

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Štupnik, I., 2016. Požarna varnost lesenih konstrukcij. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Lopatič, J.): 73 str.

Datum arhiviranja: 09-09-2016

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Štupnik, I., 2016. Požarna varnost lesenih konstrukcij. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Lopatič, J.): 73 pp.

Archiving Date: 09-09-2016

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



Jamova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM GRADBENIŠTVO  
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

**IGOR ŠTUPNIK**

**POŽARNA VARNOST LESENIH KONSTRUKCIJ**

Diplomska naloga št.: 561/KS

**FIRE SAFETY OF TIMBER STRUCTURES**

Graduation thesis No.: 561/KS

**Mentor:**

izr. prof. dr. Jože Lopatič

Ljubljana, 05. 09. 2016

## POPRAVKI

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Spodaj podpisani študent **Igor Štupnik**, vpisna številka **26105287**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Požarna varnost lesenih konstrukcij**

### IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Ljubljani

Datum: 25. 08. 2016

Podpis študenta:

---

## **IZJAVE O PREGLEDU NALOGE**

Nalogo so si ogledali učitelji konstrukcijske smeri:

**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>614.84:624.011.1(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Igor Štupnik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>izr. prof. dr. Jože Lopatič</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Požarna varnost lesenih konstrukcij</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>diplomska naloga - VSŠ</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>73 str., 13 pregl., 33 sl.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>požarna varnost, lesene konstrukcije, oglenenje, zaščitni čas, izolacijski čas</b>

**Izveček**

Namen diplomske naloge je prikaz postopkov izračuna požarne varnosti lesenih konstrukcij. Predstavljeni so predlogi izboljšave izračunov po standardu SIST EN 1995-1-2, ki temeljijo na požarnih testih in so opisani v Evropskih tehničnih smernicah. Praktični izračuni so prikazani na primerih lesenih elementov Vrtca Preddvor.

#### **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 614.84:624.011.1(497.4)(043.2)  
**Author:** Igor Štupnik  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Jože Lopatič, Ph.D.  
**Title:** Fire safety of timber structures  
**Document type:** Graduation thesis – Higher professional studies  
**Notes:** 73 p., 13 tab., 33 pic.  
**Key words:** fire safety, timber structures, charring, protection time, insulation time

#### **Abstract**

The aim of this graduation thesis is to show procedures for calculating the fire safety of timber structures. Presented are proposals of improvements of calculations according to standard EN 1995-1-2, based on fire tests and described in European technical guideline. The practical calculations are shown on examples of timber structures of Kindergarten Preddvor.

**ZAHVALA**

Za pomoč in vodenje pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem izr. prof. dr. Jožetu Lopatiču.

Hvala tudi ge. Valeriji Skok s podjetja Vigit, za posojilo literature s področja požarne varnosti.



**KAZALO:**

1 UVOD .....	1
2 LESENE KONSTRUKCIJE .....	2
2.1 Les.....	2
2.2 Požarna varnost.....	2
2.3 Razvoj požara in požarna obremenitev .....	3
2.4 Požarni modeli .....	4
2.5 Cilj požarne varnosti .....	5
2.6 Sredstva za požarno zaščito .....	5
2.6.1 Pasivna požarna zaščita.....	5
2.6.2 Aktivna požarna zaščita .....	6
3 LOČEVALNE LESENE KONSTRUKCIJE .....	8
3.1 Osnovne zahteve za požarne sektorje .....	8
3.2 Računske metode .....	9
3.2.1 Računska metoda po SIST EN 1995-1-2 .....	9
3.2.2 Izboljšana računsko metoda (metoda dodatnih slojev) .....	10
3.2.2.1 Izolacijski in zaščitni čas .....	12
3.2.2.2 Koeficient pozicije .....	14
3.2.2.3 Koeficient spojev .....	18
3.2.2.4 Zračni prostori.....	20
4 NOSILNE LESENE KONSTRUKCIJE .....	21
4.1 Konstrukcijska odpornost .....	21
4.2 Materiali.....	21
4.3 Oglenenje lesenih elementov .....	22
4.3.1 Enodimenzionalno oglenenje.....	23
4.3.2 Dvodimenzionalno oglenenje .....	24
4.4 Učinek zaščite .....	25
4.4.1 Elementi velikih prečnih prerezov .....	25
4.4.2 Elementi majhnih prečnih prerezov .....	28
4.5 Izračun časa začetka oglenjenja .....	29
4.5.1 Čas začetka oglenjenja in čas odpovedi zaščite po standardu SIST EN 1995-1-2.....	29
4.5.2 Čas začetka oglenjenja in čas odpovedi zaščite po metodi dodatnih slojev (poglavje 3) .....	30
4.6 Mehanska odpornost .....	33
4.7 Konstrukcijski elementi .....	35

---

4.7.1 Nosilci in stebri izpostavljeni požaru s treh ali štirih strani .....	35
4.7.2 Strop in stene iz masivnega lesa.....	36
4.7.3 Plošče iz lepljenega lameliranega lesa ali prednapete lamelirane plošče.....	36
4.7.4 Plošče iz žebljanega lameliranega lesa.....	37
4.7.5 Križno lepljene lesene plošče (CLT).....	38
4.7.6 Leseni panelni stropni in stenski sklopi .....	42
<b>5 PRIMERI UPORABE IZRAČUNOV NA KONKRETNEM OBJEKTU .....</b>	<b>51</b>
5.1 Strop nad pritličjem stranskih delov.....	56
5.1.1 Ločevalna funkcija lesenega stropnega sklopa .....	57
5.1.2 Izračun začetka oglenenja lesenega stropnika v panelnem stropnem sklopu.....	60
5.2 Primer stropa z vidnimi stropniki.....	63
5.3 Strop nad pritličjem srednjega dela.....	65
5.3.1 Določitev globine zogljenelosti in efektivne višine nezaščitene križno lepljene lesene plošče	66
5.3.2 Določitev globine zogljenelosti in efektivne višine zaščitene križno lepljene lesene plošče....	67
5.4 Stene med požarnimi sektorji.....	68
<b>6 ZAKLJUČEK.....</b>	<b>72</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>73</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

<i>Preglednica 1</i> Enačbe za izračun osnovnih izolacijskih in zaščitnih časov, za različne materiale .....	14
<i>Preglednica 2</i> Enačbe za izračun koeficientov pozicije $k_{pos, exp, i}$ in $k_{pos, exp, n}$ .....	16
<i>Preglednica 3</i> Enačbe za izračun koeficienta pozicije $k_{pos, unexp, i}$ .....	17
<i>Preglednica 4</i> Enačbe za izračun korekcijskih časov $\Delta t_i$ in $\Delta t_n$ za zaščitne čase $t_{prot, i}$ in izolacijske čase $t_{ins, n}$ .....	18
<i>Preglednica 5</i> Koeficient spojev $k_j, i$ .....	19
<i>Preglednica 6</i> Modifikacija koeficientov pozicije, $k_{pos, exp}$ in $k_{pos, unexp}$ , za zračne prostore .....	20
<i>Preglednica 7</i> Čas začetka ogletenja lesenega elementa za mavčno kartonsko ploščo, $t_{ch}$ , v minutah .....	31
<i>Preglednica 8</i> Čas odpovedi mavčno kartonske plošče, $t_f$ , v minutah .....	32
<i>Preglednica 9</i> Nenosilni sloj $d_0$ v mm .....	37
<i>Preglednica 10</i> Debelina kompenzacijskega sloja $s_0$ v mm, za križno lepljene lesene plošče s tremi sloji .....	40
<i>Preglednica 11</i> Debelina kompenzacijskega sloja $s_0$ v mm, za križno lepljene lesene plošče s petimi sloji .....	40
<i>Preglednica 12</i> Debelina kompenzacijskega sloja $s_0$ v mm, za križno lepljene lesene plošče s sedmimi sloji.....	41
<i>Preglednica 13</i> Vrednosti $d_0$ za stenske stebričke.....	46

**KAZALO SLIK**

<i>Slika 1</i> Razvoj požara v prostoru.....	3
<i>Slika 2</i> Standardna požarna krivulja (ISO 834) .....	4
<i>Slika 3</i> Poti prevajanja toplote .....	9
<i>Slika 4</i> Oštevilčenje in funkcija različnih slojev .....	11
<i>Slika 5</i> Definicija osnovnega izolacijskega časa $t_{ins,0}$ , po standardu SIST EN 1995-1-2.....	13
<i>Slika 6</i> Definicija osnovnega zaščitnega časa $t_{prot,0}$ , po standardu EN 13501-2 .....	13
<i>Slika 7</i> Porazdelitev temperature lesenega sklopa s tremi plastmi pri različnih časih .....	15
<i>Slika 8</i> Enodimenzionalno oglenenje prečnega prereza.....	23
<i>Slika 9</i> Efekt zaobljenosti robov pri oglenenju na široki in ožji stranici prečnega prereza.....	24
<i>Slika 10</i> Zamenjava enodimenzionalne globine zoglenelosti in zaobljenih robov z ekvivalentno nazivno globino zoglenelosti.....	25
<i>Slika 11</i> Zveza med globino zoglenelosti in časom, ko se oglenenje prične ob odpadu zaščite $t_{ch} = t_f$ .....	26
<i>Slika 12</i> Zveza med globino zoglenelosti in časom, pri hitrem odpadu požarne zaščite .....	26
<i>Slika 13</i> Zveza med globino zoglenelosti in časom, ko se oglenenje prične po odpadu zaščite $t_{ch} = t_f$ .....	27
<i>Slika 14</i> Primer lesenega sklopa s praznim prostorom med elementi .....	28
<i>Slika 15</i> Zveza med globino zoglenelosti in časom, brez dosega konsolidacijske globine 25 mm .....	29
<i>Slika 16</i> Primeri lesenih lameliranih plošč: a/ lepljena, b/ prednapeta.....	36
<i>Slika 17</i> Primer žebljane lesene lamelirane plošče .....	37
<i>Slika 18</i> Primer križno lepljene lesene plošče .....	38
<i>Slika 19</i> Prečni prerez križno lepljene lesene plošče.....	39
<i>Slika 20</i> Oglenenje stropnika oz. stebrička .....	43
<i>Slika 21</i> Definicija globine zoglenelosti, nazivne globine zoglenelosti, efektivne globine zoglenelosti, in nenosilnega sloja. ....	46
<i>Slika 22</i> Lesen panelni sklop, s praznimi medprostori in oblogami pritrjenimi direktno na stropnike. ....	47
<i>Slika 23</i> Globina zoglenelosti v odvisnosti od časa.....	48
<i>Slika 24</i> Faze oglenjenja.....	50
<i>Slika 25</i> Tloris pritličja.....	53
<i>Slika 26</i> Tloris nadstropja .....	54
<i>Slika 27</i> Vzдолžni in prečni prerez.....	55
<i>Slika 28</i> Stropni sklop stranskih delov.....	56
<i>Slika 29</i> Stropni sklop stranskih delov – leseni stropnik .....	60

<i>Slika 30 Strop z vidnimi lesenimi stropniki .....</i>	63
<i>Slika 31 Stropni sklop nad pritličjem srednega dela.....</i>	65
<i>Slika 32 Križno lepljena lesena plošča iz sedemih slojev .....</i>	66
<i>Slika 33 Stenski panelni sklop .....</i>	68

**OKRAJŠAVE IN SIMBOLI**

MK – mavčno kartonske plošče

CLT – križno lepljene lesene plošče (Cross laminated timber)

LVL – slojnat furnirni les (Laminated veneer lumber)

OSB – večslojne lepljene plošče z usmerjenimi iveri (Oriented strand board)

## 1 UVOD

Požarna varnost je pomemben dejavnik pri občutku varnosti in pomemben kriterij pri izbiri materiala za gradnjo. Predpogoj za pripravo uspešnega projekta požarne varnosti, je poznavanje razvoja požara in lastnosti materialov, uporabljenih za gradbene konstrukcije. Prav zaradi gorljivosti lesa, se les, kot konstrukcijski material, v Evropi ni veliko uporabljal. Izjema so skandinavske države, v ZDA in Kanadi, pa lesene konstrukcije spadajo med najbolj razširjene. V zadnjih letih, so bili na podlagi obsežnih testiranj, podani predlogi izboljšav požarnih izračunov za konstrukcijske elemente in sklope. Osnovne zahteve in izračuni, so podani v standardu SIST EN 1995-1-2, predlogi izboljšav pa so zbrani v Evropskih tehničnih smernicah (Požarna varnost pri lesenih zgradbah). Pri projektu Vrtec Preddvor, ki je v celoti lesena konstrukcija, smo se srečali s požarnimi izračuni za različne tipe lesenih konstrukcij. Stene so leseni paneli, prav tako medetažna konstrukcija v stranskih delih, medtem ko je medetažna konstrukcija v osrednjem, dvoetažnem delu, iz križno lepljenih plošč. Preveriti je bilo potrebno ustreznost sklopov po kriteriju mehanske odpornosti (R) in ločevalne funkcije (zahteva po izolativnosti I in celovitosti E), za zahtevano časovno obdobje.

## **2 LESENE KONSTRUKCIJE**

### **2.1 Les**

Uporaba lesa v gradbeništvo je že od nekdaj zelo razširjena, predvsem zaradi velike količine lesa v naravi, lahke obdelave, visoke togosti in ugodnega razmerja med nosilnostjo in lastno težo. Za obdelavo lesa je potrebno malo energije v primerjavi z drugimi materiali, prav tako pa odpadek ne predstavlja okoljskih problemov. Ob pravilni sečnji in pogozdovanju, pa lahko zagotovimo neprekinjeno in trajnostno oskrbo z lesom kot gradbenim materialom.

### **2.2 Požarna varnost**

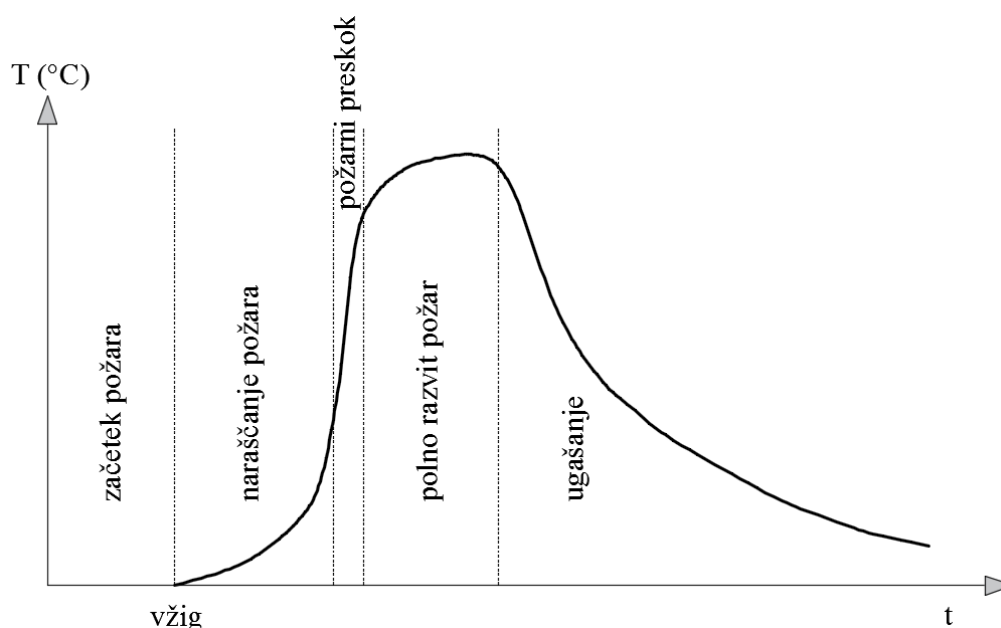
Gorljivost lesa, je eden od glavnih razlogov, da gradbeni predpisi in standardi močno omejujejo rabo lesa kot gradbenega materiala. V zadnjem času, so se in se izvajajo številne raziskave, z namenom pridobiti podatke o obnašanju lesenih konstrukcij med požarom. S tem se razvijajo novi modeli požarnega projektiranja. Izboljšano poznavanje požarnega projektiranja lesenih konstrukcij, kombinirano s tehničnimi ukrepi, predvsem šprinklerji in detektorji dima ter dobro opremljeno požarno službo, dopuščajo varno rabo lesa na širokem področju.

Predpogoj za pripravo uspešnega projekta požarne varnosti, je poznavanje razvoja požara ter odziva ljudi in stavb med požarom. Upoštevati je potrebno varnost človeških življenj, poškodb stavb in vplive na okolje. V praksi se lahko izbire požarnih scenarijev zelo razlikujejo, odvisno od poudarkov na aktivni ali pasivni požarni varnosti, tipu in rabi stavbe itn.



### 2.3 Razvoj požara in požarna obremenitev

Spodnja slika prikazuje razvoj požara v prostoru. Po vžigu, lahko požar narašča zelo hitro, zelo počasi (tlenje), ali celo sam ugasne, odvisno od razporeditve gorljivih materialov v bližini vžiga, tipa in količine gorljivih materialov in geometrije, dimenzije in prezračevanja sobe. Naraščajoči požari, ki niso kontrolirani z gašenjem, lahko pripeljejo do hitrega dviga temperatur in izbruha požara, kjer vsi nezaščiteni gorljivi materiali gorijo.



*Slika 1 Razvoj požara v prostoru  
(povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 15)*

Med gorenjem se sproščajo energija, plini in dim. Medtem ko so plini in dim glavni krivci za smrtne žrtve (približno 80% je zastrupitev), je vročina glavni razlog za poškodbe konstrukcije zgradbe. Ker se mehanske in termične lastnosti materialov spreminjajo z naraščanjem temperature, je poznavanje naraščanja temperature s časom med požarom zelo pomembno za požarno analizo.

Požarna obremenitev je definirana kot energija (skupna izpuščena toplota) gorljivega materiala prisotnega znotraj prostora oziroma stavbe. Torej je sestavljena iz energije na račun konstrukcijskih elementov in energije na račun ostalih gorljivih materialov (pohištvo, obloge...)

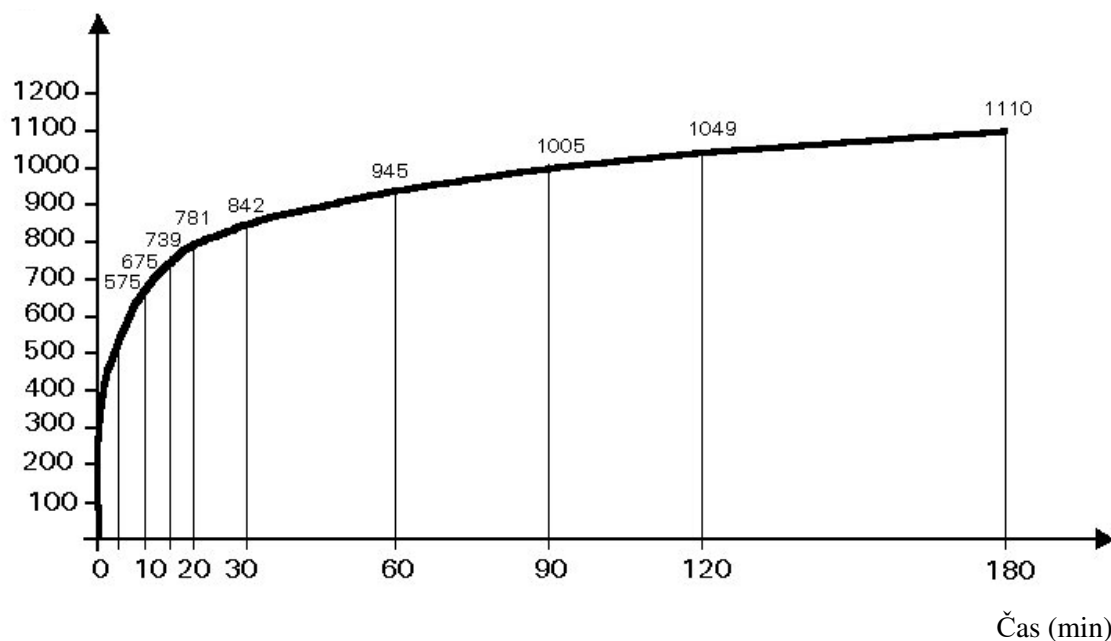
V praksi se vžig lesenih konstrukcijskih elementov upočasni na dva načina:

- zaščita (ovitje) konstrukcijskih elementov z negorljivimi materiali in
- impregnacija ali premaz konstrukcijskih elementov z ognjevarnimi premazi

## 2.4 Požarni modeli

Za opis požara s poenostavljenimi modeli, se največkrat uporablja standardna požarna krivulja (ISO 834). Požarna krivulja kaže zvezo med temperaturo plinov in časom. Vendar ta krivulja predstavlja polno razvit požar, pomemben čas med vžigom in polno razvitim požarom pa ni zajet.

Temperatura (°C)



Slika 2 Standardna požarna krivulja (ISO 834)

(povzeto po: <http://www.fgg.unilj.si/~pmoze/esdep/master/wg04b/l0200.htm>)

Realnejši modeli požara so prikazani s parametričnimi požarnimi krivuljami, katere zajemajo najpomembnejše parametre za razvoj temperature:

- požarno obremenitev (količina, tip in razporeditev gorljivih materialov),
- prezračevanje prostora,
- termične lastnosti pregrad in
- požarne ukrepe.

Ti modeli zajemajo celoten čas požara, vključno z ohlajevanjem. Lahko pregledujemo zveze med temperaturo plinov in časom, kot funkcijo požarne obremenitve, pogojev ventilacije (faktor odprtin) in termičnih lastnosti pregradnih sten in medetaž. Požarni modeli tako lahko zajemajo več prostorov hkrati

ali pa celoten objekt. Vključeni so lahko tudi požarni ukrepi, kot so prisotnost šprinklerjev, avtomatskega javljanja požara in gašenje gasilcev.

## **2.5 Cilj požarne varnosti**

V Evropi, so kot podlaga predpisov požarne varnosti, glavna naslednja načela:

- ljudje lahko sami zapustijo objekt ali jih lahko rešijo,
- upoštevati je potrebno varnost reševalnih ekip,
- nosilnost konstrukcijskih elementov mora zadoščati minimalnemu zahtevanemu času,
- omejiti je potrebno nastanek in širjenje požara in dima ter
- omejiti je potrebno širjenje požara na sosednje stavbe.

Ta načela so bila vpeljana, da bi lahko izpolnili naslednje cilje:

- varnost življenj (varnost ljudi in reševalnih ekip),
- preprečevanje izgube (konstrukcije zgradbe, opreme, neprekinjenega delovanja) in
- zaščita okolja (izpust nevarnih plinov in snovi).

Absolutne požarne varnosti ni mogoče zagotoviti, zato je potrebno oceniti nivo sprejemljive varnosti. Ta se določi v nacionalnih predpisih, ali pa v dogovorih lastnika in zavarovalnice, glede na možne finančne izgube.

## **2.6 Sredstva za požarno zaščito**

### **2.6.1 Pasivna požarna zaščita**

Pasivno požarno zaščito zagotavljajo konstrukcijski elementi, ki so izračunani in konstruirani na tak način, da zagotavljajo nosilnost oz. ločevalno funkcijo za zahtevan minimalni čas izpostavljenosti požaru. Ločevalni elementi morajo preprečiti širjenje požara iz ali v druge prostore objekta oz. sosednje objekte. Glavni cilj delitve objekta na požarne sektorje je zagotoviti dovolj časa za evakuacijo in preprečiti prehajanje požara v druge sektorje.

Požar se redko širi v druge prostore tako, da preide skozi steno oz. skozi medetažo. Ponavadi prehaja preko skupnih zaprtih prostorov v stenah oz. stropih, prezračevalnih, ogrevalnih sistemih, vratnih in drugih odprtinah... Zato je zelo pomembno, da je vsaka odprtina v stenah in stropih, zaščiten da

preprečuje širjenje požara. Požar se lahko širi tudi preko oken in fasade in pa tudi preko strešne konstrukcije. Tako, da so natančni detajli in kvalitetna izvedba, bistveni za učinkovito pasivno požarno zaščito.

Časi požarne odpornosti so določeni v nacionalnih predpisih in se gibljejo od 30 do 240 min, v odvisnosti od višine in rabe objekta in lokacije elementa glede na objekt. Za element je zahtevano, da zagotavlja odpornost (nosilnost - R), ščiti pred prehodom toplote (izolativnost - I) in prepreči prehod dima in plinov (celovitost – E).

Če povzamemo, ukrepi pasivne požarne zaščite vključujejo:

- določitev primernih sektorjev, ki preprečujejo (zmanjšujejo) širjenje toplote, dima in plinov,
- omejitev požara na en sektor,
- kontrolo vnetljivosti in gorljivosti stenskih oblog, predvsem na požarnih poteh,
- kontrolo širjenja dima,
- zagotovitev zaščitenih požarnih poti,
- zagotovitev primerne toplotne izolacije in stabilnosti konstrukcije ter
- pogasitev požara.

### **2.6.2 Aktivna požarna zaščita**

Kot dopolnilo pasivni požarni zaščiti, za povečanje požarne varnosti, predvsem za zagotavljanje varnosti ljudi, uporabimo aktivno požarno zaščito. Uporabljamo jo predvsem v javnih in industrijskih objektih (velika količina ljudi), lahko pa se uporabi tudi kot alternativa nekaterim pasivnim zaščitam.

Požarni (dimni) detektorji in alarmni sistemi se uporabljajo za pravočasno opozarjanje in javljanje požara. Pomembno je, da se nastanek požara odkrije čim prej, da lahko evakuiramo objekt in začnemo z gašenjem.

Prenosni gasilni aparati in gasilne cevi se lahko uporabljajo za gašenje požara v začetni fazi. Če je osebje usposobljeno za uporabo le teh, je nevarnost poškodb majhna.

Šprinklerji se pogosto uporabljajo v industriji, za zaščito skladiščenega materiala, proizvodne linije... Namen avtomatskega gasilnega sistema je pogasiti ali vsaj kontrolirati požar, dokler ne pridejo gasilci.

Posebna pozornost se posveča tudi stanovanjskim šprinklerjem (poenostavljeni industrijski sistem), ki so lahko povezani na vodovodni sistem.

Odvajanje dima se uporabi za izboljšanje vidljivosti in znižanje temperature. Najenostavnejša je uporaba oken in vrat, vendar je boljša izvedba dimnih ventilov, ki so lahko upravljani ročno ali avtomatsko.

Efektivnost gasilcev je odvisna od reakcijskega časa (odvisen od oddaljenosti in kompleksnosti lokacije) in razpoložljivih sredstev.

Če povzamemo, ukrepi aktivne zaščite vključujejo:

- določitev alarmnih sistemov (zvočni, vizualni...),
- določitev detektorjev požara/dima,
- prikaz lokacije požara na ekranu,
- določitev dimnih/toplotnih ventilov, za podaljšanje evakuacijskega časa,
- zapiranje dimnih dušilcev na vhodih, zapiranje vrat, da se ustvari požarni sektor,
- sprostitvev zapornih sistemov na vratih, za nemoteno evakuacijo ter
- določitev avtomatskih šprinklerjev.

### 3 LOČEVALNE LESENE KONSTRUKCIJE

Ločevalne konstrukcije imajo funkcijo preprečitve širjenja požara iz enega sektorja v drugega. V nadaljevanju so opisane osnovne zahteve in izračuni, ki temeljijo na računski metodi iz standarda SIST EN 1995-1-2, predstavljena pa je še izboljšana metoda, ki bi lahko bila dodana v novih revizijah Evrokoda.

#### 3.1 Osnovne zahteve za požarne sektorje

Glavni cilj ukrepov požarne varnosti, je preprečiti širjenje požara iz prostora nastanka z zagotavljanjem nosilnosti konstrukcijskih elementov (zahteva po mehanski odpornosti R) in ločevalne funkcije sten in stropov (zahteva po izolativnosti I in celovitosti E), za zahtevano časovno obdobje. Časovno obdobje je po navadi izraženo kot požarna odpornost, določena po standardni požarni krivulji (glej sliko 2).

Glede osnovnih zahtev za požarne sektorje, standard SIST EN 1995-1-2 navaja:

Kadar so zahtevani požarni sektorji, morajo biti elementi, ki tvorijo meje med sektorji, načrtovani in izdelani tako, da ohranijo svojo ločevalno funkcijo med požarom. To pomeni, da se zagotovi:

- celovitost (kriterij E),
- izolativnost (kriterij I) in
- omejevanje toplotnega sevanja na neizpostavljeni strani.

*(povzeto po SIST EN 1995-1-2, 2005: str 15)*

Kriterij I je izpolnjen, ko je povprečen dvig temperature na celotni neizpostavljeni površini manjši od 140 K in dvig temperature v kateri koli točki na tej površini manjši od 180 K (izpostavljenost ognju po standardni požarni krivulji).

S tem preprečimo vžig predmetov v sosednjih prostorih. Kriterij E je izpolnjen, če ne obstajajo razpoke ali odprtine, preko katerih se lahko širi plamen ali vroči plini. Kriterij I je mogoče natančno izračunati, če so podane karakteristike materiala v odvisnosti od temperature (prevodnost in prenos toplote). Kriterij E pa se večinoma določa s testiranjem, saj je nastanek razpok oz. dinamiko vročih plinov, zelo težko določiti z izračuni. Na primer, lahko pride do odpada oblog ali nastanka razpok, ki so velikokrat odvisne od izvedbe. Tako se upošteva, da je kriterij E (celovitost) zadovoljen, če je zadovoljen kriterij I

(izolativnost) in da obložne plošče panela ostanejo pritrjene na leseno konstrukcijo na izpostavljeni strani stene oz. stropa.

### 3.2 Računske metode

Pri lesenih objektih so stenski in stropni elementi večinoma sestavljeni iz več plasti, ki skupaj tvorijo sklop. Za izračun požarne odpornosti sklopa, kot ločevalne funkcije, lahko uporabimo računsko metodo, ki upošteva odpornost posameznih slojev.

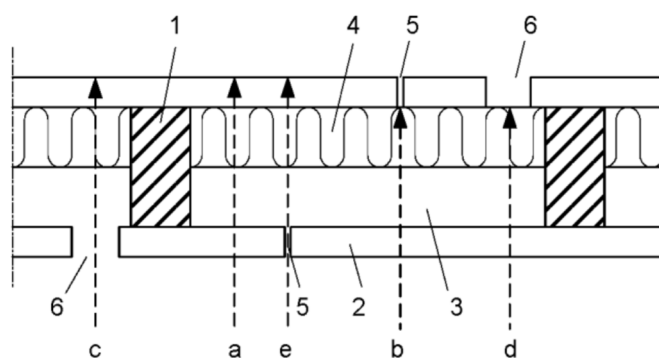
#### 3.2.1 Računska metoda po SIST EN 1995-1-2

Po tej metodi preverjamo, ali je čas ( $t_{ins}$ ), ki je potreben, da temperatura na neizpostavljeni strani naraste za 140K/180K (s sobne temperature), enak oz. večji od zahtevanega časa ( $t_{req}$ ) za določen ločevalni sklop:

$$t_{ins} \geq t_{req} \quad [min] \quad (3.1)$$

Čas izolativnosti sklopa  $t_{ins}$ , je odvisen od požarne izolativnosti posameznih slojev v sklopu, prav tako pa tudi od pozicije sloja in vrste spoja. Za poenostavitev, čas  $t_{ins}$  lahko izračunamo kot vsoto požarne odpornosti posameznih slojev, z upoštevanjem različnih poti prevajanja toplote:

$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=n} t_{ins,i} \quad [min] \quad (3.2)$$



Legenda:

- 1 leseni stropnik oz. stebriček
- 2 obloga
- 3 prazen medprostor
- 4 izolacija
- 5 stik obloge
- 6 pozicija instalacij
- a - e poti prevajanja toplote

Slika 3 Poti prevajanja toplote  
(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 59*)

Požarna odpornost posameznega sloja je odvisna od osnovnih izolacijskih lastnosti sloja ( $t_{ins,0,i}$ ), od pozicije sloja ( $k_{pos,i}$ ) in koeficienta spoja ( $k_{j,i}$ ):

$$t_{ins,i} = t_{ins,0,i} \cdot k_{pos,i} \cdot k_{j,i} \quad [min] \quad (3.3)$$

Osnovna izolacijska vrednost ustreza prispevku posameznega sloja, brez vpliva sosednjih materialov in je odvisna od vrste materiala in debeline sloja.

Standard SIST EN 1995-1-2 podaja enačbe za izračun izolacijskih vrednosti za naslednje materiale:

plošče:

- vezane plošče ( $\rho \geq 450 \text{ kg/m}^3$ ),
- leseni opaž ( $\rho \geq 400 \text{ kg/m}^3$ ),
- iverne in vlaknene plošče ( $\rho \geq 600 \text{ kg/m}^3$ ),
- mavčno kartonske plošče, vrste A, F, R in H,

in izolacije:

- kamena volna ( $26 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 50 \text{ kg/m}^3$ ),
- steklena volna ( $15 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 26 \text{ kg/m}^3$ ).

### 3.2.2 Izboljšana računska metoda (metoda dodatnih slojev)

Metoda je zasnovana na računski metodi po standardu SIST EN 1995-1-2 in na požarnih testiranjih lesenih stenskih in stropnih sklopov. Upošteva lahko lesene sklope z neomejeno sloji mavčno kartonskih plošč, lesenih plošč, oz. kombinacije le teh. Medprostor je lahko prazen ali pa zapolnjen z mineralno volno. Upoštevani so naslednji materiali:

- masiven les ( $\rho \geq 290 \text{ kg/m}^3$ ),
- križno lepljen les ( $\rho \geq 290 \text{ kg/m}^3$ ),
- slojnat furnirni les (LVL) ( $\rho \geq 480 \text{ kg/m}^3$ ),
- OSB plošče po EN 300 ( $\rho \geq 550 \text{ kg/m}^3$ ),
- iverne plošče po EN 312 ( $\rho \geq 500 \text{ kg/m}^3$ ),
- vlaknene plošče, v skladu z EN 622-2, EN 622-3 ali EN 622-5 ( $\rho \geq 500 \text{ kg/m}^3$ ),
- vezane plošče po EN 636 ( $\rho \geq 400 \text{ kg/m}^3$ ),



- mavčne plošče tipa A, H in F v skladu z EN 520,
- mavčno vlaknene plošče po EN 15283-2 in
- mineralna volna v skladu z EN 13162.

Tudi tu je skupna požarna odpornost izražena, kot vsota požarnih odpornosti posameznih slojev v sklopu (obloge in medprostor), z upoštevanjem različnih poti prevajanja toplote (glej sliko 3) in glede na njihovo funkcijo in medsebojni vpliv (glej sliko 4).

$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=n-1} t_{prot,i} + t_{ins,n} \quad (3.4)$$

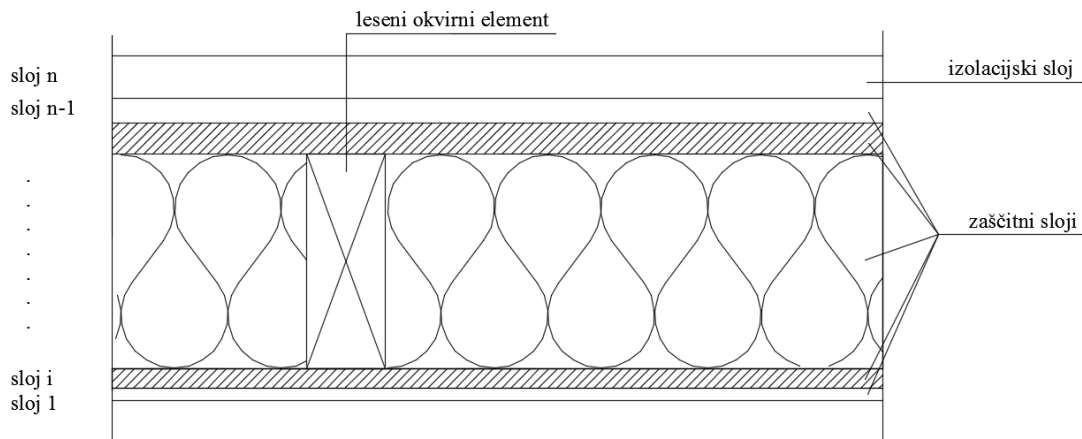
kjer sta:

$$\sum_{i=1}^{i=n-1} t_{prot,i}$$

vsota zaščitnih časov  $t_{prot,i}$  slojev, v smeri toplotnega toka, pred zadnjim slojem v sestavi, na neizpostavljeni strani,

$t_{ins,n}$

pa izolacijski čas zadnjega sloja v sestavi, na neizpostavljeni strani.



Slika 4 Oštevilčenje in funkcija različnih slojev

(povzeto po *Fire safety in timber buildings*, 2010: str 61)

Zaščitni in izolacijski časi posameznih slojev se lahko izračunajo po naslednjih splošnih enačbah, ki upoštevajo osnovne karakteristike slojev, koeficiente pozicije slojev v sklopu in koeficiente spojev:

$$t_{prot,i} = (t_{prot,0,i} \cdot k_{pos,exp,i} \cdot k_{pos,unexp,i} + \Delta t_i) \cdot k_{j,i} \quad [min] \quad (3.5)$$

$$t_{ins,n} = (t_{ins,0,n} \cdot k_{pos,exp,n} \cdot \Delta t_n) \cdot k_{j,n} \quad [min] \quad (3.6)$$

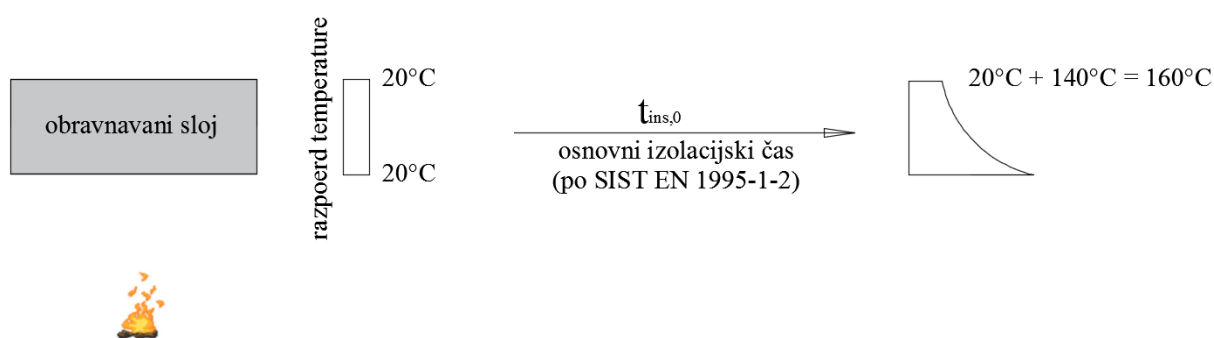
kjer so:

$t_{prot,0,i}$	osnovni zaščitni čas sloja $i$ [min],
$t_{ins,0,n}$	osnovni izolacijski čas sloja $n$ [min], na neizpostavljeni strani sklopa,
$k_{pos,exp,i}, k_{pos,exp,n}$	koeficienta pozicije, katera upoštevata vpliv naslednjih slojev,
$k_{pos,unexp,i}$	koeficient pozicije, kateri upošteva vpliv predhodnih slojev,
$\Delta t_i, \Delta t_n$	korekcijska časa [min], za sloje zaščitene z mavčno kartonskimi ploščami tipa F in
$k_{j,i}, k_{j,n}$	koeficienta spojev.

Koeficienti izboljšane računske metode (osnovni časi, korekcijski časi, pozicijski koeficienti) so bili izračunani z numeričnimi simulacijami (po metodi končnih elementov), osnovanimi na fizikalnih modelih za prehod toplote skozi večslojno konstrukcijo.

### 3.2.2.1 Izolacijski in zaščitni čas

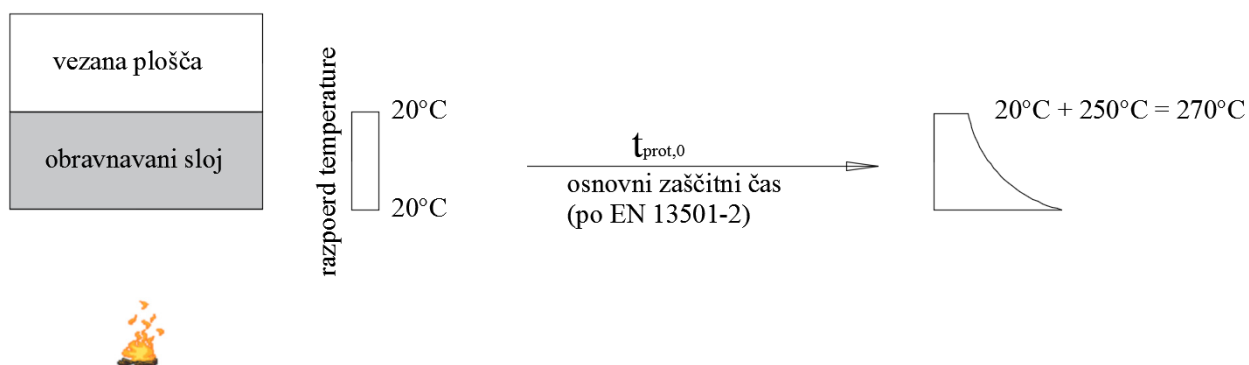
Osnovni izolacijski čas  $t_{ins,0}$ , ustreza požarni odpornosti posameznega sloja, brez vpliva drugih bližnjih materialov. To pomeni, povprečen dvig temperature na celotni neizpostavljeni površini je manjši od 140 K in dvig temperature v kateri koli točki na tej površini je manjši od 180 K (izpostavljenost ognju po standardni požarni krivulji). S tem je preprečen vžig predmetov v sosednjem prostoru. Predvidena temperatura ob začetku požara, je na obeh straneh elementa 20°C.



Slika 5 Definicija osnovnega izolacijskega časa  $t_{ins,0}$ , po standardu SIST EN 1995-1-2

(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 62*)

Stenski in stropni sklopi z enoslojno oblogo niso prav pogosti. Večina sklopov je sestavljena iz dveh ali več slojev. Pri izolacijski odpornosti sklopa, je prispevek vsakega dodatnega sloja zaščita naslednjih slojev. Zato je primerno vpeljati osnovni zaščitni čas  $t_{prot,0}$ , definiran kot čas, ki preteče do izgube zaščitne funkcije. To pomeni, povprečen dvig temperature na celotni izpostavljeni površini je manjši od 250 K in dvig temperature v kateri koli točki na tej površini je manjši od 270 K. Predvidena temperatura ob začetku požara, je na obeh straneh elementa  $20^{\circ}\text{C}$ .



Slika 6 Definicija osnovnega zaščitnega časa  $t_{prot,0}$ , po standardu EN 13501-2

(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 62*)

Preglednica 1 Enačbe za izračun osnovnih izolacijskih in zaščitnih časov, za različne materiale  
(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 63*)

Material	Osnovni izolacijski čas $t_{ins,0,n}$ [min]	Osnovni zaščitni čas $t_{prot,0,i}$ [min]
Mavčno kartonske plošče Mavčne požarne plošče	$24 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{15}\right)^{1,2}$
Žagan les Križno lepljen les Slojnat furnirni les	$19 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$30 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
Iverne plošče Vlaknene plošče	$22 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$33 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
OSB plošče Vezane plošče	$16 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,4}$	$23 \cdot \left(\frac{h_i}{20}\right)^{1,1} \leq \frac{h_i}{\beta_0}$
Kamena volna $\rho \geq 26 \text{ kg/m}^3$	0	$0,3 \cdot h_i^{(0,75 \cdot \log(\rho_i) - \rho_i/400)}$
Steklena volna $\rho \geq 15 \text{ kg/m}^3$	0	za $h_i < 40 \text{ mm}$ : 0 za $h_i \geq 40 \text{ mm}$ : $(0,0007 \cdot \rho_i + 0,046) \cdot h_i + 13 \leq 30$

kjer so:

- $h_i$  debelina obravnavanega sloja [mm],  
 $\rho_i$  gostota obravnavanega sloja [ $\text{kg/m}^3$ ] in  
 $\beta_0$  enodimenzionalna hitrost oglenenja [ $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$ ].

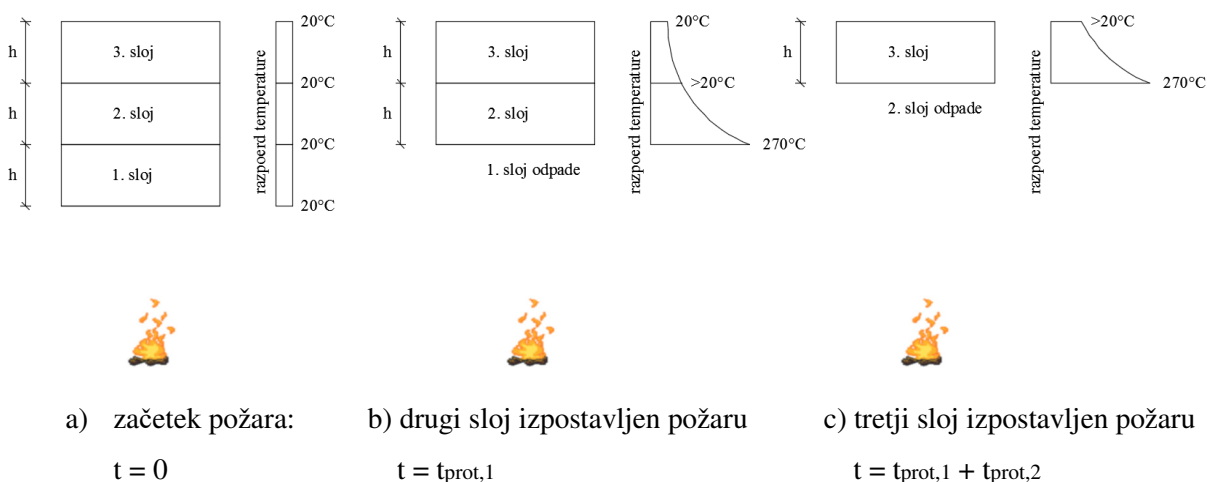
Za mineralno volno je podana le osnovna zaščitna vrednost, ker so sestavi, kjer je izolacija zadnji sloj, redki.

### 3.2.2.2 Koeficient pozicije

Koeficient pozicije upošteva pozicijo obravnavanega sloja v konstrukcijskem sklopu (v smeri toplotnega toka). Pomen koeficienta pozicije najlažje prikažemo s sliko 7, kjer je prikazano obnašanje lesenega sklopa s tremi sloji v požaru. Za poenostavitev, imajo vsi sloji enako debelino in gostoto, koeficient spojev pa je zanemarjen. V tem primeru, je osnovna zaščitna vrednost za vsak sloj enaka ( $t_{prot,0,1} = t_{prot,0,2} = t_{prot,0,3}$ ). Prvi sloj je direktno izpostavljen ognju in varovan z drugim slojem. Ko se požar začne, je temperatura obeh strani, vseh slojev,  $20^\circ\text{C}$ . Prispevek prvega sloja k celotni požarni odpornosti, je

definiran kot  $t_{\text{prot},1}$ . Koeficient pozicije prvega sloja,  $k_{\text{pos},1}$ , lahko opišemo kot razmerje med  $t_{\text{prot},1}$  in  $t_{\text{prot},0,1}$  in je odvisen od sloja, ki sledi prvemu sloju.

Drugi sloj je zaščiten s prvim slojem. Konzervativno je privzeto, da je po izgubi zaščitne funkcije prvega sloja (temperatura  $270^{\circ}\text{C}$  na površju) ob času  $t = t_{\text{prot},1}$ , drugi sloj direktno izpostavljen požaru. Glavna razlika med prvim in drugim slojem je, da je temperatura na izpostavljeni strani drugega sloja  $270^{\circ}\text{C}$ , na neizpostavljeni pa  $20^{\circ}\text{C}$  ali več, odvisno od debeline sloja in materiala pred in za slojem. Zato je prispevek drugega sloja, k celotni požarni odpornosti, manjši od prispevka prvega sloja,  $t_{\text{prot},2} < t_{\text{prot},1}$ . Koeficient pozicije drugega sloja  $k_{\text{pos},2}$ , lahko opišemo kot razmerje med  $t_{\text{prot},2}$  in  $t_{\text{prot},0,2}$  in je manjši od 1. Tretji sloj je zadnji sloj v sklopu, zato se uporabi temperaturni kriterij 140K/180K in izračuna izolativna vrednost  $t_{\text{ins},3}$ .



Slika 7 Porazdelitev temperature lesenega sklopa s tremi plastmi pri različnih časih  
(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 64*)

Vplivi slojev pred oz. za obravnavanim slojem so bili analizirani ločeno. Koeficient pozicije  $k_{\text{pos},\text{exp}}$  upošteva vpliv slojev pred obravnavanim slojem, medtem ko koeficient pozicije  $k_{\text{pos},\text{unexp}}$ , upošteva vpliv slojev za obravnavanim slojem.

Preglednica 2 Enačbe za izračun koeficientov pozicije  $k_{pos,exp,i}$  in  $k_{pos,exp,n}$ (povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 66*)

Material	Koeficient pozicije $k_{pos,exp,i}$ in $k_{pos,exp,n}$	
Obložne plošče (mavčno kartonske, lesene)	<b><math>k_{pos,exp,n}</math> za <math>t_{ins,n}</math></b>	
	$1 - 0,6 \cdot \frac{\sum t_{prot,n-1}}{t_{ins,0,n}}$	za $\sum t_{prot,n-1} \leq \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{ins,0,n}}{\sum t_{prot,n-1}}}$	za $\sum t_{prot,n-1} > \frac{t_{ins,0,n}}{2}$
	<b><math>k_{pos,exp,i}</math> za <math>t_{prot,i}</math></b>	
	$1 - 0,6 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$	za $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$	za $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
Kamena volna	<b><math>k_{pos,exp,i}</math> za <math>t_{prot,i}</math></b>	
	$1 - 0,6 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$	za $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
	$0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}}}$	za $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{2}$
Steklena volna za $h_i \geq 40 \text{ mm}$	<b><math>k_{pos,exp,i}</math> za <math>t_{prot,i}</math></b>	
	$1 - 0,8 \cdot \frac{\sum t_{prot,i-1}}{t_{prot,0,i}}$	za $\sum t_{prot,i-1} \leq \frac{t_{prot,0,i}}{4}$
	$(0,001 \cdot \rho_i + 0,27) \cdot \left[ \frac{t_{prot,0,i}}{\sum t_{prot,i-1}} \right]^{(0,75 - 0,002 \cdot \rho_i)}$	za $\sum t_{prot,i-1} > \frac{t_{prot,0,i}}{4}$

kjer je:

 $\rho_i$  gostota obravnavanega sloja [ $\text{kg/m}^3$ ].

Za izolacijo je podan le koeficient  $k_{pos,exp,i}$  za zaščitni čas  $t_{prot,i}$ , ker so sestavi, kjer je izolacija zadnji sloj, redki.

*Preglednica 3 Enačbe za izračun koeficienta pozicije  $k_{pos,unexp,i}$* *(povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 67)*

Material	$k_{pos,unexp,i}$ , za sloje, za katerimi je mavčno kartonska ali lesena plošča	$k_{pos,unexp,i}$ , za sloje, za katerimi je sloj izolacije
Mavčno kartonske plošče Mavčne požarne plošče	1,0	$0,5 \cdot h_i^{0,15}$
Žagan les Križno lepljen les Slojnat furnirni les	1,0	$0,35 \cdot h_i^{0,21}$
Iverne plošče Vlaknena plošča	1,0	$0,41 \cdot h_i^{0,18}$
OSB plošče Vezane plošče	1,0	$0,5 \cdot h_i^{0,15}$
Kamena volna	1,0	$0,18 \cdot h_i^{(0,001 \cdot \rho_i + 0,08)}$
Steklena volna	1,0	$0,01 \cdot h_i - \frac{h_i^2}{30000} + \rho_i^{0,09} - 1,3$

kjer je:

 $\rho_i$  gostota obravnavanega sloja [ $\text{kg/m}^3$ ].

Koeficient pozicije  $k_{pos,exp}$ , podani v preglednici 2, so bili izračunani ob predpostavki, da sloj odpade, ko na neizpostavljeni strani temperatura doseže  $270^\circ\text{C}$ . Požarni testi so pokazali, da je ta predpostavka za mavčno kartonske plošče tipa F ali mavčno vlaknene plošče, konzervativna. Tako se v teh primerih zaščitni oz. izolativni časi lahko povečajo z uporabo korekcijskih časov  $\Delta t_i$  in  $\Delta t_n$ . Preglednica 4 prikazuje vrednosti teh korekcijskih časov. Upoštevano je, da pri stropnem sklopu, mavčno kartonske plošče tipa F oz. mavčno vlaknene plošče odpadejo, ko na neizpostavljeni strani temperatura doseže  $400^\circ\text{C}$ , medtem ko je pri stenskem sklopu temperatura  $600^\circ\text{C}$ .

Preglednica 4 Enačbe za izračun korekcijskih časov  $\Delta t_i$  in  $\Delta t_n$  za zaščitne čase  $t_{prot,i}$  in izolacijske čase  $t_{ins,n}$

(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 68*)

Material	Stropni sklopi	Stenski sklopi
Obložne plošče (mavčno kartonske, lesene)	$\Delta t_n$ za $t_{ins,n}$ [min]	
	$0,06 \cdot t_{prot,n-1} + 1,1 \cdot t_{ins,0,n} - 5,0$ za $t_{ins,0,n} < 8 \text{ min}$	$0,03 \cdot t_{prot,n-1} + 0,9 \cdot t_{ins,0,n} - 2,3$ za $t_{ins,0,n} < 12 \text{ min}$
	$0,1 \cdot t_{prot,n-1} - 0,035 \cdot t_{ins,0,n} + 1,2$ za $t_{ins,0,n} \geq 8 \text{ min}$	$0,22 \cdot t_{prot,n-1} - 0,1 \cdot t_{ins,0,n} + 4,7$ za $t_{ins,0,n} \geq 12 \text{ min}$
	$\Delta t_i$ za $t_{prot,i}$ [min]	
	$0,06 \cdot t_{prot,i-1} + 1,1 \cdot t_{prot,0,i} - 5,0$ za $t_{prot,0,i} < 8 \text{ min}$	$0,03 \cdot t_{prot,i-1} + 0,9 \cdot t_{prot,0,i} - 2,3$ za $t_{prot,0,i} < 12 \text{ min}$
	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} - 0,035 \cdot t_{prot,0,i} + 1,2$ za $t_{prot,0,i} \geq 8 \text{ min}$	$0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{prot,0,i} + 4,7$ za $t_{prot,0,i} \geq 12 \text{ min}$
Izolacija (mineralna volna)	$\Delta t_i$ za $t_{prot,i}$ [min]	
	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} - 0,035 \cdot t_{prot,0,i}$	$0,1 \cdot t_{prot,i-1} + t_{prot,0,i} - 1,0$ za $t_{prot,0,i} < 6 \text{ min}$
		$0,22 \cdot t_{prot,i-1} - 0,1 \cdot t_{prot,0,i} + 3,5$ za $t_{prot,0,i} \geq 6 \text{ min}$

kjer je:

$\rho_i$  gostota obravnavanega sloja [kg/m<sup>3</sup>].

### 3.2.2.3 Koeficient spojev

Upošteva vpliv spojev v sklopih, na zaščitni in izolacijski čas slojev. Standard SIST EN 1995-1-2 ne dovoljuje uporabe spojev z razmikom večjim od 2 mm. Rezultati požarnih testov so pokazali, da je vpliv spojev z razmikom manjšim od 2 mm in prekritimi z novim slojem, majhen. Zato zaradi enostavnosti upoštevamo le spoje v zadnjem sloju sklopa (na neizpostavljeni strani) in spoje v sloju, kateremu sledi zračni prostor (glej preglednico 5). Za vse ostale sloje, je predpostavljeno  $k_{j,i} = 1,0$ .



Preglednica 5 Koeficient spojev  $k_{j,i}$ (povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 69*)

Material	Vrsta spoja	$k_{j,n}$ za $t_{ins,n}$	$k_{j,i}$ za $t_{prot,i}$	
			Za slojem je prazen prostor	Za slojem je drug sloj
Lesene obloge		0,3	0,3	1,0
		0,4	0,4	1,0
		0,6	0,6	1,0
	Neprekinjena plošča (brez spoja)	1,0	1,0	1,0
	Mavčno kartonske plošče		0,8	0,8
Izolacija (mineralna volna)	Neprekinjena plošča (brez spoja)	-	0,8	1,0
	Neprekinjena plošča (brez spoja)	-	1,0	1,0

### 3.2.2.4 Zračni prostori

Vpliv zračnih prostorov med dvema slojema je upoštevan z modifikacijo koeficienta pozicije  $k_{pos,exp}$  za sloj, ki je na neizpostavljeni strani zračnega prostora in koeficienta pozicije  $k_{pos,unexp}$  za sloj, ki je na izpostavljeni strani zračnega prostora (glej preglednico 6).

*Preglednica 6 Modifikacija koeficientov pozicije,  $k_{pos,exp}$  in  $k_{pos,unexp}$ , za zračne prostore (povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 70)*

Material	Sloj na izpostavljeni strani zračnega prostora	Sloj na neizpostavljeni strani zračnega prostora	
Obložne plošče (mavčno kartonske, lesene)	$k_{pos,unexp,i}$ po preglednici 3, stolpec 3	$1,6 \cdot k_{pos,exp,i}$ po preglednici 2	$3 \cdot \Delta t_i$ (ali $3 \cdot \Delta t_n$ ) po preglednici 4
Izolacija (mineralna volna)	$k_{pos,unexp,i} = 1,0$	$1,6 \cdot k_{pos,exp,i}$ po preglednici 2	$\Delta t_i$ (ali $\Delta t_n$ ) po preglednici 4

## **4 NOSILNE LESENE KONSTRUKCIJE**

V nadaljevanju so predstavljene računске metode za preverjanje odpornosti lesenih konstrukcij v primeru požara, z uporabo kriterija R (funkcija nosilnosti). Nanašajo se na standard SIST EN 1995-1-2, predstavljene pa so tudi alternativne računске metode in pa metode za nove lesene sestave, ki niso zajeti v Evrokodu.

### **4.1 Konstrukcijska odpornost**

Standard SIST EN 1995-1-2 podaja naslednje alternative, za preverjanje konstrukcijske odpornosti zgradbe:

- analizo posameznih elementov,
- analizo delov konstrukcije in
- globalno analizo.

Konstrukcijski sistem je v primeru požara lahko drugačen od osnovnega, to je, če je element nosilen pri sobni temperaturi in nosilnost pade v primeru požara, je potrebno ta element upoštevati kot nenosilen pri požarnem projektnem stanju. Elementi, ki jih uporabljamo za stabilizacijo objekta, to so, lesene obloge ali mavčno kartonske plošče v stenskih oz. stropnih sklopih, pri požaru pogosto izgubijo njihovo zavetrovalno funkcijo (če niso požarno zaščitene). Ta oslabitev, mora biti v globalni analizi upoštevana. Z razliko od jekla in betona, pri lesu ni potrebno upoštevati temperaturnega raztezanja.

### **4.2 Materiali**

Leseni elementi in lesne plošče:

Glavne lastnosti materialov z lesno osnovo v požarnem izračunu, so oglenenje in zmanjšanje trdnosti in togosti, glede na dvig temperature. Za poenostavljen izračun, je zadostno upoštevati oglenenje in poenostavljen model preverbe mehanske odpornosti. Za napredne izračune, pa so v dodatku B, standarda SIST EN 1995-1-2, podane temperaturno-mehanske lastnosti iglavcev (žagan les, lepljen les, furnir plošče).

Mavčno kartonske plošče:

Nekatere lastnosti mavčno kartonskih plošč in mavčno vlaknenih plošč so podane v EN 520 in EN 15283-2. V smislu obnašanja v požaru, ti standardi ne dajejo zadostnih informacij, kot so temperaturne lastnosti za preračun prehoda toplote in mehanske lastnosti v požaru. Slednje so pomembne v smislu porušitve mavčno kartonskih oblog zaradi temperaturne razgradnje. Časi porušitve mavčno kartonskih plošč, so podani v standardu SIST EN 1995-1-2 (za tip A in H). Za tip F morajo biti določeni s požarnimi testi.

Izolacijski materiali:

Kamena in steklena volna:

Osnovne lastnosti, kot so toplotna prevodnost in gostota, so podane v EN 13162. Vendar za požarni izračun to ne zadostuje. Dejstvo je, da se pri direktni izpostavljenosti požaru, kamena volna obnaša bolje kot steklena, ko pa sta zaščiteni (npr. z mavčno kartonskimi ploščami), pa približno enako.

Celuloza:

Obnašanje med požarom se določi s požarnimi testi. Za njeno uporabo v lesenih konstrukcijah, je posebnega pomena stopnja njene sposobnosti zagotavljanja zaščite lesene konstrukcije, to je, da ne tli in se ne krči

Lepila:

Standard SIST EN 1995-1-2 zahteva, da lepila za konstrukcijske namene zagotovijo spoje takšne nosilnosti in vzdržljivosti, da vzdržijo določeno požarno odpornost.

### **4.3 Oglenenje lesenih elementov**

Za izračun odpornosti lesenih elementov, se osnovni prečni prerez zmanjša za globino oglenenja.

Oglenenje lesenih elementov delimo na:

- enodimenzionalno oglenenje in
- dvodimenzionalno oglenenje.

Hitrost oglenenja velja za vse strani prečnega prereza, ki so izpostavljeni požaru, to pomeni, da ni razlike med vertikalno in horizontalno površino.

### 4.3.1 Enodimenzionalno oglenenje

Enodimenzionalna hitrost oglenjenja  $\beta_0$ , je določena pri enodimenzionalnem prenosu toplote, pri standardnemu požaru, na nezaščiteni leseni plošči brez razpok ali stikov.

Globina enodimenzionalne zогlenelosti  $d_{char,0}$  je izražena kot:

$$d_{char,0} = \beta_0 \cdot t \quad (4.1)$$

kjer sta:

t čas izpostavljenosti požaru in

$\beta_0$  enodimenzionalna hitrost oglenjenja, pravokotno na vlakna po SIST EN 1995-1-2 (tabela 3.1).

Za zогlenelost v smeri vzporedno z vlakni, je potrebno te vrednosti podvojiti. Enodimenzionalna hitrost oglenjenja, podana za iglavce, je veljavna za evropske vrste ( $\beta_0 = 0,65$  mm/min).



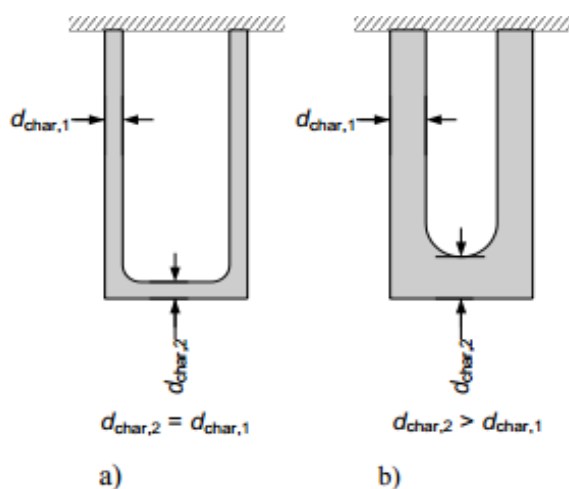
Slika 8 Enodimenzionalno oglenenje prečnega prereza

(*Fire safety in timber buildings, 2010: str 82*)

Enodimenzionalna hitrost oglenjenja za lesene plošče je podana za ploščo debeline 20 mm in gostote 450 kg/m<sup>3</sup>. Za ostale debeline in gostote, je potrebno  $\beta_0$  pomnožiti s faktorji  $k_h$  in  $k_\rho$ . Hitrosti oglenjenja, podane v standardu SIST EN 1995-1-2, ne upoštevajo dejstva, da plošče gorijo hitreje na stikih. Prav tako hitrosti oglenjenja podane v tabeli 3.1, standarda SIST EN 1995-1-2, niso dosledne v smislu razlikovanja lesenih plošč in lesa. Na primer, za lesena tla iz desk na pero in utor, debeline več kot 30 mm, bi boljše ustrezala hitrost oglenjenja za les ( $\beta_0 = 0,65$  mm/min) kot pa za lesene plošče ( $\beta_0 = 0,90$  mm/min). Najbolj pa bi bilo primerno izračunati osnovni zaščitni čas  $t_{prot,0}$ , kot je opisano v prejšnjem poglavju.

### 4.3.2 Dvodimenzionalno oglenenje

Na vogalih, na primer pri pravokotnem prečnem prerezu, je toplotni tok tipično dvodimenzionalen, kar povzroča zaobljeno obliko robov. Sprva je radij zaokroževanja robov približno ustrezen enodimenzionalnemu oglenenju (slika 9a), nato pa se zaradi povečanja zaokrožitve, debelina zoglenelosti na ožji strani pravokotnega prečnega prereza poveča za več, kot na širši strani (slika 9b).



Slika 9 Efekt zaobljenosti robov pri oglenenju na široki in ožji stranici prečnega prereza  
(*Fire safety in timber buildings, 2010: str 83*)

Za poenostavitev, je preostali pravokotni prečni prerez, prikazan na sliki 9, zamenjan s pravokotnim prečnim prerezom, ki enodimenzionalno globino zoglenelosti in zaobljene robove nadomesti z ekvivalentno nazivno globino zoglenelosti (glej sliko 10), ki jo izračunamo:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t \quad (4.2)$$

kjer je:

$\beta_n$                     nominalna hitrost oglenenja.

Standard SIST EN 1995-1-2, v tabeli 3.1, podaja nazivne hitrosti oglenenja za lesene pravokotne prečne prereze izpostavljene požaru s treh ali štirih strani:

$$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$$

za lepljen les in slojnat furnirni les (iglavci) in

$$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min}$$

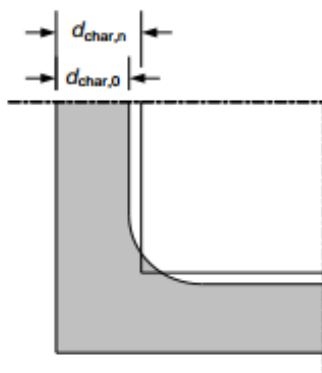
za masivni les (iglavci).

V teh vrednostih so upoštevane tudi razpoke, zato tudi razlika med lepljenim in masivnim lesom.

Nazivna hitrost oglenenja se lahko izrazi tudi kot:

$$\beta_n = k_n \cdot \beta_0 \quad (4.3)$$

Ker je  $\beta_0 = 0,65$  mm/min, dobimo  $k_n = 1,08$  za lepljen les oz.  $k_n = 1,23$  za masivni les.



Slika 10 Zamenjava enodimenzionalne globine zoglenelosti in zaobljenih robov z ekvivalentno nazivno globino zoglenelosti

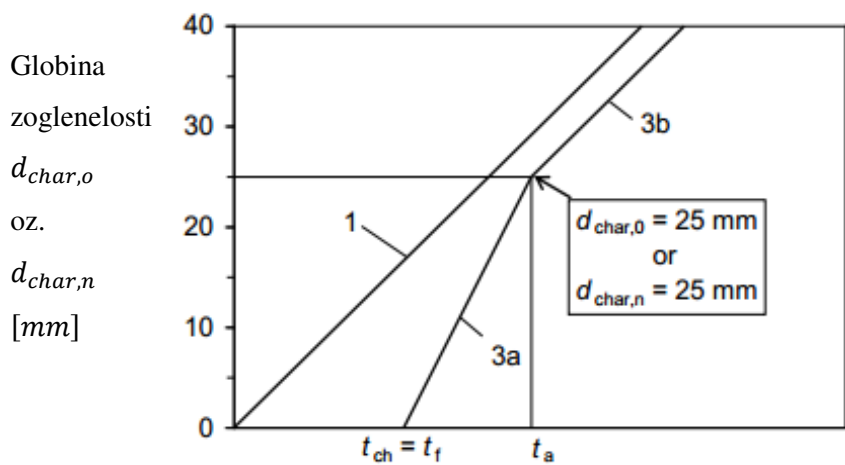
(*Fire safety in timber buildings, 2010: str 83*)

#### 4.4 Učinek zaščite

##### 4.4.1 Elementi velikih prečnih prerezov

Zoglenela plast lahko zagotavlja učinkovito zaščito pretoka toplote, zlasti pri velikih prerezih. Če je konstrukcija dodatno zaščiten (lesene plošče, mavčno kartonske plošče, kamena volna...) se začne oglenenje pozneje in če zaščita ostane na konstrukciji po začetku oglenenja, je to počasnejše v primerjavi z nezaščiten konstrukcijo. Poenostavljene zveze med fazami oglenenja, začetkom oglenenja, stopnjo zoglenelosti in odpovedjo zaščitne plasti, so prikazane na slikah 11 do 13, kjer je  $t_{ch}$  čas začetka oglenenja,  $t_f$  čas odpovedi zaščitne plasti in  $t_a$  čas, ko je globina zoglenelosti 25 mm.

Takoj po odpovedi zaščitne plasti, ko ta odpade stran, je hitrost oglenenja večja kot pri nezaščitenem lesu (zaradi kombinacije visoke temperature in nezadostne samozaščite s plastjo oglja). Efektivna samozaščita s plastjo oglja zahteva debelino 25 mm.

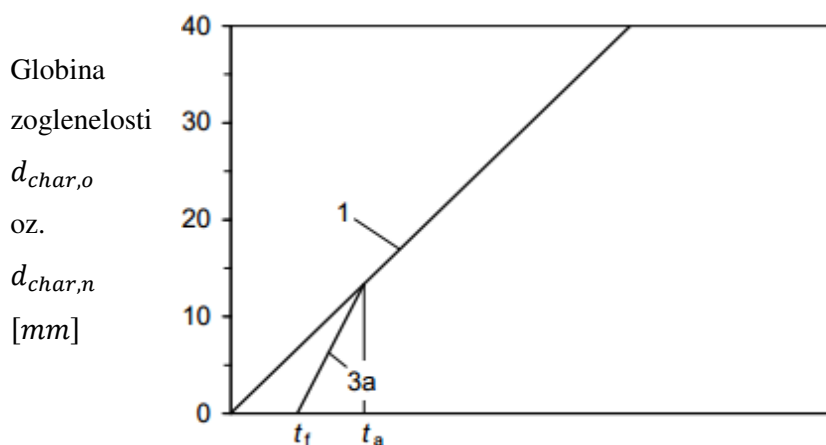


Legenda:

Čas t

- 1 Zveza za nezaščitene elemente
- 3a, 3b Zveza za prvotno zaščitene elemente, po odpadu požarne zaščite
- 3a – ko požarna zaščita odpade, se hitrost oglenjenja poveča
- 3b – ko globina zoglenelosti preseže 25 mm, je hitrost oglenjenja enaka hitrosti oglenjenja nezaščiteneh elementov.

Slika 11 Zveza med globino zoglenelosti in časom, ko se oglenenje prične ob odpadu zaščite  $t_{ch} = t_f$  (povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 84*)



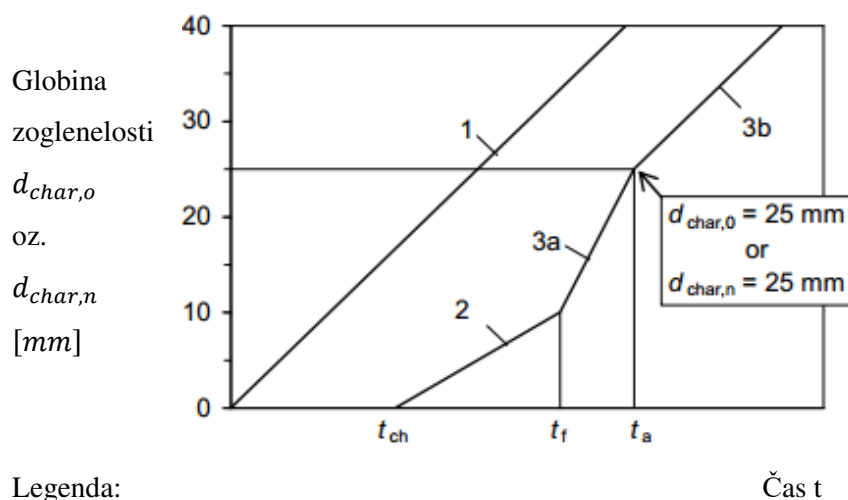
Legenda:

Čas t

- 1 Zveza za nezaščitene elemente
- 3a Zveza za prvotno zaščitene elemente, po hitrem odpadu požarne zaščite.

Slika 12 Zveza med globino zoglenelosti in časom, pri hitrem odpadu požarne zaščite (povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 85*)





Legenda:

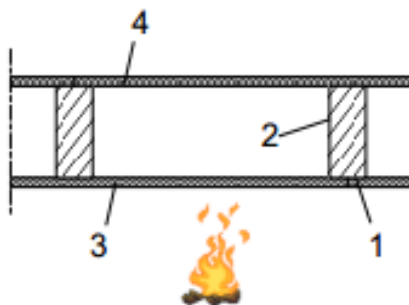
- 1 Zveza za nezaščitene elemente
- 2, 3a, 3b Zveza za prvotno zaščitene elemente, ko se oglenenje začne pred odpadom požarne zaščite
- 2 – oglenenje se prične pri  $t_{ch}$ , z zmanjšano hitrostjo, ko je obloga še pritrjena
- 3a – ko požarna zaščita odpade, se hitrost oglenenja poveča
- 3b – ko globina zoglenelosti preseže 25 mm, je hitrost oglenenja enaka hitrosti oglenenja nezaščitenih elementov

Slika 13 Zveza med globino zoglenelosti in časom, ko se oglenenje prične po odpadku zaščite  $t_{ch} = t_f$  (povzeto po *Fire safety in timber buildings*, 2010: str 85)

#### 4.4.2 Elementi majhnih prečnih prerezov

Pri majhnih prerezih, na primer stropnih in stenskih sklopih s praznimi prostori (glej sliko 14), se povečana hitrost oglenjenja pojavi po odpadu obloge. Vendar bi se konstrukcijski element že sicer porušil, preden bi debelina zoglenelosti dosegla 25 mm.

Za majhne prečne prereze z izolacijo med elementi, se oglenenje pojavi le na ožji stranici ki je direktno izpostavljena požaru.

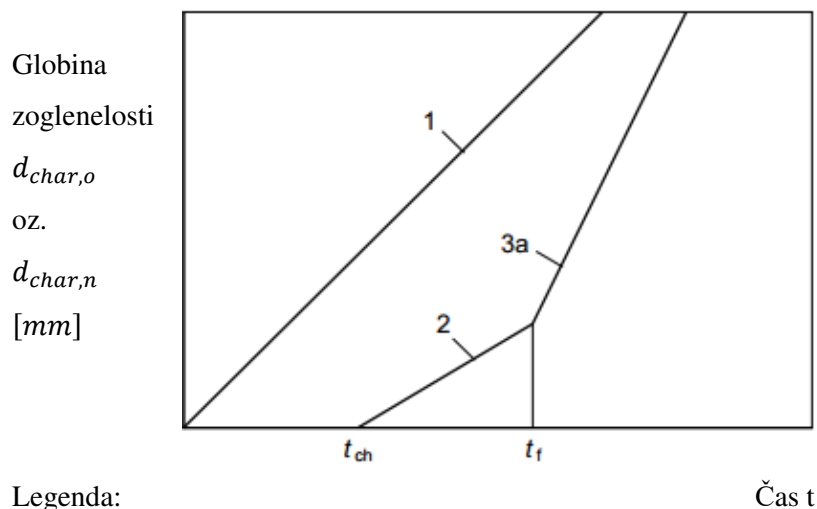


Legenda:

- 1 – ožja stranica prvotno zaščitenega lesenega elementa
- 2 – širša stranica lesenega elementa, usmerjena proti praznemu prostoru
- 3 – požarna obloga na izpostavljeni strani
- 4 – požarna obloga na neizpostavljeni strani

*Slika 14 Primer lesenega sklopa s praznim prostorom med elementi*

*(povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 86)*



Legenda:

- 1 Zveza za nezaščitene elemente
- 2, 3a Zveza za prvotno zaščitene elemente, ko se oglenenje začne pred odpadom požarne zaščite
- 2 – oglenenje se prične pri  $t_{ch}$ , z zmanjšano hitrostjo, ko je obloga še pritrjena
- 3a – ko požarna zaščita odpade, se hitrost oglenjenja poveča, ne da bi dosegla globino 25 mm

Slika 15 Zveza med globino zoglenelosti in časom, brez dosega konsolidacijske globine 25 mm (povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 87*)

#### 4.5 Izračun časa začetka oglenjenja

##### 4.5.1 Čas začetka oglenjenja in čas odpovedi zaščite po standardu SIST EN 1995-1-2

Standard SIST EN 1995-1-2 ne daje zadostnih podatkov za določanje začetka oglenjenja konstrukcije z zaščitnimi ploščami in določanje časa odpovedi zaščitnih plošč. V glavnem standard navaja, če ni podanih izrazov za izračun, se morajo časi odpovedi zaščitnih slojev in pa hitrost oglenjenja lesa za zaščito, določiti s testiranjem. Za nekatere materiale so podani izrazi za izračun:

- začetka oglenjenja (lesene obložne plošče, standardne mavčno kartonske plošče tipa A, H in F, kamena volna),
- časa odpovedi (lesene obložne plošče, standardne mavčno kartonske plošče tipa A) in
- hitrosti oglenjenja lesa za zaščito (mavčno kartonske plošče tipa F, kamena volna).

Ker imajo mavčno kartonske plošče tipa E, D, R in I enake ali boljše toplotne in mehanske lastnosti kot mavčno kartonske plošče tipa A in H, se lahko izrazi za izračun, podani za tipa A in H, konzervativno uporabijo tudi za tipe E, D, R in I. Vendar pa to ne velja tudi za izračune podane za tip F.

Standard SIST EN 1995-1-2 prav tako poda čas začetka oglenjenja, kjer sta na les pritrjena dva sloja mavčno kartonskih plošč. Kjer sta oba sloja tipa A oz. H, je prispevek notranjega sloja le 50% njegove debeline, ker je ob odpadu zunanega sloja, notranji že pregret in je tako izpostavljen višji temperaturi. Če sta sloja različnih tipov, je pomembno, da je sloj boljše kvalitete (tip F) na zunanji strani, prispevek notranjega sloja (tip A oz. H) pa je zmanjšan na 80% njegove debeline. Če je zunanji sloj tipa A oz. H, notranji pa tipa F, lahko v izračunu vzamemo da sta oba sloja tipa A oz. H.

#### 4.5.2 Čas začetka oglenjenja in čas odpovedi zaščite po metodi dodatnih slojev (poglavje 3)

Za razliko od metode po standardu SIST EN 1995-1-2, nova metoda dodatnih slojev, podana v poglavju 3, v skladu s potrebami projektanta, določa začetek oglenjenja in čas odpovedi zaščitnih slojev. S to metodo dobimo natančnejše izračune in lahko uporabimo več različnih materialov. Začetek oglenjenja lahko izračunamo po modificirani enačbi:

$$t_{ch} = \sum_{i=1}^{i=n} t_{prot,i} \quad (4.4)$$

to je, enako vsoti zaščitnih časov  $i$  slojev, ki ščitijo leseno konstrukcijo, kjer je  $t_{prot,i}$  izračunan po metodi iz poglavja 3, z upoštevanjem koeficientov pozicije.

V spodnjih preglednicah (7 in 8) so zbrani rezultati testiranj lesenih sklopov, obloženih z mavčno kartonskimi ploščami. Testirani so časi odpovedi zaščite in časi začetka oglenjenja lesenih elementov.

Preglednica 7 Čas začetka oglenjenja lesenega elementa za mavčno kartonsko ploščo,  $t_{ch}$ , v minutah  
(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 89*)

Obloga	Stenski sklopi		Stropni sklopi	
Tip A, F en sloj	$1,8 \cdot h_p - 7$  25,5	$9mm \leq h_p$ $\leq 18mm$ $h_p > 18mm$	$1,8 \cdot h_p - 7$  25,5	$9mm \leq h_p$ $\leq 18mm$ $h_p > 18mm$
Tip F dva sloja Tip F + Tip A dva sloja	$\min \left\{ \begin{array}{l} 2,1 \cdot h_{p,tot} - 7 \\ 3,5 \cdot h_p + 7 \end{array} \right.$  (4.5)	$25mm \leq h_{p,tot}$ $\leq 31mm$ $9mm \leq h_p$ $\leq 18mm$	$\min \left\{ \begin{array}{l} 2,1 \cdot h_{p,tot} - 7 \\ 4 \cdot h_p - 14 \end{array} \right.$  (4.6)	$25mm \leq h_{p,tot}$ $\leq 31mm$ $9mm \leq h_p$ $\leq 18mm$
Tip A dva sloja	$\min \left\{ \begin{array}{l} 2,1 \cdot h_{p,tot} - 7 \\ 1,6 \cdot h_p + 13 \end{array} \right.$  (4.7)	$25mm \leq h_{p,tot}$ $\leq 31mm$ $9mm \leq h_p$ $\leq 18mm$	$\min \left\{ \begin{array}{l} 2,1 \cdot h_{p,tot} - 7 \\ 1,6 \cdot h_p + 11 \end{array} \right.$  (4.8)	$25mm \leq h_{p,tot}$ $\leq 31mm$ $9mm \leq h_p$ $\leq 18mm$

kjer sta:

$h_p$  debelina zunanjega sloja in

$h_{p,tot}$  skupna debelina plošč.

Preglednica 8 Čas odpovedi mavčno kartonske plošče,  $t_f$ , v minutah(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 90*)

Obloga	Stenski sklopi		Stropni sklopi	
Tip F en sloj	$4,5 \cdot h_p - 24$ (4.9) 57	$9mm \leq h_p$ $\leq 18mm$ $h_p > 18mm$	$h_p + 10$ (4.10) 26	$12,5mm \leq h_p$ $\leq 16mm$ $h_p > 16mm$
Tip F dva sloja	$4 \cdot h_{p,tot} - 40$ (4.11) 84	$25mm \leq h_{p,tot}$ $\leq 31mm$ $h_{p,tot} > 31mm$	$2 \cdot h_{p,tot} - 3$ (4.12) 59	$25mm \leq h_{p,tot}$ $\leq 31mm$ $h_{p,tot} > 31mm$
Tip F + Tip A <sup>a</sup>	81	$h_p > 15mm^b$ $h_{p,tot} > 27mm$	50	$h_p > 15mm^b$
Tip A en sloj	$1,9 \cdot h_p - 7$ (4.13) 21,5	$9mm \leq h_p$ $\leq 15mm$ $h_p > 15mm$	$1,8 \cdot h_p - 7$ (4.14) 20	$12,5mm \leq h_p$ $\leq 15mm$ $h_p > 15mm$
Tip A dva sloja	$2,1 \cdot h_{p,tot} - 14^c$ (4.15) 49	$25mm \leq h_{p,tot}$ $\leq 30mm$ $h_{p,tot} > 30mm$		
Tip A trije sloji	55	$h_{p,tot} > 37,5mm$	– <sup>d</sup>	
GF en sloj	$2,4 \cdot h_p - 4$ (4.16)	$10mm \leq h_p$ $\leq 12,5mm$	– <sup>d</sup>	

kjer sta:

 $h_p$  debelina zunanjega sloja in $h_{p,tot}$  skupna debelina plošč.

Opomba:

a – zunanji sloj Tip F, notranji Tip A

b – debelina prvega sloj (Tip F)

c – enako kot SIST EN 1995-1-2

d – ni podatkov

#### 4.6 Mehanska odpornost

Ker je preostali prečni prerez, neposredno ob zогleneli liniji, čeprav neožgan, segret nad normalno temperaturo, je potrebno trdnost in modul elastičnosti materiala v tej coni zmanjšati.

Standard SIST EN 1995-1-2 podaja naslednje enačbe za izračun trdnosti:

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4.17)$$

Z uvedbo

$$f_{20} = f_k \cdot k_{fi} \quad (4.18)$$

dobimo

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (4.19)$$

kjer so:

$f_{d,fi}$	projektna trdnost pri požarnem projektne stanju,
$f_{20}$	20%-na kvantila trdnosti pri sobni temperaturi,
$f_k$	karakteristična trdnost pri sobni temperaturi (EN 338),
$k_{mod,fi}$	modifikacijski faktor pri požarnem projektne stanju in
$\gamma_{M,fi}$	delni varnostni faktor pri požarnem projektne stanju.

Priporočena vrednost za delni varnostni faktor pri požaru je 1. Vrednost je lahko podana tudi v nacionalnem dodatku. Vrednosti  $k_{fi}$ , so podane v tabeli 2.1, standarda SIST EN 1995-1-2 ( $k_{fi} = 1,25$  za masiven les,  $k_{fi} = 1,15$  za lepljen les in križno lepljen les,  $k_{fi} = 1,1$  za slojnat furnirni les).

Podobno kot za trdnosti, se izračunata tudi togostna parametra, to sta elastični modul in strižni modul:

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4.20)$$

Z uvedbo

$$S_{20} = S_{05} \cdot k_{fi} \quad (4.21)$$

dobimo

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{S_{05}}{\gamma_{M,fi}} \quad (4.22)$$

Za primerjavo s standardom SIST EN 1995-1-2, kjer so računске vrednosti togostnih parametrov podane z:

$$E_d = E_{mean} / \gamma_M \text{ in } G_d = G_{mean} / \gamma_M,$$

Enačba 4.20, upošteva vrednost normalne togosti, z upoštevanjem 20%-ne kvantile.

Za določitev mehanske odpornosti požaru izpostavljenih elementov (s treh ali štirih strani), standard SIST EN 1995-1-2 ponuja dve metodi in sicer:

- metodo zmanjšanja prečnega prereza (priporočena metoda) in
- metodo zmanjšanih materialnih lastnosti.

Po metodi zmanjšane prečnega prereza, upoštevamo za faktor  $k_{fi}$  povečano trdnost in togost. Vendar je od preostalega prečnega prereza odvzeta še debelina nenosilnega sloja  $d_0$ , ali z drugimi besedami, globina zoglelosti je povečana za  $d_0$ .

Za izračun odpornosti elementa, ki je izpostavljen požaru, je potrebno osnovni prerez zmanjšati za nazivno globino zoglelosti in za debelino nenosilnega sloja  $d_0$ . Efektivna globina zoglelosti je podana kot:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 \quad (4.23)$$



Kjer koeficient  $k_0$  upošteva dejstvo, da pri nezaščitenih elementih, prvih dvajset minut ni vpliva na nenosilni sloj, oz. pri zaščitenih elementih, do časa oglenenja. Zato je:

$$k_0 = \begin{cases} \frac{t}{20} & \text{za nezaščitene elemente} \\ \frac{t}{t_{ch}} & \text{za zaščitene elemente} \end{cases} \quad (4.24)$$

Izboljšana računsko metoda

Za določitev mehanske odpornosti konstrukcijskega lesenega elementa, izboljšana metoda (modeliranje z metodo končnih elementov) obsega nekaj korakov:

- določitev temperaturnega polja v lesenem elementu in globine zoglanelosti,
- določitev mehanske odpornosti prečnega prereza z uporabo temperaturnega polja v lesenem elementu in temperaturno odvisnega zmanjšanja trdnosti in togosti v vsaki točki prereza ter
- določitev mehanske odpornosti elementa (steber, nosilec, okvir...).

## 4.7 Konstrukcijski elementi

### 4.7.1 Nosilci in stebri izpostavljeni požaru s treh ali štirih strani

Nezaščiteni elementi:

#### Oglenenje

Uporabimo nazivno hitrost oglenenja:

$\beta_n = 0,7 \text{ mm/min}$  za lepljen les in slojnat furnirni les (iglavci)

$\beta_n = 0,8 \text{ mm/min}$  za masivni les (iglavci)

Ustrezne globine zoglanelosti izračunamo kot:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t$$

kjer je:

$t$  čas izpostavljenosti požaru.

### Mehanska odpornost

Zmanjšanje trdnosti in togosti (upogibna trdnost in modul elastičnosti) izvedemo z upoštevanjem večje globine zoglanelosti, za nenosilni sloj  $d_0 = 7 \text{ mm}$ . Efektivna globina zoglanelosti je:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

kjer izračunamo  $k_0$  s pomočjo izraza (4.24).

### 4.7.2 Strop in stene iz masivnega lesa

Strop na pero in utor

#### Oglenenje

Standard SIST EN 1995-1-2 ne podaja podatkov za globino zoglanelosti za stropove na pero in utor. Ker je to nosilna konstrukcija, je potrebno globine zoglanelosti povzeti s tabele 3.1, standarda SIST EN 1995-1-2, vrstice a do c in ne d (lesene obloge). Ker se razmaki zaradi sušenja pojavijo pri vsakem spoju, je potrebno upoštevati povečano oglenenje. Ker so spoji pero-utor, šibke cone v pogledu prenosa toplote, je potrebno zaščitni čas  $t_{prot}$  pomnožiti s koeficientom spoja  $k_j$ .

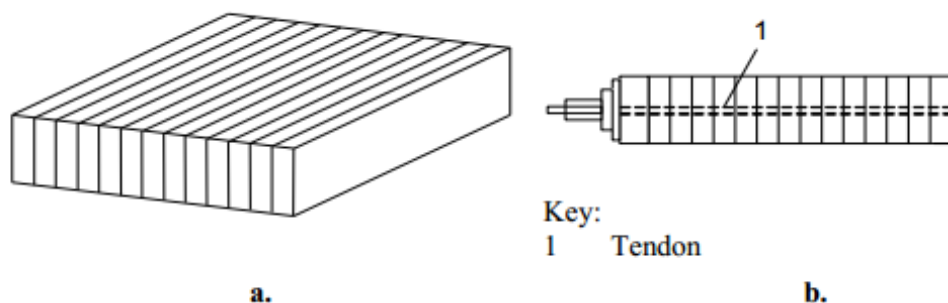
### Mehanska odpornost

Zmanjšanje trdnosti in togosti (upogibna trdnost in elastični modul) izvedemo z upoštevanjem večje globine zoglanelosti, za nenosilni sloj  $d_0 = 7 \text{ mm}$ . Efektivna globina zoglanelosti je:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0$$

kjer izračunamo  $k_0$  s pomočjo izraza 4.24.

### 4.7.3 Plošče iz lepljenega lameliranega lesa ali prednapete lamelirane plošče



Slika 16 Primeri lesenih lameliranih plošč: a/ lepljena, b/ prednapeta

(Fire safety in timber buildings, 2010: str 100)

### Oglenenje

Globina zoglanelosti se izračuna po standardu SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4, z uporabo enodimenzionalne hitrosti oglenenja  $\beta_0$ .

### Mehanska odpornost

Za preverjanje mehanske odpornosti, se uporabi metoda zmanjšane prečnega prereza, podana v standardu SIST EN 1995-1-2, poglavje 4.2.2, vendar z vrednostmi za globino nenosilnega sloja  $d_0$ , podanimi v tabeli 9.

#### *Preglednica 9 Nenosilni sloj $d_0$ v mm*

*(povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 100)*

Izpostavljenost požaru	Strop		Stene	
	nezaščiteno	zaščiteno	nezaščiteno	zaščiteno
Natezna stran	$\frac{h}{55} + 8,5$ (4.28)	Kot nezaščiteno	$-b$	$-b$
Tlačna stran	$\frac{h}{20} + 9$ (4.29)	Kot nezaščiteno	$\frac{h}{20} + 9$ (4.30)	Kot nezaščiteno

kjer je:

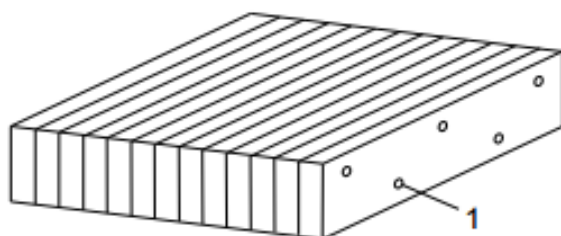
h                      debelina plošče v mm.

Opomba:

a – vrednosti se uporabi tudi pri  $t > t_f$

b – ni pomembno

#### **4.7.4 Plošče iz žebljanega lameliranega lesa**



Legenda:

1 - žebelj

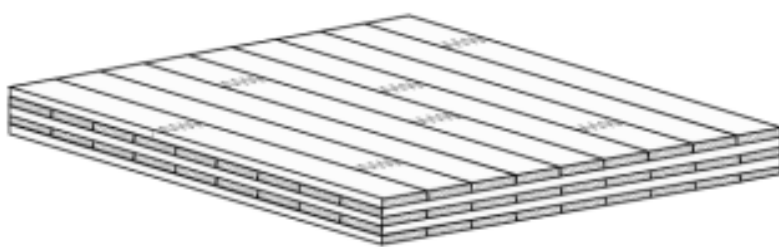
*Slika 17 Primer žebljane lesene lamelirane plošče*

*(povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 101)*

### Oglenenje

Globina zoglenelosti se izračuna po standardu SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4, z uporabo nazivne hitrosti oglenenja za masiven les ( $\beta_n = 0,8$  mm/min). Preverjanje mehanske odpornosti se izvede enako kot pri lepljenem lameliranem lesu.

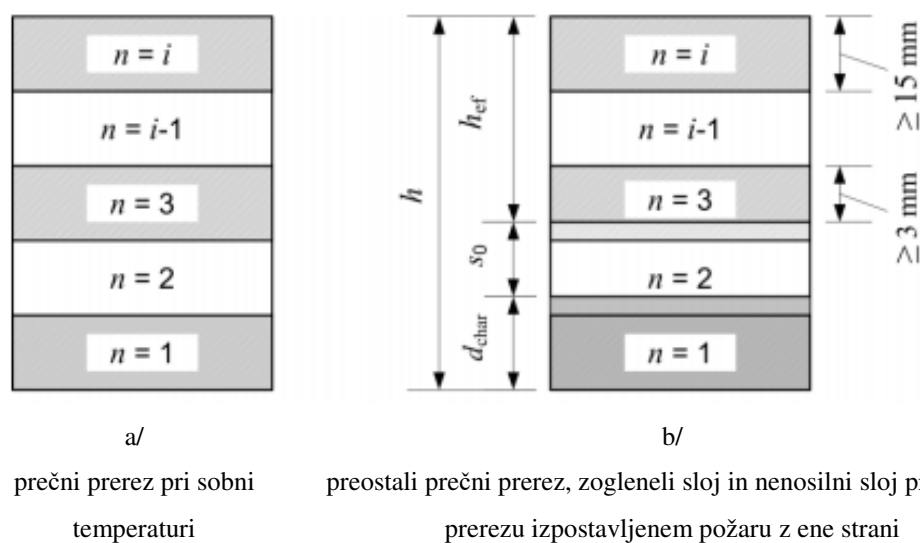
### **4.7.5 Križno lepljene lesene plošče (CLT)**



*Slika 18 Primer križno lepljene lesene plošče  
(Fire safety in timber buildings, 2010: str 101)*

Smer vlaken zunanjega in vsakega drugega sloja (sloji 1, 3, 5 itd.) so usmerjeni v glavni, nosilni smeri, medtem ko so sloji 2, 4 itd. usmerjeni pravokotno nanje (glej sliko 19a). V tej računski metodi, pravokotni sloji niso upoštevani kot nosilni v vzdolžni smeri, prispevajo pa pri prevzemanju strižnih sil med sloji.

Raziskave, ki vključujejo simulacije in pa požarne teste križno lepljenih plošč, so pokazale, da debelina nenosilnega sloja  $d_0$  za križno lepljene plošče ni konstantna, kot je podano v standardu SIST EN 1995-1-2. Poenostavljen izračun se izvede po enačbah 4.17 – 4.22. Ker lahko zmanjšanje preostalega prečnega prereza zajema tudi del nenosilnega sloja, se globina zmanjšanja poda kot kompenzacijski sloj  $s_0$ .



Slika 19 Prečni prerez križno lepljene lesene plošče  
(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 102*)

### Oglenenje

Če je razmak med deskami manjši kot 2 mm, se uporabi enodimenzionalna hitrost oglenjenja (4.1).

Ko je razmak med 2 in 6 mm, se uporabi nazivna hitrost oglenjenja (4.3), kjer je  $k_n = 1,2$ .

Ko je razmak večji kot 6 mm, se upošteva, da je vsaka deska izpostavljena požaru s treh strani. Oglenenje zaščiteneh elementov se izračuna po poglavju o učinku zaščite za velike prečne prezeze.

### Mehanska odpornost

Poenostavljen računski model za preverjanje mehanske odpornosti sledi metodi zmanjšanega prečnega prereza, kar pomeni, da se osnovni prečni prerez zmanjša za efektivno globino zoglenelosti:

$$d_{ef} = d_{char,0} + k_0 \cdot s_0 \quad (4.31)$$

ali

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot s_0 \quad (4.32)$$

kjer je koeficient  $k_0$  določen z izrazom (4.24).

V osnovi je debelina kompenzacijskega sloja  $s_0$ , za križno lepljene lesene plošče, odvisna od:

- števila slojev,
- debeline križno lepljene lesene plošče,
- predznaka napetosti (nateg/tlak) na strani izpostavljeni požaru in
- temperature pod zoglenelim slojem (oz. ali je element zaščiten ali ne).

Preglednica 10 Debelina kompenzacijskega sloja  $s_0$  v mm, za križno lepljene lesene plošče s tremi sloji (povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 103*)

Izpostavljenost požaru	Strop		Stene	
	nezaščiteno	zaščiteno <sup>a</sup>	nezaščiteno	zaščiteno <sup>a</sup>
Natezna stran	$\frac{h}{30} + 3,7$ (4.33)	10	$-b$	$-b$
Tlačna stran	$\frac{h}{25} + 4,5$ (4.34)	$\min \left\{ \begin{array}{l} 13,5 \\ \frac{h}{12,5} + 7 \end{array} \right.$ (4.35)	$\frac{h}{12,5} + 3,95$ (4.36)	$\min \left\{ \begin{array}{l} 14,5 \\ \frac{h}{12,5} + 7 \end{array} \right.$ (4.37)

kjer je:

$h$  – debelina križno lepljene lesene plošče v mm.

Opomba:

a – vrednosti se uporabi tudi pri  $t > t_f$

b – ni pomembno

Preglednica 11 Debelina kompenzacijskega sloja  $s_0$  v mm, za križno lepljene lesene plošče s petimi sloji (povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 104*)

Izpostavljenost požaru	Strop		Stene	
	nezaščiteno	zaščiteno <sup>a</sup>	nezaščiteno	zaščiteno <sup>a</sup>
Natezna stran	$\frac{h}{100} + 10$ (4.38)	Za $75\text{mm} \leq h \leq 100\text{mm}$ $-\frac{h}{4} + 34$ (4.39) Za $h > 100\text{mm}$ $\frac{h}{35} + 6$ (4.40)	$-b$	$-b$
Tlačna stran	$\frac{h}{20} + 11$ (4.41)	18	$\frac{h}{15} + 10,5$ (4.42)	20

kjer je:

$h$  – debelina križno lepljene lesene plošče v mm.

Opomba:

a – vrednosti se uporabi tudi pri  $t > t_f$

b – ni pomembno

*Preglednica 12 Debelina kompenzacijskega sloja  $s_0$  v mm, za križno lepljene lesene plošče s sedmimi sloji*

*(povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 104)*

Izpostavljenost požaru	Strop		Stene	
	nezaščiteno	zaščiteno <sup>a</sup>	nezaščiteno	zaščiteno <sup>a</sup>
Natezna stran	Za $105\text{mm} \leq h \leq 175\text{mm}$ $\frac{h}{6} + 2,5$ (4.43) Za $h > 175\text{mm}$ 10	Kot nezaščiteno	– <sup>b</sup>	– <sup>b</sup>
Tlačna stran	Za $105\text{mm} \leq h \leq 175\text{mm}$ $\frac{h}{6} + 2,5$ (4.44) Za $h > 175\text{mm}$ 13	Kot nezaščiteno	Za $105\text{mm} \leq h \leq 175\text{mm}$ $\frac{h}{6} + 4$ (4.45) Za $h > 175\text{mm}$ 16	Kot nezaščiteno

kjer je:

h debelina križno lepljene lesene plošče v mm.

Opomba:

a – vrednosti se uporabi tudi pri  $t > t_f$

b – ni pomembno

#### 4.7.6 Leseni panelni stropni in stenski sklopi

Splošno

Leseni paneli so ponavadi sestavljeni iz lesenega okvirja (stropniki ali stebrički in prečke) in obložnih plošč na eni ali obeh straneh. Medprostori so lahko prazni ali pa delno oz. v celoti zapolnjeni z izolacijo.

Pri sestavi lesenih panelnih sklopov je potrebno upoštevati naslednja pravila:

- obstaja hierarhija med različnimi sloji v sklopu, po prispevku požarni odpornosti,
- največji prispevek požarni odpornosti, da obložni sloj na požaru izpostavljeni strani, tako v smislu izolativnosti, kot tudi v smislu požarne odpornosti,
- težko je nadomestiti slabo požarno odpornost obložnega sloja, z izboljšano odpornostjo naslednjih slojev in
- zapolnitev prostorov med konstrukcijo z izolacijo, izboljša požarno odpornost lesenega panela.

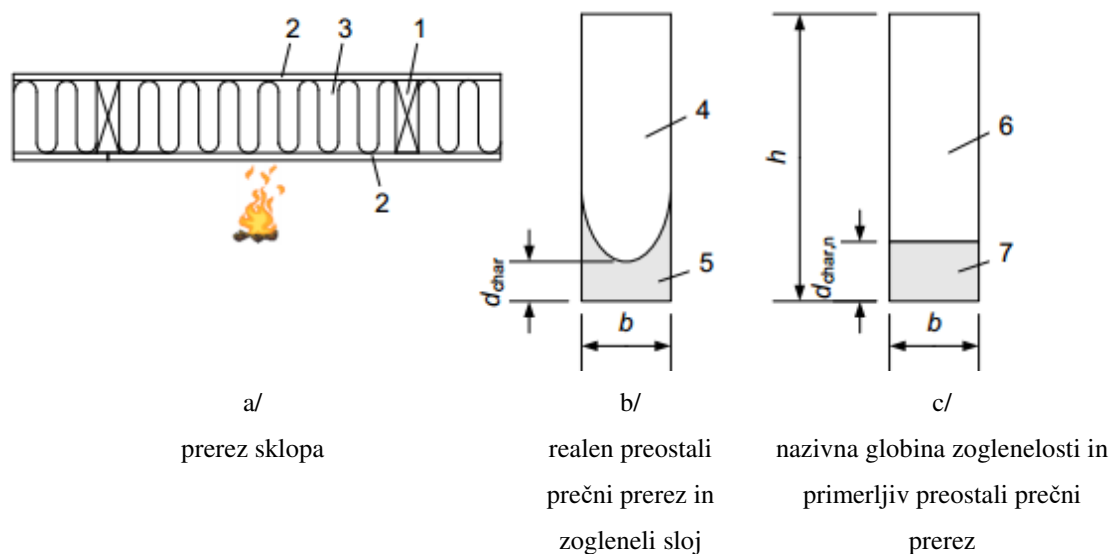
#### Sklopi z medprostori v celoti ali delno zapolnjenimi s kameno volno

Gre za sklope z medprostori v celoti zapolnjenimi z izolacijo (glej sliko 20a). Toplotne analize so pokazale, da se model lahko uporabi tudi za sklope z delno zapolnjenimi medprostori, ko je izolacija postavljena na stran izpostavljeno požaru in debelina ni manjša kot 100 mm.

#### Oglenenje

Tudi ko so elementi, po svoji širši stranici, zaščiteni z izolacijo, ne poteka oglenenje le po ožji, požaru izpostavljeni stranici. Zaradi toplotnega toka preko izolacije, oglenijo elementi tudi po daljših stranicah v smislu zaokrožitve robov (glej sliko 20b). Za poenostavitev, se nepravilni prečni prerez zamenja s primerljivim pravokotnim prečnim prerezom, tako da se globina zoglenelosti  $d_{char}$  in zaokrožitve, zamenjajo z nazivno globino zoglenelosti  $d_{char,n}$  (glej sliko 20c).





Legenda:

- 1 Stropnik oz. stebriček
- 2 Obloga
- 3 Izolacija
- 4 Preostali prečni prerez (realna oblika)
- 5 Zogleneli sloj (realna oblika)
- 6 Primerljivi preostali prečni prerez
- 7 Zogleneli sloj z nazivno globino zoglenelosti

Slika 20 Oglenenje stropnika oz. stebrička

(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 108*)

Nazivna stopnja zoglenelosti je podana kot:

$$\beta_n = \beta_0 \cdot k_s \cdot k_n \cdot k_p \quad (4.46)$$

Kjer so  $k_s$ ,  $k_n$  in  $k_p$ :

- koeficient prečnega prereza  $k_s$ , upošteva vpliv širine osnovnega prečnega prereza

$$k_s = \begin{cases} 0,00023 \cdot b^2 - 0,045 \cdot b + 3,19 & \text{za } 38\text{mm} \leq b \leq 90\text{mm} \\ 1 & \text{za } b > 90\text{mm} \end{cases} \quad (4.47)$$

Ta izraz se lahko uporablja pri izolaciji iz kamene volne z gostoto min 26 kg/m<sup>3</sup>,

- koeficient  $k_n$ , pretvarja nekonstantno globino zoglanelosti v nazivno globino zoglanelosti. Vrednost  $k_n = 1,5$ , je približek, ki je primeren za nazivno globino zoglanelosti pri relativni odpornosti med 0,2 in 0,4. Za bolj konzervativne pogoje nižjih vrednosti relativne odpornosti in za elemente, kjer je  $b > 60$  mm, je bolj primerno  $k_n = 1,25$ ,
- koeficient  $k_p$  zajame efekt zaščite z oblogo

$k_p = k_1 = 1,0$  – za nezaščitene elemente (v praksi, taki primeri obstajajo na podstrehah, brez talne obloge, ko je požar z zgornje strani),

$k_p = k_2$  – za fazo oglečenja, pred odpadom obloge ( $t_{ch} < t_f$ ) in

$k_p = k_3$  – za fazo oglečenja, po odpadu obloge ( $t > t_f$ ).

Za mesta brez spoja v oblogi je

$$k_2 = 1,05 - 0,0073 \cdot h_p,$$

za mesta s spojem v oblogi, pa je

$$k_2 = 0,86 - 0,0037 \cdot h_p,$$

kjer je  $h_p$  debelina celotnega sklopa v mm.

Ko je medprostor zapolnjen s kameno volno in ta obstane ob odpadu obloge, se faktor  $k_3$  izračuna:

$$k_3 = 0,036 \cdot t_f + 1,$$

kjer je  $t_f$  čas odpada obloge v minutah.

Ko je medprostor zapolnjen s stekleno volno, ta izgubi zaščitno funkcijo ob odpadu obloge  $t_f$ .

Izraz za nazivno globino zoglanelost  $d_{char,n}$ , je podan kot:

$$d_{char,n} = \beta_0 \cdot k_s \cdot k_n \cdot k_2 \cdot (t - t_{ch}) \quad \text{za } t_{ch} \leq t \leq t_f \quad (4.48)$$

$$d_{char,n} = \beta_0 \cdot k_s \cdot k_n \cdot [k_2 \cdot (t_f - t_{ch}) + k_3 \cdot (t - t_f)] \quad \text{za } t_f \leq t \quad (4.49)$$

Mehanska odpornost z uporabo metode zmanjšanih materialnih lastnosti

Po standardu SIST EN 1995-1-2, sta trdnost in togost lesenih elementov zmanjšani z uporabo modifikacijskih faktorjev  $k_{mod,fi}$ :

$$k_{mod,fm,fi} = a_0 + a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h} \quad (4.50)$$

$$k_{mod,E,fi} = b_0 + b_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h} \quad (4.51)$$

Parametri  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $b_0$  in  $b_1$ , so za določene prečne prereze podani v preglednicah v standardu SIST EN 1995-1-2, za ostale prečne prereze pa se te vrednosti interpolirajo.

Mehanska odpornost z uporabo metode zmanjšanih prečnih prerezov

Za poenostavitev izračunov, so bile izpeljane debeline nenosilnih slojev  $d_0$ . Efektivna globina zoglenelosti je izračunana kot:

$$d_{ef} = d_{char,n} + d_0 \quad (4.52)$$

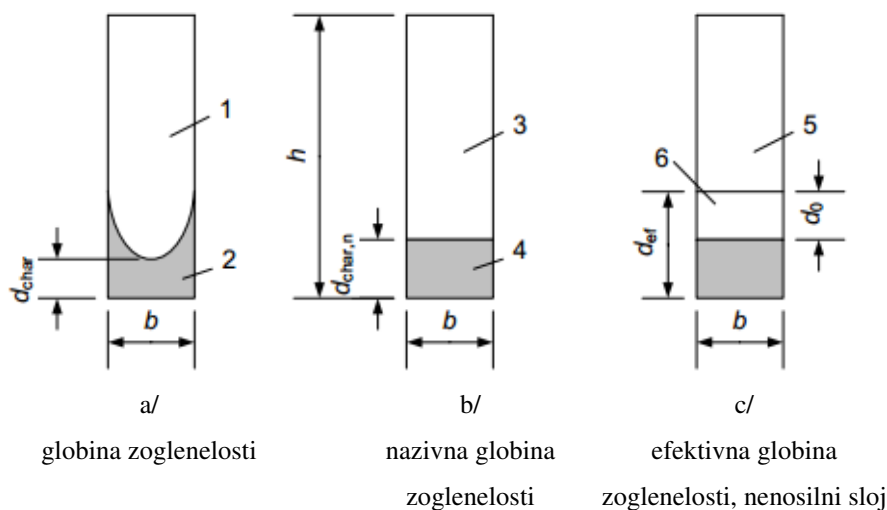
$d_0$  se za elemente z  $b > 38$  mm in  $h > 95$  mm (stropniki), izračuna po naslednjih izrazih:

- za elemente s požaru izpostavljeno stranjo v nategu

$$d_0 = 13,5 + 0,1 \cdot h \quad (4.53)$$

- za elemente s požaru izpostavljeno stranjo v tlaku

$$d_0 = 21,5 + 0,1 \cdot h \quad (4.54)$$



Legenda:

- 1 Preostali prečni prerez (realna oblika)
- 2 Zogleneli sloj (realna oblika)
- 3 Nazivni (primerljivi) prečni prerez
- 4 Nazivni zoglaneli sloj
- 5 Efektivni prečni prerez
- 6 Nosilni sloj pod zoglanelim slojem

Slika 21 Definicija globine zoglanelosti, nazivne globine zoglanelosti, efektivne globine zoglanelosti, in nosilnega sloja.

(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 110*)

Vrednosti  $d_0$ , podane v preglednici 13, se uporabijo za osno obremenjene elemente (stene).

Preglednica 13 Vrednosti  $d_0$  za stenske stebričke

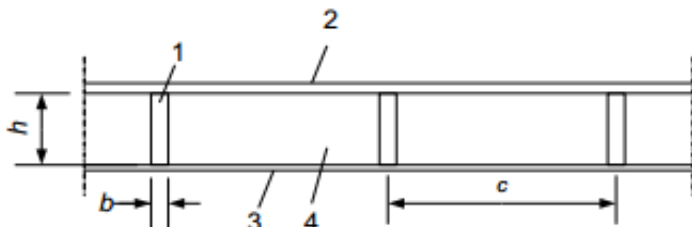
(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 111*)

Konstrukcija	Izpostavljenost	Uklon	Dimenzije	$d_0$	
Stenski el.	Enostranska	Močna os y-y	$b \geq 38mm$ $h \geq 95mm$	$13,5 + 0,1 \cdot h$	(4.55)
Stenski el.	Enostranska	Šibka os z-z	$b \geq 38mm$ $h \geq 95mm$	$17 + 0,25 \cdot h$	(4.56)
Stenski el.	Dvostranska	Močna os y-y	$b \geq 38mm$ $h = 145mm$	25mm	
Stenski el.	Dvostranska	Šibka os z-z	$b \geq 38mm$ $h = 145mm$	44mm	

kjer je h višina lesenega stebrička v mm.

## Sklopi s praznimi medprostori

Sem spadajo stropni in stenski sklopi, sestavljeni iz lesenih stropnikov oz. stebrov in lesenih oblog, pri katerih prostori med nosilnimi elementi niso zapolnjeni z izolacijo (glej sliko 22).



Legenda:

- 1 stropnik
- 2 pod
- 3 obloga
- 4 Prazen medprostor

*Slika 22 Lesen panelni sklop, s praznimi medprostori in oblogami pritrjenimi direktno na stropnike (povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 111)*

## Oglenenje

Na voljo sta dva računski modela za določitev globine zogljenlosti:

Računski model po standardu SIST EN 1995-1-2:

Podatki o oglenenju stropnikov oz. stebrov so podani v dodatku D, medtem ko je redukcija odpornostnih lastnosti izračunana po metodi zmanjšane prečnega prereza, podani v poglavju 4.2. Prav tako so podani časi odpada obložnih lesenih in mavčno kartonskih plošč.

Izboljšan računski model po literaturi [6], [7]:

Odpad oblog se zgodi ob začetku oglenenja (glej sliko 23):

$$t_f = t_{ch}$$

hitrost oglenenja se konsolidira ob času  $t^*$ :

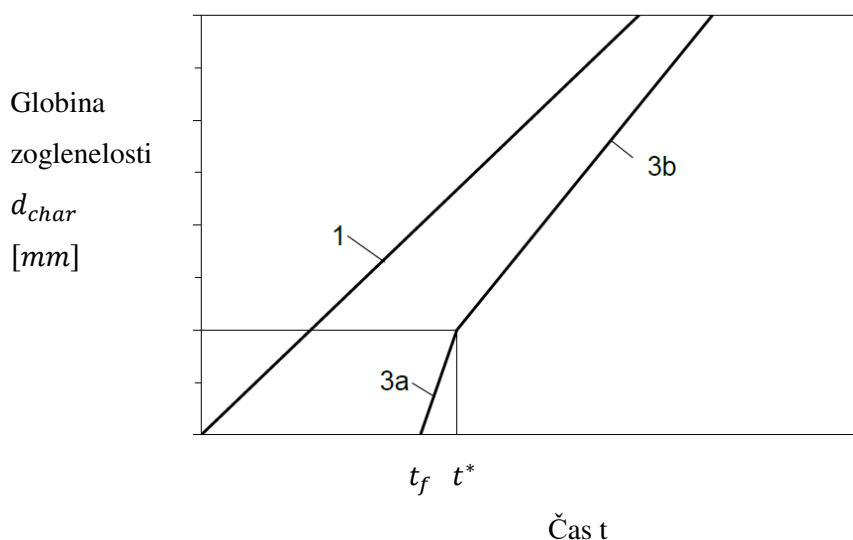
$$t^* = t_f + 5min \tag{4.57}$$

Ob tem času, je globina zogljenlosti približno 10 mm.

Za oglenenje pred odpadom oblog ( $t_{ch} < t_f$ ), se pri oglenenju na ožji stranici prečnega prereza upošteva koeficient  $k_p = k_2$ .

Hitrosti oglenenja med prvo fazo (3a) in drugo fazo (3b), po odpadu oblog, so odvisne od časa odpada oblog. Na ožji stranici prečnega prereza, je po konsolidaciji v drugi fazi (3b) stopnja oglenenja odvisna tudi od širine stropnika oz. stebrička. V naslednjih izrazih so podane globine zoglenelosti, kjer sta:

$d_{char,1}$  globina zoglenelosti na širši stranici,  
 $d_{char,2}$  pa globina zoglenelosti na ožji stranici.



Legenda:

- 1 Zveza za nezaščitene elemente
- 3a Povečana hitrost oglenenja po odpadu stropne obloge
- 3b Oglenenje po konsolidacijskem času  $t^*$

Slika 23 Globina zoglenelosti v odvisnosti od časa

(povzeto po *Fire safety in timber buildings, 2010: str 112*)

Za fazo oglenenja 3a, pri  $t_f \leq t \leq t^*$ , globino zoglenelosti izračunamo z:

$$d_{char,1} = d_{char,2} = k_{3a} \cdot \beta_0 \cdot t \quad (4.58)$$

Za fazo oglenenja 3b, pri  $t \geq t^*$ , pa globino zoglenelosti izračunamo z:

$$d_{char,1} = d_{char,2} = k_{3a} \cdot \beta_0 \cdot (t^* - t_f) + k_{3b} \cdot \beta_0 \cdot (t - t^*) \quad (4.59)$$

kjer so:

osnovna hitrost oglenenja  $\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$

za iglavce (žagan in lepljen lameliran les),

po-zaščitna faktorja pa sta:

$$k_{3a} = \begin{cases} 1 + \frac{8}{75} \cdot t_f & \text{za } 0 \leq t_f \leq 15\text{min} \\ 1,9 + \frac{7}{150} \cdot t_f & \text{za } 15\text{min} \leq t_f \leq 60\text{min} \end{cases} \quad (4.60)$$

$$k_{3b} = 1 + \frac{2}{225} \cdot t_f \quad \text{za } 0 \leq t_f \leq 60\text{min} \quad (4.61)$$

Ustrezne nazivne globine zoglenulosti se izračunajo kot:

$$d_{char,1,n} = d_{char,1} \quad (4.62)$$

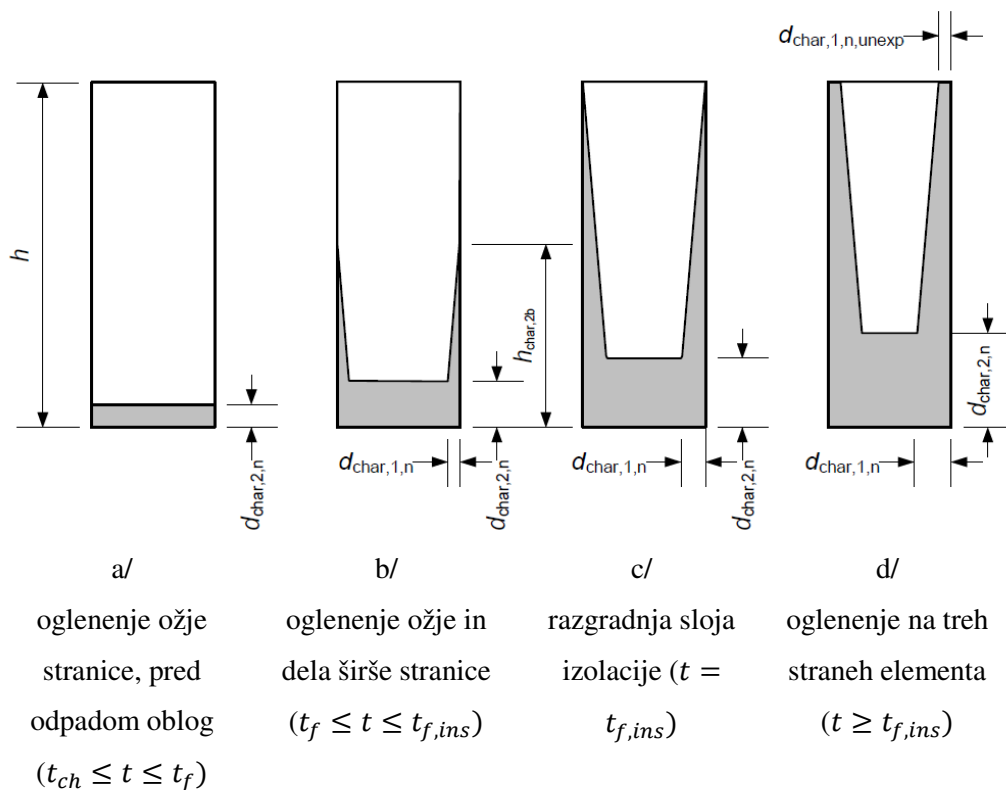
$$d_{char,2,n} = d_{char,2} \cdot k_n \quad (4.63)$$

kjer je  $k_n = 1,25$ .

Mehanska odpornost se določi po metodi zmanjšane prečnega prereza po standardu SIST EN 1995-1-2.

### **Sklopi z medprostori v celoti ali delno zapolnjenimi s stekleno volno**

Različne faze oglenenja so prikazane na sliki 24. Za čas pred odpadom oblog, se oglenenje dogaja enako kot pri kameni volni (24a). Ko obloge odpadejo ( $t = t_f$ ), se obseg steklene volne, zaradi toplotne razgradnje, zmanjšuje, tako da so širše stranice lesenega elementa hitro izpostavljene požaru in začnejo ogleneti (24b). Ko požar na robovih razgradi celoten sloj steklene volne ( $t = t_{f,ins}$ ) (24c), celotna širša stranica elementa ogleni.



Slika 24 Faze oglenenja

(povzeto po Fire safety in timber buildings, 2010: str 113)

OglenenjeZa  $t_{ch} \leq t \leq t_f$  (slika 24a), je računski model opisan kot:

$$d_{char,n} = \beta_0 \cdot k_s \cdot k_n \cdot k_2 \cdot (t_f - t_{ch}) \quad (4.64)$$

Za  $t_f \leq t \leq t_{f,ins}$  (slika 24b), je računski model opisan kot:

$$t_{f,ins} = t_f + \frac{h}{v_{rec,ins}} \quad (4.65)$$

Nazivne globine zогlenelosti se izračunajo kot:

$$d_{char,1,n} = k_3 \cdot \beta_0 \cdot (t - t_f) \quad (4.66)$$

$$h_{char,3} = v_{rec,ins} \cdot (t - t_f) \quad (4.67)$$

$$d_{char,2,n} = \beta_0 \cdot k_2 \cdot k_s \cdot k_n (t_f - t_{ch}) + k_3 \cdot \beta_n (t - t_f) \quad (4.68)$$

kjer so:

 $v_{rec,ins}$  površinska hitrost degradacije steklene volne ( $v_{rec,ins} = 30 \text{ mm/min}$ ),



$k_2$  izolacijski faktor obloge:

$$k_2 = 1,05 - 0,0073 \cdot h_p \quad \text{za obloge brez stikov} \quad (4.69)$$

$$k_2 = 0,86 - 0,0073 \cdot h_p \quad \text{za obloge s stiki} \quad (4.70)$$

$k_3$  po-zaščitni faktor:

$$k_{3a} = \begin{cases} 1 + \frac{8}{75} \cdot t_f & \text{za } 0 \leq t_f \leq 15\text{min} \\ 1,9 + \frac{7}{150} \cdot t_f & \text{za } 15\text{min} \leq t_f \leq 60\text{min} \end{cases} \quad (4.71)$$

$$k_{3b} = 1 + \frac{2}{225} \cdot t_f \quad \text{za } 0 \leq t_f \leq 60\text{min} \quad (4.72)$$

Za  $t \geq t_{f,ins}$  (slika 24d), je računski model opisan kot:

$$d_{char,1,unexp,n} = k_3 \cdot \beta_0 \cdot (t - t_{f,ins}) \quad (4.73)$$

Mehanska odpornost se določi po enaki metodi, kot za kameno volno.

## 5 PRIMERI UPORABE IZRAČUNOV NA KONKRETNEM OBJEKTU

### GRADNJA VRTCA PREDDVOR

Gre za objekt sestavljen iz treh glavnih enot:

Srednji del je tlorisne dimenzije 16.30 x 26.70 m.

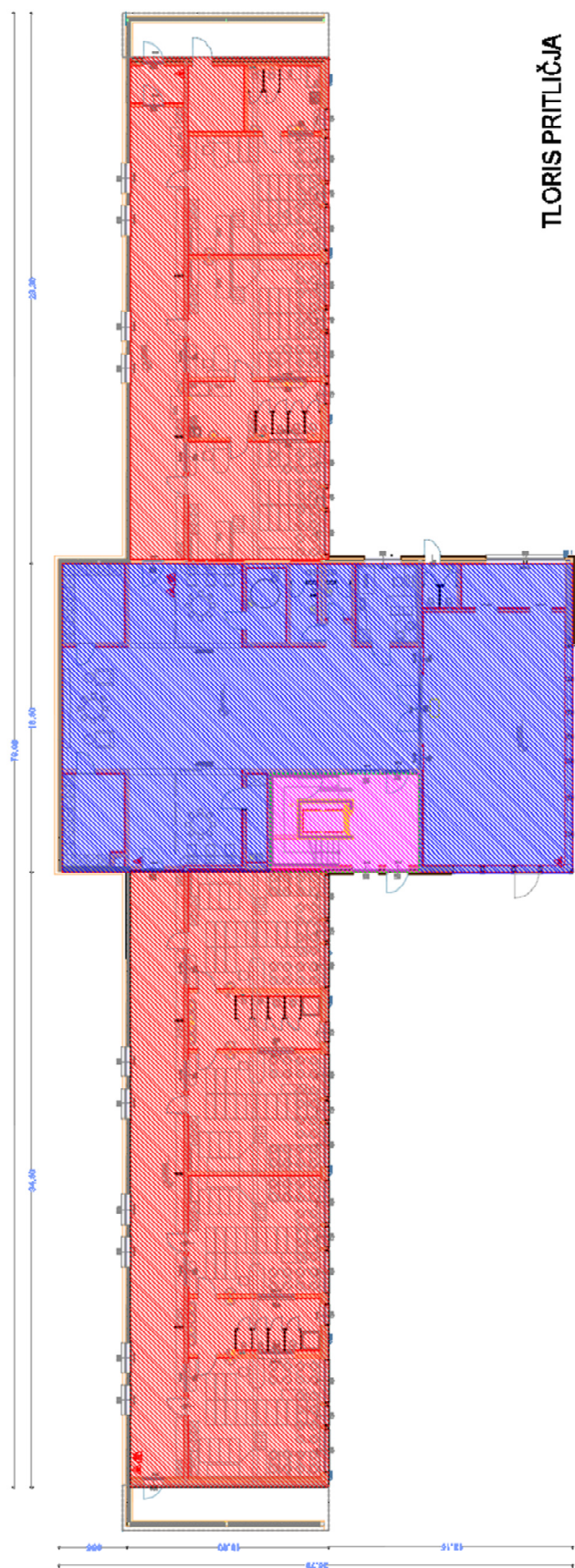
V pritličju so osrednji prostor, sanitarije, športna igralnica, stopnišče z dvigalnim jaškom, v nadstropju pa kuhinja, pralnica, toplotna postaja, pisarne in arhiv. Podstrešje je neizkoriščeno.

Dva stranska dela sta tlorisnih dimenzij: levi 34.30 x 10.00 m, desni pa 28.30 x 10.00 m.

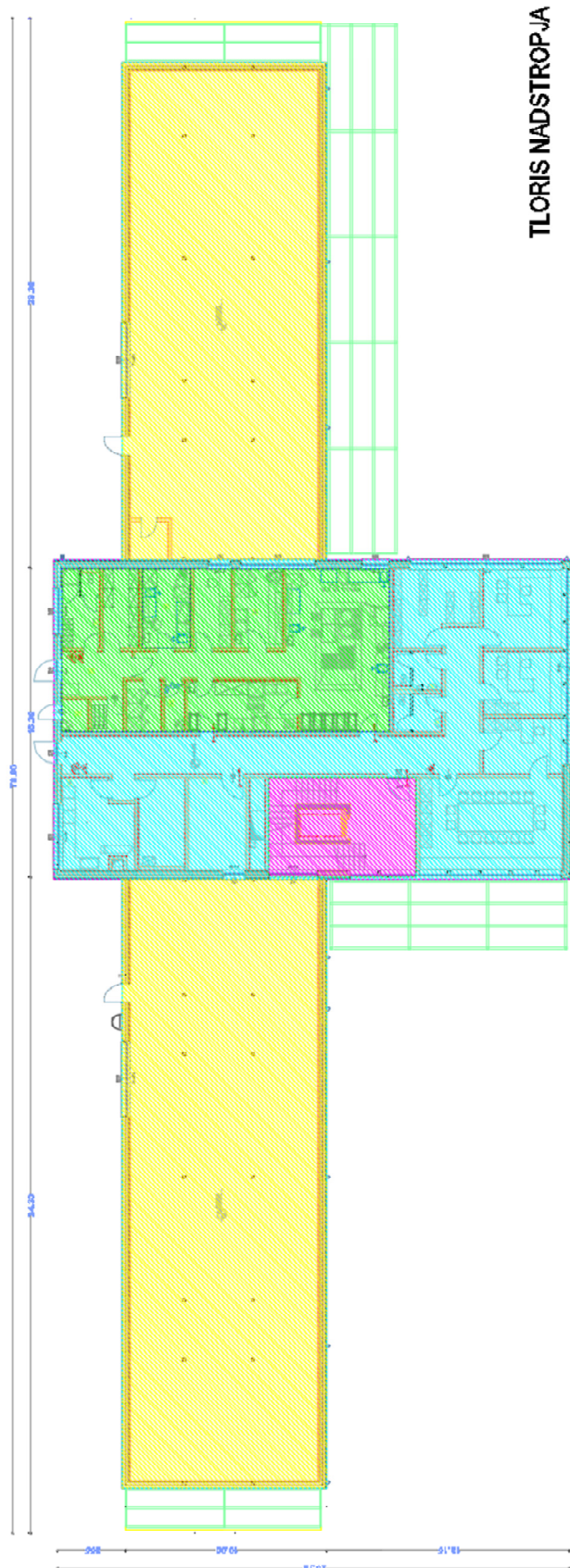
V pritličju so hodnik, igralnice in sanitarije. Podstrešje je delno izkoriščeno za skladišče.

#### Konstrukcijska zasnova

Objekt je zasnovan kot lesena montažna konstrukcija. Na severnem delu objekta je pritličje vkopano, zato so tu stene pritličja armiranobetonske. Objekt je postavljen na armiranobetonske pasovne temelje. Stenski sklopi so sestavljeni iz nosilnih stebričkov dimenzij 14/14 in 14/8 cm, obojestransko zaprtimi z OSB ploščami. Stropne sklope sestavljajo leseni stropniki dimenzij 8/16 cm, preko njih ladijski pod debeline 32 mm, s spodnje strani pa so OSB plošče debeline 1,8 cm. Plošča nad pritličjem v osrednjem delu, je izvedena iz križno lepljenih sedem slojnih lesenih plošč debeline 20 cm.



Slika 25 Tloris pritličja



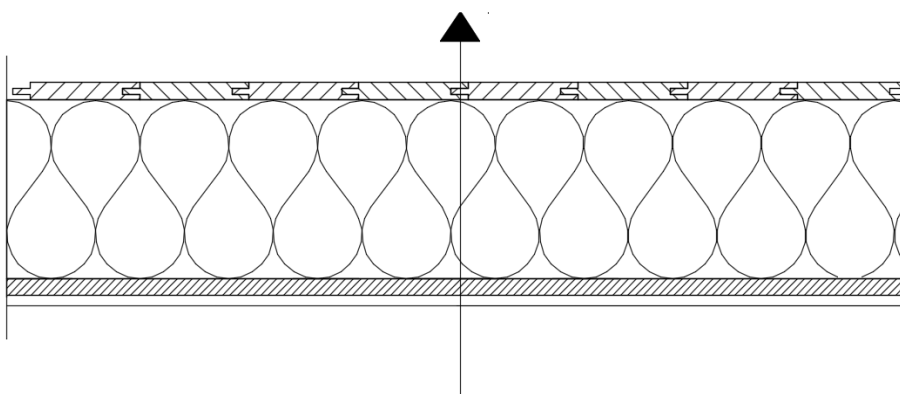
Slika 26 Tloris nadstropja



Slika 27 Vz dolžni in prečni prerez

### 5.1 Strop nad pritličjem stranskih delov

Leseni stropni sklop, sestavljen iz lesenih stropnikov in lesenih in mavčno kartonskih oblog (glej sliko28). Medprostorji so polno zapolnjeni s kameno volno, z gostoto  $30 \text{ kg/m}^3$ . Spoji poda (ladijski pod debeline 32 mm) so na pero in utor, z največjim razmakom 2 mm. Zahtevana požarna odpornost je EI30.



Slika 28 Stropni sklop stranskih delov

#### Sestava:

ladijski pod	3,2	cm	0,25	$\text{kN/m}^2$
stropniki - 80/160 mm, e = 41 cm			0,18	$\text{kN/m}^2$
toplotna izolacija	16	cm	0,08	$\text{kN/m}^2$
OSB plošče	1,8	cm	0,15	$\text{kN/m}^2$
parna zapora				
mavčno kartonske plošče	1,25	cm	0,24	$\text{kN/m}^2$
inštalacije			0,15	$\text{kN/m}^2$
skupaj stalna obtežba			g = 1,05	$\text{kN/m}^2$
koristna (podstrešje - delno izkoriščeno)			q = 2,00	$\text{kN/m}^2$

### 5.1.1 Ločevalna funkcija lesenega stropnega sklopa

Najprej preverimo ločevalno funkcijo lesenega stropnega sklopa, z uporabo izboljšane računske metode (metoda dodatnih slojev). Sklop je izpostavljen požaru s spodnje strani.

Zahtevan čas izolativnosti in celovitosti je  $t_{req} = 30 \text{ min}$  (EI30)

Izračun je izveden za toplotno pot preko izolacije in spoja ladijskega poda. Čas izolativnosti se izračuna za zadnji sloj na neizpostavljeni strani, medtem ko se za ostale sloje izračuna zaščitni čas.

#### Primer izračuna sklopa s kameno volno, z gostoto $30 \text{ kg/m}^3$

Zaščitni čas mavčno kartonske plošče Tipa A (sloj 1):  $h_1 = 12,5 \text{ mm}$

$$t_{prot,0,1} = 30 \cdot \left(\frac{h_1}{15}\right)^{1,2} = 30 \cdot \left(\frac{12,5}{15}\right)^{1,2} = 24,1 \text{ min}$$

$$k_{pos,exp,1} = 1,00 \quad (\text{nobenega sloja pred MK ploščo})$$

$$k_{pos,unexp,1} = 1,00 \quad (\text{OSB plošča za MK ploščo})$$

$$k_{j,1} = 1,00 \quad (\text{OSB plošča za MK ploščo})$$

$$t_{prot,1} = (t_{prot,0,1} \cdot k_{pos,exp,1} \cdot k_{pos,unexp,1} + \Delta t_1) \cdot k_{j,1} = (24,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 24,1 \text{ min}$$

Zaščitni čas OSB plošče (sloj 2):  $h_2 = 18 \text{ mm}$

$$t_{prot,0,2} = 23 \cdot \left(\frac{h_2}{20}\right)^{1,1} = 23 \cdot \left(\frac{18}{20}\right)^{1,1} = 20,5 \text{ min}$$

$$\sum_{i=1}^{i=1} t_{prot,i} > \frac{t_{prot,0,2}}{2} \rightarrow k_{pos,exp,2} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,2}}{\sum_{i=1}^{i=1} t_{prot,i}}} \Rightarrow 24,1 > \frac{20,5}{2} \rightarrow k_{pos,exp,2} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{20,5}{24,1}}$$

$$= 0,46$$

$$k_{pos,unexp,2} = 0,5 \cdot h_2^{0,15} = 0,5 \cdot 18^{0,15} = 0,77 \quad (\text{izolacija za OSB ploščo})$$

$$k_{j,2} = 1,00 \quad (\text{izolacija za OSB ploščo})$$

$$t_{prot,2} = (t_{prot,0,2} \cdot k_{pos,exp,2} \cdot k_{pos,unexp,2} + \Delta t_2) \cdot k_{j,2} = (20,5 \cdot 0,46 \cdot 0,77 + 0) \cdot 1,0 = 7,2 \text{ min}$$

Zaščitni čas kamene volne (sloj 3):  $h_3 = 160 \text{ mm}$

$$t_{prot,0,3} = 0,3 \cdot h_3^{0,75 \cdot \log(\rho_3) - \frac{\rho_3}{400}} = 0,3 \cdot 160^{0,75 \cdot \log(30) - \frac{30}{400}} = 56,7 \text{ min}$$

$$\sum_{i=1}^{i=2} t_{prot,i} > \frac{t_{prot,0,3}}{2} \rightarrow k_{pos,exp,3} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,3}}{\sum_{i=1}^{i=2} t_{prot,i}}} \Rightarrow 24,1 + 7,2 = 31,3 > \frac{56,7}{2} \rightarrow k_{pos,exp,3}$$

$$= 0,5 \cdot \sqrt{\frac{56,7}{31,3}} = 0,67$$

$$k_{pos,unexp,3} = 1,00 \quad (\text{lesene plošče za izolacijo})$$

$$k_{j,3} = 1,00 \quad (\text{lesene plošče za izolacijo})$$

$$t_{prot,3} = (t_{prot,0,3} \cdot k_{pos,exp,3} \cdot k_{pos,unexp,3} + \Delta t_3) \cdot k_{j,3} = (56,7 \cdot 0,67 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 38 \text{ min}$$

Izolacijski čas lesenega ladijskega poda (sloj 4, zadnji sloj):  $h_4 = 32 \text{ mm}$

$$t_{ins,0,4} = 19 \cdot \left(\frac{h_4}{20}\right)^{1,4} = 19 \cdot \left(\frac{32}{20}\right)^{1,4} = 36,7 \text{ min}$$

$$\sum_{i=1}^{i=3} t_{prot,i} > \frac{t_{prot,0,4}}{2} \rightarrow k_{pos,exp,4} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{ins,0,4}}{\sum_{i=1}^{i=3} t_{prot,i}}} \Rightarrow 24,1 + 7,2 + 38 = 69,3 > \frac{36,7}{2}$$

$$\rightarrow k_{pos,exp,4} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{36,7}{69,3}} = 0,36$$

$$k_{j,4} = 0,4 \quad (\text{lesene plošče na pero in utor})$$

$$t_{ins,4} = (t_{ins,0,4} \cdot k_{pos,exp,4} + \Delta t_4) \cdot k_{j,4} = (36,7 \cdot 0,36 + 0) \cdot 0,4 = 5,3 \text{ min}$$

Izolacijski čas  $t_{ins}$  (požarna odpornost EI) lesenega stropnega sklopa:

$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=3} t_{prot,i} + t_{ins,4} = t_{prot,1} + t_{prot,2} + t_{prot,3} + t_{ins,4} = 24,1 + 7,2 + 38 + 5,3$$

$$= 74,6 \text{ min} > t_{req} = 30 \text{ min}$$

### Primer izračuna sklopa s stekleno volno, z gostoto $20 \text{ kg/m}^3$

Zaščitni čas mavčno kartonske plošče Tipa A (sloj 1):  $h_1 = 12,5 \text{ mm}$ ,  $t_{prot,1} = 24,1 \text{ min}$

Zaščitni čas OSB plošče (sloj 2):  $h_2 = 18 \text{ mm}$ ,  $t_{prot,2} = 7,2 \text{ min}$

Zaščitni čas steklene volne (sloj 3):  $h_3 = 160 \text{ mm}$

$$t_{prot,0,3} = (0,0007 \cdot \rho_3 + 0,046) \cdot h_3 + 13 = (0,0007 \cdot 20 + 0,046) \cdot 160 + 13 = 22,6 \text{ min}$$



$$\sum_{i=1}^{i=2} t_{prot,i} > \frac{t_{prot,0,3}}{4} \rightarrow k_{pos,exp,3} = (0,001 \cdot \rho_3 + 0,27) \cdot \left[ \frac{t_{prot,0,3}}{\sum_{i=1}^{i=2} t_{prot,i}} \right]^{(0,75-0,002 \cdot \rho_3)} \Rightarrow 24,1 + 7,2$$

$$= 31,3 > \frac{22,6}{4} \rightarrow k_{pos,exp,3} = (0,001 \cdot 20 + 0,27) \cdot \left[ \frac{22,6}{31,3} \right]^{(0,75-0,002 \cdot 20)} = 0,23$$

$$k_{pos,unexp,3} = 1,00 \quad (\text{lesene plošče za izolacijo})$$

$$k_{j,3} = 1,00 \quad (\text{lesene plošče za izolacijo})$$

$$t_{prot,3} = (t_{prot,0,3} \cdot k_{pos,exp,3} \cdot k_{pos,unexp,3} + \Delta t_3) \cdot k_{j,3} = (22,6 \cdot 0,23 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 5,2 \text{ min}$$

Izolacijski čas lesenega ladijskega poda (sloj 4, zadnji sloj):  $h_4 = 32 \text{ mm}$

$$t_{ins,0,4} = 19 \cdot \left( \frac{h_4}{20} \right)^{1,4} = 19 \cdot \left( \frac{32}{20} \right)^{1,4} = 36,7 \text{ min}$$

$$\sum_{i=1}^{i=3} t_{prot,i} > \frac{t_{prot,0,4}}{2} \rightarrow k_{pos,exp,4} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{ins,0,4}}{\sum_{i=1}^{i=3} t_{prot,i}}} \Rightarrow 24,1 + 7,2 + 5,2 = 36,5 > \frac{36,7}{2}$$

$$\rightarrow k_{pos,exp,4} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{36,7}{36,5}} = 0,5$$

$$k_{j,4} = 0,4 \quad (\text{lesene plošče na pero in utor})$$

$$t_{ins,4} = (t_{ins,0,4} \cdot k_{pos,exp,4} + \Delta t_4) \cdot k_{j,4} = (36,7 \cdot 0,5 + 0) \cdot 0,4 = 7,3 \text{ min}$$

Izolacijski čas  $t_{ins}$  (požarna odpornost EI) lesenega stropnega sklopa:

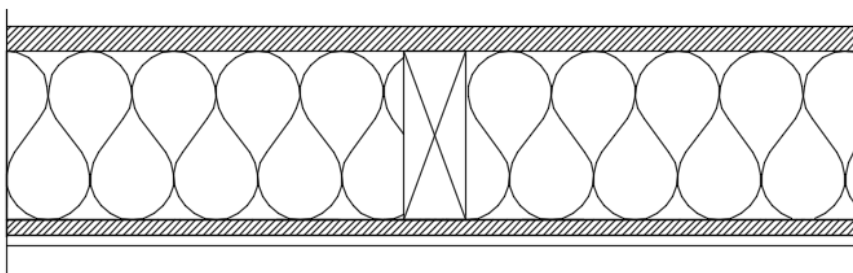
$$t_{ins} = \sum_{i=1}^{i=3} t_{prot,i} + t_{ins,4} = t_{prot,1} + t_{prot,2} + t_{prot,3} + t_{ins,4} = 24,1 + 7,2 + 5,2 + 7,3$$

$$= 43,8 \text{ min} > t_{req} = 30 \text{ min}$$

Vidimo, da je pri lesenih panelih kamena volna bolj primerna za uporabo, v smislu ločevalne funkcije pri požaru, kot pa steklena.

### 5.1.2 Izračun začetka oglečenja lesenega stropnika v panelnem stropnem sklopu

Sklop je izpostavljen požaru s spodnje strani.



Slika 29 Stropni sklop stranskih delov – leseni stropnik

Za sklop s sestavo po točki 5.1, za katerega smo že preverili izolativnost, določimo še začetek oglečenja lesenega stropnika.

#### Izračun po standardu SIST EN 1995-1-2

Čas odpada obloge (mavčno kartonske plošče Tipa A,  $h_p = 12,5 \text{ mm}$ ),  $t_f$ , je podan z enačbo 3.15 (SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4.3.4 (3)). Čas  $t_f$  je lahko podan tudi s strani proizvajalca mavčno kartonskih plošč.

$$t_f = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 12,5 - 14 = 21 \text{ min}$$

Lastnosti OSB plošč:  $\rho_k = 550 \text{ N/mm}^2$ ,  $h_p = 18 \text{ mm}$

Začetek oglečenja OSB plošče, se prične po odpadu mavčno kartonske plošče.

Hitrost oglečenja nezaščitene OSB plošče  $\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$  (tabela 3.1 – SIST EN 1995-1-2)

Spodaj so uporabljene enačbe 3.4, 3.5, 3.6 (SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4.2 (8)):

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_\rho \cdot k_t = \beta_0 \cdot \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \cdot \sqrt{\frac{20}{h_p}} = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{450}{550}} \cdot \sqrt{\frac{20}{18}} = 0,86 \text{ mm/min}$$

Izolacijski faktor  $k_2$  izračunamo po enačbi 3.7 (SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4.3.2 (3)):

$$k_2 = 1 - 0,018 \cdot h_p = 1 - 0,018 \cdot 18 = 0,67$$

$$\beta_{OSB} = k_2 \cdot \beta_{0,\rho,t} = 0,67 \cdot 0,86 = 0,58 \text{ mm/min}$$

Čas začetka oglečenja lesenega stropnika znaša:

$$t_{ch} = t_{ch,OSB} + \frac{h_{OSB}}{\beta_{OSB}} = 21 + \frac{18}{0,58} = 52 \text{ min}$$

**Izračun po metodi dodatnih slojev (poglavje 3)**

zaščitni čas MK plošče Tipa A (sloj 1):

$$t_{prot,0,1} = 30 \cdot \left(\frac{h_1}{15}\right)^{1,2} = 30 \cdot \left(\frac{12,5}{15}\right)^{1,2} = 24,1 \text{ min}$$

$$k_{pos,exp,1} = 1,00 \quad (\text{nobenega sloja pred MK ploščo})$$

$$k_{pos,unexp,1} = 1,00 \quad (\text{OSB plošča za MK ploščo Tipa A})$$

$$k_{j,1} = 1,00 \quad (\text{OSB plošča za MK ploščo Tipa A})$$

$$\Delta t_1 = 0 \quad (\text{nobenega sloja pred MK ploščo})$$

$$t_{prot,1} = (t_{prot,0,1} \cdot k_{pos,exp,1} \cdot k_{pos,unexp,1} + \Delta t_1) \cdot k_{j,1} = (24,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 24,1 \text{ min}$$

Zaščitni čas OSB plošče (sloj 2):

$$t_{prot,0,2} = 23 \cdot \left(\frac{h_2}{20}\right)^{1,1} = 23 \cdot \left(\frac{18}{20}\right)^{1,1} = 20,5 \text{ min}$$

$$k_{pos,exp,2} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,2}}{t_{prot,1}}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{20,5}{24,1}} = 0,46 \quad (\text{ker je } t_{prot,1} > \frac{t_{prot,0,2}}{2} = \frac{20,5}{2} = 10,25)$$

$$k_{pos,unexp,2} = 1,0 \quad (\text{lesen stebriček za OSB ploščo})$$

$$k_{j,2} = 1,00 \quad (\text{lesen stebriček za OSB ploščo})$$

$$t_{prot,2} = (t_{prot,0,2} \cdot k_{pos,exp,2} \cdot k_{pos,unexp,2} + \Delta t_2) \cdot k_{j,2} = (20,5 \cdot 0,46 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 9,4 \text{ min}$$

Čas začetka oglenenja lesenega stropnika znaša:

$$t_{ch} = t_{prot,1} + t_{prot,2} = 24,1 + 9,4 = 33,5 \text{ min}$$

Stropni sklop zadostuje vsaj kriteriju R30, saj je začetek oglenenja stropnika večji kot zahtevani čas odpornosti  $t_{req} = 30 \text{ min}$ .

**Izračun globine zoglenelosti stropnikov za požarno odpornost R40 ( $t_{req} = 40 \text{ min}$ )**

Začetek oglenenja stropnikov je enak času odpadu oblog:

$$t_{ch} = t_f = t_{prot,1} + t_{prot,2} = 24,1 + 9,4 = 33,5 \text{ min}$$

Nazivna hitrost oglenenja je podana kot:

$$\beta_n = \beta_0 \cdot k_s \cdot k_n \cdot k_p = 0,65 \cdot 1,06 \cdot 1,25 \cdot 2,2 = 1,9 \text{ mm/min}$$

Kjer so:

$$k_s = 0,00023 \cdot b^2 - 0,045 \cdot b + 3,19 = 1,06,$$

$$k_n = 1,25,$$

$$k_p = k_3 = 0,036 \cdot t_f + 1 = 0,036 \cdot 33,5 + 1 = 2,2,$$

$$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min.}$$

Nazivna globina zoglanelosti, pri  $t_{fi} = 40 \text{ min}$ , je:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot (t_{fi} - t_f) = 1,9 \cdot (40 - 33,5) = 12,35 \text{ mm}$$

### Določitev projektne upogibne odpornosti, po metodi po SIST EN 1995-1-2, dodatek C

Odpornostni moment nezoglenelega prečnega prereza je:

$$W_r = \frac{b \cdot (h - d_{char,n})^2}{6} = \frac{80 \cdot (160 - 12,35)^2}{6} = 290673 \text{ mm}^3$$

Projektna upogibna trdnost pri požarnem projektnejem stanju je:

$$f_{m,d,fi} = k_{mod,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,61 \cdot 1,25 \cdot \frac{24}{1,00} = 18,3 \text{ N/mm}^2$$

Kjer so:

$$k_{mod,fm,fi} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h} = 0,70 - 1,11 \cdot \frac{12,35}{160} = 0,61$$

$a_0 = 0,70$ ,  $a_1 = 1,11$  (glej tabelo C.1, SIST EN 1995-1-2, dodatek C)

$$f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$$

$k_{fi} = 1,25$  (glej tabelo 2.1, SIST EN 1995-1-2)

$$\gamma_{M,fi} = 1,00$$

Projektna upogibna odpornost prečnega prereza stropnika je:

$$M_{d,fi} = W_r \cdot f_{m,d,fi} = 290673 \cdot 18,3 = 5319315 \text{ Nmm} = 5,32 \text{ kNm}$$

### Določitev projektne upogibne odpornosti, po metodi zmanjšanega prečnega prereza

Efektivna globina zoglanelosti je:

$$d_{ef} = d_{char,n} + d_0 = 12,35 + 29,5 = 41,8 \text{ mm}$$

Kjer je:

$$d_0 = 13,5 + 0,1 \cdot h = 13,5 + 0,1 \cdot 160 = 29,5 \text{ mm}$$

Odpornostni moment efektivnega prečnega prereza znaša:

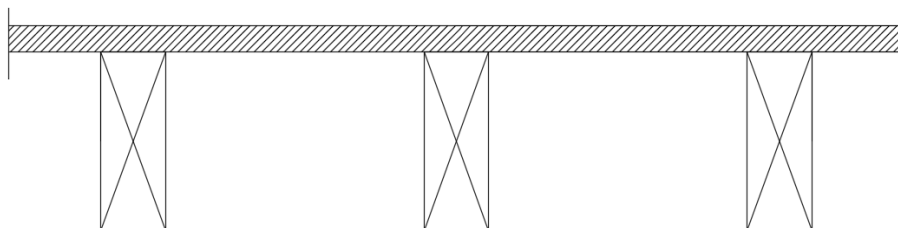
$$W_{ef} = \frac{b \cdot (h - d_{ef})^2}{6} = \frac{80 \cdot (160 - 41,8)^2}{6} = 186283 \text{ mm}^3$$

Projektna upogibna odpornost prečnega prereza stropnika je:

$$M_{d,fi} = W_{ef} \cdot f_{m,k} \cdot \frac{k_{fi}}{\gamma_{M,fi}} = 186283 \cdot 24 \cdot \frac{1,25}{1,00} = 5588490 \text{ Nmm} = 5,59 \text{ kNm}$$

## 5.2 Primer stropa z vidnimi stropniki

### Strop izpostavljen požaru s spodnje strani.



Slika 30 Strop z vidnimi lesenimi stropniki

V primeru, da bi imeli strop z vidnimi stropniki, bi za lesen stropnik določili efektivno globino zoglenelosti po enačbi:

$$d_{ef} = \beta_n \cdot t + \frac{t}{20} \cdot d_0 = 0,8 \cdot 30 + \frac{30}{20} \cdot 7 = 24 + 10,5 = 34,5 \text{ mm}$$

Za debelino nenosilnega sloja vzamemo  $d_0 = 7 \text{ mm}$ .

Stropnik je izpostavljen požaru s treh strani.

Odpornostni moment efektivnega prečnega prereza je:

$$W_{ef} = \frac{(b - 2 \cdot d_{ef}) \cdot (h - d_{ef})^2}{6} = \frac{(80 - 2 \cdot 34,5) \cdot (160 - 34,5)^2}{6} = 28875 \text{ mm}^3$$

Projektna upogibna odpornost je:

$$M_{d,fi} = \frac{f_{m,k} \cdot k_{fi} \cdot W_{ef}}{\gamma_{M,fi}} = \frac{24 \cdot 1,25 \cdot 28875}{1} = 866250 \text{ Nmm} = 0,87 \text{ kNm}$$

Če bi izbrali vidne stropnike, bi morali povečati prečni prerez le teh, saj po 30 min požaru ostane prerez nosilnega dela stropnika le 11/125,5 mm.

### Strop izpostavljen požaru z zgornje strani

Stropniki so zaščiteni z lesenim ladijskim podom. Ker se na stikih vedno pojavijo razmaki, je potrebno upoštevati povečano oglenenje. Uporabimo nazivno stopnjo oglenenja, raje kot eno dimenzionalno vrednost. Globina zoglenelosti lesenega ladijskega poda (enojni stik na pero in utor), po času  $t = 30 \text{ min}$  je:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ mm}$$

Preverba zaščitnega časa se lahko izvede:

$$t_{prot,0,1} = 30 \cdot \left(\frac{h_1}{20}\right)^{1,1} = 30 \cdot \left(\frac{32}{20}\right)^{1,1} = 50,3 \text{ min} > \frac{h_i}{\beta_0} = \frac{32}{0,65} = 49,2 \text{ mm}$$

$$k_{pos,exp,1} = 1,00$$

$$k_{pos,unexp,1} = 1,00$$

$$k_{j,1} = 1,00$$

$$t_{ch} = t_{prot,1} = 49,2 \text{ min}$$

Preverba izolacijskega časa EI30:

$$t_{ins,0,1} = 19 \cdot \left(\frac{h_1}{20}\right)^{1,4} = 19 \cdot \left(\frac{32}{20}\right)^{1,4} = 36,7 \text{ min}$$

$$k_{pos,exp,1} = 1,00$$

$$k_{pos,unexp,1} = 1,00$$

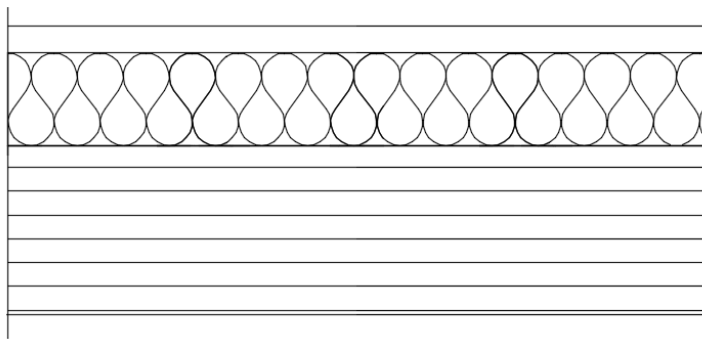
$$k_{j,1} = 0,4$$

$$t_{ins,1} = t_{ins,0,1} \cdot k_{pos,exp,1} \cdot k_{pos,unexp,1} \cdot k_{j,1} = 36,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,4 = 14,7 \text{ min}$$

Po času 30 min ne pride do oglenjenja stropnikov ( $t_{prot,0,1} = 49,2 \text{ min}$ ). Lahko se pojavi povečanje temperature v stropniku, kar pa se lahko zanemari. Izolacijska funkcija lesenega poda pa ni zadoščena za EI30, ta znaša  $t_{ins,1} = 14,7 \text{ min}$ .

### 5.3 Strop nad pritličjem srednjega dela

Leseni stropni sklop, sestavljen iz križno lepljenih lesenih plošče in mavčno kartonskih oblog (glej sliko 31). Zahtevana požarna odpornost je REI 60. Mavčno kartonskega spuščenega stropa ne upoštevamo, ker so v medprostoru napeljane inštalacije.



Slika 31 Stropni sklop nad pritličjem srednjega dela

#### Sestava:

parket	2	cm	0,10	kN/m <sup>2</sup>
cementni estrih	6	cm	1,32	kN/m <sup>2</sup>
pe folija				
toplotna izolacija	6	cm	0,03	kN/m <sup>2</sup>
križno lepljena plošča	20	cm	1,20	kN/m <sup>2</sup>
inštalacije			0,15	kN/m <sup>2</sup>
spuščen strop	1,25	cm	0,10	kN/m <sup>2</sup>
skupaj stalna obtežba			g =	2,90 kN/m <sup>2</sup>
predelne stene				1,00 kN/m <sup>2</sup>
koristna (pisarne, hodnik)				3,00 kN/m <sup>2</sup>
skupaj koristna obtežba			q =	4,00 kN/m <sup>2</sup>

### 5.3.1 Določitev globine zoglenelosti in efektivne višine nezaščitene križno lepljene lesene plošče

Nezaščitena križno lepljena lesena plošča, sestavljena iz sedmih slojev debeline 28 mm, je izpostavljena požaru z ene strani. Med deskami ni razmikov. Določiti je potrebno efektivno višino plošče za požarno odpornost REI 60.

sloj7
sloj6
sloj5
sloj4
sloj3
sloj2
sloj1

Slika 32 Križno lepljena lesena plošča iz sedemih slojev

#### Račun za primer, ko zogleneli sloj ne odpade

Lepilo uporabljeno za spajanje slojev je požarno odporno.

Globina zoglenelosti po 60 min:  $d_{char} = \beta_0 \cdot t_{req} = 0,65 \cdot 60 = 39 \text{ mm}$

Kompenzacijski sloj (za požaru izpostavljeno stran v nategu, preglednica 12)

$s_0 = 10 \text{ mm}$ , Za  $h > 175 \text{ mm}$

Efektivna višina:  $h_{ef} = h - d_{char} - s_0 = 196 - 39 - 10 = 147 \text{ mm}$

Ker efektivna globina zajame tudi del nenosilnega sloja št. 2, je efektivni prečni prerez sestavljen le iz petih slojev CLT plošče (sloji 3 do 7).

$h_{ef} = 5 \cdot 28 = 140 \text{ mm}$

#### Račun za primer, ko zogleneli sloj odpade

Čas odpovedi sloja 1 je enak času začetka oglenenja sloja 2:

$$t_{ch} = t_{f1} = \frac{h_1}{\beta_0} = \frac{28}{0,65} = 43 \text{ min}$$

Globina zoglenelosti po 60 min:

$d_{char} = h_1 + (t_{req} - t_f) \cdot \beta_0 \cdot k_3 = 28 + (60 - 43) \cdot 0,65 \cdot 2 = 50,1 \text{ mm}$

Kompenzacijski sloj enako kot zgoraj:  $s_0 = 10 \text{ mm}$

Efektivna višina:  $h_{ef} = h - d_{char} - s_0 = 196 - 50 - 10 = 136 \text{ mm}$



### 5.3.2 Določitev globine zогlenelosti in efektivne višine zaščitene križno lepljene lesene plošče

Enaka križno lepljena lesena plošča kot zgoraj, je zaščitena z 12,5 mm debelo mavčno kartonsko ploščo tipa F. Določiti je potrebno efektivno višino plošče za požarno odpornost REI 60. Zaščitni čas mavčno kartonske plošče tipa F je podan od proizvajalca in znaša  $t_f = 45$  min.

#### Račun za primer, ko zогleneli sloj ne odpade

Lepilo uporabljeno za spajanje slojev je požarno odporno.

$$\text{Začetek oglemenja: } t_{ch} = 2,8 \cdot h_p - 14 = 2,8 \cdot 12,5 - 14 = 21 \text{ min}$$

Zaščitni faktorji po standardu SIST EN 1995-1-2:

$$\text{Zaščitni faktor pred odpadom obloge } k_2 = 1 - 0,018 \cdot h_p = 1 - 0,018 \cdot 12,5 = 0,775$$

$$\text{Zaščitni faktor po odpadu obloge } k_3 = 2$$

$$\text{Limitni čas } t_a = \frac{25 - (t_f - t_{ch}) \cdot k_2 \cdot \beta_0}{k_3 \cdot \beta_0} + t_f = \frac{25 - (45 - 21) \cdot 0,775 \cdot 0,65}{2 \cdot 0,65} + 45 = 54,9 \text{ min}$$

Globina zогlenelosti po 60 min:

$$d_{char} = 25 + (t_{req} - t_a) \cdot \beta_0 = 25 + (60 - 54,9) \cdot 0,65 = 28,3 \text{ mm}$$

Kompenzacijski sloj (za požaru izpostavljeno stran v nategu, glej preglednico 12)

$$s_0 = 10 \text{ mm, za } h > 175 \text{ mm}$$

$$\text{Efektivna višina: } h_{ef} = h - d_{char} - s_0 = 196 - 28,3 - 10 = 157,7 \text{ mm}$$

Ker efektivna višina zajame tudi del nenosilnega sloja št. 2, je efektivni prečni prerez sestavljen le iz petih slojev križno lepljene lesene plošče (sloji 3 do 7).

$$h_{ef} = 5 \cdot 28 = 140 \text{ mm}$$

#### Račun za primer, ko zогleneli sloj odpade

globina zогlenelosti ob času odpada obloge ( $t_f = 45$  min)

$$d_{char,f} = (t_f + t_{ch}) \cdot \beta_0 \cdot k_2 = (45 + 21) \cdot 0,65 \cdot 0,775 = 12,1 \text{ mm}$$

Ker zогleneli sloj odpade od CLT plošče, predno doseže globina zогlenelosti 25 mm, ne obstaja vrednost  $t_a$ , oz. oglemenje se nadaljuje po stopnji  $k_3 \cdot \beta_0$ .

Globina zогlenelosti po 60 min:

$$d_{char} = d_{char,f} + (t_{req} - t_a) \cdot k_3 \cdot \beta_0 = 12,1 + (60 - 45) \cdot 2 \cdot 0,65 = 31,6 \text{ mm}$$

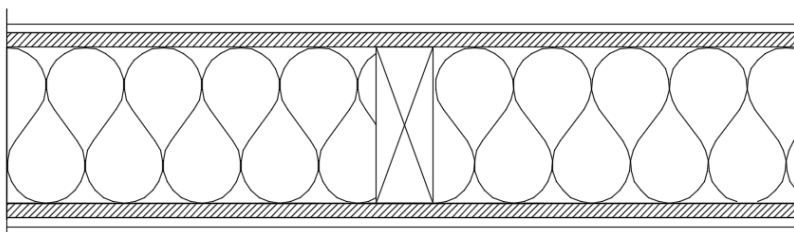
Kompenzacijski sloj (za požaru izpostavljeno stran v nategu, glej preglednico 12)

$$s_0 = 10 \text{ mm, za } h > 175 \text{ mm}$$

$$\text{Efektivna višina: } h_{ef} = h - d_{char} - s_0 = 196 - 31,6 - 10 = 154,4 \text{ mm}$$

#### 5.4 Stene med požarnimi sektorji

Stenski panelni sklop, skupne višine 3.00 m, je sestavljen iz nosilnih stebričkov dimenzije 80 x 160 mm. Stebrički so iz smrekovega lesa kvalitete C24. Medprostorji so polno zapolnjeni s kameno volno. Na obeh straneh so stene zaprte z OSB ploščo debeline 18 mm in pa z mavčno kartonsko ploščo debeline 12,5 mm. Določili smo projektno osno tlačno odpornost, za požarno odpornost REI 60.



Slika 33 Stenski panelni sklop

#### Izračun po standardu SIST EN 1995-1-2

Čas odpada obloge (mavčno kartonske plošče Tipa A,  $h_p = 12,5 \text{ mm}$ ),  $t_f$ , je podan z enačbo 3.15 (SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4.3.4 (3)). Čas  $t_f$  je lahko podan tudi s strani proizvajalca mavčno kartonskih plošč.

$$t_f = 2,8 \cdot h_p - 4 = 2,8 \cdot 12,5 - 4 = 31 \text{ min}$$

Lastnosti OSB plošč:  $\rho_k = 550 \text{ N/mm}^2$ ,  $h_p = 18 \text{ mm}$

Začetek oglečenja OSB plošče, se prične po odpadu mavčno kartonske plošče.

Hitrost oglečenja nezaščitene OSB plošče  $\beta_0 = 0,9 \text{ mm/min}$  (tabela 3.1 – SIST EN 1995-1-2)

Spodaj so uporabljene enačbe 3.4, 3.5, 3.6 (SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4.2 (8)):

$$\beta_{0,\rho,t} = \beta_0 \cdot k_\rho \cdot k_t = \beta_0 \cdot \sqrt{\frac{450}{\rho_k}} \cdot \sqrt{\frac{20}{h_p}} = 0,9 \cdot \sqrt{\frac{450}{550}} \cdot \sqrt{\frac{20}{18}} = 0,86 \text{ mm/min}$$

Izolacijski faktor  $k_2$  izračunamo po enačbi 3.7 (SIST EN 1995-1-2, poglavje 3.4.3.2 (3)):

$$k_2 = 1 - 0,018 \cdot h_p = 1 - 0,018 \cdot 18 = 0,67$$

$$\beta_{OSB} = k_2 \cdot \beta_{0,\rho,t} = 0,67 \cdot 0,86 = 0,58 \text{ mm/min}$$

Čas začetka oglečenja lesenega stebrička je:

$$t_{ch} = t_{ch,OSB} + \frac{h_{OSB}}{\beta_{OSB}} = 31 + \frac{18}{0,58} = 62 \text{ min}$$

**Izračun po metodi dodatnih slojev (poglavje 3)**

Zaščitni čas MK plošče Tipa A (sloj 1):

$$t_{prot,0,1} = 30 \cdot \left(\frac{h_1}{15}\right)^{1,2} = 30 \cdot \left(\frac{12,5}{15}\right)^{1,2} = 24,1 \text{ min}$$

$$k_{pos,exp,1} = 1,00 \quad (\text{nobenega sloja pred MK ploščo})$$

$$k_{pos,unexp,1} = 1,00 \quad (\text{OSB plošča za MK ploščo Tipa A})$$

$$k_{j,1} = 1,00 \quad (\text{OSB plošča za MK ploščo Tipa A})$$

$$\Delta t_1 = 0 \quad (\text{nobenega sloja pred MK ploščo})$$

$$t_{prot,1} = (t_{prot,0,1} \cdot k_{pos,exp,1} \cdot k_{pos,unexp,1} + \Delta t_1) \cdot k_{j,1} = (24,1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 24,1 \text{ min}$$

Zaščitni čas OSB plošče (sloj 2):

$$t_{prot,0,2} = 23 \cdot \left(\frac{h_2}{20}\right)^{1,1} = 23 \cdot \left(\frac{18}{20}\right)^{1,1} = 20,5 \text{ min}$$

$$k_{pos,exp,2} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{t_{prot,0,2}}{t_{prot,1}}} = 0,5 \cdot \sqrt{\frac{20,5}{24,1}} = 0,46 \quad (\text{ker je } t_{prot,1} > \frac{t_{prot,0,2}}{2} = \frac{20,5}{2} = 10,25)$$

$$k_{pos,unexp,2} = 1,0 \quad (\text{lesen stebriček za OSB ploščo})$$

$$k_{j,2} = 1,00 \quad (\text{lesen stebriček za OSB ploščo})$$

$$t_{prot,2} = (t_{prot,0,2} \cdot k_{pos,exp,2} \cdot k_{pos,unexp,2} + \Delta t_2) \cdot k_{j,2} = (20,5 \cdot 0,46 \cdot 1,0 + 0) \cdot 1,0 = 9,4 \text{ min}$$

Čas začetka oglenenja lesenega stebrička je:

$$t_{ch} = t_{prot,1} + t_{prot,2} = 24,1 + 9,4 = 33,5 \text{ min}$$

Nazivna hitrost oglenenja je podana kot:

$$\beta_n = \beta_0 \cdot k_s \cdot k_n \cdot k_p = 0,65 \cdot 1,06 \cdot 1,25 \cdot 2,2 = 1,9 \text{ mm/min}$$

Kjer so:

$$k_s = 0,00023 \cdot b^2 - 0,045 \cdot b + 3,19 = 1,06$$

$$k_n = 1,25$$

$$k_p = k_3 = 0,036 \cdot t_f + 1 = 0,036 \cdot 33,5 + 1 = 2,2$$

$$\beta_0 = 0,65 \text{ mm/min}$$

Nazivna globina zoglanelosti, pri  $t_{fi} = 60 \text{ min}$ , je:

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot (t_{fi} - t_f) = 1,9 \cdot (60 - 33,5) = 50,35 \text{ mm}$$

Dimenzije preostalega prečnega prereza so:

$$b_r = 80 \text{ mm}$$

$$h_r = 160 - 50,35 = 109,65 \text{ mm}$$

### Izračun projektne osne tlačne odpornosti po SIST EN 1995-1-2, dodatek C

$$a_0 = 0,58$$

$$a_1 = 0,45$$

$$b_0 = 0,62$$

$$b_1 = 0,89$$

Modifikacijska faktorja sta:

$$k_{mod,fc,fi} = a_0 - a_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h} = 0,58 - 0,45 \cdot \frac{50,35}{160} = 0,44$$

$$k_{mod,E,fi} = b_0 - b_1 \cdot \frac{d_{char,n}}{h} = 0,62 - 0,89 \cdot \frac{50,35}{160} = 0,34$$

Računski vrednosti tlačne trdnosti in modula elastičnosti sta:

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,fc,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 0,44 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,00} = 11,55 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{d,fi} = k_{mod,E,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{E_{0,05}}{\gamma_{M,fi}} = 0,34 \cdot 1,25 \cdot \frac{7400}{1,00} = 3145 \text{ N/mm}^2$$

Po standardu SIST EN 1995-1-1, izrazi (6.21) do (6.29), je:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i} = \frac{l_y \cdot \sqrt{12}}{h_r} = \frac{3000 \cdot \sqrt{12}}{109,65} = 94,8$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_{mod,fc,fi} \cdot f_{c,0,k}}{k_{mod,E,fi} \cdot E_{0,05}}} = \frac{94,8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{0,44 \cdot 21}{0,34 \cdot 7400}} = 1,83$$

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,83 - 0,3) + 1,83^2) = 2,33$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{2,33 + \sqrt{2,33^2 - 1,83^2}} = 0,265$$

Projektna osna tlačna odpornost je:

$$N_{d,fi} = A_r \cdot k_{c,y} \cdot f_{c,d,fi} = 80 \cdot 109,65 \cdot 0,265 \cdot 11,55 = 26848 \text{ N} = 26,8 \text{ kN}$$

**Izračun projektne osne tlačne odpornosti po metodi zmanjšanega prečnega prereza**

Efektivna globina zoglenelosti je:

$$d_0 = 13,5 + 0,1 \cdot h = 13,5 + 0,1 \cdot 160 = 29,5 \text{ mm}$$

$$d_{ef} = d_{char,n} + d_0 = 50,35 + 29,5 = 79,85 \text{ mm}$$

Efektivna višina stebrička je:

$$h_{r,ef} = 160 - 79,85 = 80,15 \text{ mm}$$

Tlačna trdnost, je z upoštevanjem  $k_{mod,fc,fi} = 1,00$ :

$$f_{c,d,fi} = k_{mod,fc,fi} \cdot k_{fi} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_{M,fi}} = 1,00 \cdot 1,25 \cdot \frac{21}{1,00} = 26,25 \text{ N/mm}^2$$

Po standardu SIST EN 1995-1-1, izrazi (6.21) do (6.29), je:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i} = \frac{l_y \cdot \sqrt{12}}{h_r} = \frac{3000 \cdot \sqrt{12}}{80,15} = 129,66$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{k_{mod,fc,fi} \cdot f_{c,0,k}}{k_{mod,E,fi} \cdot E_{0,05}}} = \frac{129,66}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{1,00 \cdot 21}{1,00 \cdot 7400}} = 2,19$$

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (2,19 - 0,3) + 2,19^2) = 3,08$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{3,08 + \sqrt{3,08^2 - 2,19^2}} = 0,191$$

Projektna osna tlačna odpornost je:

$$N_{d,fi} = A_r \cdot k_{c,y} \cdot f_{c,d,fi} = 80 \cdot 80,15 \cdot 0,191 \cdot 26,25 = 32148 \text{ N} = 32,1 \text{ kN}$$

## 6 ZAKLJUČEK

S poznavanjem obnašanja lesenih konstrukcijskih elementov in sklopov, lahko za inženirsko projektiranje, dovolj dobro predvidimo njihovo obnašanje v požaru. Izračunamo čas nosilnosti in izolativnosti, kar nam omogoča, da lahko že pri projektiranju določimo zaščitne ukrepe, ki izboljšajo lastnosti lesenega elementa. Najpogostejši in najcenejši ukrep pri samostojnih lesenih elementih, je povečanje dimenzij prereza. S tem lahko ohranimo vidnost lesenega elementa (vidni stropniki, stebri) in se izognemo oblaganju z npr. mavčno kartonskimi ploščami. Pri sklopih (stenskih, stropnih), pa lahko požarno varnost izboljšamo s pravilno izbiro obložnih plošč (požarne mavčne plošče) in pa izolacijo, ki zapolnjuje medprostore. S pravilnim pristopom pri projektiranju, lahko zagotovimo kakovostno leseno gradnjo in s tem tudi zmanjšamo predsodke o požarni nevarnosti lesene gradnje.

## **VIRI**

- [1] SIST EN 1995-1-2:2005. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - 1-2. del: Splošna pravila - Projektiranje požarnovarnih konstrukcij
- [2] SP Technical Research Institute of Sweden, 2010. Fire safety in timber buildings - Technical guideline for Europe
- [3] European Standard, CEN, Brussels:2006. EN 300: Oriented Strand Boards (OSB). Definitions, classification and specifications
- [4] European Standard, CEN, Brussels:2004. EN 520: Gypsum plasterboards - Definitions, requirements and test methods
- [5] Premrov, M., Boršič, B., 2002. Požarne poškodbe lesenih konstrukcij, Požar 3/02
- [6] Frangi A, Erchinger C., 2007. Design of timber frame floor assemblies in fire. CIB W18, Meeting 40, Bled, Slovakia. Lehrstuhl für Ingenieurholzbau, University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany.
- [7] Frangi A, Erchinger C, Fontana M., 2008. Charring model for timber frame floor assemblies with void cavities. Fire Safety Journal 43, str. 551–564.
- [8] Proding d.o.o, 2011. Projekt: Gradnja vrtca Preddvor, Načrt gradbenih konstrukcij