

10. vaja

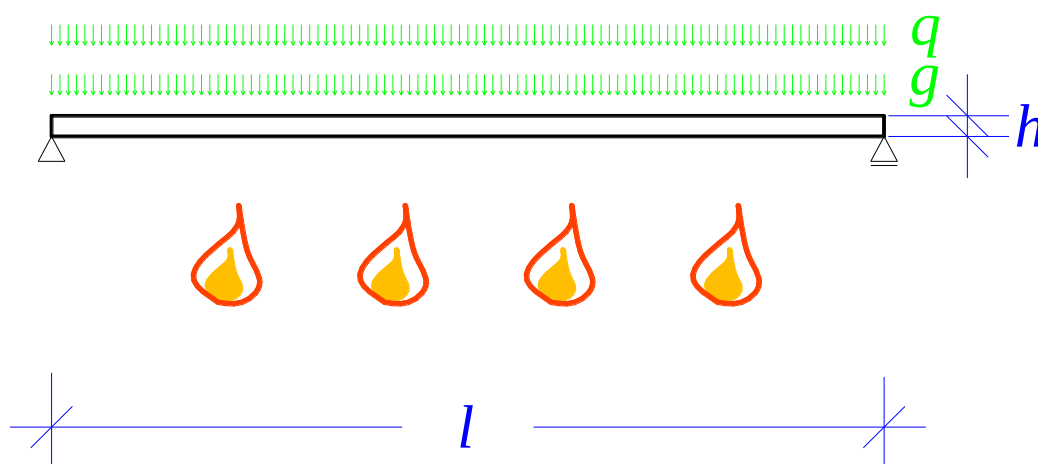
PROJEKTIRANJE LESENE KONSTRUKCIJE, IZPOSTAVLJENE POŽARU

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	ρ_k	290 kg/m ³	310 kg/m ³	320 kg/m ³	330 kg/m ³	340 kg/m ³	350 kg/m ³

		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	ρ_k	370 kg/m ³	380 kg/m ³	400 kg/m ³	420 kg/m ³	440 kg/m ³	460 kg/m ³

		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	ρ_k	530 kg/m ³	560 kg/m ³	590 kg/m ³	650 kg/m ³	700 kg/m ³	900 kg/m ³

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

$$\tau_d = \frac{V_{z,d,max}}{\frac{2}{3} A} = \frac{35,625 \text{ kNm}}{0,06 \text{ m}^2} = 0,89 \text{ MPa} < f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_M} = 0,80 \cdot \frac{3 \text{ MPa}}{1,30} = 1,85 \text{ MPa} \quad (11)$$

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 ψ (SIST EN 1990:2004, stran 39).

vrsta vpliva	ψ_0	ψ_1	ψ_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 ≤ 30 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorija G: prometne površine - 30 kN < teža vozila ≤ 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 (connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels)	1,15
povezave s strižno obremenjenimi veznimi sredstvi iz jekla (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.

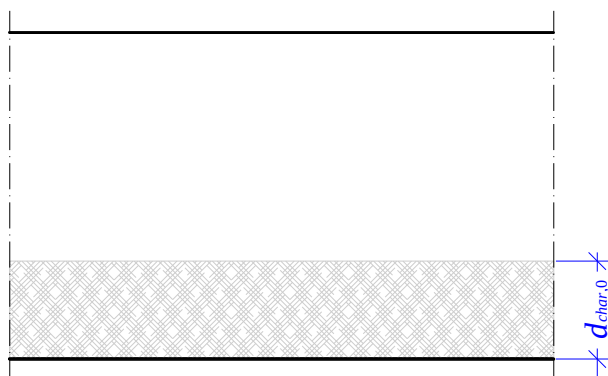
trdnostni razred		C 30
upogibna trdnost	$f_{m,20}$	37,5 MPa
natezna trdnost	$f_{t,0,20}$	22,5 MPa
	$f_{t,90,20}$	0,75 MPa
tlačna trdnost	$f_{c,0,20}$	28,75 MPa
	$f_{c,90,20}$	3,375 MPa
strižna trdnost	$f_{v,20}$	3,75 MPa
modul elastičnosti	$E_{0,mean,20}$	15000 MPa
	$E_{0,20}$	10000 MPa
	$E_{90,mean,20}$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

1.9 Hitrost gorenja lesenih nosilnih elementov izpostavljenih požaru

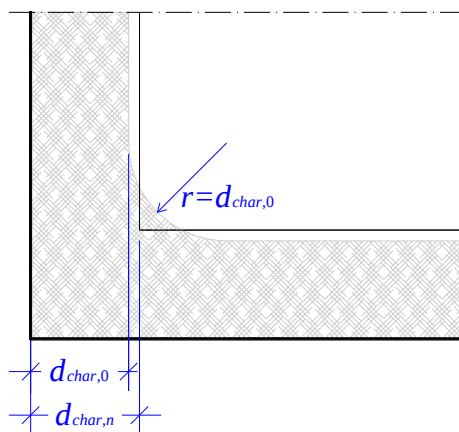
Hitrost gorenja je odvisna od vrste materiala in geometrije prereza.

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

Hitrost odgorevanja materiala izračunamo s faktorjem β_0 ali β_n , odvisno od geometrije elementa. Faktor β_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.

	β_0 mm/min	β_n 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 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 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,
 β_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,
 β_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 kg/m^3 in debelinah panelov manjših od 20 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_ρ in k_h enaka

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

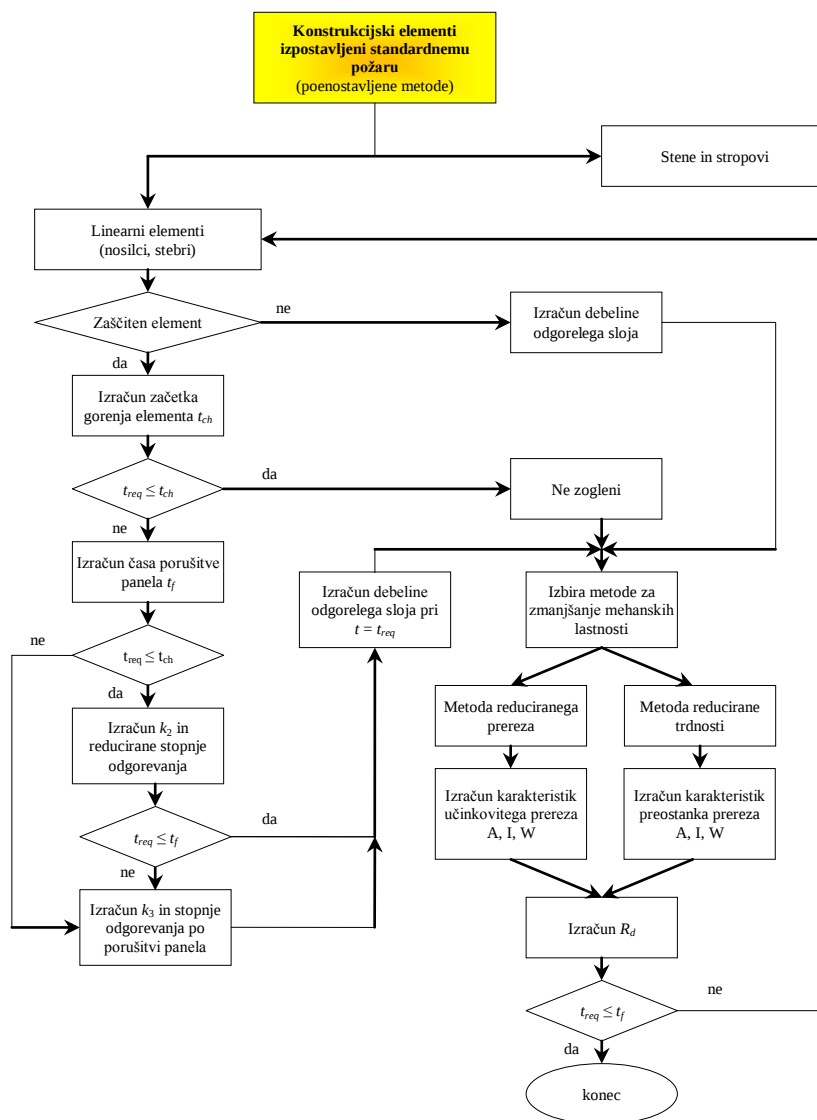
$$k_h = \sqrt{\frac{20}{h_p}} \quad (34)$$

in je

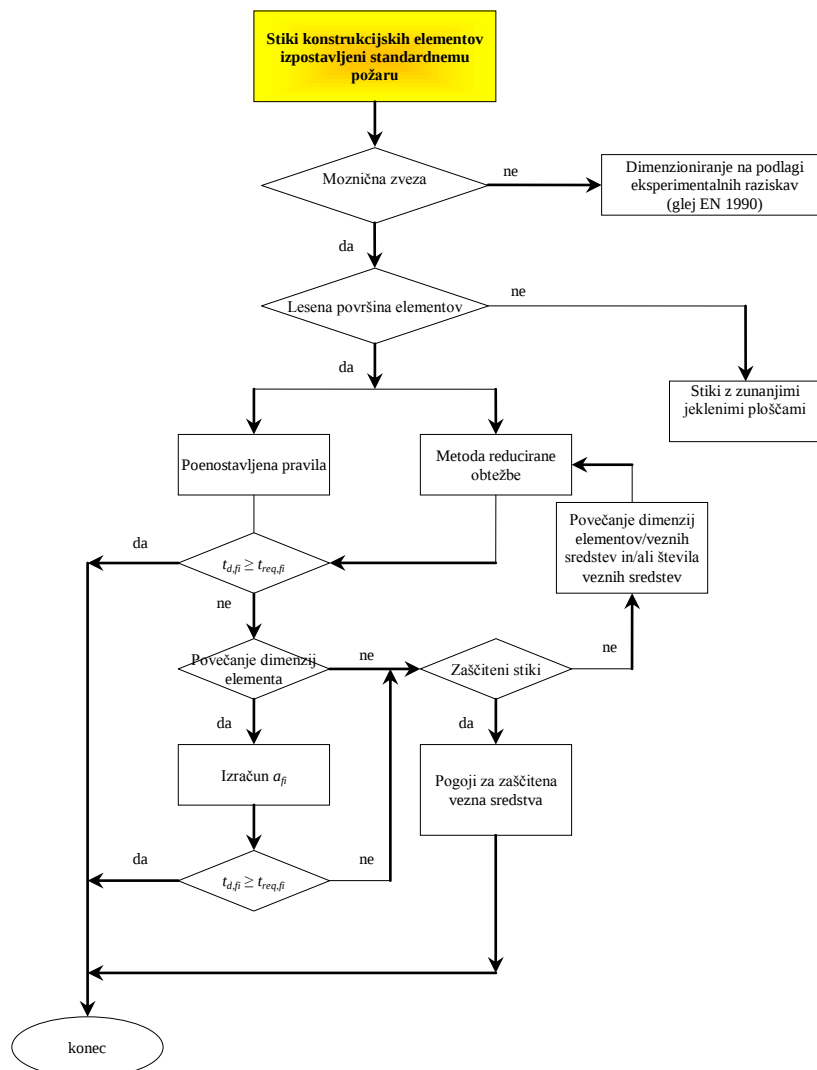
ρ_k karakteristična gostota lesa v kg/m^3 ,
 h_p debelina panela v mm.

1.10 Dimenzioniranje konstrukcijskih elementov in njihovih stikov, izpostavljenih požaru

Predpis podaja poenostavljena pravila za določitev lastnosti prečnih prerezov 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

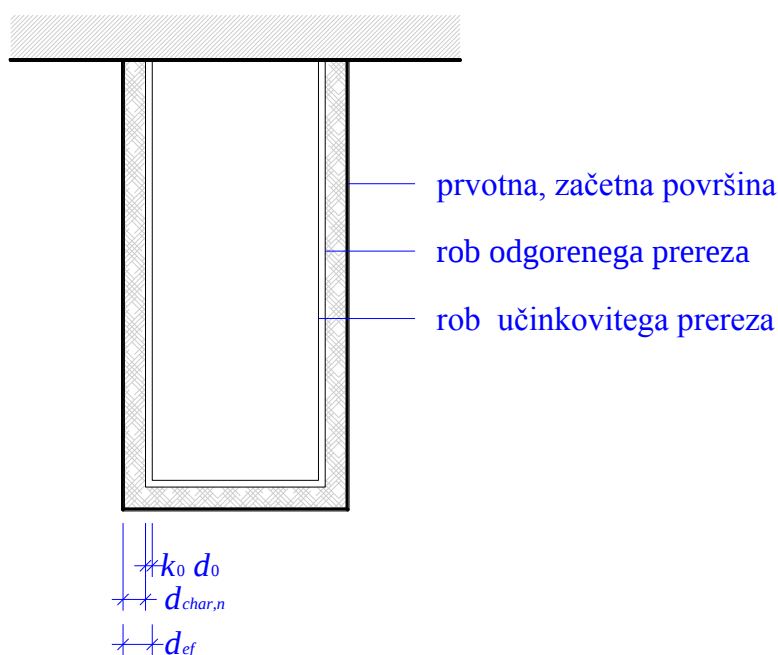
d_0 = 7 mm,
 $d_{char,n}$ namišljena projektna debelina odgorelega sloja, ki vključuje učinek vogalnih zaokrožitev,

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

$$\tau_d = \frac{V_{z,d,max}}{\frac{2}{3}A_{ef}} = \frac{16,25\text{kNm}}{371,2\text{cm}^2} = 0,66\text{MPa} < f_{v,d,fi} = 3,75\text{MPa} \quad (43)$$

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

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

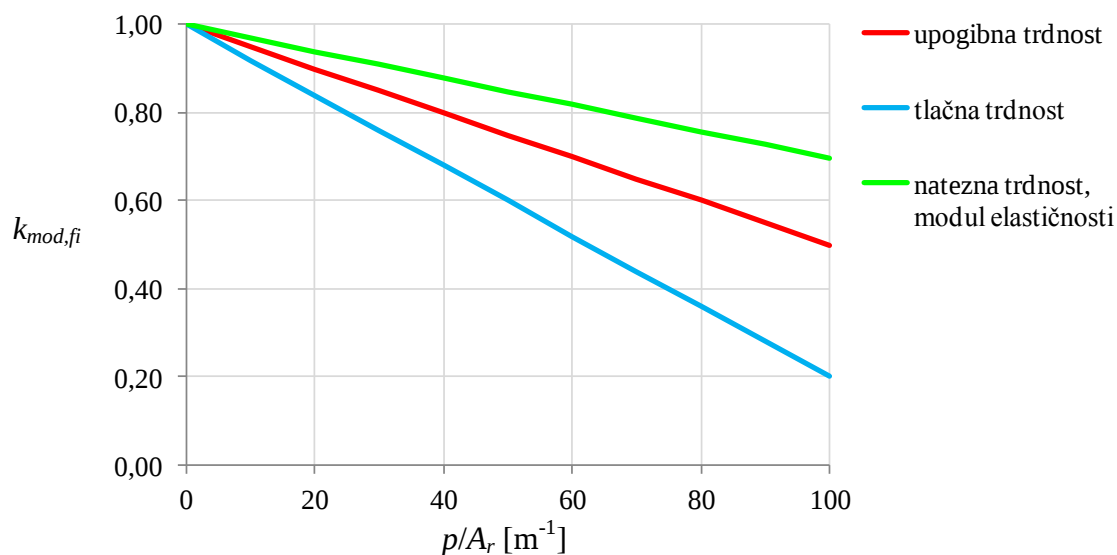
pri natezni trdnosti in modulu elastičnosti

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

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