

# 10. vaja

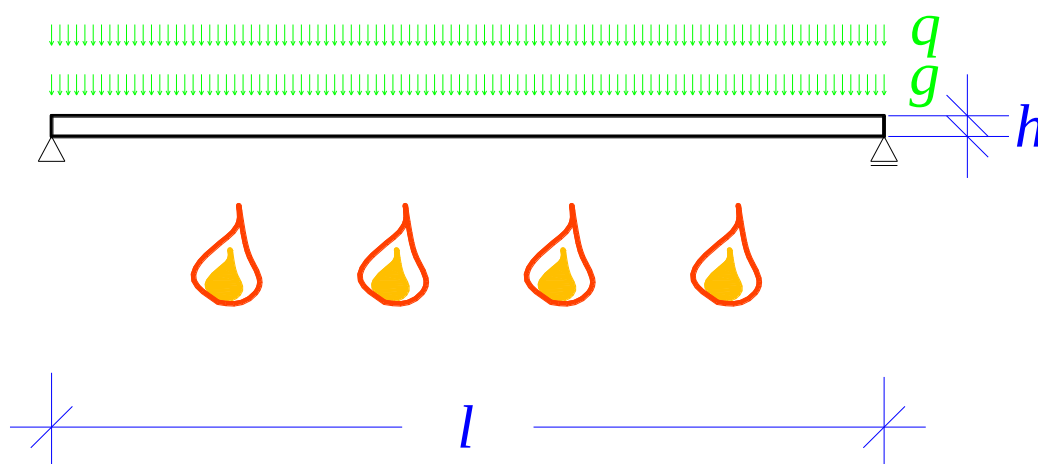
## PROJEKTIRANJE LESENE KONSTRUKCIJE, IZPOSTAVLJENE POŽARU

### 1. Opis konstrukcije

Nosilec, dolžine 5 m, s prečnim prerezom 20/30 cm, iz masivnega smrekovega lesa, trdnostnega razreda C 30, podpira stropno konstrukcijo nad pritličjem v stanovanjski hiši. Konstrukcijski element ni požarno izoliran. Med požarom v prostoru je nosilec s treh strani izpostavljen izgorevanju, spodnja površina in obe vzdolžni vertikalni ploskvi nosilca.

Dimenzioniraj nosilec tako, da zadostimo kriteriju nosilnosti R 30.

#### 1.1 Statični sistem



Slika 1 Statični sistem.

#### 1.2 Podatki

Dolžina nosilca meri 5 m. Širok je 20 cm in visok 30 cm.

Dolžina nosilca:  $l = 5 \text{ m}$

Širina nosilca:  $b = 20 \text{ cm} = 0,20 \text{ m}$

Višina nosilca:  $h = 30 \text{ cm} = 0,30 \text{ m}$

Čas trajanja požara:  $t = 30 \text{ min}$

## 1.3 Obtežba

Lastna teža:

$$g = 5 \text{ kN/m}$$

Koristna obtežba:

$$q = 5 \text{ kN/m}$$

## 1.4 Materialne karakteristike lesa

Preglednica 1 Karakteristične vrednosti trdnosti, deformacijskih lastnosti in gostote lesa.

|                    |               | iglavci in topolovina |                       |                       |                       |                       |                       |
|--------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| trdnostni razred   |               | C 14                  | C 16                  | C 18                  | C 20                  | C 22                  | C 24                  |
| upogibna trdnost   | $f_{m,k}$     | 14 MPa                | 16 MPa                | 18 MPa                | 20 MPa                | 22 MPa                | 24 MPa                |
| natezna trdnost    | $f_{t,0,k}$   | 8 MPa                 | 10 MPa                | 11 MPa                | 12 MPa                | 13 MPa                | 14 MPa                |
|                    | $f_{t,90,k}$  | 0,4 MPa               | 0,5 MPa               | 0,5 MPa               | 0,5 MPa               | 0,5 MPa               | 0,5 MPa               |
| tlačna trdnost     | $f_{c,0,k}$   | 16 MPa                | 17 MPa                | 18 MPa                | 19 MPa                | 20 MPa                | 21 MPa                |
|                    | $f_{c,90,k}$  | 2 MPa                 | 2,2 MPa               | 2,2 MPa               | 2,3 MPa               | 2,4 MPa               | 2,5 MPa               |
| strižna trdnost    | $f_{v,q,k}$   | 1,7 MPa               | 1,8 MPa               | 2 MPa                 | 2,2 MPa               | 2,4 MPa               | 2,5 MPa               |
| modul elastičnosti | $E_{0,mean}$  | 7000 MPa              | 8000 MPa              | 9000 MPa              | 9500 MPa              | 10000 MPa             | 11000 MPa             |
|                    | $E_{0,05}$    | 4700 MPa              | 5400 MPa              | 6000 MPa              | 6400 MPa              | 6700 MPa              | 7400 MPa              |
|                    | $E_{90,mean}$ | 230 MPa               | 270 MPa               | 300 MPa               | 320 MPa               | 330 MPa               | 370 MPa               |
| strižni modul      | $G_{mean}$    | 440 MPa               | 500 MPa               | 560 MPa               | 590 MPa               | 630 MPa               | 690 MPa               |
| gostota            | $\rho_k$      | 290 kg/m <sup>3</sup> | 310 kg/m <sup>3</sup> | 320 kg/m <sup>3</sup> | 330 kg/m <sup>3</sup> | 340 kg/m <sup>3</sup> | 350 kg/m <sup>3</sup> |

|                    |               | iglavci in topolovina |                       |                       |                       |                       |                       |
|--------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| trdnostni razred   |               | C 27                  | C 30                  | C 35                  | C 40                  | C 45                  | C 50                  |
| upogibna trdnost   | $f_{m,k}$     | 27 MPa                | 30 MPa                | 35 MPa                | 40 MPa                | 45 MPa                | 50 MPa                |
| natezna trdnost    | $f_{t,0,k}$   | 16 MPa                | 18 MPa                | 21 MPa                | 24 MPa                | 27 MPa                | 30 MPa                |
|                    | $f_{t,90,k}$  | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               |
| tlačna trdnost     | $f_{c,0,k}$   | 22 MPa                | 23 MPa                | 25 MPa                | 26 MPa                | 27 MPa                | 29 MPa                |
|                    | $f_{c,90,k}$  | 2,6 MPa               | 2,7 MPa               | 2,8 MPa               | 2,9 MPa               | 3,1 MPa               | 3,2 MPa               |
| strižna trdnost    | $f_{v,q,k}$   | 2,8 MPa               | 3 MPa                 | 3,4 MPa               | 3,8 MPa               | 3,8 MPa               | 3,8 MPa               |
| modul elastičnosti | $E_{0,mean}$  | 11500 MPa             | 12000 MPa             | 13000 MPa             | 14000 MPa             | 15000 MPa             | 16000 MPa             |
|                    | $E_{0,05}$    | 7700 MPa              | 8000 MPa              | 8700 MPa              | 9400 MPa              | 10000 MPa             | 10700 MPa             |
|                    | $E_{90,mean}$ | 380 MPa               | 400 MPa               | 430 MPa               | 470 MPa               | 500 MPa               | 530 MPa               |
| strižni modul      | $G_{mean}$    | 720 MPa               | 750 MPa               | 810 MPa               | 880 MPa               | 940 MPa               | 1000 MPa              |
| gostota            | $\rho_k$      | 370 kg/m <sup>3</sup> | 380 kg/m <sup>3</sup> | 400 kg/m <sup>3</sup> | 420 kg/m <sup>3</sup> | 440 kg/m <sup>3</sup> | 460 kg/m <sup>3</sup> |

|                    |               | listavci              |                       |                       |                       |                       |                       |
|--------------------|---------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| trdnostni razred   |               | D 30                  | D 35                  | D 40                  | D 50                  | D 60                  | D 70                  |
| upogibna trdnost   | $f_{m,k}$     | 30 MPa                | 35 MPa                | 40 MPa                | 50 MPa                | 60 MPa                | 70 MPa                |
| natezna trdnost    | $f_{t,0,k}$   | 18 MPa                | 21 MPa                | 24 MPa                | 30 MPa                | 36 MPa                | 42 MPa                |
|                    | $f_{t,90,k}$  | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               | 0,6 MPa               |
| tlačna trdnost     | $f_{c,0,k}$   | 23 MPa                | 25 MPa                | 26 MPa                | 29 MPa                | 32 MPa                | 34 MPa                |
|                    | $f_{c,90,k}$  | 8 MPa                 | 8,4 MPa               | 8,8 MPa               | 9,7 MPa               | 10,5 MPa              | 13,5 MPa              |
| strižna trdnost    | $f_{v,q,k}$   | 3 MPa                 | 3,4 MPa               | 3,8 MPa               | 4,6 MPa               | 5,3 MPa               | 6 MPa                 |
| modul elastičnosti | $E_{0,mean}$  | 10000 MPa             | 10000 MPa             | 11000 MPa             | 14000 MPa             | 17000 MPa             | 20000 MPa             |
|                    | $E_{0,05}$    | 8000 MPa              | 8700 MPa              | 9400 MPa              | 11800 MPa             | 14300 MPa             | 16800 MPa             |
|                    | $E_{90,mean}$ | 640 MPa               | 690 MPa               | 750 MPa               | 930 MPa               | 1130 MPa              | 1330 MPa              |
| strižni modul      | $G_{mean}$    | 600 MPa               | 650 MPa               | 700 MPa               | 880 MPa               | 1060 MPa              | 1250 MPa              |
| gostota            | $\rho_k$      | 530 kg/m <sup>3</sup> | 560 kg/m <sup>3</sup> | 590 kg/m <sup>3</sup> | 650 kg/m <sup>3</sup> | 700 kg/m <sup>3</sup> | 900 kg/m <sup>3</sup> |

## 1.5 Mejno stanje nosilnosti

Preverimo nosilnost prereza v mejnem stanju nosilnosti

$$S_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_{Q,1} Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{ki} \quad (1)$$

Varnostni faktor za stalno obtežbo  $\gamma_g = 1,35$ , za koristno pa  $\gamma_q = 1,5$ .

Največje prečne sile so

$$V_{z,g,max} = \frac{g \cdot l}{2} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m}}{2} = 12,5 \text{ kN} \quad (2)$$

$$V_{z,q,max} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m}}{2} = 12,5 \text{ kN} \quad (3)$$

$$V_{z,d,max} = \gamma_g \cdot V_{z,g,max} + \gamma_q \cdot V_{z,q,max} = 1,35 \cdot 12,5 \text{ kN} + 1,50 \cdot 12,5 \text{ kN} = 35,625 \text{ kN} \quad (4)$$

Največji upogibni momenti so

$$M_{y,g,max} = \frac{g \cdot l^2}{8} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2}{8} = 15,625 \text{ kNm} \quad (5)$$

$$M_{y,q,max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2}{8} = 15,625 \text{ kNm} \quad (6)$$

$$M_{y,d,max} = \gamma_g \cdot M_{y,g,max} + \gamma_q \cdot M_{y,q,max} = 1,35 \cdot 15,625 \text{ kNm} + 1,50 \cdot 15,625 \text{ kNm} = 44,5313 \text{ kNm} \quad (7)$$

Površina prečnega prereza je

$$A = b \cdot h = 0,20 \text{ m} \cdot 0,30 \text{ m} = 0,06 \text{ m}^2 \quad (8)$$

odpornostni moment pa

$$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,20 \text{ m} \cdot (0,30 \text{ m})^2}{6} = 0,003 \text{ m}^3 \quad (9)$$

Varnostni faktor za masivni les  $\gamma_M = 1,30$ .

Modifikacijski faktor za srednje trajni vpliv je  $k_{mod} = 0,80$ .

Največja normalna napetost je

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,max}}{W_z} = \frac{44,5313 \text{ kNm}}{0,003 \text{ m}^3} = 14,84 \text{ MPa} \leq f_{m,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{30 \text{ MPa}}{1,30} = 18,46 \text{ MPa} \quad (10)$$

največja strižna pa

$$\tau_d = \frac{V_{z,d,max}}{\frac{2}{3} \cdot b_{ef} \cdot h} = \frac{35,625 \text{ kNm}}{\frac{2}{3} \cdot 0,67 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,3 \text{ m}} = 1,33 \text{ MPa} < f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{3 \text{ MPa}}{1,30} = 1,85 \text{ MPa} \quad (11)$$

## 1.6 Mejno stanje uporabnosti

Varnostni faktor za stalno obtežbo  $\gamma_g = 1,0$ , za koristno pa  $\gamma_q = 1,0$ .

Vztrajnostni moment prečnega prereza je

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,20 \text{ m} \cdot (0,30 \text{ m})^3}{12} = 0,00045 \text{ m}^4 \quad (12)$$

Trenutni pomik je

$$v_{inst} = \frac{5 \cdot (\gamma_g \cdot g + \gamma_q \cdot q) \cdot l^4}{386 \cdot E_{0,mean} \cdot I_y} = \frac{5 \cdot \left(1,0 \cdot 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1,0 \cdot 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot (5 \text{ m})^4}{386 \cdot 12000 \text{ MPa} \cdot 0,00045 \text{ m}^4} = 0,015 \text{ m} < v_{inst,dop} = \frac{l}{300} = \frac{5 \text{ m}}{300} = 0,0167 \text{ m} \quad (13)$$

del pomika zaradi lastne teže je

$$v_{g,inst} = \frac{g}{g+q} \cdot v_{inst} = \frac{5 \text{ kN/m}}{5 \text{ kN/m} + 5 \text{ kN/m}} \cdot 0,015 \text{ m} = 0,0075 \text{ m} \quad (14)$$

zaradi koristne pa

$$v_{q,inst} = \frac{q}{g+q} \cdot v_{inst} = \frac{5 \text{ kN/m}}{5 \text{ kN/m} + 5 \text{ kN/m}} \cdot 0,015 \text{ m} = 0,0075 \text{ m} \quad (15)$$

Končni pomik je pomik po izvršenem lezenju

$$v_{fin} = v_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) + v_{s,inst} \cdot (1 + \psi_2 \cdot k_{def}) \leq v_{fin,dop} = \frac{L_0}{200} \quad (16)$$

Velja  $k_{def}=0,80$  in za srednje trajni vpliv  $\psi_2=0,0$ , sledi

$$v_{fin} = 0,0075 \text{ m} \cdot (1 + 0,8) + 0,0075 \text{ m} \cdot (1 + 0,0 \cdot 0,8) = 0,021 \text{ m} \leq v_{fin,dop} = \frac{l}{200} = \frac{5 \text{ m}}{200} = 0,025 \text{ m} \quad (17)$$

## 1.7 Obtežne kombinacije pri požarni obremenitvi

Pri projektiranju požaru izpostavljenih lesenih konstrukcij po standardu EN 1990 upoštevamo nezgodno obtežno kombinacijo

$$S_d = \sum_{j \geq 1} G_{kj} + A_d + \psi_{2,1} Q_{k1} + \sum_{i \geq 2} \psi_{2,i} Q_{ki} \quad (18)$$

Kombinacijski obtežni faktor za prevladujočo koristno obtežbo  $\psi_{2,1}$  določa slovenski nacionalni dodatek. Splošna enačba podana v predpisu dopušča množenje prevladujoče koristne obtežbe s faktorjem  $\psi_{1,1}$  ali  $\psi_{2,1}$ . Pri konstrukcijah izpostavljenih požaru lahko upoštevamo ugodnejšo situacijo.

V primeru požara nezgodna obtežba ne nastopa v obliki sile  $A_d$ . Vpliv požara na konstrukcijo je zajet v spreminjanju mehanskih in reoloških lastnosti materiala nosilnih elementov.

Preglednica 2 Kombinacijski faktorji  $\psi$  (SIST EN 1990:2004, stran 39).

| vrsta vpliva                                                         | $\psi_0$ | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|----------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| Koristna obtežba v stavbah (glej EN 1991-1-1)                        | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija A: stanovanja                                             | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija B: pisarne                                                | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija C: stavbe, kjer se zbirajo ljudje                         | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija D: trgovine                                               | 1,0      | 0,9      | 0,8      |
| Kategorija E: skladišča                                              | 0,7      | 0,7      | 0,6      |
| Kategorija F: prometne površine - vozilo teže $\leq 30$ kN           | 0,7      | 0,5      | 0,3      |
| Kategorija G: prometne površine - $30$ kN < teža vozila $\leq 30$ kN | 0,0      | 0,0      | 0,0      |
| Kategorija H: strehe                                                 |          |          |          |
| Obtežba snega na stavbah (glej EN 1991-1-3)                          | 0,7      | 0,5      | 0,2      |
| Finska, Islandija, Norveška, Švedska                                 | 0,7      | 0,5      | 0,2      |
| Druge članice CEN, za kraje z nadmorsko višino nad 1000 m            | 0,5      | 0,2      | 0,0      |
| Druge članice CEN, za kraje z nadmorsko višino pod 1000 m            | 0,6      | 0,2      | 0,0      |
| Obtežba vetra na stavbah (glej EN 1991-1-4)                          | 0,6      | 0,5      | 0,0      |
| Spremembe temperature (ne pri požaru) v stavbah (glej EN 1991-1-5)   | 0,7      | 0,5      | 0,3      |

Največje prečne sile so

$$V_{z,g,max} = \frac{g \cdot l}{2} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m}}{2} = 12,5 \text{ kN} \quad (19)$$

$$V_{z,q,max} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot 5 \text{ m}}{2} = 12,5 \text{ kN} \quad (20)$$

$$V_{z,d,max} = V_{z,g,max} + \psi_2 \cdot V_{z,q,max} = 12,5 \text{ kN} + 0,30 \cdot 12,5 \text{ kN} = 16,25 \text{ kN} \quad (21)$$

Največji upogibni momenti so

$$M_{y,g,max} = \frac{g \cdot l^2}{8} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2}{8} = 15,625 \text{ kNm} \quad (22)$$

$$M_{y,q,max} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{5 \text{ kN/m} \cdot (5 \text{ m})^2}{8} = 15,625 \text{ kNm} \quad , \quad (23)$$

$$M_{y,d,max} = M_{y,g,max} + \psi_2 \cdot M_{y,q,max} = 15,625 \text{ kNm} + 0,3 \cdot 15,625 \text{ kNm} = 20,3125 \text{ kNm} \quad . \quad (24)$$

## 1.8 Mehanske lastnosti lesenih nosilnih elementov izpostavljenih požaru

Projektne oziroma računske vrednosti mehanskih in reoloških lastnosti lesenih elementov izpostavljenih požaru se razlikujejo od projektnih oziroma računskih vrednosti mehanskih in reoloških lastnosti lesenih elementov v stalnem in začasnem projektnem stanju.

Trdnostne in togostne lastnosti materialov so

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_M} \quad , \quad (25)$$

$$X_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{X_{20}}{\gamma_M} \quad . \quad (26)$$

Vrednost modifikacijskega faktorja  $k_{mod,fi}$  narekuje uporabljena metoda izračuna nosilnosti.

Pri nezgodnih obtežnih kombinacijah je v vseh primerih vrednost delnega faktorja varnosti za material  $\gamma_{M,fi}$  enaka 1,0.

Uporabimo karakteristične trdnosti in togostne lastnosti materialov pri normalni temperaturi za 20% fraktilo, ki jih s korekcijskimi faktorji prilagodimo s 5% fraktile, uporabljane v stalnem in začasnem projektnem stanju.

$$f_{20} = k_{fi} f_k \quad , \quad (27)$$

$$X_{20} = k_{fi} X_k \quad . \quad (28)$$

*Preglednica 3 Vrednosti faktorja  $k_{fi}$  glede na vrsto lesenih elementov.*

|                                                                                                                                                                               | $k_{fi}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| masivni les (solid timber)                                                                                                                                                    | 1,25     |
| lamelirani lepljeni les (glued-laminated timber)                                                                                                                              | 1,15     |
| paneli na lesni osnovi (wood-based panels)                                                                                                                                    | 1,15     |
| slojnat furnirni les (laminated veneer lumber – LVL)                                                                                                                          | 1,10     |
| povezave s strižno obremenjenimi veznimi sredstvi iz lesa in panelov na lesni osnovi<br>(connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels) | 1,15     |
| povezave s strižno obremenjenimi veznimi sredstvi iz jekla<br>(connections with fasteners in shear with side members of steel)                                                | 1,05     |
| povezave z osno obremenjenimi veznimi sredstvi (connections with axially loaded fasteners)                                                                                    | 1,05     |

Preglednica 4 Karakteristične vrednosti trdnosti in deformacijskih lastnosti masivnega lesa za 20% fraktilo.

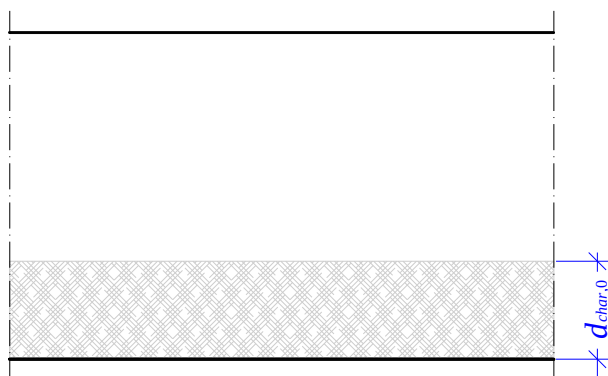
| trdnostni razred   |                  | C 30      |
|--------------------|------------------|-----------|
| upogibna trdnost   | $f_{m,20}$       | 37,5 MPa  |
| natezna trdnost    | $f_{t,0,20}$     | 22,5 MPa  |
|                    | $f_{t,90,20}$    | 0,75 MPa  |
| tlačna trdnost     | $f_{c,0,20}$     | 28,75 MPa |
|                    | $f_{c,90,20}$    | 3,375 MPa |
| strižna trdnost    | $f_{v,20}$       | 3,75 MPa  |
| modul elastičnosti | $E_{0,mean,20}$  | 15000 MPa |
|                    | $E_{0,20}$       | 10000 MPa |
|                    | $E_{90,mean,20}$ | 500 MPa   |
| strižni modul      | $G_{mean,20}$    | 937,5 MPa |

## 1.9 Hitrost gorenja lesenih nosilnih elementov izpostavljenih požaru

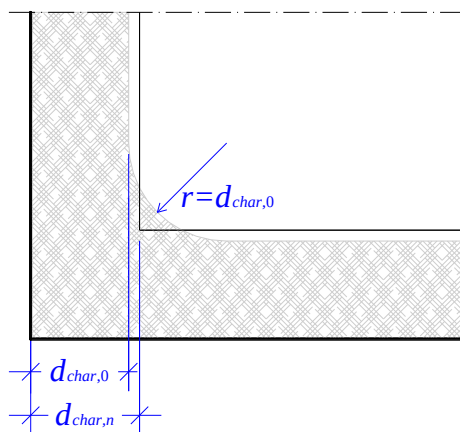
Hitrost gorenja je odvisna od vrste materiala in geometrije prereza.

Standard EN 1995-1-2:2004 podaja osnovne hitrosti odgorevanja  $\beta$  (preglednica 13). V preglednici podane vrednosti veljajo za les s karakteristično prostorninsko maso od  $450 \text{ kg/m}^3$  in lesene plošče od debeline 20 mm. V nasprotnem primeru je potrebno vrednosti  $\beta$  korigirati s faktorjema  $k_\rho$  in  $k_h$ , ki ju določa standard EN 1995-1-2:2004.

Hitrost odgorevanja materiala izračunamo s faktorjem  $\beta_0$  ali  $\beta_n$ , odvisno od geometrije elementa. Faktor  $\beta_n$  uporabljamo pri ožjih predvsem linijskih elementih. Z nekoliko povečano hitrostjo gorenja približno zajamemo izrazitejše odgorevanje prereza v vogalu (slika 18).



Slika 2 Enakomerno odgorevanje materiala po ploskvi.



Slika 3 Debelina odgorelega sloja lesenega elementa  $d_{char,0}$  pri eno dimenzionalnem odgorevanju in namišljena debelina odgorelega sloja lesa  $d_{char,n}$  zaradi povečanega odgorevanja v vogalu.

Preglednica 5 Osnovne hitrosti odgorevanja.

|                                                                                                                                                   | $\beta_0$<br>mm/min | $\beta_n$<br>mm/min |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| a) mehak in bukov les (softwood and beech)                                                                                                        |                     |                     |
| lepljeni lamelirani les (glued laminated timber) s karakteristično gostoto $\geq 290 \text{ kg/m}^3$                                              | 0,65                | 0,70                |
| masivni les (solid timber) s karakteristično gostoto $\geq 290 \text{ kg/m}^3$                                                                    | 0,65                | 0,80                |
| b) trd les (hardwood)                                                                                                                             |                     |                     |
| masivni ali lepljeni lamelirani les (solid or glued laminated timber) s karakteristično gostoto $290 \text{ kg/m}^3$                              | 0,65                | 0,70                |
| masivni ali lepljeni lamelirani les (solid or glued laminated timber) s karakteristično gostoto $\geq 450 \text{ kg/m}^3$                         | 0,50                | 0,55                |
| c) slojnat furnirni les (laminated veneer lumber – LVL) s karakteristično gostoto $\geq 480 \text{ kg/m}^3$                                       | 0,65                | 0,70                |
| d) paneli (panels)                                                                                                                                |                     |                     |
| leseni paneli (wood panelling)                                                                                                                    | 0,90*               | -                   |
| vezane plošče (plywood)                                                                                                                           | 1,00*               | -                   |
| paneli na lesni osnovi, razen vezanih plošč (wood-based panels other than plywood)                                                                | 0,90*               | -                   |
| * vrednosti se uporabljajo pri karakterističnih gostotah lesa večjih ali enakih $450 \text{ kg/m}^3$ in debelinah panelov večjih ali enakih 20 mm |                     |                     |

Za oceno odgorelega sloja pri eno dimenzionalnem odgorevanju (slika 17) privzamemo, da se konstantno povečuje s časom. Projektna debelina odgorelega sloja je

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t = 0,65 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 30 \text{ min} = 19,5 \text{ mm} \quad , \quad (29)$$

pri čemer je

$d_{char,0}$  projektna debelina odgorelega sloja pri eno dimenzionalnem odgorevanju,  
 $\beta_0$  ocena hitrosti odgorevanja pri eno dimenzionalnem odgorevanju lesenega elementa izpostavljenega standardnemu požaru,  
 $t$  čas izpostavljenosti požaru.



Namišljena debelina odgorelega sloja lesa  $d_{char,n}$ , ki obsega vpliv vogalnih zaokrožitev in razpokanja, se ob izpostavitvi standardnemu požaru tudi konstantno povečuje s časom in je

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 30 \text{ min} = 24 \text{ mm} \quad , \quad (30)$$

pri čemer je

$d_{char,n}$       namišljena projektna debelina odgorelega sloja, ki vključuje učinek vogalnih zaokrožitev,  
 $\beta_n$           namišljena ocena hitrosti odgorevanja, ki vključuje učinek vogalnih zaokrožitev, pri odgorevanju lesenega elementa izpostavljenega standardnemu požaru,  
 $t$             čas izpostavljenosti požaru.

Eno dimenzionalno projektiranje z oceno odgorelega sloja lahko uporabimo pod pogojem, da upoštevamo povečano odgorevanje v vogalih, pri prečnih prerezih s prvotno najmanjšo dimenzijo  $b_{min}$ , ki zadošča pogoju (14). Če je najmanjša dimenzija prečnega prereza manjša kot  $b_{min}$  v pogoju (14), uporabimo namišljeno stopnjo odgorevanja.

$$b_{min} = \begin{cases} 2d_{char,0} + 80 & d_{char,0} \geq 13 \text{ mm} \\ 8,15d_{char,0} + 80 & d_{char,0} < 13 \text{ mm} \end{cases} =$$

$$= 2 \cdot 19,5 \text{ mm} + 80 \text{ mm} = 119 \text{ mm} < b = 200 \text{ mm} \quad (31)$$

Pogoju za eno dimenzionalno projektiranje je zadoščeno.

Privzamemo, da je radij vogalne zaokrožitve prečnih prerezov projektiranih eno dimenzionalno enak debelini odgorelega sloja lesenega elementa  $d_{char,0}$  (slika 18).

Pri karakterističnih gostotah lesa manjših od  $450 \text{ kg/m}^3$  in debelinah panelov manjših od  $20 \text{ mm}$  izračunamo stopnjo odgorevanja lesenega elementa  $\beta_{0,\rho,t}$  z izrazom (15)

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_\rho \cdot k_h, \quad (32)$$

pri čemer sta koeficienta  $k_\rho$  in  $k_h$  enaka

$$k_\rho = \sqrt{\frac{450}{\rho_k}}, \quad (33)$$

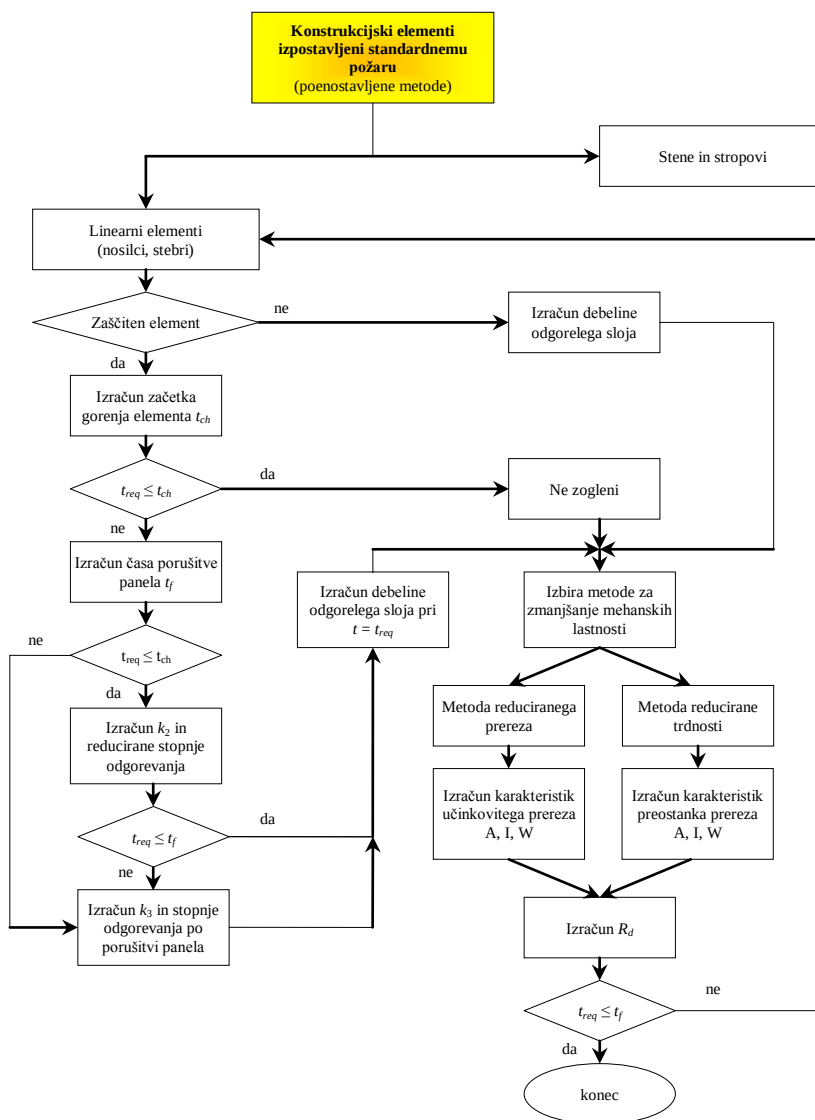
$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} \quad (34)$$

in je

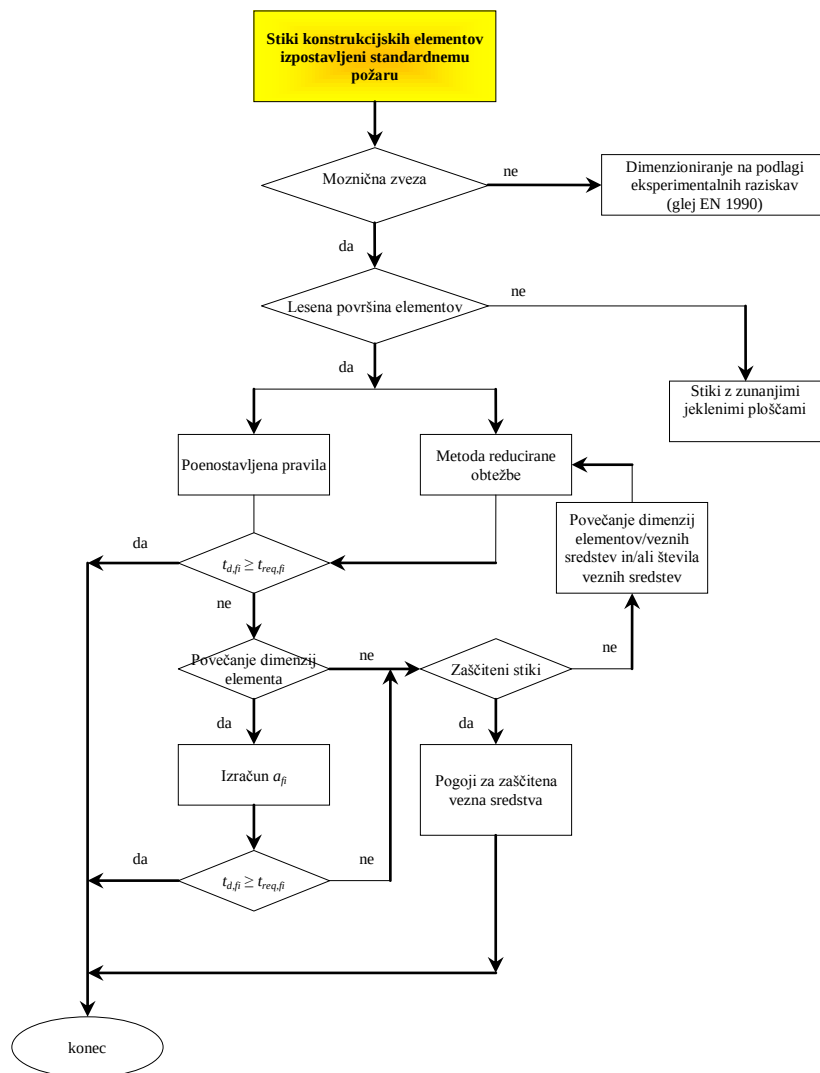
$\rho_k$       karakteristična gostota lesa v  $\text{kg/m}^3$ ,  
 $h_p$       debelina panela v mm.

## 1.10 Dimenzioniranje konstrukcijskih elementov in njihovih stikov, izpostavljenih požaru

Predpis podaja poenostavljena pravila za določitev lastnosti prečnih prereзов lesenih nosilnih elementov izpostavljenih požaru. Poenostavljen račun lahko izvajamo po eni izmed dveh metod, metodi reduciranega prereza ali metodi reducirane trdnosti. V splošnem se priporoča metoda reduciranega prereza, za račun določenega tipa okvirnih sten pa predpis predvideva metodo reducirane trdnosti. Geometrijski prerez obravnavanega požaru izpostavljenega elementa reduciramo v računu obeh metod.



Slika 4 Algoritem kontrole nosilne funkcije konstrukcijskih elementov izpostavljenih požaru.



Slika 5 Algoritem kontrole nosilne funkcije stikov konstrukcijskih elementov izpostavljenih požaru.

## 1.10.1 Računski postopki mehanske odpornosti lesenih nosilnih elementov izpostavljenih požaru

### 1.10.1.1 Metoda reduciranega prereza

Učinkoviti prečni prerez računamo z zmanjšanjem prvotnega prečnega prereza za učinkovito debelino odgorelega sloja lesenega elementa, ki je enaka

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 24\text{mm} + 1 \cdot 7\text{mm} = 31\text{mm} \quad , \quad (35)$$

pri čemer je

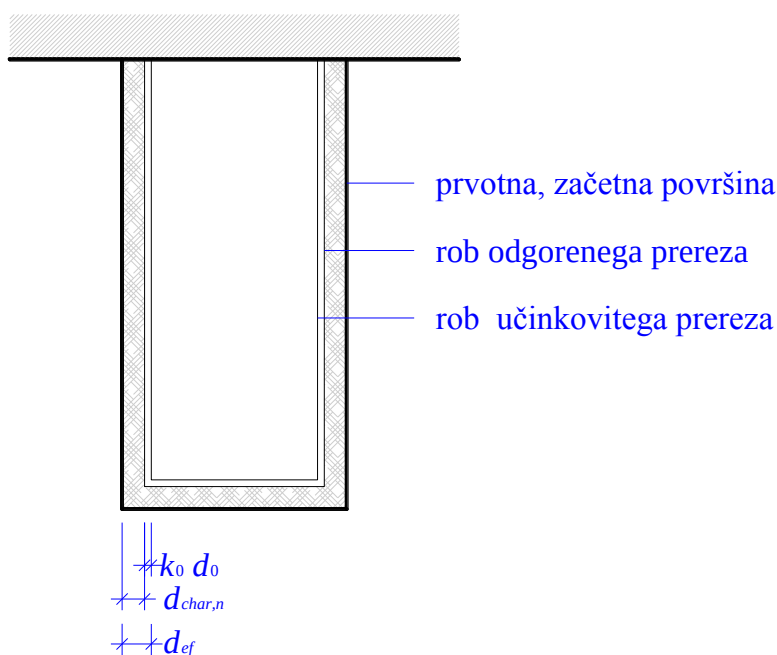
$d_0$  = 7 mm,  
 $d_{char,n}$  namišljena projektna debelina odgorelega sloja, ki vključuje učinek vogalnih zaokrožitev,

pri nezaščitenih elementih in zaščitenih elementih, ki začno goreti prej kot v 20 minutah, je

$$k_0 = \begin{cases} \frac{t}{20} & t < 20 \text{ min} \\ 1 & t \geq 20 \text{ min} \end{cases} = 1, \quad (36)$$

pri zaščitenih elementih z začetkom gorenja po 20 minutah ( $t_{ch} > 20 \text{ min}$ ) pa je

$$k_0 = \begin{cases} \frac{t}{t_{ch}} & t < t_{ch} \\ 1 & t \geq t_{ch} \end{cases}. \quad (37)$$



Slika 6 Definicija preostanka prečnega prereza in učinkovitega prečnega prereza lesenega elementa izpostavljenega požaru.

Projektno trdnost in togostne lastnosti učinkovitega prečnega prereza računamo s  $k_{mod,fi} = 1,0$ .

Učinkovita širina prečnega prereza po 30 minutah gorenja je

$$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{ef} = 200\text{mm} - 2 \cdot 31\text{mm} = 138\text{mm}, \quad (38)$$

učinkovita višina pa je

$$h_{ef} = h - d_{ef} = 300\text{mm} - 31\text{mm} = 269\text{mm}. \quad (39)$$

Površina učinkovitega prečnega prereza je

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h_{ef} = 138\text{mm} \cdot 269\text{mm} = 371,2\text{cm}^2, \quad (40)$$

odpornostni moment pa

$$W_{ef} = \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = \frac{138\text{mm} \cdot (269\text{mm})^2}{6} = 1664,3\text{cm}^3 \quad (41)$$

*Preglednica 6 Projektne vrednosti trdnosti in deformacijskih lastnosti masivnega lesa, izpostavljenega požaru.*

| trdnostni razred   |                    | C 30      |
|--------------------|--------------------|-----------|
| upogibna trdnost   | $f_{m,d,fi}$       | 37,5 MPa  |
| natezna trdnost    | $f_{t,0,d,fi}$     | 22,5 MPa  |
|                    | $f_{t,90,d,fi}$    | 0,75 MPa  |
| tlačna trdnost     | $f_{c,0,d,fi}$     | 28,75 MPa |
|                    | $f_{c,90,d,fi}$    | 3,375 MPa |
| strižna trdnost    | $f_{v,d,fi}$       | 3,75 MPa  |
| modul elastičnosti | $E_{0,d,mean,fi}$  | 15000 MPa |
|                    | $E_{0,d,fi}$       | 10000 MPa |
|                    | $E_{90,d,mean,fi}$ | 500 MPa   |
| strižni modul      | $G_{d,mean,fi}$    | 937,5 MPa |

Največja normalna napetost je

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,d,max}}{W_{z,ef}} = \frac{20,3125\text{kNm}}{1664,3\text{cm}^3} = 12,2\text{MPa} < f_{m,d,fi} = 37,5\text{MPa} \quad (42)$$

največja strižna pa

$$\tau_d = \frac{V_{z,d,max}}{\frac{2}{3} \cdot k_{cr} \cdot b_{ef} \cdot h_{ef}} = \frac{16,25\text{kNm}}{\frac{2}{3} \cdot 0,67 \cdot 0,138\text{m} \cdot 0,269\text{m}} = 0,98\text{MPa} < f_{v,d,fi} = 3,75\text{MPa} \quad (43)$$

### 1.10.1.2 Metoda reducirane trdnosti

Pogoju (14) za eno dimenzionalno projektiranje je zadoščeno. Učinkovita širina prečnega prereza po 30 minutah gorenja je

$$b_{ef} = b - 2 \cdot d_{char,0} = 200\text{mm} - 2 \cdot 19,5\text{mm} = 161\text{mm} \quad (44)$$

učinkovita višina pa je

$$h_{ef} = h - d_{char,0} = 300\text{mm} - 19,5\text{mm} = 280,5\text{mm} \quad (45)$$

Obseg učinkovitega prečnega prereza je

$$p = b_{ef} + 2 \cdot h_{ef} = 161\text{mm} + 2 \cdot 280,5\text{mm} = 72,2\text{cm} \quad (46)$$

površina

$$A_{ef} = b_{ef} \cdot h_{ef} = 161\text{mm} \cdot 280,5\text{mm} = 451,6\text{cm}^2 \quad , \quad (47)$$

odpornostni moment pa

$$W_{ef} = \frac{b_{ef} \cdot h_{ef}^2}{6} = \frac{138\text{mm} \cdot (269\text{mm})^2}{6} = 2111,3\text{cm}^3 \quad . \quad (48)$$

Razmerje med obsegom in površino je

$$\frac{p}{A_{ef}} = \frac{72,2\text{cm}}{451,6\text{cm}^2} = 15,99 \frac{1}{\text{m}} \quad . \quad (49)$$

Metodo reducirane trdnosti uporabljamo pri pravokotnih prečnih prerezi iz mehkega lesa, izpostavljenih požaru s treh oziroma štirih strani, in pri okroglih prečnih prerezi, izpostavljenih vzdolž celotnega obsega. Predpis podaja izraze za redukcijo mehanskih karakteristik požaru izpostavljenega lesa po 20 minutah gorenja ( $t \geq 20 \text{ min}$ )

pri upogibni trdnosti

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{200} \cdot 15,99 \frac{1}{\text{m}} = 0,9201 \quad , \quad (50)$$

pri tlačni trdnosti

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{125} \cdot 15,99 \frac{1}{\text{m}} = 0,8721 \quad , \quad (51)$$

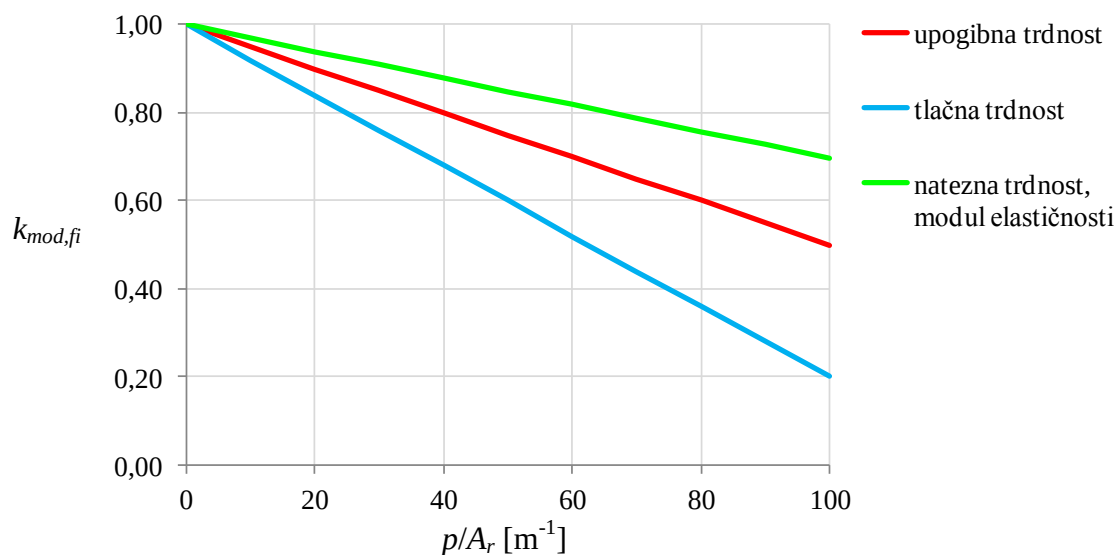
pri natezni trdnosti in modulu elastičnosti

$$k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \cdot \frac{p}{A_r} = 1,0 - \frac{1}{330} \cdot 15,99 \frac{1}{\text{m}} = 0,9516 \quad , \quad (52)$$

pri čemer je

$p$  obseg požaru izpostavljenega preostanka prečnega prereza v metrih,  
 $A_r$  površina požaru izpostavljenega preostanka prečnega prereza v kvadratnih metrih.

Pri nezaščitenih in zaščitenih elementih je na začetku,  $t = 0$ , modifikacijski faktor  $k_{mod,fi} = 1,0$ . Pri nezaščitenih elementih lahko modifikacijski faktor  $k_{mod,fi}$  določimo z linearno interpolacijo.



Slika 7 Redukcija mehanskih karakteristik požaru izpostavljenega lesa.

Preglednica 7 Projektne vrednosti trdnosti in deformacijskih lastnosti masivnega lesa, izpostavljenega požaru.

| trdnostni razred   |                    | C 30      |
|--------------------|--------------------|-----------|
| upogibna trdnost   | $f_{m,d,fi}$       | 34,5 MPa  |
| natezna trdnost    | $f_{t,0,d,fi}$     | 21,4 MPa  |
|                    | $f_{t,90,d,fi}$    | 0,714 MPa |
| tlačna trdnost     | $f_{c,0,d,fi}$     | 25,1 MPa  |
|                    | $f_{c,90,d,fi}$    | 2,94 MPa  |
| modul elastičnosti | $E_{0,d,mean,fi}$  | 14273 MPa |
|                    | $E_{0,d,fi}$       | 9516 MPa  |
|                    | $E_{90,d,mean,fi}$ | 476 MPa   |

Največja normalna napetost je

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,d,max}}{W_{z,ef}} = \frac{20,3125 \text{ kNm}}{2111,3 \text{ cm}^3} = 9,62 \text{ MPa} < f_{m,d,fi} = 34,5 \text{ MPa} \quad (53)$$

## 1.11 Domača naloga

- a) Povečamo koristno obtežbo nosilca, pogoj nosilnosti.

*Koristna obtežba:*  $q = 6, 8, 10, 12 \text{ kN/m}$

- b) Povečamo pogoj nosilnosti.

*Pogoj nosilnosti:* R45, R60, R90 (po metodi reduciranega prereza je upogibna napetost močno prekoračena, po metodi reducirane trdnosti pa gre skozi), R120, R180

- c) Spremenimo dolžino nosilca.

*Dolžina nosilca:*  $l = 4, 6 \text{ m}$

- d) Spremenimo trdnostni razred lesa.

*Trdnostni razred:* C22, C24, C27, C35, C40