

OVERENIE SPOĽAHLIVOSTI PRVKOV DREVENEJ KONŠTRUKCIE VYSTAVENEJ VEĽKOROZMEROVEJ POŽIARNEJ SKÚŠKE

ASSESSMENT OF RELIABILITY OF TIMBER STRUCTURES ELEMENTS EXPOSED LARGE-SCALE FIRE TEST

Petr Kučera – Antonín Lokaj – Danica Kačíková

ABSTRACT

During the action of high temperatures on timber construction its gradual damage happens. Reduction of its strength and stiffness depends on size and duration of fire and on particular type of timber construction. This article describes firstly the process of large-scale fire test of one-family house and then, according to the values measured, verifies a reliability of timber construction elements after completion of the fire test. The aim is to obtain a reliable assessment whether the object is after the large-scale test stable and if there is no immediate collapse risk.

Keywords: design, large-scale fire test, timber construction, fire resistance.

ÚVOD

Navrhovanie stavebných konštrukcií na účinky požiaru sa rieši výpočtom podľa európskych noriem, tzv. Eurokódov, ktoré už niekoľko rokov stanovujú technické pravidlá pre navrhovanie pozemných a inžinierskych stavieb. Problematike požiarnej odolnosti drevených konštrukcií a ich ochrane sa venujú viaceré výskumné pracoviská v Európe, ale aj vo svete (SULTAN 2008, LENNON *et al.* 2000, WALFORD 2001). Základnou úlohou pred statickým posúdením konštrukcie počas požiaru je vymedzenie pôsobiacej teploty, ktorá sa odvodzuje pomocou nominálnych teplotných kriviek, modelov požiaru, alebo prostredníctvom výsledkov experimentálnych metód. Správne stanovenie teplotného namáhania je nevyhnutnou prípravou pre následné riešenie mechanických zmien stavebnej konštrukcie pri požari.

Overenie spoľahlivosti drevenej konštrukcie vystavenej účinkom požiaru sa v súčasnosti vykonáva podľa európskych noriem - Eurokódov (ČSN EN 1991-1-2: 2004, ČSN EN 1995-1-2: 2006). Pri návrhu konštrukcie na účinky požiaru sa berie do úvahy:

- a) voľba príslušného návrhového požiarneho scenára;
- b) stanovení zodpovedajúceho návrhového požiaru;
- c) výpočet vývoja teploty v nosných konštrukciách;
- d) posúdenie mechanického chovania sa konštrukcie vystavenej účinkom požiaru.

Prvé tri činnosti (a) až c)) spravidla zaisťuje špecialista PO, k bodu d) sa najčastejšie vyjadruje statick-projektant.

Ochrana drevených konštrukcií pred účinkami požiaru sa často rieši obkladmi z nehorľavých materiálov na báze sadry, napr. experiment LENNONA *et al.* (2010). Posudzovaním požiarnej odolnosti týchto materiálov sa zaoberali BUCHANAN (2001) a WALD (2005).

Doteraz však existuje veľa, najmä starších budov, s klasickými drevenými trámovými stropmi s dreveným podbitím a vrstvou omietky na rákosovom alebo sieťovom podklade. Požiarnej odolnosti týchto klasických stropov v súčasnosti nie je venovaná dostatočná pozornosť v experimentálnej a teoretickej oblasti.

Cieľom príspevku je hodnotenie miery poškodenia stropnej konštrukcie klasického dreveného trámového stropu po požiarnej skúške nad miestnosťou (jedálňou), kde bol iniciovaný požiar a kde boli dosiahnuté najvyššie teploty.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Teoretické základy experimentu

Požiarne odolnosť drevených konštrukcií alebo ich častí v posudzovanom požiarom úseku sa vyjadruje časom v minútach a kritériami (R = kritérium odolnosti, E = kritérium celistvosti a I = kritérium izolácie) podľa účelu konštrukcie: R – pre nosné konštrukcie, E a I pre požiarne deliace konštrukcie a R , E a I pre požiarne deliace a nosné konštrukcie.

Odolnosť materiálov voči účinkom zaťaženia pri požiari je vyjadrená hlavne pevnosťou a hĺbkou zuhoľnatia závislou na rýchlosti zuhoľnatia.

Za charakteristickú pevnosť dreva počas požiaru sa podľa Eurokódov považuje 20 % kvantil pevnosti získanej laboratórnymi testami podľa príslušných noriem (1) (pri navrhovaní za bežnej teploty sa uvažuje 5 % kvantil):

$$f_{20} = k_{fi} \times f_k \quad (1)$$

kde f_k je charakteristická hodnota za normálnej teploty (5% kvantil);

$k_{fi} = 1,25$ (pre RD), $k_{fi} = 1,15$ (pre LLD a plošné materiály), $k_{fi} = 1,1$ (pre vrstvené drevo - LVL).

Hĺbka zuhoľnatia za určitý čas požiarneho zaťaženia sa určí pre rýchlosť zuhoľnatia, ktorá je odlišná pre prípad, že uvažujeme (2), alebo neuvažujeme (3) vo výpočte zaoblenie rohov hranečných prvkov:

$$d_{char,0} = \beta_0 \times t \quad (2)$$

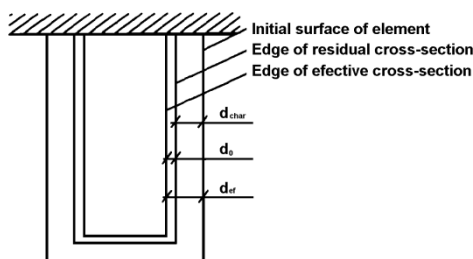
$$d_{char,n} = \beta_n \times t \quad (3)$$

kde $d_{char,0}$ a β_0 je hĺbka a rýchlosť zuhoľnatia bez uvažovania zaoblenia rohov,
 $d_{char,n}$ a β_n je hĺbka a rýchlosť zuhoľnatia s uvažovaním zaoblenia rohov,
 t je čas trvania požiaru alebo požiarnej skúšky (min).

Rýchlosť zuhoľnatia závisí najmä od druhu dreveniny, resp. aglomerovaného materiálu, ich hustoty a hrúbky.

Pre návrh a posúdenie spoľahlivosti drevenej konštrukcie vystavenej účinkom požiaru je podľa Eurokódov možné použiť alternatívne tri metódy: metódu redukovaného prierezu, metódu redukovaných vlastností, prípadne všeobecnú metódu. Tieto metódy sú zoradené vzostupne podľa náročnosti výpočtu a následne aj podľa výslednej doby požiarnej odolnosti konštrukcie.

Metóda redukovaného prierezu je založená na určení prierezových charakteristík účinného prierezu, t.j. prierezu zmenšeného - oslabeného požiarom (obr. 1) trvajúcim požadovaný čas. U zvyškového - účinného prierezu sa uvažujú konštantné pevnostné charakteristiky. Táto metóda poskytuje najkonzervatívnejšie výsledky.



Obr. 1 Definícia zvyškového a účinného prierezu podľa Eurokódov.
 Fig. 1 Definition of residual and effective cross-section according to Eurocodes.

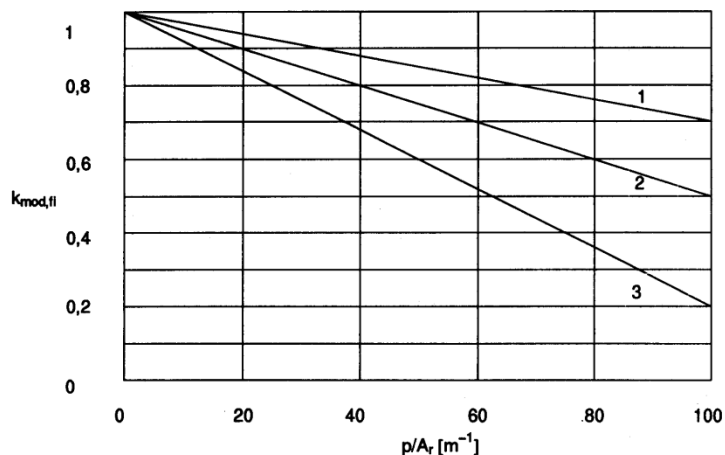
Okraj účinného prierezu sa určí zo vzťahu (4):

$$d_{ef} = d_{char} + k_0 \times d_0 \quad (4)$$

kde $d_0 = 7 \text{ mm}$;

$k_0 = t/20$ pre $t < 20 \text{ min}$, $k_0 = 1,0$ pre $t \geq 20 \text{ min}$.

Metóda redukovaných vlastností je založená na princípe poklesu pevnosti a tuhosti zvyškového prierezu zmenšeného odhorením po príslušnom čase pôsobenia účinkov požiaru. Pokles hodnôt týchto fyzikálnych vlastností je vyjadrený v závislosti na pomere obvodu (p) a plochy zvyškového prierezu (A_r), vystaveného účinkom požiaru (obr. 2).



Obr. 2 Pokles pevnosti zvyškového prierezu v závislosti na pomere obvodu (p) a plochy zvyškového prierezu (A_r) vystaveného účinkom požiaru: 1) ťah a modul pružnosti, 2) ohyb, 3) tlak.

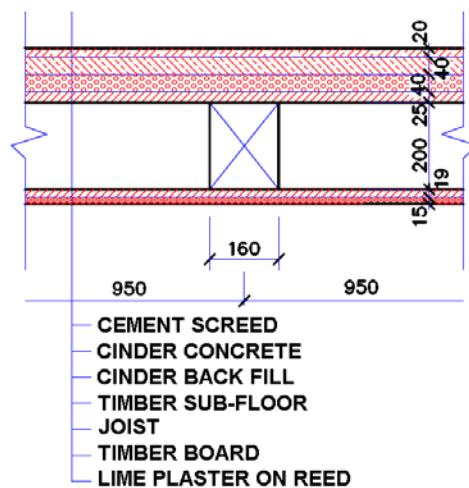
Fig. 2 Strength reduction of residual cross-section in dependence on rate perimeter (p) and area of residual cross-section (A_r), exposed to fire effects: 1) tension and elastic modulus, 2) bending, 3) compression.

Všeobecné metódy výpočtu požiarnej odolnosti sú založené na stanovení teplotných a vlhkosťných profilov v zvyškovom priereze a na stanovení pevnosti a tuhosti v každom mieste zvyškového prierezu v závislosti na teplote a vlhkosti. Aplikujú sa numerické postupy použitím výpočtovej techniky.

Popis objektu veľkorozmerovej požiarnej skúšky

Objektom veľkorozmerovej požiarnej skúšky bol podpivničený trojpodlažný rodinný dom s rozmermi $8,25 \text{ m} \times 11,3 \text{ m}$. Prvé a druhé nadzemné podlažie boli obytné (jedáleň, spálne, obývacie izby, kuchyňa, WC, kúpeľne).

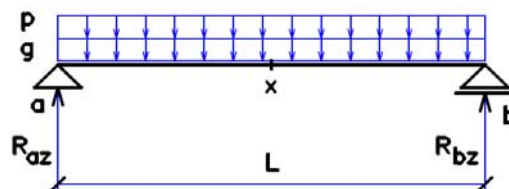
Vnútorne a vonkajšie nosné a nenosné múry boli z plných tehál. Strop nad suterénom tvorila železobetónová doska. Stropná konštrukcia nad 1.NP, ktorá bola priamo vystavená pôsobeniu požiaru, bola zmiešanej konštrukcie (drevené trámy, drevené podbitie, omietka s rákosím, záklop, zásyp, cementový poter a parkety alebo PVC) – (obr. 3). Pôvodné okná boli dvojité s drevenými rámami. Domové vstupné dvere boli osadené a zatvorené, rovnako ako drevené dvere z predsiene do suterénu. Vstupy do ostatných miestností boli bez dverných uzáverov.



Obr. 3 Rez stropnou konštrukciou medzi 1. NP a 2. NP pred požiarom.
Fig. 3 Cross-section of floor construction between 1st and 2nd floors before fire.

Nosnú konštrukciu stropu nad jedálňou tvorili masívne drevené trámy z konštrukčného dreva (S10, C24) s prierezom 160/200 mm v osových vzdialenostiach 950 mm. Rozpätie uložených tráv bolo 3 650 mm (obr. 4). Trámy boli zhora zakryté dreveným záklopom s hrúbkou 25 mm, na ktorom boli uložené vrstvy škvary, škarobetonu a cementového poteru. Spodný okraj stropu tvorili drevené podbitie s hrúbkou 19 mm a vápenná omietka s rákosím (obr. 3).

Charakteristická hodnota stáleho zaťaženia stropnej konštrukcie vlastnou hmotnosťou predstavuje za normálnych prevádzkových podmienok $g_k = 1,8 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-2}$. Charakteristická hodnota úžitkového zaťaženia stropnej konštrukcie podľa STN EN 1991 pre budovu kategórie A predstavuje $p_k = 2,0 \text{ kN}/\text{m}^2$. Strop počas experimentu nebol zaťažený užitočným zaťažením (z bezpečnostných dôvodov).



Obr. 4 – Statická a geometrická schéma stropného trámu.
Fig. 4 – Static and geometric scheme of floor-joist.

Požiarne zaťaženie

Snahou pri príprave požiarnej skúšky bolo napodobniť skutočný požiar požiarom zaťažením čo do druhu horľavých materiálov, ich množstva a rozmiestenia. Prehľad horľavých materiálov tvoriacich požiarne zaťaženie 1. NP je v tab. 1.

Tab. 1 Požiarne zaťaženie v miestnostiach prvého podlažia (DVOŘÁK 2010).

Tab. 1 Fire load in the rooms of the 1st floor (DVOŘÁK 2010).

miestnosť	S (m ²)	p _n ^{x)} (kg/m ²)	m _{drevo} (kg)	m _{matrace} (kg)	V _{toluén} (l)	V _{heptán} (l)
jedáleň	15,2	49,8	730,2	-	2,0	14,5
spálňa	16,4	25,8	470,0	40,0	-	-
obývačka	18,3	20,2	533,0	40,0	-	-
predsieň	4,4	11,4	24,0	-	-	-
kuchyňa	8,7	0,0	0,0	-	-	14,5

Legenda:

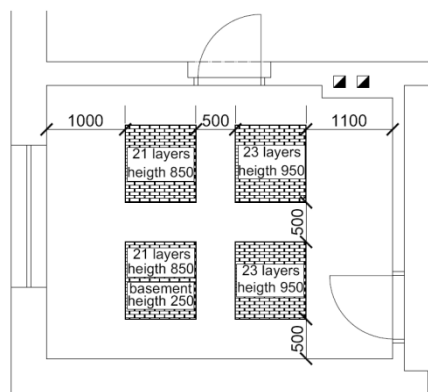
S podlahová plocha

p_n náhodné požiarne zaťaženie

m_{drevo} hmotnosť dreva (zahŕňa ekvivalentné množstvo hmotnosti dreva z hmotnosti PUR matracov, toluénu, heptánu a kobercov)

x) zahŕňa ekvivalentné množstvo hmotnosti dreva z hmotnosti PUR matracov, toluénu, heptánu a kobercov

Požiar bol iniciovaný v jedálni s rozmermi 3,5 m × 4,3 m, teda celkovej podlahovej ploche 15,2 m², s požiarovým zaťažením $p_n = 49,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Toto zaťaženie bolo realizované 730,2 kg dreva s výhrevnosťou 16,75 MJ·kg⁻¹ vo forme klieťok reziva (40 × 40 × 1000) mm, 2 l toluénu v 2 ks sklenených fľaš a 14,5 l heptánu v plechovej nádrži pod jednou z klieťok dreva.



Obr. 5 Nákres a fotografia rozloženia klieťok reziva v jedálni.

Fig. 5 Diagram and photo wood cribs placement in the dining room.

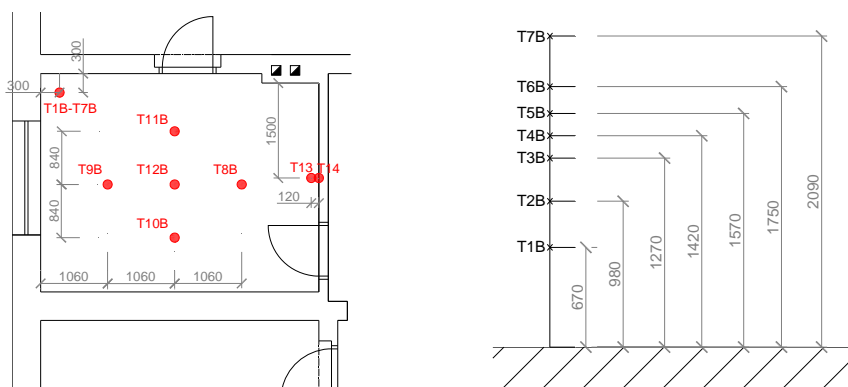
Iniciátorom rozvoja požiaru bolo 14,5 l heptánu po zapálení otvoreným plameňom. Predpokladané rozšírenie požiaru bolo z jednej klieťky dreva na ostatné klieťky dreva v jedálni, potom z jedálne cez otvorené dvere do susednej spálne. Ďalšia cesta šírenia požiaru bola z jedálne cez otvorené dvere so predsieňou a do obývacej izby v 1. NP. Rozšíreniu požiaru do 2. NP po drevenom schodisku bolo zabránené včasným začatím hasiacich prác.

Meranie teplotného poľa

Meranie teplotného poľa bolo realizované podľa (ISO 9705: 1993) v jedálni, spálni a obývacej izbe v 1. NP. Výškové rozloženie teplôt bolo merané 7 termočlánkami v rohu skúšobného priestoru, rozloženie teplôt na strope 5 termočlánkami. Na chodbe v 2. NP bolo meranie uskutočnené bez použitia stropných termočlánkov (meranie len výškového rozloženia teplôt). Nad rámec merania teplotného poľa v 2. NP boli merané 3 teploty v 2. NP na strope nad schodiskom z 2. NP.

V jedálni prebiehalo meranie teplôt pomocou 12 ks termočlánkov typu K spojených s 12 ks vysieláčov a 1 ks prijímača, ktorý bol napojený cez rozhranie USB na počítač (DVOŘÁK 2010). Inštalácie termočlánkov v jedálni pre meranie vertikálneho rozloženia teplôt (T1B až T7B)

a snímanie teplôt na strope (T9B až T12B) je znázornené na obr. 6. Ďalšie termočlánky T13 a T14 boli umiestnené na (T13) a pod (T14) 12 cm hrubou vrstvou minerálnej izolácie ROCKWOOL.



Obr. 6 Schéma umiestnenia termočlánkov v jedálni.
Fig. 6 Diagram of thermocouples position in the dining room.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Stav objektu po požiari

Podmienkou vykonania požiarnej skúšky bolo zachovanie statiky objektu po požiari. Preto bol čas vydaný pokyn k ukončeniu požiarnej skúšky – uhaseniu požiaru. Stav jednotlivých miestností po požiari bol nasledujúci:

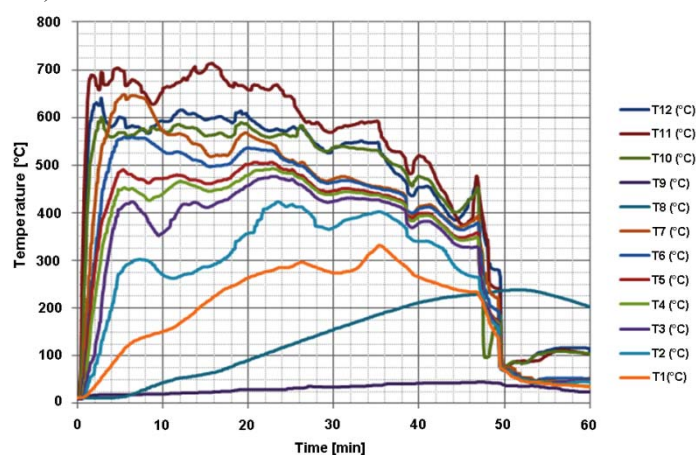
- Jedáleň – vonkajšie sklá v oknách zostali celistvé. Z požiarneho zaťaženia tvoreného kliečkami reziva zostalo cca 305 kg z pôvodnej hmotnosti dreva (obr. 7).
- Spáľňa – nábytok bol v hornej polovici výšky miestnosti povrchovo obhorený, v dolnej polovici výšky miestnosti bol nábytok len čiastočne povrchovo obhorený (lak a časť dyhy). PUR matrace, umiestnené na podlahe, boli len ľahko poškodené pôsobením tepla, požiarom neboli zasiahnuté.
- Obývacia izba – obloženie steny v hornej polovici obhorené, dolná časť zachovaná. Váňanda a skrinky, resp. dosky skriniek, bez známk rozšírenia požiaru, poškodenie len pôsobením vyššej teploty a dymu.
- Schodisko vedúce do 2. NP – drevené schody z hornej strany bez známk rozšírenia požiaru, obloženie stien v hornej časti ľahko poškodené vysokou teplotou – obhorený lak. Schodisko poškodené požiarom zo spodnej strany schodiskových stupňov.



Obr. 7 Pohľad do jedálne na 1. NP po požiari.
Fig. 7 Look on the dining room in 1st floor after fire.

Výsledky merania teplotného poľa v jedálni

V jedálni, kde bolo ohnisko požiaru, sa teplota najčastejšie pohybovala v rozmedzí 400–700 °C (obr. 8).



Obr. 8 Priebeh teplôt v jedálni.
Fig. 8 Temperature development in the dining room.

Posúdenie miery poškodenia stropnej konštrukcie po požiarnej skúške

Po vykonanej požiarnej skúške bolo treba posúdiť mieru poškodenia najmä stropnej konštrukcie nad jedálňou, zníženie jej únosnosti a zvýšenie priehybu.

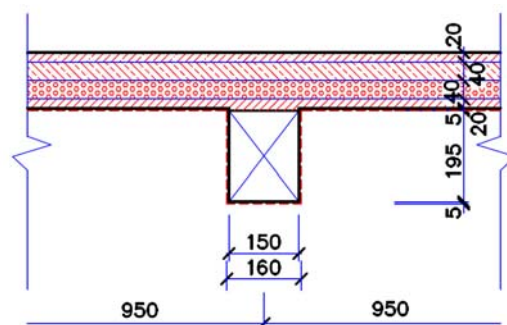
V prevádzkovom štádiu predstavuje miera využitia prierezu trámu v medznom stave únosnosti v ohybu 55 %, v šmyku 26 %. V medznom stave použiteľnosti predstavuje maximálny okamžitý priehyb nosného trámu 7,1 mm (t.j. L/514), konečný priehyb predstavuje 9,8 mm (t.j. L/372).

Môžeme konštatovať, že pred požiarou skúškou mala stropná konštrukcia nad jedálňou pomerne veľké rezervy ako z hľadiska únosnosti, tak i použiteľnosti.

Počas požiarnej skúšky, ktorá prebiehala približne 45 min (obr. 8), došlo k odpadnutiu omietky, úplnému odhoreniu podbitia a čiastočnému odhoreniu trámov a záklopu v hrúbke 5 mm (obr. 9 a 10).



Obr. 9 Stropná konštrukcia nad 1. NP v jedálni po požiarnej skúške.
Fig. 9 Floor construction above 1st floor in the dining room of the house after the fire test.



Obr. 10 Rez stropnou konštrukciou medzi 1.Np a 2.NP po požiarí.
Fig. 10 Cross-section of floor construction between 1st and 2nd floors after fire.

Po požiarnej skúške predstavuje miera využitia oslabeného prierezu trámu v medznom stave únosnosti v ohybe 61 %, v šmyku 29 %. V medznom stave použiteľnosti predstavuje okamžitý priehyb nosného trámu 9,0 mm (t.j. $L/405$), konečný priehyb predstavuje 12,4 mm (t.j. $L/294$). Percentá využitia prierezu sú vzťahované k dočasnej návrhovej situácii.

Čiastočné poškodenie nosných stropných trámov počas požiarnej skúšky (zmenšenie prierezu o 5 mm po troch stranách) malo za následok pokles únosnosti približne o 11 % a zväčšenie priehybu o približne 27 %.

Výsledky zistené experimentom možno porovnať so širokou škálou nameraných normových hodnôt požiarnej odolnosti trámových stropov s rôznymi variantmi zakrytia zo spodnej časti. Už od päťdesiatych rokov 20. storočia (napr. LAWSON 1951) sa určovala doba prehorenia podhľadovej ochrany a doba požiarnej odolnosti vlastnej nosnej trámovej konštrukcie. Tieto požiarne skúšky boli základom pre hodnotové normy, ktorými sa konvenčne posudzovala požiarne odolnosť prostredníctvom dimenzačných tabuliek. Vykonaná požiarne skúška potvrdila takmer zhodu s tradične používanými hodnotami požiarnej odolnosti dreveného podbíjania doskami s minimálnou hrúbkou 12 mm s rákosovou rohoží a s omietkou – 15 min normovej teplotnej krivky (NOVOTNÝ 1972, ČSN 730834/Z1: 2011), kvôli vysokým teplotám, ktoré požiar dosahoval už na začiatku experimentu.

Z miery poškodenia stropnej konštrukcie počas trvania požiarnej skúšky (45 min) a zo znalosti rýchlosti odhorievania dreva podbitia a nosného trámu, možno usudzovať, že vrstva omietky s rákosím hrúbky 15 mm vykazovala podobnú požiarne odolnosť ako sadrokartónová doska s hrúbkou 12,5 mm, t.j. približne 20 min, tým boli potvrdené východiskové predpoklady pre stanovenie času porušenia nehorľavých dosiek (WALD 2005).

Po deštrukcii vrstvy omietky zhorelo podbitie a časť prierezu nosného trámu a záklopu. Stropná konštrukcia však i po požiarnej skúške vykazovala dostatočnú rezervu v únosnosti i tuhosti.

Overovanie požiarnej odolnosti drevených konštrukcií a spojov chránených obkladmi (napr. sadrokartónovými doskami) sa vo svete venuje značná pozornosť. V nedávnej dobe boli uskutočnené pomerne rozsiahle série skúšok požiarnej odolnosti trámových stropov s rôznymi rozmermi stropníc so sadrokartónovým podhľadom (SULTAN 2008), ktoré potvrdili vyššie uvedené predpoklady požiarnej odolnosti sadrokartónových podhľadov. V neposlednej rade možno poukázať na komplexné skúšky šesťpodlažnej drevenej budovy v Cardingtone (GRANTHAM 2000), počas ktorých sa okrem iného overovali výpočty požiarnej odolnosti podľa Eurokódov (BUCHANAN 2001, Wald 2005). Tieto výpočty, dnes už overené radou experimentov, slúžia k rýchlemu, lacnému, ale najmä spoľahlivému návrhu požadovanej požiarnej odolnosti prvkov a spojov drevených konštrukcií.

ZÁVER

Súčasnú európske normy – Eurokódy (ČSN EN 1991-1-2: 2004, ČSN EN 1995-1-2: 2006), umožňujú pomerne presne určiť chovanie sa, rýchlosť a stupeň poškodenia drevených konštrukcií účinkom požiaru.

Z miery poškodenia stropnej konštrukcie počas trvania požiarnej skúšky (45 min) na základe dosiahnutých výsledkov môžeme konštatovať nasledujúce:

1. Nosné prvky stropnej konštrukcie nad 1. NP sú len minimálne poškodené účinkami požiaru a teda umožňujú ďalšie používanie, resp. bezpečný pohyb osôb v 2. NP, nehrozí ich zrútenie.
2. Schodisko do 2. NP má tiež drevenú konštrukciu a vykazuje vyššiu mieru poškodenia požiarom než prilahlé stropné konštrukcie. To je zrejme spôsobené tým, že schodisko je vyrobené zo subtilnejších drevených profilov, než stropná trámová konštrukcie. Používanie schodiska v plnom rozsahu sa preto neodporúča. Ak bude nevyhnutné schodisko použiť na výstup do 2. NP, môže sa na schodišti vyskytovať súčasne iba jedna osoba a schodisko možno používať len s najvyššou opatnosťou. Vhodné by bolo vykonať zosilnenie konštrukcie schodiska – napr. podoprením, na základe podrobnejšej prehliadky stavu nosnej časti schodiska.
3. Celkovo je objekt po uskutočnenej požiarnej skúške stabilný a nehrozí bezprostredne jeho zrútenie. Strešná konštrukcia, ani nosné stenové konštrukcie neboli požiarom poškodené.

Znalosť reálnych pomerov vo vnútri horiaceho priestoru a využitie nameraných experimentálnych údajov z veľkorozmerovej požiarnej skúšky rodinného domu majú zásadný význam pre potvrdenie skutočného chovania sa stavebných konštrukcií v podmienkach vysokých teplôt a zároveň umožňujú overenie platnosti európskych noriem.

LITERATÚRA

- BUCHANAN, A.H. 2001. Structural design for fire safety. Chichester : John Wiley and Sons, 2001, 421 p., ISBN 0-471-89060-X.
- ČSN 73 0834/Z1:2011. Požární bezpečnost staveb – Změny staveb. Praha: ÚNMZ.
- ČSN EN 1991-1-2:2004 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-2: Obecná zatížení – Zatížení konstrukcí vystavených účinkům požáru, Praha : ČNI.
- ČSN EN 1995-1-2:2006 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru, Praha : ČNI.
- DVOŘÁK, O., DUDÁČEK, A. 2010. Zpráva o výsledcích požární zkoušky v rodinném domku v Bohumíně dne 19. 11. 2009. Praha, Ostrava: TÚPO MV – GŘ HZS Praha a FBI VŠB – TU Ostrava, 2010. 51 s.
- GRANTHAM, R., ENJILY, V. 2000. Differential movement between the brick cladding and timber frame of the TF2000 building. In World Conference on Timber Engineering. British Columbia : University of British Columbia, August 2000, section 5.5.3.
- ISO 9705:1993 Fire tests - Full-scale room test for surface products. Genève: ISO.
- LAWSON, D.I., WEBSTER, C.T., ASHTON, L.A. 1951. Fire Endurance of Timber Beams. In National Building Studies, Bulletin No. 13. London: Department of Scientific and Industrial Research and Fire Offices' Committee.
- LENNON, T., BULLOCK, M. J., ENJILY V. 2000. The Fire Resistance of Medium-rise Timber Frame building. In World Conference on Timber Engineering. British Columbia: University of British Columbia, August 2000, section 4.5.4.
- LENNON, T., HOPKIN, D., EL-RIMAWI, J., SILBERSCHMIDT, V. 2010. Large Scale Natural Fire Tests on Protected Engineered Timber Floor Systems. Fire Safety Journal, 2010, 45(3): 168–182.
- NOVOTNÝ, V. 1972. Stavebně technická požární ochrana. Praha: Československý svaz požární ochrany, Svazek 41, 1972, s. 208.
- STN EN 1912+A4:2010. Konštrukčné drevo. Pevnostné triedy. Zaradenie vizuálnych tried a druhov dreva, Bratislava : SÚTN.
- SULTAN, M. A. 2008. Fire Resistance of Wood Joist Floor Assemblies. Fire Technology, 2008, 44(4): 383–417.

WALD, F. *et al.* 2005. Výpočet požární odolnosti stavebních konstrukcí, Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 336 s., ISBN 80-01-03157-8.

WALFORD, G. B. 2001. Multistorey Timber Building in UK and Sweden. *New Zealand Timber Design Journal*, 2001, 10(2): 6–13.

PodĎakovanie

Prispevok vznikol za podpory projektu Ministerstva vnútra ČR č. VG 20122014074 “Specifické posouzení vysoce rizikových podmínek požární bezpečnosti s využitím postupů požárního inženýrství”.

Adresa autorov

Ing. Petr Kučera, Ph.D.
VŠB - TU Ostrava
Fakulta bezpečnostního inženýrství
Lumírova 13/630
Ostrava-Výškovice
Česká republika
petr.kucera@vsb.cz

doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
VŠB - TU Ostrava
Stavebná fakulta
Ludvíka Podeste 17/1875
Ostrava-Poruba
Česká republika
antonin.lokaj@vsb.cz

doc. RNDr. Danica Kačíková, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra protipožiarnej ochrany
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
Slovenská republika
kacikova@vsld.tuzvo.sk