



Simon Grum <sup>a\*</sup>, Klemen Klemenak <sup>b</sup>, Dominik Gerdej <sup>a</sup>

## Požarna odpornost nosilne stene iz križno lepljenih lesenih plošč

<sup>a</sup> Zavod za gradbeništvo Slovenije

<sup>b</sup> Stora Enso Oyj

### Ključne besede:

požarna odpornost nosilne stene  
požarni preskus  
križno lepljena lesena plošča

### Povzetek

Gradnja objektov v sodobnem času poteka hitro in pogosto montažno, tudi s sestavljanjem nosilnih elementov. Pomemben vidik sodobne gradnje je požarna odpornost nosilnih elementov, tudi sten, ki zagotavljajo nosilnost objekta v primeru požara zaradi evakuacije in splošne varnosti objekta pred rušenjem ali pa ločujejo požarne sektorje. V članku je predstavljen preskus požarne odpornosti stene iz križno lepljenih lesenih plošč (ang. cross-laminated timber ali CLT), ki je bil izveden v sklopu simpozija SFPE pod sponzorstvom podjetja Stora Enso. Obravnavana so vprašanja priprave preskušanca, smeri izpostavljenosti preskušanca požaru in vpliva simetričnosti stene na klasifikacijo požarne odpornosti. Podane so informacije, ki jih vsebuje klasifikacija požarne odpornosti stene in informacije o vplivih trajnostne gradnje iz lesa na požarno odpornost stavb.

### Keywords:

fire resistance of a loadbearing wall  
fire resistance test  
CLT wall

### Abstract

In modern times, buildings are built fast and often prefabricated, including the assembly of loadbearing elements. An important aspect of modern construction is to provide sufficient fire resistance of the loadbearing elements, including walls, which are ensuring the loadbearing capacity of the building in the event of fire, for the purpose of evacuation and the general safety of the building against collapses, or to prevent fire spread from one fire sector to another. The paper presents the fire resistance test of a cross-laminated timber (CLT) wall, which was performed as part of the SFPE Symposium, sponsored by Stora Enso. The paper answers the questions of specimen preparation, the direction of fire exposure of the specimen, the effect of wall symmetry on the fire resistance classification and what information is provided by the fire resistance classification of the wall. It also provides information on the impact of sustainable timber construction on the fire performance of buildings.

*Strokovni članek*

## 1 Uvod

V sklopu simpozija SFPE o inženirskih rešitvah za požarno varnost in o trajnostno načrtovanih zgradbah, ki je bil v Ljubljani konec novembra lani, je bil organiziran ogled požarnega laboratorija ZAG, kjer se je v živo odvil požarni preskus obremenjene CLT stene. Preskus je bil izveden pod sponzorstvom podjetja Stora Enso Oyj iz Finske, ki je vodilni ponudnik obnovljivih izdelkov na področju embalaže, biomaterialov in lesenih konstrukcij ter eden največjih zasebnih lastnikov gozdov na svetu.

\* Korespondenčni avtor simon.grum@zag.si

## 2 Nosilne stene in požarna odpornost

Nosilne stene so ključni nosilni elementi stavbe. Osnovna funkcija nosilne stene je zagotavljanje nosilnosti stavbe, razmejevanje prostorov in razmejevanje notranjosti in zunanosti stavbe. Vse našteje funkcije nosilnih sten so pogosto zahtevane tudi v primeru požara, zato je za dokazovanje teh lastnosti v požaru zahtevan preskus požarne odpornosti. S preskušanjem dokazujemo ohranitev nosilnosti elementa (R) v požaru, s celovitostjo (E) in izolativnostjo (I) pa dodatno karakteriziramo prenos požara v sosednji požarni

sektor. Pri preskusih požarne odpornosti izbiramo požarni scenarij s predpostavljeno smerjo požara, ki je jasno navedena v poročilu in tudi v klasifikacijskem poročilu in omejuje območje uporabe rezultatov. Pri simetričnih nosilnih stenah predpostavljamo v požaru enak odziv z ene ali druge smeri, medtem ko nesimetrične nosilne stene navadno preskušamo s požarom z ene in druge smeri. Kot nosilne stene lahko obravnavamo tudi stebre ali stene, ki niso na mejah požarnih sektorjev, kar pomeni, da so požaru povsem izpostavljeni. Takšne nosilne konstrukcije zato preskušamo s preskusom, kjer je nosilni element izpostavljen požaru po svojem celotnem obsegu. Za načrtovalca požarne varnosti objekta je pomembno, da zna razumeti klasifikacijsko poročilo, kjer je podan rezultat preskušanja, in da preskušani element, ki ga projektirajo, ohranja funkcijo v vseh možnih scenarijih požara v stavbi.

### 3 Preskušanje nosilnih sten in klasifikacija požarne odpornosti

Požarno odpornost nosilne stene lahko preskuša zgolj akreditiran požarni laboratorij, ki lahko zagotovi v standardih določene pogoje in postopke preskušanja. V Evropi je za preskus požarne odpornosti uveljavljen standard EN 1365-1 [1].

Naročnik preskusa se lahko odloči za razvojni preskus, ki je v smislu standarda za preskušanja neobvezujoč, ali preskus, s katerim bo njegov proizvod izpolnjeval zahteve po EN 1365-1 [1]. S tem bo lahko pridobil klasifikacijsko poročilo, ki je podlaga za deklaracijo doseženega razreda požarne odpornosti v izjavi o skladnosti proizvoda.

Naročnik preskusa oziroma proizvajalec stene se z laboratorijem dogovori za obseg preskušanja, ki zadosti zahtevam za proizvod pri vgradnji v objekte, oziroma v primeru razvojnega preskušanja definira želene cilje.

Laboratorij pri definiranju obsega preskušanja po EN 1365-1 [1] upošteva zahteve naročnika in jih poveže z zahtevami standarda in tako definira program preskušanja. Sledi priprava preskušancev, ki imajo po zahtevah standarda višino in širino vsaj 3 metre, če bodo elementi v objektih višji ali širši od 3 metrov, sicer se preskušajo preskušanci največje višine in širine. Pri določanju dimenzij preskušancev se upoštevajo tudi dimenzije okvirjev v laboratoriju in področje neposredne uporabe rezultatov, tako da se z naročnikom poišče velikost preskušanca, ki ustreza zahtevam standarda in opremi laboratorija.

Odgovornost naročnika je tudi definiranje obtežbe na preskušancu, ki mora ustrezati statičnim izračunom konstrukcije ali drugim primerljivim podlagam ali izračunom. Obtežbo naročnik sporoči laboratoriju, ki preveri tehnične zmožnosti razpoložljive opreme. V požarnem laboratoriju ZAG v Logatcu se na preskušance nosilnih sten lahko nanese obtežba do 240 kN/m pri preskušancih polne širine 4 m, kar pomeni 960 kN skupne največje sile na preskušanec. Pred začetkom preskušanja naročnik izdelava detajlno tehnično dokumentacijo, po kateri izdelava in vgradi preskušance v laboratoriju. Dokumentacijo mora pred vgradnjo preskušancev poslati požarnemu laboratoriju v pregled in potrditev.

Nosilno steno naročnik vgradi v betonski okvir tako, da sta oba vertikalna robova preskušanca prosta in da je med vzorcem in okvirjem reža širine med 25 in 50 mm, ki mora biti zapolnjena z negorljivim materialom, običajno kameno ali keramično volno. Prosti rob zagotavlja gibanje preskušanca med preskusom in tako simulira steno z veliko širino. Zgornji in spodnji rob sta na okvir pritrjena kot v praksi. Lahko sta oba robova fiksno vpeta v betonski okvir (npr. neposredno vijačena v betonski okvir ali vijačena preko jeklenih profilov) ali tako, da je vpet zgolj eden od robov na enak

način, kot je v praksi zagotovljeno vpetje v tla oziroma strop.

Na preskušane se nanese obtežba, ki jo poda naročnik. Konstantna mehanska obtežba se med preskusom običajno zagotovi s hidravličnimi cilindri. V požarnem laboratoriju v Logatcu se preskušane obremeni na zgornjem robu, kjer sta postavljena dva hidravlična cilindra, vsak s hodom 300 mm in največjo silo 320 kN/m (za 3 m širok preskušane). Obtežba se na preskušane lahko prenese preko železobetonskega prečnika, tako da se izognemo točkovni obremenitvi preskušanca.

V požarnem laboratoriju se preskušanci pred preskusom natančno izmerijo in pregledajo, popišejo se vgrajeni materiali in komponente in zabeležijo detajli pri montaži. Izmerijo se razdalje med ploščami, med elementi spajanja, med ojačitvami ipd.

Laboratorij glede na značilnosti preskušanca in pravila v standardu EN 1365-1 [1] pripravi skico pozicij merilnih mest deformacij in temperature, jih označi na preskušancu in na preskušane namesti termočlene. Termočleni so pokriti z izolativnimi ploščicami dimenzij 30 × 30 mm in debeline 2 mm; ploščice se na preskušane prilepijo s temperaturno obstojnim lepilom ali pa se pritrdijo s sponkami, odvisno od materiala na poziciji termočlena. Za merjenje povprečnega dviga temperature je pet termočlenov po standardu EN 1365-1 [1] razporejenih tako, da pokrijejo čim večjo površino preskušanca z enako izolativnostjo. Termočleni za merjenje povprečnega dviga temperature se porazdelijo po preskušancu na naslednji način: en termočlen se pritrdi blizu sredine in po eden blizu vsake četrtine preskušanca. Termočleni za največji dvig temperature pa so razporejeni tako, da pokrijejo območja v bližini spojev plošč, stebrov, križnih spojev, zgornjega roba in prostega roba preskušanca. Termočleni za največji dvig temperature morajo biti postavljeni vsaj 25 mm od vseh nepravilnosti.

Poleg termočlenov se na preskušano nosilno steno pritrdita najmanj dva merilna trakova, s katerima se merijo vertikalni pomiki preskušanca med preskusom in po nanosu obtežbe. Poleg vertikalnih pomikov je treba meriti tudi horizontalne pomike od fiksne ravnine, najmanj v sredini preskušanca in 50 mm od vsakega prostega roba.

Preskušane je izpostavljen standardni požarni krivulji, ki je zapisana v EN 1363-1 [2] z naslednjo logartimično enačbo:  $T = 20 + 345 \log_{10}(8t+1)$  [°C], kjer je T temperatura v peči in t čas od začetka preskusa. Enačba predstavlja celulozni požar v objektu, kjer se temperatura po 90. minuti dvigne nad 1000 °C.

Med preskusom se nosilne stene ocenjujejo po kriterijih nosilnosti (R), celovitosti (E), izolativnosti (I) in sevanja (W). Občasno se pri nosilnih stenah dodaja še kriterij mehanske sile (M) po preskusu požarne odpornosti.

Nosilnost (R) pomeni, da stena med preskusom ne preseže kriterija največje vertikalne deformacije, ki je definirana z enačbo:  $c_{\text{limit}} = h/100$  [mm], kjer je  $c_{\text{limit}}$  največja vertikalna deformacija in h višina obremenjenega preskušanca v milimetrih, ali ne preseže največje hitrosti vertikalne deformacije, ki je definirana z enačbo:  $(dc/dt)_{\text{limit}} = 3 h/1000$  [mm/min], kjer je  $(dc/dt)_{\text{limit}}$  največja hitrost vertikalne deformacije in h višina obremenjenega preskušanca v milimetrih.

Celovitost (E) pomeni, da nosilna stena zadrži plamene in vroče pline na požaru izpostavljeni strani. Na nosilni steni se ne smejo pojaviti razpoke, širše od 6 mm, v dolžini 150 mm ali odprtine, skozi katere lahko v peč potisnemo palico s premerom 25 mm.

Izolativnost (I) pomeni, da nosilna stena zadrži dvig temperature na strani, ki ni izpostavljena požaru, pod kriteriji navedenimi v EN 1363-1 [2], to pomeni povprečni dvig temperature na merilih mestih pod 140 K in na vseh preostalih merilih mestih pod 180 K. Če se sestava nosilne stene izrazito spreminja na površinah, ki so večje od 0,1m<sup>2</sup>, potem se te površine za kriterij izolativnosti obravnavajo ločeno.

Sevanje (W) pomeni, da površinsko sevanje stene ne presega 15

kW/m<sup>2</sup>. Sevanje vedno ostaja pod 15 kW/m<sup>2</sup>, če nosilna stena še izpolnjuje pogoje izolativnosti (I).

Mehanska sila (M) pomeni, da nosilna stena v petih minutah po požarnem preskusu zdrži tri udarce telesa z maso 200 kg v center največjega panela ali v sredino stene. Preskus je opisan v standardu SIST EN 1363-2 [3].

Izguba kriterija nosilnosti (R), pomeni tudi izgubo kriterijev integritete (E), izolativnosti (I), sevanja (W) in mehanske sile (M). Izguba celovitosti (E) pomeni tudi izgubo kriterijev izolativnosti (I), sevanja (W) in mehanske sile (M). Izguba kriterija izolativnosti (I) pomeni tudi izgubo kriterija sevanja (W), če sevanje ni ločeno merjeno. Mehanska sila (M) se lahko doda samo preskušancu, ki ni izgubil kriterijev nosilnosti (R), integritete (E) in izolativnosti (I).

Standard za klasifikacijo požarne odpornosti nosilnih sten je SIST EN 13501-2 Požarna klasifikacija gradbenih proizvodov in elementov stavb - 2. del: Klasifikacija na podlagi podatkov iz preskusov požarne odpornosti, izvzete so prežračevalne naprave [4].

Klasifikacija požarne odpornosti po SIST EN 13501-2 [4] združuje rezultate preskusov, področje njihove neposredne uporabe in morebitna poročila na podlagi razširjene uporabe rezultatov, tako v celoto združuje dokazila o požarni odpornosti nosilne stene ali družine nosilnih sten. V klasifikaciji so jasno navedene bistvene značilnosti preskušane nosilne stene, obremenitev nosilne stene med preskusom in omejitve uporabe rezultatov (npr. smer izpostavljenosti požaru). V klasifikacijskem poročilu je za konkretno nosilno steno navedeno območje neposredne uporabe rezultatov.

### 4 Preskušanje požarne odpornosti nosilne stene iz križno lepljenih lesenih plošč

V požarnem laboratoriju v Logatcu smo v sklopu simpozija SFPE v mesecu decembru preskusili požarno odpornost lesene nosilne stene debeline 140 mm, širine 3920 mm in višine 4100 mm. Plošča je bila sestavljena iz petih lesenih križno lepljenih plasti, ki so bile po prerezu simetrične. Preskušane nosilne stene je bil sestavljen iz dveh plošč, ki jih je naročnik sestavil v laboratoriju pred vgradnjo v preskusni okvir. Spoj med ploščama je bil stopničast in tako tudi po debelini simetričen. Simetričnost preseka preskušanca in spoja pomeni, da je za dokazovanje požarne odpornosti dovolj preskus z ene strani.

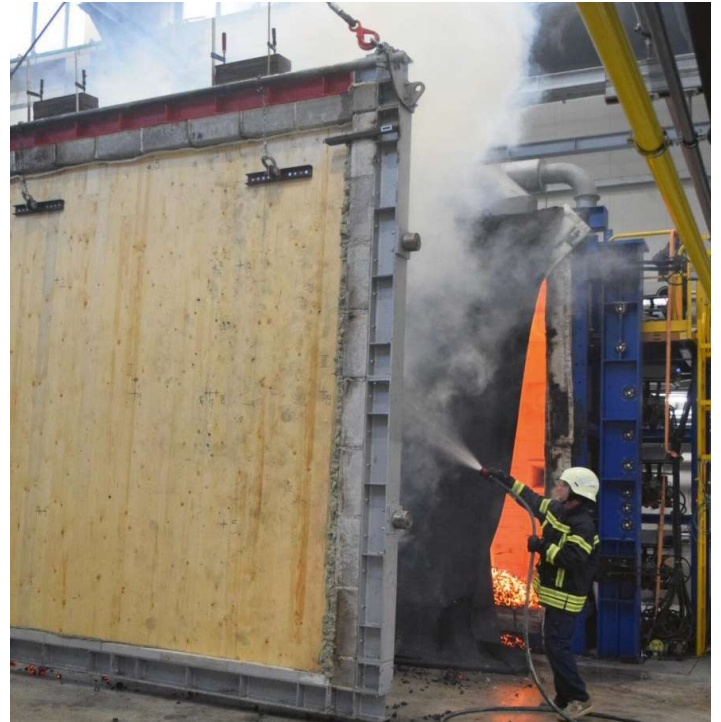
Na željo naročnika je bil preskušanec že med izdelavo opremljen z notranjimi termočleni, ki naročniku omogočajo vpogled v temperaturni potek po debelini preskušanca. Naročnik je v preskušane vgradil 40 termočlenov, ki jih je razporedil po globini med lamele, po površini pa v četrtinah in v sredini preskušanca.

V laboratoriju smo namestili dodatnih 19 termočlenov v skladu s standardom SIST EN 1365-1 [1] in 3 dodatne termočlene samo za informacijo naročniku na glave vijakov.



Slika 1: Optični merilni sistem za meritev pomikov, v ozadju nameščena stena pred pričetkom požarnega preskusa, foto: arhiv ZAG.

Preskušanec je bil obremenjen s silo 745 kN preko dveh hidravličnih cilindrov in železobetonskega bloka za linijski rznos obremenitve po celi stični površini preskušanca. Preskušanec je bil mehanski in toplotni obremenitvi izpostavljen 60 minut, nato je bil mehansko razbremenjen, vendar še vedno toplotno obremenjen nadaljnjih 30 minut. Po končanem preskusu je bil umaknjen s peči in pogašen. Zahteve 60 minutne izpostavljenosti zahtevam standarda za pridobitev klasifikacije REI 60 so bile izpolnjene, medtem ko je dodaten čas 30 minut toplotno obremenjenega in mehansko razbremenjenega preskušanca zgolj dodatna informacija naročniku.



Slika 2: Odstranitev stene s peči po končanem požarnem preskusu, foto: arhiv ZAG.

Posebnost opisanega preskusa nosilne stene je, da je kljub visoki toplotni in mehanski obremenitvi med preskusom požarne odpornosti dvig temperature na neizpostavljeni strani preskušanca nekaj K in precej nižji od kriterijev izolativnosti (povprečna temperatura manj kot 140 K), kar potrjuje dejstvo, da se les dobro obnaša v smislu hitrosti širjenja toplote po materialu. Zanimiv je tudi hiter odmik preskušanca po koncu preskusa, da se zaustavi toplotni val v notranjosti preskušanca in ohranijo informacije o preseku preskušanca po koncu preskusa. Naročnik je po koncu preskusa izrezal del preskušanca za nadaljnje mehanske raziskave.

### 5 Zaključek

S požarnim preskusom nosilnih sten se dokazuje ohranitev nosilnosti elementa v požaru, njegovo celovitost, izolativnost in sevanje. Vsi ti podatki so navedeni v klasifikacijskem poročilu, ki je potrebno za deklaracijo požarne odpornosti proizvoda in za njegov vstop na trg.

#### Literatura

- [1] SIST EN 1365-1:2013; Preskusi požarne odpornosti nosilnih elementov - 1. del: Stene
- [2] SIST EN 1363-1:2020; Preskusi požarne odpornosti - 1. del: Splošne zahteve
- [3] SIST EN 1363-2:1999; Preskusi požarne odpornosti – 2. del: Alternativni in dodatni postopki
- [4] SIST EN 13501-2:2023; Požarna klasifikacija gradbenih proizvodov in elementov stavb - 2. del: Klasifikacija na podlagi podatkov iz preskusov požarne odpornosti in/ali dimotesnosti, izvzete so prežračevalne naprave