

# Statična presoja namestitve fotovoltaične elektrarne

**SE DU Kranj**

Cesta 1. maja 59, 4000 Kranj

Izdelal: Luka Žugič, dipl. inž. gradb., GIRI d.o.o

Pooblaščen inženir: Igor Žugič, univ. dipl. inž. gradb., GIRI d.o.o

Vrsta projekta: Statična presoja št.: 1-002/2025

Naročnik: Gorenjske elektrarne d.o.o., Stara cesta 3, 4000 Kranj

Kraj in Datum: Ljubljana, januar 2025

## 1. Splošno

### 1.1 Uvod

Investitor namerava na strehi doma upokoјencev Kranj (parc. št. 150/4, k.o. 2122 Huje, št. stavbe 632) na naslovu Cesta 1. maja 59, 4000 Kranj, postaviti fotovoltaično elektrarno naležne izvedbe.

Pričakovana obtežba naležne elektrarne je 0,15 kN/m<sup>2</sup>. Skladno s Evrokodi se izvede statična presoja vplivov na strehi in morebitne ukrepe oz. sanacijska dela. V primeru presega dovoljenih obtežb, se določi maksimalna dovoljena obtežba sončne elektrarne na strehi.

Podlaga za preveritev je:

- Terenski ogled objekta, izvedel Luka Žugič, 15.1.2025



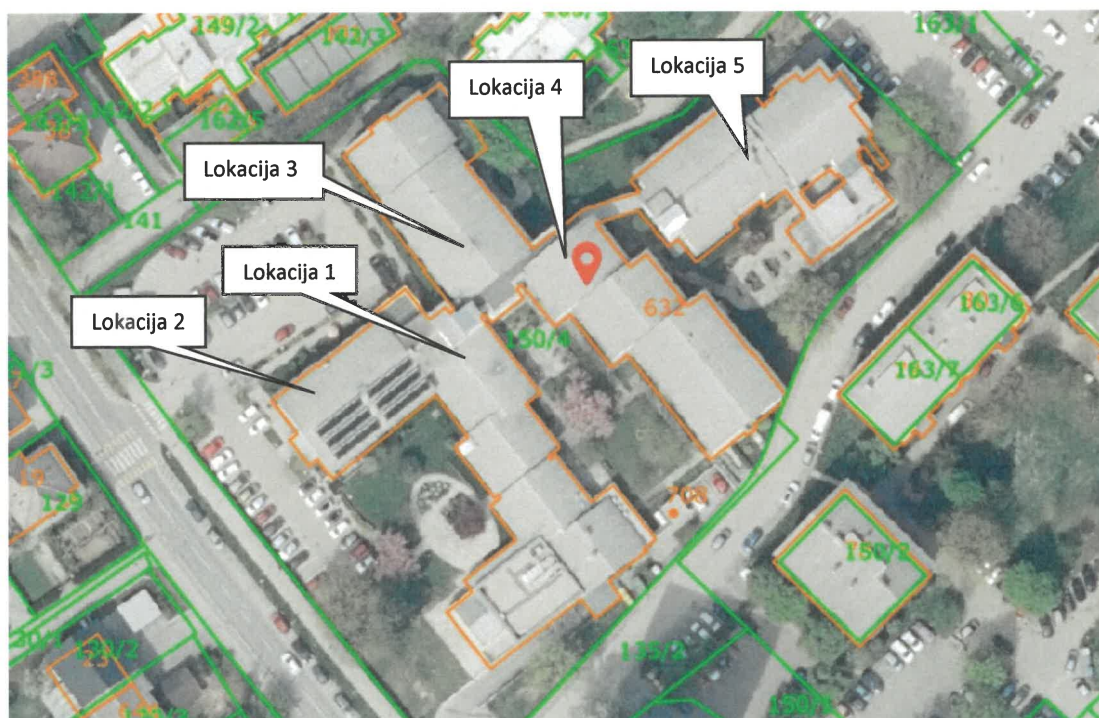
Slika 1: Pregledna situacija



Slika 2: Prikaz postavitve fotovoltaičnih modulov

## 1.2 Opis objekta

Objekt je po podatkih geodetske uprave letnika izgradnje 1973. Gre za armiranobetonsko zgradbo z lesenimi ostrešji. Nakloni strehe so okoli  $13^\circ$ . Kritina je vlaknocementna valovitka.



Slika 3: Lokacije ogleda ostrešij



Na 1. Lokaciji je ostrešje sestavljeno iz 11/13 cm špirovcev, ki so postavljeni na medsebojni razdalji 0,95 m. Naslonjeni so na krajni in vmesni legi, na slemenu pa se stikajo. Razdalja med legama je 4,0 m. Lega 15/21 cm je podprta na razdalji 3,0 m na AB nosilcih. Vlaknocementna valovita kritina je postavljena na letve 5/5 cm na medsebojni razdalji 0,55 m.



Slika 4: Ostrešje na 1. lokaciji

Na 2. Lokaciji je ostrešje sestavljeno iz 11/13 cm špirovcev, ki so postavljeni na medsebojni razdalji 0,95 m. Naslonjeni so na krajni vmesni in slemensko lego . Razdalja med legami je 3,80 m. Lega 17/17 cm je podprta na razdalji 2,6 m na lesenih tramovih z dodanimi diagonalami. Vlaknocementna valovita kritina je postavljena na letve 5/8 cm na medsebojni razdalji 1,00 m.



Slika 5: Ostrešje na 2. lokaciji

Na 3. Lokaciji je ostrešje sestavljeno iz 11/13 cm špirovcev, ki so postavljeni na medsebojni razdalji 0,95 m. Naslonjeni so na krajni in vmesni legi, na slemenu pa se stikajo. Razdalja med legama je 4,0 m. Lega 15/21 cm je podprta na razdalji 3,0 m na AB nosilcih. Vlaknocementna valovita kritina je postavljena na letve 5/8 cm in 5/5 cm na medsebojni razdalji 0,55 m.



Slika 6: Ostrešje na 3. Lokaciji





Slika 7: Streha na 3. Lokaciji

Na 4. Lokaciji je ostrešje sestavljeno iz 11/13 cm špirovcev, ki so postavljeni na medsebojni razdalji 0,95 m. Naslonjeni so na krajni in vmesni legi, na slemenu pa se stikajo. Razdalja med legama je 4,0 m. Lega 15/21 cm je podprta na razdalji 3,0 m na jeklenih sestavljenih nosilcih. Vlaknocementna valovita kritina je postavljena na letve 5/8 cm in 5/5 cm na medsebojni razdalji 0,55 m.



Slika 8: Ostrešje na 4. Lokaciji





Slika 9: Streha na 4. Lokaciji

Na 5. Lokaciji je ostrešje sestavljeno iz 11/13 cm špirovcev, ki so postavljeni na medsebojni razdalji 0,95 m. Naslonjeni so na krajni in vmesni in slemenski legi. Razdalja med legama je 3,90 m. Lega 15/21 cm je podprta na razdalji 3,77 m na AB nosilcih. Vlaknocementna valovita kritina je postavljena na letve 5/8 cm na medsebojni razdalji 1,10 m.



Slika 10: Ostrešje na 5. lokaciji

## 2. Analiza obtežb

Objekt je glede na letnico izvedbe projektiran po standardih bivše SFRJ. Karakteristična obtežba snega, ki je prevladujoča obtežba strehe, je bila 1,25 kN/m<sup>2</sup>.

SIST EN 1991-1-3 standard, ki je v uporabi danes določa obtežbo snega glede na geografsko cono, nadmorsko višino in nacionalni dodatek.

Objekt stoji v coni A3 na nadmorski višini 384,1 m. Iz tega sledi:

$$s = \mu_i * c_e * c_t * s_k$$

$\mu_i$ ... oblikovni koeficient obtežbe snega

$c_e$ ... koeficient izpostavljenosti (za teren izpostavljen vetru je koef. 0,8, drugače 1)

$c_t$ ... toplotni koeficient (za izolirane strehe je 1,0)

$s_k$ ... karakteristična obtežba snega

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 2,47 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1,98 \text{ kN/m}^2}$$

Obtežba snega po današnjih standardih je za 0,73 kN/m<sup>2</sup> višja od prvotno projektirane. Dodana je še obtežba fotovoltaične elektrarne (0,15 kN/m<sup>2</sup>).

V nadaljevanju je s programom Tower 8.5 preverjeno leseno ostrešje na lokaciji 1:



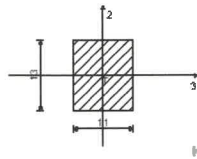
### Vhodni podatki - Konstrukcija

#### Tabele materialov

No	Naziv materiala	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\mu$	$\alpha$ (1/°C)	$E_m$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\mu_m$
1	C24	1.100e+7	0.20	4.20	1.000e+5	1.100e+7 0.20

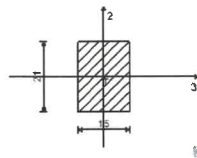
#### Seti gred

##### Set: 1 Prevez b/d=11/13, Fiktivna ekscentričnost



Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C24	1.430e-2	1.192e-2	1.192e-2	2.824e-5	1.442e-5	2.014e-5

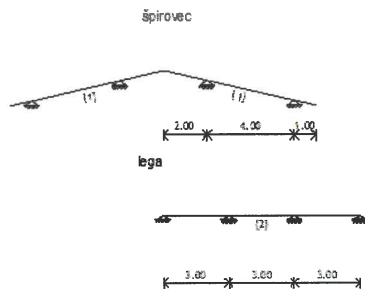
##### Set: 2 Prevez b/d=15/21, Fiktivna ekscentričnost



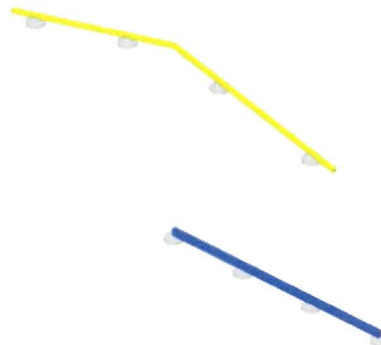
Mat.	A1	A2	A3	I1	I2	I3
1 - C24	3.150e-2	2.625e-2	2.625e-2	1.322e-4	5.906e-5	1.166e-4

#### Seti točkovnih podpor

Set	K.R1	K.R2	K.R3	K.M1	K.M2	K.M3
1			1.000e+10			
2	1.000e+10	1.000e+10	1.000e+10			



Greda
1. b/d=11/13
2. b/d=15/21



Seti numeričnih podatkov  
Greda (1,2)

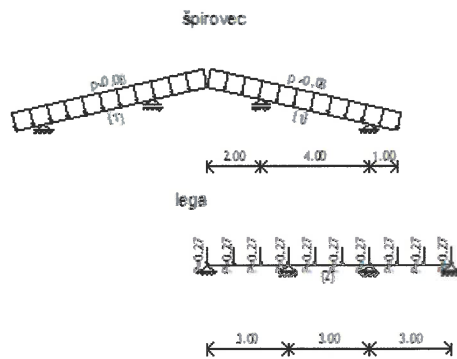
## Vhodni podatki - Obtežba

Lista obtežnih primerov

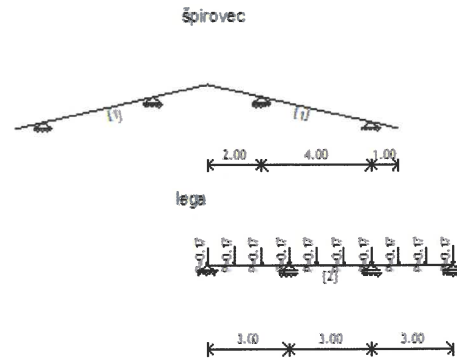
LC	Naziv
1	krov (g)
2	špirovec
3	sneg

4	sončna
5	Komb.: MSN (1.35d+1.35dI+1.5dII+1.35c/V)

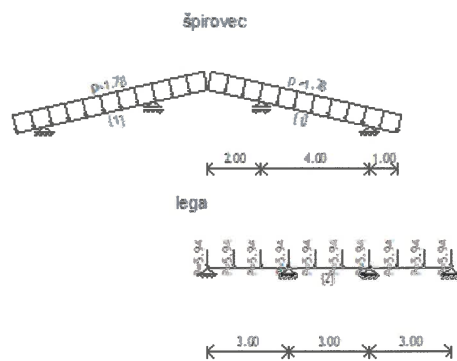
Obt. 1: krov (g)



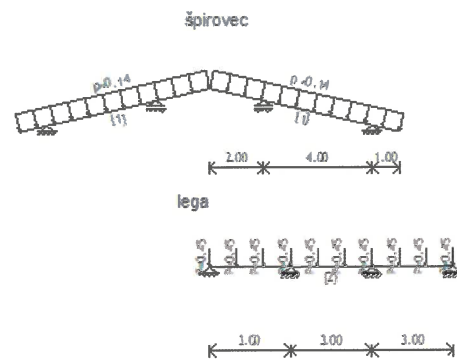
Obt. 2: špirovci



Obt. 3: sneg



Obt. 4: sončna

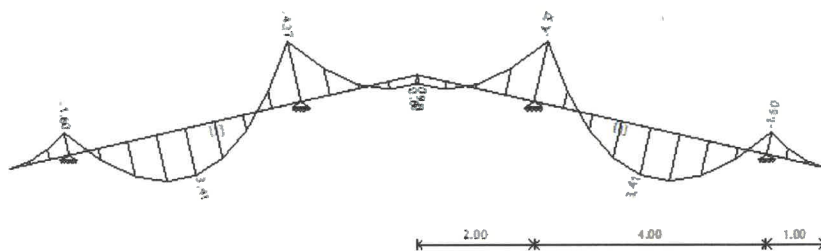




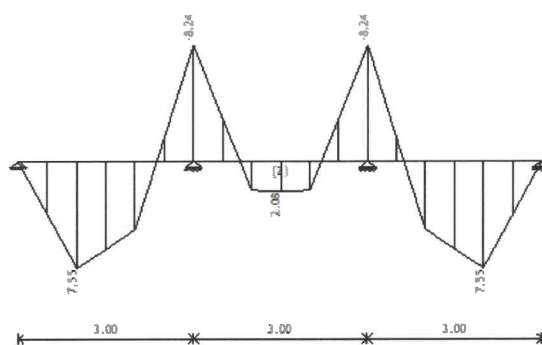
# Statični preračun

Obt. 5: MSN

špirovec



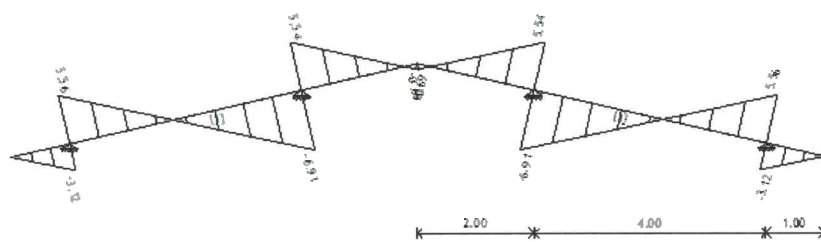
lega



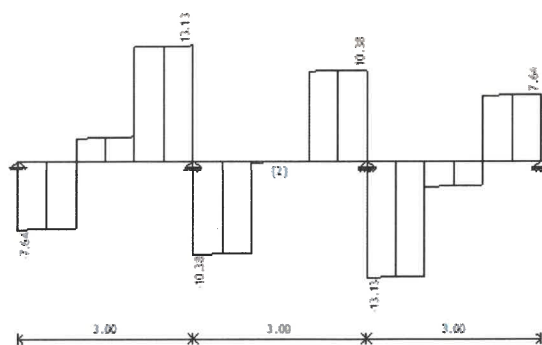
Vplivi v gredi: max M3= 7.55 / min M3= -8.24 kNm

Obt. 5: MSN

špirovec

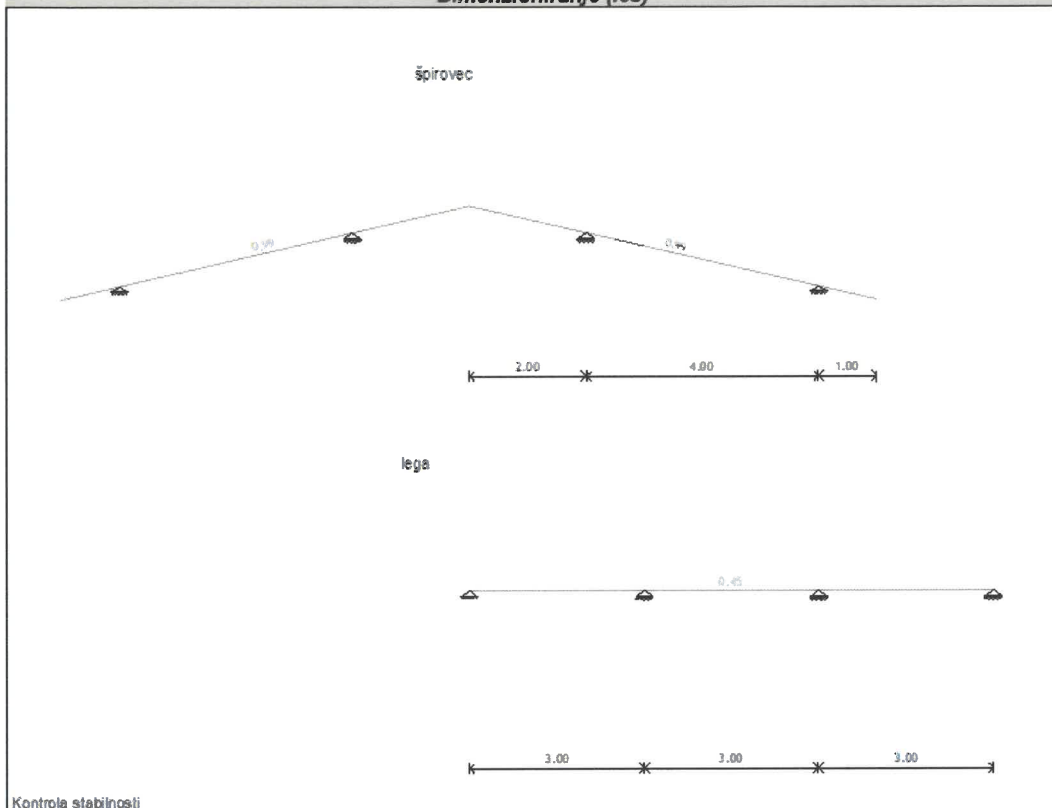


lega

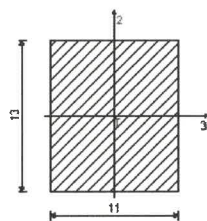


Vplivi v gredi: max T2= 13.13 / min T2= -13.13 kN

## Dimenzioniranje (les)



PALICA 7-11  
Monolitni les - iglavci in mehki listavci - C24  
Eksploatacijski razred 1  
EUROCODE (EN 1995-1-1)



[cm]

FAKTORJI IZKORISCENOSTI PO KOMBINACIJAH OBTEZB  
5.  $\gamma=0.99$

KONTROLA NORMALNIH NAPETOSTI  
(obtežni primer 5, na 205.2 cm od začetka palice)

Računska osna sila	Ned =	-3.073 kN
Prečna sila v smeri osi 2	V2ed =	5.544 kN
Upogibni moment okoli osi 3	M3ed =	4.371 kNm

KONTROLA NAPETOSTI - TLAK IN UPOGIB

Vista obtežbe: osnovno - kratkotrajno

Korekcijski koeficient

Parcialni koef. za karakteristike

materiala

Dodatek za elemente z malimi dimenzijami - os 2

Dodatek za elemente z malimi dimenzijami - os 3

Faktor oblik (za pravokotni prerez)

Karakteristična tlačna trdnost

Računska tlačna trdnost

Karakteristična upogibna trdnost

Računska upogibna trdnost - os 2

Računska upogibna trdnost - os 3

Relativna vitkost

Relativna vitkost

Normalne tlačne napetosti

Odpomostni moment

Normalna upogibna napetost okoli osi

3

Kmod =	0.900
ym =	1.300
Kh_2 =	1.064
Kh_3 =	1.029
km =	0.700
$f_{c,0,k}$ =	21.000 MPa
$f_{c,0,d}$ =	14.538 MPa
$f_{m,k}$ =	24.000 MPa
$f_{m,2,d}$ =	17.679 MPa
$f_{m,3,d}$ =	17.098 MPa
$\lambda_{rel,2}$ =	3.834
$\lambda_{rel,3}$ =	3.244
$\sigma_{c,0,d}$ =	0.215 MPa
W3 =	309.83 cm <sup>3</sup>
$\sigma_{m,3,d}$ =	14.109 MPa



$\sigma_{m3,d} \leq f_{m,3,d} \text{ (14.109} \leq 17.098 \text{)}$   
Izkoriščenost prereza je 82.5%

#### TLAK IN UPOGIB - VELIKA VITKOST

Začetna imperfekcija	$\beta_0 =$	0.200
Koeficient	$k_3 =$	8.058
Koeficient	$k_2 =$	8.205
Koeficient	$k_{\sigma,3} =$	0.089
Koeficient	$k_{\sigma,2} =$	0.085

$$\left( \sigma_{\sigma,0,d} / (k_{\sigma,2} \times f_{\sigma,0,d}) \right) + k_{\sigma,3} \times \left( \sigma_{m3,d} / f_{m,3,d} \right) + \sigma_{m2,d} / f_{m,2,d} \leq 1 \text{ (0.806} \leq 1 \text{)}$$

Izkoriščenost prereza je 80.6%

$$\left( \sigma_{\sigma,0,d} / (k_{\sigma,3} \times f_{\sigma,0,d}) \right) + \sigma_{m3,d} / f_{m,3,d} + k_{\sigma,2} \times \left( \sigma_{m2,d} / f_{m,2,d} \right) \leq 1 \text{ (0.990} \leq 1 \text{)}$$

Izkoriščenost prereza je 99.0%

#### DOKAZ BOCNE STABILNOSTI

Vrsta obtežbe: osnovno - kratkotrajno

Korekcijski koeficient

$K_{mod} =$  0.900

Parcialni koef. za karakteristike materiala

$\gamma_m =$  1.300

Razmak pridržanih točk pravokotno na smer osi 2

$l_{ef} =$  718.05 cm

5% fraktil modula E paralelno z vlakni

$E_{0.05} =$  7400.0 MPa

5% fraktil strižnega modula G

$G_{0.05} =$  450.00 MPa

Torzijski vztrajnostni moment

$I_{tor} =$  2822.3 cm<sup>4</sup>

Vztrajnostni moment

$I_2 =$  1441.9 cm<sup>4</sup>

Odpornostni moment

$W_3 =$  309.83 cm<sup>3</sup>

Kritična napetost uklona

$\sigma_{m,crit} =$  52.557 MPa

Relativna vitkost za uklon

$\lambda_{rel} =$  0.878

Koeficient

$k_{krit} =$  1.000

Normalna upogibna napetost okoli osi 3

$\sigma_{m3,d} =$  14.109 MPa

$$\sigma_{m3,d} \leq k_{krit} \times f_{m,3,d} \text{ (14.109} \leq 17.098 \text{)}$$

Izkoriščenost prereza je 82.5%

#### KONTROLA STRIŽNIH NAPETOSTI

(obtežni primer 5, na 205.2 cm od začetka palice)

Prečna sila v smeri osi 2

$V_{2ed} =$  -5.914 kN

#### KONTROLA NAPETOSTI - STRIG

Vrsta obtežbe: osnovno - kratkotrajno

Korekcijski koeficient

$K_{mod} =$  0.900

Parcialni koef. za karakteristike materiala

$\gamma_m =$  1.300

Karakteristična strižna napetost

$f_{v,k} =$  4.000 MPa

Računska strižna trdnost

$f_{v,d} =$  2.769 MPa

Površina prečnega prereza

$A =$  1493.00 cm<sup>2</sup>

Dejanska strižna napetost(os 2)

$\tau_{2,d} =$  0.725 MPa

$$\tau_{2,d} \leq f_{v,d} \text{ (0.725} \leq 2.769 \text{)}$$

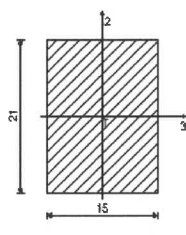
Izkoriščenost prereza je 28.2%

#### PALICA 3-9

Monolitni les - iglavci in mehki listavci - C24

Eksploatacijski razred 1

EUROCODE (EN 1995-1-1)



[cm]

FAKTORJI IZKORISCENOSTI PO KOMBINACIJAH OBTEZB  
5,  $\gamma = 0.45$

#### KONTROLA NORMALNIH NAPETOSTI

(obtežni primer 5, na 600.0 cm od začetka palice)

Prečna sila v smeri osi 2

$V_{2ed} =$  10.385 kN

Upogibni moment okoli osi 3

$M_{3ed} =$  8.243 kNm

#### KONTROLA NAPETOSTI - UPOGIB

Vrsta obtežbe: osnovno - kratkotrajno

Korekcijski koeficient

$K_{mod} =$  0.900

Parcialni koef. za karakteristike materiala

$\gamma_m =$  1.300

Dodatek za elemente z malimi dimenzijami - os 2

$K_{h,2} =$  1.000

Dodatek za elemente z malimi dimenzijami - os 3

$K_{h,3} =$  1.000

Faktor oblik (za pravokotni presek)

$k_{m} =$  0.700

Karakteristična upogibna trdnost

$f_{m,k} =$  24.000 MPa

Računska upogibna trdnost

$f_{m,d} =$  16.815 MPa

Odpornostni moment

$W_3 =$  1102.5 cm<sup>3</sup>

Normalna upogibna napetost okoli osi 3

$\sigma_{m3,d} =$  7.476 MPa

$\sigma_{m3,d} \leq f_{m,d} (7.476 \leq 16.615)$   
Izkoriščenost prereza je 45.0%

#### DOKAZ BOČNE STABILNOSTI

Vrsta obtežbe: osnovno - kratkotrajno

Korekcijski koeficient

$K_{mod} = 0.900$

Parcialni koef. za karakteristike

$\gamma_m = 1.300$

materiala

Razmak pridrženih točk pravokotno na smer osi 2

$l_{ef} = 900.00 \text{ cm}$

5% fraktil modula E paralelno z vlakni

$E_{0.05} = 7400.0 \text{ MPa}$

5% fraktil strižnega modula G

$G_{0.05} = 460.00 \text{ MPa}$

Torzijski vztrajnostni moment

$I_{tor} = 13130 \text{ cm}^4$

Vztrajnostni moment

$I_2 = 5908.3 \text{ cm}^4$

Odpornostni moment

$W_3 = 1102.5 \text{ cm}^3$

Kritična napetost uklona

$\sigma_{m,crit} = 51.441 \text{ MPa}$

Relativna vitkost za uklon

$\lambda_{rel} = 0.683$

Koeficient

$k_{krit} = 1.000$

Normalna upogibna napetost okoli osi

$\sigma_{m3,d} = 7.476 \text{ MPa}$

3

$\sigma_{m3,d} \leq k_{krit} \times f_{m,3,d} (7.476 \leq 16.615)$   
Izkoriščenost prereza je 45.0%

#### KONTROLA STRIŽNIH NAPETOSTI

(obtežni primer 5, na 800.0 cm od začetka palice)

Prečna sila v smeri osi 2

$V_{Zed} = -13.132 \text{ kN}$

#### KONTROLA NAPETOSTI - STRIG

Vrsta obtežbe: osnovno - kratkotrajno

Korekcijski koeficient

$K_{mod} = 0.900$

Parcialni koef. za karakteristike

$\gamma_m = 1.300$

materiala

Karakteristična strižna napetost

$f_{v,k} = 4.000 \text{ MPa}$

Računska strižna trdnost

$f_{v,d} = 2.769 \text{ MPa}$

Površina prečnega prereza

$A = 315.00 \text{ cm}^2$

Dejanska strižna napetost(os 2)

$\tau_{2,d} = 0.625 \text{ MPa}$

$\tau_{2,d} \leq f_{v,d} (0.625 \leq 2.769)$   
Izkoriščenost prereza je 22.6%

### 3. Zaključek

Strešne konstrukcije Doma upokoјencev Kranj so dovolj nosilne za postavitev fotovoltaične elektrarne naležne izvedbe obtežbe do 0,15 kN/m<sup>2</sup>.

Izdelal: Luka Žugič, dipl. inž. gradb., GIRI d.o.o

Pooblašчени inženir: Igor Žugič, univ. dipl. inž. gradb., GIRI d.o.o.