Prora un otpornosti drvenih elemenata na dejstvo požara prema Evrokodu 5

DUŠICA J. PEŠI, Univerzitet u Nišu,
Fakultet zaštite na radu, Niš
NIKOLA Z. MIŠIĆ, Univerzitet u Nišu,
Fakultet zaštite na radu, Niš
ACA V. BOŽILOV, Univerzitet u Nišu,
Fakultet zaštite na radu, Niš

Pregledni rad
UDC: 624.011.1:614.84
DOI: 10.5937/tehnika1601027P

Određivanje stepena otpornosti drvenih konstruktivnih elemenata na požar zahteva procenu njihovog ponašanja u uslovima odigravanja požara. Drvo poseduje prirodnu otpornost na prodiranje plamena i toplote unutar njegovog preseka zbog male toplotne provodljivosti i formiranja izolacionog ugljenisanog sloja tokom sagorevanja. Međutim, drvene konstrukcije pri požaru gube svoja mehanička svojstva što se odražava na njihovu nosivost. Zbog toga je, u cilju njihove šire primene, neophodno projektovati konstrukciju sa zahtevanim vremenom otpornosti na požar. Za proračun neophodnih parametara može se koristiti analitički postupak koji se bazira na izloženosti nezaštićenih i zaštićenih drvenih elemenata parametarskom požaru. Njihova pouzdanost u uslovima požara se proverava na osnovu rezidualne nosivosti pri određivanju nosivosti elementa treba da ima veći vrednost od vrednosti proračunskog opterećenja za zahtevano vreme izloženosti požaru.

Ključne reči: drveni konstruktivni element, parametarski požar, otpornost na požar, nosivost

1. UVOD

Zbog male zapreminske mase (oko 5% u odnosu na čelik i 16% u odnosu na armirani beton), relativno visoke čvrstoće (čvrstoće nekih vrsta drveta veće su od čvrstoće nekih betona), lake obrade, kao i cene, drvo ima prednost u odnosu na ostale građevinske materijale. U građevinarstvu se drvo može koristiti za sve delove objekta (temelje, zidove, stubove, grede). Međutim, postoje predrasude da je zapaljivost drveta prepreka njegovoj široj upotrebi.

Široka primena drveta u zemljama gde je izgradnja drvenih objekata tradicija, govori u prilog činjenici da se ponašanje drveta u uslovima požara ne može oceniti opasnijim od ponašanja drugih građevinskih materijala. Naime, drvo poseduje dobre osobine u pogledu otpornosti na požar. Na primer, toplotu dozračenja od plamena požara drvo provodi 10 puta slabije u odnosu na beton i 250 puta slabije u odnosu na čelik [1, 2, 3]. Zapaljivost drveta zavisi od vrste drveta, kao i njegove gustine i vlažnosti. Na površini drveta se pri njegovom sagorevanju obrazuje sloj koji sprečava dalje provođenje

nje toplote i zagrevanje unutrašnjosti drveta. Sa druge strane, u cilju povećanja nivoa otpornosti drvenih konstruktivnih elemenata na dejstvo požara, u praksi se primenjuju i različite metode zaštite od požara, kao što su: korišćenje masivnih poprečnih preseka elemenata i oblaganje drvenih konstruktivnih elemenata izolacionim materijalima, što povećava cenu izgradnje objekta.

U cilju smanjenja troškova izgradnje neophodno je još u fazi projektovanja objekta uzeti u obzir dejstvo eventualnog požara kao akcidentnog delovanja na konstrukciju.

Prilikom požara dolazi do oslobađanja velikih količina toplote što je prouzrokuje visokim temperaturama koje imaju negativan uticaj na osobine konstrukcionih materijala i nosivost građevinske konstrukcije. Delovanje požara može imati za posledicu povećanje naprezanja u konstrukciji zbog degradacije njenog poprečnog preseka i smanjenja otpornosti zbog redukcije mehaničkih svojstava.

Zbog toga se nameće potreba pravilnog dimenzionisanja drvenih konstruktivnih elemenata sa ciljem da se zadovolji zahtevana otpornost u uslovima požara.

Pri određivanju optimalnog nivoa otpornosti, projektovani nivo opterećenja na konstrukciju mora odgovarati specifičnim faktorima sigurnosti za slučaj

Adresa autora: Dušica Peši, Univerzitet u Nišu,
Fakultet zaštite na radu, Niš, Arsojevića 10
Rad primljen: 02.12.2015.
Rad prihvaćen: 01.02.2016.

požara koji se razlikuju od onih koji se koriste pri projektovanju objekta [4].

Da bi se postigao zahtevani nivo otpornosti drvenih elemenata neophodno je poznavati mehanizam sagorevanja drveta i obrazovanja ugljenisanog sloja. Zbog toga je u radu najpre analizirano termičko i hemijsko razlaganje drveta pri povišenim temperaturama, kao i njegovo sagorevanje. U cilju određivanja optimalnog stepena otpornosti na požar i određivanja nosivosti drvenih konstruktivnih elemenata pri eksploataciji objekta, prikazana je metodologija proračuna otpornosti nezaštićenih i zaštićenih nosivih linijskih drvenih konstruktivnih elemenata (stubova i greda) u skladu sa odredbama Evrokodova EN 1991-1-2 [5] i EN 1995-1-2 [6]. Pouzdanost elementa proverava se na osnovu njegove rezidualne nosivosti pri čemu nosivost mora biti veća od vrednosti proračunatog ukupnog opterećenja koje deluje na drveni element.

2. PONAŠANJE DRVETA NA POVIŠENIM TEMPERATURAMA

Drvo se sastoji od sagorivih elemenata (ugljenik, vodonik i sumpor) i nesagorivih komponenata (voda i neki minerali). Proces gorenja drveta je posledica termičkog i hemijskog razlaganja izazvanog konstantnim priraštajem temperature koja zavisi od vremenskog intervala predgrevanja. Proces paljenja i sagorevanja drveta se mora posmatrati kroz nekoliko faza (slika 1):

- I faza: Temperature do 100°C prouzrokuju sušenje drveta kada iz njega isparava vlaga i hemijski vezana voda;

- II faza: Na temperaturama 100÷150°C isparavaju lako isparljive i ekstraktivne materije (terpentin);
- III faza: U temperaturnom intervalu 150÷250°C nastaje termička degradacija (piroliza) drveta uz istovremeno oslobađanje zapaljivih gasova iz njegove unutrašnjosti. Drvo počinje da se ugljeniši i dobija tamnu boju. Iz drveta se oslobađaju zapaljivi gasovi koji pri temperaturi od 250°C dostižu koncentracije dovoljne da se drvo uz pomoć spoljašnjeg izvora paljenja zapali;
- IV faza: Na temperaturama iznad 250°C oslobađanje zapaljivih gasova je još intenzivnije i ugljenisanje (karbonizacija) je sve dublje, što ima za posledicu povećanje debljine ugljenisanog sloja. Sa uklanjanjem izvora paljenja prekida se proces sagorevanja drveta, pošto ugljenisani sloj sprečava razlaganje drveta po dubini. Temperatura prihvatanja plamena iznosi oko 300 °C za listopadno drveće i oko 350 °C za četinare [7]. Nakon toga dolazi do ravnomernog povećanja temperature unutar drveta. Reakcija postaje egzotermna, usled čega dolazi do samozagrevanja drveta i obrazovanja ugljovodonika. Kao posledica povećanja temperature javlja se mehaničko raspadanje drveta i stvaraju se nove gorive površine;
- V faza: Daljim rastom temperature 370÷510°C drvo se potpuno ugljeniši uz intenzivno oslobađanje zapaljivih gasova;
- VI faza: Na temperaturama preko 510 °C dolazi do znatnog smanjenja količine oslobođenih gasova i do rasta debljine ugljenisanog sloja. Drvo se potpuno raspada i sagoreva pri čemu se obrazuju gasoviti produkti i ostaje pepeo.

Slika 1 – Promene u drvetu izazvane povišenim temperaturama

3. PRORA UN OTPORNOSTI DRVENIH ELEMENATA NA DEJSTVO POŽARA

Izloženost drvenog konstruktivnog elementa požaru ima za posledicu ugljenisanje drveta odnosno smanjenje poprečnog preseka elementa.

Metodologija prora una drvenih elemenata zahtevane nosivosti za slučaj delovanja požara kao akcidentne situacije, propisana Evrokodom EN 1995-

1-2, može se predstaviti dijagramom toka prikazanom na slici 2 [6].

Kao što se sa slike može videti, metodologijom su obuhva eni prora uni i provera nosivosti nezašti enih i zašti enih greda i stubova za uslove odigravanja standardnog i parametarskog požara. Parametarski požar, za razliku od standardnog, pored faze razvoja i razvijene faze, razmatra i fazu stišavanja požara [8].

Slika 2 – Dijagram toka za prora un zahtevane nosivosti drvenih elemenata

Obzirom da parametarski požar bolje oslikava uslove odigravanja realnog požara, celishodniji je prora un njegovog delovanja na brzinu obrazovanja i debljinu ugljenisanog sloja elemenata.

3.1. Prora un debljine ugljenisanog sloja

Debljina ugljenisanog sloja drvenog konstruktivnog elementa se izraž unava na osnovu poznatog

vremena izloženosti parametarskom požaru i odgovaraju e brzine ugljenisanja. Pri tome se uzimaju u obzir sve površine nezašti enog elementa direktno izložene požaru, kao i površine zašti enog elementa kod kojih ugljenisanje nastupa nakon odre enog vremena izloženosti požaru [9]. U skladu sa mehanizmom paljenja i sagorevanja drveta, brzina njegovog ugljenisanja najpre ima konstantnu vrednost, da bi nakon

obrazovanja ugljenisanog sloja po elu da opada. Zavisnost brzine ugljenisanja nezašti enog mekog drveta od vremena prikazana je na slici 3.

Slika 3 – Zavisnost brzine ugljenisanja od vremena

U realnim uslovima odigravanja požara, zbog morfologije drveta obrazovani ugljenisani sloj je zaobljen na ivicama elementa. Me utim, pri prora unu brzine ugljenisanja i debljine ugljenisanog sloja usvaja se njegova vrednost bez zaobljenja ivica (slika 4).

Slika 4 – Stvarna i nominalna debljina ugljenisanog sloja grede

Brzina ugljenisanja drvenog elementa tokom faze zagrevanja prema krivi temperatura-vreme parametarskog požara data je izrazom [6]

$$S_0 = 1,5S_n \frac{0,2\sqrt{\Gamma} - 0,04}{0,16\sqrt{\Gamma} + 0,08} \quad (1)$$

gde su S_n - nominalna prora unska brzina ugljenisanja, Γ - faktor toplotnih svojstava elementa koji se izra unava na osnovu izraza

$$\Gamma = (O/b)^2 / (0,04/1160)^2$$

Apsorpcija toplote po površini drvenog konstruktivnog elementa, b , i stepen otvorenosti prostorije, O , u kojoj se odigrava požar izra unavaju na osnovu izraza [6]

$$b = \sqrt{\dots c}$$

$$O = \frac{A_v}{A_t} \sqrt{h_{eq}}$$

$$h_{eq} = \sum \frac{A_i h_i}{A_v}$$

gde su λ - koeficijent toplotne provodljivosti elementa, ρ - karakteristi na zapreminska masa elementa, c - specifi na toplota elementa, A_t - površina poda, zidova i plafona prostorije, A_v - površina vertikalnih otvora prostorije, h_{eq} - prose na visina svih otvora, A_i - površina vertikalnog otvora i , h_i - visina vertikalnog otvora i .

Debljina ugljenisanog sloja se izra unava na osnovu izraza

$$d_{char,0} = \begin{cases} S_0 t & \text{za } t \leq t_0 \\ S_0 \left(1,5t - \frac{t^2}{4t_0} - \frac{t_0}{4} \right) & \text{za } t_0 < t \leq 3t_0 \\ 2S_0 t_0 & \text{za } 3t_0 < t \leq 5t_0 \end{cases} \quad (2)$$

pri emu se prora unski period sa konstantnom brzinom ugljenisanja izra unava izrazom

$$t_0 = 0,009 \frac{q_{t,d}}{O}$$

gde je $q_{t,d}$ prora unska vrednost koli ine oslobo ene toplote pri požaru po jedinici površine svih konstruktivnih elemenata prostorije (specifi no požarno optere enje).

Nominalna debljina ugljenisanog sloja se izra unava pomo u izraza

$$d_{char,n} = S_n t \quad (3)$$

Vrednosti S_0 i S_n za neke vrste drve a date su u tabeli 1.

Tabela 1. S_0 i S_n za neke vrste drve a

Vrsta drveta	S_0 [mm/min]	S_n [mm/min]
Meko drvo i bukva		
Lepljeno lamelirano drvo karakteristi ne zapreminske mase 290 kg/m ³	0,65	0,7
Masivno drvo karakteristi ne zapreminske mase 290 kg/m ³	0,65	0,8
Tvrdo drvo		
Masivno i lepljeno lamelirano drvo karakteristi ne zapreminske mase 290 kg/m ³	0,65	0,7
Masivno i lepljeno lamelirano drvo karakteristi ne zapreminske mase 450 kg/m ³	0,50	0,55
Lamelirano furnirsko drvo		
karakteristi ne zapreminske mase 480 kg/m ³	0,65	0,7
Paneli		
Drvene plo e	0,9	-
Šperplo e	1,0	-
Ostale plo e na bazi drveta	0,9	-

3.2. Prora un parametara otkazivanja zaštite elemenata

Pri prora unu debljine ugljenisanja drvenih linijskih konstruktivnih elemenata (greda i stubova) zaštiti enih oblogama ili drugim materijalima, kao i drugim elementima konstrukcije, treba uzeti u obzir da:

- Po etak ugljenisanja po inje nakon odre enog vremena izlaganja požaru (t_{ch}). Vreme po etka ugljenisanja odre uje se na osnovu izraza
- za obloge na bazi drveta

$$t_{ch} = \frac{d_p}{S_0} - 4 \quad (4)$$

- za jednoslojne gipsane obloge na mestima pored spojeva sa nepopunjenim me uprstorima:
- manjim od 2 mm

$$t_{ch} = 2,8d_p - 14 \quad (5)$$

- ve im od 2 mm

$$t_{ch} = 2,8d_p - 23 \quad (6)$$

gde je d_p debljina obloge;

- Ugljenisanje drvenog elementa može zapo eti pre otkazivanja njegove zaštite, ali pri manjoj brzini od brzine ugljenisanja nezašti enih elemenata sve do vremena otkaza zaštitnih obloga (t_f). Do otkazivanja zaštitnih obloga naj eš e dolazi zbog njihove toplotne degradacije pri emu nastaje mehani ki otkaz i otkaza prouzrokovanog kidanjem veze sa spojnim sredstvima usled prekomernog ugljenisanja drvenog elementa. Vreme otkaza drvenih i gipsanih obloga identi no je vremenu po etka ugljenisanja;
- Nakon dostizanja vremena otkaza zaštite brzina ugljenisanja se pove ava do dostizanja grani nog vremena (t_a) koje se izra unava za dva slu aja:
- vreme po etka ugljenisanja jednako je vremenu otkaza zaštite ($t_{ch}=t_f$)

$$t_a = \min \begin{cases} 2t_f \\ 25/k_3 S_n + t_f \end{cases} \quad (7)$$

- vreme po etka ugljenisanja manje je od vremena otkaza zaštite ($t_{ch} < t_f$)

$$t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch})k_2 S_n}{k_3 S_n} + t_f \quad (8)$$

Brzina ugljenisanja se odre uje za dva slu aja:

- Za stanje pre otkaza zaštite ($t_{ch} < t_f$), brzina ugljenisanja se dobija tako što se brzina ugljenisanja data u tabeli 1 pomnoži sa faktorom k_2 koji zavisi

od vrste zaštite. Na primer, ako je drveni element zaštiti en gipsanom oblogom u jednom sloju, k_2 se izra unava prema izrazu

$$k_2 = 1 - 0,018d_p;$$

- Za stanje nakon otkaza zaštite ($t_f < t_a$), brzina ugljenisanja data u tabeli 1 množi se faktorom k_3 koji ima konstantnu vrednost ($k_3=2$). Kada je $t = t_a$, brzina ugljenisanja je jednaka vrednostima iz table 1.

Debljine ugljenisanih slojeva nezašti enih drvenih elemenata i zaštitnih obloga elemenata u funkciji vremena prikazane su na slici 5. Kao što se sa slike 5 može videti, brzina ugljenisanja zaštiti enih elemenata raste nakon dostizanja vremena otkaza zaštite. Nakon dostizanja grani nog vremena kada je debljina ugljenisanog sloja jednaka debljini ugljenisanog sloja identi nog elementa bez zaštite ili 25 mm, brzina ugljenisanja poprima vrednosti iz table 1.

Slika 5 – Zavisnost debljine ugljenisanja od vremena za: 1- nezašti eni element; 2a – zašti eni element nakon otkaza zaštite; 2b – zašti eni element nakon dostizanja ugljenisanog sloja od 25 mm

3.3. Izbor metoda za prora un mehani kih svojstava elementa

Prilikom prora una otpornosti drvenih konstruktivnih elemenata na dejstvo požara pretpostavlja se da drvo u blizini linije ugljenisanja, tj. u sloju debljine $k_0 d_0$, ne poseduje vrsto u i krutost, dok su vrsto a i krutost preostalog popre nog preseka elementa nepromenjeni. Razlog za to je injenica da se u uslovima realnog požara, neposredno ispod ugljenisanog sloja nalazi sloj koji je pretrpeo mehani ke promene uslovljene zagrevanjem tog dela elementa.

Metod redukcije popre nog preseka elementa

Prilikom prora una popre nog preseka drvenog elementa sa zahtevanim vremenom otpornosti na požar, najpre se prora unava popre ni presek elementa ija je vrsto a i krutost jednaka vrsto i i krutosti kada požar ne deluje na element. Zatim se popre ni presek elementa smanjuje za debljinu ugljenisanog sloja i pretpostavljenu debljinu sloja od $d_0 = 7$ mm (usvojenu na osnovu podataka dobijenih ekspertizom delovanja realnih požara na drvene konstrukcije), u kome drvo ne poseduje vrsto u i krutost (slika 6).

Granica efektivnog poprečnog preseka se određuje na osnovu izraza

$$d_{\text{ef}} = d_{\text{char,n}} + k_0 d_0 \quad (9)$$

Slika 6 – Definisanje proračunskog poprečnog preseka: 1 – površina elementa; 2 – granica preostalog poprečnog preseka; 3 – granica efektivnog poprečnog preseka

Vrednosti faktora k_0 za nezaštićene drvene grede i stubove u zavisnosti od zahtevanog vremena otpornosti date su u tabeli 2.

Tabela 2. Faktor k_0 za nezaštićene drvene konstrukcije

Vreme [min]	k_0
$t_{\text{req}} < 20$	$t_{\text{req}}/20$
$t_{\text{req}} \geq 20$	1,0

Za zaštićene elemente kada je vreme po etka ugljenisanja veće od 20 min ($t_{\text{ch}} > 20$ min) usvaja se da se faktor k_0 menja linearno od 0 do 1 u vremenskom intervalu od $t = 0$ do $t = t_{\text{ch}}$ (slika 7). Za zaštićene elemente kada je vreme po etka ugljenisanja manje ili jednako 20 min ($t_{\text{ch}} \leq 20$ min) uzimaju se vrednosti iz tabele 2.

Slika 7 – Faktor k_0 za: (a) nezaštićene elemente i zaštićene elemente za $t_{\text{ch}} = 20$ min; (b) zaštićene elemente za $t_{\text{ch}} > 20$ min

Metod redukcije mehaničkih svojstava elementa

Metod redukcije mehaničkih svojstava elementa se koristi za izračunavanje proračunskog poprečnog preseka elementa izrađenog od mekog drveta koji je izložen požaru sa tri ili četiri strane. U zavisnosti od temperature izračunava se faktor redukcije mehaničkih svojstava drvenih elemenata nakon 20 min izlaganja požaru, [6]:

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} \quad (10)$$

- za vrsto u na pritisak

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} \quad (11)$$

- za vrsto u na zatezanje i modul elastičnosti

$$k_{\text{mod,fi}} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} \quad (12)$$

gde su p – obim preostalog poprečnog preseka, A_r – površina preostalog poprečnog preseka.

Smanjenje mehaničkih svojstava se može opisati sa dijagrama faktora redukcije vrstove i modula elastičnosti na povišenim temperaturama (do izoterme od 300°C) za meko drvo koje je opterećeno na pritisak i zatezanje paralelno sa njegovim vlaknima, prikazanim na slikama 9 i 10. Poprečne preseke elementa treba uzeti na osnovu izraza (13) i (14).

Slika 8 - Faktori smanjenja vrstove drveta u funkciji temperature

Slika 9 - Faktori smanjenja modula elastičnosti drveta u funkciji temperature

Nakon primene bilo koje metode, neophodno je izračunati površine (A), momente inercije (I) i otporne momente (W) efektivnog poprečnog preseka drvenog elementa.

3.4. Proračun nosivosti elementa

Za proveru mehaničke otpornosti drvenih elemenata koristi se proračunska vrednost vrstove za uslove požara koja se izračunava izrazom

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\chi_{M,fi}} \quad (13)$$

gde su f_{20} - 20%-tni fraktil vrsto e pri normalnoj temperaturi, $\chi_{M,fi}$ - parcijalni koeficijent sigurnosti za drvo tokom delovanja požara (preporu ena vrednost 1,0), $k_{mod,fi}$ - faktor modifikacije koji uzima u obzir delovanje požara i zamenjuje faktor modifikacije za prora un vrsto e pri normalnoj temperaturi.

20 %-tni fraktil vrsto e izra unava se na osnovu izraza

$$f_{20} = k_{fi} f_k$$

gde je f_k - karakteristi na vrsto a elementa pri normalnoj temperaturi, k_{fi} - faktor ije su vrednosti u zavisnosti od vrste drveta i veza drvenih elemenata sa spojnim sredstvima date u tabeli 3.

Prora unska vrednost otpornosti (sposobnost nosivosti) na dejstvo požara izra unava se na osnovu izraza

$$R_{d,t,fi} = \gamma \frac{R_{20}}{\chi_{M,fi}} \quad (14)$$

gde su R_{20} - 20%-tni fraktil mehani ke otpornosti pri normalnoj temperaturi ($k_{mod} = 1$), γ - faktor konverzije koji uzima u obzir smanjenje nosivosti elementa usled dejstva požara.

20 %-tni fraktil otpornosti elementa se izra unava na osnovu izraza

$$R_{20} = k_{fi} R_k$$

gde je R_k 5%-tni fraktil krutosti (modul elasti nosti) elementa pri normalnoj temperaturi.

Tabela 3. Faktor k_{fi} za drvene elemente i veze

Vrste drveta i veza sa spojnim sredstvima	k_{fi}
Masivno drvo	1,25
Lepljeno lamelirano drvo	1,15
Lamelirano furnirsko drvo	1,1
Plo e na bazi drveta	1,15
Veze elemenata od drveta i plo a na bazi drveta sa spojnim sredstvima optere enim na smicanje	1,15
Veze spojnih sredstava optere enim na smicanje sa eli nim elementima	1,05
Veze sa aksijalno optere enim spojnim sredstvima	1,05

3.5. Provera pouzdanosti elementa

Prora un uticaja požara na nose e konstrukcije u Evrokodu EN 1991-1-2 se zasniva na semi-probali sti kom konceptu pouzdanosti konstrukcija u uslovima

požara [5]. Kriterijum nosivosti, R , zna i da konstruktivni elementi moraju da zadrže nose u funkciju tokom zahtevanog vremena otpornosti na požar.

Za uslove požara, pouzdanost nose eg drvenog elementa se proverava na osnovu njegove vrsto e pri emu prora unska nosivost elementa treba da bude ve a od vrednosti prora unskog ukupnog optere enja koje deluje na element, tj.

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t}, \quad (15)$$

pri emu se prora unska vrednost u inka ukupnog delovanja na konstruktivni element odre uje na osnovu izraza [5, 10]

$$E_{fi,d,t} = \sum \chi_{G,A} G_{k,j} + (\xi_{1,1} \text{ ili } \xi_{2,1}) Q_{k,1} + \sum \xi_{2,i} Q_{k,i} + \sum A_d(t) \quad (16)$$

gde su $G_{k,j}$ - karakteristi na vrednost stalnog delovanja, $Q_{k,1}$ - karakteristi na vrednost dominantnog promenljivog delovanja, $Q_{k,i}$ - karakteristi na vrednost ostalih promenljivih delovanja, $A_d(t)$ - prora unska vrednost delovanja toplote požara (toplotnog optere enja), $\chi_{G,A}$ - parcijalni faktor sigurnosti za stalna delovanja u akcidentnoj situaciji (za slu aj požara se usvaja vrednost 1,0), $\xi_{1,1}$, $\xi_{2,1}$, $\xi_{2,i}$ - parcijalni koeficijenti kombinacije razli itih dejstava na element.

U inak delovanja požara na drvene elemente treba odrediti za vreme pre nastanka eventualnog požara ($t = 0$) upotrebom parcijalnih koeficijenata za promenljiva delovanja usled požara ($\xi_{1,1}$ ili $\xi_{2,1}$).

Naime, u inak delovanja požara koji uklju uje i efekte smanjenja popre nog preseka i redukciju mehani kih svojstava elementa se može odrediti na osnovu prora una za normalnu temperaturu koriš enjem izraza

$$E_{fi,d,t} = \gamma_{fi} E_d \quad (17)$$

gde su E_d - prora unska vrednost odgovaraju e unutrašnje sile ili momenta (osnovna kombinacija dejstava) za prora un konstrukcije pri normalnoj temperaturi, γ_{fi} - faktor koji razmatra kombinaciju delovanja na element za slu aj požara.

Faktor kombinacije delovanja za slu aj požara se izra unava pomo u izraza

$$\gamma_{fi} = \frac{\chi_{G,A} G_k + \xi_{fi} Q_{k,1}}{\chi_G G_k + \chi_{Q,1} Q_{k,1}}, \quad (18)$$

gde su ξ_{fi} - parcijalni koeficijent za promenljiva delovanja usled požara ($\xi_{1,1}$ ili $\xi_{2,1}$), χ_G - parcijalni faktor stalnog optere enja, $\chi_{Q,1}$ - parcijalni faktor dominantnog promenljivog optere enja.

4. ZAKLJUČAK

Primena drveta kao konstrukcionog materijala u zemljama gde je takav na in izgradnje objekata tradicija, govori u prilog činjenici da se ponašanje drveta u uslovima požara ne može oceniti opasnijim od ponašanja drugih građevinskih materijala. Iako je drvo zapaljiv materijal, pri sagorevanju se na njegovoj površini stvara ugljenisani sloj koji deluje kao izolator i sprečava prodiranje plamena u unutrašnjost drveta. Zbog ove osobine, drvo unutar svog preseka ima skoro normalnu temperaturu, što predstavlja prirodnu otpornost drveta na dejstvo požara.

Potpuni analitički proračun drvenih konstrukcija na delovanje realnog požara obuhvatio bi ponašanje konstrukcijskog sistema pri izloženosti toploti i povišenim temperaturama, povoljne uticaje sistema aktivne zaštite od požara (sistema za dojavu i gašenje požara), kao i posledice otkazivanja konstrukcijskog sistema.

Međutim, zasad je u praksi najzastupljeniji analitički postupak određivanja ponašanja drvenih konstruktivnih elemenata koji uključuje samo neke od pomenutih parametara. Naime, postoje i koncept određivanja otpornosti se zasniva na proračunu izloženosti konstrukcije uslovima standardnog požara. U radu je izložen postupak procene nosivosti drvenih konstruktivnih elemenata izloženih uticaju parametarskog požara, koji, za razliku od standardnog, razmatra i fazu stišavanja požara. Otpornost konstruktivnih elemenata na požar u velikoj meri zavisi od nivoa opterećenja koja se javljaju u uslovima odigravanja požara. U praksi postoji velika verovatnoća da opterećenje u uslovima požara bude manje od projektovanih opterećenja za koje je konstrukcija dimenzionisana. Pravilan pristup izloženosti drvenih konstruktivnih elemenata uticaju požara omogućiće da se već u fazi projektovanja stvore uslovi za značajno smanjenje troškova izgradnje objekta, pri čemu se zadržava zahtevani nivo otpornosti građevinskih konstrukcija na

dejstvo požara. To bi doprinelo široj upotrebi drveta kao jeftinog građevinskog materijala.

LITERATURA

- [1] Thunman, H, Leckner, B, Thermal conductivity of wood—models for different stages of combustion, Biomass and Bioenergy, vol. 23(1), pp. 47–54, 2002.
- [2] Peet M. J, Hasan H. S, Bhadeshia H. K. D. H, Prediction of thermal conductivity of steel, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol 54 (11–12), pp. 2602–2608, 2011.
- [3] Khan, M. I, Factors affecting the thermal properties of concrete and applicability of its prediction models, Building and Environment, vol. 37(6), pp. 607–614, 2002.
- [4] Peši D, Blagojević M, Suljović S, Bogdanov S, Pouzdanost i sigurnost građevinske konstrukcije u uslovima požara, Tehnika, godina LXVIII 2013, br. 3, str. 407-413, 2013.
- [5] EN 1991-1-2, Eurocode 1 - Actions on Structures - Part 1-2: General Actions - Actions on Structures Exposed to Fire, European Committee for Standardization, Brussels, 2002.
- [6] EN 1995-1-2, Eurocode 5 - Design of timber structures - Part 1-2: General - Structural fire design, European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
- [7] Babrauskas V, Ignition of wood: A review of the state of the art, In: Interflam 2001, Interscience Communication Ltd, pp.71-88. 2001.
- [8] Blagojević M, Pešić D, A new curve for temperature-time relationship in compartment fire, Thermal science, vol. 15(2), pp. 339-352, 2011.
- [9] Cachim P. B, Franssen, J. M, Assessment of Eurocode 5 Charring Rate Calculation Methods, Fire Technology, Vol. 46, No 1, pp. 169-181, 2010.
- [10] Peši D, Blagojević M, Bogdanov S, Real fire resistance calculation of building structures, Structural integrity and life, vol. 13 (1), pp. 51-62, 2013.

SUMMARY

CALCULATION OF FIRE RESISTANCE OF TIMBER STRUCTURE ACCORDING TO EUROCODES

Determination of the fire resistance level of wooden structural elements requires an assessment of their behavior under fire conditions. Wood has excellent natural resistance to fire penetration due to its low thermal conductivity and to the characteristic of forming an insulating carbonized layer while burning. However, wooden structures lose their mechanical properties during the fire which is reflected on their load-bearing capacity. Therefore, in order of their wider application, it is necessary to design a timber structure with the required time of fire resistance. An analytical procedure which is based on the exposure of uncoated and coated timber elements to parametric fire can be used for the calculation of the required parameters. Their reliability in fire conditions is checked on the basis of the residual strength, wherein the load-bearing capacity of the element should have a higher value than the value of the designed load for the required time to fire exposure.

Key words: structural timber member, parametric fire, fire resistance, load-bearing capacity