



Ivana Barić¹, Tihomir Štefić², Aleksandar Jurić³.

DIJAGRAMI ZA ODABIR POPREČNOG PRESJEKA NOSAČA OD DRVA ZA RAZLIČITE PROTUPOŽARNE OTPORNOSTI

Rezime

U radu je predstavljen proračun protupožarne otpornosti drvenih konstrukcija od drva prema normi EN 1995-1-2. Navedena norma preporuča dva načina proračuna: metodu proračunskog presjeka i metodu redukcije svojstava. Kako bi se proračun što je moguće više približio projektantima te lakše i češće primjenjivao u praksi izrađena su dva dijagrama koja prikazuju protupožarnu otpornost poprečnih presjeka različitih dimenzija poprečnog presjeka odnosno različitih kombinacija širina i visina presjeka. Dijagrami su izrađeni uz pretpostavku naprezanja od savijanja jednakog čvrstoći materijala.

Ključne riječi

EN 1995-1-2, drvo, protupožarna otpornost, metoda proračunskog poprečnog presjeka.

¹ *Ivana Barić, dipl.ing.građ., Titula, zvanje, firma/ustanova, adresa ustanove ili lična adresa autora, e-mail. (Stil Footnote Text: Times New Roman 8pt, italic)*

² *Tihomir Štefić, dipl.ing.građ., asistent, Građevinski fakultet u Osijeku, Drinska 16a, 31000 Osijek, tsteffic@gfos.hr.*

³ *Doc.dr.sc. Aleksandar Jurić, dipl.ing.građ., docent, Građevinski fakultet u Osijeku, Drinska 16a, 31000 Osijek, ajuric@gfos.hr.*

DIAGRAMS FOR CROSS SECTION DIMENSIONS OF TIMBER BEAMS FOR DIFFERENT FIRE RESISTANCES

Summary

In this paper the design procedure for fire resistance of timber structures proposed by norm EN 1995-1-2 is described. The mentioned norm proposes two ways of design: reduced cross-section method and reduced properties method. In order to popularize the design procedure and thus to bring it closer to the design engineers', so that it would be used more easily and more often in practice, two diagrams that describe the fire resistance of different cross-sections that is different combination of width and height, were constructed. The diagrams were constructed with the assumption that the bending stress is equal to the bending strength of the material.

Key words

EN 1995-1-2, timber, fire resistance, reduced cross-section method.

1. UVOD

Pri proračunu drvenih konstrukcija na požar osnovni uvjet je da konstrukcija zadrži svoje karakteristike tijekom određenog vremena trajanja požara kako bi u tom vremenu bilo moguće spasiti i evakuirati ljude, opremu i slično te spriječiti da se požar širi dalje. Pri požaru drvenih konstrukcija razlikujemo dvije faze: požar u nastanku, gdje se požar ne širi na ostale zapaljive elemente, i puni požar, gdje se požar širi na sve elemente u okolini te je ovdje bitna i (ne)sposobnost prijenosa požara. Iako je drvo materijal koji gori i podržava gorenje s druge strane puno manje isijava toplinu od ostalih sličnih materijala (beton ili čelik). Razlike u zapaljivosti i prijenosu požara određenog drva ovise i o gustoći, vrsti i vlažnosti u konkretnom slučaju.

Postavljena su tri kriterija koja bi drvena konstrukcija morala ispuniti pri djelovanju požara. Prvi kriterij je kriterij nosivosti (R), koji podrazumjeva kako konstrukcija mora sačuvati svoju nosivost pri požaru tijekom određenog vremena. Drugi kriterij je osiguranje integriteta konstrukcije (E), koji podrazumjeva kako će konstrukcija spriječavati prolaz plamena i vrućih plinova od mjesta nastanka požara. I treći kriterij je kriterij izolacije (I), koji podrazumjeva kako prosječan porast temperature na neizloženoj ili bilo kojoj površini neće prelaziti određenu vrijednost (140 K ili 180 K).

Eurokod EN 1995-1-2 obrađuje proračun zaštićenih i nezaštićenih konstrukcija, dijelova konstrukcija, elemenata, spojeva, izračun karakteristika materijala pri djelovanju

požara te nudi dva pojednostavljena načina izračuna požarne otpornosti. U ovom radu odabran je način proračuna protupožarne otpornosti metodom proračunskog poprečnog presjeka te su za sve kombinacije različitih širina i visina presjeka izračunate protupožarne otpornosti i prezentirane u vidu dijagrama. Kako je velika većina drvenih nosača, odabranih i proračunatih dimenzija poprečnog presjeka, dominantno opterećena momentom savijanja pri izradi dijagrama koristila se samo čvrstoća na savijanje. Svakako bi se u obzir trebale uzeti i druge rezne sile (utjecaji), te moguće interakcije istih, što bi za posljedicu imalo velik broj mogućih kombinacija, u ovom radu se obrađivao samo utjecaj od momenta savijanja. Kod rešetkastih nosača elementi dominantno nose na uzdužne (vlačne i tlačne) sile te se ovi dijagrami na njih ne mogu primjeniti, ali svakako pokazuju put kojim bi se mogli izraditi dijagrami za protupožarnu otpornosti elemenata opterećenih uzdužnim silama.

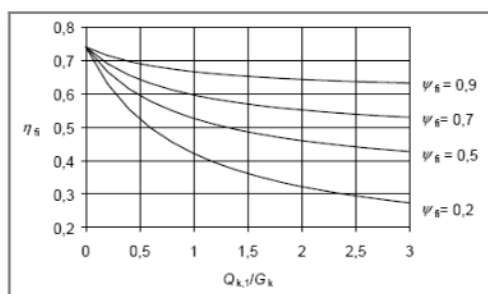
2. PRORAČUN KONSTRUKCIJE NA POŽARNO OPTEREĆENJE

2.1. ANALIZA UTJECAJA NA KONSTRUKCIJU

Uvjet koji konstrukcija mora ispuniti pri djelovanja požara glasi:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi} \quad (1)$$

Gdje je $E_{d,fi}$ reducirano proračunsko djelovanje koje dobijamo množenjem djelovanja pri normalnoj temperaturi s faktorom redukcije η_{fi} . Faktor redukcije ovisi o omjeru promjenjivog i stalno opterećenja te se može očitati s dijagrama na slici 1. Radi pojednostavljenja proračuna možemo ga uzeti kao konstantu $\eta_{fi}=0,6$.



Slika 1. Faktor redukcije ovisno o faktorima kombinacije ψ_{fi} i omjeru $Q_{k,1}/G_k$ (prEN 1995-1-2:2003 (E), Figure 2.1, str. 18)

2.2. PRORAČUN VRIJEDNOSTI KARAKTERISTIKA MATERIJALA

Proračunske vrijednosti čvrstoća drva pri požaru određujemo iz karakterističnih vrijednosti (5%) koje se množe s faktorom k_{fi} čime od njih činimo 20% odnosno f_{20} . Tu karakterističnu vrijednost pretvaramo u proračunsku prema sljedećem izrazu:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (2)$$

gdje je:

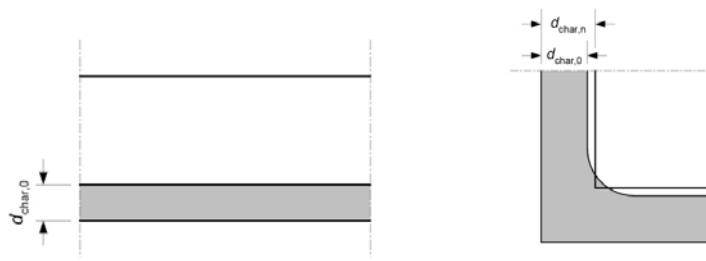
- $k_{mod,fi}=1,0$ – faktor modifikacije pri djelovanju požara,
- k_{fi} – očitavamo iz tablice 1.

Tablica 1. Vrijednosti faktora k_{fi} (prEN 1995-1-2:2003 (E), table 2.1, str. 16)

	k_{fi}
Solid timber	1,25
Glued-laminated timber	1,15
Wood-based panels	1,15
LVL	1,1
Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels	1,15
Connections with fasteners in shear with side members of steel	1,05
Connections with axially loaded fasteners	1,05

2.3. PRORAČUN NEZAŠTIĆENIH POVRŠINA

Pri proračunu nezaštićenih površina potrebno je odrediti koliko je u određenom trenutku požara presjeka izgorilo, odnosno potrebno je odrediti dubinu pougljenja kako bi se izračunale stvarne dimenzije poprečnog presjeka i odredila preostala nosivost. Razlikujemo jednostrano (element izložen požaru samo s jedne strane) i višestranu pougljenje (element izložen požaru s više strana) – slika 2.



Slika 2. Jednostrano i dvostrano pougljenje (prEN 1995-1-2:2003 (E), Figure 3.1 i 3.2, str. 21 i 22)

U slučaju jednostranog pougljenja računa se dubina pougljenja $d_{\text{char},0}$ (udaljenost između vanjske površine drvenog elementa i linije pougljenja), a u slučaju višestranog pougljenja uvodi se fiktivna nominalna dubina pougljenja $d_{\text{char},n}$. Dubina pougljenja se dobije tako da se brzina pougljenja (za jedno ili višestranog) množi s vremenom trajanja izloženosti požaru t . Proračunske brzine pougljenja prikazane su u na slici 2 te dane u tablici 2.

Tablica 2. Proračunske brzine pougljenja β_0 i β_n (prEN 1995-1-2:2003 (E), table 3.1, str. 23)

	β_0 mm/min	β_n mm/min
a) Softwood and beech		
Glued laminated timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid timber with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
b) Hardwood		
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Solid or glued laminated hardwood with a characteristic density of $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,50	0,55
c) LVL		
with a characteristic density of $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
d) Panels		
Wood panelling	0,9 ^a	–
Plywood	1,0 ^a	–
Wood-based panels other than plywood	0,9 ^a	–

^a The values apply to a characteristic density of 450 kg/m^3 and a panel thickness of 20 mm; see 3.4.2(9) for other thicknesses and densities.

Za drugačije vrijednosti gustoća i/ili debljina ploča manjih od 20mm brzinu pougljenja određujemo prema izrazima:

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 k_\rho k_h \quad (3)$$

$$k_\rho = \sqrt{\frac{\rho_k}{450}} \quad (4)$$

$$k_h = \min \left\{ \sqrt{\frac{20}{h_p}}, 1,0 \right\} \quad (5)$$

gdje je:

- ρ_k – karakteristična gustoća drva [kg/m^3],
- h_p – debljina ploče [mm].

Minimalne dimenzije presjeka kod jednostranog pougljenja određuju se prema izrazu:

$$b_{\min} = \begin{cases} 2d_{\text{char},0} + 80 \rightarrow d_{\text{char},0} \geq 13\text{mm} \\ 8,15d_{\text{char},0} \rightarrow d_{\text{char},0} < 13\text{mm} \end{cases} \quad (6)$$

2.4. PRORAČUN ZAŠTIĆENIH POVRŠINA

Pri proračunu zaštićenih površina proces pougljenja promatramo u nekoliko faza (perioda): vrijeme prije početka pougljenja ($t < t_{\text{ch}}$) – pougljenje počinje kasnije zbog primjene protupožarne zaštite, vrijeme prije otkaza protupožarne zaštite ($t_{\text{ch}} \leq t \leq t_f$) – pougljenje počinje prije otkaza zaštite, ali sporije napreduje, vrijeme nakon otkazivanja protupožarne zaštite ($t_f \leq t \leq t_a$) – pougljenje napreduje brže te vrijeme nakon t_a – pougljenje nastavlja s vrijednošću iz tablice 2. Za drugu fazu sporiju brzinu pougljenja određujemo množeći vrijednosti iz tablice 2 s faktorom k_2 koji ovisi o tipu protupožarne zaštite, dok za treću fazu veću brzinu pougljenja određujemo množeći ju s faktorom k_3 čija vrijednost je 2,0. Oznake faza su: t_{ch} – vrijeme do početka pougljenja, t_f – vrijeme kada nastupa otkazivanje zaštite, t_a – vrijeme prelaska brzine pougljenja od zaštićene na nezaštićenu površinu (vrijeme kada je dubina pougljenja jednaka kao i kod nezaštićenog elementa u istom trenu ili 25mm – mjerodavna je manja vrijednost).

Sve granične vrijednosti (t_{ch} , t_f , t_a) određuju se ovisno o korištenom protupožarnom materijalu ili ih je potrebno odrediti ispitivanjem. Budući kako se u ovom radu promatraju samo nezaštićeni nosači neće se više promatrati proračun zaštićenih površina.

2.5. METODA REDUKCIJE SVOJSTAVA

Ova metoda primjenjuje se za nosače pravokutnog poprečnog presjeka rađene od mekog drva i izložene požaru s tri ili četiri strane poprečnog presjeka te za nosače kružnog poprečnog presjeka koji je u potpunosti izložen požaru.

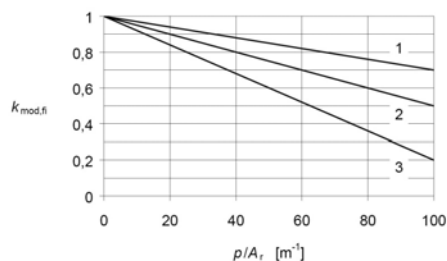
Faktor $k_{\text{mod},fi}$ određujemo ovisno o čvrstoći:

- čvrstoća na savijanje: $k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r}$,
- čvrstoća na tlak: $k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r}$,
- čvrstoća na vlak i modul elastičnosti: $k_{\text{mod},fi} = 1 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r}$,

gdje je:

- p – opseg preostalog poprečnog presjeka izloženog požaru [m'],
- A_r – površina preostalog poprečnog presjeka [m²].

Prema gore navedenim izrazima napravljen je dijagram prikazan na slici 3.



1- čvrstoća na vlak i modul elastičnosti, 2- čvrstoća na savijanje, 3-čvrstoća na tlak

Slika 3. Prikaz vrijednosti $k_{mod,fi}$ (prEN 1995-1-2:2003 (E), Figure 4.3, str. 32)

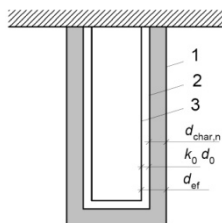
2.6. METODA PRORAČUNSKOG POPREČNOG PRESJEKA

Ova metoda bazira se na izračunu proračunskog poprečnog presjeka u određenom trenutku trajanja požara. Proračunska dimenzija poprečnog presjeka određuje se prema:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad (7)$$

gdje je:

- $d_0 = 7 \text{ mm}$ – početni sloj koji se isključuje iz nosivosti,
- $k_0 = 1,0$ – za požare trajanja iznad 20 min, $= t/20$ – za požare trajanja do 20 min,
- $d_{char,n} = \beta_n t$ – dubina pougljenja u određenom trenu požara [mm].



1- početna površina pop.pr., 2- granica preostalog pop.pr., 3-proračunski pop.pr.

Slika 4. Definicija proračunskog poprečnog presjeka (prEN 1995-1-2:2003 (E), Figure 4.1, str. 30)

Osnovna ideja je u određenom trenutku trajanja požara odrediti proračunski (preostali) poprečni presjek te provjeriti može li on prenjeti utjecaje.

3. IZRAČUN PROTUPOŽARNE OTPORNOSTI METODOM PRORAČUNSKOG PRESJEKA

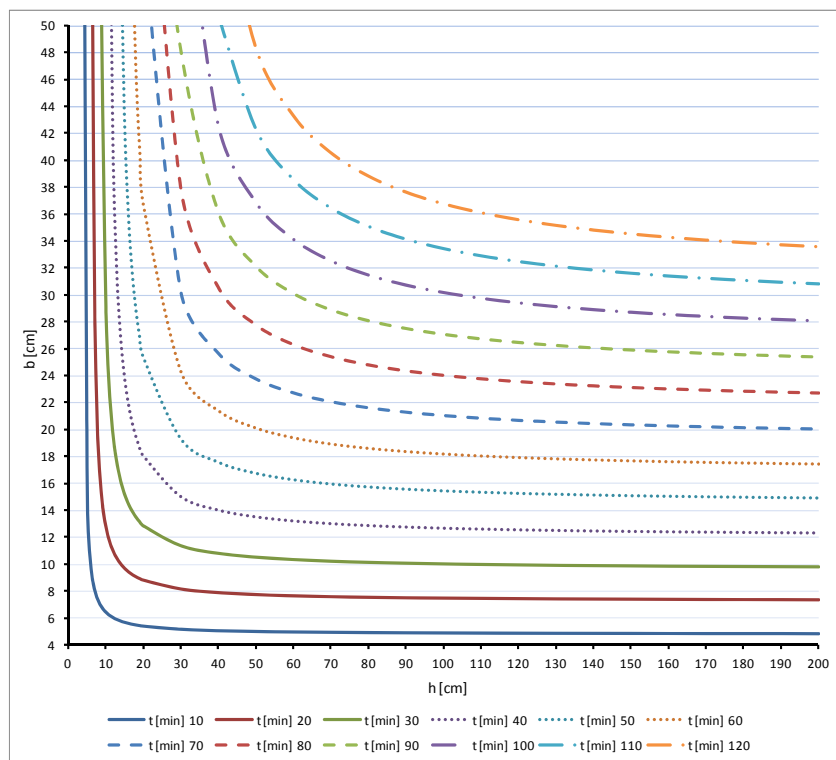
Pri proračunu konstrukcije na moment savijanja oko osi y-y („jače“ osi) potrebno je ispuniti sljedeću nejednadžbu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq k_{crit,y} f_{m,d} \quad (8)$$

Ukoliko isti presjek proračunavamo na utjecaj požara moramo ispuniti i sljedeću nejednadžbu:

$$\sigma_{m,y,fi} = \frac{M_{y,fi}}{W_{y,ef}} \leq k_{crit,y} f_{m,fi} \quad (9)$$

Uz pretpostavke kako nema problema izbočavanja ($k_{crit,y}=1,0$), kako se radi o LLD gustoće između 290 i 450 kg/m³ ($\gamma_M = 1,25$, $k_{fi}=1,15$ i $\beta_n = 0,7$), faktora redukcije zbog kombinacije te omjera stalnog i promjenjivog opterećenja $\eta_{fi} = 0,6$ i ukoliko izjednačimo izraze (8) i (9) možemo kombiniranjem različitih parova širina (b) i visina presjeka (h) izraditi dijagram prikazan na slici 5.



Slika 6. Dijagram protupožarne otpornosti različitih presjeka od LLD prema Metodi poračunskog poprečnog presjeka

4. ZAKLJUČAK

Prema dijagramu sa slike 6 možemo, vrlo brzo i precizno, dobiti ocjenu protupožarne otpornosti bilo kojeg „para“ dimenzija poprečnog presjeka (širina i visina). Primjerice za presjek $b/h = 14/20$ cm vidimo kako za malu vrijednost prelazi granicu protupožarne otpornosti od 30 minuta, dok presjek $20/60$ cm ispunjava protupožarnu otpornost F60 (požar u trajanju od 60 minuta). Iako je raspon širina presjeka nelogičan, gledajući trenutne trendove i mogućnosti pri proizvodnji LLD-a (ne proizvode se presjeci

širi od 20cm, iznimno do 22cm), u dijagramu je vidljiv raspon širina do 50 cm. Ovo je učinjeno kako bi se dobio uvid u proračunski tražene vrijednosti širina u odnosu na visinu, kao preporuka spajanja dva nosača u jedan (radi postizanja većih širina) te kao razumna granica korištenja nezaštićenih nosača ukoliko postoji potreba za određenom protupožarnom otpornosti nosača.

LITERATURA

- [1] Žagar, Z., Drvene konstrukcije II, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 1999.
- [2] Bjelanović, A., Rajčić, V., Drvene konstrukcije prema euronormama, Hrvatska sveučilišna naklada & Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2005.
- [3] prEN 1995-1-2:2003 (E): Eurocode 5 Design of fire resistance of timber structures
- [4] Cachim, P. B.; Franssen. J. 2010: "Assessment of Eurocode 5 charring rate calculation methods", Fire Technology, 46, str. 169-181
- [5] Education and Culture Leonardo da Vinci 2008: " Fire resistance of timber structures, Handbook 1– Timber structures ", Chapter No. 17, Graz, September 2008.
- [6] Karakteristike LLD, <http://drvene-konstrukcije.hr/konstrukcije-od-llda/karakteristike-lld/>
- [7] Peroš, B.; Boko, I. 2009: Otpornost konstrukcija na požar, http://stari.gradst.hr/~pavasac/Strucno/Strucno_usavrsavanje_02_04_2009-Boko.pdf
- [8] Barić, I., Štefić, T., Takač, S. : " Proračun protupožarne otpornosti drvenih konstrukcija prema eurokodu ", e-gfos, broj 3, 2011. (u postupku objavljivanja)