}$$

Mjerodavna vrijednost progiba:

mjerodavna kombinacija djelovanja je "stalno + snijeg + vjetar"

$$u_{2,inst} = 7,42 \text{ mm}$$





$$u_{\text{net,fin}} = 18,55 \text{ mm}$$

Dokaz uporabivosti elementa:

$$\frac{u_{z,\text{inst}}}{1} \leq 1,00$$

$$\frac{7,42}{13,33} = 0,56 < 1,00$$

$$\frac{u_{\text{net,fin}}}{1} \leq 1,00$$

$$\frac{18,55}{20,00} = 0,93 < 1,00$$

Element presjeka 140/180 mm zadovoljava uvjete uporabivosti uz iskoristivost 93 %