



Advances in Fire & Safety Engineering

ZVOLEN
Technická univerzita vo Zvolene
14. - 15. október 2024





Technická univerzita vo Zvolene

Drevárska fakulta

Katedra protipožiarnej ochrany

v spolupráci s

Materiálovotechnologickou fakultou so sídlom v Trnave STU v BA,
Fakultou bezpečnostného inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline,
Hasičským a záchranným zborom,
Drevárskym kongresom

vydáva

Advances in Fire & Safety Engineering 2024

Pokrok v požiarom a bezpečnostnom inžinierstve 2024

Zborník príspevkov z XIII. medzinárodnej vedeckej konferencie

ZVOLEN

Technická univerzita vo Zvolene

14. - 15. október 2024



Partneri konferencie



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE



SLOVENSKÁ TECHNICKÁ
UNIVERZITA V BRATISLAVE
MATERIÁLOVOTECHNOLOGICKÁ
FAKULTA SO SÍDLOM V TRNAVE



ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Fakulta bezpečnostného
inžinierstva



STÖBICH®

3MON
RESCUE PARTNER

HERMES
Lab Systems

Promat



Názov

**Zborník príspevkov z XIII. medzinárodnej vedeckej konferencie
Advances in Fire & Safety Engineering 2024
Recenzovaný zborník príspevkov**

Editori

**Martin Zachar
Alena Párničanová
Matej Babic**

Recenzenti zborníka

**Všetky príspevky sú pôvodnými vedeckými prácami. Každý príspevok v zborníku bol recenzovaný dvomi členmi vedeckého výboru konferencie.
Za jazykovú úpravu jednotlivých príspevkov zodpovedajú autori.**

Rok vydania

2024

Náklad

**20 kusov
Online**

Tlač

Vydavateľstvo TU vo Zvolene

ISBN

ISBN 978-80-228-3443-8



Nad konferenciou prevzali patronát

rektor Technickej univerzity vo Zvolene

Dr. h. c. prof. Ing. Rudolf Kropil, PhD.

prezident Hasičského a záchranného zboru

plk. Ing. Adrián Mifkovič



Vedecký garant

doc. Ing. Martin Zachar, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

Vedecký výbor

prof. Dr. Restás Ágoston, PhD., PhD. – Ludovika University of Public Service, HU

Dr. habil. Péter Pántya, PhD. – Ludovika University of Public Service, HU

prof. Qiang Xu – Nanjing University of Science and Technology, CN

Mgr. Marek Tomašík, Ph.D. – Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, CZ

prof. Ing. Bc. Linda Makovická Osvaldová, PhD. – Žilinská univerzita v Žiline, SR

doc. Ing. Jozef Svetlík, PhD. – Žilinská univerzita v Žiline, SR

JUDr. Elena Vavrová, PhD. – Stredná škola požiarnej ochrany, SR

prof. Ing. Maroš Soldán, PhD. – Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR

prof. Ing. Jozef Martinka, PhD. – Slovenská technická univerzita v Bratislave, SR

prof. Bc. RNDr. Danica Kačíková MSc., PhD. – Technická univerzita vo Zvolene, SR

prof. Bc. Ing. Andrea Majlingová, MSc., PhD. – Technická univerzita vo Zvolene, SR

doc. Ing. Martin Zachar, PhD. – Technická univerzita vo Zvolene, SR

Organizačný výbor

Ing. Iveta Mitterová, PhD.

Ing. Elena Kmeťová, PhD.

Ing. Alena Párničanová

Ing. Matej Babic

Ing. Bibiána Kuklicová

Danka Ľuptáková

Danica Hanáková

Zuzana Volková



Obsah

Matej Babic, Martin Zachar, Peter Krušínský, Linda Makovická Osvaldová, Danica Kačíková

POSÚDENIE VPLYVU VEKU DREVA SMREKOVCA OPADAVÉHO NA JEHO HORĽAVOSŤ.9

Viktória Barna, Andrea Majlingová

NEBEZPEČENSTVO VZNIKU POŽIAROV V SMREKOVÝCH PORASTOCH SLOVENSKA.....22

Dávid Boráros, Stanislava Gašpercová

**VPLYV SÁLAVÉHO ZDROJA NA TEPELNÚ DEGRADÁCIU VYBRANÝCH
TEPELNOIZOLAČNÝCH MATERIÁLOV.....34**

Dušan Bóna, Iveta Marková, Jozef Svetlík

**EXPERIMENTÁLNE OVERENIE SORPCIE VYBRANÝCH LÁTOK POMOCOU PERLITU
A VAPEXU.....45**

Iveta Coneva, Iveta Marková, Michal Huliak

PRACHY A ICH DISPERZITA.....59

Dorota Hodúlová, Stanislava Gašpercová, Michal Ballay

URČOVANIE ODSUPOVÝCH VZDIALENOSTÍ OD STAVIEB POŽIARNYMI MODELMI.....73

Michal Huliak, Iveta Marková, Stanislava Gašpercová

**POŽIARNA OCHRANA VYBRANÝCH HISTORICKÝCH DREVENÝCH SAKRÁLNYCH STAVIEB
V OKRESE SNINA.....85**

Elena Kmeťová, Danica Kačíková

VPLYV RETARDAČNEJ ÚPRAVY NA TERMICKÚ ODOLNOSŤ DREVA.....103

Bibiána Kuklicová, Martin Zachar, Stanislava Gašpercová

POŽIAROVOSŤ GARÁŽÍ A ELEKTROMOBILITA.....112

Jozef Martinka, Peter Rantuch, Igor Wachter, Tomáš Štefko, Renáta Kutláková

PREDIKCIA BODU VZPLANUTIA VYBRANÝCH ALKOHOLOV.....130

Iveta Mitterová, Ľuboslava Hrehorová

**MATERIÁLY PRE PODHLADOVÉ SYSTÉMY HODNOTENÉ Z PROTIPOŽIARNEHO
HĽADISKA.....144**

Eva Mračková, Filip Eperješi

HODNOTENIE HYBRIDNEJ ZMESI PODĽA LE CHATELIERA A BARKNECHTA.....154



Alena Párničanová, Martin Zachar, Eva Spitzkopfová, Danica Kačíková STANOVENIE RÝCHLOSTI TVORBY ZUHOĽNATEJ VRSTVY SMREKOVÉHO TERMODREVA.....	170
Peter Rantuch, Jozef Martinka KOMPLIKÁCIE PRI URČOVANÍ ČASU UKONČENIA PLAMENNÉHO HORENIA LIGNOCELULÓZNYCH MATERIÁLOV.....	182
Vivianna Rédvaiová, Dominik Špilák ZIŠŤOVANIE TEPLoty UHOĽNATENIA DREVA POMOCOU SOFTVÉRU ANSYS.....	192
Daniela Ridzoňová, Andrea Majlingová PRÍPRAVA OBYVATEĽSTVA PRE PRÍPAD LESNÝCH POŽIAROV.....	204
Zuzana Szabová, Richard Kuracina, László Kosár ŠTÚDIUM VÝBUŠNOSTI PLYNOV PRACHOV, A HYBRIDNÝCH ZMESÍ.....	219
Ľudmila Tereňová, Katarína Dúbravská PROTIPOŽIARNA BEZPEČNOSŤ DREVOSTAVIEB V SR.....	226
Marianna Tomašková, Anna Vrabeľová, Silvia Maláková HYDRAULICKÁ PLOŠINA A JEJ VÝZNAM PRI ZÁSAHOVE ČINNOSTI HASIČSKÉHO A ZÁCHRANNÉHO ZBORU.....	243
Veronika Veľková, Nikoleta Ulbriková VZNIK PRCHAVÝCH PRODUKTOV PRI TERMICKEJ DEGRADÁCII DREVA.....	258
Iveta Čabalová, Tatiana Bubeníková, Anna Darabošová, Martin Zachar THE EFFECT OF THE TYPE OF PLASTIC FILLER IN PARTICLEBOARD ON CHANGES IN ITS FIRE PROPERTIES.....	265



**POSÚDENIE VPLYVU VEKU DREVA SMREKOVCA
OPADAVÉHO NA JEHO HORĽAVOSŤ**
**ASSESSMENT OF THE IMPACT OF AGE OF EUROPEAN
LARCH WOOD ON IT'S FLAMMABILITY**

Matej BABIC¹ - Martin ZACHAR¹ - Peter KRUŠINSKÝ² - Linda MAKOVICKÁ
OSVALDOVÁ³ - Danica KAČÍKOVÁ¹

¹Technická univerzita vo Zvolene Katedra protipožiarnej ochrany, T. G. Masaryka
24 960 01 Zvolen, Slovenská republika, xbabicm1@is.tuzvo.sk, zachar@is.tuzvo.sk,
kacikova@is.tuzvo.sk

²Žilinská univerzita v Žiline Katedra pozemného staviteľstva a urbanizmu, Univerzitná
8215/1 010 26 Žilina, Slovenská republika, peter.krusinsky@uniza.sk

³Žilinská univerzita v Žiline Katedra požiarneho inžinierstva, Ul. 1. mája 010 26 Žilina,
Slovenská republika, linda.makovicka@uniza.sk

Abstract

The aim of the work is to determine the flammability of selected wood originating from beams of historical structures and compare it with the fire reaction of selected wood that was harvested recently. The selected wood comes from European larch (*Larix decidua* Mill) and was classified into three historical groups and one new group that served for comparison of flammability. The flammability is represented by two parameters: relative burning rate and ignition temperature. Based on a non-standard procedure, data on mass loss were measured, from which the relative burning rate was subsequently calculated. A standard procedure, conducted according to the STN ISO 871:2010 standard, was used to determine the ignition temperature. The sample groups, aged 615 and 588 years, achieved almost identical maximum burning rates of 0.050 and 0.053 %·s⁻¹, respectively. The maximum ignition temperature of 440 °C was recorded for the group of new samples, while the lowest ignition temperature of 424 °C was recorded for the group of samples aged 535 years. These results showed slightly higher flammability of the historical samples compared to the new ones.

Keywords: *historical wood, material testing, relative burning rate, ignition temperature.*



ÚVOD

Drevo je jedným z človekom najviac využívaných materiálov vôbec. V dejinách ľudstva bolo využívané v prvopočiatkoch prevažne ako palivo. V časoch neskorších našlo drevo uplatnenie ako materiál stavebný o čom svedčí aj množstvo historických budov a objektov. Pre vhodné vlastnosti dreva ako stavebného materiálu sa mnohé, z týchto objektov zachovalo až dodnes. K týmto vlastnostiam zaraďujeme ku príkladu dobrú únosnosť v tlaku či ťahu pri pomerne nízkej objemovej hmotnosti, nízku zvukovú a tepelnú vodivosť a ľahkú opracovateľnosť. Okrem vlastností dreva vplyva na jeho trvácnosť aj spôsob akým s ním zaobchádzame a v akých podmienkach sa daný drevený stavebný prvok nachádza. Dnes už je všeobecne známe, že nátery predlžujú životnosť dreva, pričom v minulosti sa na tieto účely používala napríklad býčia krv. Pri správnom zaobchádzaní má drevo dlhú životnosť o čom svedčia aj doposiaľ zachované historické oltáre, sochy, kostoly, časti hradov a zámkov, či celé drevené stavby. Na našom území sú historické drevené konštrukcie najväčšmi situované v regiónoch Kysúc, Oravy, Horehronia a Spišu, kde majú dlhú tradíciu. Možno v nich nájsť drevené kostoly, či celé dediny z dreva [1]. Značné množstvo z týchto historických objektov je v súčasnosti aj kultúrnymi pamiatkami, ktoré majú miestny, regionálny či celoštátny význam. Na ochranu týchto objektov je mnohokrát pomýšľané, až keď vplyvom požiaru stratíme niektorú z nich. Historické vzorky použité na účely naplnenia cieľa tohto príspevku pochádzajú prevažne z oblasti Turca [2].

Aj napriek nízkemu percentuálnemu zastúpeniu požiarov historických objektov, čo sa týka podielu v rámci štatistík požiarovosti je ich dopad pre spoločnosť značný. Vysporiadanie s následkami takýchto požiarov stojí okrem úsilia aj nezanedbateľné množstvo finančných prostriedkov [3]. Ku príkladu požiar hradu Krásna hôrka v Krasnohorskom Podhradí, Katedrály Notre-Dame v Paríži, či požiar chaty Libušín nedaleko obce Trojanovice (Pustevny). Aj kvôli týmto prípadom je potrebné zisťovať a overovať ako vplyva opotrebovanie dreva spôsobené vekom na jeho odolnosť voči tepelnému namáhaniu. Iba takýmto spôsobom získame lepšiu predstavu o spôsobe možnej iniciácie, či príspevku historického dreva k ďalšiemu rozvoju požiaru čo je v praxi možné využiť aj pri zisťovaní príčin vzniku požiaru [1].



To aký má vplyv vek dreva ako faktor ovplyvňujúci jeho požiarne vlastnosti nie je presne určené. Od momentu vyťaženia sa dejú zmeny vnútornej štruktúry dreva. Mení sa jeho vlhkosť a hustota čo priamo vplýva aj na požiarne vlastnosti. Vek dreva resp. čas je faktor, ktorý môžeme vnímať ako súbor príležitostí pôsobenia rôznych činiteľov vplývajúcich na zmenu vlastností dreva, ktoré priamo vplývajú na jeho požiarne vlastnosti. Je teda podstatné akým podmienkam sú drevo a z neho zhotovené drevené stavebné prvky vystavované a teda aké činitele poškodzujúce drevo pôsobia. Poznáme biotické a abiotické činitele poškodzujúce drevené stavebné prvky. Pod biotickými činiteľmi rozumieme prítomnosť škodcov degradujúcich drevo svojou prirodzenou činnosťou. Zaraďujeme sem drevokazné huby, drevokazný hmyz a vtáky a cicavce. Medzi abiotické činitele zaraďujeme pôsobenie tepla, svetla, kyselín a zásad a mechanických častíc [4].

Zisťovaniu ako sa správa historické drevo v pri jeho vystavení zvýšenej teplote sa venovalo viacero autorov. Otto a kol. 2017 [5] porovnávali správanie sa vzoriek historického dreva so vzorkami lepeného lamelového a dyhového dreva. Porovnaním hĺbky zuhoľnatej vrstvy a šírenia plameňa po povrchu zistili, že historické drevo má čo sa zvolených parametrov týka podobnú požiaru odolnosť ako súčasne využívané lepené lamelové a dyhové drevo. Zhou a kol. [6] venovali pozornosť porovnaniu dreva opotrebovaného (zvetraného) poveternostnými podmienkami počas rokov s takto neopotrebovaným drevom. Ich výsledky ukázali, že drevo opotrebované poveternostnými podmienkami vykázalo vyššie maximálne rýchlosti uvoľňovania tepla (peak heat release rate), celkové množstvo uvoľneného tepla (total heat release) a kratšie časy zapálenia [7].

V súvislosti porovnaním odolnosti historického dreva a nového dreva voči tepelnému namáhaniu bol vykonaný experiment. Tepelné namáhanie je pre účely porovnania reprezentované relatívnou rýchlosťou odhorievania a teplotou vznietenia. Údaje o relatívnej rýchlosti odhorievania boli získané na základe vykonania nenormovej testovacej metódy. Údaje o teplote vznietenia boli získané na základe normovej testovacej metódy vykonanej podľa STN ISO 871:2010.



EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Použitý materiál

Na experiment boli použité vzorky pochádzajúce z dreva smrekovca opadavého (*Larix decidua Mill*). Smrekovec je z ekonomického a tradičného hľadiska podstatný druh stromu v Európe. Je to spôsobené vďaka jeho prirodzenosti rýchleho rastu a dobrej schopnosti adaptovať sa podmienkam (klimatickým a pod.). Drevo smrekovca je tvrdé a cenené hlavne kvôli trvanlivosti. Dobrá trvanlivosť tohto dreva vyplýva zo zvýšenej koncentrácie trieslovín (až do 10 %), a zo zvýšeného obsahu živice (približne 2,6 %). Kvôli týmto vlastnostiam sa v minulosti využívalo na stavbu drevených obydí, rôzneho interiérového vybavenia [8].

Vzorky boli zatriedené do skupín 1 až 4, pričom vzorky zaradené do skupín 1 až 3 pochádzali z krovov historických objektov a vzorky zaradené do skupiny 4 pochádzali z nedávno vyťaženého stromu. Údaje o jednotlivých skupinách vzoriek sú uvedené v tabuľke 1. Každá skupina, ktorá bola použitá na vykonanie nenormovej testovacej metódy pozostávala z 5 vzoriek, z ktorých každá mala označenie podľa danej skupiny a doplnkového písmena A, B, C, D alebo E.

Tabuľka 1 Zatriedenie vzoriek do skupín [2,9]

Table 1 Classification of samples into groups [2,9]

Skupina vzoriek	Obdobie od vyťaženia (roky)	Pôvod dreva	Objekt
1.	615	Bela Dulice	Rímskokatolícky Kostol Najsvätejšieho tela Kristovho [2]
2.	588	Socovce	Rímskokatolícky Kostol Narodenia Panny Márie (krov nad svätyňou) [2]
3.	535	Okoličné	Kostol svätého Petra z Alkantary (krov nad loďou) [9]
4.	3	TIMBERWOOD SK	Lesy SR

Vek skupín vzoriek 1 a 3 bol určený dendrochronologicky. Vek skupiny vzoriek 2 bol určený na základe zápisov z archívov a iných záznamov o danom objekte. Vzorky použité na nenormovú testovaciu metódu boli zhotovené na rozmery 200 x 100 x 20 mm,



pričom pri ich tvorbe sa dbalo na to aby ich bolo možné vystaviť pôsobeniu plameňa v rovnakom smere dreva. Vzorky, ktoré boli použité na skúšanie normovou testovacou metódou boli vymanipulované podľa normy STN ISO 871 20 ± 2 mm x 20 ± 2 mm. Výška každej vzorky závisela od jej hustoty, keďže podľa požiadaviek normy musela každá vzorka mať hmotnosť 3,0 g ± 0,2 g [11].

Pred vykonaním experimentu bola gravimetricky zistená hustota vzoriek. Vlhkosť vzoriek bola zmeraná pomocou prístroja Voltcraft FM-300. Údaje o vlhkosti a hustote vzoriek sú uvedené v tabuľke 2.

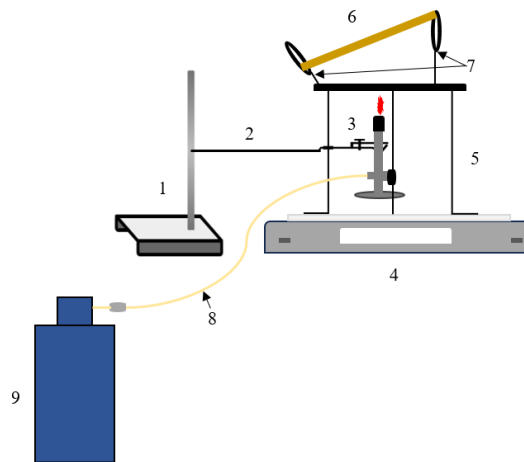
Tabuľka 2 Vlhkosť a priemerná hustota jednotlivých skupín vzoriek

Table 2 Moisture and average density of individual groups of samples

Skupina vzoriek	1.	2.	3.	4.
Vlhkosť (%)	8,3 ± 1	8,3 ± 1	8,4 ± 1	8,6 ± 1
Priemerná hustota (kg/m ³)	710 ± 50	658 ± 50	653 ± 50	691 ± 50

Nenormová testovacia metóda - stanovenie relatívnej rýchlosti odhorievania

Výstupom nenormovej testovacej metódy bol úbytok na hmotnosti, z ktorého sme pomocou výpočtu získali relatívnu rýchlosť odhorievania. Zistili sme počiatočnú hmotnosť vzoriek m_0 . Následne bola vzorka vložená do vopred pripravenej aparatúry znázornenej na obr. 1. Aparatúra pozostávala z 1 - laboratórny stojan, 2 - držiak, 3 - plynový kahan, 4 - váhy, 5 - trojnožka, 6 - vzorka, 7 - železný kruh, 8 - plynová hadica, 9 - propán-butánová tlaková nádoba. Vzorky boli vystavované pôsobeniu plameňa vysokého 80 ± 5 mm pod uhlom 45°. Každá testovaná vzorka bola pozorovaná po dobu 480 s, pričom bola zapisovaná jej hmotnosť v intervale 15 s. Po uplynutí 180 s bol vypnutý plameň plynového kahana a po zvyšok času sa sledovalo ubúdanie na hmotnosti bez jeho pôsobenia. Okrem rýchlosti odhorievania bola po vychladnutí vzoriek určená priemerná výška zuhoľnatenej vrstvy.



Obrázok 1 Jednoduchá schéma aparatury

Figure 1 Simple diagram of the apparatus

Na výpočet úbytku na hmotnosti (1), relatívneho úbytku na hmotnosti (3) a následne relatívnej rýchlosti odhorievania (2) sme použili nasledovné vzorce:

$$\Delta m(T) = \frac{m_0 - m(T)}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

kde:

- $\Delta m(T)$ úbytok na hmotnosti (%),
- m_0 pôvodná hmotnosť (g),
- $m(T)$ hmotnosť (g) v čase T

$$v_r = \frac{\delta_m(T)}{\Delta T} \quad (2)$$

kde:

- v_r relatívna rýchlosť odhorievania (%.s⁻¹),
- $\delta_m(T)$ relatívny úbytok na hmotnosti v čase T (%),
- ΔT časový interval, v ktorom sa odčítavajú hmotnosti,

$$\delta_m(T) = \frac{m(T) - m(T + \Delta T)}{m(T)} \times 100 \quad (3)$$



kde:

- $\delta_m(T)$ relatívny úbytok na hmotnosti v čase T (%),
- $m(T)$ hmotnosť vzorky v čase T (g),
- $m(T + \Delta T)$ hmotnosť vzorky v čase T + ΔT (g) [11].

Normová testovacia metóda - STN ISO 871:2010

Na základe STN ISO 871:2010 boli získané údaje o teplote vznietenia. Podľa tejto normy je teplota vznietenia definovaná ako najnižšia teplota, pri ktorej za definovaných podmienok skúšky nastane vznietenia zahrievaním, bez prítomnosti akéhokoľvek prídavného zdroja zapálenia. Meracím zariadením je tzv. Setchkinova pec. Ide o teplovzdušnú pec, ktorá dokáže zahrievať zvolený materiál na požadovanú teplotu. Skladá sa z telesa pece, vykurovacej jednotky, termočlánkov, zdroja vzduchu, držiaka na vzorky a regulátora ohrevu. Termočlánky sú priemeru 0,5 mm zo zliatiny nikel-chróm-nikel (typ K). Celkovo sa v peci nachádzajú tri termočlánky s označením TC₁, TC₂ a TC₃. Termočlánok TC₁ meria teplotu T₁, ktorá reprezentuje teplotu vzorky. Termočlánok TC₂ meria teplotu T₂, ktorá je teplotou vzduchu prúdiaceho okolo vzorky. Termočlánok TC₃ meria teplotu T₃, ktorá je teplotou vykurovacej špirály [11].

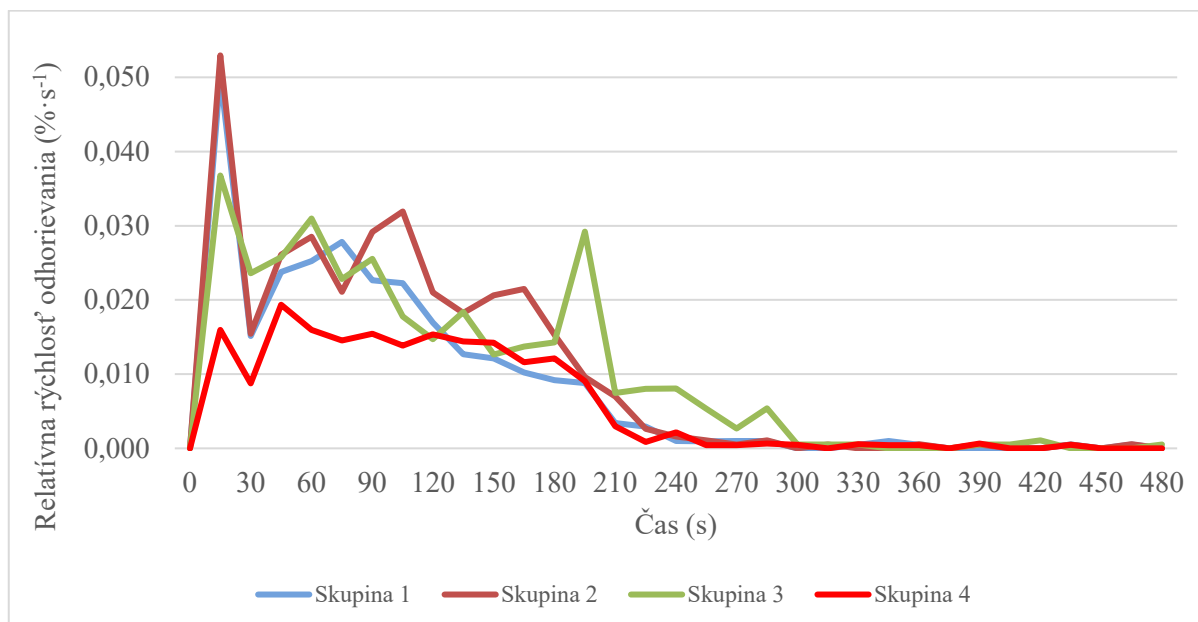
Teplota vznietenia sa určí na základe stanovenia teplotného rozpätia. Teplotné rozpätie sa stanoví podľa východiskovej teploty pre daný materiál. V našom prípade sme vychádzali z práce Mitterovej a kol. [12], na základe ktorej sme východiskovú teplotu určili na 400 °C. Ak pri tejto teplote nedošlo k vznieteniu zvýšili sme teplotu T₃ o 50 °C (ak by došlo k vznieteniu tak by sme teplotu znížili). Pokiaľ pri zvýšenej teplote došlo k vznieteniu stanovili sme teplotné rozpätie, v rámci ktorého sme teplotu T₃ znižovali vždy o 10 °C až po opakovanie kedy ku vznieteniu vzorky už nedošlo. Teplotou vznietenia bola určená tá teplota T₂, pri ktorej ešte v rámci teplotného rozpätia danej skupiny vzoriek došlo k vznieteniu.



VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky nenormovej testovacej metódy – stanovenie relatívnej rýchlosti odhorievania

Na základe vykonania nenormovej testovacej metódy sme získali údaje o priemernej relatívnej rýchlosti odhorievania historických skupín vzoriek dreva a novej skupiny vzoriek. Získané údaje sú znázornené na obr. 3. Z daného obrázka je jasne vidieť, že historické skupiny vzoriek mali vyššiu rýchlosť odhorievania takmer v každom momente vykonávania nenormovej testovacej metódy. Z čoho môžeme usudzovať ich zníženú odolnosť voči tepelnému namáhaniu plameňom a ich zvýšený príspevok k rozvoju požiaru. Ďalej môžeme vidieť takmer rovnaký priebeh kriviek skupín vzoriek 1 a 2 v časovom intervale od 0 po 90 s. Z obrázka je taktiež viditeľný čas odstavenia plameňa (180 s), kedy relatívne rýchlosti odhorievania všetkých skupín vzoriek klesli. Pri skupine 4 je zrejmé, že vzorky po odstavení plameňa nepokračovali vlastným horením na rozdiel od vzoriek skupiny 3. Maximálna priemerná relatívna rýchlosť odhorievania bola zaznamenaná pri vzorkách skupiny 2 a síce $0,053 \% \cdot s^{-1}$ v čase 15 s.



Obrázok 2 Priemerné relatívne rýchlosti odhorievania

Figure 2 The average relative burning rates



Výsledky normovej testovacej metódy - STN ISO 871:2010

Na základe vykonanie normovej testovacej metódy sme získali údaje o teplote vznietenia všetkých skupín vzoriek. Dané údaje sú uvedené v tab. 3. Okrem teplôt vznietenia sú v tab. 3 uvedené aj údaje o priemernej výške zuhoľnatej vrstvy (po nenormovej testovacej metóde) a úbytku na hmotnosti jednotlivých skupín vzoriek (po normovej testovacej metóde). Z tab. 3 jasne vyplýva, že plameň prenikol najhlbšie do vzoriek skupiny 2, pričom do skupín 1, 3 a 4 prenikol podobnou mierou. Čo sa teplôt vznietenia týka je jasne vidieť, že historické skupiny vzoriek majú teploty vznietenia nižšie ako skupina 4. Z toho môžeme usudzovať o niečo nižšiu odolnosť historických skupín vzoriek voči iniciácií sálavým zdrojom tepla.

Tabuľka 3 Údaje o zuhoľnatej vrstve a výsledky získané STN ISO 871

Table 3 Data on the charred layer and results obtained according to STI ISO 871

Skupina vzoriek	Priemerná hĺbka zuhoľnatej vrstvy (mm)	Úbytok na hmotnosti (%)	Skúšobná teplota T ₃ (°C)	Teplota vznietenia T ₂ (°C)	Čas vznietenia (min:s)	Opis
1.	3,0	77,38	440	431	4:23	4:23 výbuch bez plameňa, 4:29 výbuch plameň od 6:30 tlenie
2.	3,7	80,47	430	432	4:30	4:32 výbuch plameň, 6:13 žeravenie
3.	3,1	77,40	430	424	5:16	5:16 výbuch plameň, 6:30 tlenie, 7:30 tlenie
4.	2,9	79,24	440	440	4:42	4:42 výbuch plameň, od 6:30 tlenie



Podobnej problematike sa venovali aj Zachar a kol., 2017 [1]. Zaoberali sa rovnako porovnaním teploty vznietenia historických a nových drevín, pričom testovali Dub zimný (*Quercus petraea Mattusch*). Určili teploty vznietenia, 399,56 °C pre 5 rokov staré vzorky a 398,93 °C pre 160 rokov staré vzorky. Pri prihliadnutí na rozdielny druh testovaných drevín, môžeme vidieť, že nimi získané výsledky sú porovnateľné s nami nameranými výsledkami čo sa teplôt a časov vznietenia týka. Danej problematike sa tiež venovali aj Zachar a kol., 2021 [13]. Zaoberali sa, okrem iného porovnaním teploty vznietenia a rýchlosti odhorievania pre vekovo rôzne (0, 10, 40, 80 a 120 rokov) vzorky Dubu letného (*Quercus robur L.*). Výsledky teplôt vznietenia sú opäť porovnateľné s našimi. Teplota vznietenia pre 80 a 120 ročné vzorky bola o niečo nižšia ako pre 0 a 10 rokov staré vzorky. Údaje o rýchlosti odhorievania nenasvedčujú nami nameranému trendu, pretože títo autori určili najvyššie rýchlosti odhorievania pre 0 a 10 rokov staré vzorky. Vzorky 40, 80 a 120 rokov staré mali rýchlosti odhorievania nižšie alebo porovnateľné so vzorkami starými 0 a 10 rokov počas celého trvania experimentu. Tento nesúlad výsledkov mohol byť spôsobený rozdielnym druhom testovanej dreveniny a rozdielnym metodickým postupom.

Vo všeobecnosti sa vplyvom veku dreva na jeho požiarne vlastnosti zaoberali okrem iných aj Wang a kol. [14] a Chorlton a Gales [15]. Wang a kol. [14] testovali malý počet vzoriek dreva pochádzajúcich z starovekých čínskych chrámov. Namerané výsledky na základe času zapálenia, rýchlosti uvoľňovania tepla (HRR) a rýchlosti zuhoľnatenia nasvedčujú nižšej odolnosti historického dreva v porovnaní s novým drevom. Chorlton a Gales [15] porovnávali požiarne odolnosť historického dreva z 19. storočia a moderného lepeného lamelového dreva. Rýchlosti zuhoľnatenia a nižšie časy zapálenia opäť ukázali nižšiu odolnosť historického dreva.

Vzhľadom na to, akým je drevo materiálom a aké množstvo faktorov vplýva na jeho požiarne vlastnosti, je náročné priamo určiť závislosť týchto vlastností od veku dreva. Rozdiely vo výsledkoch týkajúcich sa hĺbky zuhoľnatej vrstvy, ktoré zistili Chorlton a Gales [15], medzi historickým a novým drevom, môžu byť tiež pripisované vyššej hustote lepeného lamelového dreva, pričom ostatné faktory ovplyvňujúce požiarne vlastnosti dreva, ako druh dreva, veľkosť vzorky a vlhkosť, zostali nezmenné. Taktiež nie



je zrejmé, či historické drevo bolo alebo nebolo ošetrované nátermi čo by taktiež odôvodňovalo vyššie hodnoty hĺbky zuhoľnatej vrstvy [15, 16].

ZÁVER

Na základe vykonaných experimentov sme porovnali horľavosť vybraných vzoriek dreva smrekovca opadavého (*Larix decidua Mill*) z historických stavieb a nového dreva. Na základe výsledkov je zrejmé, že historické vzorky vykazujú mierne vyššiu horľavosť v porovnaní s novými vzorkami, pričom maximálne rýchlosti odhorievania dosiahli skupiny vzoriek 1 a 2 a síce $0,050 \text{ \%} \cdot \text{s}^{-1}$ a $0,053 \text{ \%} \cdot \text{s}^{-1}$. Teploty vznietenia sa pohybovali od $424 \text{ }^\circ\text{C}$ pre najstaršie vzorky po $440 \text{ }^\circ\text{C}$ pre nové drevo. Tieto údaje naznačujú, že vek dreva môže ovplyvniť jeho reakciu voči tepelnému namáhaniu. Historické skupiny vzoriek sú na základe nižších teplôt vznietenia menej odolné čo sa týka ich iniciácie sálavým zdrojom tepla. Na základe vyšších hodnôt rýchlosti odhorievania prispievajú historické skupiny vzoriek svojím tepelným rozkladom rozvoju požiaru vyššou mierou ako nová skupina vzoriek. Výsledky tohto výskumu sú dôležité pre ochranu historických objektov, pretože umožňujú lepšie porozumieť ich reakciám na tepelné namáhanie a potenciálnym rizikám spojeným s požiarimi historických objektov.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená projektom VEGA č. 1/0115/22 Komplexný prístup k štúdiu zmien parametrov požiaru s využitím progresívnych analytických a testovacích metód.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] ZACHAR, M. a kol. 2017. Influence of an age and damage of the oak wood on its fire risk. In *Wood research*. ISSN 1336-4561, 2017, roč. 63, č. 3, s. 495-504.
- [2] SUCHÝ, Ľ. a kol. 2008. HISTORICKÉ KROVY sakrálnych stavieb Turca. 1. Miroslav Gibala, KNM v roku 2008. 102 s. ISBN 978-80-968847-9-7.
- [3] Štatistika požiarovosti, Požiarnotechnický a expertízny ústav MV SR v Bratislave, Požiarovosť v historických a cirkevných budovách a objektoch za roky 2009 až 2022. 2024.



- [4] SUCHÝ, Ľ. a kol. 2010. *HISTORICKÉ KROVY v regiónoch Oravy a Kysúc*. 1. Žilina: Miroslav Gibala KNM v roku 2010. 224. ISBN 978-8-970171-1-8.
- [5] OTTO, Arlin; TODD, Hailey; GALES, John. Mass heritage timber performance in fire. [online]. In: *6th Int. Conf. Eng. Mech. Mater.* 2017 [2024-10-8]. Dostupné na: https://legacy.csce.ca/elf/apps/CONFERENCEVIEWER/conferences/2017/pdfs/EMM/FinalPaper_591.pdf
- [6] ZHOU, Biao, et al. Experimental study on fire performance of weathered cedar. [online]. *International Journal of Architectural Heritage*, 2019 [2024-10-8]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1501115>
- [7] GARCIA-CASTILLO, Ester; PAYA-ZAFORTEZA, Ignacio; HOSPITALER, A. Fire in heritage and historic buildings, a major challenge for the 21st century. [online]. *Developments in the Built Environment*, 2023, 13: 100102 [2024-10-8]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2022.100102>
- [8] SAN-MIGUEL-AYARZ, J. , DE RIGO, D., CAUDULLO, G., HOUSTON DURRANT, T. MAURI, A. (Eds.), 2016. *European Atlas of Forest Tree Species*. Luxemburg: Publication Office of the European Union. 196 s. ISBN 978-92-76-17291-8.
- [9] KRUŠINSKÝ, Peter a kol. 2012. Strechy a krovové konštrukcie nad Kostolom sv. Petra z Alkantary a kláštorom františkánov v Okoličnom. In: *Monument revue: Časopis Pamiatkového úradu SR na prezentovanie vedeckého poznávania kultúrneho dedičstva*. 2012, 1, 2, s. 26-28. ISSN 1338-807X.
- [10] MITTRENGA, Patrik. 2015. *Vyhodnotenie úbytku na hmotnosti a rýchlosti odhorievania ako parametra testovania sadrokartónových dosiek po vystavení tepelnému namáhaniu*. In: *Krízový manažment* [online]. 2015, roč. 14, č. 2, s. 22-27. [cit. 2024-09-21]. ISSN 1336-0019. Dostupné na: https://fbi.uniza.sk/uploads/Dokumenty/casopis_km/archiv/2015_02/07%20Mitrenga.pdf
- [11] STN ISO 871: 2010, *Plasty Stanovenie zápalnosti v teplovzdušnej peci*.



- [12] MITTEROVÁ, I. a kol. 2012. Vybrané požiarotechnické charakteristiky smrekového dreva. In: *SPEKTRUM*. [online]. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2012. [cit. 2024-09-21]. Dostupné na:
https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/132541/Spektrum_2012_1_9_Mitterova.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [13] ZACHAR, M.; ČABALOVÁ, I.; KAČÍKOVÁ, D.; JURCZYKOVÁ, T. Effect of Natural Aging on Oak Wood Fire Resistance. [online]. In *Polymers*. 2021, 13, 13 [2024-09-23]. ISSN 2073-4360. Dostupné na: https://www.mdpi.com/2073-4360/13/13/2059?type=check_update&version=1#
- [14] WANG, Y, a kol. Burning characteristics of ancient wood from traditional buildings in Shanxi province, China. [online]. In: *Forests*, 2022, 13.2: 190 [2024-10-2]. Dostupné na: <https://doi.org/10.3390/f13020190>
- [15] CHORLTON, Bronwyn; GALES, John. Fire performance of cultural heritage and contemporary timbers. [online]. In: *Engineering Structures*, 2019, 201: 109739 [2024-10-2]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.109739>
- [16] ULDRY, Aline, a kol. A Review of the Applicability of Non-destructive Testing for the Determination of the Fire Performance of Reused Structural Timber. [online]. In: *Journal of Nondestructive Evaluation*, 2024, 43.4: 106 [2024-10-2]. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s10921-024-01120-6>



NEBEZPEČENSTVO VZNIKU POŽIAROV V SMREKOVÝCH PORASTOCH SLOVENSKA FIRE DANGER IN SPRUCE STANDS IN SLOVAKIA

Viktória BARNA¹ - Andrea MAJLINGOVÁ¹

¹Katedra protipožiarnej ochrany, Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene,
T. G. Masaryka 24, 960 01, Zvolen, xhaburcakova@is.tuzvo.sk,
majlingova@is.tuzvo.sk

Abstract

Spruce stands are one of the dominant types found in the Central Europe region and we have recently seen an increase in the number of extensive forest fires in this stand type, which can pose a significant threat to our environment and forestry. The aim is focused on the analysis of the fire danger in spruce stand, aiming to evaluate the factors influencing the occurrence and spread of fire in spruce stand, with the need to propose measures to reduce risk and consequences of fire in this type of stand. During the research, a field survey was carried out to collect samples, which were dried and subsequently subjected to laboratory tests. Their ignitability, which was dependent on the moisture content of the samples, was monitored, as well as their mass loss. One of the main results was that none of the initiation sources we used had the required initiation energy to ignite spruce budwood even at zero moisture content. The greatest mass loss, thus, was observed for the samples with 30% moisture content and accounted for approximately 50% of their initial mass. The contribution of this work is to provide new knowledge about fire danger in spruce stands, to propose effective measures to reduce the risk of fire and its subsequent consequences. The results of the work are relevant to firefighters, foresters and environmentalists.

Keywords: *Spruce litter, forest fire, ignitability, moisture content*



ÚVOD

Lesné požiare sú v poslednom období stále väčším a väčším problémom na celom svete. V posledných rokoch boli lesné požiare čoraz častejšie zaznamenané a postihovali veľkú časť krajín. V roku 2023 lesné požiare postihli nie len európske štáty ako Grécko, Španielsko, Portugalsko, či Sardíniu, no postihli aj štáty ako Kanadu, Spojené štáty americké alebo Austráliu [1].

Faktory, ktoré prispievajú k zvýšeniu výskytu a intenzity lesných požiarov je viacero, a to napríklad klimatická zmena, ktorú sprevádza teplejšie a suchšie počasie, ktoré vytvára oveľa priaznivejšie prostredie, pre šírenie lesného požiaru. Ďalším faktorom je taktiež aj odlesňovanie a poľnohospodárstvo, ktoré spôsobuje rozpad, alebo rozdelenie lesov, čím vytvárajú ďalšie palivo pre lesné požiare [2,3].

Lesné požiare nezanechávajú následky len na životnom prostredí, ale taktiež aj na ekonomike a ľudskom zdraví. Keďže lesy sú sužované požiarom, má to za následok stratu biotopov pre živočíchy, taktiež aj uvoľňovanie skleníkových plynov do atmosféry. Lesné požiare môžu taktiež spôsobovať zdravotné, ale aj respiračné problémy a tiež škodiť kvalite ovzdušia. Po ekonomickej stránke sa pri lesných požiaroch nachádzajú v lesoch straty súvisiace so stratami na majetku, poklesom turizmu, alebo nákladmi spojenými na obnovu lesa.

Na to, aby sme mohli znížiť výskyt a riziko lesného požiaru musíme prijať niektoré opatrenia ako napríklad manažovať lesy s cieľom minimalizovať riziko požiarov a zároveň zachovať ich biodiverzitu, taktiež vylepšiť prevenciu na potlačanie požiarov. To by zahŕňalo aplikovať zariadenia a systémy na skorú detekciu požiarov a rýchle nasadenie síl a prostriedkov.

ROZBOR PROBLEMATIKY

Lesný požiar možno opísať ako akékoľvek nekontrolovateľné a nepredvídateľné horenie alebo vypaľovanie rastlín v prírodnom prostredí, ako je les, lúka, krovinná pôda, ktoré spotrebúva prírodné palivá a šíri sa na základe podmienok prostredia, ako je vietor alebo topografia. Požiar v prírodnom prostredí môže byť podmienený



ľudskou činnosťou, napríklad vyklčovaním pôdy, extrémnym suchom alebo v zriedkavých prípadoch bleskom. Na to, aby vznikol lesný požiar, musia byť prítomné 3 podmienky: palivo, vzdušný kyslík a zdroj tepla. Ako lesné palivo môžeme nazvať všetky horľavé materiály v lese, od paliva ležiaceho na zemi až po koruny stromov. Je užitočné uvažovať o lesných palivách vo vrstvách a to v prvej vrstve nachádzame prízemné palivá. Prízemné palivá sa nachádzajú v pôde, pričom predstavujú organické časti hliny, podzemné korene alebo aj rašelinu. Druhou vrstvou sú povrchové paliva. Povrchové palivá prezentuje nízka vegetácia vrátane lístia, trávy, malých kríkov a veľkých spadnutých kmeňov. Napokon poslednou vrstvou sú vzdušné alebo korunové palivá ako kamene, konáre, listy na veľkých živých stromoch alebo mŕtve stromy a machy na nich. Čím väčšie je množstvo paliva v oblasti, tým intenzívnejší bude požiar. Vzduch dodáva kyslík, ktorý oheň potrebuje na horenie. Zdroje tepla pomáhajú zapáliť oheň v prírodnom prostredí a zvyšujú teplotu paliva na takú úroveň, aby sa mohlo zapáliť[4-6].

Šírenie lesného požiaru je veľmi zložitý proces, ktorý vzniká ako výsledok vzájomného pôsobenia viacerých faktorov. Hoci lesné požiare vykazujú určité zákonitosti, tak majú komplexné a nelineárne charakteristiky. Hnacie faktory šírenia lesného požiaru sa vo všeobecnosti rozdeľujú do 4 kategórií, a to palivové, meteorologické, topografické a ľudske faktory. Tieto faktory spoločne ovplyvňujú správanie sa a šírenie lesného požiaru [7,8].

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Ako vzorku použitého materiálu sme využili smrekový opad, nazbieraný v lesnom celku Zvolen, jednalo sa o diel 365a a 365b o výmere 8,39 ha. Tento les spadá do kategórie osobitého určenia s zameraním na lesnícky výskum a lesnícku výučbu. Možno ho charakterizovať ako súbor bučín s ihličnanmi s tvarom vznikajúcim ak les vznikol z odrezkov alebo zo semien. Na týchto dieloch sa nachádza lesný porast pozostávajúci z drevín buku lesného, smreku obyčajného a smrekovca opadavého, pričom vek porastu je približne 45 rokov (tab. 1).



Tab. 1 Zastúpenie drevín v porastoch 365a a 365b (Zdroj: Národné lesnícke centrum, 2023)

Tab. 1 Representation of tree species in stands 365a and 365b (Source: Národné lesnícke centrum, 2023)

Názov dreviny	Zastúpenie (%)	Zastúpenie (m ³)
Buk lesný	80	1 644
Smrek obyčajný	10	302
Smrekovec opadavý	10	252

Zamerali sme sa na vrstvy opadu, ktorých výška bola viac ako 3 cm. Opad sa odoberal spolu všetkým organickým materiálom, keďže sme chceli docieľiť, aby vykonané experimenty si boli čo najviac podobné a simulovali prirodzené podmienky podobné tým v mieste odberu. Následne sme začali s odberom vzoriek do igelitových odpadných vriec, ktorých objem bol 20 l, pričom sa nám podarilo zozbierať 60 l opadu. Vzorky sme následne premiestnili do laboratória horenia, kde sa umiestnili do sušiarne Memmert UF 110 na kovových podnosoch, kde sa opad až kým vlhkosť paliva nedosiahla absolútnu hodnotu (0%). Pred uložením do sušiarne sa prichystali kovové podnosy, ktoré sa odvážili, hmotnosť sa zapísala a následne sa na ne uložil opad a určila sa jeho hmotnosť. Dané podnosy boli následne presunuté do sušiarne. Sušenie prebiehalo v rozmedzí teplôt 103-105 °C. Na začiatku procesu sušenia mal daný opad vlhkosť 10,39 %. Na výpočet vlhkosti sme využili tento vzorec (1):

$$W = \frac{W_m - W_s}{W_s} \quad (1)$$

kde:

W – absolútna vlhkosť paliva,

W_m – hmotnosť paliva v mokrom stave,

W_s – hmotnosť paliva v suchom stave.



Opad bol po vysušení premiestnený do exikátorov, kde postupne vychladol, po vychladnutí bol znova odvážený a pokračovalo sa so sušením v teplovzdušnej sušiarňi až do momentu, kým sa hmotnosť stabilizovala. Po vysušení sa opad opäť premiestnil do exikátorov so silicagélom, aby sa zabránilo opätovnému naberaniu vlhkosti, pričom sa v ňom uchovával až do doby vlhčenia.

Pri príprave vzoriek sme najprv určili potrebné množstvo vody potrebné na zvlhčenie 25g smrekového opadu na 10 %, 20 % a 30 % vlhkosť (tab. 2).

Tab. 2 Potrebné množstvo vody na dosiahnutie požadovanej vlhkosti

Tab. 2 Required amount of water to achieve the required moisture content

Požadovaná vlhkosť (%)	Hmotnosť opadu (g)	Potrebné množstvo vody (ml)
0	25	0
10		2,75
20		6,4
30		10,7

Proces vlhčenia sme začali prípravou vzoriek s 10% vlhkosťou, na váhu sme umiestnili kovový podnos, na ktorý sme si z exikátora nabrali 25 g opadu a rozprašovačom naň nastriekali 2,7 ml vody. Následne sme tento opad premiestnili do označených igelitových uzatvárateľných sáčkov, no bohužiaľ táto metóda nebola efektívna, keďže voda sa nám zachytávala na podnose a nebolo možné odobrať všetko množstvo vody, preto sme pri následnom vlhčení využili metódu vlhčenia priamo v igelitovom sáčku, v ktorom sme po jeho uzavretí opad premiešali, aby voda pokryla celé palivo. Tento postup sme opakovali pri každej vlhkosti 10-krát. Takto sme postupovali aj s 20 % a 30 % vlhkosťou. Vzorky sme nechali týždeň a pol odležať aby sa palivo úplne navlhčilo a následne sme ho umiestnili do analyzátoru vlhkosti Ohaus MB 90, kde sme si na alumíniový tanierik odobrali 2 g opadu. Analyzátor sme uzavreli a spustili 10 min program pri teplote 105 °C. Po 10 min sme získali percentuálne výsledky vlhkosti v danej vzorke. Vzorku sme z analyzátoru vybrali, počkali kým



analyzátor vychladne na teplotu pod 43°C a následne opäť vložili ďalšiu vzorku, tento postup sme opakovali pri každej vlhkosti 3-krát.

Pre posúdenie zapáliteľnosti smrekového opadu, sme využili metódu zapálenia pomocou 3 iniciačných zdrojov.

Na kovový podnos, sme umiestnili 5 termočlánkov zapojených do prístroja Almemo 710 značky Ahlborn, ktorý zaznamenával teplotné zmeny o dobu každých 10 s a zobrazoval ich v podobe krivky. Po zapojení termočlánkov sa podnos uložil na váhu napojenú na počítač, pričom sa následne na neho umiestnil opad vo výške 1 cm a rozprestrel ho po ploche aby sme mohli simulovať prirodzené podmienky. Zapálenie opadu prebiehalo pomocou 3 rôznych iniciačných zdrojov a to zápalkou, zapaľovačom a ohriatou žeravou kockou. Iniciačné zdroje sme samostatne prikladali na smrekový opad po dobu 10 s, počas ktorých sa sledovalo, či je daný iniciačný zdroj schopný a má dostatočnú iniciačnú energiu na zapálenie danej vzorky. Táto skúšobná metóda sa zrealizovala len pri vzorke s 0 % vlhkosťou.

Ďalším druhom skúšky bolo zapálenie opadu pomocou urýchľovača horenia, ktorým bol horiaci gél značky FireGel od výrobcu Orion. Gél bol aplikovaný do stredu vzorky a po zapálení sme sledovali čas horenia, úbytok hmotnosti a šírenie požiaru. Ako posledná bola vykonaná skúška zapáliteľnosti nenormovanou metódou a to pôsobením sálavého tepla. Alumíniové kelímky sme si na váhe odvážili, danú hmotnosť vynulovali a do kelímku umiestnili 10 g opadu. Kelímok sme presunuli nad žiarič, ktorý sa nahrieval po dobu najmenej 10 min. Na stojan žiariča sme vopred umiestnili termočlánok, ktorý bol následne umiestnený na povrch vzorky. Zmeny teplôt sme opäťovne sledovali na prístroji Almemo 710, pričom sme žiarič sme umiestnili 5cm od povrchu vzorky. Následne sme po dobu 10 min sledovali teplotné zmeny, zmeny hmotnosti a či sa daná vzorka zapáli.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Po vykonaní skúšiek zapáliteľnosti smrekového opadu s rôznymi iniciačnými zdrojmi sme prišli k niekoľkým výstupom, a to, že ani pri 0% vlhkosti nemali zápalka



ani zapalovač potrebnú iniciačnú energiu na zapálenie vzorky vo vrstve 1cm, pričom ich iniciačná energia bola dostatočná na zapálenie drobných konárikov. Pri skúške zapáliteľnosti s využitím rozpálenej drevnej kocky, drevená kocka opad s 0% vlhkosťou nezapálila a nastalo len jej zuhoľnatenie.

Po vykonaní skúšky zapáliteľnosti smrekového opadu s využitím urýchľovača horenia sme dospeli k výsledku, že po zapálení urýchľovača smrekový opad horel plameňovým horením len na mieste, kde sme urýchľovač aplikovali a požiar sa ďalej nešíril.

K zapáleniu vzorky s 0% vlhkosťou došlo 2-krát, pričom to bolo spôsobené väčším obsahom konárikov vo vzorke. Pri ďalších pokusoch pri 0% vlhkosti nenastalo plameňové horenie, nastalo len žeravenie povrchu vzorky. Pri vzorkách s 10, 20 a 30 % vlhkosťou nenastalo plameňové horenie ani pri jednej zo vzoriek, pričom nastalo len žeravenie povrchu vzoriek.

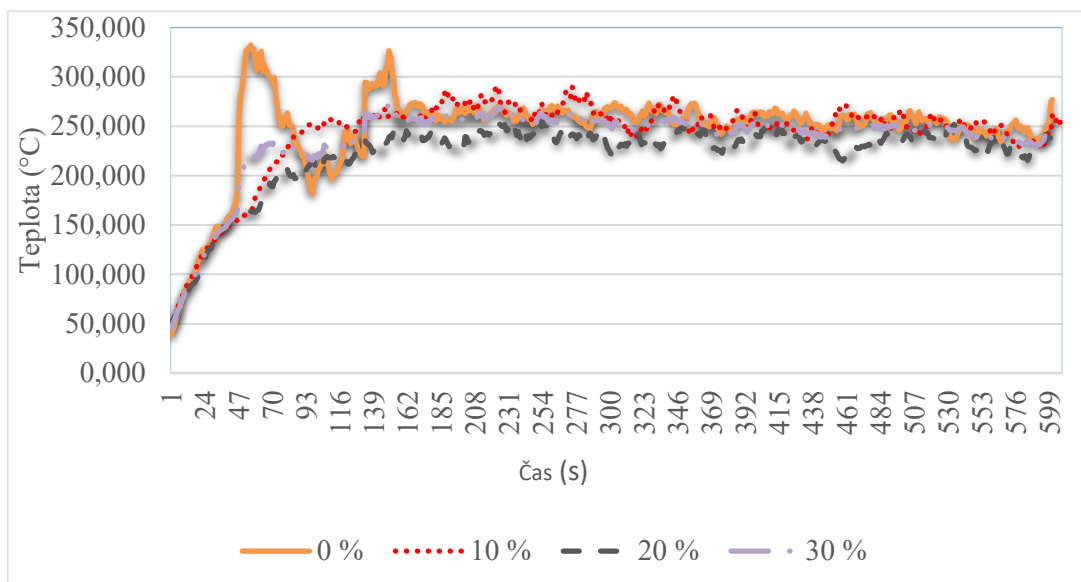
Na posúdenie závislosti medzi vlhkosťou lesného odpadu a jeho zapáliteľnosti bola vykonaná séria laboratórnych skúšok. Počas týchto testov nedošlo k ďalšiemu vznieteniu vzoriek, tým pádom sa nám vznietila iba vzorka, ktorá bola kombinovaná s drobnými konárikmi. Z výsledku laboratórnych skúšok môžeme konštatovať, že teplota iniciačných zdrojov, ktorými sme pôsobili na opad, nebola dostatočná, teda nebola dostatočná iniciačná energia na zapálenie smrekového opadu.

Najväčšie teplotné rozdiely medzi vzorkami s 0 % vlhkosťou boli medzi vzorkou č. 1 a vzorkou č. 2, kde v priebehu prvých 2 min vykonávania experimentu bol teplotný rozdiel 683 °C, pričom v ostatných 8 min sa zmeny teplôt výrazne nelíšili. Pri vzorke č. 2 došlo k výraznému zvýšeniu teploty z dôvodu plameňového horenia, spôsobeného horením konárikov obsiahnutých vo vzorke č. 2.

Pri grafe priebehu priemerných teplôt možno v čase 57 s sledovať výrazný rozdiel medzi teplotou vzoriek s vlhkosťou 0% oproti vzorkám s vlhkosťou 10, 20 a 30 %, kde teplota vzoriek s 0 % vlhkosťou dosahuje priemerne teplotu



327°C, pričom teploty vzoriek s 10, 20 30 % vlhkosťou dosahujú v tom momente teploty približne 175 °C. Avšak, ani na základe vysokého teplotného rozdielu medzi vzorkami, tak ani pri vysokých teplotách vzoriek s 0 % vlhkosťou nedošlo k dosiahnutiu teploty potrebnej na zapálenie smrekového opadu (obrázok 1).



Obrázok 1 Rozdiel priemerných teplôt medzi vzorkami s 0, 10, 20 a 30 % vlhkosťou

Fig.1 Difference in mean temperatures between samples with 0, 10, 20 and 30 % moisture content

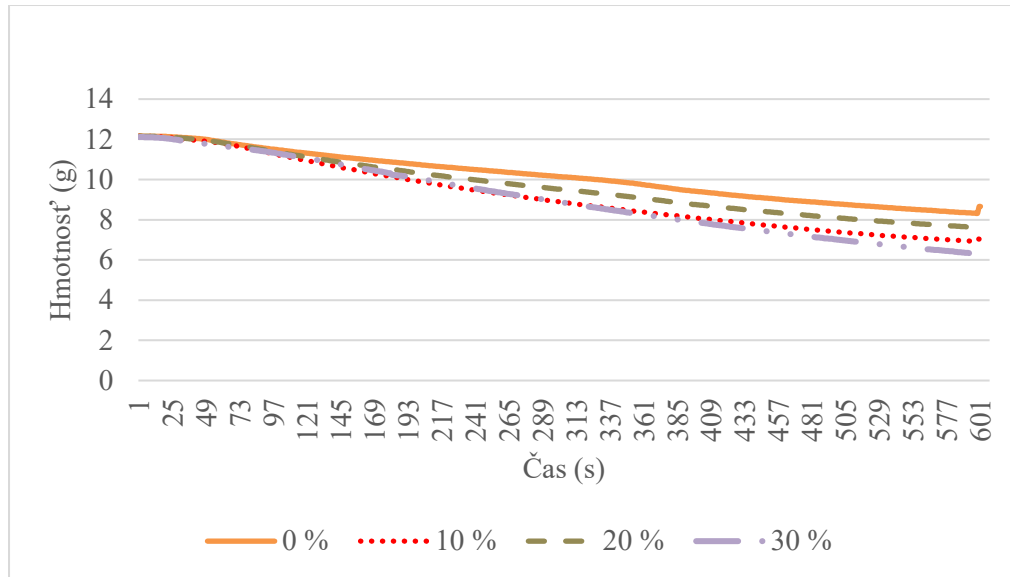
Priemerná počiatočná hmotnosť všetkých vzoriek sa pohybovala v hodnotách medzi 12,17 g a 12,11 g, pričom najmenší priemerný úbytok hmotnosti možno pozorovať pri priemere vzoriek s 0% vlhkosťou, kde tento úbytok tvoril 3,51 g (tab.3).

Tab. 3 Porovnanie priemerných úbytkov hmotnosti medzi vzorkami s 0, 10, 20 a 30 % vlhkosťou

Tab. 3 Comparison of average weight loss between samples with 0, 10, 20 and 30 % moisture content

	Priemer 0 %	Priemer 10 %	Priemer 20 %	Priemer 30 %
Priemerná počiatočná hmotnosť (g)	12,17	12,15	12,12	12,11
Priemerná konečná hmotnosť (g)	8,66	7,04	6,54	6,09
Priemerný úbytok hmotnosti (g)	3,51	5,11	5,58	6,02

Najväčší priemerný úbytok možno sledovať pri priemere vzoriek s 30 % vlhkosťou, tento úbytok činil 6,02 g, pričom tento úbytok je takmer dvojnásobok úbytku pri vzorkách s 0% vlhkosťou (obrázok 2).



Obrázok 2 Priemerný rozdiel úbytkov hmotnosti vzoriek s 0, 10, 20 a 30 % vlhkosťou

Fig. 2 Average difference in weight loss of samples with 0, 10, 20 and 30 % moisture content

Počas vykonávania skúšok zapáliteľnosti smrekového opadu sme dospeli k výsledku, že, okrem vlhkosti môžu existovať aj iné faktory ovplyvňujúce zapáliteľnosť lesného opadu. Môžu to byť napríklad meteorologické podmienky, hustota a štruktúra lesného opadu, ale aj typ vegetácie nachádzajúcej sa v danom type porastu.

V prípade smrekového porastu je najťažšie na zapáliteľnosť jeho ihličie, teda v tomto prípade jeho opad. Smrekové ihličie obsahuje látku lignín, slúžiaci ako ochrana voči degradácii. Je to teda prírodná látka, počas svojej degradácie vytvára polyméry, ktoré slúžia ako aj prirodzený retardér horenia. Tento retardér funguje na princípe samozhášania a vytvára pri zahrievaní ochrannú zuhoľnatú vrstvu [9].



V prípade smreku a jeho opadu možno hovoriť o jednej z najvyšších koncentrácií lignínu v jeho ihličí z pomedzi ďalších ihličnatých stromov, pričom obsah lignínu sa v smrekových drevinách pohybuje v priemere 16,77 % [10].

ZÁVER

Táto práca zaoberajúca sa skúmaním zapáliteľnosti smrekového opadu pri 0, 10, 20 a 30 % vlhkosti preukázala, že smrekový opad nie je možné zapáliť bežnými iniciačnými zdrojmi ani pri vysušení na 0% obsah vlhkosti, pričom jediným spôsobom zapálenia je s využitím urýchľovača horenia. Pri využití urýchľovača horenia však opad vyhorí len na mieste, kde je urýchľovač aplikovaný a nedochádza k šíreniu požiaru.

Počas priebehu skúšky zapáliteľnosti s využitím žiariča sa nám podarilo dosiahnuť plameňové horenie, pričom toto horenie bolo zapríčinené vyšším obsahom konárikov vo vzorke, ktoré sa zapálili.

Preukázalo sa nám, že smrekové ihličie obsahuje látku lignín, polymér, ktorý toto ihličie vytvára pri svojom termickom rozklade vytvára, polyméry majúci prirodzený retardačný účinok, ktorý pri horení napomáha tvorbe ochranej uhoľnatenej vrstvy a vytvárajú na povrchu opadu.

V tejto práci sme sa počas experimentov zamerali aj na štúdium úbytku hmotnosti vzoriek opadu. Môžeme zhodnotiť, že najväčší úbytok hmotnosti sme zaznamenali u vzoriek s obsahom vlhkosti 30%, pričom tento úbytok tvoril v priemere 6,02 g.

Výstupy získané pri tomto skúmaní nám otvárajú možnosti na ďalšie skúmanie faktorov ovplyvňujúcich zapáliteľnosť smrekového opadu, pričom tieto výstupy sa konkretizujú len na daný typ opadu a nie je možné ich automaticky využiť na iné typy lesného paliva. Je dôležité, aby sa tieto získané poznatky naďalej skúmali a zohľadnili sa pri nasledujúcom vývoji efektívnych stratégií v boji s lesnými požiarimi.



POĎAKOVANIE

Tento výskum bol financovaný Agentúrou na podporu výskumu a vývoja, grant č. APVV-22-0030 a grant č. APVV SK-CN-23-0001.

Zoznam bibliografických odkazov

- [1] San-Miguel-Ayanz, J., Durrant, T., Boca, R., Maianti, P., Libertà, G., Jacome Felix Oom, D., Branco, A., De Rigo, D., Suarez-Moreno, M., Ferrari, D., Roglia, E., Scionti, N. And Broglia, M. Advance Report On Forest Fires In Europe, Middle East And North Africa 2023, Publications Office Of The European Union, Luxembourg, 2024, Doi:10.2760/74873, Jrc135375.
- [2] Westerling, A.L.; Hidalgo, H.G.; Cayan, D.R.; Swetnam, T.W., „Warming and earlier spring increase western US forest wildfire activity,“ rev. *Science*, 2006.
- [3] Tariq, A.; Shu, H.; Siddiqui, S.; Mousa, B.; Munir, I.; Nasri, A.; Waqas, H.; Lu, L.; Baqa, M.F., „Forest fire monitoring using spatial-statistical and Geo-spatial analysis of factors determining forest fire in Margalla Hills,“ Islambad, 2021.
- [4] WOLTERS, C. 2023. Wildfires can move shockingly fast. Here’s how they start—and how to stop them. [Online]. 2023. [Cit. 15.09.2024]. Dostupné na internete: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/wildfires>.
- [5] UNITED NATIONS. Forest Fire. [Online]. [Cit. 15 .09. 2024]. Dostupné na internete: <https://www.un-spider.org/category/disaster-type/forest-fire>.
- [6] LEAVELL, Dan. Fire Science core curriculum-Module 2. 2017[Online].[Cit. 18.09.2024]
- [7] YEBRA, Marta; CHUVIECO, Emilio. 2009.Linking ecological information and radiative transfer models to estimate fuel moisture content in the Mediterranean region of Spain: Solving the ill-posed inverse problem. Remote Sensing of Environment, 2009, 113.11: 2403-2411. [Cit. 15 .09. 2024]



- [8] ZHU, Xi, et al. 2019. Estimation of forest leaf water content through inversion of a radiative transfer model from LiDAR and hyperspectral data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2019, 74: 120-129. [Online]. [Cit. 18.09.2024]
- [9] LAOUTID, F., et al. 2022. Lignin as a flame retardant for biopolymers. In: *Micro and Nanolignin in Aqueous Dispersions and Polymers*. Elsevier, 2022. p. 173-202.. [Online]. [Cit. 12.9.2024]. Dostupné na internete: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128237021000062>.
- [10] RÄISÄNEN, T; ATHANASSIADIS, D. 2013. Basic chemical composition of the biomass components of pine, spruce and birch. 2013. [Online]. [Cit. 12.9.2024]. Dostupné na internete: https://biofuelregion.se/wp-content/uploads/2017/01/1_2_IS_2013-01-



VPLYV SÁLAVÉHO ZDROJA NA TEPELNÚ DEGRADÁCIU VYBRANÝCH TEPELNOIZOLAČNÝCH MATERIÁLOV

INFLUENCE OF RADIANT SOURCE ON THERMAL DEGRADATION OF SELECTED THERMAL INSULATION MATERIALS

Dávid BORÁROS¹, Stanislava GAŠPERCOVÁ¹

¹Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, ul. 1.mája 32,
010 01 Žilina, boraros12@gmail.com, stanislava.gaspercova@uniza.sk

Abstract

The issue discussed in this article deals with the comparison of the reaction of different thermal insulation materials to radiant heat. Among the examined materials, the most widespread, but also less known forms of thermal insulation are the most widespread. From the point of view of fire protection, each thermal insulation material has its own and different properties and ability to resist fires. These properties change depending on external influences, such as heat radiation acting on the thermal insulation material. Some modern production technologies allow the development of thermal insulation materials with high efficiency and at the same time with minimal impact on the environment.

Key words: *Thermal insulation material. Radiant heat. Thermal conductivity. Thermal degradation.*

ÚVOD

Najčastejšie používané tepelnoizolačné materiály v súčasnosti sú priemyselne vyrábané produkty ako napr. polystyrén a minerálna vlna. Čoraz častejšie sa však pozornosť zameriava na ekologickosť a recyklovateľnosť stavebných materiálov. Práve z tohto dôvodu sa využívajú prírodné materiály a aj recyklované materiály pri výrobe tepelnoizolačných materiálov. Medzi skúmanými materiálmi boli



expandovaný polystyrén (ďalej len "EPS"), drevovláknó, konope a recyklovaný textil. Cieľom výskumu bolo sledovanie a následné vyhodnotenie tepelnej degradácie u daných tepelnoizolačných materiálov. Každý skúmaný materiál má vlastné, rozličné technické údaje. Medzi základnými parametrami je súčiniteľ tepelnej vodivosti, čo je vlastne množstvo energie, ktoré prenikne cez 1 m² povrchu materiálu.

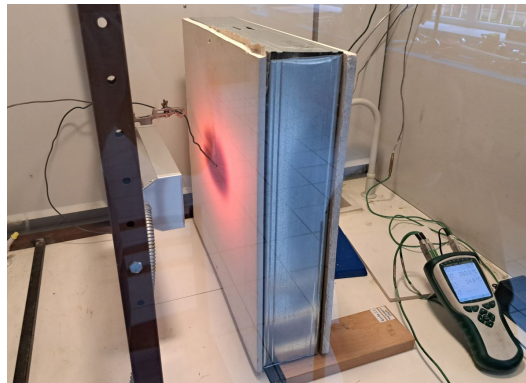
ROZBOR PROBLEMATIKY

V súčasnosti existuje široká škála izolačných materiálov, ako sú minerálne vlny, polystyrén, konope, drevovláknó, atď., ktoré sa uplatňujú v rôznych oblastiach stavebníctva. Kľúčovým faktorom v tomto procese je výber stavebných materiálov, pričom každý materiál nesie špecifické fyzikálne, chemické a technické vlastnosti. Dôležitou súčasťou tejto problematiky je aj požiarne bezpečnosť, pretože každý materiál má svoje vlastné charakteristické požiarne vlastnosti, ktoré je potrebné analyzovať. V prípade požiaru je vysoká požiarne odolnosť budov, kľúčová pre záchranu životov a minimalizáciu škôd. Preto sa pri návrhu a výstavbe budov musí dôkladne zohľadniť aj požiarne odolnosť.

Sálavé teplo preniká do izolácie a ovplyvňuje jej fyzikálne a chemické vlastnosti. Dlhodobé vystavenie vysokým teplotám môže spôsobiť degradáciu materiálov, ako je znižovanie objemu, zhoršenie izolačných vlastností a dokonca môže dôjsť aj k zapáleniu. Celkovo, rôzne tepelnoizolačné materiály reagujú odlišne na sálavé teplo, a preto je dôležité pri ich výbere zohľadniť ich schopnosti a potenciálne riziká spojené s teplotnými vplyvmi [1].

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

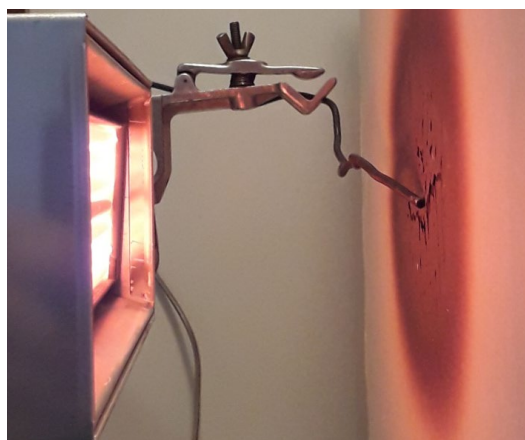
Experiment prebiehal podľa vopred pripraveného postupu. V rámci tejto analýzy sme využili štyri vzorky vyrobené z rôznych materiálov. Každá vzorka bola upevnená v hliníkových paneloch a následne prekrytá sadrokartónovou doskou. Rozmery vzoriek boli definované na 500 x 500 x 100 mm, pričom typizovaná vzorka je znázornená na obrázku 1.



Obrázok 1 Typizovaná vzorka umiestnená pred tepelným žiaričom

Figure 1 Typed sample placed in front of the heat emitter

Hotový panel bol umiestnený vo vzdialenosti 50 mm od tepelného žiariča. Meranie každého materiálu prebiehalo po dobu 30 minút. Počas jednotlivých meraní vykazovala sadrokartónová doska konzistentnú reakciu. V úvodných minútach bola schopná odolávať sálavému teplu, avšak už po dvoch minútach sme zaznamenali vznik prasklín na jej povrchu. Následne sálavé teplo prenikalo prostredníctvom týchto prasklín a priamo ovplyvnilo tepelnoizolačné vlastnosti použitých materiálov. Vplyv sálavého zdroja na sadrokartónovú dosku a aj spomenuté praskliny sú znázornené na obrázku 2. Tieto praskliny naznačujú reakciu sadrokartónu na sálavé teplo a jeho následné oslabenie, čo má významný dopad na tepelnoizolačný materiál umiestnený vo vnútri panela.

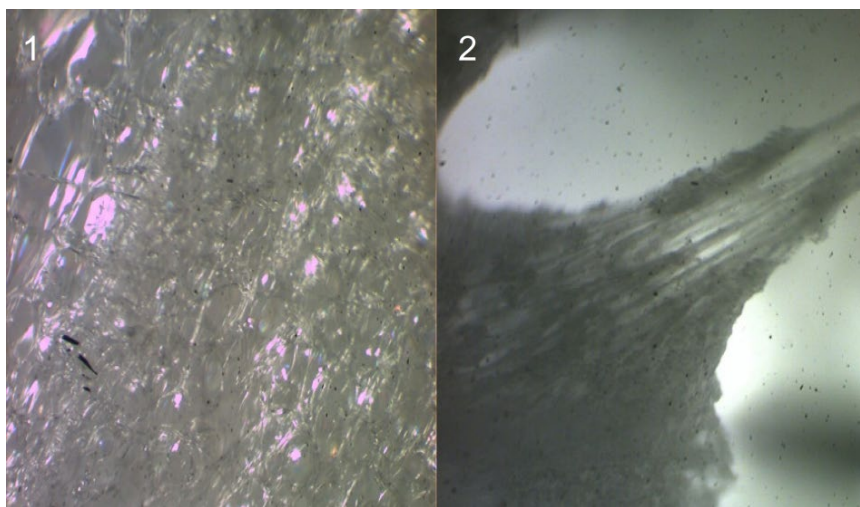


Obrázok 2 Reakcia sadrokartónu na sálavé teplo

Figure 2 Plasterboard's reaction to heat

Reakcia materiálu z EPS na sálavé teplo

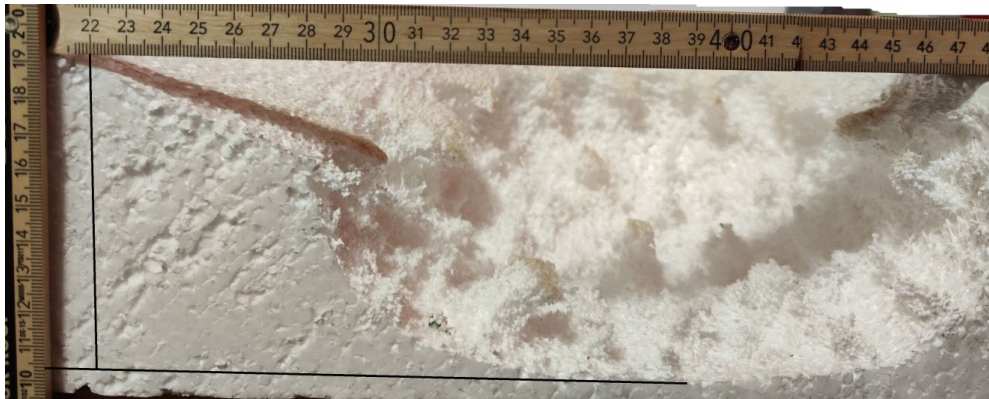
Počas merania neunikali z vnútra sendvičovej konštrukcie žiadne viditeľné sploďiny horenia materiálu EPS. Maximálna dosiahnutá teplota, ktorá pôsobila na vzorku, bola 450 °C. Po ukončení merania sme odstránili sadrokartónovú dosku od tepelného žiariča a zistili sme, že EPS pod vplyvom sálavého tepla začal taviť a deformovať sa. Materiál prestal taviť a odparovať sa po jeho odstránení z dosahu tepelného žiariča. Po ukončení merania, keď sme odstránili vzorku a sadrokartónovú dosku, bolo počuť charakteristické zvuky praskania, ktoré naznačovali ochladzovanie materiálu. Tieto zvuky vznikali v dôsledku teplotných zmien a následného kontrahovania materiálu. Rozdiel medzi pôvodným stavom EPS a jeho stavom po tepelnom pôsobení sme analyzovali aj pod mikroskopom, pri rovnakom zväčšení, čo nám umožnilo presne porovnať detaily oboch stavov. Fotografie snímané pod mikroskopom sú znázornené na obrázku 3.



**Obrázok 3 Rozdiel medzi pôvodným a poškodeným stavom materiálu
1 - pôvodný stav, 2 - poškodený stav**

**Figure 3 The difference between the original and damaged state of the material
1 - original state, 2 - damaged state**

Spôsobené poškodenie naznačuje, ako rýchlo sa teplo šíri v samotnom materiáli a v okolí miesta, na ktoré spôsobilo sálavé teplo. Rozsah poškodenia v tepelnoizolačnom materiáli EPS je ilustrovaný na obrázku 4.

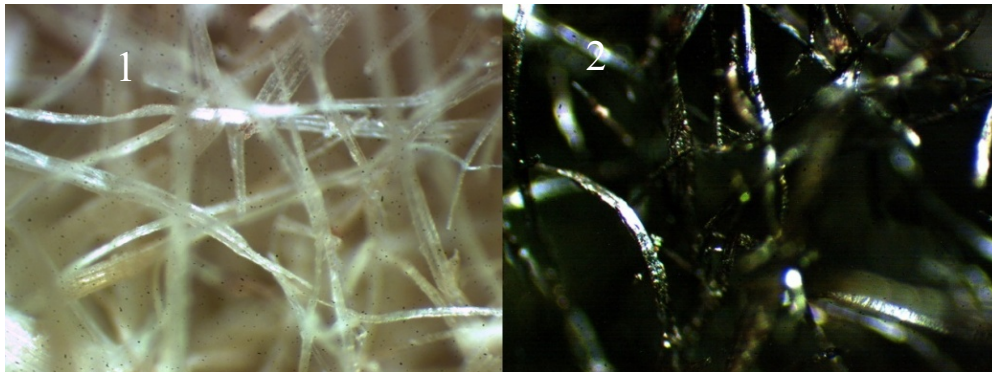


Obrázok 4 Poškodenie spôsobené sálavým teplom v materiáli z EPS

Figure 4 Damage caused by radiant heat in the EPS material

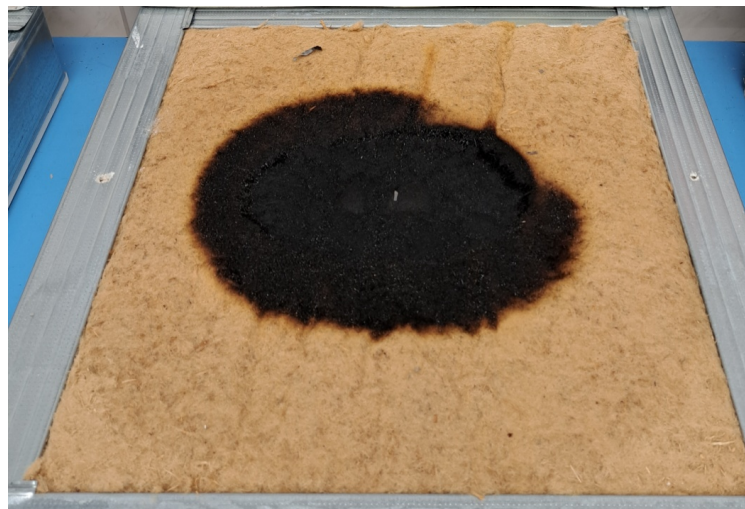
Reakcia materiálu z drevovláknna na sálavé teplo

Počas experimentu sendvičová konštrukcia s obsahujúcim materiálom z drevovláknna neprodukovala žiadne viditeľné splodiny. Najvyššia teplota, zaznamenaná počas merania, dosiahla hodnotu 475 °C. Po rozobratí konštrukcie sme pozorovali, ako materiál reagoval so zvýšeným obsahom kyslíka, pričom začal produkovať splodiny s ostrým zápachom a hustým dymom. Materiál vo vnútri pokračoval v horení aj bez prítomnosti tepelného zdroja, až kým úplne nezhořel. V úvodnej fáze sme sledovali povrchové horenie, ktoré postupne viedlo k úplnému zničeniu celej vzorky. Skúmaný materiál bol analyzovaný pod mikroskopom, pričom rozdiel medzi pôvodným a poškodeným stavom je znázornený na obrázku 5, ktorý dokumentuje zuhoľnatie materiálu. Spôsobené poškodenie tepelnoizolačného materiálu hneď po ukončení merania je znázornený na obrázku 6. Po odstránení materiálu sa proces horenia nepodarilo zastaviť a drevovláknitý tepelnoizolačný materiál úplne zhořel.



**Obrázok 5 Rozdiel medzi pôvodným a zhoreným materiálom
1 - pôvodný stav, 2 - zhorený stav**

**Figure 5 The difference between the original and damaged state of the material
1 - original state, 2 - damaged state**



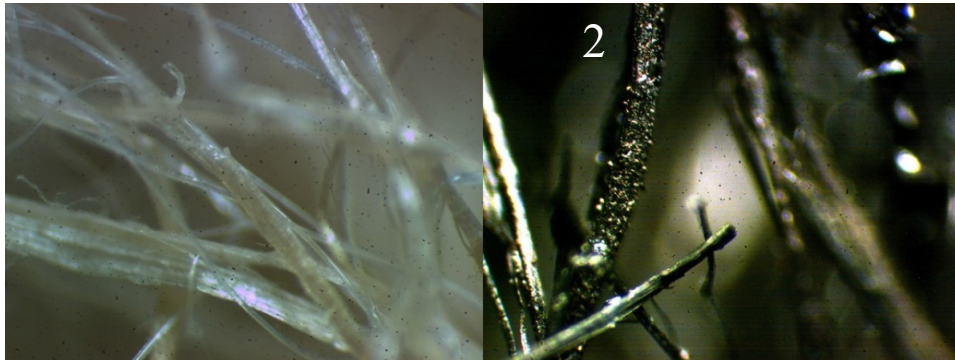
Obrázok 6 Spôsobené poškodenie na materiál z drevovláknna

Figure 6 Damage caused to the wood fiber material

Reakcia konopného materiálu na sálavé teplo

Meranie prebiehalo podobne ako v predchádzajúcich prípadoch. Počas merania materiál z konopy produkoval veľké množstvo dymu s ostrým zápachom. Horenie sa vyskytovalo iba na miestach vystavených sálavému teplu. Najvyššia zmeraná teplota na povrchu sendvičovej konštrukcie dosiahla 450 °C. Po odstránení materiálu zo zdroja tepla sa horenie samovoľne ukončilo, pričom bolo pozorované dlhodobé husté dymenie. Podobne ako pri meraní s drevovláknitým materiálom sme pod mikroskopom sledovali zuhoľnatie. Rozdiel medzi pôvodným

a zuhoľnateným materiálom je zobrazený na obrázku 7. Materiál bol poškodený len čiastočne, pričom nebolo zničené celej jeho hrúbke. Hĺbka poškodenia je znázornená na obrázku 8.



Obrázok 7 Rozdiel medzi pôvodným stavom a zhoreným stavom materiálu z konope, 1 - pôvodný materiál, 2 - zhorený materiál

Figure 7 The difference between the original state and the burnt state of hemp material, 1 - original state, 2 - damaged state



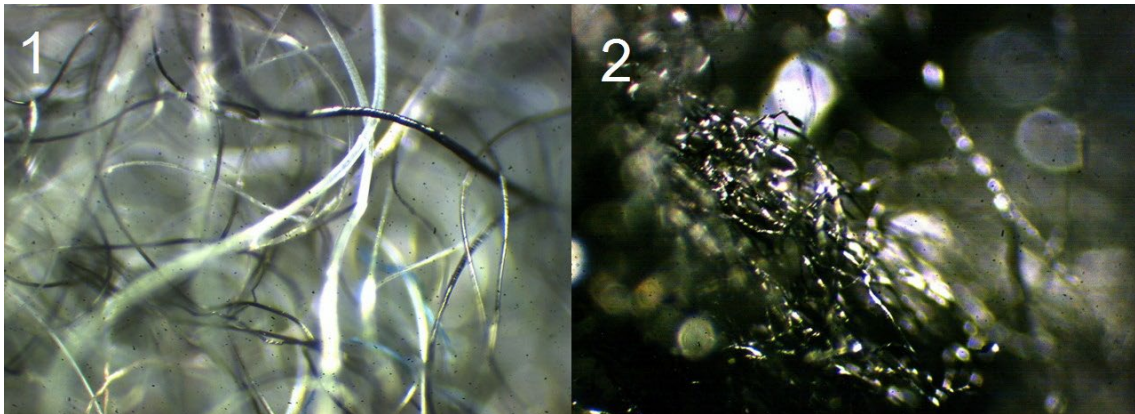
Obrázok 8 Hĺbka poškodenia spôsobeného v konopnom materiáli

Figure 8 Depth of damage caused in hemp material

Reakcia materiálu z recyklovaného textilu

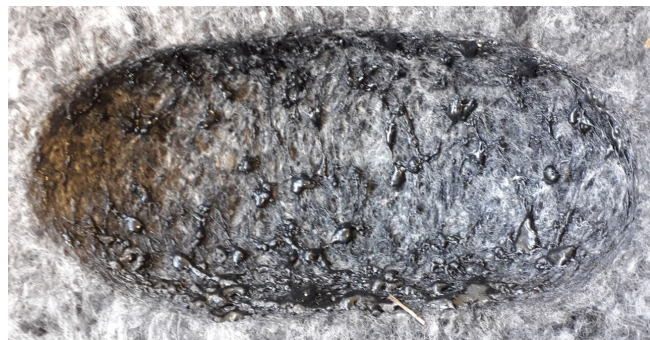
Pri tomto meraní sme súčasne pozorovali horenie aj tavenie, čo bolo spôsobené zložením daného typu materiálu. Počas prieskumu materiál produkoval mierne množstvo dymu so silným zápachom. Najvyššia zmeraná teplota počas prieskumu dosiahla až 506 °C. Po ukončení merania, keď bola sendvičová konštrukcia rozobratá a dostala väčšie množstvo kyslíka na miesto horenia, došlo k zvýšenej produkcii dymu. Materiál z recyklovaného textilu po odstránení zo

zdroja tepla okamžite prestal horieť a taviť. Tavené časti sa rýchlo stvrdli a vytvorili kvapôčky z taveného materiálu. Pri tomto meraní sme pod mikroskopom pozorovali aj zuhoľňatie, ktoré je znázornené na obrázku 9. Hĺbka spôsobenej škody je znázornená na obrázku 10.



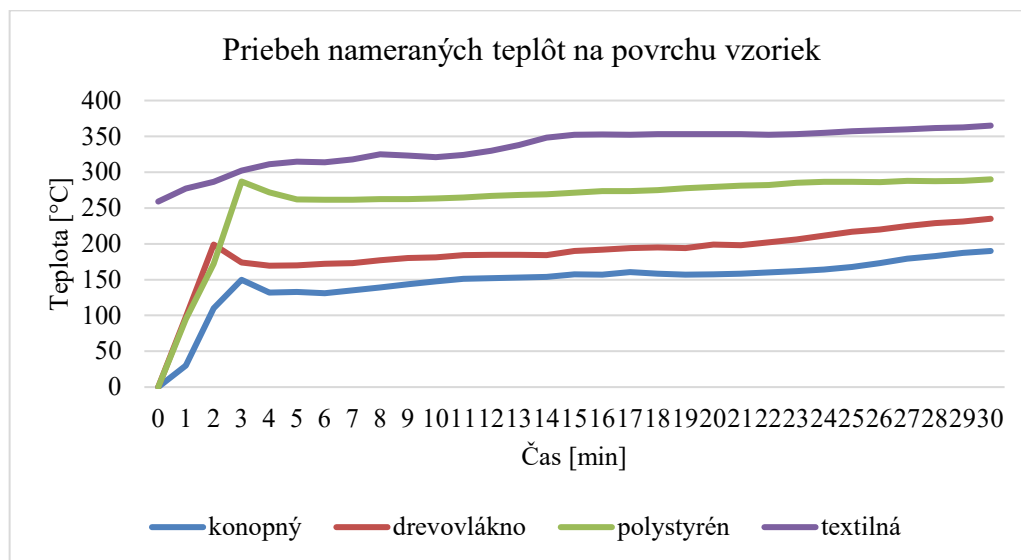
Obrázok 9 Rozdiel medzi pôvodným stavom a zhoreným stavom materiálu z recyklovaného textilu, 1 - pôvodný materiál, 2 - zhorený materiál

Figure 9 The difference between the original state and the burnt state of the recycled textile material, 1 - original state, 2 - damaged state



Obrázok 10 Miesto pôsobenia tepelného žiariča na izolačný materiál z recyklovaného textilu

Figure 10 The point of action of the heat emitter on the insulating material made of recycled textiles

**Obrázok 11 Porovnanie nameraných teplôt počas merania****Figure 11 Comparison of measured temperatures during measurement**

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na základe výsledkov experimentu sme dospeli k záveru, že materiál z extrudovaného polystyrénu vykazoval najhoršiu reakciu na sálavé teplo. Pozorovali sme, že už pri nižších teplotách dochádzalo k jeho degradácii a taveniu, a to v porovnaní ostatnými skúmanými materiálmi. Na druhej strane, materiál z recyklovaného textilu preukázal najlepšie výsledky, keď tavenie prebiehalo až pri vyšších teplotách. Po odstránení tepelného zdroja prestal tento materiál okamžite horieť a taviť. Tepelnoizolačný materiál z recyklovaného textilu bol jediným, ktorý zhorel výlučne na miestach priamo vystavených pôsobeniu tepelného žiariča. Hĺbky spôsobeného poškodenia sú uvedené v tabuľke 1, pričom reflektujú maximálne dosiahnuté hodnoty počas horenia a pôsobenia tepla a sú vizualizované na obrázku 11. Z analýzy na obrázku 11 vyplýva, že s výnimkou materiálu z recyklovaného textilu všetky sendvičové konštrukcie v priebehu prvých 2 až 3 minút odolávali tepelnému účinku, avšak následne začali prepúšťať teplo, čo viedlo k poškodeniu materiálu v rámci konštrukcie.

Naše merania ukázali porovnateľné výsledky s existujúcimi štúdiami, ktoré skúmali reakciu rôznych tepelnoizolačných materiálov na sálavé teplo alebo na



plameň. Podobne ako v iných výskumoch, aj v našom prípade materiál z extrudovaného polystyrénu vykazoval nízku odolnosť voči teplu, čo potvrdzuje jeho náchylnosť na degradáciu pri nižších teplotách [2].

Tepelnoizolačný materiál z konope v podobných výskumoch reagoval na sálavé teplo a plameň s uspokojivými výsledkami. Tieto štúdie preukázali, že konopný materiál dosahoval vysoké teploty, pričom poškodenie bolo len čiastočné. To naznačuje, že konopné vlákna majú dobré tepelnoizolačné vlastnosti a odolnosť voči vysokým teplotám, čo ich robí perspektívnymi pre použitie v ekologických a energeticky efektívnych stavbách [3].

Chart 1 Comparison of materials according to the coefficient of thermal conductivity and the depth of the damage caused

Tabuľka 1 Porovnanie materiálov podľa súčiniteľa tepelnej vodivosti a hĺbky spôsobenej škody

Izolačný materiál	Súčiniteľ tepelnej vodivosti λ (W/m*K)	Hĺbka najväčšej spôsobenej škody (cm)
EPS	0,038	10
drevovláknó	0,036	10
konope	0,041	7
textília	0,035	4

ZÁVER

Na základe vykonaných experimentov sme zhodnotili reakciu rôznych tepelnoizolačných materiálov na sálavé teplo. Extrudovaný polystyrén sa ukázal ako materiál s najväčšou tendenciou k degradácii a taveniu už pri nižších teplotách, zatiaľ čo materiál z recyklovaného textilu preukázal výnimočnú odolnosť voči sálavému teplu. Hĺbky spôsobeného poškodenia sa líšili v závislosti od materiálu. Zároveň sme pozorovali, že všetky testované konštrukcie po určitom čase začali prenášať teplo až do samotného materiálu. Na záver možno konštatovať, že pri výbere tepelnoizolačného materiálu by bolo vhodné zvážiť mnoho faktorov. Naše prieskumy naznačujú, že niektoré z týchto materiálov, ako napríklad recyklovaný



textil, môžu poskytovať vynikajúcu tepelnú ochranu a zároveň prejavovať vysokú odolnosť voči sálavému teplu. Tieto materiály nielenže môžu prispieť k udržateľnosti a environmentálnej zodpovednosti, ale tiež môžu byť efektívnym riešením pre tepelnú izoláciu vo viacerých aplikáciách a konštrukciách. Preto je dôležité pri výbere tepelnoizolačných materiálov zväžiť nielen ich tepelnoizolačné vlastnosti, ale aj ich ekologický a udržateľný charakter.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] BÁRSONY, I., 2008. *Magasépítéstan*. Szega kiadó. Pécs. s.328, ISBN 978-963-970-202-8
- [2] HAJDU, F., LÁSZLÓ, G., KUTI, R., 2021. *Heat radiation effects on insulating materials used in buildings*. Győr. Pollack Periodica.
- [3] DEBORDE, L., SONNIER, R., DUMAZERT, L., LANOS, CH., COLSON, V., 2023. *Characterization of hemp fiber fire reaction*. Journal of Vinyl and Additive Technology.



EXPERIMENTÁLNE OVERENIE SORPCIE VYBRANÝCH LÁTOK POMOCOU PERLITU A VAPEXU

EXPERIMENTAL VERIFICATION OF THE SORPTION OF SELECTED SUBSTANCES USING PERLITE AND VAPEX

Dušan BÓNA¹ - Iveta MARKOVÁ¹ - Jozef SVETLÍK¹

¹Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, 1. mája 32, 01026
Žilina, Slovensko, bonal@uniza.sk, iveta.markova@uniza.sk, jozef.svetlik@uniza.sk

Abstract

The article discusses the topic of sorption materials on a theoretical and practical level. The introductory chapter is devoted to the theoretical analysis of the issue. The remaining chapters deal with specific sorbent materials and the results obtained in their testing.

Keywords: *Sorption, sorption materials, dangerous substances, sorption capacity.*

ÚVOD

Sorpčné materiály sú nevyhnutnou súčasťou výbavy príslušníkov hasičského a záchranného zboru Slovenskej republiky. Sú využívané pri väčšine výjazdov ako sú dopravné nehody alebo dopravné nehody s vozidlami prepravujúcimi nebezpečné látky. V súčasnej dobe je cestná doprava na veľmi vysokej úrovni a počet automobilov stále rastie. Z toho dôvodu narastá aj počet dopravných nehôd a tak aj vzniká viacero mimoriadnych udalostí, pri ktorých je potrebné použiť sorpčné materiály. Treba povedať, že sorpčné materiály neslúžia len na únik pohonných kvapalín. Sorpčné materiály je možné použiť aj na odstránenie prevádzkových kvapalín ako sú napríklad motorový olej, brzdová kvapalina, olej v prevodovke, hydraulické oleje a ostatné typy kvapalín, ktoré pri dopravnej nehode môžu ohroziť životné prostredie. Hlavným cieľom použitia sorpčných materiálov pri dopravnej nehode je zabránenie kontaminovaniu pôdy, v respektíve kontaktu nebezpečnej látky s pôdou alebo vodou [1].



Pre polohu Slovenska, v strede centrálnej Európy, sa cez naše územie denne preváža množstvo tovaru a časť prevážaných materiálov tvoria práve nebezpečné látky. Sorpčné materiály sú najúčinnjším prostriedkom pri likvidácii únikov nebezpečných látok, zároveň sú najlepšou ochranou životného prostredia, pokiaľ dôjde k úniku nebezpečnej látky.

Využitie majú nie len pri automobilovej doprave ale rovnako ich je možné použiť aj pri lodnej doprave. Aj keď je Slovensko vnútrozemským štátom, stále môže dôjsť k úniku nebezpečnej látky na vodnej hladine. Pokiaľ by došlo k úniku nebezpečnej látky na rieke/potoku následky by mohli byť katastrofálne, nakoľko riečna sieť sa rozprestiera po obrovských územiach a mohlo by dôjsť ku kontaminácii pôd na veľkom priestore. V súvislosti s týmto je dôležité podotknúť, že dekontaminácia pôdy je pri väčšine prípadov takmer nemožná, nakoľko nebezpečnú látku nasiaknutú do zeme nie je možné oddeliť. Pri úniku nebezpečnej látky na vodnej hladine je možné použiť norné steny, sorpčné koberce alebo dokonca aj sypké sorpčné materiály [2].

Sorpčné materiály sú síce najčastejšie spájané s činnosťou hasičského a záchranného zboru, no využívajú sa aj v iných smeroch. Každá priemyselná budova, ktorá skladuje väčšie množstvo nebezpečnej látky alebo hrozí únik nebezpečnej látky, musí disponovať sorpčnými materiálmi. Ako príklad môžu poslúžiť čerpacie stanice, ktoré by mali mať k dispozícii sorpčné materiály pre prípad úniku ropných produktov. Skvelým príkladom môžu byť taktiež rafinérie slúžiace na spracovanie ropných produktov [3].

ROZBOR PROBLEMATIKY

Pre uľahčenie separácie pri mnohých separačných procesoch je potrebné činidlo na separáciu hmoty. Činidlom na separáciu hmoty pre proces adsorpcie je adsorbent alebo sorbent. Pojem sorbent označuje skupinu predovšetkým tuhých látok, u ktorých sa nachádza schopnosť viazať do svojej štruktúry alebo na svojom povrchu kvapalnú a plynnú látku [4].



Sorpcia je proces pri, ktorom dochádza ku zachytávaniu molekúl plynných a kvapalných látok na tuhej látke. Avšak tento proces môže prebiehať dvoma spôsobmi. Práve preto pojem sorpcia zahŕňa dva rozdielne deje. Prvým z nich je difúzia molekúl priamo do vnútornej štruktúry tuhej látky, teda absorbentu. Z toho vyplýva, že tento dej sa nazýva absorpcia. Druhým je dej pri, ktorom dochádza ku akumulácii molekúl plynnej alebo kvapalnej látky na povrchu tuhej látky. Tento dej sa nazýva adsorpcia. Je dôležité poznamenať, že tieto dva deje prebiehajú veľmi často paralelne a tak sú spoločne zaradené pod názov sorpcia, aj napriek tomu, že ide čisto o absorpčne/adsorpčné deje. V súvislosti s týmto dochádza často aj k zamieňaniu pojmov absorbent a adsorbent [5].

Princíp pôsobenia sorbentov

Známe sú dva základné znaky sorpčného procesu a sorbentov. Prvým znakom je číselná hodnota, ktorá predstavuje maximálne množstvo sorbatu; táto hodnota môže byť vyjadrená napríklad ako látkové množstvo tuhej látky. Toto množstvo je známe ako adsorpčná kapacita. Množstvo sorbovanej látky v prostredí pri konštantnej teplote závisí od druhej charakteristiky, ktorá je známa ako adsorpčná izoterma. Izoterma je zaujímavá krivka, pretože okrem toho, že nám dáva rozhodujúcu informáciu o množstve látky, ktorú môže sorbent absorbovať pri danej teplote, rovnovážnom tlaku a rovnovážnej koncentrácii, umožňuje nám pochopiť aj proces sorpcie a súčasne poskytuje podrobnosti o veľkosti a tvare pórov. Postupné zvyšovanie koncentrácie látky v roztoku spôsobuje postupné nasýtenie povrchu sorbentu, čo dokazuje adsorpčná izoterma. Vďaka nasycovaniu povrchu sorbentu, dochádza ku obmedzeniu väzbového potenciálu na valenčnej vrstve sorbentu. Pokiaľ sú dosiahnuté vhodné koncentrácie, je šanca aj iného priebehu. V takom prípade dochádza ku zlepšeniu podmienok pre sorpciu vďaka zvyšovaniu sorbovaného množstva [6].

EXPERIMENTÁLNE VZORKY

Pre pokusy boli použité vzorky Vapex a Expandovaný Perlit, nakoľko tieto sorpčné prostriedky sú najčastejšie používané v HaZZ.

Vapex

Vapex má šedo-bielu farbu (obrázok 1). Veľkosť zŕn je 0,8 – 2,0 mm a hodnota pH je stanovená v rozmedzí 7 – 9. Výrobca stanovil sorpčnú kapacitu na 18,1. Vďaka jeho hydrofóbnej úprave dokáže plávať na vodnej hladine. Tento sorbent je pomerne prašný a preto je pri jeho používaní potrebné chrániť dýchacie cesty, prípadne ak je to možné zabezpečiť odvetrávanie prachu z prostredia[7].



Obrázok 1 Vapex

Figure 1 Vapex

Najčastejšie je v HaZZ používaný na sorpciu ropných látok, či už na pevnom povrchu alebo dočasne v stojatých vodách. Nakoľko sa jedná o nehorľavú látku tak je možné ho použiť aj pri nehodách s možným rizikom požiaru[7].

Expandovaný perlit

Expandovaný perlit je ľahký porézny materiál sivobielej farby, ktorý je vysoko prašný. Je chemicky neutrálny, má nízku špecifickú hmotnosť, je odolný voči plesniam a chemickým mikroorganizmom, má nízku hydroskopiu a je bez zápachu[8].



Obrázok 2 Expandovaný Perlit

Figure 2 Expanded Perlite

Najúčinnnejší je pri sorpcii kvapalín hydrofóbnej povahy hlavne ropných produktov. Je možné ho použiť na pevnom povrchu a dočasne aj v stojatých vodách. Taktiež slúži na dočisťovanie uniknutých látok z ťažko prístupných priestorov[8].

Tabuľka 1 Základné vlastnosti experimentálnych vzoriek

Table 1 Basic properties of experimental samples

Sorpčný materiál	Sorpčná kapacita	Veľkosť zŕn (mm)	Popis	Chemické zloženie	Hmotnosť balenia
Vapex	18	0,8-2,0	Šedo-biely prášok	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ CaO+MgO, Na ₂ O+K ₂ O	125 l
Perlit	17	0-2,5	Biely prach	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Na ₂ O ₂ , K ₂ O, Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO	10 000g



EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Experiment bol vykonaný podľa postupu stanoveného v norme ASTM F726-17, ktorý bol upravený podľa podmienok laboratória.

Experimentálny postup stanovenia sorpčnej kapacity sypkých sorbentov podľa ASTM F726-17

Testovacia metóda ASTM F726-17 vznikla s cieľom testovať adsorpčné kapacity sorpčných materiálov v laboratórnom prostredí. V tejto metóde je podrobne popísaný postup stanovovania adsorpčnej schopnosti pre adsorbenty, konkrétne pokiaľ sa jedná o únik ropy a iných kvapalín na vodnej hladine. Samozrejme tieto látky musia byť nemiešateľné s vodou. Všetky látky použité pri experimente a taktiež aj sorpčné materiály musia byť kondiciované pri teplote $23 \pm 4^{\circ}\text{C}$.

Pomôcky:

sklenené nádoby, petriho misky, kadičky, pravítka, stopky, filtračné papiere, stojan, akvárium, železná sieťka, lieviky, banky, plastová lyžička, látky(sorbáty): voda, motorový olej, použitý motorový olej, sorpčné materiály: Vapex, Perlit,

Zmeny oproti pomôckam v norme:

V norme stojí, že na prefiltrovanie kvapaliny od sorpčného materiálu sa má použiť sitko. Nakoľko Repur a Perlit majú príliš malé zrná, nebolo možné použiť sitko, pretože ich zrná by prešli spoločne s kvapalinou cez sito. Z tohto dôvodu sme pri všetkých vzorkách použili filtračné papiere, ktoré sme položili na železnú sieťku.

Postup:

1. Stanovili sme si jednotnú hmotnosť vzoriek a následne sme odvážili od každého druhu sorpčného materiálu 2 vzorky. Hmotnosť vzorky má podmienku a to, že musí mať minimálne 4g. My sme si stanovili hmotnosť vzoriek na 5g. Vzorky boli vážené na váhach s presnosťou na 0,1g. Hodnoty sme si zapísali do Excelu.



2. V kadičkách sme si pripravili nami zvolenú kvapalinu a odmerali sme výšku jej hladiny. Normou je stanovená minimálna výška hladiny 2,5cm, my sme si zvolili výšku hladiny 3,5cm.
3. Sorpčné materiály sme vysypali do kadičky s kvapalinou a premiešali ich. Následne sme spustili stopky s 15 minútovým meraním. Je dôležité aby sa celá vzorka sorpčného materiálu dostala do styku s kvapalinou.
4. Počas stopovania času sme si pripravili dva stojany, pričom jeden bol postavený v akváriu a mal na sebe sieťku a na nej filtračný papier. Druhý stojan mal pod sebou kadičku a nad ňou filtračný lievik s filtračným papierom.
5. Po uplynutí 15 minút \pm 20 sekúnd sme naše vzorky preliali cez filtračný papier za účelom oddelenia neadsorbovanej látky. Časový rozsah filtrácie bol stanovený na 60 sekúnd. Avšak mi sme pri našom pokuse čakali až do momentu kedy sa prefiltruje celý objem kvapaliny (pri niektorých sorpčných materiáloch tento proces trval aj hodinu).
6. Po prefiltrovaní sme papier spolu s adsorbentom odvážili a následne sme oddelili adsorbent od papiera a odvážili samostatne papier aj adsorbent. Obe hodnoty sme si zapísali do Excelu[9].

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Podľa ASTM F726-17 máme pre výpočet adsorpčnej kapacity sypkého sorbentu a (g) použiť vzorec 1.

$$a = \frac{m_z}{m_s} \quad (1)$$

kde: a – je adsorpčná kapacita (g),

m_z – je hmotnosť zmáčaného sorbentu (g),

m_s – je hmotnosť suchého sorbentu (g).



A pre výpočet adsorpčnej kapacity LAC [%] použijeme vzorec 2.

$$LAC = \frac{m_z - m_s}{m_s} * 100 \quad (2)$$

kde: LAC – adsorpčná kapacita (%),

m_z – je hmotnosť zmáčaného sorbentu (g),

m_s – je hmotnosť suchého sorbentu (g).

Aby sme mohli jednotlivé hodnoty získať potrebujeme si určiť množstvo prijatej látky(sorbátu), to získame pomocou vzorca 3.

$$m_p = m_z - m_s, \quad (3)$$

kde: m_p – množstvo prijatej látky (g),

m_z – je hmotnosť zmáčaného sorbentu (g),

m_s – je hmotnosť suchého sorbentu [g].

Voda

Obe vzorky sú hydrofóbne a tak pri kontakte s vodou ostali plávať na hladine. My sme vzorky ponorili z dôvodu šetrenia času, nakoľko vzorky by podľa výrobcu vydržali na vodnej hladine viac ako 30 minút.

Výsledky meraní pre vodu môžete vidieť v tabuľkách 1 a 2. Pričom v tabuľke 1 sú hodnoty získané pomocou meraní cez sieťku a v tabuľke 2 sú hodnoty získané pomocou meraní cez filtračný lievnik. Pri pohľade na tabuľky môžete vidieť, že aj keď je Perlit hydrofóbny tak má v porovnaní s Vapexom výrazne vyššiu schopnosť viazať vodu.



Tabuľka 2 Sorpčná kapacita voda – ASTM F726-17 po úprave

Table 2 Sorption capacity water – ASTM F726-17 after editing

Voda	Hmotnosť suchého sorbentu [g]	Hmotnosť zmáčaného sorbentu [g]	Množstvo prijatej látky v [g]	Adsorpčná kapacita	Adsorpčná kapacita v [%]
Vapex	5	7,1	2,1	1,42	42
Perlit	5	36,3	31,3	7,26	626

Perlit má jednoznačne lepšie výsledky pri viazaní vody (aj keď by mal byť podľa výrobcu hydrofóbny). Na 5g svojej hmotnosti dokázal naviazať 31,3g vody a tak sa jeho hmotnosť navýšila o 626%. Vapex avšak neprijal takmer žiadnu vodu. Hmotnosť Vapexu sa navýšila o 42%, naviazal teda 2,1ml vody na 5g. Je zaujímavé, že výsledky pre Perlit a Vapex sú až diametrálne rozdielne, nakoľko viaceré zdroje uvádzalo, že ide o v podstate rovnaké sorpčné materiály.

Tabuľka 3 Sorpčná kapacita voda – ASTM F726-17

Table 3 Sorption capacity water – ASTM F726-17

Voda	Hmotnosť suchého sorbentu [g]	Hmotnosť zmáčaného sorbentu [g]	Množstvo prijatej látky v [g]	Adsorpčná kapacita	Adsorpčná kapacita v [%]
Vapex	5	6,3	1,3	1,26	26
Perlit	5	24,3	19,3	4,86	386

V porovnaní s predošlou tabuľkou hodnôt môžeme povedať, že vzorky filtrované pomocou filtračného lievika mali väčšie množstvo adsorbovanej látky. To môže byť zapríčinené tým, že v lieviku mali menej priestoru a nedokázali odkvapať tak ako na sieťke. Perlit naviazal 19,4ml vody na 5g svojej hmotnosti.



Hovoríme teda o 386% navýšení. Vapex naviazal 1,3ml vody na 5g svojej hmotnosti. Ide teda o 26% navýšenie.

Motorový olej

Z hodnôt, ktoré vidíme v tabuľkách 4 a 5 môžeme povedať, že pri sorpcii oleja má Perlit lepšie hodnoty adsorpčnej kapacity.

Tabuľka 4 Sorpčná kapacita motorový olej – ASTM F726-17 po úprave

Table 4 Sorption capacity engine oil – ASTM F726-17 after editing

Motorový olej	Hmotnosť suchého sorbentu [g]	Hmotnosť zmáčaného sorbentu [g]	Množstvo prijatej látky v [g]	Adsorpčná kapacita	Adsorpčná kapacita v [%]
Vapex	5	26,9	21,9	5,38	438
Perlit	5	27,8	22,8	5,56	456

Perlit do svojej štruktúry prijal 22,8ml oleja na 5g svojej hmotnosti. Celkovo tak prijal 456% svojej pôvodnej hmotnosti. Pri Vapexe hovoríme o prijatí 21,9 ml motorového oleja a o 438% navýšení hmotnosti.

Tabuľka 5 Sorpčná kapacita motorový olej – ASTM F726-17

Table 5 Sorption capacity engine oil – ASTM F726-17

Motorový olej	Hmotnosť suchého sorbentu [g]	Hmotnosť zmáčaného sorbentu [g]	Množstvo prijatej látky v [g]	Adsorpčná kapacita	Adsorpčná kapacita v [%]
Vapex	5	26	21	5,2	420
Perlit	5	27,4	22,4	5,48	448



Z výsledkov zaznamenaných v tabuľke 5 vyplýva, že Perlit prijal 22,4ml motorového oleja na 5g. Jeho hmotnosť vzrástla o 448%. Vapex naviazal 21 ml motorového oleja a jeho hmotnosť tak narástla o 420%. Pri oboch pokusoch s motorovým olejom vidíme, že naše vzorky nadobúdajú podobnú adsorpčnú schopnosť pri sorpcii tejto látky.

Použitý motorový olej

Hodnoty v tabuľkách 6 a 7 nám dokazujú tvrdenie, ktoré sme spomínali. Vapex a Perlit majú takmer identické sorpčné schopnosti pri viazaní použitého motorového oleja.

Tabuľka 6 Sorpčná kapacita použitého motorového oleja – ASTM F726-17 po úprave

Table 6 Sorption capacity used engine oil – ASTM F726-17 after editing

Použitý motorový olej	Hmotnosť suchého sorbentu [g]	Hmotnosť zmáčaného sorbentu [g]	Množstvo prijatej látky v [g]	Adsorpčná kapacita	Adsorpčná kapacita v [%]
Vapex	5	26,2	21,2	5,24	424
Perlit	5	26,3	21,3	5,26	426

Perlit dokázal naviazať 21,3 ml použitého motorového oleja a jeho hmotnosť tak vzrástla o 426%. Pri pohľade na hodnoty získané pri Vapexe, môžeme skonštatovať, že v priebehu tohto pokusu sme pre obe vzorky získali takmer identické výsledky. Vapex naviazal 21,2 ml použitého motorového oleja a jeho hmotnosť vzrástla o 424%.

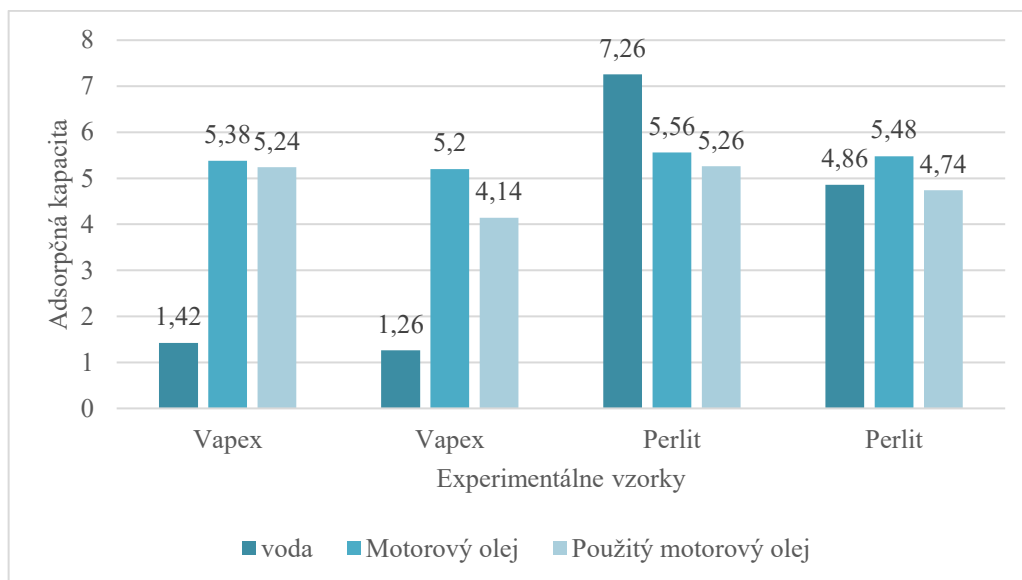


Tabuľka 7 Sorpčná kapacita použitý motorový olej – ASTM F726-17

Table 7 Sorption capacity used engine oil – ASTM F726-17

Použitý motorový olej	Hmotnosť suchého sorbentu [g]	Hmotnosť zmáčaného sorbentu [g]	Množstvo prijatej látky v [g]	Adsorpčná kapacita	Adsorpčná kapacita v [%]
Vapex	5	20,7	15,7	4,14	314
Perlit	5	23,7	18,7	4,74	374

V porovnaní s predošlou tabuľkou môžeme vidieť, že hodnoty pre jednotlivé vzorky sa líšia o trochu viac, no stále sú veľmi podobné. Perlit adsorboval 18,7 ml použitého motorového oleja a jeho hmotnosť vzrástla o 374%. Vapex prijal 15,7 ml a jeho hmotnosť tak vzrástla o 314%.



Obrázok 3 Graf závislosti adsorpčnej kapacity a kvapaliny

Figure 3 Graph of dependence of adsorption capacity and liquid



ZÁVER

Pri práci so sorpčnými materiálmi je veľmi dôležité vedieť posúdiť ich efektívnosť v danej situácii. Nie každý sorpčný materiál reaguje rovnako pri všetkých uniknutých látkach. Sorbenty sú veľmi efektívnym riešením odstraňovania nebezpečných látok a pri použití správneho typu sorpčného materiálu môžu ušetriť množstvo času, financií a predísť škodám. Avšak pri nesprávnom zvolení sorpčného materiálu je to práve naopak. Pokiaľ sa použije nesprávny sorpčný prvok je dôležité ho odstrániť a použiť ten správny sorpčný materiál. V dôsledku čoho dochádza k predlžovaniu zásahu, nárastu množstva použitého sorbentu – finančné predraženie. Taktiež pokiaľ zásah trvá dlhšie nebezpečná látka stihne napáchať väčšie škody.

Cieľom článku bolo porovnanie efektívnosti sorpčných látok pri lokalizácii a likvidácii únikov nebezpečných látok pri dopravných nehodách. Po dokončení experimentov sme získali nami zvolené vlastnosti sorpčných materiálov. Zistili sme konkrétne adsorpčnú kapacitu sypkých sorpčných materiálov pri skladovaní v teplote $23 \pm 4^\circ\text{C}$.

Po porovnaní nadobudnutých výsledkov vidíme, že výsledky jednotlivých vzoriek sa diametrálne odlišovali pri testoch na vode. Avšak pri pokusoch na motorovom oleji sa potvrdilo, že naše vzorky majú veľmi podobné a takmer identické vlastnosti.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] MARKOVÁ, I. 2009. Ekologické prostriedky na zachytávanie nebezpečných látok uniknutých v dôsledku dopravnej nehody. Súčinnosť záchranných zložiek integrovaného záchranného systému pri dopravných nehodách na pozemných komunikáciách. Žilina : Wettrans, 2009. s. 8. ISBN 978-80-85418-67-5



- [2] MARKOVÁ, I. 2006. Sorbenty – prostriedky používané pri zachytávaní uniknutej nebezpečnej látky na vodnej hladine. In Riešenie krízových situácií pri úniku nebezpečnej látky na vodných hladinách. Zvolen : TU, 2006. ISBN 80-228-1574-8, s. 41–50.
- [3] PÁLENÍK, F., 2024. Sorbenty používané v hasičských zboroch. Hasičský a záchraný zbor mesta Žiar nad Hronom, Žiar nad Hronom. Osobná komunikácia [2024-04-25].
- [4] Shuguang, Deng 2006. Sorbent technology. *Research gate*. [cit. 2024.04.25].https://www.researchgate.net/publication/267778978_Sorbent_Technology
- [5] MARKOVÁ, I. 2003. Ekologické prostriedky pre likvidáciu unikajúcich látok pri zásahu hasičov. In Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí. Žilina : TU Žilina, 2003. ISBN 80-8070-090-7, s. 311–317.
- [6] JESENÁK, K., 2001. Biológia, ekológia, chémia. In: Prírodné sorbenty a ich využitie pri ochrane životného prostredia. Roč. 6, č. Mimoriadne číslo, s. 28-33. ISSN 1338-1453
- [7] DOLEŽAL, J., 2024. Technický list – Vapex. Osobná komunikácia [2023-11-16].
- [8] Karta bezpečnostných údajov Perlit. [online]. Elektronický portál Firecontrol. https://www.firecontrol.sk/files/2016-08-22-101210-KBU_perlit.doc
- [9] ASTM F726-17 Standard Test Method for Sorbent Performance of Adsorbents for use on Crude Oil and Related Spills. ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Elektronický portál Der Standard.



PRACHY A ICH DISPERZITA DUSTS AND THEIR DISPERSION

Iveta CONEVA¹ – Iveta MARKOVÁ¹ - Michal HULIAK¹

¹Žilinská univerzity v Žiline, Fakulty bezpečnostného inžinierstva, Katedra požiarneho inžinierstva, ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, Slovenská republika, e-mail:

iveta.coneva@uniza.sk, iveta.markova@uniza.sk, michal.huliak@uniza.sk

Abstract

Combustible substances and materials, as well as flammable dusts and dust mixtures, are often found in modern technologies. These substances and materials as well as dusts present a significant risk of fire or explosion under certain circumstances. It is therefore important that future experts, our students, in the field of safety with a focus on rescue services, fire protection and explosion prevention acquire quality knowledge about the properties and behavior of flammable substances and materials, as well as flammable dusts and dust mixtures. It is necessary to link theoretical knowledge with practice, with experimental measurements in laboratories on available instrumentation based on knowledge of methodologies developed according to currently valid STN.

Keywords: *Combustible dust, types of dust, dust dispersion, sieve analysis of dust.*

ÚVOD

Fakulta bezpečnostného inžinierstva Žilinskej univerzity v Žiline poskytuje inovatívne vzdelanie svojim študentom a odborníkom z praxe v oblasti bezpečnosti so zameraním sa na krízový manažment, bezpečnostný manažment a záchranné služby. Moderné vzdelávanie sa snaží reagovať na aktuálne trendy trhu práce, potrieb študentov a reálne sa vyskytujúce situácie v oblasti bezpečnosti. K zvyšovaniu kvality vzdelávania študentov prispievajú svojim riešením aj zaujímavé vzdelávacie projekty ako je napr.: projekt KEGA č.036ŽU-4/2022 „Podpora praktickej prípravy študentov bezpečnostných vied zameraná na fyzickú ochranu objektov“ (KEGA, 2022). Je podstatné neustále aktualizovať študijné materiály, ktoré majú byť pre študentov dostupné, aby mohli



zvyšovať úroveň svojho poznania v rôznych oblastiach bezpečnosti ako sú napr.: ochrana pred požiarmi a protivýbuchová prevencia.

V moderných technológiách sa nachádza, skladuje, spracováva veľké množstvo horľavých látok a materiálov vo forme vstupných surovín, medziproduktov alebo aj hotových výrobkov, prípadne vznikajú vo forme odpadu (napr.: drevné prachy). Horľavé látky, materiály, prašné produkty, odpady predstavujú za určitých podmienok z požiarného hľadiska možné nebezpečenstvo vzniku požiaru alebo výbuchu. Je preto potrebné, aby študenti poznali problematiku a vlastnosti horľavých látok, materiálov a horľavých prachov.

ROZBOR PROBLEMATIKY

Definícia prachu

Prach je látka v tuhom skupenstve, ktorá sa vyskytuje v jemne rozdrvenom stave (Štroch, 2010). Prach sa definuje aj ako čiastočky tuhej látky s dvoma rozmermi menšími ako 0,5 mm (tretí rozmer môže byť aj väčší) (Damec, 1998) (Balog et al., 2015). Horľavý prach je definovaný ako pevný materiál zložený z častíc rôznej veľkosti, tvaru alebo chemického zloženia, ktorý môže vyvolávať po vytvorení horľavej zmesi s oxidačným prostriedkom nebezpečenstvo vzniku požiaru (OSHA, 2019). Podľa Horáka prach sú častice, ktoré vznikajú v technickej praxi zväčša mechanickým spôsobom – mletím, drvením, oterom v rozsahu 1 až 500 μm (Horák, 1996). Prach podľa WHO sú pevné častice, ktorých veľkosť sa pohybuje od 1 μm (a menej) najviac do 100 μm , ktoré môžu byť alebo sa stanú polietavé v závislosti od ich pôvodu, fyzikálnych charakteristík a podmienok prostredia (WHO/1999). Prach podľa IUPAC sú malé, suché, pevné častice vrhané do vzduchu prírodnými silami ako vietor, vulkanická erupcia a mechanickými alebo ručnými procesmi ako drvenie, brúsenie, frézovanie, vŕtanie, búranie, doprava, triedenie, balenie a zmetanie. Veľkosť (priemer) prachových častíc je zvyčajne v rozpätí od 1 do 100 μm a pomaly sedimentujú pod vplyvom tiaže (IUPAC, 1990). Norma STN EN 50281 – 2 – 1 (uvádza metódy skúšok pre stanovenie minimálnych teplôt vznietenia prachu pre účelový výberu elektrického zariadenia) definuje prach ako malé pevné častice



v atmosfére, ktoré sa usadzujú vlastnou váhou, ale ktoré môžu zostať rozprášené vo vzduchu nejaký čas (STN EN 50281-2-1, 2002). Prach sú vo všeobecnosti rozomleté pevné látky označované ako púder, múčka, prášok, úlomky vlákien a pod. (Damec et al., 1999), (Marková et al, 2018):

DRUHY PRACHOV

Podľa pôvodu sa prach delí na prach organický, anorganický a syntetický – umelé minerálne vlákna (čadičové, sklené). Organický prach môže byť rastlinného pôvodu (bavlna, ľan, múka, tabak, drevo) alebo živočíšneho pôvodu (prach z rohoviny, peria, chlpy). Anorganický prach môže byť kovový (meď, nikel, olovo) alebo nekovový (kremičitany, oxid kremičitý). Prachové častice organického pôvodu sú prevažne vláknité, častice anorganického pôvodu bývajú hranaté, špicaté.

Z hľadiska jeho tvorby v technologickom procese je možné špecifikovať prach (Damec et al., 1999) ako výrobok (kakaový prášok, cukrová múčka, pesticídy), polotovar (liečivá pred tabletovaním a pod.) alebo ako odpad (drevný prach (obr.1) , obilný prach).



Obrázok 1 Vzorka drevného smrekového prachu zarovnaná v kovovom prstenci o hrúbke 5 mm

Figure 1 Spruce wood dust sample aligned in a 5 mm thick metal ring



Druhy prachov nachádzajúcich sa v pracovnom prostredí (WHO, 1999) (Marková et al, 2018):

- minerálne prachy, také, ktoré obsahujú voľnú kryštalickú silicu, uhoľný a cementový prach,
- kovové prachy, ako napríklad olovnatý, kadmiový, niklový a berýliový prach,
- ostatné chemické prachy, t.j. sypké chemikálie a pesticídy,
- organické a rastlinné prachy, ako napr. prach z múky, dreva, bavlny, čaju a pod.,
- bioaerosóly ako živé mikroorganizmy, peľ, plesne a spóry.

V reálnom prostredí sa prach vyskytuje v dvoch stavoch: usadený prach (aerogel), rozvírený prach (aerosól).

Prach vzniká ako hlavný produkt výroby (cukor, múka, škrob a iné) alebo ako vedľajší produkt spracovania polotovarov a surovín (potravinársky, textilný priemysel, ťažba a spracovanie uhlia, dreva, papiera a iné) (Damec, 1998) (Balog et al.,2015). Prach sa vyskytuje v prevádzke v usadenej forme ako aerogél alebo v rozvírenej forme ako aerosól (Štroch, 2010), (Damec, 1998), (Balog et al.,2015). Uvedené formy môžu ľahko prechádzať z jedného stavu do druhého. Usadený prach sa dá ľahko rozvíriť (vibráciami, otrasmi, prúdom vzduchu a pod.) a naopak rozvírený prach sedimentáciou prechádza do usadeného stavu (Marková et al, 2018).

VÝSKUMNÁ ČASŤ

Disperzita prachov

Prašné zmesi na základe fyzikálno-chemických vlastností sú zaradené medzi koloidné a disperzné sústavy. Pre tieto zmesi je určujúca lineárna veľkosť častíc. Pomer veľkosti aktívneho povrchu častice S [m^2] a jej objemu V [m^3] určuje stupeň disperzity d_0 [m^{-1}] (1). Stupeň disperzity je závislý na geometrickom tvare prachovej častice, čo spôsobuje jeho nárast s klesajúcou veľkosťou prachovej častice (Štroch, 2010). Stupeň disperzity do



je určený pomerom povrchu všetkých častíc k ich celkovému objemu pre jednotku hmotnosti (1).

$$d_o = S / V \text{ [m}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

Kde:

d_o - stupeň disperzity (m^{-1}),

S - povrch častíc (m^2),

V - objem častíc (m^3).

Pri samovznietení alebo iniciácií iniciačným zdrojom (najmä vnútorným) nastáva uvoľnenie energie z objemu zmesi, ktorá sa následne prenáša vysokou rýchlosťou sálaním alebo vedením tepla medzi prachové častice do všetkých smeroch. Veľký podiel na určovaní stupňa požiarneho nebezpečenstva pri prachových časticiach vyjadruje práve stupeň disperzity (1) (Marková et al, 2018) (Cabánik, 2023).

Sústavy (napr.: prachy a prašné zmesi) obsahujúce častice s rôznymi lineárnymi rozmermi sa označujú ako polydisperzné. Podmnožina tejto sústavy s rovnakým lineárnym rozmerom sa nazýva frakcia. Podiel jednotlivých frakcií na celkovej hmotnosti sústavy určuje distribučná funkcia, definovaná vzťahom (2):

$$m = \int_{\infty} F(r) dr \quad (2)$$

Kde:

m – hmotnosť sústavy [kg],

r – lineárny rozmer častice [m],

F – distribučná funkcia [r]. Obyčajne sa vzťah uvažuje pre $m = 1$.

Experimentálne metódy, dovoľujúce určiť distribučnú funkciu, závisia od rozsahu rozmeru jednotlivých frakcií (tab.1) (Marková et al, 2018). Ak sa líšia rozmery jednotlivých frakcií výraznejšie, má distribučná funkcia nespojitý, diskretný charakter. Ak narastajú rozmery jednotlivých frakcií postupne s malými rozdielmi, prechádza nespojitá distribučná funkcia do funkcie spojitej (Marková et al, 2018).



Tabuľka 1 Prehľad experimentálnych metód z hľadiska určenia rozsahu ich frakcií (Marková et al, 2018)

Table 1 Overview of experimental methods in terms of determining the range of their fractions (Marková et al, 2018)

Experimentálna metóda	Frakcia
sitová analýza	100 – 0,08 mm
papierové filtre	5 – 1,5 μm
sklenené a keramické filtre	100 – 0,2 μm
sedimentácia v gravitačnom poli	0,1 – 0,01 mm
pohyb v prúde vzduchu	100 – 0,5 nm
meranie mikroskopom	1mm – 0,5 μm
meranie ultramikroskopom	1 μm – 5 mm
elektrónový mikroskop, nefelometria a meranie difúzneho koeficienta	1nm – 5 nm

Veľký vplyv na vytváraní vrstvy prachu má doba (čas), za ktorú dochádza k usadzovaniu prachových častíc (Tab. 2). Táto doba je závislá od veľkosti prachových častíc, vlastností okolitého prostredia a pohybu vzduchu v priestore (Marková et al, 2018) (Cabánik, 2023)

V prípade výskytu disperzného prachu, ktorý má pomerne veľký povrch, veľkú chemickú aktivitu a nízku teplotu samovznietenia dochádza zväčšovaniu intervalu medzi výbušnosťou. Usadený prach je po iniciácii charakteristický pomalšou reakciou (prebieha horenie) a rozvírený prach rýchlejšou reakciou (uskutočňuje sa explózia = výbuch), pri ktorej dochádza k vytvoreniu výbušnej koncentrácie v podobe prachového mraku (Štroch, 2010). (Marková et al, 2018).



Tabuľka 2 Orientačné doby (čas) usadzovania prachových častíc (Štroch, 2010). (Marková et al, 2018)

Table 2 Approximate periods (time) of settling of dust particles (Štroch, 2010). (Marková et al, 2018)

Veľkosť prachovej častice [μm]	Orientačná doba (čas) usadzovania
100	180[s]
10	360[s]
1	0,9 h
0,1	900 h
0,05	> 75 dní

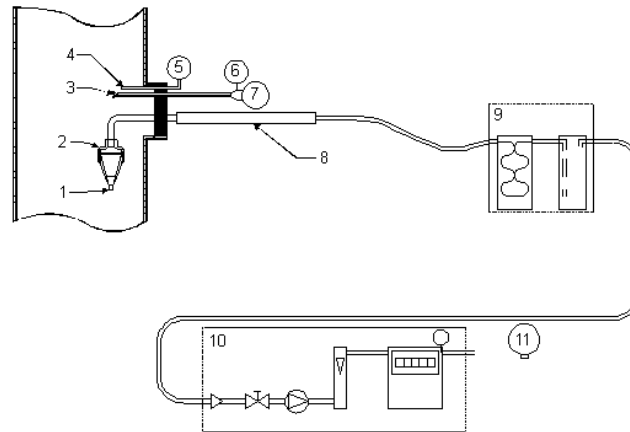
Analýza veľkostných frakcií prachových častíc sa stanovuje: mechanickou metódou (sitová analýza), optickou metódou (metóda rozptylu svetla alebo difrakčné metódy RTG) alebo gravitačnou metódou (separácia, sedimentácia a centrifugácia uskutočnená v prúde plynu alebo kvapaliny) (Marková et al, 2018).

SITOVÁ ANALÝZA PRACHOV

Charakteristickou vlastnosťou práškových a zrnitých materiálov (teda aj prachu) sú: zrnitostné zloženie – základná kvalitatívna vlastnosť, ktorá sa získava granulometrickou analýzou, čo je údaj charakterizujúci kvantitatívne zastúpenie jednotlivých častíc (skupiny častíc- frakcií) určitej veľkosti v celom súbore sypkej hmoty (Jesenák, 2008).

Rozdelením prašnej látky na jednotlivé skupiny – frakcie, ktorých rozmer spadá do určitého vymedzeného intervalu veľkostí možno získať navzájom súvisiace údaje charakterizujúce spojitý zákon rozdelenia. Vzhľadom k veľkému počtu častíc obsiahnutých v prašnej látke a ich rôznej veľkosti, možno rozmery jednotlivých častíc považovať za hodnoty spojitej náhodnej premennej (veľičiny). Frakčné zloženie prašnej látky možno stanoviť niektorou z metód disperzného rozboru. Metóda určovania charakteristických znakov disperzií sa nazýva granulometria a metódy granulometrické.

Sitovanie je frakčné triedenie sitom, pričom zrnitý materiál, získaný izokinetickým odberom (obr.2) je rozdelený sitom na prepád a zvyšok.



Obrázok 2 Aparatúra pre izokinetický odber vzorky STN ISO 9096:2004-07 (83 4610) (Marková et al, 2018)

Figure 2 Apparatus for isokinetic sampling STN ISO 9096:2004-07 (83 4610) (Marková et al, 2018)

Legenda: 1 – vstupná sacia hubica, 2 – držiak filtra, 3 – Pitotova sonda, 4 – čidlo merania teploty, 5 – indikácia teploty, 6 – meranie statického tlaku, 7 – meranie dynamického tlaku, 8 – nosná rúrka pre odber prachu v potrubí, 9 – systém chladenia a sušenia, 10 – sacie zariadenie a meradlo prietoku plynu, 11 – meradlo atmosférického tlaku.

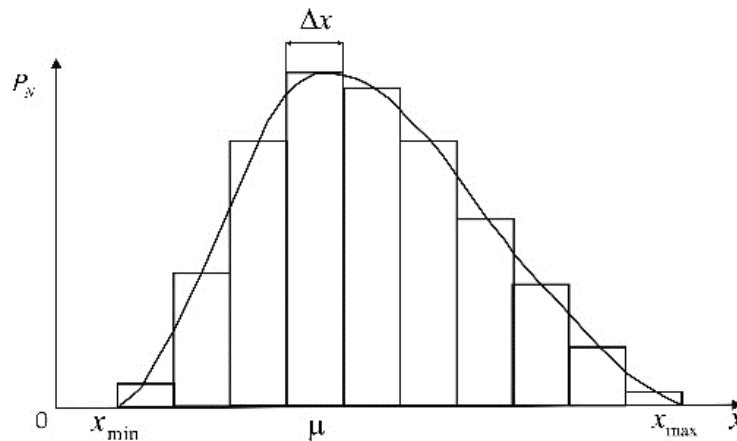
Pojem zvyšok a prepád sa vyjadruje väčšinou v % a je to kvantitatívna charakteristika zrnitého materiálu zisťovaná sitovým rozborom (Medek, 1985) sitovacím zariadením (obr.3).



Obrázok 3 Automatický vibračný sitovací stroj Retsch AS 200 control, grafické znázornenie pojmu zvyšok a prepad (Jobbágyová, 2008) (Marková et al, 2018)

Figure 3 Automatic vibrating sieving machine Retsch AS 200 control, graphic representation of the concept of residue and overflow (Jobbágyová, 2008) (Marková et al, 2018)

Najčastejšie sa zrnitostné zloženia látok vyjadruje cez distribučnú krivku, resp. distribučným histogramom a kumulatívnou krivkou, obr.4.



**Obrázok 4 Zrnitostné zloženie látok – distribučná krivka (Dzurenda, 2007)
(Marková et al, 2018)**

**Figure 4 Granular composition of substances - distribution curve (Dzurenda, 2007)
(Marková et al, 2018)**

VÝSLEDKY A DISKUSIA

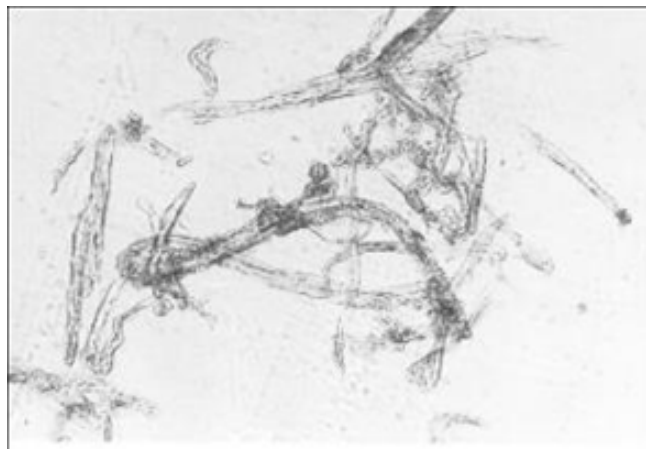
Distribučná krivka (obr.4), predstavuje krivku, z ktorej je možné zistiť, aký percentuálny podiel z celkového počtu častíc pripadá na častice s určitou veľkosťou, aká je minimálna, maximálna alebo priemerná veľkosť častíc alebo aká je veľkosť najfrekvencovanejších častíc, prípadne aký je konkrétny podiel určitej zrnitostnej frakcie (Jesenák, 2008).

Pre analýzu veľkosti jednotlivých častíc, ktorá je reprezentovaná najmä obrazovou analýzou (mikroskopická metóda), možno použiť napr. mikroskop SM1 (obr.5), z ktorého je obraz prenášaný priamo do PC pomocou kamery MoticCam 1000, kde je spracovaný grafickým softvérom Motic Images Plus 2.0. (obr.6) (Marková et al, 2018). Obr.7 je pohľad na mikroskopický detail prachových častíc buka o veľkosti 100 μm . (Mračková, 2004).



Obrázok 5,6 Mikroskop SM1 s inštalovanou kamerou MoticCam 1000 (Marková et al, 2018)

Figure 5,6 Microscope SM1 with MoticCam 1000 camera installed (Marková et al, 2018)



Obrázok 7 Mikroskopický detail prachových častíc vzoriek buka o veľkosti 100 μm . (Mračková, 2004)

Figure 7 Microscopic detail of dust particles of beech samples with a size of 100 μm . (Mračková, 2004)

Charakteristika zrnitosti sypkých hmôt je daná rozmermi a tvarmi zŕn (STN 26 0070,1995). Zrnitosť hrubších práškových materiálov, napr. odlúčeného prachu pri mechanickom odlučovaní, možno zisťovať pomocou sitovej analýzy. Častice, ktoré prejdú sitom danej veľkosti oka a zachytia sa na nasledujúcom site s menšími veľkosťami



oka, sú zaradené do frakcie s veľkostným intervalom daným oboma veľkosťami ôk. Sitovaním nezisťujeme teda priamo rozmer častice, ale triedime súbor častíc do jednotlivých veľkostných intervalov, odkiaľ sa potom príslušným postupom odvodí kumulatívna krivka zrnitosti (krivka zvyškov alebo prepádov) (Kučerka, 2012).

Granulometrické zloženie, zrnitosť je jedna z najdôležitejších vlastností prachov. Vo výrobnom procese vznikajú takmer výlučne prachy polydisperzné, obsahujúce častice rôznych veľkostí (Kučerka, 2012), (Amyotte a Eckhoff, 2010), (Eckhoff, 2012), (Marková et al, 2018). Distribučná krivka, predstavuje krivku, z ktorej je možné zistiť, aký percentuálny podiel z celkového počtu častíc pripadá na častice s určitou veľkosťou, aká je minimálna, maximálna alebo priemerná veľkosť častíc alebo aká je veľkosť najfrekvencovanejších častíc, prípadne aký je konkrétny podiel určitej zrnitostnej frakcie (Jesenák, 2008).

ZÁVER

Inovatívne vzdelávanie študentov, budúcich odborníkov v oblasti bezpečnosti je prioritou na FBI UNIZA. Pre študentov záchranných služieb je dôležité, aby poznali vlastnosti horľavých materiálov a látok, a taktiež horľavých prachov a prašných zmesí, ktoré sa vyskytujú v praxi, v technológiách a za určitých okolností môžu viesť k vzniku požiaru alebo výbuchu. Vedomosti v oblasti horľavých prachov napomáhajú zvyšovať úroveň ochrany pred požiarmi a protivýbuchovej prevencie.

POĎAKOVANIE

Tento príspevok bol publikovaný v rámci riešenia projektu KEGA 036ŽU–4/2022 „Podpora praktickej prípravy študentov bezpečnostných vied zameraná na fyzickú ochranu objektov.“



ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

1. KEGA č.036ŽU-4/2022 „Podpora praktickej prípravy študentov bezpečnostných vied zameraná na fyzickú ochranu objektov.“
2. Štroch, P. Procesy hoření a výbuchu. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2010. ISBN 978-80-554-0187-4.
3. Damec, J. Protivýbuchová prevence. Ostrava : EDICE SPBI SPEKTRUM, 1998. ISBN 80-86111-21-0.
4. Balog, K.; Kačíková, D.; Martinka, J. Zisťovanie príčin vzniku požiarov. Vysokoškolská učebnica. Zvolen. TU vo Zvolene, DF. 1.vydanie. 2015, ISBN 978-80-228-2831-4.
5. OSHA. 2019. Occupational Safety and Health Administration about Hazard Communication Guidance for Combustible Dusts [Online]. In: U.S. Department of Labor. USA: OSHA, 2019. [Cit. 2023-04-04]. Dostupné na: <https://www.osha.gov/sites/default/files/publications/3371combustible-dust.pdf>
6. Horák, M. Technika ochrany ovzdušia. Bratislava: ES STU, 1996, 148 s.
7. WHO. 1999. Hazard prevention and control in the work environment: Airborne dust. WHO/SDE/OEH/99.14), World Health Organization, 1999 Geneva.
8. IUPAC. Glossary of atmospheric chemistry terms. International Union of Pure and Applied Chemistry, Applied Chemistry Division, Commission on Atmospheric Chemistry. Pure and Applied Chemistry , 1990, 62 (11)
9. STN EN 50281-2-1: 2002. Elektrické zariadenia do priestorov s horľavým prachom. Časť 2-1: Skúšobné metódy. Metódy na stanovenie minimálnych teplôt vznietenia prachu.
10. Damec, J.; Věžníková, H.; Foniok, R.; Fonioková, J. Protivýbuchová prevencia v potravinárstve a poľnohospodárstve. Ostrava : SPBI Ostrava 1999, 155s. ISBN 80-86111-41-5.
11. Marková, I.; Očkajová, A. Hodnotenie rizika drevných prachov v pracovnom a životnom prostredí. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela v Banskej Bystrici, 2018. ISBN 978-80-557-1391-5.



12. Cabánik, L. Zhodnotenie úrovne ochrany pred požiarimi a protivýbuchovej prevencie vo vybranom potravinárskom podniku In: Diplomová práca 2023, FBI UNIZA, Žilina. s. 93.
13. Jesenák, K. Analýza veľkosti častíc. Bratislava: UNIBA, 2008, 150 s.
14. STN ISO 9096:2004-07 (83 4610) Ochrana ovzdušia. Stacionárne zdroje znečisťovania. Stanovenie koncentrácie a hmotnostného toku tuhých znečisťujúcich látok v prúdiacom plyne. Manuálna gravimetrická metóda.
15. Medek, J. Mechanické pochody. Praha: SNTL Praha, 1985
16. Jobbágyová, A. 2008. Vplyv dreviny na vlastnosti drevného brúsneho prachu. Dizertačná práca. Zvolen: TU, 2008 (nepublikované)
17. Kučerka M. Meranie niektorých vybraných fyzikálnych vlastností dezintegrovanej drevnej hmoty. Acta universitatis matthiae belii. Ser.: TECHNICKÁ VÝCHOVA No 12. Banská Bystrica: Fakulta prírodných vied, Katedra techniky a technológií, Univerzita Mateja Bela, 2012, s. 30-39. Dostupné na internete: <file:///C:/Users/DELL/Downloads/ACTA%202012.pdf>
18. STN 26 0070: 1995. Klasifikácia a označovanie sypkých hmôt dopravovaných na dopravných zariadeniach.
19. Mračková, E. Microscopic analysis of spruce and beech wood dust. Ochrana przed korozja 5s/A/ 2004. SIGMA-NOT Spolka z o. o. PL ISSN 0473-7733
20. Amyotte, P. R.; ECKHOFF, R. K. Dust explosion causation, prevention and mitigation: An overview. Journal of Chemical Health and Safety, 2010, 17(1), 15–28. <http://doi.org/10.1016/j.jchas.2009.05.002>.
21. Eckhoff, R. K. 2012. Does the dust explosion risk increase when moving from μm -particle powders to powders of nm-particles? Journal of Loss Prevention in the Process Industries Volume 25, Issue 3, May 2012, Pages 448–459



URČOVANIE ODSUPOVÝCH VZDIALENOSTÍ OD STAVIEB POŽIARNYMI MODELMI

DETERMINATION OF SEPARATION DISTANCES FROM BUILDINGS BY FIRE MODELS

Dorota HODÚLOVÁ¹ - Stanislava GAŠPERCOVÁ¹ – Michal BALLAY¹

¹Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, 1. mája 32, Žilina
010 01, 041 513 6769, dorota.hodulova@uniza.sk, stanislava.gaspercova@uniza.sk,
michal.ballay@uniza.sk

Abstract

Fire models are not only a modern tool used to fight fires and gain knowledge about them, but also a tool that is used as a basis for education. They are based on empirical and scientific knowledge and their results are comparable to real experiments. FDS is a fire model that is aimed at solving problems in the field of fire engineering and is also a tool used to study the basic dynamics of fire and combustion. The aim of this paper is to describe the influence of the input parameters of the simulations used in the prediction of the fire hazardous area of a building on the accuracy of the readings and plotting of the stand-off distances. The resulting spacing distance values are affected by changing the values of the individual parameters, which are the subject of this paper.

Keywords: *Fire Models, Fire dynamics Simulator, Spacing Distances, Simulations, Education*

ÚVOD

Protipožiarna bezpečnosť stavieb je schopnosť stavebných objektov brániť stratám na životoch, poškodeniu zdravia a majetku v prípade vzniku požiaru [1]. V rámci protipožiarnej bezpečnosti stavieb je riešené rozdelenie stavby na požiarne úseky, odolnosti konštrukcií, evakuácia, vybavenie stavieb požiarными zariadeniami, zabezpečenie stavby vodou na hasenie ale aj odstupové vzdialenosti od stavieb [2]. Odstupová vzdialenosť od stavby sa určuje na základe vymedzenia požiarne



nebezpečného priestoru. Problematika riešenia odstupových vzdialeností od stavieb je stále viac aktuálne a je potrebné sa jej čoraz viac venovať, nakoľko neustále dochádza k výstavbe nových stavieb, s ktorých výstavbou aj priamo úmerne klesá množstvo stavebných pozemkov, na ktorých je možnosť umiestnenia stavieb bez riešenia problematiky ovplyvňovania protipožiarnej bezpečnosti inej stavby. Preto je neustále potrebné dbať na riešenie problému prenosu požiaru medzi susednými stavbami. Aby bolo možné efektívne zabrániť prenosu požiaru medzi stavbami je potrebné poznať nielen odstup medzi nimi, ale aj samotný priebeh požiaru, jeho správanie sa. Momentálne neexistuje spôsob akým by sa dalo na 100 % pravdepodobnosťou predvídať správanie požiaru v uzatvorenom priestore, avšak je možné odhadnúť jeho správanie pomocou dostupných nástrojov, medzi ktoré sa zaraďujú požiarne modely.

Požiarne modely sú technológia, ktorá umožňuje simuláciu požiarov, najmä v uzatvorených priestoroch, vďaka ktorej vieme predpovedať správanie a priebeh požiarov, čím vieme účinne bojovať proti ich vzniku a tým eliminovať škody na majetku, chrániť životy a zdravie osôb nachádzajúcich sa v týchto stavbách. Avšak implementácia požiarnych modelov do praxe je z pohľadu riešenia protipožiarnej bezpečnosti stavieb stále neznáma oblasť, pričom pre ich aplikáciu stačí stanoviť okrajové podmienky v jednotlivých oblastiach riešenia protipožiarnej bezpečnosti stavieb, za ktorých by podávali obdobné výsledky ako preskriptívny prístup.

Cieľom príspevku je popis vplyvu vstupných parametrov simulácií používaných pri predikcii požiarne nebezpečného priestoru stavby na presnosť odčítania a vykreslenia odstupových vzdialeností. Výsledné hodnoty odstupových vzdialeností sú ovplyvňované zmenou hodnôt jednotlivých parametrov, ktorých skúmanie je predmetom tohto príspevku.

POŽIARNE MODELÝ A FIRE DYNAMICS SIMULATOR

Požiarne modely sú návrhové požiare, ktoré slúžia v rámci riešenia protipožiarnej bezpečnosti stavieb. Požiarne modely sa rozdeľujú na Fyzikálne a Matematické, ktoré sa ďalej členia podľa spôsobu použitia. Existuje veľké množstvo požiarnych modelov, pričom každý z nich má za úlohu najmä simulovať požiar a prenos dymu, ale každý kladie dôraz na iné parametre ich vývoja. Každý model funguje inak a s inou presnosťou,



niektoré sú platené iné nie, majú svoje výhody aj nevýhody [3]. Tento príspevok sa zaoberá implementáciou CFD (Computational Fluid Dynamics) modelov, konkrétne programom FDS (Fire Dynamics Simulator) a jeho aplikáciou do riešenia odstupových vzdialeností stavieb.

Jedným z najznámejších požiarnych modelov je softvér FDS (Fire Dynamics Simulator), ktorý je zameraný na riešenie problémov z oblasti požiarného inžinierstva a zároveň je nástrojom slúžiacim k štúdiu základnej dynamiky požiaru a spaľovania. FDS je možné použiť pre štúdie zaoberajúce sa manipuláciou s dymom, aktiváciou požiarnotechnických zariadení a rekonštrukciou požiarov v uzatvorených priestoroch [4-6].

FDS funguje na základe riešenia Navier – Stokesových rovníc, ktoré sú vhodné pre nízkorýchlostné tepelne riadené prúdenie s $Ma < 0,3$ a dôrazom kladeným na prenos dymu a tepla z požiaru. Základným algoritmom pri výpočtoch je explicitná prediktorovo – korektorová schéma, ktorá je presná v priestore a čase druhého rádu. Vo väčšine prípadov sa v FDS využíva jedнокroková chemická reakcia, ktorá je riadená miešaním troch prvkov, a to vzduch, palivo a produkty. V menšom počte sa využívajú viacnásobné reakcie a reakcie, ktoré nie sú nevyhnutne riadené miešaním troch prvkov. Prenos tepla je do výpočtov zahrnutý pomocou rovnice prenosu žiarenia plynom alebo pomocou širokopásmového modelu. Absorpčné koeficienty zmesí plynov a sadzí sa počítajú pomocou úzkopásmového modelu RadCal a vychádzajú z Mieho teórie [6].

Simulácie v FDS fungujú na základe čítania vstupných parametrov z textového súboru, pomocou ktorých sa riešia rovnice popisujúce vývoj požiaru. Na základe rovníc sa následne zapisujú výstupné údaje do súborov určených používateľom. Každá simulácia je daná jedným textovým súborom, ktorý je možné zapísať textovým editorom alebo využitím používateľského grafického rozhrania PyroSim. FDS obsahuje sprievodný program Smokeview, ktorý číta výstupné údaje a vytvára simulácie na obrazovke. Smokeview má jednoduché rozhranie, ktoré je ovládané pomocou menu. V FDS je možné spustiť simulácie, ktoré sú jednoduché ale aj zložitejšie. Neexistuje žiadna pevne stanovená hranica, ktorá by zabráňovala spustiť príliš veľký výpočet, ktorý môže byť zložitý pre daný hardvér, avšak príliš veľké zjemňovanie výpočtovej mriežky vedie



k časovo náročným simuláciám a od určitého rozmeru mriežky je prínos jemnosti z pohľadu dĺžky výpočtu irelevantný [6].

URČOVANIE POŽIARNE NEBEZPEČNÉHO PRIESTORU

Požiarne nebezpečný priestor stavieb sa určuje k zabráneniu prenosu požiaru z jedného požiarneho úseku na druhý alebo z jednej stavby na druhú prostredníctvom sálavého tepla požiaru z požiarne otvorených plôch, alebo padajúcimi časťami horiacej konštrukcie. K zabráneniu prenosu požiaru sa využívajú požiarne deliace konštrukcie, najmä v interiéroch stavieb na zabránenie prenosu požiaru z jedného požiarneho úseku na druhý, a odstupové vzdialenosti, na zabránenie prenosu požiaru medzi stavbami. Požiarne nebezpečný priestor celej stavby môže zasahovať do verejného priestranstva, do ulice, parku alebo vodnej plochy. V prípade, ak sa požiarne nebezpečné plochy požiarneho úseku stavieb prekrývajú, za rozhodujúci sa považuje väčší požiarne nebezpečný priestor. Odstupové vzdialenosti sú v Slovenskej republike riešené pomocou normy STN 92 0201 – 4, ktorá nadväzuje na ostatné normy rady STN 92 0201. Všetky normy používané na riešenie protipožiarnej bezpečnosti na Slovensku vychádzajú z publikácie Zabraňujeme škodám od Vladimíra Reichla vo všetkých zväzkoch. Odstupovými vzdialenosťami sa konkrétne zaoberá zväzok 27 [7, 8].

Preskriptívny prístup určenia odstupových vzdialeností

Požiarne nebezpečný priestor je podľa Reichla priestor, ktorý sa vytvára okolo horiaceho požiarneho úseku alebo objektu, v ktorom je nebezpečie prenosu požiaru sálaním tepla, alebo padajúcimi časťami konštrukcie, ktoré by mohli šíriť požiar na iný objekt alebo požiarne úsek. Požiarne nebezpečný priestor požiarneho úseku v stavebnom objekte je obmedzený plochou vedenou v odstupovej vzdialenosti d rovnobežne s požiarne otvorenou plochou posudzovaného požiarneho úseku. Po stranách je požiarne nebezpečný priestor obmedzený valcovými plochami s polomerom, ktorý je rovný odstupovej vzdialenosti, ktorej osi sú totožné s hranicami požiarne otvorenej plochy, ktoré vychádzajú z hraníc požiarne otvorenej plochy a zvierajú spolu uhol 160° . Výškovo je požiarne nebezpečný priestor určený podobne, ale je možnosť zjednodušenia vodorovnou rovinou vedenou vo vzdialenosti $0,7d$ od hornej hranice požiarne otvorenej plochy. Odstupová vzdialenosť od požiarne otvorených plôch sa určuje na základe



stanovenia kritickej plošnej hustoty tepelného toku I_0 dopadajúceho na stavebný materiál, pri ktorej dôjde k vznieteniu tohto materiálu, stanovenia plošnej hustoty tepelného toku z požiarne otvorených plôch I a stanovenia vzdialenosti, pri ktorej klesne hodnota plošnej hustoty tepelného toku z I na I_0 [8].

Určenie odstupových vzdialeností požiarными modelmi

Základom modelovania priestoru požiaru je vytvorenie Výpočtovej siete. Výpočtová sieť sa skladá z výpočtových buniek, ktorým určujeme rozmer. Výpočty prenosu tepla, požiaru a splođín horenia prebiehajú jednotlivo v týchto bunkách a súčasne naraz v celej výpočtovej sieti pre čo najpresnejšie získanie výsledkov a vizualizácií [9].

Následne sa steny výpočtovej steny zadefinujú ako otvorené plochy, ktoré simulujú vonkajší priestor, exteriér. Jedna stena výpočtovej siete sa ponechá ako konštrukcia, do ktorej je osadený otvor, ktorý simuluje sálavú plochu, od ktorej sa určuje odstupová vzdialenosť. Sálavá plocha sa určí najskôr zadefinovaním povrchu, ktorému sa priradí konštantná teplota alebo hodnota rýchlosti uvoľňovania tepla, ktorá zodpovedá hodnotám teplôt požiaru vybraného skúmaného priestoru na základe výpočtového požiarneho zaťaženia. Hodnoty rýchlosti uvoľňovania tepla je možné určiť experimentálne, hodnoty teploty je možné určiť výpočtom podľa ISO 834. Následne sa konštrukcii priradí otvor s povrchom požiaru, a tak vznikne sálavá plocha [9].

Odstupová vzdialenosť je meraná zariadeniami, ktorým je priradená veličina, ktorú majú zariadenia zaznamenávať. FDS poskytuje možnosť použitia 10 zariadení, ktoré je možné použiť pri meraní odstupových vzdialeností. Tieto zariadenia sa líšia v meraní jednotlivých zložiek prenosu energie a v umiestnení na pevnú plochu alebo umiestnenia do vzduchu. Všetky zariadenia sú popísané v Fire Dynamics Simulator User's Guide, kapitola 22.10.22 Heat Flux [8]. Následne sa vybrané zariadenia umiestnia v požadovanej počte a vzdialenosti od sálavej plochy. Odstupová vzdialenosť je odčítaná a vykreslená pomocou Slice File Output a Isosurface File Output na základe kritickej hodnoty pre meranie požiarne nebezpečného priestoru $18,5 \text{ kW.m}^{-2}$ [9].



METODIKA A VÝSLEDKY

K tomu, aby sa v praxi dali aplikovať požiarne modely a mohli sa začať využívať pri určovaní odstupových vzdialeností od stavieb je potrebné vytvorenie veľkého počtu simulácií, ktorými sa postupne budú skúmať jednotlivé vstupné parametre a to, ako tieto parametre ovplyvňujú výpočtový čas simulácií, presnosť odčítania a vykreslenia odstupových vzdialeností, no najmä veľkosť odstupovej vzdialenosti od stavby. Tento článok sa konkrétne bude zaoberať vplyvom vybraných parametrov simulácií na presnosť odčítania, vykreslenie a veľkosť odstupových vzdialeností. Parametrami, ktoré ovplyvňujú odčítanie odstupových vzdialeností sú [6,9]:

Veľkosť výpočtových buniek vo výpočtovej mriežke.

Dĺžka cesty (Path Length) [m] – tento parameter je dôležitý pri určovaní a zachytávaní hodnôt prenosu radiácie v priestore požiaru. V rámci výpočtu tepelného toku tento parameter udáva vzdialenosť medzi požiarom a meracím zariadením (cieľom).

Počet priestorových radiačných uhlov (Number Radiation Angles) – tento parameter zlepšuje priestorovú a časovú presnosť diskkrétnej rovnice prenosu žiarenia, čím ovplyvňuje vizualizáciu kritických hodnôt pri určovaní odstupových vzdialeností. Čím menší počet priestorových radiačných uhlov, tým má vizualizácia hviezdicovitejší tvar a naopak, čím je počet väčší, tým je vizualizácia kritickej hodnoty hladšia a približuje sa k tvaru oválu.

Prírastok časového kroku (Time Step Increment) a Prírastok uhlov (Angle Increment) – tieto parametre ovplyvňujú frekvenciu výstupov zaznamenávaného žiarenia. Prednastavená hodnota prírastku časového kroku je 3 a prírastku uhlov 5. V takomto prípade, dôjde každých 15 časových krokov k aktualizácii rovnice prenosu žiarenia a teda k zaznamenaniu hodnôt. Ak hodnoty oboch parametrov budú 1, tak k zaznamenaniu hodnôt dôjde každý 1 časový krok.

Relatívna vlhkosť vzduchu (Humidity) – tento parameter nadobúda hodnoty v rozmedzí 0-100, pričom prednastavená hodnota je 40 %.



Tento príspevok sa zaoberá konkrétne vplyvom parametrov Dĺžka cesty a Počet priestorových radiačných uhlov na presnosť určenia odstupovej vzdialenosti od sálavej plochy v porovnaní s preskriptívnym výpočtom podľa [8].

Priestor simulácií

Celý výskum prebiehal v troch základných priestoroch simulácie (výpočtových sieťach), ktoré sa líšili svojou výškou, nakoľko v každom priestore boli použité iné veľkosti otvorov, od ktorých boli odčítané odstupové vzdialenosti. Rozmery výpočtových sietí, veľkosti buniek a rozmery sálavých plôch sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Vstupné údaje priestorov simulácií
Table 1 Input data of simulation spaces

Priestor	Výpočtová sieť			Rozmer buniek (mm)	Rozmer sálavej plochy (m x m)
	Šírka (m)	Dĺžka (m)	Výška (m)		
Priestor 1	2,5	4	3	25	1 x 1
Priestor 2	4	4	3	25	1,5 x 1,5
Priestor 3	4	4	3	25	2 x 2

Dĺžka cesty bola na prednastavených hodnotách 0,1 m. Hodnota Počtu priestorových uhlov bola 400, Prírastok časového kroku 1, Prírastok uhlov 1 a Relatívna vlhkosť vzduchu 40 %. Následne dochádzalo k zmene parametrov Dĺžka cesty a Počet priestorových radiačných uhlov v ich kombináciách, pričom ostatné zostali na prednastavených hodnotách. Požiar, sálavá plocha, bola vytvorená povrchom, ktorého teplota bola 900 °C, čo je ekvivalentná hodnota k požiaru priestoru so zaťažením 50 kg.m⁻². K zaznamenávaniu a odčítaniu odstupových vzdialeností, boli vytvorené Slice File Output s výškou zaznamenávania vždy v strede okna, čo predstavuje výšku v polovici výpočtovej siete, a Isosurface File Output s hodnotou zaznamenávania 18,5 kW.m⁻². Nakoniec boli vytvorené zariadenia, vybraným zariadením bolo zariadenie Gauge Heat Flux Gas, nakoľko toto zariadenie zaznamenáva prúdenie aj sálanie, a je možné ho umiestniť do voľného priestoru, teda nie je viazané na pevnú konštrukciu. Tieto



zariadenia boli umiestnené v počte 17 kusov v meniacej sa vzdialenosti od zdroja tepla v závislosti od parametru Dĺžka cesty. Čas simulácie bol nastavený na 6 s, kedy došlo k ustáleniu tepla vyžarujúceho zo zdroja.

Testované parametre

Tento príspevok sa zaoberá vplyvom zmeny vybraných parametrov Dĺžka cesty a Počet priestorových radiačných uhlov na presnosť určenia odstupovej vzdialenosti od sálavej plochy v porovnaní s preskriptívnym výpočtom. Spolu bolo vytvorených 56 simulácií, v ktorých sa menil rozmer sálavej plochy, dĺžka cesty a počet priestorových radiačných uhlov. Počet priestorových radiačných uhlov sa menil na hodnoty 500, 1 000, 1 500 a 2 000. Dĺžka cesty sa menila v závislosti od veľkosti sálavej plochy. Rôzne dĺžky cesty pri zmene veľkosti sálavej plochy sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Kombinácie vstupných parametrov simulácií

Table 2 Combinations of simulation input parameters

Sálavá plocha (m x m)	Dĺžka cesty (m)	Sálavá plocha (m x m)	Dĺžka cesty (m)	Sálavá plocha (m x m)	Dĺžka cesty (m)
1 x 1	0,5	1,5 x 1,5	0,4	2 x 2	1,0
	0,75		0,9		1,5
	1,0		1,4		2,0
	1,25		1,9		2,55
	1,5		2,4		3,0
	1,75		2,9		3,5
	2,0		3,4		4,0

VÝSLEDKY

Na základe vytvorenia a nasimulovania všetkých simulácií a získania výsledkov odstupových vzdialeností bola vytvorená Tabuľka 3.



Tabuľka 3 výsledky simulácií
Table 3 Simulation results

Otvor	Dĺžka cesty	Uhly 500		Rozdiel %	Uhly 1 000		Uhly 1 500		Uhly 2 000	
		Odstup	Odstup		Odstup	Odstup	Odstup	Odstup	Odstup	Odstup
		Reichel	FDS		FDS	FDS	FDS	FDS	FDS	FDS
1x1	0,5	1,25	1,2	4,0	1,2	4,0	1,2	4,0	1,2	4,0
	0,75		1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0
	1,0		1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0
	1,25		1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0
	1,5		1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0
	1,75		1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0
	2,0		1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0	1,225	2,0
1,5x1,5	0,4	1,85	1,75	5,4			1,75	5,4		
	0,9		1,8	2,7			1,8	2,7		
	1,4		1,8	2,7			1,8	2,7		
	1,9		1,825	1,4			1,825	1,4		
	2,4		1,825	1,4			1,825	1,4		
	2,9		1,825	1,4			1,825	1,4		
	3,4		1,85	0			1,85	0		
2x2	1,0	2,5	2,35	6,0			2,35	6,0		
	1,5		2,375	5,0			2,375	5,0		
	2,0		2,4	4,0			2,4	4,0		
	2,55		2,425	3,0			2,425	3,0		
	3,0		2,425	3,			2,425	3,		
	3,5		2,425	3,0			2,425	3,0		
	4,0		2,425	3,0			2,425	3,0		

Na základe uvedených výsledkov možno na prvý pohľad vidieť, že celkovo sa výsledky simulácií odstupových vzdialeností približujú k výsledkom odstupových vzdialeností určených preskriptívnym prístupom podľa [8]. Táto skutočnosť nám umožňuje naďalej sa venovať možnosti implementácie požiarnych modelov do riešenia odstupových vzdialeností v rámci protipožiarnej bezpečnosti stavieb. Pre sálavú plochu s rozmerom 1 x 1 m bola stanovená odstupová vzdialenosť 1,25 m výpočtom a pre simulácie s počtom priestorových radiačných uhlov 500 boli stanovené odstupové vzdialenosti pre túto sálavú plochu v rozmedzí od 1,2 m do 1,225 m čo tvorí rozdiel od



výpočtu 2 – 4 %. Obdobne je tomu aj pri sálavej ploche s rozmerom 1,5 x 1,5 m, kde výpočtom bola stanovená odstupová vzdialenosť na 1,85 m a simuláciami na 1,75 m až 1,85 m, čo tvorí maximálny rozdiel 5,4 % od preskriptívneho prístupu. Pri sálavej ploche s rozmerom 2 x 2 m výpočtom podľa [8] bola určená odstupová vzdialenosť 2,5 m a simuláciami boli stanovené hodnoty od 2,35 m do 2,425 m, tvorí rozdiel medzi výpočtom a simuláciami 3 – 6 %. Na základe týchto výsledkov možno konštatovať, že parameter dĺžka cesty má vplyv na celkovú výslednú hodnotu odstupovej vzdialenosti, avšak nie výraznú. V rámci presnosti výsledkov ale aj v rámci bezpečnosti pri určovaní odstupovej vzdialenosti pomocou požiarnych modelov je vhodné, aby sa hodnota dĺžky cesty nadsadila.

Ďalším skúmaným parametrom bol počet priestorových radiačných uhlov. Ako bolo spomínané, prednastavená hodnota je 400. V rámci skúmania vplyvu tohto parametru sme si zvolili hodnoty 500, 1 000, 1 500 a 2 000 pri sálavej ploche s rozmerom 1 x1 m. Pri ostatných sálavých plochách sa vytvorili simulácie s počtom priestorových radiačných uhlov 500 a 1 500. Čím väčší je počet priestorových radiačných uhlov, tým sú výsledky simulácie presnejšie ale súčasne celkový výpočtový čas simulácie narastá. Na základe výsledkov v tabuľke 3 vidieť, že pri stanovených parametroch simulácie počet priestorových radiačných uhlov ako sme zvolili nemá vplyv na výslednú hodnotu odstupovej vzdialenosti určenej simuláciou, preto je možné použiť ako vstupný údaj hodnotu 500 radiačných uhlov, aby sa minimalizoval výpočtový čas simulácií.

ZÁVER

Riešenie protipožiarnej bezpečnosti ako celku, alebo len jej niektorej časti ako odstupové vzdialenosti v požiarnych modeloch je náročný a zdĺhavý proces. Je vždy potrebné zvážiť, ktoré parametre a v akom pomere môžu mať vplyv či už na dĺžku simulácií, alebo aj na kvalitu výsledkov. Tento príspevok sa zaoberal analýzou vplyvu vybraných parametrov simulácií, konkrétne dĺžkou cesty a počtu priestorových radiačných uhlov, na presnosť určenia výsledkov odstupových vzdialeností pomocou simulácií a ich porovnanie s preskriptívnym prístupom. Ako je zrejmé z výsledkov, tak parameter Dĺžka cesty má vplyv pri určovaní veľkosti odstupových vzdialeností, naopak



parameter Počet priestorových radiačných uhlov nemá v tomto prípade vplyv na výsledky odstupových vzdialeností, avšak, pri nastavení rôznych vstupných parametrov, by tento parameter vplyv mať mohol. Tento príspevok poukázal nie len na konkrétne porovnanie vplyvu parametrov na presnosť určenia odstupov pomocou simulácií, ale aj nastavil nové vynárajúce sa otázky ohľadom požiarnych modelov a ich aplikácie do riešenia protipožiarnej bezpečnosti stavieb, ktoré je potrebné riešiť a môžu mať významný vplyv na celkové výsledky.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol za podpory projektu KEGA projekt č. 041ŽU-4/2023 „VZDELÁVACÍ A VÝCVIKOVÝ MODUL ROZŠIRUJÚCI ZNALOSTI, ZRUČNOSTI A KOMPETENCIE ŠTUDENTOV PROGRAMU ZÁCHRANNÉ SLUŽBY“ a projektu Grantového systému UNIZA č. 18757.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Projekt PBS. Na čo slúži projekt PBS 2024, <https://projektpbs.sk/co-je-projekt-pbs/>
- [2] Budáč, J. Protipožiarne bezpečnosť stavieb, 2024, https://www.sksi.sk/buxus/docs/anotacie/BA/9.Prezentacia_28_09_2018_Jasna.pdf
- [3] Cote, A. a Linville, J., *Fire protection handbook*. National Fire Protection Association – NFPA, 2006.
- [4] Mózer, V.. *K problematike pravdepodobnostného modelovania požiarneho rizika*. In: Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí: 20. medzinárodná vedecká konferencia. Žilina: Žilinská univerzita, 2015. s. 417 – 424.
- [5] Putorti, A. D. Jr., *Computer Fire Models*, NIST: Fire Safety Engineering Division, Building and Fire Research Laboratory, 2023, https://www.interfire.org/res_file/firemod.asp.



- [6] McGrattan, K. a kol., *Fire Dynamics Simulator – User’s Guide*, NIST – National Institute of Standards and Technology, 2013, https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=913619.
- [7] STN 92 0201 - 4: 2000, *Požiarna bezpečnosť stavieb – Odstupové vzdialenosti*.
- [8] Reichel, V., *Navrhování požární bezpečnosti výrobních objektů – Část IV – Svazek* 27. 1. vyd. Praha: Česká státní pojišťovna, 1989. 152 s.
- [9] *PyroSim User Manual*, Thunderhead Engineering, 2022, <https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2020-2/user-manual/>



POŽIARNA OCHRANA VYBRANÝCH HISTORICKÝCH DREVENÝCH SAKRÁLNYCH STAVIEB V OKRESE SNINA

FIRE PROTECTION OF SELECTED HISTORICAL WOODEN SACRAL BUILDINGS IN THE REGION OF SNINA

Michal HULIAK¹ - Iveta MARKOVÁ¹ – Stanislava GAŠPERCOVÁ¹

¹ Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra požiarneho inžinierstva, Ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, E-mail: michal.huliak@uniza.sk, iveta.markova@uniza.sk, stanislava.gaspercova@uniza.sk

Abstract

Wooden historical buildings reflect the character and specifics of the region in which they are located and in which they were built. In this paper we will discuss the fire protection of selected historic wooden sacral buildings in Snina region. The aim of the paper is to evaluate the current state of fire protection of historic wooden buildings. We have developed a checklist which we used for data collection, evaluated the results. The most common deficiencies in the fire protection of sacred wooden buildings are the absence of fire protection coatings, missing or non-functioning electric fire alarm detectors, and the absence of a stable fire extinguishing system. Subsequently, we developed a fire risk assessment for these objects.

Keywords: *Fire protection, historic wood, wooden churches, historic buildings, fire risk assessment*

ÚVOD

Najčastejším stavebným materiálom v rurálnom prostredí na Slovensku až do druhej polovice 20. storočia patrilo drevo. Bolo to kvôli jeho ľahkej dostupnosti v tomto



prostredí a jeho nižšej cene, oproti iným stavebným materiálom. Kamenné a murované stavby boli najmä v mestskom prostredí, alebo si ich budovali majetnejší členovia spoločnosti. Väčšina obcí na našom území však bola tvorená z dreva, čo bolo príčinou zničenia celých obcí následkom požiaru. Keď sa začali používať modernejšie a komplikovanejšie stavebné postupy a stavebné materiály, ako prvé boli v týchto podmienkach postavené nové sakrálné stavby v obciach, pričom tie pôvodné boli mnohokrát zlikvidované, nakoľko už neboli považované za potrebné. Mnohé z týchto sakrálnych stavieb pritom stáli na svojom mieste niekoľko storočí.

Prvé pamiatkarské akcie na našom území začali v druhej polovici 19 storočia, pričom sa v tom období nebral ohľad na ľudovú architektúru. Záujem o ochranu drevenej architektúry ožil až po vzniku Československej republiky, kedy boli vytvorené zoznamy historických objektov a začala sa aktívna ochrana respektíve záchrana drevených kostolov na Slovensku [1].

Historické objekty predstavujú neoceniteľnú časť kultúrneho dedičstva, ich zraniteľnosť voči požiaru vyžaduje špecifický prístup. Ako správne poznamenal Torero vo svojom príspevku [2], historické budovy nemôžu byť prestavané tak aby spĺňali dnešné normy a preto nebudú považované za úplne bezpečné. Architektúra ani konštrukčné prvky na týchto budovách nesmú byť menené pre ich pamiatkový význam, preto aj pri požiarnej ochrane týchto stavieb musíme postupovať odlišne. Tým, že ide o objekty, ktoré majú spoločenskú hodnotu ide do popredia ich uchovanie a ochrana pred požiarom. Preto identifikácia a zásah proti požiaru musia prísť čo najskôr po jeho iniciácii [2].

Historické drevené kostoly predstavujú architektonické a kultúrne skvosty, ktoré sú však náchylné na požiare. Drevo ako stavebný materiál prináša osobitné výzvy a riziká, ktoré môžu ohroziť existenciu týchto unikátnych sakrálnych objektov. Tieto objekty ako uviedli v článku [3] sú často situované mimo väčších miest, sú ťažšie dostupné či nemajú dostatočnú zásobu vody na zdolávanie požiarov. To sťažuje možnosť pohotového zásahu pri požiari takéhoto objektu. Taktiež v príspevku načrtli problém protipožiarneho náteru, nakoľko ich životnosť je stanovená v rozsahu 10 až 15 rokov.



V príspevku [4], sa venovali tepelnej vodivosti a šírenia plameňa po dreve kde porovnali ošetrované a neošetrované drevo. Výsledky ukázali, že ošetrované drevo vydržalo namiesto pôvodných 52 sekúnd až 570 sekúnd kým sa plameň rozšíril po povrchu. Ukazuje sa, že dôležitosť požiarneho náteru znižuje šírenie požiaru, čo je pri takomto type objektu podstatné na jeho uchovanie.

V príspevku [5], sú uvedené ďalšie problémy, s ktorými sa môžeme stretnúť pri tomto type historického objektu. Ide o chýbajúce systémy elektrickej požiarnej signalizácie, nevybavenie objektu hasiacimi prístrojmi, nedostatočné osvetlenie, chýbajúce zásoby vody a ochrana pred bleskami.

Poľský národný výbor ICOMOS upozornil na hrozbu poškodenia objektov pri krádežiach, kedy by mohlo dôjsť k podpáleniu objektu za účelom maskovania krádeže [6]. Navyše je tu spor ohľadom zvýšenia požiarnej bezpečnosti objektov a pamiatkovej ochrane objektov, aby nedošlo k zásahom do charakteru objektu a aby nebol viditeľne pozmenený modernými prvkami. Preto mnohé moderné prvky pasívnej ochrany nie je možné aplikovať. Taktiež nie je možné vytvoriť nové únikové cesty nakoľko by to bol stavebný zásah do stojaceho objektu. Preto je potrebné nájsť rovnováhu medzi požiarnou ochranou a pamiatkovou ochranou objektu, ako sa pokúsili v článku [7].

V severských krajinách, najmä v Nórsku je venovaná veľká pozornosť na ochranu drevených historických objektov. Ochrana pred požiarom nie je zameraná iba na objekt, ale aj na okolie okolo neho, kde sa pozornosť venuje limitácii vegetácie blízko týchto objektov, zlepšenie zásobovania vodou, či požiarne cvičenia pre susedov nachádzajúcich sa v blízkosti historického objektu [8]. V článku sa venujú dreveným dedinám, tento model sa dá uplatniť aj na samostatne stojace objekty v blízkosti obydí. Ako vhodné prvky aktívnej požiarnej ochrany sa uvádza naprieč odbornými výstupmi požiarne hlásiče, IR kamery a stabilné hasiace zariadenie. Infračervené kamery boli určené na monitorovanie okolia objektu, kde dokázali rýchlo spozorovať šírenie požiaru v blízkosti objektu [8].

Stabilné hasiace zariadenia čelia veľkej výzve v prípade drevených historických objektov. Vedie sa polemika, či aplikovať zariadenie s hasiacou látkou vodou, alebo s hasiacim plynom. V článku [9], sa venujú vhodnosti použitia stabilného hasiaceho



zariadenia, ktoré vytvára vodnú clonu. Pri nízkom prietoku vody sa dajú vhodne umiestniť trysky tak, aby neboli zmáčané steny. Nevýhodou je, že tento typ objektov nie je v zimnom období vykurovaní, čiže hrozí riziko zamrznutia vody v rozvodoch a prípadné popraskanie. Mokrý systém sa v článku uvádza ako menej efektívny oproti suchému systému. Stabilné zariadenie s hasiacou látkou plynom má výhodu v tom, že nevytvára riziko pri hasení voči vnútornému zariadeniu objektov. Nevýhodou je vyššia cena zariadenia a nemožnosť použiť tento druh zariadenia na vonkajšiu ochranu objektu. Ďalší problém je ochrana osôb nachádzajúcich sa v objekte alebo záchranné zložky ktoré vstupujú do objektu pri zásahu.

Švédsky národný testovací a výskumný inštitút navrhol sedem odporúčaní na prevádzku stabilného hasiaceho zariadenia. [10]. Štyri z návrhov sa venovali spôsobu nahriatia sústavy, aby voda nezamrzla, ako použiť nemrznúcu zmes aby voda v zimných mesiacoch nezamrzla. Ďalšou možnosťou bolo oddialiť spustenie zariadenia kým sa nezohreje miesto okolo trubíc. Ďalšie možnosti bolo použiť vyšší tlak vody, použiť širšie potrubie, či použiť flexibilné hadice na vývod vody k prvej tryske.

Simon Kincaid vo svojom článku [11], uviedol, že vznik požiaru od elektrického skratu predstavoval v období 2018 až 2021 12% až 14% dôvodov vzniku požiaru. V roku 1995 to bolo až 22% [12]. Pri historických drevených objektoch je riziko šírenia požiaru väčšie, nakoľko elektrické rozvody neboli opravené alebo menené a následné škody sú nevyčísliteľné.

Na našom území sa nachádza 59 drevených kostolov ktoré sú národnou kultúrnou pamiatkou, z toho osem patrí do Zoznamu svetového dedičstva UNESCO [13]. V roku 2010 bol vypísaný projekt Záchrana drevených chrámov na medzinárodnej drevenej ceste, ktorá však bola primárne určená na rekonštrukciu vybraných objektov. V rámci nich bol počas opráv aplikovaný protipožiarny náter na niektoré z objektov, boli dodané nové hasiace prístroje či elektrická požiarne signalizácia. Daná téma v našej oblasti je málo, ak vôbec riešená z pohľadu požiarnej bezpečnosti. Nenarazili sme pri našej rešerši na žiaden odborný výstup, ktorý by sa venoval požiarnej ochrane týchto objektov. Ide pritom o veľmi zraniteľné objekty, nakoľko ak ich postihne požiar, ich obnova už nebude možná kvôli charakteru stavebného materiálu. Tieto objekty majú unikátnu hodnotu z pohľadu



architektúry a umeleckých prvkov, ktoré ľudia v danom prostredí dokázali vyprodukovať. Väčšina z týchto objektov dodnes slúži na náboženské obrady a sú neoddeliteľnou súčasťou ich viery a neoddeliteľnou súčasťou našej spoločnosti.

História požiarov v našom regióne

V priebehu histórie drevených sakrálnych objektoch na území Slovenskej republiky, bolo zaznamenaných mnoho požiarov. Často sa spájali s požiarimi, kedy zhorela celá dedina, nakoľko v tom čase bolo drevo používané ako hlavný stavebný materiál v rurálnom prostredí.

Príklady z minulosti kedy vyhorela obec spolu s kostolom - mesto Košice (1556) [14], obec Rafajovce (začiatok 18. storočia) [15], obec Jasenová (1718) [16], obec Spišské Hanušovce (1788) [17], obec Buclovany (1850) [18] a obec Liptovský Peter (1786, 1830, 1875) [19].

Ďalej si uvedieme príklady kedy podľahol následkom požiaru samostatný objekt a to v obciach - Andrejová (1882), Nižná Jedľová (1906), Harhaj (1908), Regetovka (1904), Šarišské Čierne (1905), Ondavka (1949) a Krajná Porúbka (1956) [20].

Počas druhej svetovej vojny pri presune frontu na naše územie (1944) následkom bojov zhoreli objekty v obciach Nižný Mirošov, Nižný Orlík a Príslop [20].

V nedávnej histórii na našom území v Hornej Marikovej 12.8.2016 zhorel drevený kostolík. Keď prišla jednotka HaZZ z PB objekt bol celý v plameňoch. Vzdialenosť objektu od stanice HaZZ Považská Bystrica je 26,3 kilometra a čas dojazdu bol 35,07. Objekt sa však už nepodarilo zachrániť. Hlásenie požiaru bolo o 3:30 v noci [21].

V českom meste Třinec dňa 2.8.2017 vznikol požiar dreveného kostola z roku 1563, ktorý bola následkom požiaru celý zničený. Príčina vzniku požiaru bolo podpaľáčstvo. Vznik požiaru bol odhadnutý na čas tesne po polnoci [22].

V Prahe 28.10.2020 zhorel drevený kostol, ktorý bol požiarom úplne zničený. Hlásenie požiaru bolo o tretej hodine poobede [23].



METODOLÓGIA

Na zistenie aktuálneho stavu požiarnej ochrany historických drevených sakrálnych stavieb na východnom Slovensku sme postupovali podľa spomenutej literatúry. Vypracovali sme si checklist podľa ktorého sme postupovali pri každom jednom objekte. Ide o kvalitatívny spôsob získavania dát, ktorý pomáha nájsť kritické miesta v systéme. Vhodný je taktiež pre vykonanie väčšieho zberu dát, kedy by mohli dôjsť k skresleniu informácií, zanedbaniu postupu či vynechaniu časti informácii [24].

Nakoľko ide o špecifický typ objektov, musel byť vypracovaný špeciálny zoznam na kontrolu. Zohľadnili sa špecifiká, ktoré sa vyskytujú pri tomto druhu historického objektu. Ohľad sa bral aj na špecifiká ktoré boli spomenuté v literatúre [1 - 13]. Až po naštudovaní týchto špecifik mohol vzniknúť tento checklist. Postupovali sme taktiež podľa metodiky hodnotenia požiarnej ochrany pamiatkových objektov ktorú vytvoril Český národný pamiatkový ústav [25]. V tejto metodike zadefinovali tematické okruhy na stavebné špecifiká, ako typ stavebného materiálu, vek objektu, prítomnosť protipožiarneho náteru, kontrola elektrických zariadení a rozvodov či ochrana proti blesku. Ďalej požiarne zariadenia, ich prítomnosť, funkčnosť či absencia, elektrická požiarne signalizácia, zásoba vody, súčinnosť s najbližšou hasičskou stanicou, evakuácia osôb [25].

Zber dát prebiehal počas januára 2024, pričom sme zohľadňovali aj meteorologické podmienky, ktoré ovplyvňujú dostupnosť objektov počas ročných období. Checklist tvorili zatvorené otázky kde sa odpovedalo formou áno - nie a otvorené otázky, kde sa zaznamenávali numerické hodnoty. Okruhy tém a špecifik z požiarneho hľadiska ktorým sme sa v kontrolnom liste venovali:

- Typ stavebného podkladu, Izolácia, Hromozvod
- Protipožiarne nátery, Elektrická požiarne signalizácia, Stabilné hasiace zariadenie, Prenosné hasiace prístroje
- Horľavé materiály v objekte a okolo objektu
- Údržba trávnatých porastov v blízkosti objektu
- Zdroj vody, Prevýšenie objektu od cesty
- Prístupová komunikácia, Nástupná plocha, Stály prístup k objektu



Objekty boli vybrané vo východnej časti Slovenska, v okrese Snina. Išlo o štyri drevené objekty a to Gréckokatolícky chrám sv. Jána Krstiteľa v obci Kalná Roztoka, Gréckokatolícky chrám sv. archanjela Michala v obci Topoľa, Pravoslávny chrám sv. Michala v obci Ruský Potok a Gréckokatolícky chrám sv. archanjela Michala v obci Uličské Krivé.



Obrázok 3 Gréckokatolícky chrám sv. Jána Krstiteľa v obci Kalná Roztoka, Gréckokatolícky chrám sv. archanjela Michala v obci Topoľa, Pravoslávny chrám sv. Michala v obci Ruský Potok a Gréckokatolícky chrám sv. archanjela Michala v obci Uličské Krivé.

Figure 1 The Greek Catholic Church of St. John the Baptist in the village of Kalná Roztoka, the Greek Catholic Church of St. Michael the Archangel in the village of Topoľa, the Orthodox Church of St. Michael in the village of Ruský Potok and the Greek Catholic Church of St. Michael the Archangel in the village of Uličské Krivé.

OPIS SKUTKOVÉHO STAVU

Drevené sakrálne stavby

Objekty boli postavené v rokoch 1700 (Topoľa), 1718 (Uličské Krivé) a 1750 (Kalná Roztoka a Ruský Potok) Na každom z objektov je inštalovaný hromozvod. Každý objekt má ako stavebný podklad kameň, pričom pôvodne ako stavebný podklad bolo drevo zapustené do zeminy. Kamenný podklad tvorí aj chodník okolo objektov v priemernej šírke 50 cm. Izolácia objektov bola riešená ukladaním dreva tak aby neboli



vytvorené medzery a teda nebola potrebná výplň pri objektoch v obci Topoľa a Ruský Potok. Mach ako izolácia bol použitý pri objekte v obci Uličské Krivé, a hlinená omietka pre objekt v Kalnej Roztoke .

Protipožiarny náter

Protipožiarny náter bol aplikovaný na 3 objekty, nebol aplikovaný na objekt v Ruskom Potoku. V objekte v Kalnej Roztoke bola aplikovaná aj omietka na drevo. Protipožiarny náter bol aplikovaný v rokoch 2007 až 2014. Priemerná doba trvanlivosti protipožiarného náteru je 10 až 15 rokov, čo je pri tomto type objektov krátky časový úsek.

Elektrická požiarne signalizácia

Elektrická požiarne signalizácia bola inštalovaná v 3 objektoch absentovala v objekte v Ruskom Potoku. V objekte v Kalnej Roztoke EPS nefungovala, bola manuálne odpojená, nakoľko spúšťala falošné poplachy počas užívania stavby.

Vo stavbách boli hlásiče opticko-dymové, tlačidlové sa nenachádzali v žiadnom objekte. Výstup z tých EPS ktoré fungovali v cez správu na farára a aj na správcu v obci. Signál z EPS nebol ani z jedného objektu posielaný na ústredňu HaZZ alebo na najbližšiu stanicu.

Hasiace prístroje

Prenosné hasiace prístroje boli inštalované vo všetkých objektoch. V objektoch v obciach Kalná Roztoka a Topoľa sa nachádzal jeden 6 kg práškový hasiaci prístroj práškový a 9 litrový hasiaci prístroj vodný, v Ruskom Potoku boli dva 6 kg práškové hasiace prístroje a v objekte v obci Uličské Krivé bol jeden 6 kg a jeden 2 kg práškový hasiaci prístroj.

Stabilné hasiace zariadenie

Stabilné hasiace zariadenie nebolo nainštalované v žiadnom zo skúmaných objektov.



Horľavé materiály

Pri hodnotení horľavého materiálu sme kategóriu rozčlenili na dve časti a to horľavý materiál ktorý sa nachádza vo vnútri objektu a na horľavý materiál, ktorý sa nachádza v blízkosti objektu.

Horľavý materiál vo vnútri objektov bol podobný. Išlo o materiál potrebný pre využívanie objektu na čo bol postavený. Išlo o lavice na sedenie, oltár, ikonostas, koberce, obrusy, sviečky. Ide o typ horľavého materiálu ktorý nie je možné z objektov odstrániť, nakoľko by bola znemožnená jeho funkčnosť.

Horľavý materiál v blízkosti objektov boli drevené ploty ohraničujúce areál objektu, stromy v areáli, drevené zvonice pri objektoch, vence a sviečky. Stromy sa nachádzajú v blízkosti objektov, niektoré boli vzdialené menej ako 5 metrov. Pri takto umiestnených stromoch je riziko pri opadávaní listov, kedy sa môže vytvoriť súvislá vrstva lístia po ktorej by sa mohol šíriť požiar. Ďalej hrozí riziko pádu stromu, napríklad pri zásahu bleskom, kedy by mohol poškodiť samotný objekt.

Údržba trávnatých plôch

Pri údržbe trávnatých porastov v blízkosti objektov sme zistili, že prebieha pri všetkých sledovaných objektoch. Minimálne raz do mesiaca v období kedy rastie tráva bolo vykonané kosenie trávy, pričom tráva sa neukladala ani nezhrmažďovala v blízkosti objektu, ale bola ihneď odviezla z miesta. Intervaly medzi kosením sa rôznia, vždy záležalo podľa výdatností dažďov a rýchlosti rastu trávy, vykonávajú sa tak, aby tráva nepresiahla 5 cm.

Zdroje vody

Ako zdroj vody sme identifikovali blízky potok. Najbližšia vzdialenosť zdroju vody k objektu bola 10 metrov, následne 60 a 80 metrov, najväčšia vzdialenosť bola 100 metrov. Prevýšenie od prístupovej komunikácie bolo v rozpätí 0 metrov 2 metre, 10 metrov a 15 metrov.



Prístupové komunikácie a nástupné plochy

Nástupná plocha sa nachádza pri 3 objektoch v podmienkach ktoré definuje vyhláška MV SR 94/2004 § 83 [26], absentovala pre objekte v Ruskom Potoku. Vzdialenosť nástupných plôch bola od 5 metrov, 50 metrov a 60 metrov. Z týchto nástupných plôch boli všetky trvalo voľné.

Prístupové komunikácie spĺňali podmienky určené vo vyhláške MV SR 94/2004 § 82 [26]. Všetky boli spevnené z asfaltu, do bezprostrednej blízkosti objektu.

Stály prístup k objektom bol v dvoch prípadoch, v Ruskom Potoku a Uličskom Krivom nakoľko v zimnom období by pri prípadnej snehovej kalamite nebolo možné v 2 prípadoch sa dostať k blízkosti objektu so zásahovou technikou. Súvisí to s prevýšením objektu od hlavnej cesty.

Vyrátal sa čas dojazdu hasičskej jednotky z najbližšej stanice HaZZ k objektu. Čas dojazdu bol vyrátaný podľa vzorca [27]:

$$t_j = \frac{60 \cdot L}{v_j} \quad (1)$$

kde:

t_j - čas dojazdu hasičskej jednotky

L - vzdialenosť k miestu požiaru (km)

v_j - priemerná rýchlosť jazdy hasičských automobilov = 45 km.h⁻¹

Tabuľka 4 Výsledné hodnoty času dojazdu hasičskej jednotky

Table 4 The resulting values of the fire department's arrival time

Objekt	Hasičská stanica	Vzdialenosť (km)	Čas dojazdu (min : sek)
Kalná Roztoka	HS Snina	14,4	19:12
Topoľa	HS Snina	24,9	33:12



Ruský Potok	HS Snina	31,5	42
Uličské Krivé	HS Snina	35,9	47:52

Fire risk assessment

Zo zistených výsledkov nám vyplýva niekoľko zistení, ale aj nedostatkov, ktoré je potrebné odstrániť, či vytvoriť podmienky na ich odstránenie. Pozitívnym zistením bolo, že každý z objektov má podklad z kameňa. Drevo sa nedotýka zeme a nehrozí degradácia spôsobená škodcami či vlhkosťou od zeme. Taktiež ak by vznikol požiar niektorého zo stromov pri objekte a došlo by ku koreňovému šíreniu požiaru, boli by stavby chránené od tohto vplyvu.

Pri protipožiarnom nátere bolo zistené že tri zo štyroch objektov ho malo aplikovaný, tie na ktorých sa nachádza uplynula už doba jeho trvanlivosti ako sa odhaduje pri priemernej časovej účinnosti. Keď sa budú najbližšie rekonštruovať alebo opravovať časti objektov bolo by vhodné, keby bolo myslené aj na protipožiarné nátery. Problémom je, že niektoré objekty majú z vnútornej strany na stenách maľby, ktoré pre ich historickú a náboženskú cenu nie je možné prekryť protipožiarnym náterom, nakoľko by sa mohli poškodiť či znehodnotiť, s čím by nesúhlasil pamiatkový úrad.

Elektrickú požiaru signalizáciu považujeme za jeden z najdôležitejších prvkov požiarnej ochrany. Pri včasnom spozorovaní požiaru môže dôjsť k záchrane väčšej časti objektu, prípadne uhasení požiaru skôr, ako stihne napáchať škody na vnútornom vybavení objektu. Preto vnímame ako negatívne zistenie, že funkčná bola iba v dvoch prípadoch. Najmä v nočných hodinách kedy činnosť okolo objektu je znížená, je jediným spôsobom ako včas spozorovať požiar. Vhodným riešením danej situácie by bolo vybaviť správou z výstupu aj na zodpovednú osobu z obce a aj na najbližšiu hasičskú stanicu. Tým by sa znížila reakčná doba a aj doba rozvoja požiaru čo by mohlo viesť k záchrane pamiatky. Na zvýšenie ochrany pred požiarom by bol dôležitý faktor vybavenie ostatných objektov kde sa elektrická požiaru signalizácia nenachádza. Rovnako v jednom objekte kde bola odpojená odporúčame, aby sa dala opraviť a vymeniť nefungujúce hlásiče. Ide o finančne náročné opatrenie, preto by bolo vhodné, ak by na pomoc s financovaním prispeli sponzori, poprípade Ministerstvo kultúry Slovenskej republiky, alebo by sa



získali fondy zo zdrojov Európskej únie. Ďalšou možnou inštitúciou ktorá by mohla poskytnúť pomoc s financovaním je ICOMOS, International Council on Monuments and Sites, ktorá sa venuje konzervácii a ochrane miesta, ktoré sú kultúrnym dedičstvom. V roku 2022 dodali do tohto typu objektov na Ukrajine 440 vodných prenosných hasiacich prístrojov, čo dokazuje záujem spoločnosti o ochranu historických drevených sakrálnych stavieb [28].

Prítomnosť hasiacich prístrojov bola priaznivým zistením. Pri hasiacich prístrojoch s hasiacou látkou vodou je na mieste otázka vhodnosti, nakoľko by mohli poškodiť stavebný materiál, poprípade vybavenie objektu, ktoré v mnohých prípadoch je súčasťou národnej kultúrnej pamiatky. Taktiež by mohli poškodiť maľby, ktoré sa nachádzajú z vnútornej strany objektu. Preto odporúčame nahradiť hasiace prístroje s touto hasiacou látkou za inú hasiacu látku. Ako najvhodnejší sa nám javí prášok ako hasiaca látka, nakoľko by sa dal použiť aj v prípade, že by došlo k požiaru z vonkajšej strany objektu a v tom prípade by hasiaca látka nebol účinná.

Stabilné hasiace zariadenie sa nenachádza ani v jednom zo skúmaných objektov. Ide o finančne najväčšiu položku čo sa týka požiarnej ochrany. To by mohlo byť riešené z finančnej stránky rovnakým spôsobom ako pri elektrickej požiarnej signalizácii. Tu sa otvára otázka o inštalovaní stabilného hasiaceho zariadenia s vhodnou hasiacou látkou. Plynové stabilné hasiace zariadenie je možné umiestniť iba na ochranu vnútra objektu, zatiaľ čo zariadenie s hasiacou látkou vodou je možné umiestniť tak aby chránila vnútro aj plášť objektu. Nevýhodou hasiacej látky vody je to, že by mohla poškodiť vnútro objektu. Vhodné riešenie z nášho pohľadu by bolo inštalovať vodnú clonu s nastavením tak, aby trysky nedodávali vodu na steny objektu, ako bolo spomenuté v [8]. Ak by došlo k inštalácii vystala by ďalšia otázka, aký druh použiť, či mokrá systém alebo suchý systém, nakoľko by v zime mohla zamrzáť voda v rozvodoch. Preferujeme suchý systém, napriek tomu že by sa zvýšil čas začatia hasenia, znížilo by sa riziko zamrznutia vody v rozvodoch a bola by znefunkčnená hasiaca účinnosť.

Horľavý materiál vo vnútri objektu vo väčšine prípadov nie je možné odstrániť, nakoľko by sa tým znížila jeho historická hodnota. Došlo by aj k narušeniu prirodzeného prostredia a charakteru objektu. V tých prípadoch kedy sa v objektoch našiel horľavý



materiál nesúvisiaci s charakterom objektu treba tento materiál odstrániť. Nebudú na to potrebné finančné náklady a zvýši sa požiarne bezpečnosť tým že sa odoberie časť paliva. Horľavý materiál v okolí objektu je možné odstrániť, ale bol by to v mnohých prípadoch necitlivý zásah do prostredia. Vhodným riešením by bolo v budúcnosti nevysádzať stromy v blízkosti objektu menšej, ako je 1,5 násobok vzdialenosti od priemernej výšky do akej dorastajú stromy z daného druhu. Ďalej by sa mohlo zaviesť pravidelné hrabanie lístia v krátkych intervaloch v jesennom období, aby sa predišlo vytvoreniu súvislej vrstvy pri objekte. Možnosťou ako odstrániť riziko šírenia požiaru po tráve by bolo nahradiť trávku okolo objektu za štrk poprípade iný druh materiálu po ktorom by sa nemohol šíriť požiar. Tým ba sa zároveň vyriešil problém s údržbou trávnatých porastov. To samozrejme nebude možné vo všetkých prípadoch, kvôli nerovnému povrchu na ktorom sa objekty nachádzajú, či kvôli jeho umiestneniu uprostred cintorína. Pri údržbe trávnatých plôch okolo objektu hodnotíme pozitívne pravidelnú údržbu a kosenie, ako aj okamžitú likvidáciu pokosenej trávy z blízkosti objektu.

Zdroje vody by mohli byť lepšie označené a trvalo viditeľné, nakoľko by zasahujúce jednotky nemuseli mať vedomosť kde sa nachádzajú, čo by oneskorilo čas začatia likvidácie požiaru. S výdatnosťou vodného zdroja by mohla pomôcť regulácia potoka tak, aby v blízkosti objektu bolo vytvorená prepadlina, v ktorej by sa hromadila voda a poskytla by dostatočnú zásobu aj v letných mesiacoch. Bolo by vhodné keby o zdrojoch vody vedeli aj na príslušných hasičských staniách. Zasahujúce jednotky by ihneď ešte pred príchodom vedeli, kde sa nachádza vodný zdroj a o aký zdroj vody ide.

V prípade nástupných plôch nie je možné navrhnúť nové a účinné opatrenia, nakoľko ide o zastavané oblasti kde ich nie je možné vytvoriť. Pre tie nástupné plochy ktoré sa pri objektoch nachádzali by bolo vhodné umiestniť zákazové značky, aby boli trvalo voľné pre hasičské jednotky. Pre zlepšenie dostupnosti k objektom v zimnom období môžeme odporučiť iba pravidelné odhrňanie snehu k blízkosti objektu.

Alarmujúce zistenia boli pri výpočte dojazdového času k objektom, najmä pre tie objekty, ku ktorým by išli jednotky z hasičskej stanice Snina. Týmto objektom by pomohla inštalácia stabilného hasiaceho zariadenia, nakoľko počas dojazdového času



hasičskej jednotky by došlo s vysokou pravdepodobnosťou k rozvoju požiaru do plnej fázy a záchrana objektu pred požiarom by bola znemožnená.

ZÁVER

Nastavenie ochrany pred požiarom drevených sakrálnych stavieb naráža na mnoho problémov. Jedným z nich je snaha ochrániť objekt od architektonických zásahov a od takých zásahov, ktoré by viedli k viditeľným zmenám na objekte. Tu je potrebné nájsť kompromis medzi komunitou ktorá sa venuje pamiatkovej ochrane objektov a komunitou ktorá sa zaoberá požiarovou ochranou. Vďaka moderným nástrojom máme nové možnosti ochrany týchto pamiatok, o čo sa snažia obidve komunity. Problémom pri týchto vybaveniach je často ich vysoká cena, ako sme načrtli v príspevku. Zhodnotili sme pozitívne a negatívne zistenia, ktoré sme zozbierali počas prieskumu v týchto objektoch. Medzi pozitívne môžeme zaradiť: stavebný podklad z nehorľavých materiálov, možnosť odstrániť horľavý materiál z okolia objektov a prítomnosť hasiacich prístrojov v objektoch. Viac nám vyšlo negatívnych skutočností a to najmä v oblasti aktívnych a pasívnych spôsoboch ochrany, kedy: elektrická požiarová signalizácia bola funkčná v 3 zo 4 objektoch, stabilné hasiace zariadenie sa nenachádza v ani jednom objekte a protipožiarový náter bol aplikovaný na 3 zo 4 objektov, mnohé z nich však už boli po predpokladanej dobe životnosti.

Zasahujúcim jednotkám v prípade požiaru by pomohla lepšia komunikácia medzi správcami objektu kedy by mali vedomosť o: zdrojoch vody, kde sa nachádzajú a o aký zdroj vody ide, nástupných a príjazdových plochách, ich vzdialenosti od objektov a dostupnosti k objektu v zimných mesiacoch.

Veľmi negatívne nám vyšiel výpočet dojazdu hasičských jednotiek z najbližších hasičských staníc k objektom. Čas dojazdu k objektu bolo nad 19 minút až do 48 minút. To iba potvrdilo našu snahu o posilnenie požiarnej ochrany pomocou elektrickej požiarnej signalizácie, stabilného požiarneho zariadenia a protipožiarneho náteru.

Celkovo sa ukázalo, že stav protipožiarnej ochrany historických drevených sakrálnych objektov v okrese Snina, má medzery a rozdiely, ktoré je možné vyriešiť.



Doplnením zariadení a vykonanie opatrení by pomohlo k ochrane týchto objektov a ich zachovaniu pre budúce generácie.

POĎAKOVANIE

Za umožnenie obhliadky chrámov sa chceme poďakovať vlastníkovi objektov v obciach Kalná Roztoka, Topoľa a Uličské Krivé ktorým je Gréckokatolícke arcibiskupstvo Prešov. Poďakovať chceme aj vlastníkovi objektu v obci Ruský Potok, ktorým je Prešovská pravoslávna eparchia.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] “*Dejiny pamiatkovej starostlivosti*” Pamiatkový úrad Slovenskej republiky. Dostupné na: <https://www.pamiatky.sk/ochrana-pamiatok/dejiny-pamiatkovej-starostlivosti/>
- [2] José L. Torero (2019) “*Fire Safety of Historical Buildings: Principles and Methodological Approach*”. International Journal of Architectural Heritage, 13:7, 926-940, DOI: [10.1080/15583058.2019.1612484](https://doi.org/10.1080/15583058.2019.1612484)
- [3] Kozłowski, R. (2015) “Wooden heritage buildings and preventing them against fire”, *Budownictwo i Architektura*, 14(4), pp. 079–087. doi: 10.35784/bud-arch.1538.
- [4] Tsapko, J., Bondarenko, O., Tsapko, A., Gorbachova, A. Yu., Mazurchuk, S., Zhrebchuk, D., “*JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY OF FLOATING COATING FOR FIRE PROTECTION OF WOODEN BUILDINGS*”. Modern construction and architecture, 2023, no. 3, page 49-60. DOI:[10.31650/2786-6696-2023-3-49-60](https://doi.org/10.31650/2786-6696-2023-3-49-60)
- [5] Vovk S., Ferents N., Lyn A., “*RELIGIOUS BUILDINGS FIRE SAFETY IN UKRAINE.*” Fire Safety, No37, 2020. DOI:[10.32447/20786662.37.2020.04](https://doi.org/10.32447/20786662.37.2020.04) ISSN 2708-1087



- [6] “*Dangers to the Sacred Wooden Architecture in Poland.*” HERITAGE AT RISK. ICOMOS World Report 2002-2003 on monuments and sites in danger. Dostupné na: <https://www.icomos.org/public/risk/2002/poland2002.htm>
- [7] Quapp, U., Holschemacher K., “*Heritage Protection Regulations in Germany and their Relations to Fire Safety Demands.*” 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 753 042036 DOI 10.1088/1757-899X/753/4/042036 Dostupné na:
- [8] Kristoffersen M., Log T., “*Experience gained from 15 years of fire protection plans for Nordic wooden towns in Norway.*” Safety Science Volume 146, February 2022, 105535. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753521003787>
- [9] Jensen, Geir, “*A White paper on Water Mist for Protection of Heritage*”, Interconsult ASA, July 12, 2004. The report may be downloaded from www.heritagefire.net/ or www.iwma.net/. Dostupné na: [https://sprinklerframjandet.se/wp-content/uploads/Water Mist in Heritage Report Complete Cover.pdf](https://sprinklerframjandet.se/wp-content/uploads/Water_Mist_in_Heritage_Report_Complete_Cover.pdf)
- [10] Arvidson M., “*An overview of fire protection of Swedish wooden churches.*” SP Swedish National Testing and Research Institute. SP Fire Technology SP REPORT 2006:42. Dostupné na: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:962374/FULLTEXT01.pdf>
- [11] Kincaid S., “*Fire prevention in historic buildings – approaches for safe practice.*” THE HISTORIC ENVIRONMENT: POLICY & PRACTICE 2022, VOL. 13, NO. 3, 361–380 Dostupné na: <https://www.tandfonline.com/doi/epdf/10.1080/17567505.2022.2098633?needAccess=true>
- [12] Historic Scotland, *Fire Protection and the Built Environment: Conference Proceedings*. 1999. Edinburgh, Historic Scotland



- [13] Kurilcová, A., “*Gréckokatolícka cirkev na Slovensku po roku 1989 a jej rozvoj v oblasti architektúry*” Prešovská univerzita v Prešove. 2015 Dostupné na: <https://www.pulib.sk/web/kniznica/elpub/dokument/novakova1/subor/Kurilcova.pdf>
- [14] Papáč R., “*Požiar Košíc v roku 1556.*” košiceonline.sk 2022 Dostupné na: <https://www.kosiceonline.sk/poziar-kosic-v-roku-1556>
- [15] “*História obce Rafajovce.*” Dostupné na: <https://rafajovce.sk/historia/>
- [16] “*O obci Jasenová.*” 2022 Dostupné na: <https://www.jasenova.sk/o-obci.html>
- [17] Kostka, O., “*Z histórie farnosti Spišské Hanušovce*”. 1966 Dostupné na: <https://www.farnostsh.sk/historia/z-historie/>
- [18] Kolektív autorov. “*Vlastivedný slovník obcí na Slovensku, I. časť.*” 1978. SAV Bratislava. ISBN: 71-019-77. Dostupné na: <https://www.buclovany.sk/historia>
- [19] “*História Dobrovoľného hasičského zoru obce Liptovský Peter.*” 2020 Dostupné na: <https://www.liptovskypeter.sk/8704/historia>
- [20] Syrochman, M., Džoganík, J., “*Stratené drevené cerkvi severovýchodného Slovenska.*” Svidník : Rusínsko-ukrajinská unciatíva, 2019, 80 p.; ISBN 978-80-89755-74-5. Dostupné na: <https://www.pamiatky.sk/aktuality/detail/stratene-drevene-cerkvi-severovýchodneho-slovenska-znovunajdene>
- [21] “*V Hornej Maríkovej zhorel drevený kostol.*” Hasičský a záchranný zbor. Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky. 2016. Dostupné na: <https://www.minv.sk/?tlacove-spravy-3&sprava=v-hornej-marikovej-zhorel-dreveny-kostolik>
- [22] “*V Trinci zhorel drevený kostol zo 16. storočia*”. Slovenská tlačová agentúra. 2017. Dostupné na: <https://spravy.pravda.sk/svet/clanok/437131-v-trinci-zhorel-dreveny-kostol-zo-16-storocia/>



- [23] “*Požiar v Česku takmer úplne zničil vzácny drevený kostol.*” Tlačová agentúra Slovenskej republiky. 2020. Dostupné na: <https://www.teraz.sk/zahranicie/poziar-v-cesku-takmer-uplne-znicil-z/503670-clanok.html>
- [24] Higgins, W. Y., Boorman, D. J., “*An analysis of the effectiveness of checklists when combined with other processes, methods and tools to reduce risk in high hazard activities.*” 2016. Boeing Technical Journal. Dostupné na: http://www.boeing.com/resources/boeingdotcom/specialty/innovation-quarterly/December-2016/BTJ_Checklist_full.pdf
- [25] Jirásek, P., Mrázek, M., Polatová E., Svoboda, P., “*Požárni ochrana památkových objektů.*” Praha. Národní památkový ústav. 2014 ISBN 978-80-7480-021-4
- [26] Vyhláška MV SR č. 94/2004 Z.z, ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a užívaní stavieb, v znení neskorších predpisov.
- [27] 39. Pokyn prezidenta Hasičského a záchranného zboru o obsahu a o postupe pre spracúvaní dokumentácie o zdolávaní požiarov. Zbierka pokynov Prezídia Hasičského a záchranného zboru. Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky. Bratislava 2003
- [28] “*The Foundation to Preserve Ukraine’s Sacral Arts, ICOMOS and World Monuments Fund deliver fire extinguishers to protect Ukraine’s wooden churches.*” 2022. Dostupné na: https://www.icomos.org/images/DOCUMENTS/Secretariat/2022/Ukraine/FTPUSA-ICOMOS-WMF_release_EN_final20220711.pdf



VPLYV RETARDAČNEJ ÚPRAVY NA TERMICKÚ ODOLNOSŤ DREVA

INFLUENCE OF RETARDANT TREATMENT ON THE THERMAL RESISTANCE OF WOOD

Elena KMEŤOVÁ¹ – Danica KAČÍKOVÁ¹

¹ Technická univerzita vo Zvolene – Drevárska fakulta, Katedra protipožiarnej ochrany,
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika,

xkmetovae@is.tuzvo.sk, kacikova@is.tuzvo.sk

Abstract

The article focuses on the evaluation of the thermal resistance of spruce wood (*Picea abies* L.) - untreated and treated with commercial flame retardants (Bochemit Pyro and Bochemit Antiflash), for the needs of fire protection. The samples were examined using a standard test method - a flammability test according to STN EN ISO 11925-2, which determines the flammability of products when they are exposed to the effects of a small directed flame. The effect of thermal action was assessed from the point of view of flame spread and from the point of view of mass loss. All tested samples according to the classification standard STN EN 13501-1 met the required classification criterion $F_S \leq 150$ mm in a time of 60 s. The results show that the selected flame retardants improve the thermal resistance of spruce wood.

Keywords: *flame retardants, flammability, flame spread, mass loss*

ÚVOD

Drevo je využívané ako stavebný materiál na celom svete, a to predovšetkým kvôli ich niekoľkým výhodným vlastnostiam. Vyniká vysokou mechanickou odolnosťou, nízkou tepelnou vodivosťou a navyše ide o ľahko dostupnú surovinu, šetrnú k životnému prostrediu. Je jedným z najdôležitejších prírodných materiálov, vďaka čomu nachádza uplatnenie v mnohých oblastiach [1, 2].



V súčasnosti ovplyvňuje výber stavebných materiálov veľa faktorov. Okrem dobrých fyzikálnych a mechanických vlastností je veľmi dôležitým faktorom aj vplyv na životné prostredie [1]. Drevo je jedným z najudržateľnejších, esteticky pôsobivých a ekologicky nezávadných materiálov [3]. Je jedným z najdôležitejších prírodných materiálov, vďaka čomu nachádza uplatnenie v mnohých oblastiach dnešného moderného sveta.

Smrekové drevo je významnou priemyselnou surovinou a zo všetkých drevín má najširšie uplatnenie, je mäkké, dobre štiepatelné a ľahké. Je to naša najdôležitejšia surovina pre piliarske spracovanie. Jeho najvýznamnejšie využitie je vo forme stavebného reziva predovšetkým pre nadzemné stavby. Používa sa pre výrobu strešných konštrukcií obytných, hospodárskych, ale i špeciálnych budov. Je osvedčeným polotovarom pre výrobu produktov stavebno-stolárskej výroby [3].

Okrem spomínaných pozitívnych vlastností má drevo aj nevýhodné vlastnosti, z ktorých môžeme spomenúť malú odolnosť voči biotickým a abiotickým činiteľom (huby, plesne, hniloba, horľavosť). Práve horľavosť dreva je jedným z dôležitých faktorov, ktorý môže brániť jeho širšej uplatniteľnosti v oblastiach náchylných na požiar. Horľavosť je všeobecný pojem, ktorý popisuje vlastnosti materiálu pri reakcii na oheň. Metódy hodnotenia horľavosti sú nevyhnutné pri hodnotení materiálov [4-6].

Na skúšanie materiálov a stavebných konštrukcií sa používa veľké množstvo štandardizovaných a neštandardizovaných skúšobných metód. Štandardizované skúšobné metódy sa používajú najmä na preukázanie zhody s platnými požiadavkami na materiál alebo výrobok [7]. Skúšky zaoberajúce sa hodnotením materiálov z hľadiska reakcie na oheň patria do skupiny laboratórnych testovacích metód. Jednou z laboratórnych testovacích metód, ktoré sa využívajú pri hodnotení termickej odolnosti dreva, je aj skúška zapáliteľnosti. Postup skúšky je určený podľa STN EN ISO 11925-2 [8].

Šírenie plameňa je požiarotechnickou charakteristikou, ktorá ovplyvňuje celý proces horenia. Rýchlosť rozvoja požiaru závisí od toho, ako rýchlo sa plameň môže šíriť od bodu vzplanutia k čoraz väčšej ploche horľavého materiálu. Šírenie plameňa môžeme považovať za postupujúce predné zapáľovanie, pri ktorom čelná hrana plameňa pôsobí ako zdroj tepla a aj ako zdroj iniciácie. Rýchlosť šírenia plameňa môže závisieť od fyzikálnych vlastností materiálu ako aj od jeho chemického zloženia. Šírenie plameňa je



riadené mechanizmom, ktorý prenáša teplo pred zónu horenia a ten je silne ovplyvnený geometriou povrchu a sklonom [9-11].

Cieľom výskumu bolo posúdenie šírenia plameňa po povrchu vybraného lignocelulóзовého materiálu pri zaťažení plamenným zdrojom, v závislosti od použitej náterovej chemickej látky s protipožiarnou funkciou.

MATERIÁL A METODIKA

Zo smrekového kmeňového dreva boli pílením v tangenciálnom smere vymanipulované vzorky s rozmermi 250 mm × 90 mm × 10 mm v celkovom počte 36 kusov. Vlhkosť vzoriek bola približne 9,79 %. Z toho 12 vzoriek bolo ošetrených retardérom horenia Bochemit Antiflash v množstve a spôsobom podľa odporúčaní výrobcu a 12 vzoriek bolo ošetrených retardérom horenia Bochemit Pyro v množstve a spôsobom podľa odporúčaní výrobcu. Jedná sa o náterové látky, ktoré sme nanášali v troch vrstvách.

Bochemit Antiflash je tiež koncentrovaný kvapalný prípravok určený na zníženie reakcie dreva na oheň. Na ošetrenie drevených prvkov stavebných konštrukcií a ďalších materiálov na báze dreva zabudovaných v interiéroch stavieb určený pre profesionálny a priemyselný trh. Po ošetrení drevený materiál spĺňa požiadavky triedy B-s1, d0 reakcie na oheň podľa EN 13501-1 [12].

Bochemit Pyro je koncentrovaný kvapalný vodou riaditeľný prípravok určený na zníženie reakcie dreva na oheň. Na ošetrenie dreva, drevených prvkov stavebných konštrukcií a ďalších materiálov na báze dreva určených na zabudovanie alebo už zabudovaných do interiérov stavieb. Drevený materiál po ošetrení spĺňa požiadavky triedy C-s1, d0 reakcie na oheň podľa STN EN 13501-1 [13].

Pri hodnotení sme použili normovú testovaciu metódu – skúškou zapáliteľnosti podľa STN EN ISO 11925-2 [8]. Pomocou skúšky zapáliteľnosti sa určuje zapáliteľnosť výrobku pri vystavení účinkom malého usmerneného plameňa pri podmienkach nulovej prídavnej radiácie s umiestnením vzoriek vo zvislej orientácii. Uvedená skúška sa využíva pri triedach reakcie na oheň B, C, D, E (klasifikácia stavebných výrobkov - okrem podlahových krytín a tepelnoizolačných výrobkov na lineárne potrubia), B_{fl}, C_{fl},



D_{fl} , E_{fl} (klasifikácia podlahových krytín), B_L , C_L , D_L , E_L (klasifikácia tepelnoizolačných výrobkov na lineárne potrubia). Na vykonanie uvedenej skúšky sa používa skúšobné zariadenie podľa STN EN 11925-2 [8]. Podľa uvedenej normy môžu byť skúšobné vzorky testovaného materiálu vystavené skúšobnému plameňu dvomi spôsobmi, a to hlavnou plochou alebo spodnou hranou.

Pre stanovenie zapáliteľnosti sa podľa príslušnej technickej normy pri všetkých skúšobných vzorkách zaznamená:

- či došlo k zapáleniu skúšobného telesa,
- či vrchol plameňa dosiahol hranicu 150 mm nad bodom priloženia plameňa a čas, keď to nastalo,
- každý údaj z pozorovania fyzikálneho správania sa skúšobnej vzorky počas testu.

Vplyv termického pôsobenia bol okrem kritérií daných normou posudzovaný aj z hľadiska úbytku na hmotnosti.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Pri skúške zapáliteľnosti sa sledovalo zapálenie daných vzoriek, rovnako aj ich samovoľné horenie. V prípade, že horenie vzoriek pretrvávalo aj po skončení skúšobného času, vzorky boli uhasené. Vizualne sa sledovalo, či vrchol plameňa za čas 60 sekúnd dosiahol vzdialenosť 150 mm od bodu priloženia skúšobného plameňa. Sledovali sme aj fyzikálne správanie skúšaných vzoriek a ich úbytok na hmotnosti.

Tab. 1 Šírenie plameňa po povrchu vzorky (mm)

Tab. 1 Flame spread over the surface of the sample (mm)

vzorka	plocha	hrana
neošetrená vzorka	57,83	66,00
Bochemit Antiflash	38,83	29,17
Bochemit Pyro	47,17	29,67

Pri testovaných vzorkách ani v jednom prípade nedošlo k rozšíreniu plameňa o viac ako 150 mm za čas 60 sekúnd a teda môžeme konštatovať, že každá z hodnotených



drevín splnila podľa STN EN 13501-1 [14] klasifikačné kritérium $F_s \leq 150$ mm za 60 sekúnd. Splnenie uvedeného kritéria je jednou z podmienok pre klasifikáciu materiálu do triedy reakcie na oheň B, C a D. Na základe našich výsledkov, zaradiť nami testované dreveniny do jednej z uvedených tried však jednoznačne nemôžeme, nakoľko pre klasifikáciu do uvedených tried sa požaduje splnenie klasifikačných kritérií dvoch testovacích metód. To znamená, že okrem splnenia klasifikačného kritéria podľa STN EN ISO 11925-2 [8], by museli uvedené dreveniny splniť aj klasifikačné kritérium podľa STN EN 13823 [15] – SBI test.

Tab. 2 Čas ukončenia horenia vzorky (s)

Tab. 2 Sample combustion end time (s)

vzorka	plocha	hrana
neošetrená vzorka	52	60
Bochemit Antiflash	0	31
Bochemit Pyro	30	31

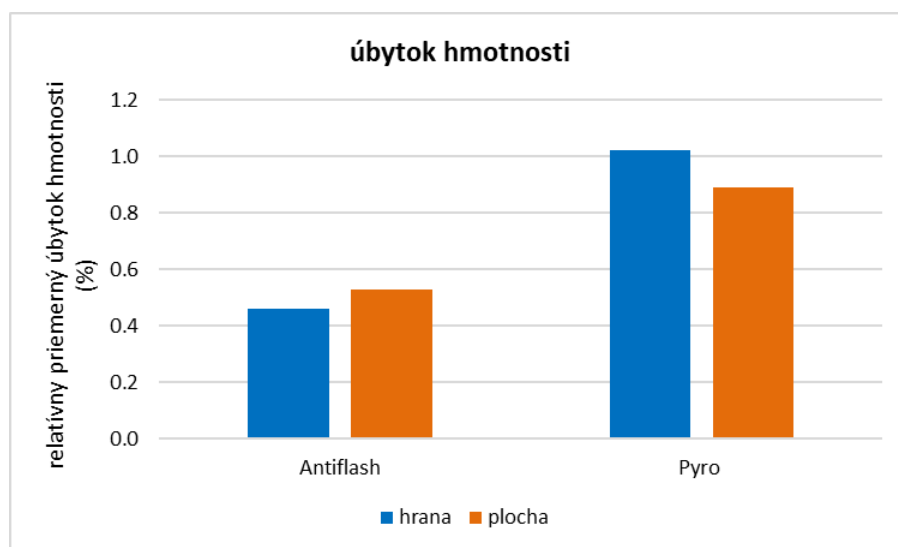
Pri všetkých skúšaných vzorkách neošetreného smrekového dreva došlo k ich zapáleniu, tzn. aj pri pôsobení plameňa na plochu aj na hranu. Pri všetkých nastalo po oddialení plameňa samovoľné horenie. Vzorky ošetrené Bochemitom Antiflash pri pôsobení plameňa na plochu, nezačali horieť ani počas pôsobenia plameňa. Pri pôsobení na hranu došlo k ich zapáleniu, ale po odtiahnutí plameňa v 31. sekunde bolo plameňové horenie ukončené. Pri vzorkách ošetrených Bochemitom Pyro pri pôsobení plameňa na plochu aj na hranu dochádzalo k ich zapáleniu, po oddialení plameňa ale nepretrvávalo plameňové horenia.



Obr. 1 Fotodokumentácia vzoriek po skúške zapáliteľnosti pri zaťažení na plochu (vľavo) a hranu (vpravo) - neošetrená vzorka, Boehemit Antiflash, Boehemit Pyro

Fig. 1 Photodocumentation of samples after the flammability test under loaded on the surface (left) and edge (right) - untreated sample, Boehemit Antiflash, Boehemit Pyro

Z dosiahnutých výsledkov je zrejmé, že vyššie riziko zapálenia hrozí pri pôsobení skúšobného plameňa na hranu testovanej vzorky. Pri namáhaní vzoriek na hranu bolo ich horenie o niečo intenzívnejšie, plameň sa pri vzorkách nešíril len v zvislom smere, ale aj po hrane vzorky. Podľa očakávania vyššie riziko zapálenia hrozí pri neošetrených vzorkách, a to pri pôsobení na plochu aj hranu vzorky.



Obr. 2 Úbytok hmotnosti testovaných vzoriek po skúške

Fig. 2 Mass loss of the tested samples after the test



Ak porovnáme medzi sebou retardačnú úpravu Bochemitom Antiflash a Bochemitom Pyro z hľadiska úbytku na hmotnosti, lepšie výsledky dosiahli vzorky ošetrené Bochemitom Antiflash, kde dochádzalo k 0,53 % úbytku hmotnosti pri pôsobení na plochu a k 0,46 % úbytku hmotnosti na hranu. Pri vzorkách ošetrených Bochemitom Pyro pri pôsobení na plochu bol úbytok hmotnosti 0,89 % a pri pôsobení na hranu 1,02 %.

Najlepšie výsledky z hľadiska šírenia plameňa aj z hľadiska úbytku hmotnosti z testovaných vzoriek dosiahli vzorky ošetrené Bochemitom Antiflash. Je preukázateľné, že vybrané retardéry horenia zlepšujú termickú odolnosť smrekového dreva.

ZÁVER

Zvyšujúce sa nároky na protipožiarne bezpečnosť stavieb zároveň vedú aj k zvyšujúcim sa nárokom na protipožiarne bezpečnosť používaných stavebných materiálov. Z uvedeného vyplýva dôležitosť hodnotenia stavebných materiálov z protipožiarneho hľadiska. Jedným zo spôsobov je aj hodnotenie stavebného materiálu z hľadiska rozvoju požiaru. Cieľom príspevku bolo posúdenie šírenia plameňa po povrchu vybraného lignocelulóзовého materiálu pri zaťažení plamenným zdrojom, v závislosti od použitej náterovej chemickej látky s protipožiarou funkciou. Pre tento účel bola použitá normová testovacia metóda STN EN ISO 11925-2, ktorá je jednou z platných metód na hodnotenie materiálov z hľadiska reakcie na oheň. Použitá laboratórna metóda pomocou získaných výsledkov umožňuje zatriedenie materiálu do príslušnej triedy reakcie na oheň. Pri vyhodnotení sme sa zamerali na vplyv miesta priloženia skúšobného plameňa na zapálenie vzorky, šírenie plameňa po povrchu vzorky a úbytok na hmotnosti. Z výsledkov môžeme konštatovať, že najlepšie výsledky v porovnaní s neošetreným smrekovým drevom a smrekovým drevom ošetreným Bochemitom Pyro dosiahli vzorky dreva ošetrené Bochemitom Antiflash. Získané poznatky môžu poslúžiť pri štúdiu procesu horenia dreva a k vhodnému výberu ošetrenia drevených materiálov v interiéri a exteriéri v praxi.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-22-0030.



ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] DIETENBERGER, M. 2002. Update for combustion properties of wood components. In *Fire and Materials*. 2002, 26, p. 255-267. DOI: 10.1002/fam.807.
- [2] KMEŤOVÁ, E., MITTEROVÁ, I., KAČÍKOVÁ, D. 2020. Evaluation of selected coniferous and deciduous trees species after radiant heat loading by the method of mass loss. In *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 2020. 14 (1), p. 16-29. ISSN 1337-0863.
- [3] SARVAŠ, M, et al. 2010. Základné charakteristiky lesných drevín: ekologické nároky, morfológia, lesné semenárstvo a škôlkárstvo, obhospodarovanie génových základní: spracovanie drevnej suroviny v odvetví spracovania dreva. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2010. ISBN 978-80-8093-112-4.
- [4] KADLICOVÁ, P., GAŠPERCOVÁ, S., MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, L. 2017. Monitoring of Weight Loss of Fibreboard During Influence of Flame. In *Procedia Engineering*. 2017. 192, p. 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.068>
- [5] QUINTIERE, J. G. *Principles of Fire Behaviour*. Second edition. Boca Raton: CRC Press, 2017. DOI:10.1201/9781315369655
- [6] KMEŤOVÁ, E., KAČÍKOVÁ, D., ZACHAR, M. 2022. Posúdenie šírenia plameňa po povrchu lignocelulóзовého materiálu. In *ŠVOČ: 62nd student scientific international conference 25th May 2022*. 2022. ISBN 978-80-228-3315-8, 54-63.
- [7] TISCHLER, P., MAJLINGOVÁ, A. 2018. Progresívne metódy stanovenia požiarotechnických a termických vlastností materiálov pre účely modelovania správania sa požiarov v uzavretých priestoroch. In *Advances in fire & safety engineering 2018: zborník príspevkov z VII. medzinárodnej vedeckej konferencie*. 2018. 345-357.
- [8] STN EN ISO 11925-2: 2020: Skúšky reakcie na oheň. Zapáliteľnosť stavebných výrobkov vystavených priamemu pôsobeniu plameňového horenia. Časť 2: Skúška jednoplameňovým zdrojom.
- [9] DRYSDALE, D. 1999. *An Introduction to Fire Dynamics*. Second Edition. UK: John Wiley & Sons, 1999. 451 s. ISBN 0-471-97290-8.
- [10] HUANG, X., LIU, W., ZHAO, J., ZHANG, Y., SUN, J. 2015. Experimental study of altitude and orientation effects on heat transfer over polystyrene insulation material. In



Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2015, 122, p. 281–293. DOI 10.1007/s10973-015-4667-0.

[11] KMEŤOVÁ, E., MITTEROVÁ, I., KAČÍKOVÁ, D. 2021. Assessment of flame spread on retardant-treated wood. In *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 2021. 15, p. 16-22. ISSN 1337-0863.

[12] Bochemit Antiflash, Technický list

[13] Bochemit Pyro, Technický list

[14] STN EN 13501-1: 2019: Klasifikácia požiarnej charakteristik stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň.

[15] STN EN 13823: 2021: Skúšky reakcie stavebných výrobkov na oheň. Stavebné výrobky okrem podlahových krytín, vystavené tepelnému pôsobeniu osamelo horiaceho predmetu.



POŽIAROVOSŤ GARÁŽÍ A ELEKTROMOBILITA

GARAGE FIRES AND ELECTROMOBILITY

Bibiána KUKLICOVÁ¹ - Martin ZACHAR¹ - Stanislava GAŠPERCOVA²

¹Technická univerzita vo Zvolene katedra protipožiarnej ochrany, T. G. Masaryka
24 960 01 Zvolen, Slovenská republika, zkuklicova@is.tuzvo.sk, zachar@is.tuzvo.sk

²Žilinská univerzita v Žiline katedra požiarneho inžinierstva, Univerzitná 8215/1 010 26
Žilina, Slovenská republika, +421 41 513 6796, stanislava.gaspercova@fbi.uniza.sk

Abstract

The intention of fire safety in buildings is to prevent loss of life and damage to the health of persons as well as loss of property in the event of fire. The main objective of this article is to assess the possibilities of improving the fire safety of garage in the context of the trend in mobility. Electromobility is a very hot topic not only in Slovakia but also in the world and the number of electric vehicles is growing every year. With this trend, there are many issues related to parking of electric cars, the placement of charging stations for electric cars in buildings, or the way of conducting intervention by rescue services and the use of fire extinguishing agents.

Keywords: *fire, fire safety in buildings, collective garage, electric vehicle, hybrid vehicle*

ÚVOD

Požiarovosť garáží na Slovensku úzko súvisí s novým trendom vo vývoji mobility. Automobilový priemysel sa neustále rozvíja, v dnešnej dobe má zaparkovaný aspoň jeden automobil pred domom, či v garáží väčšina domácností. Elektromobilita sa na Slovensku teší čoraz väčšiemu záujmu. Len za posledný rok pribudlo na našich cestách viac ako 30 000 elektromobilov. Rastúci počet elektrických a hybridných vozidiel so sebou prináša nielen ekologické výhody, ale aj nové výzvy v oblasti bezpečnosti [1].



Protipožiarna bezpečnosť stavieb je jedným z kľúčových aspektov, ktorá zabezpečuje ochranu života, zdravia a majetku aj v prípade vzniku požiaru. Stavby sa navrhujú podľa všeobecne záväzných právnych predpisov, zákonov, vyhlášok a Slovenských technických noriem, ktoré kladú veľký dôraz na to, aby budovy boli navrhnuté, konštruované a vybavené tak, aby minimalizovali vznik požiaru a umožnili efektívnu evakuáciu a vykonanie záchranných prác [2].

So zvyšujúcim sa počtom elektromobilov na Slovensku a ich rozširujúcou sa infraštruktúrou, prichádza množstvo otázok ohľadom parkovania elektromobilov, ako aj umiestňovania elektro nabíjačiek v garážach. Od apríla 2020 platí novela zákona NR SR č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov, konkrétne paragraf § 8 písm. a), hovorí o tom kedy bytové a nebytové budovy postavené alebo výrazne rekonštruované po roku 2020 musia zahrnúť riešenia pre nabíjanie elektromobilov. Z hľadiska protipožiarna bezpečnosti stavieb je však parkovanie elektromobilov a prítomnosť nabíjaciač staníc v hromadných a radových garážach komplikovanejšia, hlavne v prípade vzniku požiaru a následného zásahu [3].

Elektromobily predstavujú špecifické riziká, ktoré sa najmä v prípade požiaru môžu líšiť od vozidiel so spaľovacím motorom. Odlišnosť v konštrukcii vozidiel zapríčiňuje rôzne rizikové faktory pravdepodobnosti vzniku požiaru, ako aj odlišný postup pri hasení a vykonávaní záchranných prác [4]. Doposiaľ bolo MV SR vydané len usmernenie na protipožiarnu bezpečnosť garáží, v ktorých parkujú elektromobily alebo sa v nich nachádzajú elektro nabíjačky, ktoré má len odporúčací charakter. Riešenie protipožiarna bezpečnosti stavieb, ktoré zahŕňa parkovacie a nabíjacie stanice pre elektromobily vyžaduje nové prístupy, technické riešenia, aktualizáciu súčasných predpisov a zvýšenie pripravenosti záchranných zložiek [5].

ROZBOR PROBLEMATIKY

Parkovacie garáže, tak ako ich poznáme dnes začali vznikať na prelome 19. a 20. storočia. Tieto priestory, kedysi slúžili ako miesta na chov koní alebo iných zvierat a boli prerobené na „skladovanie“ áut. Názov „garáž“ je odvodený od francúzskeho slova „garer“, čo v preklade znamená chrániť alebo poskytnúť prístrešok. V oblastiach, ktoré boli husto zaľudnené dochádzalo k nárastu výskytu automobilov a s tým sa začal



objavovať problém s nájdením vhodného parkovacieho miesta. Novostavby s významnejším charakterom sa začali navrhovať a následne aj realizovať s veľkokapacitnými a poschodovými garážami. Prvými krajinami, ktoré začali s výstavbou a používaním hromadných garáží, boli zároveň aj krajiny, ktoré sa najviac pričínili o vývoj a rozvoj automobilového priemyslu vo svete. Boli to veľmoci ako Francúzsko, Nemecko a Spojené štáty americké [6].

Protipožiarna bezpečnosť

Rovnako ako kedysi, tak aj v súčasnosti stavby musia byť navrhnuté, aby po celý čas životnosti boli v súlade so základnými požiadavkami na stavby, so zastavovacími podmienkami, a aby boli zhotovené z vhodných stavebných výrobkov. Musia byť realizované v súlade s overeným projektom a so stavebným povolením, zároveň musia spĺňať základné požiadavky na stavby. Stavby, ich zmeny a udržiavacie práce na nich sa môžu uskutočňovať iba podľa stavebného povolenia alebo na základe ohlásenia stavebnému úradu [7].

Stavby sa z hľadiska protipožiarnej bezpečnosti navrhujú, realizujú a užívajú tak, aby v prípade vzniku požiaru:

- zostala zachovaná ich nosnosť a stabilita po určený čas,
- bola umožnená bezpečná evakuácia osôb a zvierat z horiacej alebo požiarom ohrozenej stavby na voľné priestranstvo alebo do iného požiarom neohrozeného priestoru,
- zabránilo sa rozšíreniu požiaru a dymu medzi jednotlivými požiarňami úsekmi vo vnútri stavby alebo na inú stavbu,
- sa zabezpečil odvod splodín horenia mimo stavbu,
- bol umožnený účinný a bezpečný zásah hasičských jednotiek pri zdolávaní požiaru a vykonávaní záchranných prác [7].



Jednotlivé a radové garáže

Jednotlivé a radové garáže sa triedia v závislosti od veľkosti vozidiel, pre ktoré majú slúžiť do troch skupín, ktorými sú:

- garáže skupiny 1 - pre osobné automobily, dodávkové automobily a jednostopové vozidlá (napr. motocykle),
- garáže skupiny 2 - pre nákladné automobily, autobusy a špeciálne automobily,
- garáže skupiny 3 – pre traktory a pracovné stroje s vlastným pohonom [8].

Protipožiarna bezpečnosť jednotlivých a radových garáží je riešená v STN 92 0201-1, čl. 4.11.1 a pre radové garáže určuje rozdelenie na požiarne úseky (PÚ) podľa skupiny, do ktorej patria, konštrukčného celku a najväčším dovoleným počtom státí, kedy:

Pre skupinu 1 platí, že v PÚ sa môže nachádzať najviac:

- 25 státí, ak je konštrukčný celok nehorľavý,
- 15 státí, ak je konštrukčný celok zmiešaný,
- 6 státí, ak je konštrukčný celok horľavý [9].

Pre skupinu 2 a 3 platí, že v PÚ sa môže nachádzať najviac:

- 15 státí, ak je konštrukčný celok nehorľavý,
- 10 státí, ak je konštrukčný celok zmiešaný,
- 5 státí, ak je konštrukčný celok horľavý [9].

Hromadné garáže

Hromadnou garážou sa podľa STN 73 6058 rozumie objekt, prípadne priestor, ktorý slúži k odstavovaniu alebo parkovaniu vozidiel s viac ako tromi státiami. V stavbách s hromadnými garážami sa predpokladá zvýšený výskyt osôb, ako aj rôznych druhov automobilov. Prilahlé priestory bývajú rozsiahle a preto vyžadujú nasadenie väčšieho počtu síl, prostriedkov a zásah býva kvôli veľkému zadymeniu priestorov náročný [10].



Hromadné garáže sa podľa druhu a veľkosti vozidiel delia na:

- skupiny 1 - pre osobné automobily, dodávkové automobily a jednostopové vozidlá, (napr. motocykle),
- skupiny 2 – pre nákladné automobily, autobusy a špeciálne automobily,
- skupiny 3 – pre traktory a pracovné stroje s vlastným pohonom [10].

Podľa stavebného riešenia sa delia na:

- jednopodlažné,
- viacpodlažné [10].

Podľa terénu sa delia na:

- nadzemné,
- podzemné,
- kombinované [10].

Podľa typu prevádzky sa delia na:

- pohyb vozidiel vlastnou silou – samoobsluha alebo obsluha,
- mechanická doprava vozidiel – automatické garáže [10].

Zatriedenie hromadnej garáže má vplyv na riešenie protipožiarnej bezpečnosti, napr. pri určení požiarneho rizika, stupňa požiarnej bezpečnosti, dovolenej plochy požiarneho úseku a určení najväčšej dovolenej dĺžky únikových ciest [10].

CIEĽ

Cieľom príspevku je spracovanie požiarovosti v priestoroch garáží za obdobie od roku 2013 do roku 2023, súčasťou je aj popísanie rozdelenia garáží v zmysle platnej právnej úpravy na Slovensku. Súčasťou danej problematiky je aj nástup elektro-mobility.

Elektromobilita

Elektromobil je vozidlo, ktoré je úplne alebo čiastočne poháňané elektromotormi, pričom využíva energiu uloženú v dobíjajúcich batériách (viď. obr. 1). Elektrické



automobily sú vyrábané s rôznymi prevedeniami hnacieho ústrojenstva, čo umožňuje rôznu mobilitu funkcií a riadenie energie. Elektromobily v súčasnosti rozdeľujeme na:

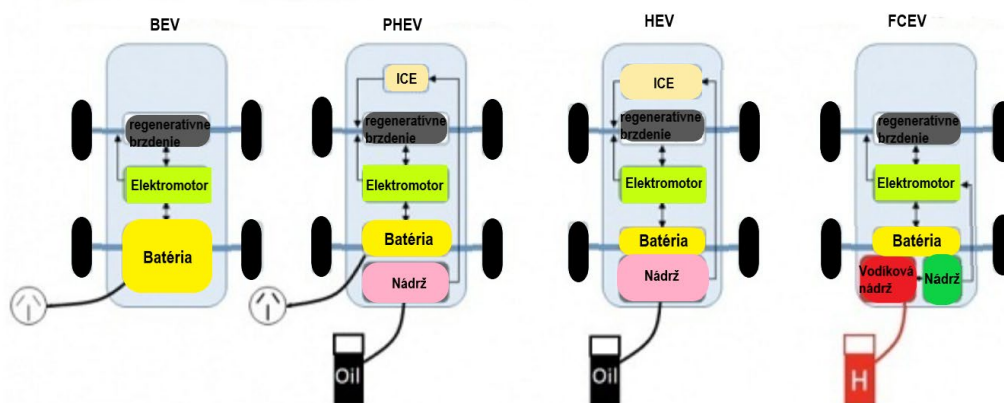
- Batériové elektrické vozidlo (Battery electric vehicle - BEV).
- Hybridné elektrické vozidlo (Hybrid electric vehicle - HEV).
- Plug-in hybridné elektrické vozidlo (Plug-in hybrid electric vehicle - PHEV).
- Elektrické vozidlo s palivovými článkami (Fuel cell electric vehicle - FCEV) [11].

Batériové elektrické vozidlo (BEV), tiež nazývané All-Electric Vehicle (AEV), jazdí výlučne na batériu a elektrický pohon. Tieto typy elektromobilov nemajú spaľovací motor. Elektrická energia je uložená vo veľkej batérii, ktorá sa nabíja pripojením do elektrickej siete. Batéria zase dodáva energiu jednému alebo viacerým elektromotorom na pohon elektromobilu [11].

Plug-in hybrid (PHEV) ponúka výber palív. Tento typ elektromobilov je poháňaný konvenčným palivom (napríklad benzínom) alebo alternatívnym palivom (napríklad bionaftou) a akumulátorom. Batériu je možné nabíjať elektrickou energiou zapojením do elektrickej zásuvky alebo nabíjacej stanice pre elektromobily. PHEV zvyčajne môže bežať aspoň v dvoch režimoch, buď v plne elektrickom režime, v ktorom motor a batéria poskytujú všetku energiu alebo v hybridnom režime, v ktorom sa využíva elektrina a palivo napr. benzín [11].

Hybridné elektrické vozidlo (HEV) je typ hybridných áut, ktorý sa často nazýva štandardný hybrid alebo paralelný hybrid. HEV má spaľovací motor aj elektromotor. V týchto typoch elektromobilov získava spaľovací motor energiu z paliva (benzín a iné druhy palív), zatiaľ čo motor získava elektrickú energiu z batérií. Benzínový motor a elektromotor súčasne roztáčajú prevodovku, ktorá poháňa kolesá. Rozdiel medzi HEV v porovnaní s BEV a PHEV je v tom, že batérie v HEV sa môžu nabíjať spaľovacím motorom, pohybom kolies alebo ich kombináciou. V automobile neexistuje žiadny nabíjací port [11].

Elektrické vozidlo s palivovými článkami (FCEV) je typ elektromobilu, ktorý využíva „technológiu palivových článkov“ na výrobu elektriny potrebnej na prevádzku vozidla. V tomto type vozidiel sa chemická energia paliva premieňa priamo na elektrickú energiu [11].



Obrázok 1 Typy elektromobilov [11]

Picture 1 Type of electric vehicle [11]

Nabíjacie stanice pre elektromobily

Nabíjacia stanica je zariadenie, ktoré je primárne určené na nabíjanie batérií elektromobilov a hybridných vozidiel s plug-in technológiou. Dá sa však použiť aj na nabíjanie iných elektrických vozidiel (bicykle, skútre). Nabíjacia stanica je ako štandardná plynová čerpacia stanica pre vozidlá so spaľovacím motorom. Rozdiel spočíva v prírodnej palivovej hadici, ktorá bola nahradená nabíjacím káblom [12].

Zákon NR SR č. 378/2019 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon NR SR č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov bol doplnený o paragraf §8, písm. a) Elektromobilita, kedy nové nebytové budovy a významne obnovované existujúce nebytové budovy s viac ako desiatimi parkovacími miestami musia mať najmenej jednu nabíjajúcu stanicu elektrických vozidiel a infraštruktúru vedenia na najmenej jednom z piatich parkovacích miest. Nové bytové budovy a významne obnovované existujúce bytové budovy s viac ako desiatimi parkovacími miestami musia mať infraštruktúru vedenia pre každé parkovacie miesto. Zároveň každá nebytová budova s viac ako 20



parkovacími miestami musí mať od 1. januára 2025 najmenej jednu nabíjaciu stanicu elektrických vozidiel [3].

Dňa 20.12.2021 vydalo MV SR v spolupráci s Prezidiom HaZZ odporúčania na požiadavky protipožiarnej bezpečnosti v súvislosti s parkovaním a nabíjaním elektromobilov v hromadných a radových garážach. V prípade nesplnenia nižšie uvedených minimálnych bezpečnostných požiadaviek z hľadiska ochrany pred požiarom, Prezídium HaZZ neodporúča parkovanie elektrických vozidiel v stavbách, a to najmä z hľadiska problematického zásahu hasičských jednotiek. Usmernenie má len odporúčací charakter, hromadné a radové garáže v súčasnosti nemusia spĺňať tieto podmienky nakoľko nie sú zákonom dané, no dodržanie podmienok usmernenia by mohlo uľahčiť zásah hasičských jednotiek v prípade vzniku požiaru [5].

Odporúčané požiaro-bezpečnostné požiadavky

Parkovacie miesta pre elektromobily a nabíjacie stanice pre elektromobily v hromadných a radových garážach by mali byť umiestnené:

- na konštrukcii s požiarou odolnosťou v stavbách s konštrukčnými prvkami druhu D1,
- stupeň protipožiarnej bezpečnosti by sa mal zvýšiť na minimálnu požiaru odolnosť stavebných konštrukcií na 90 minút,
- najmenej 5 m od vstupov do čiastočne chránenej únikovej cesty alebo do chránenej únikovej cesty,
- vedľa seba by sa mali nachádzať najviac tri parkovacie miesta a nabíjacie stanice pre elektromobily, umiestnenie ďalších troch parkovacích miest a nabíjacích staníc pre elektromobily by malo byť vzdialené najmenej 5 m (vzdialenosť možno nahradiť požiarne deliacou konštrukciou určenou v odporúčaniach) [5].

Odporúčané vybavenie požiarными zariadeniami:

- elektrickou požiarou signalizáciou by mal byť vybavený požiarny úsek hromadnej garáže pre menej ako 50 vozidiel, v ktorom sa nachádza viac ako 20 státí pre elektromobily a nabíjacie stanice,



- zariadením na odvod tepla a splodín horenia s núteným vetraním s minimálnou 10 násobnou výmenou vzduchu, by mal byť vybavený požiarny úsek hromadnej garáže pre elektromobily, ak v ňom nie je zabezpečené prirodzené priečne vetranie s otvormi najmenej 5 % pôdorysnej plochy podlažia,
- priestor státi a nabíjacie stanice pre elektromobily by mali byť vybavené samočinným hasiacim zariadením alebo iným ekvivalentným spôsobom hasenia s minimálnou intenzitou dodávky vody $14,7 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$, podľa prílohy č. 2 pokynu Prezidenta HaZZ č. 39/2003. Na uvedený účel je možné za vyhovujúce považovať napríklad samočinné hasiace zariadenie napojené na rozvod vody v stavbe ukončené obdobnou výtokovou armatúrou ako pre stabilné hasiace zariadenie, s požadovanou intenzitou dodávky hasiaceho média minimálne po dobu 120 minút [5].

VÝSLEDKY

Požiare garáží sú veľmi nebezpečné hlavne z hľadiska výskytu väčšieho počtu automobilov s rôznym pohonom, ako aj ľudí. V nasledujúcej časti príspevku je spracovaná a popísaná štatistika požiarovosti garáží na Slovensku.

Celkový počet požiarov (tab. 1) za nami sledované obdobie od roku 2013 až do roku 2023 bol 100 028, z tohto počtu bolo 815 požiarov garáží, čo je 0,81 % z celkového počtu všetkých požiarov. Celkový počet požiarov dosiahol najvyššiu hodnotu v roku 2015 počtom 10 999, počet požiarov garáží bol 85, čo z percentuálneho hľadiska tvorí 0,77 % požiarov. Najväčší počet požiarov garáží bol v roku 2016, bolo ich 87 a tvoril, tak aj najväčší percentuálny podiel z celkového počtu požiarov za tento rok a to 1,03 %. O rok neskôr bol najmenší počet požiarov garáží 63 za nami sledované obdobie, percentuálny podiel bol 0,63 % [13].

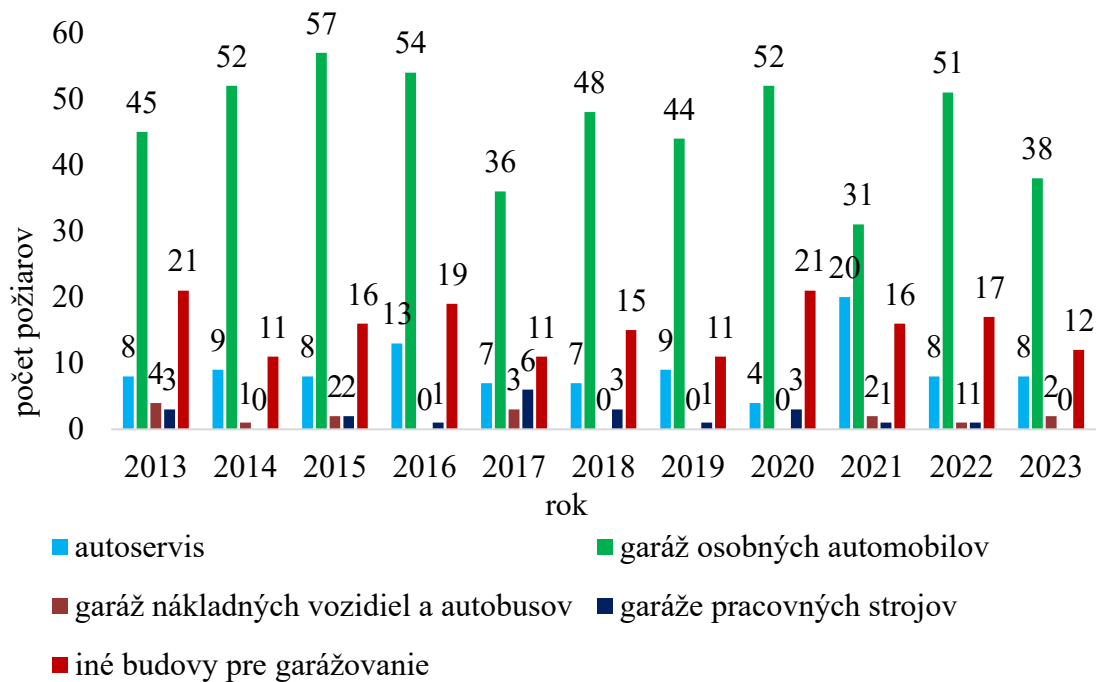


Tabuľka 1 Rozbor požiarovosti garáží za roky 2013 – 2023 na Slovensku [13]

Table 1 Analysis of garage fire rates for 2013 - 2023 in Slovakia [13]

Rok	Celkový počet požiarov	Počet požiarov garáží	Percentuálny podiel požiarovosti garáží [%]
2013	9 898	81	0,82
2014	9 030	73	0,81
2015	10 999	85	0,77
2016	8 407	87	1,03
2017	10 312	63	0,61
2018	8 973	73	0,81
2019	9 304	65	0,70
2020	8 356	80	0,96
2021	7 710	70	0,91
2022	10 729	78	0,73
2023	6 310	60	0,95
SPOLU	100 028	815	0,81

Najviac požiarov garáží, za roky 2013 až 2023 predstavujú požiare garáží pre osobné automobily. V tejto kategórii sú zahrnuté garáže osobných automobilov v budovách pre garážovanie a údržbu vozidiel, ktorých bolo za celé obdobie 155 (viď. obr. 2). Do tejto kategórie spadajú aj požiare garáží mimo budov (murované, plechové, prenosné a pod.), ktorých bolo za celé obdobie 212 a následne požiare garáží, ktoré sú súčasťou iných budov, tých bolo dokopy 67. Najmenej zaznamenaných požiarov bolo v garážach pre nákladné vozidlá a autobusy, ktoré vznikli prevažne v budovách pre garážovanie a údržbu vozidiel a v garážach, ktoré boli súčasťou iných budov [13].

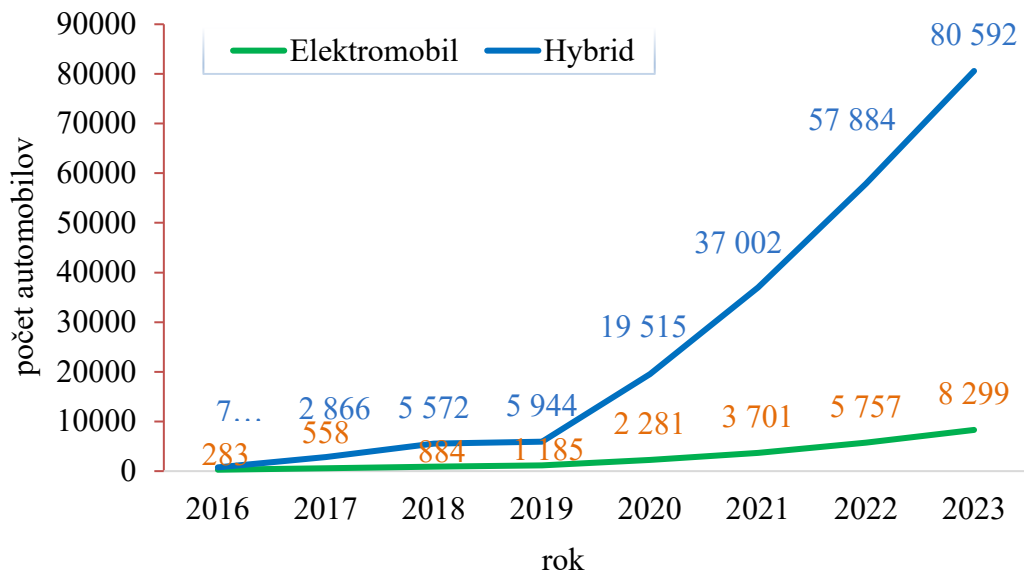


Obrázok 2 Počet požiarov garáží za roky 2013 – 2023 [13]

Figure 2 Number of garage fires in 2013-2023 [13]

Elektrické a hybridné vozidlá na Slovensku

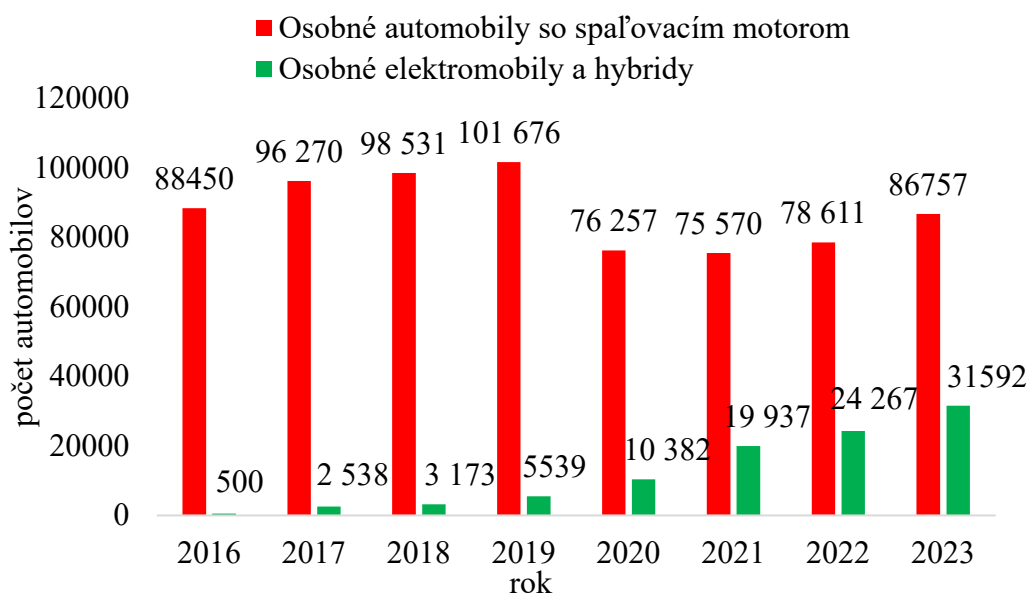
Počet registrovaných osobných elektromobilov a hybridov v Slovenskej republike od roku 2016 výrazne stúpol (Obr. 3). Za 7 rokov počet elektrických vozidiel stúpol 30 násobne a počet hybridov až viac ako 100 násobne. K 31.12.2016 bolo na Slovensku registrovaných 2 112 818 osobných vozidiel, z toho elektromobilov bolo 1 044, čo bolo len 0,0005 %. K dátumu 31.12.2023 bolo na Slovensku celkovo 2 643 754 osobných vozidiel, z toho bolo 88 891 osobných elektromobilov, čo z celkového počtu tvorí 3,4 % [1].



Obrázok 3 Počet registrovaných osobných elektrických a hybridných vozidiel na Slovensku za rok 2016 – 2023 [1]

Figure 3 Number of registered electric and hybrid vehicles in Slovakia 2016 -2023 [1]

Za rok 2016 bol počet nových registrovaných osobných automobilov (1.registrácia) 88 950, pričom elektromobily tvorili len 0,005 %. Na konci roku 2023 bol počet nových registrovaných osobných automobilov (1. registrácia) cez 118 000 z toho elektromobily tvorili 27 % (Obr.4) [1].



Obrázok 4 Počet zaregistrovaných nových osobných vozidiel na Slovensku za roky 2016-2023 [1]



Figure 4 Number of registered new cars in Slovakia 2016-2023 [1]

Štatistiky o požiaroch elektrických vozidiel na Slovensku nie sú také komplexné ako v niektorých iných krajinách, ale je zrejmé, že požiare elektromobilov sú témou, ktorá vyvoláva čoraz väčšie obavy, najmä s rastúcim počtom elektrických vozidiel. V roku 2023 bolo na Slovensku registrovaných viac ako 8 000 elektrických vozidiel a viac ako 80 000 hybridných vozidiel. Počet pribúdajúcich elektromobilov sa začína približovať počtu osobných vozidiel so spaľovacím motorom. Len za rok 2023 bolo novo registrovaných elektrických a hybridných vozidiel takmer 30 % z celkového počtu novo zaregistrovaných vozidiel a tendencia nárastu počtu je vysoká [1].

Pre prípad vzniku nežiadúcej udalosti na elektromobile vytvorila organizácia „National fire protection association“ webovú stránku, na ktorej sa nachádzajú zbierky príručiek, ako postupovať v prípade núdze od viac ako 35-tich výrobcov vozidiel na alternatívne palivá. Po vybratí výrobcu sa následne zobrazia rôzne typy elektromobilu. V konkrétnych príručkách sa nachádzajú rozpoznávacie znaky pre typ elektromobilu, priame nebezpečenstvá a bezpečnostné predpisy, bezpečný prístup k posádke a vyznačenie miest, ktoré sú vyhotovené z vysokopevnej ocele. V príručke sa nachádza aj postup v prípade požiaru, v prípade potreby ponorenia a následného odtiahnutia a skladovania pri poškodení elektromobilu. Tieto príručky sú na webovej stránke k dispozícii na stiahnutie zadarmo v anglickom jazyku [15].

V prípade požiaru v podzemných garážach býva vysoké zadymenie priestorov, s ktorým je spojená sťažená orientácia. V budovách, kde sa nachádzajú hromadné garáže sa k tomu nachádza ešte zvýšený počet osôb a rôzne druhy automobilov, ktoré sťažujú možnosti evakuácie [14]. Vozidlá s bežným pohonom nepredstavujú rovnaké nebezpečenstvo pri zásahu hasičských jednotiek, ako je to pri vozidlách s elektrickým pohonom. Rýchly zásah je veľmi dôležitý, nebezpečenstvá, ktoré sa vyskytujú v danej situácii zásah značne komplikujú. V súčasnosti nie je vydaný metodický list na bezpečný zásah pri požiari elektromobilu, kde by boli uvedené dôležité rozpoznávacie znaky medzi automobilom so spaľovacím motorom a elektromobilom. Bezpečnosť záchranných zložiek pri vykonávaní zásahu je prvoradá a príslušníci musia byť pri vykonávaní zásahovej činnosti obozretní [4].



Problém dostať sa k samotnému akumulátoru pri hasení elektromobilu je značný, v súčasnosti jedným z najúčinnějších zariadení pri hasení elektromobilu je špeciálne hasičské zariadenie Cobra Compact (Obr. 7). Hasiace zariadenie COBRA je schopné vysokým tlakom - až 200 barov (20 MPa), pomocou vody a špeciálneho abrazíva, urobiť dieru do rôzneho materiálu (napr. železo) a pomocou vodnej hmly hasiť uzavretý priestor. Vďaka tomu je potrebné na uhasenie omnoho menšie množstvo vody a čas na zdolávanie požiaru sa výrazne skráti. Doplnkové zariadenie MPN (MULTI-PURPOSE-NOZZLE), sa používa na hasenie vysokým tlakom (až 80 barov pri spotrebe $40 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$) a je možné použiť prúdnicu na vodu, na penu vrátane primiešavača alebo trysku na vodnú hmlu. V súčasnosti záchranné zložky na Slovensku disponujú len jedným takýmto zariadením [16].



Obrázok 5 Hasiace zariadenie Cobra Compact [18]
Picture 5 Cobra Compact fire equipment [18]

Po uhasení elektromobilu nastáva ďalší problém, tým je možnosť opätovného vznietenia elektromobilu v dôsledku reakcie batérie vplyvom jej poškodenia. Energia, ktorá ostane v poškodených článkoch batérie môže vyvolať exotermickú reakciu, ktorá zapríčini opätovný požiar. Hasiči pri takýchto situáciách často využívajú napr. špeciálne kontajnery s vodou (Obr. 8), kde je elektromobil s batériami ponorený na niekoľko dní, pokiaľ horenie úplne neustane. Voda v tomto kontajneri je vplyvom súčastí elektromobilu kontaminovaná a hasičské jednotky nedisponujú miestom ani spôsobom



pre ekologické zneškodnenie kontaminovanej vody. Na všetkých OR HaZZ by mali mať jeden kus takejto techniky [17].



Obrázok 8 Kontajner na utopenie elektromobilu [18]
Picture 8 Container for drowning of an electric car [18]

ZÁVER

Počet automobilov každým rokom neustále rastie, s tým je úzko spätá problematika parkovania predovšetkým na väčších sídliskách, v mestských častiach alebo v nákupných centrách. Hromadné garáže sú jednou z alternatív, no musia spĺňať požiadavky z urbanistického, dispozičného a požiarneho hľadiska. Protipožiarna bezpečnosť stavieb je rozsiahla a patrí medzi jeden z najdôležitejších faktorov pri uskutočňovaní stavby. Požiare garáží predstavujú relatívne malé percento z celkového počtu požiarov, no komplikovanosť zásahu a riziká spojené s elektromobilmi túto tému robia mimoriadne významnou. S nárastom počtu elektromobilov na Slovensku je nutné sa zamerať na špecifické riziká, ktoré táto problematika prináša.

Rozbor požiarovosti garáží na Slovensku za obdobie od roku 2013 do roku 2023, ukázal, že zo všetkých požiarov bolo len 0,81 % požiarov garáží, kde prevažujú požiare garáží pre osobné automobily. Na Slovensku sa doposiaľ nevedie samostatná štatistika požiarovosti elektromobilov, čo bude do budúcnosti nutné realizovať, vzhľadom na stúpajúci trend elektromobilov, kde v roku 2023 dosiahli elektromobily 3,4 % z celkového



počtu osobných vozidiel. Avšak v roku 2023 tvorili takmer 30 % novo zaregistrovaných vozidiel.

Dôležitými sú zistenia nedostatkov, spojených s elektromobilmi pri vykonávaní zásahovej činnosti, samotnom hasení a s tým súvisiacim nedostatočným materiálno technickým vybavením ako aj chýbajúcimi informáciami pri riešení protipožiarnej bezpečnosti stavieb garáží. Z dlhodobého hľadiska je nevyhnutné hlavne legislatívne posilnenie pravidiel pre bezpečné parkovanie a nabíjanie elektromobilov, a to nielen v nových, ale aj v existujúcich garážach. V záujme ochrany osôb a majetku je potrebné zabezpečiť, aby sa infraštruktúra a vybavenie prispôbili technologickému pokroku, a aby boli minimalizované riziká spojené s prevádzkou elektrických vozidiel v hromadných garážach.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená projektom VEGA č. 1/0115/22 Komplexný prístup k štúdiu zmien parametrov požiaru s využitím progresívnych analytických a testovacích metód.

Zoznam bibliografických odkazov

- [1] Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky. Počet evidovaných elektromobilov a hybridov. <https://www.minv.sk/?pocet-evidovanych-elektromobilov-a-hybridov>
- [2] Vyhláška Ministerstva vnútra Slovenskej republiky č. 94/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb v znení neskorších predpisov.
- [3] Zákon NR SR č. 378/2019 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 555/2005 Z. z. o energetickej hospodárnosti budov a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov.



- [4] Ballay, M., Monoši, M. 2016. Technológia elektromobilov vo vzťahu k hasičským jednotkám pri vykonávaní záchranných prác.
https://www.fbi.uniza.sk/uploads/Dokumenty/casopis_km/archiv/2016_02/06O1%20Ballay%20Monosi.pdf
- [5] Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky, Prezídium Hasičského a Záchraného zboru. Požiadavky protipožiarnej bezpečnosti v súvislosti s parkovaním a nabíjaním elektromobilov v stavbách – usmernenie. Bratislava. 2021.
- [6] Overstreet, K. 2022. Exploring the History and Future of Parking Garage Designs [online]. ArchDaily 2008-2023, ISSN 0719-8884.
<https://www.archdaily.com/993988/exploring-the-history-and-future-of-parking-garage-designs>
- [7] Svetlík, J., Osvaldová Makovická, L., Gašpercová, S., Panáková, J. 2015. Ochrana pred požiarimi. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline/EDIS – vydavateľské centrum ŽU v Žiline, 2015. 90-91 s. ISBN 978-80-554-1080-7
- [8] STN 73 6057: 1987 Jednotlivé a radové garáže. Základné ustanovenia
- [9] Kucbel, J. 2004. Protipožiarne bezpečnosť stavieb. Bratislava. Akadémia policajného zboru v Bratislave 2004. 122 s. ISBN 80-8054-332-1.
- [10] STN 73 6058: 1987 Hromadné garáže. Základné ustanovenia.
- [11] Omazaki Group. 2023. Types of Electric Cars and Working Principles. Omazaki Group.
<https://www.omazaki.co.id/en/types-of-electric-cars-and-working-principles/?fbclid=IwAR1BrujycsIH8Xl21mggleVd-08loz98pETDpzO4JKppSKC4CZGuBR3yimY>
- [12] Straka, M., Chovan, T., Bindzar, P., Žatkovič, E., Hricová, R. 2014. Possibilities and Limitations of Electromobiles Utilization. Applied Mechanics and Materials. 708. 159-164. 10.4028/www.scientific.net/AMM.708.159.
- [13] Požiarnotechnický a expertízny ústav MVSR. Požiarovosť v budovách pre garážovanie, garážach mimo budov a garážach, ktoré sú súčasťou iných budov za roky 2013-2023.



- [14] Ministerstvo vnútra Slovenskej republiky. Prezídium HaZZ. Takticko-metodické postupy vykonávania zásahov. Metodický list č. 35. Požiare garáží.
- [15] National Fire Protection Association, Emergency Response Guides. <https://www.nfpa.org/Training-and-Events/By-topic/Alternative-Fuel-Vehicle-Safety-Training/Emergency-Response-Guides/>
- [16] Dajbych, s.r.o., Hasičský RZA hilux 6x6. <https://www.dajbych.cz/hasicky-rza-hilux-6x6>
- [17] Slovak Electric Vehicle Association. Batérie v elektrických vozidlách a riziko požiaru. 2021. PSPA Research Analysis center.
- [18] 3MON s. r. o., Firetest 2024. <https://3mon.sk/firetest-2024-hasenie-poziaru-elektromobilu/>



PREDIKCIA BODU VZPLANUTIA VYBRANÝCH ALKOHOLOV

PREDICTION OF SELECTED ALCOHOLS FLASH POINTS

Jozef MARTINKA¹ – Peter RANTUCH¹ – Igor WACHTER¹ – Tomáš ŠTEFKO¹ -
Renáta KUTLÁKOVÁ¹

¹Slovak University of Technology in Bratislava - Faculty of Materials Science and
Technology in Trnava, Jana Bottu 2781/25, SK 917 24 Trnava, Slovakia,
Corresponding author (JM), E-mail: jozef.martinka@stuba.sk, peter.rantuch@stuba.sk,
igor.wachter@stuba.sk, tomas.stefko@stuba.sk, renata.kutlakova@stuba.sk

Abstract

This paper deals with the prediction of flash points (FP) of selected alcohols. Alcohols are significant chemical substances used in the practice. Alcohols are characterised by the hydroxyl (-OH) functional group. The flash point is the most important fire characteristic of flammable and combustible liquids that characterise their tendency to be ignited by a small ignition source. The flash point of chemical substances can be predicted by many known approaches. The methods of prediction based on the boiling point (BP) are presented in this paper. The two ways for prediction of FP from BP is described in this paper. The first way is based on the least squares regression (LSR) and the second way is based on the artificial neural network (ANN) prediction. The statistical dependence (LSR) of FP on BP was created for 25 alcohols. Similarly the ANN (for prediction of FP from BP) was trained for 25 alcohols. Both LSR and ANN were tested by prediction of FP for 9 alcohols (different than alcohols used in the training phase). The average differences between real and predicted FP were 0.34% and 2.89% for LSR and ANN method, respectively.

Keywords: *Alcohols; Boiling point; Flash point; Artificial neural network; Prediction.*



ÚVOD

Bod vzplanutia môže byť v zmysle technickej normy STN EN ISO 2592:2018 zjednodušene definovaný ako najnižšia teplota skúšanej látky, prepočítaná na štandardný atmosférický tlak (101,3 kPa), pri ktorej aplikovanie skúšobného plameňa spôsobí, že sa pary vzorky zapália a plameň sa rozšíri po jej povrchu (za podmienok definovaných citovanou technickou normou).

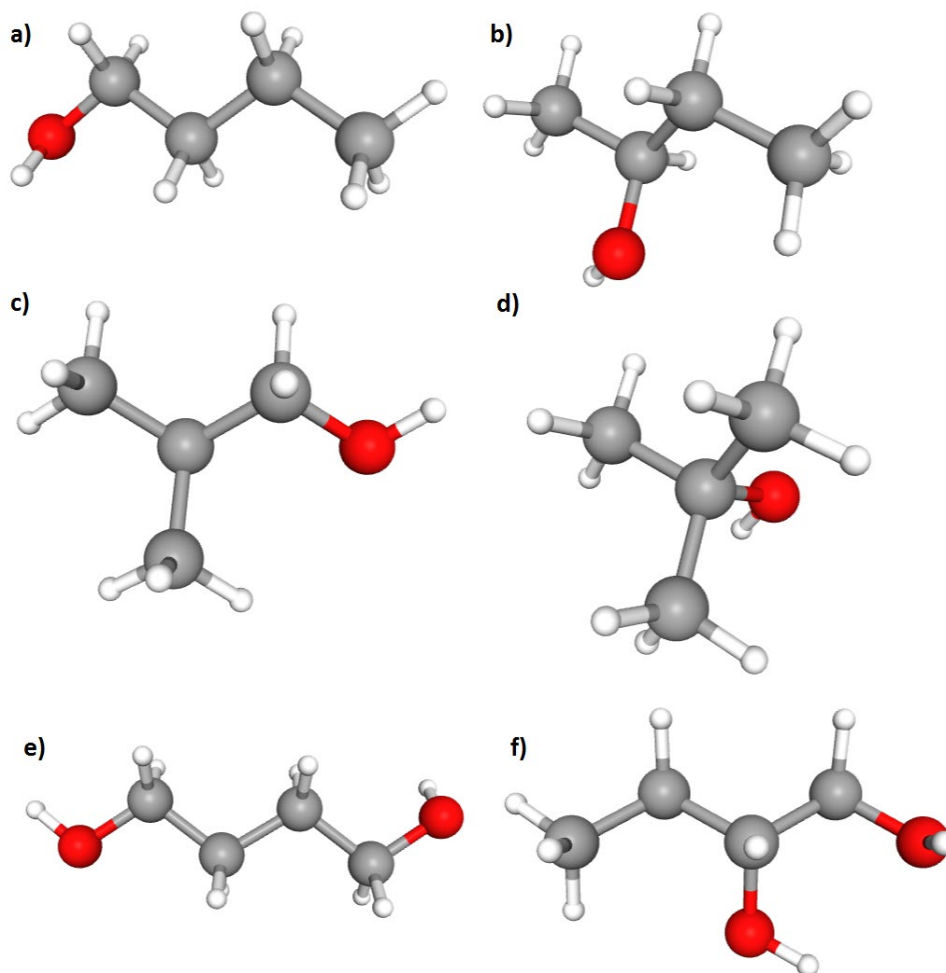
Bod vzplanutia môže byť považovaný za najdôležitejšou požiarňu charakteristiku. Napr. vyhl. MV SR č. 96/2004 Z. z. delí horľavé kvapaliny a stanovuje požiadavky na manipuláciu s nimi podľa bodu ich vzplanutia. Na tomto mieste je však potrebné upozorniť, že bod vzplanutia nemôže byť považovaný za teplotu, pod ktorou je manipulácia s horľavou kvapalinou absolútne bezpečná a jej zapálenie nie je možné. Bod vzplanutia je vždy vzťahovaný k podmienkam skúšky, ktorou bol stanovený. Napr. pri aplikácii iniciačného zdroja s vyššou energiou (v porovnaní s iniciačným zdrojom použitým pri skúške) alebo pri nanosení horľavej kvapaliny na porézny nosič (napr. do bavlnenej textílie), je možné jej zapálenie pri teplote nižšej, ako je jej bod vzplanutia.

V súčasnosti je známych niekoľko metód odhadu bodu vzplanutia horľavých kvapalín. Jednou z najjednoduchších, ale súčasne relatívne presných a často používaných metód je odhad bodu vzplanutia z teploty varu (horľavej) kvapaliny. Jednu z prvých vedeckých prác prezentujúcich odhad bodu vzplanutia z teploty varu kvapaliny publikovali Butler a kol. (1956). Podobný prístup založený na odhade bodu vzplanutia z teploty varu (z kvadratickej, resp. exponenciálnej rovnice) publikovali Satyanarayana a Rao (1992). Podrobný prehľad metód predikcie bodov vzplanutia (horľavých) kvapalín môže čitateľ, v prípade záujmu, nájsť napr. vo vedeckej práci Phoona a kol. (2014).

Alkoholy patria medzi technicky najdôležitejšie chemické zlúčeniny (horľavé kvapaliny). Tieto látky sa vyznačujú tým, že na jednom alebo niekoľkých atómoch uhlíka majú naviazanú hydroxylovú funkčnú skupinu (-OH). Podľa počtu -OH skupín sa alkoholy delia na jednosytné (prítomnosť jednej -OH skupiny v molekule) a viacsytné (viac -OH skupín v molekule). Podľa počtu atómov vodíka (prípadne uhlíka) viazaných na atóm uhlíka na ktorom je viazaná (-OH) funkčná skupina sa alkoholy (od butanolu vyššie) delia na primárne, sekundárne a terciárne (propanol poznáme len primárny



a sekundárny a metanol s etanolom sú vždy primárne alkoholy). Alkoholy sú zaujímavé aj svojou izomériou. Izoméria je termín pre chemickú zlúčeninu, ktorá má rovnaký sumárny vzorec, ale líši sa usporiadaním atómov v molekule. Jednotlivé zlúčeniny, ktoré sa takto vzájomne odlišujú sa nazývajú izoméry. Názvy metanol a etanol označujú vždy len jednu konkrétnu zlúčeninu (alkohol). Propanol, butanol a pentanol sú spoločné názvy pre 2, 4, resp. 8 rôznych izomérov. Počet izomérov ďalších alkoholov (hexanol, heptanol, oktanol, nonanol, dekanol atď.) už s počtom atómov uhlíka v reťazci výrazne narastá. Rôzne izoméry rovnakého alkoholu majú spravidla rozdielne vlastnosti (vrátane teploty varu a bodu vzplanutia). Všetky štyri izoméry butanolu a vybrané dva izoméry butándiolu ilustruje obr. 1 (časť a) až d) – izoméry butanolu, časť e) a f) – izoméry butándiolu).



Obrázok 1 Grafická reprezentácia molekúl butanolu: a) butan-1-ol (1-Butanol, 2024), b) butan-2-ol (2-Butanol, 2024), c) 2-metylpropan-1-ol (Isobutanol, 2024), d)



2-Metylpropan-2-ol (Tert-Butyl Alcohol, 2024), a vybraných molekúl butándiolu e) Bután-1,4-diol (1,4-Butanediol, 2024), f) Bután-1,2-diol (1,2-Butanediol, 2024)

Figure 1 Graphic representation of butanol molecules: a) 1-Butanol (1-Butanol, 2024), b) 2-Butanol (2-Butanol, 2024), c) Isobutanol (Isobutanol, 2024), d) Tert-Butyl Alcohol (Tert-Butyl Alcohol, 2024), and selected butanediol molecules e) 1,4-Butanediol (1,4-Butanediol, 2024), f) 1,2-Butanediol (1,2-Butanediol, 2024)

V technickej praxi sa často stáva, že rôzne izoméry alkoholu sa označujú jedným súhrnným názvom (napr. izoméry butanolu na obr. 1 a) až d) sa bežne považujú za butanol bez bližšej špecifikácie). Izoméry jedného alkoholu sa však môžu významne líšiť teplotou varu a bodom vzplanutia. Preto pre zabezpečenie bezpečnej manipulácie s týmito horľavými látkami je potrebné poznať ich bod vzplanutia pre konkrétny izomér s ktorým sa má nakladať.

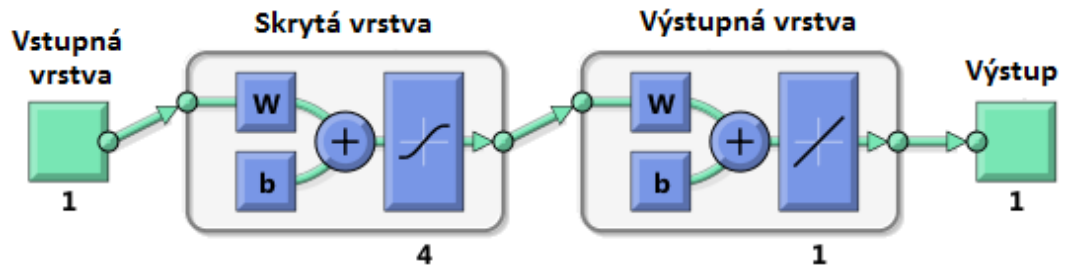
Cieľom tohto príspevku je vytvorenie jednoduchej, ale spoľahlivej, metodiky na približný odhad bodu vzplanutia vybraných alkoholov (od metanolu po dodekándiol) z teploty ich varu.

METODIKA

Vybrané alkoholy spolu s ich vlastnosťami (teplota varu a bod vzplanutia) použitými na tréning neurónovej siete a zostavenie štatistickej závislosti ilustruje tabuľka 1.

Štatistická závislosť bodu vzplanutia od teploty varu bola zostavená metódou najmenších štvorcov (LS) v softvéri ME Excel. Neurónová sieť (NS) na predikciu bodu vzplanutia z teploty varu (horľavej) kvapaliny bola natrénovaná v programe MATLAB 2020b. Štruktúru neurónovej siete ilustruje obr. 2. Na tréning bol použitý algoritmus podľa Levenberg-Marquardta. Z celého súboru 25 alkoholov (tabuľka 1) bolo 15 vzoriek vybraných na tréning, 5 na validáciu a 5 na testovanie neurónovej siete.

Pre exaktné porovnanie metód LS a NS bolo finálne testovanie (prezentované) v kapitole „Výsledky a diskusia“ realizované na 9 vzorkách alkoholov, ktoré neboli použité vo fáze tréningu neurónovej siete ani pri zostavovaní štatistickej závislosti metódou najmenších štvorcov.



Obrázok 2 Štruktúra neurónovej siete použitej na predikciu bodu vzplanutia z teploty varu alkoholov

Figure 2 Diagram of a neural network used to predict the flash point from the boiling point of alcohols

Tabuľka 1 Vybrané alkoholy použité na tréning neurónovej siete a zostavenie štatistickej závislosti bodu vzplanutia od teploty varu

Table 1 Selected alcohols used for training the neural network and to compiling the statistical dependence of the flash point on the boiling temperature

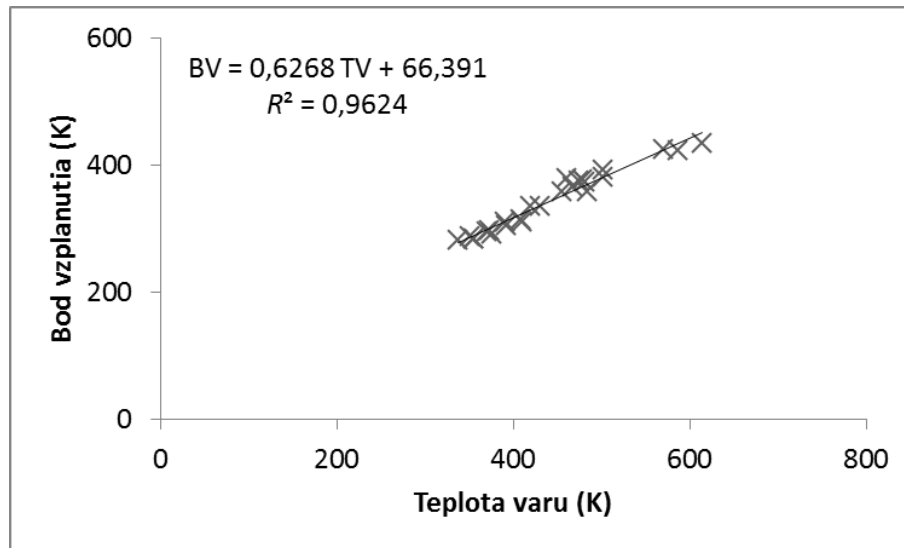
PČ	Látka	Teplota varu (K)	Bod vzplanutia (K)	Zdroj
1	Metanol	337,85	282,15	Methanol (2024)
2	Etanol	351,35	287,15	Ethanol (2024)
3	Etán-1,1-diol	419,15	336,15	Ethane-1,1-diol (2024)
4	Propan-1-ol	370,35	296,15	1-Propanol (2024)
5	Propan-2-ol	355,45	285,15	Isopropyl Alcohol (2024)
6	Propán-1,2-diol	460,45	380,15	Propane-1,2-diol (2024)
7	Butan-1-ol	390,85	310,15	1-Butanol (2024)
8	Butan-2-ol	372,65	297,15	2-Butanol (2024)
9	2-Metylpropan-2-ol	355,45	284,15	Tert-Butyl Alcohol (2024)
10	Bután-1,4-diol	502,65	392,15	1,4-Butanediol (2024)
11	Bután-1,2-diol	467,15	366,15	1,2-Butanediol (2024)
12	Bután-2,3-diol	455,15	358,15	2,3-Butanediol (2024)
13	Pentan-1-ol	410,65	311,15	1-Pentanol (2024)
14	Pentan-2-ol	392,15	306,15	2-Pentanol (2024)
15	2-Metylbutan-2-ol	375,55	292,15	2-Methyl-2-butanol (2024)
16	Pentán-1,2-diol	479,15	377,15	1,2-Pentanediol (2023)



17	Pentán-2,4-diol	474,15	375,15	2,4-PENTANEDIOL (2023)
18	Hexán-1-ol	430,15	336,15	1-Hexanol (2024)
19	Hexán-2-ol	409,15	314,15	2-Hexanol (2024)
20	Hexán-1,6-diol	481,15	374,15	Hexane-1,6-diol (2024)
21	Dekán-1-ol	502,15	381,15	1-Decanol (2024)
22	Dekán-2-ol	484,15	358,15	2-Decanol (2024)
23	Dekán-1,10-diol	570,15	425,15	1,10-Decanediol (2023)
24	Dekán-1,2,10-triol	614,65	435,15	1,2,10-Decanetriol (2024)
25	Dodekán-1,12-diol	586,45	424,15	1,12-Dodecane diol (2021)

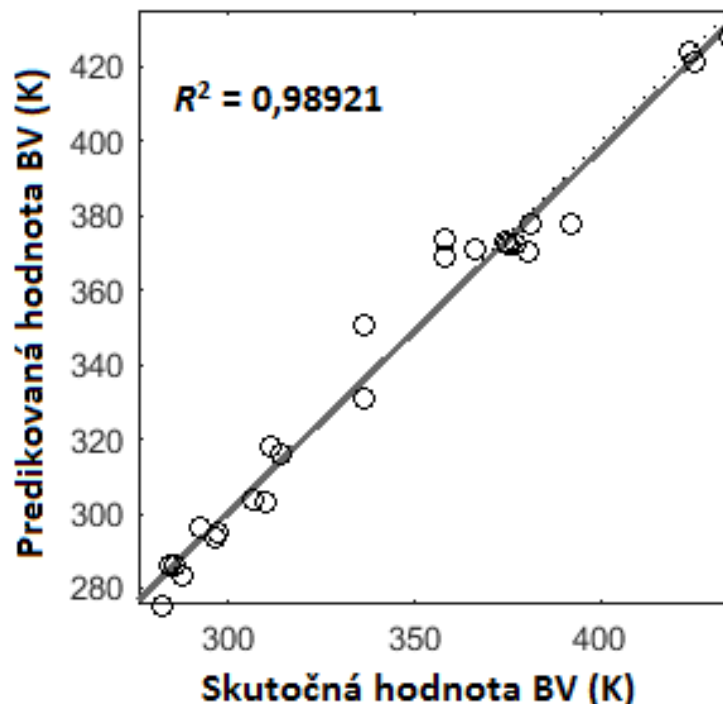
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Závislosť bodu vzplanutia (alkoholov v tabuľke 1) od ich teploty varu ilustruje obr. 3. Citovaný obrázok dokazuje silnú štatistickú závislosť bodu vzplanutia alkoholov od ich teploty varu. Obr. 4 ilustruje vzájomnú závislosť bodov vzplanutia vybraných alkoholov predikovaných neurónovou sieťou a skutočných hodnôt (tabuľka 1). Obrázky 3 a 4 vyzerajú podobne, ale majú zásadne iný charakter. Obr. 3 ilustruje závislosť bodu vzplanutia od teploty varu, kým obr. 4 znázorňuje vzájomný vzťah (závislosť) predikovanej hodnoty a skutočnej hodnoty bodu vzplanutia (teda vyjadruje do akej miery predikovaná hodnota zodpovedá skutočnej hodnote). Obr. 3 a 4 platia pre alkoholy a dáta v tabuľke 1.



Obrázok 3 Závislosť bodu vzplanutia (BV) alkoholov (prezentovaných v tabuľke 1) od ich teploty varu (TV)

Figure 3 Dependence of the flash point (FP) of alcohols (presented in Table 1) on their boiling point (BP)



Obrázok 4 Vzájomný vzťah medzi skutočnými hodnotami bodu vzplanutia (BV) alkoholov (prezentovaných tabuľkou 1) a hodnotami bodu vzplanutia predikovanými neurónovou sieťou (so štruktúrou podľa obr. 2) – platí pre celý súbor alkoholov v tabuľke 1 (pre fázu tréningu, validácie aj testovania NS)



Figure 4 The relationship between the real flash point (FP) values of alcohols (presented in Table 1) and the flash point values predicted by the neural network (with the structure according to Fig. 2) - valid for the entire set of alcohols in the Table 1 (for the training, validation and testing phases of NS)

Obr. 3 a 4 platia pre dáta v tabuľke 1. Pre overenie do akej miery dokážu navrhnuté metódy (LS a NS) predikovať bod vzplanutia alkoholov, ktoré neboli použité na zostavenie štatistickej závislosti (prípadne na tréning neurónovej siete) bola vykonaná testovacia predikcia pre iné alkoholy, ktoré ilustruje tabuľka 2.

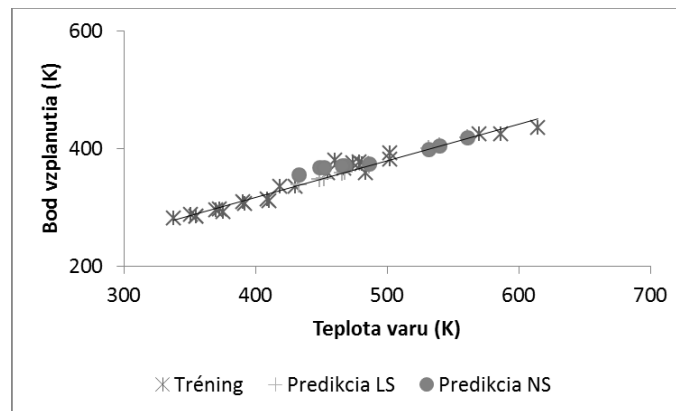
Tabuľka 2 Teploty varu, skutočné hodnoty bodu vzplanutia, body vzplanutia predikované metódou najmenších štvorcov (LS) a body vzplanutia predikované neurónovou sieťou (NS) pre vybrané alkoholy nezahrnuté do zostavenie štatistickej závislosti (obr. 3) a nepoužité na tréning neurónovej siete

Table 2 Boiling points, real flash point values, flash points predicted by the method of least squares (LS) and flash points predicted by the neural network (NS) for selected alcohols not included in the construction of the statistical dependence (Fig. 3) and not used for the training of the neural network

PČ	Látka	Teplota varu (°C)	Bod vzpl. (°C)	Pred. LS (K)	Pred. NS (K)	Zdroj
1	Heptan-1-ol	448,95	343,15	347.79	367.19	1-Heptanol (2024)
2	Heptan-2-ol	433,15	344,15	337.89	354.87	2-Heptanol (2024)
3	Heptán-1,7-diol	532,15	385,15	399.94	398.01	1,7-Heptanediol (2024)
4	Oktan-1-ol	467,85	354,15	359.64	371.23	1-Octanol (2024)
5	Oktan-2-ol	452,15	349,15	349.80	368.26	2-Octanol (2024)
6	Oktán-1,2-diol	540,15	414,15	404.96	405.47	Octane-1,2-diol (2020)
7	Nonan-1-ol	486,45	347,15	371.30	373.72	1-Nonanol (2024)
8	Nonan-2-ol	466,15	369,15	358.57	371.00	2-Nonanol (2024)
9	Nonán-1,9-diol	561,15	435,15	418.12	418.68	1,9-Nonanediol (2024)

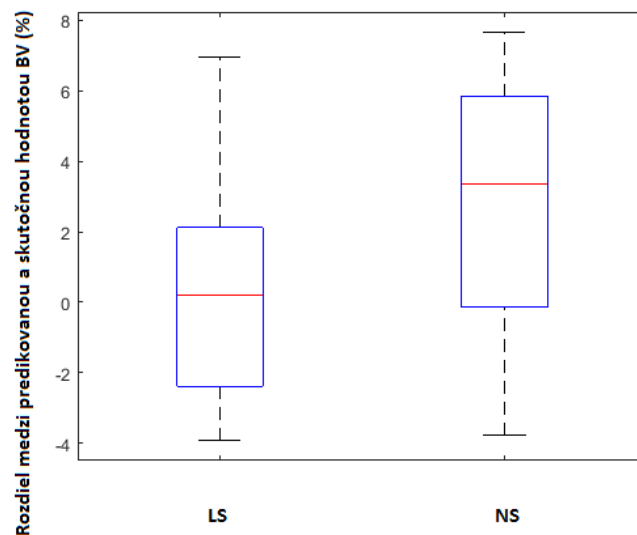
Pred. LS – hodnota predikovaná metódou najmenších štvorcov a Pred. NS – hodnota predikovaná neurónovou sieťou.

Graficky rozdiel medzi predikovanými hodnotami bodu vzplanutia pre metódu LS a NS ilustrujú obr. 5 a 6.



Obrázok 4 Závislosť bodu vzplanutia od teploty varu pre súbor alkoholov v tabuľke 1 a hodnoty bodu vzplanutia predikované zo štatistickej závislosti bodu vzplanutia od teploty varu metódou najmenších štvorcov (LS) a neurónovou sieťou (NS) pre alkoholy v tabuľke 2

Figure 5 Dependence of flash point on boiling point for the set of alcohols in Table 1 and flash point values predicted from statistical dependence of flash point on boiling point by least squares (LS) and neural network (NS) for alcohols in the Table 2



Obrázok 65 Percentuálny rozdiel medzi predikovanou a skutočnou hodnotou bodu vzplanutia pre metódou najmenších štvorcov (LS) a neurónovú sieť (NS) – vodorovná červená čiara (medián), dolná a horná vodorovná modrá čiara (kvartily Q1 a Q3), dolná a horná čierna vodorovná čiara (minimálna a maximálna hodnota)

Figure 6 Percentage difference between predicted and actual flash point value for Least Squares (LS) and Neural Network (NS) - red horizontal line (median), lower



and upper horizontal blue line (quartiles Q1 and Q3), lower and upper black horizontal line (minimum and maximum value)

Priemerný percentuálny rozdiel medzi predikovanou a skutočnou hodnotou pre metódou najmenších štvorcov bol 0,34 % a pre neurónovú sieť 2.89 %. Pre porovnanie priemerná percentuálna absolútna chyba pre predikciu bodu vzplanutia z teploty varu (pre skupinu 13 rôznych chemických látok, napr. uhl'ovodíky, alkoholy, kyseliny, estery a pod.) publikovaná metódou navrhnutou Satyanarayanom a Raom (1992) je pod 1% (aj keď pri priamom porovnaní je potrebné poznamenať, že metodiky výpočtu percentuálneho rozdielu medzi predikovanou a skutočnou hodnotou a priemernej percentuálnej absolútnej chyby sa líšia).

Uvedené rozdiely medzi predikovanou a skutočnou hodnotu (obr. 6) sú však spravidla nižšie, ako rozdiely v hodnotách bodu vzplanutia, ktoré môžu byť často krát nájdené pre rovnakú látku v rôznych vedeckých alebo odborných publikáciách.

Navrhnutú metódu je možné použiť na približný odhad bodu vzplanutia alkoholov (s jednou alebo dvomi -OH funkčnými skupinami od metanolu po dodekándiol) v prípadoch, keď nie je k dispozícii exaktne zmeraná hodnota (napr. na približný odhad bodu vzplanutia pre výber skúšobnej metódy alebo skúšobného postupu). V žiadnom prípade nie je možné použiť opísané metódy v prípadoch, kedy všeobecne záväzné právne predpisy vyžadujú experimentálne stanovenie bodu vzplanutia (napr. v akreditovanom skúšobnom laboratóriu).

ZÁVER

Predložený príspevok sa zaoberal dvomi jednoduchými metódami predikcie bodu vzplanutia alkoholov z teploty varu. Prvá metóda bola založená na metóde najmenších štvorcov a druhá na natrénovaní neurónovej siete. Metóda najmenších štvorcov dosiahla priemerný percentuálny rozdiel medzi predikovanou a skutočnou hodnotou na úrovni 0,34 % a neurónové sieť na úrovni 2,89%. Uvedené hodnoty sú postačujúce na približný odhad bodu vzplanutia (napr. pre výber skúšobnej metódy alebo skúšobného postupu bodu vzplanutia horľavej kvapaliny).



POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená agentúrou VEGA pre projekt VEGA 1/0678/22. Táto práca bola podporovaná agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-21-0187. Táto práca bola podporovaná agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-16-0223.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

1. Butler, R. M., Cooke, G. M., Lukk, G. G., Jameson, B. G. 1956. Prediction of flash points of middle distillates. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1956 48, 1956, pp. 808-812.
2. Phoon, L. Y., Mustaffa, A. A., Hashim, H., Mat, R. 2014. A review of flash point prediction models for flammable liquid mixtures. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2014, 5 (32), pp. 12553-12565. DOI: 10.1021/ie501233g.
3. Satyanarayana, K., Rao, P. G. 1992. Improved equation to estimate flash points of organic compounds. *Journal of Hazardous Materials*, 1992, 32(1), pp. 81-85. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-3894\(92\)85106-B](https://doi.org/10.1016/0304-3894(92)85106-B).
4. STN EN ISO 2592:2018. *Ropa a príbuzné výrobky. Stanovenie bodu vzplanutia a bodu horenia. Metóda v otvorenom tégliku podľa Clevelanda (ISO 2592: 2017)*.
5. Vyhláška MV SR č. 96/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú zásady protipožiarnej bezpečnosti pri manipulácii a skladovaní horľavých kvapalín, ťažkých vykurovacích olejov a rastlinných a živočíšnych tukov a olejov.

Zoznam bibliografických odkazov internetových zdrojov

1. 1,10-Decanediol (2023). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete: <https://www.chembk.com/en/chem/1,10-Decanediol>
2. 1,12-Dodecane diol (2021). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete: <http://www.thegoodscentcompany.com/data/rw1144081.html>
3. 1,2,10-Decanetriol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete: <https://m.chemsrc.com/en/Product/7014345.html>



4. 1,2-Butanediol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_2-Butanediol
5. 1,2-Pentanediol (2023). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB4304210.htm
6. 1,4-Butanediol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1_4-Butanediol
7. 1,7-Heptanediol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://www.carlroth.com/medias/SDB-5541-MT-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyMjYwNTZ8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGg1Mi9oZTIvOTE0NTQ0ODYyODI1NC9TREJfNTU0MV9NVF9FTi5wZGZ8NjM0MmE0MjA4MDE1OGE1NmFjOTcyZTI1Nzk2NjVmN2Q5M2FhN2MwZGQ4ZmQ1YWYyYzlmYzAwMTZkNDNmOThjNg>
8. 1,9-Nonanediol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://sg.vwr.com/store/product/734746/1-9-nonanediol-97>
9. 1-Butanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Butanol>
10. 1-Decanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Decanol>
11. 1-Heptanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Heptanol>
12. 1-Hexanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Hexanol>
13. 1-Nonanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Nonanol>
14. 1-Octanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Octanol>
15. 1-Pentanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1-Pentanol>



16. 1-Propanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/1031>
17. 2,3-Butanediol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2_3-Butanediol
18. 2,4-PENTANEDIOL (2023). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB3365137.htm
19. 2-Butanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Butanol>
20. 2-Decanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://www.fishersci.at/shop/products/2-decanol-98-thermo-scientific-3/p-98426>
21. 2-Heptanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Heptanol>
22. 2-Hexanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Hexanol>
23. 2-Methyl-2-butanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Methyl-2-butanol>
24. 2-Nonanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://ie.vwr.com/store/product/731958/2-nonanol-for-synthesis-sigma-aldrich>
25. 2-Octanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Octanol>
26. 2-Pentanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2-Pentanol>
27. Ethane-1,1-diol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://www.chemsrc.com/en/cas/4433-56-1_1071641.html
28. Ethanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Ethanol>
29. Hexane-1,6-diol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Hexane-1_6-diol



30. Isobutanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isobutanol>
31. Isopropyl Alcohol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Isopropyl-Alcohol>
32. Methanol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methanol>
33. Octane-1,2-diol (2020). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
https://www.chemos.de/import/data/msds/GB_en/1117-86-8-A0017410-GB-en.pdf
34. Propane-1,2-diol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://www.chembk.com/en/chem/Propane-1,2-diol>
35. Tert-Butyl Alcohol (2024). [cit. 10.10.2024]. Dostupné na internete:
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/tert-Butanol>



**MATERIÁLY PRE PODHLADOVÉ SYSTÉMY
HODNOTENÉ Z PROTIPOŽIARNEHO HĽADISKA**

**MATERIALS FOR SUSPENDED CEILING SYSTEMS
EVALUATED FROM A FIRE PROTECTION POINT OF
VIEW**

Iveta MITTEROVÁ¹ - Ľuboslava HREHOROVÁ¹

¹Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, Katedra protipožiarnej ochrany

T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika

mitterova@tuzvo.sk, xhrehorova@is.tuzvo.sk

Abstract

The paper is devoted to the issue of ceiling cladding. It describes the function and properties of different types of suspended ceilings and presents methods of their design. The main part of the paper is the presentation of the results of own experiments aimed at assessing the behaviour of ceiling tiles (as an important component of suspended ceiling systems) under thermal load conditions. The AMF Thermatex Antaris C, Armstrong Savanna and Rocfon Sofit types evaluated by us are commonly available on the market and are based on mineral fibres. The test results showed that, although these materials are non-combustible, their mass loss occurred during radiant heat loading and at different rates depending on the type of material. The evaluation showed that the best results were achieved by Rocfon Sofit, then Armstrong Savanna and finally AMF Thermatex.

Keywords: *ceiling system, suspended ceiling, radiant heat, mass loss*

ÚVOD

Stropné podhl'ady predstavujú moderné, rýchle a čisté riešenie opláštenia stropov. Jedná sa o nenosné interiérové konštrukcie, ktoré sa montujú pod nosné stropy budov. V závislosti od svojich vlastností dokážu plniť naraz niekoľko funkcií. Okrem vylepšenia



estetického vzhľadu interiéru, pomáhajú znižovať svetlú výšku miestnosti, prekryvať káblové a iné inštalačné vedenia, resp. rôzne nerovnosti, prispievajú k zlepšeniu priestorovej akustiky miestnosti, upravujú vlhkosť a tepelné vlastnosti stropnej konštrukcie, viaceré z nich plnia aj protipožiarne požiadavky [1, 2].

ROZBOR PROBLEMATIKY

Výber vhodného riešenia podhľadu sa odvíja od priestorového určenia a technických požiadaviek stavby. Napríklad, niekde postačujú podhľady pre všeobecné použitie, inde sa vyžadujú špeciálne druhy. Každý typ podhľadu disponuje inými špecifickými vlastnosťami, ktoré vychádzajú z charakteru danej konštrukcie a vlastností použitých materiálov. Bližšie uvedieme niekoľko.

Akustické podhľady sú ideálnym riešením na úpravu hluku v miestnosti. Využívajú sa jednak na zlepšenie počuteľnosti a zrozumiteľnosti hovoreného slova vo veľkých miestnostiach, ale aj na zabránenie prechodu hluku z priľahlých priestorov. K dispozícii sú zvukovopohltivé a zvuk odrážajúce podhľady. Sú charakteristické príslušnou hodnotou koeficienta zvukovej pohltivosti a koeficienta zvukovej odrazivosti. Sú preto ideálne do školských a kancelárskych priestorov, rokovacích miestností a koncertných sál. *Podhľady určené do vlhkých priestorov* odolávajú až 90% vzdušnej vlhkosti. Vhodné sú do kúpeľní, priestorov plavární, priemyselných kuchýň a pod. Zdravé ovzdušie v interiéri zabezpečujú *hygienické podhľady*. V ponuke sú sadrokartónové dosky a kazety s patentovanou technológiou Activ'Air® [3], ktorých funkciou je rozkladať emisie formaldehydu, ktorý sa bežne vyskytuje napr. v náteroch, kobercoch, nábytku, čistiacich prostriedkoch, ale aj detských hračkách. Uplatňujú sa najmä v hygienicky náročných priestoroch ako sú škôlky, nemocnice alebo laboratóriá. *Podhľady odolné proti nárazu* sa hodia hlavne do telocviční, posilňovní a športových hál. Ich úroveň proti nárazom je stanovená v norme STN EN 13964:2015 [4]. *Podhľady so zvýšenou odolnosťou proti požiaru* sú také, ktoré po dodržaní pravidiel a zásad daných normami a technologickými pravidlami, plnia požiadavky požiarnej odolnosti podľa STN EN 13501-2 [5]. Ich hlavným komponentom sú vždy nehorľavé obkladové prvky (dosky, kazety alebo lamely), ktoré spĺňajú najprísnejšie požiadavky



klasifikácie z hľadiska reakcie na oheň podľa STN EN 13501-1 [6]. Takéto podhl'ady sú vhodné do konštrukcií s vyššími nárokmi na požiarnu odolnosť, napr. v podkroviach. Okrem uvedených ešte možno spomenúť aj *podhl'ady pre chladené a vyhrievané stropy*.

V závislosti od potreby vznikajú rôzne konštrukčné riešenia podhl'adov a využívajú sa rôzne materiály. Môže ísť o prevedenia z dreva, sadrokartónu, minerálnych vlákien, polystyrénu alebo kovu [2]. Tieto môžu byť vo forme dosiek, kaziet, lamiel alebo mriežok (rastrové) a môžu byť rôznych rozmerových, tvarových a farebných prevedení (rovné, zaoblené, hladké, vzorované, biele, resp. rôznofarebné). Z hľadiska montáže môžu byť obkladové prvky (napr. sadrokartónové dosky) pripevňované priamo na nosný strop (v prípade, ak je cieľom strop iba obložiť) alebo sa použije závesný systém, kedy sa podhl'adové dosky, resp. kazety ukladajú do závesnej konštrukcie [3, 7]. Prvý spôsob montáže je vhodný pri rovných monolitických stropoch, drevených trámových stropoch alebo pri malých výškach miestností. Pri druhom spôsobe sa na ukotvenie obkladového materiálu používajú krížové rošty, ktoré podľa konštrukcie môžu byť jednovrstvové (v jednej výške) alebo dvojvrstvové (s odsadenou výškou) (viď obr. 1) [8]. Týmto spôsobom sa medzi podhl'adom a nosným stropom vytvára dutina, ktorú je v prípade potreby možné vyplniť tepelnou izoláciou. Rámové systémy (podkonštrukcie) sa vyhotovujú z dreva, ocele alebo hliníka (viď obr. 1). Osvedčeným konštrukčným systémom v súčasnosti je tzv. Quick-Lock (obr. 2), ktorého výhodou je jednoduchá a rýchla montáž, ľahkosť, stabilita, vysoká únosnosť, demontovateľnosť a kompatibilita s veľkým množstvom stropných kaziet [9]. Moderným riešením stropného povrchu sú tzv. *napínacie stropy*, fungujúce na princípe napnutia PVC fólie alebo polyuretánom impregnovanej tkaniny pomocou teplovzdušného dela, do špeciálnych profilov ukotvených na stene alebo strope. Vytvárajú rovinnú plochu a môžu byť v prevedení matnom, lesklom, s potlačou alebo ako translucenčné [10].

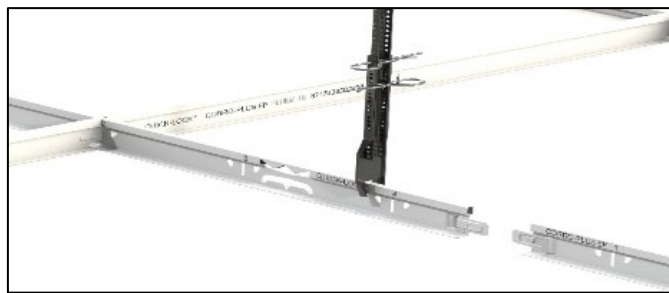


Obr. 1 Zavesený podhl'ad [8]

a) na drevenej podkonštrukcii v dvoch úrovniach, b) na ocel'ovej podkonštrukcii v dvoch úrovniach, c) na ocel'ovej konštrukcii v jednej úrovni

Fig. 1 Suspended ceiling

a) on timber substructure in two levels, b) on steel substructure in two levels, c) on steel substructure in one level



Obr. 2 Quick-Lock konštrukcia pre kazetový podhl'ad [9]

Fig. 2 Quick-Lock construction for cassette suspended ceiling

V nadväznosti na uvedenú problematiku, ďalšia časť príspevku je zameraná na prezentáciu výsledkov experimentálnych prác, ktorých cieľom bolo posúdenie vybraných druhov minerálnych stropných kaziet z protipožiarneho hľadiska. Podnetom pre hodnotenie týchto materiálov bola ich aplikácia v zavesených podhl'adoch rekonštruovaných priestorov Technickej univerzity vo Zvolene.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Materiál a metóda

Na vykonanie experimentov boli použité vzorky troch bežne dostupných materiálov pre aplikáciu v stropných podhl'adoch, konkrétne: AMF Thermatex Antaris C, Armstrong Savanna a Rockfon Sofit (viď obr. 3) [11, 12, 13]. Základ uvedených materiálov tvorí minerálna vlna, navyše AMF Thermatex a Armstrong Savanna obsahujú prídavok ílu, škrobu a perlitu. Lícový povrch týchto materiálov je štukový hladký, pri Armstrong Savanna je jemne granulovaný.



Obr. 3 Fotodokumentácia skúšobných vzoriek – lícna a rubová strana

a) AMF Thermatex Antaris C, b) Armstrong Savanna, c) Rockfon Sofit

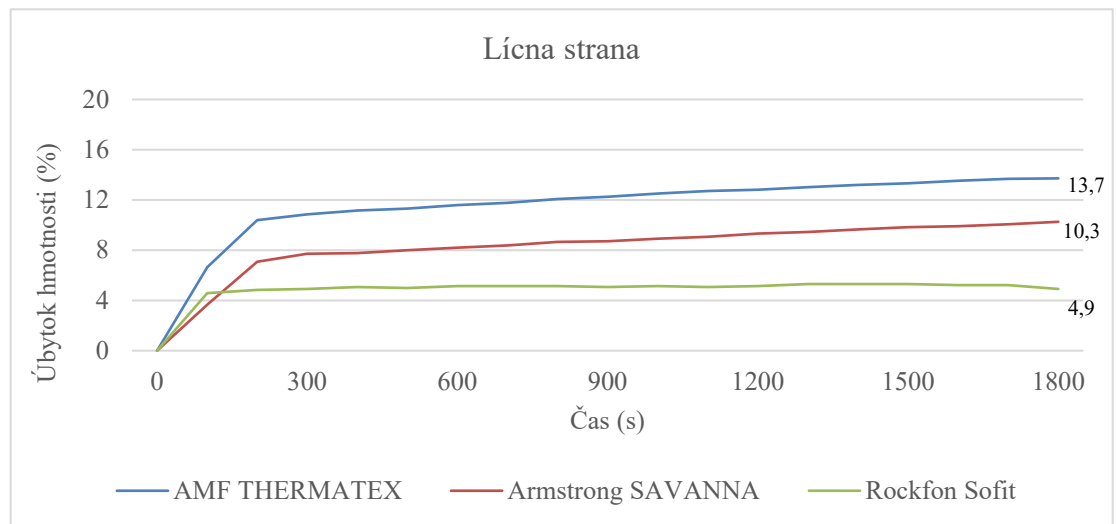
Fig. 3 Photodocumentation of test specimens - face and reverse side of specimens

a) AMF Thermatex Antaris C, b) Armstrong Savanna, c) Rockfon Sofit

Postup práce bol nasledovný: vzorky rozmerov 50x40x10 mm boli zaťažené infražiarivom s výkonom 1 kW po dobu 30 minút, pričom ich povrch bol od žiarivého telesa vo vzdialenosti 30 mm. Za uvedený čas bol počítačovým programom kontinuálne zaznamenávaný úbytok hmotnosti. Z každého materiálu boli testované 4 vzorky z lícnej strany (pre prípad zaťaženia požiarom zospodu – z priestoru miestnosti) a 4 vzorky z rubovej strany (pre prípad požiaru v dutine nad podhl'adom).

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledky meraní sú graficky zdokumentované na obr. 4 a 6 a tiež prostredníctvom fotodokumentácie na obr. 5 a 7.



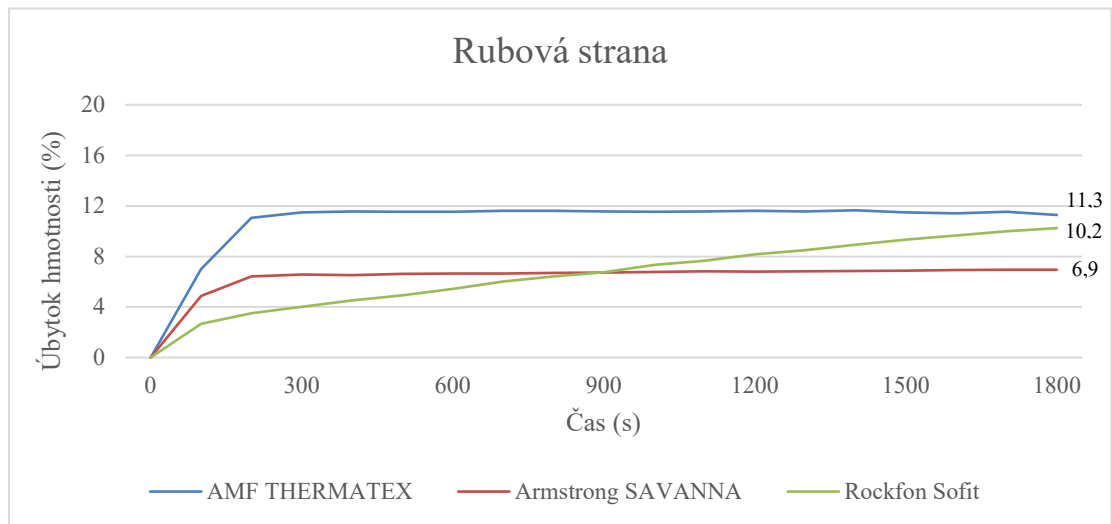
Obr. 4 Závislosť úbytku hmotnosti na čase testovaných materiálov – namáhanie lícnej strany

Fig. 4 Dependence of mass loss on time for the tested materials – stresses on the face of the specimens



Obr. 5 Vzorky po zaťažení lícnej strany – ukážka namáhanej a odvrátenej strany

Fig. 5 Specimens after loading of the face side - demonstration of the loaded and reversed side of the specimens



**Obr. 6 Závislosť úbytku hmotnosti na čase testovaných materiálov –
namáhanie rubovej strany**

**Fig. 6 Dependence of mass loss on time of the tested materials - stressing of the
reverse side of the specimens**



**Obr. 7 Vzorky po zaťažení rubovej strany – ukážka namáhanej a odvrátenej
strany**

**Fig. 7 Specimens after loading of the reverse side - demonstration of the stressed
and reversed side of the specimens**

Z hodnotenia vyplynulo, že všetky testované materiály veľmi účinne odolávali tepelnému zaťaženiu a za čas 30 min zostali celistvé a nedošlo k žiadnym prejavom plameňového horenia. Rozdielnejšie výsledky boli pozorované z hľadiska hmotnostnej straty za uvedený čas. Pri zaťažení vzoriek z lícnej strany (obr. 4) vidieť, že najlepšie



obstál Rockfon Sofit s najnižšou stratou hmotnosti cca 5 %, materiály Savanna a Thermatex stratili niečo viac ako 10 %. V prospech materiálu Rockfon Sofit hovorí aj obr. 5, kde na fotodokumentácii vidieť, že strana odvrátená od zdroja tepla zostala bez známok poškodenia. Uvedené pozitívum môžeme konštatovať aj pri zaťažení tohto materiálu z rubovej strany, kedy síce materiál nezaznamenal najnižší úbytok (vid' obr. 6), ale ani tu nedošlo k poškodeniu odvrátenej strany (vid' obr. 7).

Záverom možno konštatovať, že spomedzi testovaných materiálov najlepšie výsledky dosiahol Rocfon Sofit, potom Armstrong Savanna a napokon AMF Thermatex. Keď tieto materiály porovnáme z hľadiska triedy reakcie na oheň, ktorú deklarujú ich výrobcovia, Rocfon Sofit spĺňa podľa STN EN 13501-1 požiadavky najprísnejšej triedy reakcie na oheň - A1 [11], materiály Armstrong Savanna a AMF Thermatex Antaris C sú klasifikované nižšou triedou - A2 [12, 13]. Aj na základe tohto hodnotenia vidieť, že materiál Rocfon Sofit dosahuje spomedzi hodnotených materiálov najlepšie požiarotechnické vlastnosti, aj keď všetky tri spomínané materiály patria do kategórie nehorľavých materiálov.

ZÁVER

Cieľom výskumu bolo porovnať tri druhy minerálnych materiálov, ktoré sa v praxi vo veľkej miere využívajú v stropných podhl'adoch. V súčasnosti tieto materiály plnia nielen funkčné a estetické hľadisko, ale aj protipožiarne. Celkovo, podhl'ady z minerálnych vlákien v súčasnosti zohrávajú kľúčovú úlohu jednak z hľadiska udržateľnosti stavby, znižovania uhlíkovej stopy, ale aj energetickej nenáročnosti. Sú charakteristické vysokou odolnosťou voči nepriaznivým vplyvom, čím prispievajú k dlhšej životnosti konštrukcie, majú dobré izolačné vlastnosti, čo pomáha znižovať spotrebu energie, neuvolňujú škodlivé látky do okolia a sú nehorľavé. Toto všetko vytvára predpoklad pre tvorbu ekologických a trvalo udržateľných stavieb.



POĎAKOVANIE

Predložená práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-22-0030 a vedeckej grantovej agentúry VEGA-1/0115/22.

POUŽITÁ LITERATÚRA

- [1] Minerálne kazety [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [Minerálne kazety - GIPSOL, s.r.o. \(suchavystavba.sk\)](#)
- [2] Kazetové stropy [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [Kazetové stropy | LEMARCK \(sadrokarton.sk\)](#)
- [3] Jednoduchý spôsob ako vytvoriť moderný strop [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [Podhľady: Jednoduchý spôsob, ako vytvoriť moderný strop | Rigips](#)
- [4] STN EN 13964: 2015 Zavesené podhľady. Požiadavky a skúšobné metódy.
- [5] STN EN 13501-2: 2023 Klasifikácia požiarnej charakteristik stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 2: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok požiarnej odolnosti a/alebo dymotesnosti (okrem ventilačných zariadení).
- [6] STN EN 13501-1 (2019): Klasifikácia požiarnej charakteristik stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň.
- [7] Nosné prvky ľahkých stropných obkladov a podhľadov [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [Nosné prvky ľahkých stropných obkladov a podhľadov | ASB.sk](#)
- [8] Sadrokartónové zavesené podhľady [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [D11 Podhľady \(D11.sk\)](#)
- [9] Quick-Lock – konštrukcie pre kazetové podhľady [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [Konštrukčný systém pre montáž podhľadov Quick-Lock | Rigips](#)



- [10] Napínacie stropy [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [Napínacie stropy pre moderný domov - Mabas](#)
- [11] Rockfon® Sofit™ [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [cz-tile-datasheet-rockfon-sofit_d_12_2023.pdf](#)
- [12] Knauf Ceiling Solutions Armstrong SAVANNA [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [Armstrong SAVANNA | Mineral Ceiling Tile \(knaufceilingsolutions.com\)](#)
- [13] Knauf Ceiling Solutions AMF THERMATEX®Antaris C [online], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: [DS_AMF_THERMATEX_Antaris_C_UA.pdf \(knaufceilingsolutions.com\)](#)



HODNOTENIE HYBRIDNEJ ZMESI PODĽA LE CHATELIERA A BARKNECHTA ASSESSMENT OF HYBRID MIXTURE BY LE CHATELIER AND BARKNECHT PRINCIPLES

Eva MRAČKOVÁ¹ - Filip EPERJEŠI¹

^{1,2} Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen,
Slovensko, +421 45 5206831, mrackova@tuzvo.sk, xeperjesi@is.tuzvo.sk

Abstract

The article deals with the experimental and mathematical determination of the Lower Explosive Limit (LEL) of the Hybrid Mixture, MDF agglomerated dust and Toluene, which may occur in technological processes of wood production enterprises. The experimental determination of the Lower Explosive Limits of the Hybrid Mixture was carried out in the explosion chamber VK 100 using a non-standard methodology, according to the procedure specified by the manufacturer of the research equipment. In the end, a comparison of the curves of the Hybrid Mixture with theoretical curves according to calculations and a comparison of calculated theoretical curves according to the model of Le Chatelier and Bartknecht was performed. By evaluating the Hybrid Mixture of MDF agglomerated dust and toluene, it was found that the experimental curve of the Hybrid Mixture behaves according to the curve constructed according to the Le Chatelier relationship.

Keywords: *Hybrid Mixture, Lower Explosive Limit, Toluene, MDF Wood Dust;*

ÚVOD

Hybridnú zmes tvorí zmes vzduchu a horľavých látok rôznych skupenských stavov. Hybridné zmesi sa skladajú z mnohých materiálov, ktoré majú potenciál výbuchu.



Manipulácia s nimi si vyžaduje dodržiavanie bezpečnostných opatrení a protivýbuchových opatrení. Znižovaním rizík a nebezpečenstva súvisiacich s hybridnými zmesami, sa dosiahne monitorovaním a kontrolovaním ich súčasného stavu kvôli prípadu možného vzniku výbuchu. No najpodstatnejšie je, poznať ich dolnú medzu výbušnosti a to stanovenú experimentálne alebo matematickými výpočtami. Tieto poznatky sú súčasťou bezpečnostných postupov pre prípad výbuchu hybridnej zmesi, s cieľom znížiť škody na majetku a chrániť životy zamestnancov. V mnohých technologických procesoch, sa spracovávajú a vytvárajú horľavé prachy, pary horľavých kvapalín alebo plyny, ktoré často tvoria hybridné zmesi. Tieto procesy predstavujú vážne riziko výbuchu v sektoroch vrátane baníctva, petrochémie, jadrových elektrární a farmaceutických výrobkov. Keď jedna z horľavých látok prekročí dolnú medzu výbušnosti, môže dôjsť k vzniku rizikovej kombinácii. Výbuchy hybridných zmesí môžu mať rôzne príčiny vzniku, napríklad nesprávnou manipuláciou a skladovaním, ako napríklad používanie nesprávnych techník na miestach, kde sa vyskytujú hybridné zmesi, nedostatočné vetranie alebo nedostatočná údržba zariadenia. Pri nedostatku vedomostí a bezpečnostných opatrení, ignorovanie existencie horľavých plynov alebo pár, nedostatočné bezpečnostné opatrenia v priemyselných zariadeniach a neznalosť nebezpečenstiev spojených s hybridnými zmesami. Zdrojmi vznietenia, existencia zdrojov vznietenia vrátane elektrického oblúka, iskier a statickej elektriny. Tieto zdroje vznietenia majú potenciál spôsobiť výbuch rýchlym spálením horľavých zložiek zmesi. A nakoniec aj kombináciou horľavých materiálov, keď sú horľavé plyny alebo výpary prítomné spolu s horľavými látkami, môže dôjsť k hybridným výbuchom [1, 2, 3]. Pre tieto prípady sú vyvinuté bezpečnostné postupy na kontrolovanie hybridných zmesí. Znalosť dolnej medze výbušnosti (DMV, LEL) horľavých látok vo výrobných procesoch technológií je jednou zo základných požiarotechnických charakteristík a požiarnebezpečnostných parametrov [3]. Cieľom článku je experimentálne a matematické stanovenie dolnej medze výbušnosti vytvorenej hybridnej zmesi prachu aglomerovanej MDF a horľavej kvapaliny toluénu.

ROZBOR PROBLEMATIKY

Meranie dolnej medze výbušnosti hybridnej zmesi popisuje Európska norma DIN EN 14034-3 (2011-04), ktorá uvádza že na posúdenie minimálnej koncentrácie



výbušného oblaku prachu [4] sa používa guľa autokláv, s objemom 1 m³. Okrem toho, príloha C tejto normy preukazuje zhodu so skúšobným prístrojom, akým je napríklad 20 l guľa-autokláv. Autoklávy sa prioritne využívajú na stanovenie výbuchových parametrov sú jednoduchšie a ľahšie sa s nimi manipuluje. Použitie 20-litrového autoklávu je však sprevádzané zistením niektorých neistôt týkajúcich sa experimentálneho protokolu, nastavenia prístroja a rôznych súhrnov spracovania údajov, ktoré vedú k extrémne nízkym alebo nepresne reprodukovateľným hodnotám dolnej medze výbušnosti a minimálnej výbušnej koncentrácií [5]. Kolektív autorov Zaheer Abbas a kol. vyhodnotili, že rôzne definície výbuchu alebo vznietenia, spôsobujú nerovnomernosť oblaku prachu zahŕňajúcu nominálnu energiu, časové konštanty oneskorenia vznietenia pre všetky typy prachov a tiež spôsobujú podľa niektorých faktorov vysoko premenlivé úrovne turbulencie majú nespoľahlivé výsledky minimálnej výbušnej koncentrácie prachu vo vzduchu (MEC) a hodnoty LEL [5]. Priebehmi výbuchu hybridnej zmesi sa zaoberali Matteo Pietraccini a kol, ktorí uvádzajú, že existencia značného počtu pyrolýznych plynov okolo častíc zlepšuje kinetiku výbuchu, avšak vymenenie celého organického prachu jeho pyrolýznymi plynmi ovplyvňuje energetický podiel hybridnej zmesi a teda výbušnú termodynamiku len zriedkavo [20]. Percento vodíka v zmesiach plynov, teda teplota, pri ktorej dochádza k pyrolýze pred čelom plameňa, má značný vplyv na citlivosť výbuchu ako aj na kinetiku horenia. Teplota plameňa a zloženie pyrolýzneho plynu sa menia s rastúcou explóziou organického prachu, čo ovplyvňuje dynamiku šírenia plameňa [6]. Pri dolnej medzi výbušnosti (LEL) pridaním malého objemu horľavého plynu sa zvyšuje citlivosť na vznietenie a intenzitu výbuchu prachu, ktoré ako predikciu vyjadrili Wen-tao Ji a kol. vo svojej práci. Keď sú koncentrácie plynu a prachu nižšie ako príslušné LEL a MEC, hybridné zmesi môžu tiež explodovať [7]. Na jednej strane sa účinky hybridných zmesí, ako tzv. citlivosť horľavosti hybridných zmesí, často neberú do úvahy, keď je koncentrácia plynu alebo pár nízka, t. j. nižšia ako dolná medza výbušnosti (LEL) o ktorých teoretizujú Imad Khalili a kol. Naopak analýza sa zvyčajne vykonáva, keby bol prítomný iba plyn, keď je koncentrácia prachu nižšia ako minimálna koncentrácia výbuchu [8]. Uskutočnilo sa však množstvo výskumov, ktoré preukázali jedinečné vlastnosti týchto zmesí. Výbuchy plynov/prachov sa skúmali predovšetkým pomocou hybridných kombinácií prachu a plynov. Štúdie o výbuchoch zmesí para/prach poukazujú, že stopové množstvo plynu alebo prachu má



významný vplyv na maximálnu rýchlosť výbuchu čistých chemikálií. Hybridné zmesi majú synergické účinky a v niektorých prípadoch môže byť ich rýchlosť zvyšovania tlaku dokonca o niečo vyššia ako v prípade jednotlivých čistých plynov alebo pár [8]. Šírenie plameňa v hybridných zmesiach Nicolas Cuervo a kol. definujú, že hybridné zmesi môžu predstavovať synergický efekt umožňujúci rýchlejšie šírenie plameňa s ohľadom na plamene čistého plynu najmä v režime poháňanom plynom (zóna, v ktorej je koncentrácia plynu vyššia ako LEL a koncentrácia prachu je nižšia ako MEC) a s dvojitém riadením (koncentrácie nad LEL aj MEC). Toto jedinečné správanie možno vysvetliť zmenami vo fáze obmedzujúcej rýchlosť spaľovacieho procesu, modifikáciami radiačných javov a napínaním plameňa spôsobeným prítomnosťou neprchavých častíc. Pridanie prachu znižuje rýchlosť plameňa a obmedzuje rýchlosť hybridnej zmesi na menej reaktívnu chemikáliu [9].

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pre vytvorenie hybridnej zmesi sa použila horľavá kvapalina toluén a horľavý prach aglomerovanej dosky MDF (Medium Density Fiber). Uvedené látky boli vybrané z dôvodu, že ich kombinácie predstavujú nebezpečenstvo výbuchu vo výrobných drevárskych technológiách.

Horľavý prach z aglomerovanej MDF (Medium Density Fiber) dosky

Skúmaný materiál MDF (Medium Density Fiber) dosky sú drevovláknité dosky so strednou hustotou a sú ideálne na tvarovanie, rezanie a frézovanie, pretože majú jadro s homogénnou hustotou a hladký povrch. MDF doska je ľahko opracovateľná, natierateľná a odolná proti tvorbe triesok. Využitie týchto dosiek nájdeme v stolárstve pri stavbe skríň, ako krabice, ako nábytok a aj ako hračky a skladačky [10, 11]. Pre skúšky sa využil nahromadený aglomerovaný prach z pílenia a brúsenia materiálu typu MDF dosky pri 1200-1600 ot/min, ktorý sa nachádzal v skladoch dreva. Drevovláknité dosky MDF sú so strednou hustotou $700 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ drevných vlákien a sú ideálne na tvarovanie, rezanie a frézovanie.



Toluén C₇H₈

Toluén patrí medzi horľavé kvapaliny 3. triedy nebezpečnosti, je to aromatický uhl'ovodík s registračným číslom (CAS: 108-88-3), používa sa hlavne ako priemyselná surovina, rozpúšťadlo a prísada zvyšujúca oktanové číslo do benzínu. Je to bezfarebná kvapalina, ktorá sa vo vode rozpúšťa len sporadicky. Neohrozuje ľudstvo kvôli svojej nestálosti, vďaka čomu je pravdepodobné, že sa po uvoľnení do životného prostredia vyparí [12].

Tabuľka 1 Prehľad fyzikálnych a chemických vlastností toluénu [12]

Table 1 On overview of the physical and chemical properties of toluene [12]

Fyzikálne a chemické vlastnosti toluénu	
Molekulová hmotnosť	92,14 (g/mol)
Bod varu	110,6 (°C)
Teplota topenia	-94,9 (°C)
Hustota pri 20 (°C)	0,8623 (g/cm ³)
Hustota pár	3,1
Tlak pár pri 18 (°C)	22 (mm Hg)
Teplota samovznietenia	480 (°C)
Dolný limit výbušnosti (LEL)	1,1 (obj. %)
Horný limit výbušnosti (UEL)	7,1 (obj. %)
Kritická teplota	318.6 (°C)
Kritický tlak	4,108 (MPa)

Na experimentálne stanovenie dolných medzi výbušnosti čistých látok a hybridných zmesí bola použitá výbuchová komora VK 100. Výbuchová komora je kubická nádoba, ktorá spĺňa pravidlá kubického zákona. Postup bol vykonaný nenormovou metodikou, v zmysle odporúčaného postupu výrobcu zariadenia VK 100.



Výpočtové vzťahy pre určenie dolnej medzi výbušnosti

Po experimentálnych skúškach sa určia matematickým vyjadrením hodnoty (body) pre krivky hybridných zmesi (aglomerovaného prachu MDF a toluénu), ktoré vyjadrujú vzťahy podľa Le Chateliera a Bartknechta.

Ako vstupné hodnoty pre výpočty sa použijú rovnice (1) Bartknechtov vzťah a Le Chatelierov vzťah (2), je graficky znázornený na Obr. 1. [13]

$$LEL_{hybrid} = MEC_{dust} \left(\frac{X_{gas}}{LEL_{gas}} - 1 \right)^2 \quad (1)$$

Kde [13]:

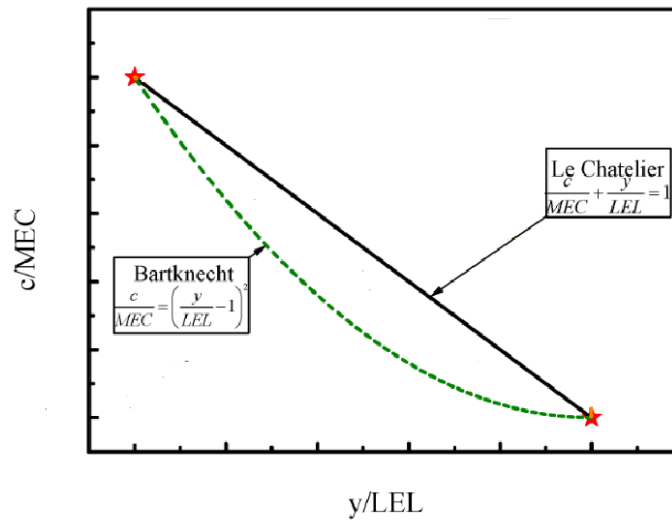
- LEL_{hybrid} - dolná medza výbušnosti hybridnej zmesi (g.m^{-3})
- MEC_{dust} - minimálna výbušná koncentrácia prachu vo vzduchu (g.m^{-3})
- X_{gas} - koncentrácia plynu v hybridnej zmesi (obj. %)
- LEL_{gas} - najnižšia medza výbušnosti plynu vo vzduchu (obj. %)

Ako ďalší je vzorec, ktorý vychádza z Le Chatelierovho zákona, Le Chatelierov vzťah (2) je graficky znázornený na Obr. 1.

$$LEL_{hybrid} = \frac{100}{\frac{X_{gas}}{LEL_{gas}} + \frac{C_{dust}}{MEC_{dust}}} \quad (2)$$

Kde [13]:

- LEL_{hybrid} - dolná medza výbušnosti hybridnej zmesi (g.m^{-3})
- X_{gas} - koncentrácia plynu v hybridnej zmesi (obj. %)
- LEL_{gas} - najnižšia medza výbušnosti plynu vo vzduchu (obj. %)
- C_{dust} - koncentrácia prachu v hybridnej zmesi (g.m^{-3})
- MEC_{dust} - minimálna výbušná koncentrácia prachu vo vzduchu (g.m^{-3})



Obrázok 1 Modely kriviek podľa Le Chateliera a Bartknechta [12]

Figure 1 Curve models according to Le Chatelier and Bartknecht [14]

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Výsledné hodnoty dolnej medze výbušnosti čistých látok, vstupujúcich do hybridnej zmesi boli stanovené 1,3 obj. %, pre horľavú kvapalinu toluénu (C_7H_8) a dolná medza výbušnosti prachu z drevovláknitej dosky MDF bola 29 g.m^{-3} .

Tabuľka 2 Experimentálne merania LEL hybridnej zmesi aglomerovaného prachu MDF a toluénu

Table 2 Experimental measurements of the LEL of a hybrid mixture of agglomerated MDF dust and toluene

LEL aglomer. prachu MDF			Výsledky merania hybridnej zmesi (aglomer. prach + toluén)											
Číslo merania	Navážena hmotnosť (g)	Koncentrácia (g.m^{-3})												
1.	3,1	31	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P - Pozitívny výsledok N - Negatívny výsledok
2.	3	30	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
3.	2,9	29	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P		
4.	2,8	28	N	N	N	N	P	P	P	P	P	P		



5.	2,5	25	N	N	N	N	P	P	P	P			
6.	2	20	N	N	N	N	P	P	P	P			
7.	1,5	15	N	N	N	N	P	P	P	P			
8.	1	10	N	N	N	N	N	P	P	P			
9.	0,5	5	N	N	N	N	N	N	P	P			
10.	0	0	N	N	N	N	N	N	P	P			
				0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	Koncentráci a HK (obj. %)	LEL Tolué n
				3,08	3,52	3,96	4,44	4,88	5,28	5,72	6,16		

V Tab 2. sledujeme výsledné pozitívne, resp. negatívne odozvy postupným znižovaním koncentrácie prachu z MDF a zvyšovaním koncentrácie horľavej kvapaliny, toluénu.

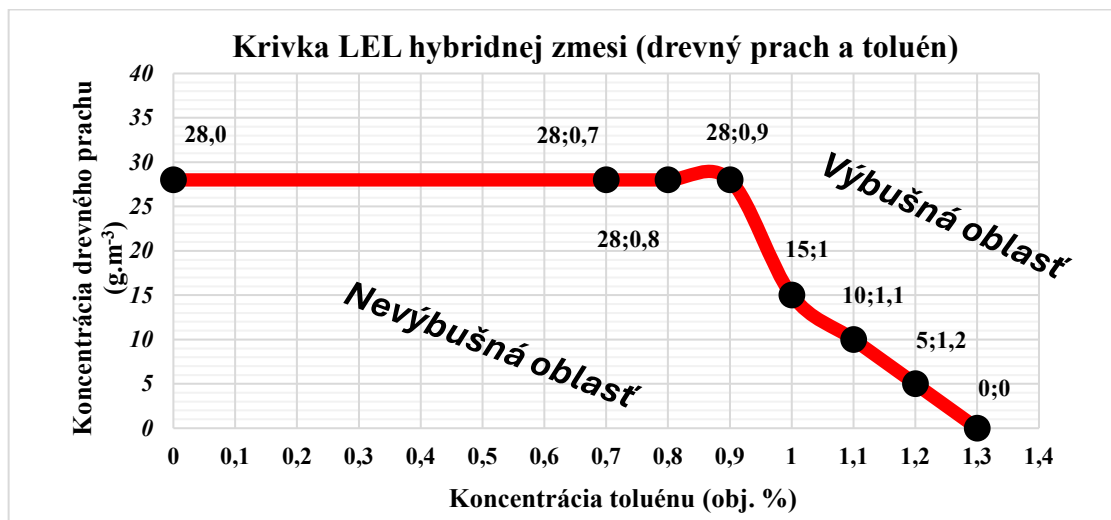


Figure 2 Graphic representation of the curve of the lower explosion limit (LEL) of a hybrid mixture of agglomerated MDF dust and toluene, at certain concentrations

Obrázok 2 Grafické zobrazenie krivky dolnej medzi výbušnosti (LEL) hybridnej zmesi drewného prachu a toluénu, pri určitých koncentráciách

Krivka v grafe Obr. 2 rozdeľuje oblasti na výbušnú, ktorá predstavuje koncentrácie nad dolnú medzu výbušnosti a oblasť nevýbušnú, ktorá pripadá pod dolnú medzu výbušnosti.



Tabuľka 3 Matematické výpočty hybridnej zmesi podľa Le Chatelierovho vzťahu aglomerovaného prach MDF a toluénu

Table 3 Mathematical calculations of the hybrid mixture according to Le Chatelier's relationship of agglomerated MDF dust and toluene

Výsledky výpočtov hybridnej zmesi (aglomer. prach MDF a toluén) – Le Chatelierov vzťah					
č.v	LEL _{gas} (obj. %)	X _{gas} (obj. %)	C _{dust} (g.m ⁻³)	MEC _{dust} (g.m ⁻³)	Výsledná koncentrácia (g.m ⁻³)
1.	1,3	1,3	29	29	14,5
2.	1,3	1,2	28	29	15
3.	1,3	1,1	25	29	17
4.	1,3	1	20	29	19
5.	1,3	0,9	15	29	24
6.	1,3	0,8	10	29	30
7.	1,3	0,7	5	29	40
8.	1,3	0	0	29	29

Experimentálne stanovenými hodnotami LEL čistých látok sa matematicky, podľa Le Chateliera určili hodnoty Tab.3, ktorým zodpovedá i Tab. 4.

Tabuľka 4 Výsledky teoretických výpočtov LEL hybridnej zmesi podľa Le Chatelierovho vzťahu aglomerovaný prach MDF a toluénu

Table 4 Results of theoretical calculations of the LEL hybrid mixture according to the Le Chatelier relationship of agglomerated MDF dust and toluene

LEL aglomer.prach		Hybridná zmes (aglomer. prach MDF + toluén) podľa Le Chatelierovho vzťahu											
Číslo mera nia	Koncentrácia (g.m ⁻³)												
1.	40	P	P										
2.	30	P	P	P									
3.	29	P	P	P									
4.	24	N	N	N	P								
5.	19				N	P							
6.	17					N	P						
7.	15						N	P					
8.	14,5							N	P				
-		0	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	Koncentrácia HK (obj. %)		

P - Pozitívny výsledok
N - Negatívny výsledok



											Objem HK (ml)	LEL Toluén
	0	3,0	3,5	3,9	4,	4,8	5,2	5,7	6,1			
		8	2	6	4	4	8	2	6			

V Tab. 5 a Tab. 6 sú matematicky určené hodnoty zodpovedajúce výpočtu podľa Barknechtovho vzťahu, s príslušnými koncentraciami horľavých látok experimentálne zistenými.

Tabuľka 5 Matematické výpočty hybridnej zmesi podľa Barknechtovho vzťahu aglomerovaného prach MDF a toluénu

Table 5 Mathematical calculations of the hybrid mixture according to Barknecht's relationship of agglomerated MDF dust and toluene

Výsledky výpočtov hybrid. zmesi (aglomer. prach MDF + toluén) - Bartknechtov vzťah				
čísl.výsl.	MEC _{dust} (g.m ⁻³)	X _{gas} (obj. %)	LEL _{gas} (obj. %)	Výsledná koncentrácia (g.m ⁻³)
1.	29	1,3	1,3	0
2.	29	1,2	1,3	0,165
3.	29	1,1	1,3	0,7
4.	29	1	1,3	1,5
5.	29	0,9	1,3	2,6
6.	29	0,8	1,3	4,1
7.	29	0,7	1,3	5,9
8.	29	0	1,3	28,1

Tabuľka 6 Výsledky teoretických výpočtov LEL hybridnej zmesi podľa Bartknechtovho vzťahu aglomerovaného prach MDF a toluénu

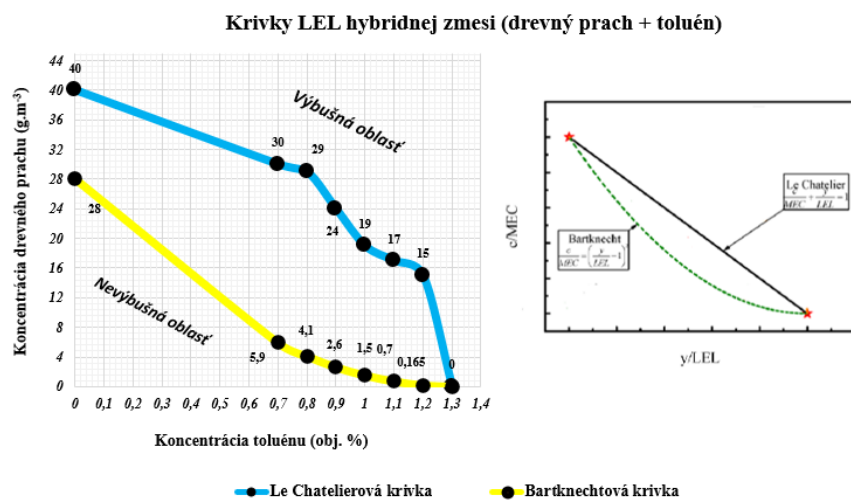
Table 6 Results of theoretical calculations of the LEL of the hybrid mixture according to the Bartknecht relationship of agglomerated MDF dust and toluene

LEL aglomer. prach		Hybridná zmes (aglomer.prach MDF a toluén) podľa Bartknechtovho vzťahu													
Číslo mera	nia	Koncentr													
		ácia (g.m ⁻³)													
1.		28,1	P												
2.		5,9	N	P											
3.		4,1		N	P										
4.		2,6			N	P									

P - Pozitívny výsledok
N - Negatívny výsledok



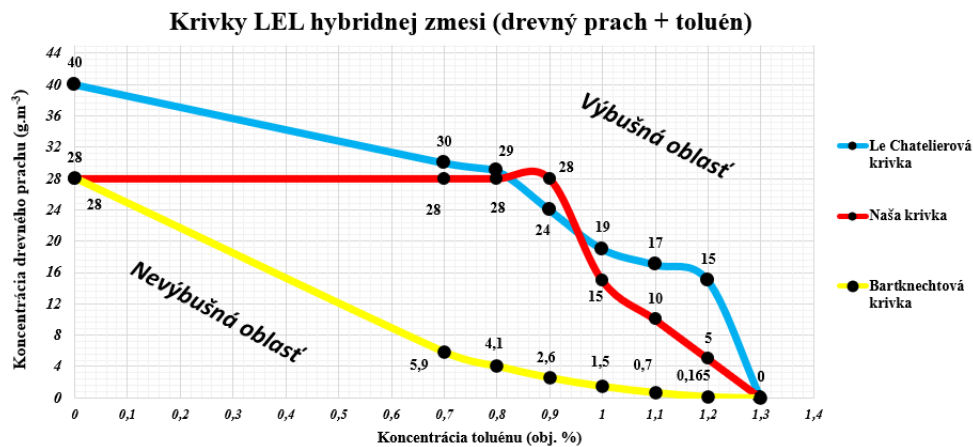
5.	1,5				N	P							
6.	0,7					N	P						
7.	0,165						N	P					
8.	0							N	P				
-	0	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	Koncentrácia HK (obj. %)		LEL Toluén	
	0	3,08	3,52	3,96	4,4	4,84	5,28	5,72	6,16	Objem HK (ml)			



Obrázok 3 Grafické porovnanie výpočtových kriviek dolnej medzi výbušnosti hybridnej zmesi aglomerovaného prachu MDF a toluénu s modelmi Le Chateliera a Barkencht

Figure 3 Graphical comparison of the calculation curves of the lower explosiveness range of the hybrid mixture of agglomerated MDF dust and toluene with Le Chatelier and Barkencht models

Porovnaním výpočtových kriviek dolnej medzi výbušnosti hybridnej zmesi aglomerovaného prachu MDF a toluénu s modelmi Le Chateliera a Barkencht sledujeme podobnosť ku Barknechtovej krivke.



Obrázok 4 Grafické porovnanie experimentálne stanovenej dolnej medzi výbušnosti (LEL) hybridnej zmesi aglomerovaného prachu MDF a toluénu s výpočtovými modelmi podľa Le Chateliera a Barkencha

Figure 4 Graphical comparison of the experimentally determined lower explosion limit (LEL) of a hybrid mixture of agglomerated MDF dust and toluene with calculation models according to Le Chatelier and Barkencht

Zhodnotením kriviek hybridných zmesí s krivkami podľa výpočtov od Le Chateliera a Bartknechta môžeme konštatovať, že krivka hybridnej zmesi zhotovená z nameraných údajov menej sa približuje ku Bartknechtovej krivke, ale viac ku Le Chatelierovej krivke, ktoré sme skonštruovali pomocou výpočtov. Ku najpresnejšej podobe nami zostrojenej krivky s Le Chatelierovou dochádzalo pri zachovanej koncentrácii drewného prachu so stupňujúcou sa koncentráciou toluénu.

V súvislosti s autormi Nan Liu a kol., ktorí skúmali výbuch hybridných zmesí pomocou iného postupu a pri rôznych teplotách sa ich vyhotovené experimentálne krivky hybridných zmesí (horľavý prach + horľavá kvapalina) kopírovali s modelmi kriviek od Le Chateliera a Bartknechta a iné zasa nie [14]. Pri hľadani súvislosti medzi prácami sa nami vykonané experimentálne krivky hybridných zmesí niektoré zhodovali a iné nezhadovali s modelmi kriviek od Le Chateliera a Bartknechta. Modely kriviek sú vhodné pre rôzne typy hybridných zmesí a to je dôležité, priradiť, ktoré sa riadia ktorým vzťahom, či podľa Le Chateliera alebo Bartknechta a následne prijať ochranu pred výbuchom.



ZÁVER

Stanovené experimentálne a matematické výpočty nám udávajú, že pri hybridnej zmesi výpočtová Bartknechtová krivka nadobúda tvar (exponenciálne klesajúci) podobný teoretickému modelu. Druhá Le Chatelierová výpočtová krivka kopíruje lineárny modelový tvar len pri koncentráciách drevného prachu, čím sa overila využiteľnosť týchto vzťahov. Z výsledkov môžeme potvrdiť, že do koncentrácie prachu MDF, pridaním už malého množstva horľavej kvapaliny došlo ku vytvoreniu koncentrácie hybridnej zmesi, ktorá spôsobila výbuch.

- Pri koncentráciách nižších ako LEL môže niekoľko percent horľavých pár výrazne zvýšiť citlivosť prachu na vznietenie.
- Hybridné zmesi sa môžu vznietiť aj vtedy, keď sú koncentrácie prachu a pár pod ich zodpovedajúcou dolnou medzou výbušnosti.

Vďaka získaným údajom a stanovení danej požiarotechnickej charakteristiky určíme zóny do výbušného prostredia a s použitím certifikovaných zariadení a ochranných systémov určených do výbušného prostredia, zaistíme bezpečnosť a ochranu zamestnancov pred výbuchom a následným požiarom vo výrobných technológiách.

POĎAKOVANIE

Predložená práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-220030 (100%).

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] B. Janovsky, J. Skrinsky, J. Cupak, J. Veres.: 2011. Coal dust, Lycopodium and niacin used in hybrid mixtures with methane and hydrogen in 1 m³ and 20 l chambers, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 62, 2019, 103945, [cit. 10.03.2024], ISSN 0950- 4230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.103945>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423019301317>



- [2] Emmanuel Kwasi Addai, Dieter Gabel, Ulrich Krause.: 2015. Explosion characteristics of three component hybrid mixtures, *Process Safety and Environmental Protection*. Volume 98,2015, Pages 72- 81, [cit. 17.03.2024], ISSN 0957-5820, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2015.06.013>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582015001226>
- [3] Wu, Dejian. Progress of hybrid mixture explosions: from safety characteristics, explosion criteria to explosion regimes, Conference, 2022, [cit. 17.03.2024], DOI:[10.13140/RG.2.2.22562.09929](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22562.09929). Dostupné na: https://www.researchgate.net/publication/362024775_Progress_of_hybrid_mixture_explosions_from_safety_characteristics_explosion_criteria_to_explosion_regimes
- [4] Determination of Explosion characteristics of dust clouds – Part 3: Determination of the lower explosion limit l_{el} of dust clouds: 2011 European Committee for Standardization. Brusel.
- [5] Zaheer Abbas, Dieter Gabel, Arne Krietsch, Ulrich Krause, Quasi-static dispersion of dusts for the determination of lower explosion limits of hybrid mixtures, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 74, 2022, 104640, [cit. 10.03.2024], ISSN 0950- 4230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2021.104640>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423021002485>
- [6] Matteo Pietraccini, Pierre-Alexandre Glaude, Anthony Dufour, Olivier Dufaud, Making hybrid mixture explosions a common case, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 83, 2023, 105048, [cit. 10.03.2024], ISSN 0950- 4230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2023.105048>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423023000785>
- [7] Wen-tao Ji, Xiang-yang Gan, Lu Li, Zhong Li, Xiao-ping Wen, Yan Wang, Prediction of the explosion severity of hybrid mixtures, *Powder Technology*, Volume 400, 2022, 117273, [cit.10.03.2024], ISSN 0032- 5910, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2022.117273>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003259102200167X>
- [8] Imad Khalili, Olivier Dufaud, Manon Poupeau, Nicolas Cuervo-Rodriguez, Laurent Perrin, Ignition sensitivity of gas–vapor/dust hybrid mixtures, *Powder Technology*,



Volume

217, 2012, Pages 199- 206, [cit. 10.03.2024], ISSN 0032- 5910, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2011.10.027>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032591011005705>

[9] Nicolas Cuervo, Olivier Dufaud, Laurent Perrin, Determination of the burning velocity of gas/dust hybrid mixtures, Process Safety and Environmental Protection,

Volume

109, 2017, Pages 704- 715, [cit. 10.03.2024], ISSN 0957- 5820, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.009>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017301891?via%3Dihb>

[10] Australian Timbers, MDF Medium Density Fibreboard, <https://www.australiantimbers.com.au/>, [online], [cit. 10.03.2024]. Dostupné na: <https://www.australiantimbers.com.au/product/mdf/>

[11] B&Q, MDF Board (L)2.44m (W)1.22m (T)12mm 22130g, <https://www.diy.com/>, [online]. [cit. 10.03.2024]. Dostupné na: https://www.diy.com/departments/mdf-board-1-2-44m-w-1-22m-t-12mm-22130g/1696260_BQ.prd

[11] S.R. Clough, Toluene, Editor(s): Philip Wexler, Encyclopedia of Toxicology (Third

Edition), Academic Press, 2014, Pages 595 598, [cit. 10.03.2024], ISBN 97801238645 50, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.004383>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012386454300433>

[12] S.R. Clough, Toluene, Editor(s): Philip Wexler, Encyclopedia of Toxicology (ThirdEdition), Academic Press, 2014, Pages 595598, [cit. 10.03.2024], ISBN 9780123 864550, <https://doi.org/10.1016/B978-0-2-386454-3.004383>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012386454300433>

[13] Emmanuel Kwasi Addai, Dieter Gabel, Ulrich Krause, Lower explosion limit of hybrid mixtures of burnable gas and dust, Journal of Loss Prevention in the Process Industries,

Volume 36, 2015, Pages 497- 504, [cit. 10.03.2024], ISSN 0950- 4230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.02.014>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423015000601>



- [14] Qi, Yingquan, Xiangyang Gan, Zhong Li, Lu Li, Yan Wang, and Wentao Ji. 2021. "Variation and Prediction Methods of the Explosion Characteristic Parameters of Coal Dust/Gas Mixtures" *Energies* 14, no. 2: 264, [cit. 12.03.2024], <https://doi.org/10.3390/en14020264>. Dostupné na: <https://www.mdpi.com/1996-1073/14/2/264>
- [14] Nan Liu, Chunhua Bai, Ning Yao, Jian Yao, Experimental investigation of the lower flammability limit of volatile liquid fuel-aluminum powder mixtures in air, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 66, 2020, 104160, [cit. 10.03.2024], ISSN 0950-4230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2020.104160>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423020300632>



STANOVENIE RÝCHLOSTI TVORBY ZUHOĽNATENEJ VRSTVY SMREKOVÉHO TERMODREVA

DETERMINATION OF THE RATE OF CHAR LAYER FORMATION IN SPRUCE THERMOWOOD

Alena PÁRNIČANOVÁ¹ - Martin ZACHAR¹ - Eva SPITZKOPFOVÁ¹ - Danica
KAČÍKOVÁ¹

¹Technická univerzita vo Zvolene Katedra protipožiarnej ochrany, T. G. Masaryka
24 960 01 Zvolen, Slovenská republika, xparnicanova@is.tuzvo.sk, zachar@is.tuzvo.sk,
spitzkopfova@is.tuzvo.sk, kacikova@is.tuzvo.sk

Abstract

Príspevok sa zaoberá stanovením vybraných požiarnotechnických vlastností termicky modifikovaného dreva smreka obyčajného t.j. rýchlosti zuhoľnatenia, ktorá sa v praxi využíva pri zisťovaní príčin vzniku požiarov na odhad doby vzniku a šírenia požiaru drevených konštrukcií stavieb. Termické zaťaženie bolo realizované pomocou testovacej metódy opísanej v Úžitkovom vzore č. 9373 registrovanom Úradom priemyselného vlastníctva SR. Vzorky smrekového dreva s rozmermi 40 × 50 × 50 mm (d × š × h) boli termicky zaťažené tepelným tokom 15, 20, 25 a 30 kW·m⁻² pomocou keramického infražiarča obdĺžnikového tvaru s výkonom 1000 W. Rýchlosť zuhoľnatenia sme stanovili výpočtovou metódou na základe hrúbky zuhoľnatej vrstvy vytvorenej v časovom intervale 1800 s. Výsledky potvrdili, že rýchlosť zuhoľnatenia sa zvyšuje so zvyšujúcim sa termickým zaťažením. Rýchlosť zuhoľnatenia dosiahla hodnoty od 0,695 do 1,243 mm·min⁻¹.

Keywords: *termodrevo, hmotnostný úbytok, rýchlosť odhorievania, hrúbka zuhoľnatej vrstvy, rýchlosť zuhoľnatenia.*



ÚVOD

Smrekové drevo sa používa na výrobu „Termodreva“, ktoré patrí k perspektívnym drevným materiálom a má potenciál nahrádzať trvanlivé a tvarovo stabilné tropické dreviny. Princípy technológie na výrobu termicky upraveného dreva sa používajú v Európe rôznymi spôsobmi prípravy. Pre nami stanovený experiment sme zvolili termodrevo pripravené v atmosfére vzduchu (ThermoWood), ktorého priemyselná výroba sa uskutočňuje vo Fínsku (Shi, Kocaefe, Zhang, 2007). Proces výroby s použitím technológie pripravenej v atmosfére vzduchu pozostáva z troch fáz:

1. fáza – zvýšenie teploty a sušenie:

Za pôsobenia horúceho vzduchu alebo horúcej pary sa teplota v sušiarňi zvyšuje na 100 °C a potom pomaly stúpa na 130 °C. Táto fáza zabezpečuje, aby sa drevo vysušilo približne na nulovú vlhkosť.

2. fáza – tepelná úprava:

Teplota sa počas druhej fázy zvýši na 185 až 215-230 °C počas 2-3 hodín. Čas pôsobenia hodnota teploty sú dané požiadavkami na klasifikačnú triedu ThermoWood materiálu – Thermo-S alebo Thermo-D.

3. fáza – chladenie a úprava vlhkosti:

V tretej fáze sa tepelne upravené drevo postupne ochladzuje. Pri teplote 80-90 °C sa postupne vlhkosť kondiciniuje, aby jeho konečná vlhkosť bola na úrovni 4-7 % (Tetri 2023).

Termodrevo má v porovnaní s rastlinným drevom menšiu hydroskopicitu (Aytin et. al. 2022), preto sa vyznačuje odolnosťou voči biologickým činiteľom, drevokazným hubám, plesniam (Vidholdová, Pánek, Reinprecht, 2023).

V takto upravenom dreve sa vyskytujú zmeny vlastností vo farbe, vône, lepitelnosti a účinnosti náteru (Sandberg et. al. 2021). Medzi jeho dobré vlastnosti v porovnaní s rastlinným drevom patrí nižšia tepelná vodivosť, ktorá sa môže uplatniť pri obkladoch s tepelnoizolačnou funkciou. Naopak jeho nevýhodou je strata viacerých mechanických



vlastností, ako napríklad ťahovej a ohybovej pevnosti a rázovej húževnatosti, preto sa jeho použitie pre nosné prvky neodporúča (Kol 2010).

Termodrevo vyrábané vo Fínsku, ktoré sa zaraďuje so dvoch tried (Thermo-S, Thermo-D), má široké využitie. Termicky upravené drevo triedy Thermo-S používa najmä na výrobu nábytku, obkladov, okien podláh a dverí, rovnako tak sa z neho vyrábajú aj konštrukčné prvky používané v interiéri. Na rozdiel od triedy Thermo-S je drevo triedy Thermo-D tmavšie a vďaka jeho vlastnostiam vhodnejšie na použitie do exteriéru. Aplikuje sa vo výrobe záhradného nábytku, exteriérových podláh, obkladov a dlažieb (Hill 2006).

V spomínaných odvetviach je dôležité zabezpečiť pevnosť a dlhú životnosť dreva, ako aj dbať na jeho požiaru odolnosť, pretože drevo je materiál, ktorý termickým zaťažením stráca svoje mechanické vlastnosti (Richter et al. 2019), a pri teplote približne 300 °C podlieha zuhoľnatiu (Qin et al. 2021).

Jednou z najdôležitejších požiarotechnických vlastností dreva je rýchlosť zuhoľnatiu (Martinka et al. 2018). Závisí na kinetike horenia dreva, vrátane vonkajších expozičných charakteristík. Stanovenie rýchlosti zuhoľnatiu dreva je rozhodujúce, pretože pevnosť zuhoľnatej vrstvy má v skutočnosti nulovú nosnú kapacitu (Krakovský, Král 2004). Časový priebeh termického rozkladu v priebehu požiaru je zohľadnený pri výpočte únosnosti drevených konštrukcií. Rýchlosť zuhoľnatiu je definovaná ako nameraná hrúbka (mm) zuhoľnatej vrstvy, ktorá sa vytvorila počas termického zaťaženia materiálu (dreva) za určitý čas. Na základe týchto parametrov sa dá určiť hodnota rýchlosti zuhoľnatiu (Martinka et al. 2018), ktorá je predmetom záujmu odborníkov na bezpečnosť budov (Babrauskas, 2005), pretože vstupuje do výpočtu požiarnej odolnosti drevených konštrukcií (STN EN 1995-1-2 (Eurokód 5)). Podľa NFPA 921 (2021) je rýchlosť zuhoľnatiu dreva v laboratórnych podmienkach, pri vystavení zdroju tepla z jednej strany je od 0,17 mm·min⁻¹ do 4,23 mm·min⁻¹.

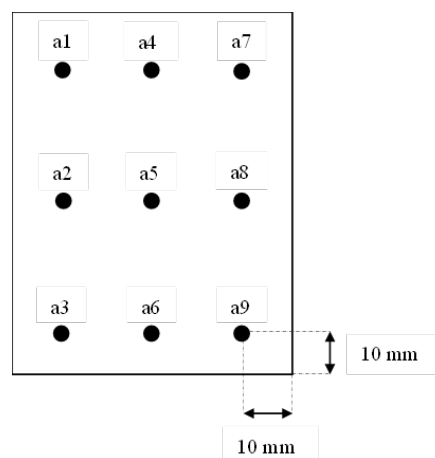
Cieľom príspevku je určiť rýchlosť zuhoľnatiu smrekového termodreva na základe hrúbky zuhoľnatej vrstvy vytvorenej v časovom intervale 1800 s za pomoci údajov nameraných progresívnou laboratórnou testovacou metódou.

MATERIÁL A METODIKA

Vzorky termicky modifikovaného dreva smreka obyčajného boli pripravené z kmeňa Smreku obyčajného (*Picea abies*) vytŕaženého z lokality Hakovo, 800 m. n. m., číslom porastu 220, ktorú spravuje Vysokoškolský lesnícky podnik. Typ ťažby bol letný, predrubný - úmyselný nad 50 rokov.

Drevo smreka obyčajného, ktoré sme použili pre laboratórne meranie bolo upravené na termodrevo technológiou prípravy v atmosfére vzduchu (ThermoWood) (Tetri, 2003).

Vzduchosuché vzorky, boli vysušené v sušiarňi Memmert na teplotu $103 \pm 1^\circ\text{C}$. Termogravimetricky stanovená hustota vzoriek dosahovala $328,21 \pm 4,13 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, pri vlhkosti $5,77 \pm 0,15 \%$. Vzorky boli narezané v tangenciálnom smere na rozmery $40 \times 50 \times 50 \text{ mm}$ ($d \times \text{š} \times h$), následne vybrané vzorky bez anatomických chýb boli roztriedené do 4 skupín s počtom 10 vzoriek v každej skupine (pre zaťaženie tepelným tokom 15, 20, 25 a $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$). Hrúbku takto pripravených vzoriek sme zmerali posuvným meradlom Mahr 16 ER NO.4103010 na 9 rôznych miestach (Obr. 1), aby sme určili priemernú hrúbku vzoriek. Vzďialenosť medzi jednotlivými bodmi bola 10 mm od kraja vzorky, pričom sme hrúbku vzoriek merali aj v strede zaťažovanej plochy ($40 \times 50 \text{ mm}$). Toto meranie nám poslúžilo v ďalších krokoch na určenie hrúbky zuhoľnatej vrstvy. Následne sme každú vzorku odvážili.



Obrázok 1 Schéma 9 miest slúžiacich na určenie priemernej hrúbky vzoriek

Figure 1 Scheme of 9 locations used to determine the average thickness of the samples



Meranie bolo realizované pomocou modifikovanej testovacej metódy opísanej v Úžitkovom vzore č. 9373 registrovanom Úradom priemyselného vlastníctva SR. Aparatúra pozostávala z keramického infražiariča s výkonom 1000 W, typ F. T. E. a regulačného zariadenia typu METREL HSN0203, ktoré nám slúžilo na reguláciu napätia. Hodnoty tepelného zaťaženia boli 15, 20, 25 a 30 kW·m⁻², s počtom opakovaní merania 10.

Vzorku sme umiestnili na stojan 30 mm pod infražiarič. Plameň propánového horáka sme nastavili na výšku 20 mm a umiestnili sme ho 10 mm nad stred vzorky. Keď vzorka začala horieť, odtiahli sme propánový horák. Celkový čas termického zaťaženia vzorky bol 1800 s.

Po tepelnom zaťažení vzoriek sme ručne odstránili zuhoľnatú vrstvu. Následne sme vzorky opäť zmerali posuvným meradlom v rovnakých deviatich bodoch ako pred termickým zaťažením vzorky. Hrúbku zuhoľnatej vrstvy sme vypočítali podľa rovnice (1) ako rozdiel priemernej hrúbky vzoriek pred testovaním a priemernej hrúbky vzoriek po experimente a odstránení zuhoľnatej vrstvy.

$$T_{char} = \bar{T}_1 - \bar{T}_2 \quad (1)$$

kde: T_{char} - hrúbka zuhoľnatej vrstvy (mm)

\bar{T}_1 - priemerná hrúbka vzorky pred tepelným zaťažením (mm)

\bar{T}_2 - priemerná hrúbka vzorky po testovaní (mm)

Rýchlosť zuhoľnatenia sme vypočítali podľa rovnice (2).

$$\beta_0 = \frac{T_{char}}{t} \quad (2)$$

kde: β_0 - rýchlosť zuhoľnatenia (mm·min⁻¹)



T_{char} - zuhoľnatená vrstva (mm)

t - čas tepelného zaťaženia (min)

VÝSLEDKY A DISKUSIA

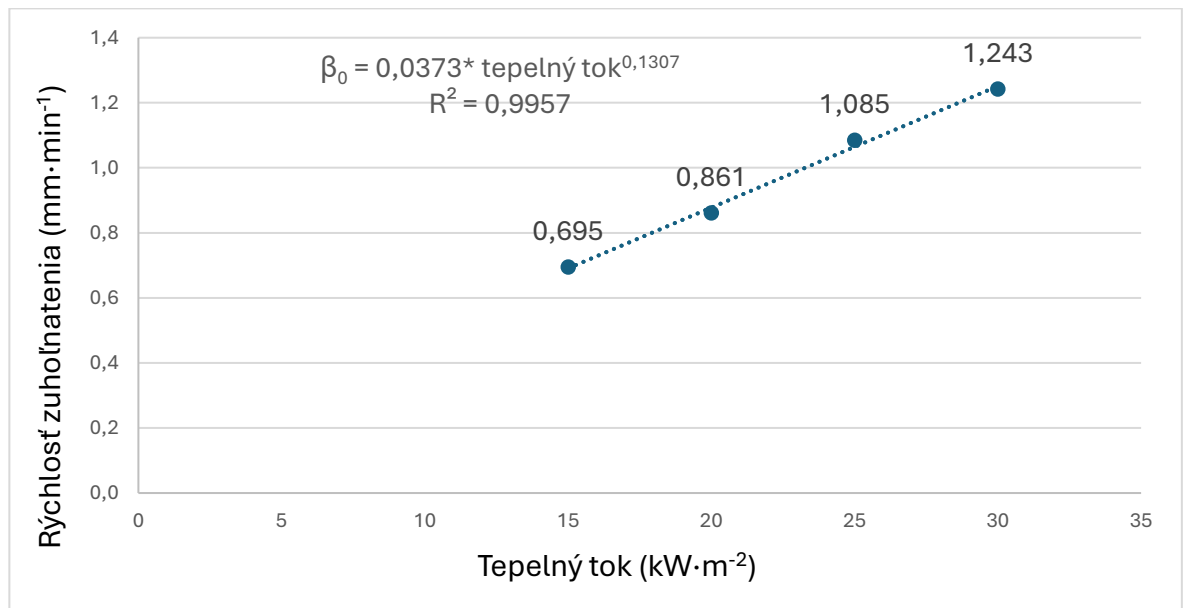
Hrúbka zuhoľnatej vrstvy vypočítaná podľa vzťahu (1) a rýchlosť zuhoľnatenia vypočítaná podľa vzťahu (2) sú zobrazené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Rýchlosť zuhoľnatenia v časovom intervale 0 do 1800 sekúnd

Table 1 Charring rate of test samples in the time interval 0 to 1800 seconds

Tepelný tok ($\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$)	Pôvodná hrúbka vzorky (mm)	Hrúbka vzorky po zaťažení (mm)	Hrúbka zuhoľnatej vrstvy (mm)	Rýchlosť zuhoľnatenia ($\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$)
15	47,74±1,13	26,89±1,74	20,85±1,88	0,695
20	47,65±0,93	21,81±1,93	25,84±1,61	0,861
25	47,47±1,40	14,93±2,60	32,54±2,89	1,085
30	47,59±0,70	10,30±2,40	37,29±2,13	1,243

Experiment potvrdil predpoklad, že hrúbka zuhoľnatej vrstvy sa zvyšuje so zvyšujúcim sa tepelným tokom (tab.1). Pri tepelnom toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ vznikla najmenšia zuhoľnatená vrstva, 20,85 mm. Pri tepelnom toku $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ bola zuhoľnatená vrstva väčšia, t.j. 25,84 mm. Pri tepelnom toku $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ bola zuhoľnatená vrstva 32,54 mm. Najväčšia zuhoľnatená vrstva, t.j. 37,29 mm, bola dosiahnutá pri tepelnom toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Závislosť medzi priemernou rýchlosťou zuhoľnatenia a tepelným tokom môžeme vidieť na obr. 4.



Obrázok 2 Priemerná rýchlosť zuhoľnatania v časovom intervale 0 do 1800 s

Figure 2 Average charring rate in the time interval from 0 to 1800 s

Rýchlosť zuhoľnatania, so závislosťou $\beta_0 = 0,0373 \cdot \text{tepelný tok}^{0,1307}$, sa zvyšuje so zvyšujúcim sa tepelným tokom. Pri toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ dosahovala rýchlosť zuhoľnatania najnižšiu hodnotu $0,695 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Pri tepelnom toku $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ bola rýchlosť zuhoľnatania väčšia, t.j. $0,861 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Pri tepelnom toku $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ bola priemerná rýchlosť zuhoľnatania $1,085 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Najvyššia hodnota rýchlosti zuhoľnatania $1,243 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ bola dosiahnutá pri tepelnom toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

V porovnaní s výsledkami podobného experimentu testujúceho vzorky smreka rovnakou metódou mala rýchlosť zuhoľnatania, rovnako, ako aj v našom experimente, stúpajúcu tendenciu so zvyšujúcim sa tepelným tokom. V časovom intervale od 0 s do 1800 s sa priemerná rýchlosť zuhoľnatania pohybovala od $1,004 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (pri tepelnom $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) do $1,295 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (pri tepelnom toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$). Rovnako tak, aj Zachar et. al., 2022 použil rovnakú metódu, ako predchádzajúci autor, kde má rýchlosť zuhoľnatania, rovnako, ako aj v našom experimente, stúpajúcu tendenciu so zvyšujúcim sa tepelným tokom. V časovom intervale od 0 s do 1920 s sa priemerná rýchlosť zuhoľnatania pohybovala od $1,00 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (pri tepelnom $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) do $1,84 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$



(pri tepelnom toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) (Zachar et al. 2022). Všeobecne známe tvrdenie, že rýchlosť zuhoľnatenia stúpa so zvyšujúcim sa tepelným tokom potvrdzuje aj ďalší experiment, v ktorom autori termicky zaťažovali vzorky smrekového dreva rovnakou metódou, ale so žiaričom, s výkonom 750 W , mala rýchlosť zuhoľnatenia, rovnako, ako aj v našom experimente, stúpajúcu tendenciu so zvyšujúcim sa tepelným tokom. V časovom intervale od 0 s do 1800 s sa priemerná rýchlosť zuhoľnatenia pohybovala od $0,2397 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (pri tepelnom $10 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) do $0,6933 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (pri tepelnom toku $25 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$) (Párničanová et al. 2023). Rozdiely v rýchlosti zuhoľnatenia medzi drevom Smreku obyčajného a termicky upraveným drevom Smreku obyčajného sú spôsobené rozdielmi vo fyzikálnych a chemických vlastnostiach, ktoré vznikajú pri tepelnej úprave dreva. Tento proces spôsobuje niekoľko kľúčových zmien, ako je zníženie vlhkosti dreva, zmeny v chemickom zložení dreva, znížená hustota, nižšia tvorba prechavých látok, ktoré ovplyvňujú jeho správanie počas horenia.

Ďalší autori posudzovali rýchlosť zhoľnatenia rôznych druhov tropických listnatých drevín s hustotou od 500 do $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vystavením vzoriek štandardnému požiaru podľa normy ISO 834. Na overenie experimentálnej metódy s existujúcimi údajmi boli taktiež testované dva druhy ihličnatých drevín (smrek a jedľa) a jeden európsky druh listnatej dreviny (dub). Porovnanie experimentálnych výsledkov pre rôzne druhy dreva a rýchlosti zuhoľnatenia ukazuje významný vplyv hustoty dreva na tento proces (Njankouo, Dotreppe, Franssen 2004).

Naše namerané hodnoty rýchlosti zuhoľnatenia pre smrekové termodrevo s hustotou $328,21 \pm 4,13 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dosahujú rýchlosť zuhoľnatenia $0,695 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ pri tepelnom toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, čo je porovnateľné s rýchlosťou $0,62 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ nameranou pre smrek obyčajný s vyššou hustotou $480 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Tento rozdiel v hustote medzi smrekovým termodrevom a smrekom obyčajným naznačuje, že tepelné úpravy dreva môžu ovplyvniť jeho správanie pri zuhoľnatení, pričom rýchlosť zuhoľnatenia termodreva je stále veľmi blízka hodnotám pre surové drevo s vyššou hustotou. Naopak, pri porovnaní s tvrdšími druhmi drevín, ako je Azobe ($1050 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0,41 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$) a Bilinga ($692 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0,58 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$), je zrejmé, že s rastúcou hustotou dochádza k výraznejšiemu poklesu rýchlosti zuhoľnatenia. Naša dosiahnutá hodnota pre smrekové termodrevo naznačuje, že tento druh dreva môže vďaka svojej nižšej hustote vykazovať



vyššiu rýchlosť zuhoľnatenia v porovnaní s drevinami s vyššou hustotou, ako sú dub a tropické dreviny (Njankouo, Dotreppe, Franssen 2004).

Autori Liu, Fischer 2023 skúmali rozdielne rýchlosti zuhoľnatenia rôznych druhov dreva, kde testovacie vzorky boli vystavené tepelným expozíciám, ktoré zahŕňali expozíciu podľa štandardnej požiarnej krivky alebo kalibrovaného kónického kalorimetra, ako aj neštandardné metódy. Rovnako tak potvrdili, že hlavnou materiálovou vlastnosťou, ktorá prispieva k rozdielom v rýchlosti zuhoľnatenia medzi druhmi dreva, je hustota. Rýchlosť zuhoľnatenia sa mala tendenciu znižovať so zvyšujúcou sa hustotou dreva, tvrdé dreviny s hustotou do $1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dosahovali maximálnu rýchlosť zuhoľnatenia $0,50 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, naopak mäkké dreviny (napr. smrek) s hustotou do $600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ dosahovali maximálnu rýchlosť zuhoľnatenia, $0,90 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Tepelnou úpravou dreva sa menia jeho chemické vlastnosti, čím sa znižuje rýchlosť zuhoľnatenia v porovnaní s neošetreným drevom. Tento aspekt je kľúčový pre bezpečnosť v stavebných konštrukciách, a aj vďaka svojej trvanlivosti, odolnosti voči vlhkosti a biologickým škodcom, ako aj estetickým vlastnostiam je termodrevo ideálnym materiálom pre vonkajšie a interiérové použitie v stavebníctve.

ZÁVER

Nenormovou laboratórnou aparátúrou sme stanovili rýchlosť zuhoľnatenia, na základe hrúbky zuhoľnatej vrstvy, ktorá bola vytvorená v časovom intervale 1800 s.

Experiment potvrdil všeobecne známe tvrdenie, že rýchlosť zuhoľnatenia má stúpajúcu tendenciu so zvyšujúcim sa termickým zaťažením. Rýchlosť zuhoľnatenia dosiahla hodnotu $0,695 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ pri tepelnom toku $15 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. So zvyšujúcim sa tepelným tokom, rástla aj rýchlosť zuhoľnatenia, až na $1,243 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ pri tepelnom toku $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$. Výsledky môžu byť použité pri ďalšom výskume požiarotechnických vlastností dreva a ako vstupné údaje pre počítačom podporované modelovanie požiarov v interiéri.



POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená projektom VEGA č. 1/0115/22 Komplexný prístup k štúdiu zmien parametrov požiaru s využitím progresívnych analytických a testovacích metód.

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-22-0030.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

1. Aytin, A., Çakıcıer, N., Birtürk, T. Chemical, hygroscopic, and mechanical properties of various wood species heat treated via the ThermoWood® method. *BioResources*. 2022, 17, 1, 785-801. DOI: 10.15376/biores.17.1.785-801
2. Babrauskas, V. Charring rate of wood as a tool for fire investigations. *Fire Safety Journal*. 2005; 40: 528–554. DOI: 10.1016/j.firesaf.2005.05.006
3. Hill, C. A.S. *Wood Modification: chemical, Thermal and Other Processes*. Chichester: John Wiley, 2006. Wiley series in renewable resources. ISBN 0-470-02172-1.
4. Kol, H. S. Characteristics of heat-treated Turkish pine and fir wood after ThermoWood processing, *Journal of Environmental Biology*. 2010, 31, 6, 1007-1011
5. Krakovský, A., Král, Š. *Zmeny mechanických vlastností primárneho smrekového dreva pri mechanickom a tepelnom zaťažení*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004. Vedecké štúdie, 5/2004/B. ISBN 80-228-1383-4
6. Liu, J., Fischer, E. C. Review of the charring rates of different timber species. *Fire and Materials*. 2024, 48, 1, 3-15. DOI: 10.1002/fam.3173
7. Lizhong, Y., Yupeng, Z., Yafei, W., Zaifu, G. Predicting charring rate of woods exposed to time-increasing and constant heat fluxes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2008. 81, 1, 1-6. DOI: 10.1016/j.jaap.2007.06.006.



8. Martinka, J., Rantuch, P., Liner, M. Calculation of charring rate and char depth of spruce and pine wood from mass loss. *J. Therm. Anal. Calor.* 2018; 132: 1105–1113 DOI: 10.1007/s10973-018-7039-8.
9. NFPA 921; Guide for Fire and Explosion Investigations; National Fire Protection Association: Quincy, MA, USA, 2021
10. Njankouo, J. M., Dotreppe, J. C., Franssen, J. M. Experimental study of the charring rate of tropical hardwoods. *Fire and Materials.* 2004. 28, 1, 15-24. DOI: 10.1002/fam.831
11. Párničanová, A., Zachar, M., Kačíková, D., Zacharová, L. Determination of charring rate of oak wood. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen.* 2003. 65, 2, 25–34. DOI: <https://ojs.tuzvo.sk/index.php/AFXZ/article/view/71>
12. PUV 50121-2020 Spôsob merania rýchlosti odhorievania a rýchlosti zuhoľnatenia polymérov s iniciáciou plameňom a systém na jeho vykonávanie <https://wbr.indprop.gov.sk/WebRegistre/UzitkovyVzor/Detail/50121-2020>
13. Qin, R. Zhou, A. Chow, C. L., Lau, D. Structural performance and charring of loaded wood under fire. *Eng. Struct.* 2021; 228: 111491. DOI: 10.1016/j.engstruct.2020.111491
14. Richter, F. Atreya, A. Kotsovinos, P. Rein, G. The effect of chemical composition on the charring of wood across scales. *Proc. Combust. Inst.* 2019; 37: 4053–4061. DOI: 10.1016/j.proci.2018.06.080
15. Sanberg, D., Kutnar, A., Karlsson, O., Jones, D. Wood modification technologies: principles, sustainability, and the need for innovation. Boca Raton: CRC Press, 2021. ISBN 978-1-138-49177-9.
16. Shi, J. L. Kocaefe, D. Zhang, J. Mechanical behaviour of Quebec wood species heat-treated using ThermoWood process. *Holz Roh Werkst.* 2007 65, 255–259, DOI 10.1007/s00107-007-0173-9
17. STN EN 1995-1-1 + A1 (Eurokód 5) – Navrhovanie drevených konštrukcií (všeobecné pravidlá a pravidlá pre budovy)



18. Tetri, T. ThermoWood® Handbook; International ThermoWood Association: Helsinki, Finland, 2023; p. 56.
19. Vidholdová, Z., Reinprecht, L., Pánek, M. The effect of outdoor weathering of thermally modified spruce and pine woods on their surface properties. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*. 2023. 65,1, 23–34. DOI: 10.17423/afx.2023.65.1.02
20. Zachar, M. 2022. Aplikácia progresívnej testovacej metódy na stanovenie požiarotechnických charakteristík Smrekového dreva. Vedecká monografia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2022. 118 s. ISBN 978-80-228-3354-7.
21. Zachar, M., Čabalová, I., Kačíková, D., Zacharová, L. *Materials*. The Effect of Heat Flux to the Fire-Technical and Chemical Properties of Spruce Wood (*Picea abies* L.). *Materials*. 2021; 14:4989. DOI:10.3390/ma14174989



KOMPLIKÁCIE PRI URČOVANÍ ČASU UKONČENIA PLAMENNÉHO HORENIA LIGNOCELULÓZNYCH MATERIÁLOV

COMPLICATIONS IN DETERMINING THE FLAME-OUT TIME OF LIGNOCELULOSIC MATERIALS

Peter RANTUCH¹ - Jozef MARTINKA²

¹Materiálovotechnologická fakulta so sídlom v Trnave, Slovenská technická univerzita
v Bratislave, Botanická 49, 91708 Trnava, Slovenská republika,

peter.rantuch@stuba.sk, jozef.martinka@stuba.sk

Abstract

Lignocellulosic materials belong to combustible substances that burn both homogeneously and heterogeneously. In the initial stages, burning with a flame predominates, but after a certain time, its intensity decreases, until finally its termination occurs. The presented paper describes different approaches to determining the flame-out. At the same time, it illustrates them on a sample of spruce wood loaded with an external heat flux of $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, which is the most commonly used heat flux during measurements on a cone calorimeter.

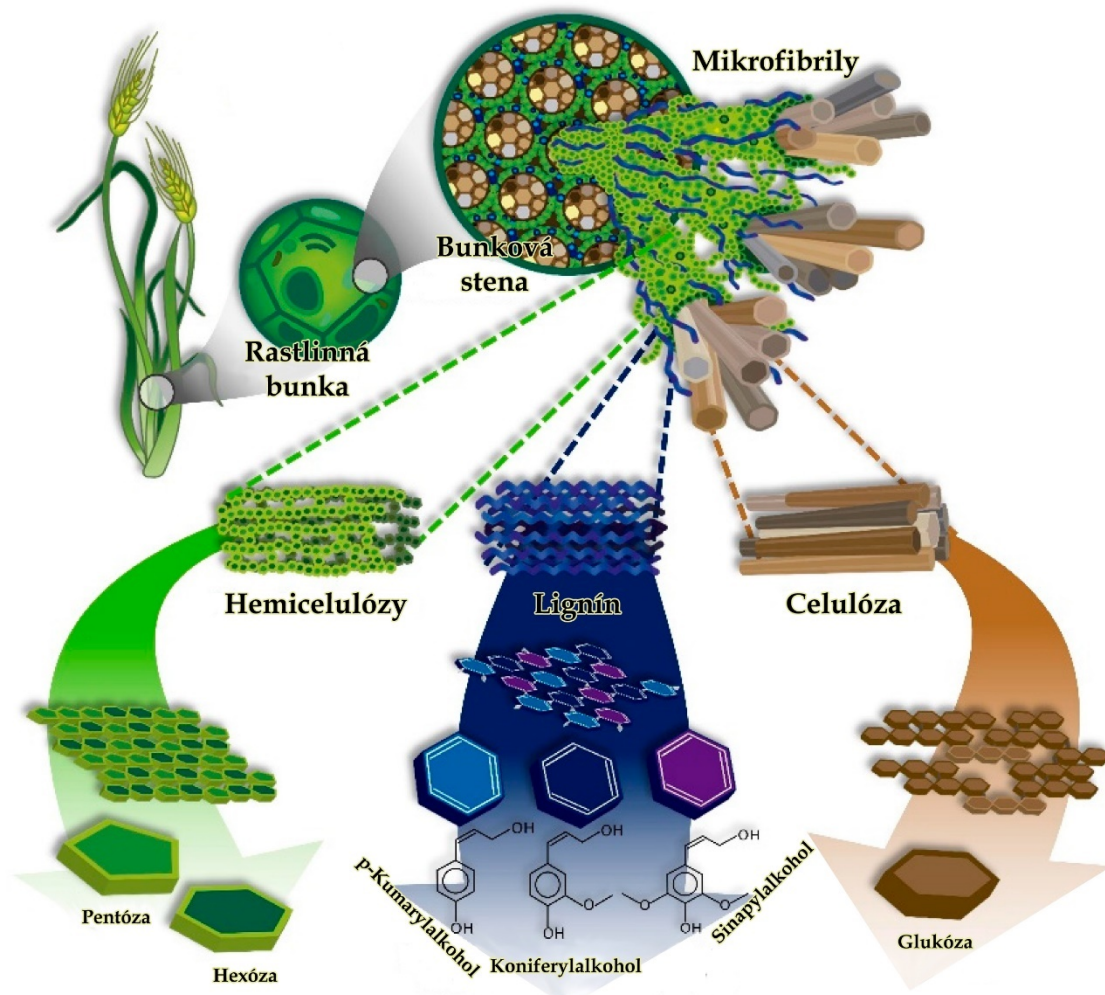
Keywords: *Flame-out, Cone calorimeter, Lignocellulosic materials.*

ÚVOD

Lignocelulózne materiály obsahujú predovšetkým hemicelulózy, celulózu a lignín. Tie bývajú doplnené malými množstvami iných látok (napríklad živíc, anorganických solí a pod.).

Primárnym zdrojom týchto materiálov je hierarchická mikrofibrilárna štruktúra bunkovej steny rastliny, kde spomínané tri hlavné biopolyméry tvoria anizotropnú

vláknitú štruktúru pôvodne určenú na podporu pevnosti a tuhosti rastliny. [1] Táto štruktúra je znázornená na obrázku 1.



Obrázok1 Zloženie lignocelulózných materiálov [2]

Figure 1 Composition of lignocellulosic materials [2]

Obsah hemicelulóz, celulózy a lignínu v rôznych lignocelulózných materiáloch sa môže výrazne líšiť. Príklady hodnôt uvádzaných rôznymi autormi sú uvedené v tabuľke 1.

Z hľadiska ochrany pred požiarmi je na lignocelulózne materiály nahliadané ako na horľavé látky. Dôležitou sa preto stáva ich proximatívna analýza (tabuľka 2), ktorá je



základnou charakterizáciou palív. Jej výsledkom je stanovenie obsahu prchavých látok, viazaného uhlíka a popola v danom materiáli. Keďže plamenné horenie prebieha v plynnej fáze, je preň dôležitý obsah prchavých látok. Pre heterogénne horenie je naopak dôležitý predovšetkým viazaný uhlík. Celulóza obsahuje okolo 90 % prchavých látok, čo je viac než hemicelulózy (cca 75 %) aj lignín (cca 65 %). V prípade viazaného uhlíka je situácia opačná – najviac ho je v ligníne a najmenej v celulóze. [3]

Tabuľka 1 Obsah hemicelulóz, celulózy a lignínu v rôznych druhoch lignocelulózných materiálov

Table 1 Content of hemicellulose, cellulose and lignin in different types of lignocellulosic materials

Materiál	Hemicelulózy	Celulóza	Lignín	Zdroj
Ryžová slama	16,5	37	13,6	[3]
Stonka kukurice	23,2	42,7	17,5	[3]
Ozdobnica čínska	21,3-29,9	30,5-36,1	14,1-24,7	[4]
Proso prútené	21,5-27,4	29,5-37,8	13,9-21,1	[4]
Cirok dvojfarebný	23,4-23,6	31,4-35,3	17,9-20,7	[4]
Trsť obyčajná	23,8	30,0	26,2	[4]
Smrekové drevo	24,3-25,7	45,5-47,1	29,5-32,4	[5]
Smrekové drevo	29,01	46,7	26,22	[6]
Dubové drevo	26,99	47,93	22,35	[6]
Topoľ biely	14,94	55,78	20,20	[7]



Tabuľka 2 Obsah prchavých látok, viazaného uhlíka a popola v rôznych druhoch lignocelulózných materiálov

Table 2 Content of volatile matters, fixed carbon and ash in different types of lignocellulosic materials

Materiál	Prchavé látky [%]	Viazaný uhlík [%]	Popol [%]	Zdroj
Tymián	75,04	16,00	8,96	[8]
Škrupiny z vlašského orecha	82,98	16,12	0,9	[8]
Bambus	80,30	15,20	4,50	[9]
Borovicové drevo	84,7	15,0	0,3	[10]
Smrek	86,50	13,27	0,23	[11]
Breza	89,46	10,26	0,28	[11]

Dôležitými parametrami, ktoré vypovedajú o plamennom horení je čas do jeho iniciácie a čas do jeho terminácie. Počas meraní na kónickom kalorimetri sa najčastejšie používa vizuálne stanovenie. To je pre iniciáciu plamenného horenia pomerne presné, avšak v spojitosti s jeho termináciou môže byť komplikované. Tento príspevok si preto kladie za cieľ oboznámiť čitateľa s rôznymi metódami určenia času dohorenia vzorky plameňom a ich porovnanie v prípade horenia smrekového dreva.

Možnosti stanovenia času ukončenia Plamenného horenia

Ako už bolo spomenuté, základnou možnosťou stanovenia času do ukončenia plamenného horenia je meranie na základe vizuálneho pozorovania. Obsluha pri ňom sleduje priebeh skúšky a manuálne označí moment, kedy plameň zhasne. Pri meraniach v tomto prípade nie je potrebné sledovať iné parametre. Keďže však niektoré horľaviny (napr. lignocelulózne materiály) horia homogénne aj heterogénne môže byť určenie času do ukončenia plamenného horenia značne problematické.

Kamikawa et al. popisujú, že čas do zapálenia je možné určiť na základe vizuálneho pozorovania, čas do ukončenia plamenného horenia pri poklese HRR pod 50 kW.m⁻² a čas dohorenia vzorky pri poklese pod 10 kW.m⁻². [12] Takýto prístup umožňuje



charakterizovať ukončenie plamenného horenia objektívnejšie. Nevýhodou však je, že rýchlosť uvoľňovania tepla môže vo fáze dohorievania vzorky pulzovať okolo $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, čo je v zmysle uvedeného spôsobu stanovenia, možné chápať, ako striedanie homogénneho a heterogénneho horenia.

Za predpokladu, že je efektivita spaľovania je vyššia pri plamennom ako pri bezplamennom horení, čo popisujú napríklad Ward a Hardy, je možné sledovať znižovanie intenzity plamenného horenia na základe pomeru medzi produktami dokonalého a nedokonalého horenia. Spomínaní autori uvádzajú, že pre plamenné horenie je efektivita spaľovania medzi 80 % - 95 % a pre bezplamenné horenie medzi 50 % - 80 %. [13] Možno ju vypočítať na základe pomeru množstva uhlíka uvoľňovaného vo forme oxidu uhličitého k celkovému množstvu uvoľneného uhlíka [14]:

$$CE = \frac{[C]_{CO_2}}{[C]_{CO_2} + [C]_{CO} + [C]_{HC} + [C]_{PC}} \quad (1)$$

kde CE je efektivita spaľovania, $[C]_{CO_2}$ je množstvo uhlíka uvoľneného v CO_2 , $[C]_{CO}$ je množstvo uhlíka uvoľneného v CO, $[C]_{HC}$ je množstvo uhlíka uvoľneného v uhľovodíkoch a $[C]_{PC}$ je množstvo uhlíka uvoľneného v uhlíkatých časticiach.

Keďže je hlavným produktom nedokonalého horenia uhlíka CO a produktom jeho dokonalého horenia CO_2 , efektivitu spaľovania možno vyjadriť aj pomocou nich. V literatúre sa uvádza pre biomasu vzťah [14]:

$$CE = \frac{[C]_{CO_2}}{[C]_{CO_2} + [C]_{CO}} - 0,18 \quad (2)$$

0,82

MATERIÁL A METODIKA

Na porovnanie rôznych metód stanovenie času do ukončenia plamenného horenia bola použitá vzorka smrekového dreva, ktorá bola pred meraním vysušená do konštantnej vlhkosti pri teplote $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Vzorka mala štvorcový tvar s rozmermi $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ a hrúbkou $18,5 \text{ mm}$. Hmotnosť vzorky bola $90,34 \text{ g}$. Jej zloženie v suchom stave bolo nasledovné:



- prchavé látky: 87,61 %
- viazaný uhlík: 12,17 %
- popol: 0,22 %

Horenie vzoriek bolo sledované pomocou kónického kalorimetra. Tepelný tok pôsobiaci na povrch vzorky predstavoval $50 \pm 0,5 \text{ kW.m}^{-2}$ a meranie prebiehalo za prítomnosti iskrového iniciátora v horizontálnej polohe. Podmienky merania sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Okolité podmienky počas meraní na kónickom kalorimetri

Table 3 Ambient conditions during measurements on a cone calorimeter

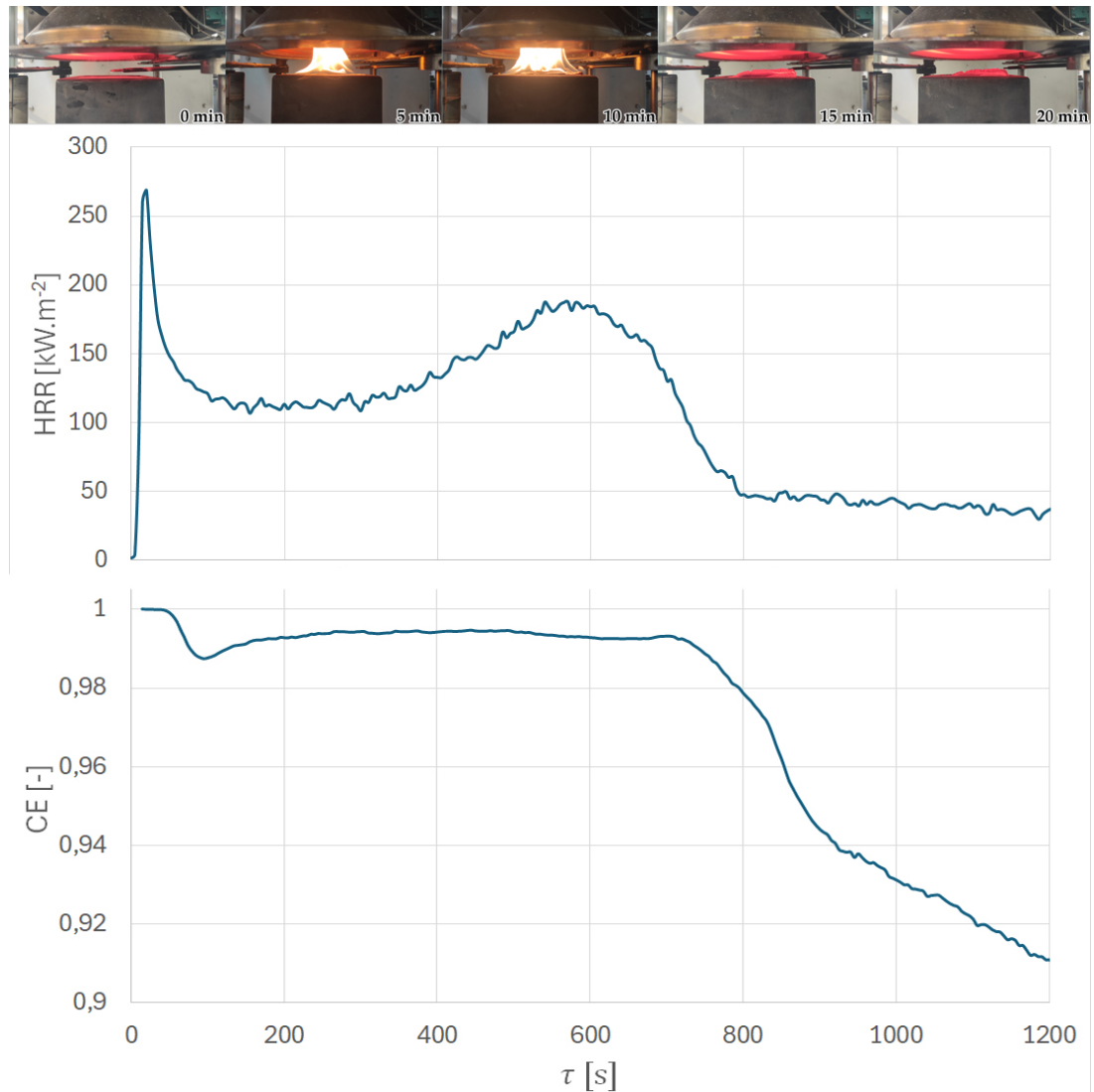
Vlhkosť vzduchu [%]	36
Teplota vzduchu [°C]	23
Atmosférický tlak [Pa]	99067

VÝSLEDKY

Porovnanie jednotlivých metód stanovenia času do ukončenia plamenného horenia je znázornené na obrázku 2. Fáza prechodu homogénneho horenia vzorky na jej heterogénne horenie bola medzi 700 s a 900 s. V prípade vizuálneho stanovenia bolo viditeľný postupný pokles výšky plameňa a jeho zmena z jedného turbulentného na viacero menších laminárnych plamienkov. Na priebehu rýchlosti uvoľňovania tepla je badateľný jej postupný pokles. Heterogénne horenie zuhoľnateného zvyšku postupne prevládalo nad homogénnym horením prchavých produktov. Účinnosť spaľovania v tejto fáze rýchlo klesala v dôsledku poklesu množstva produkovaného CO_2 a nárastu množstva produkovaného CO. Vo všetkých prípadoch je možné určiť bod, v ktorom bezplamenné horenie začína prevládať.

Mierne špecifickým prípadom je efektivita spaľovania. Vzorka nedosiahla už spomínanú hranicu 80 %, ktorú za prechod medzi homogénnym a heterogénnym horením

považujú Ward a Hardy. [13] Napriek tomu je pokles zreteľný. Bod zlomu je možné určiť ako peak prvej derivácie uvedenej krivky (metóda A), alebo ako stredná hodnota efektivity spaľovania pri homogénnom a pri heterogénnom horení (metóda B). Pre lepšiu ilustráciu boli využité obe tieto metódy.



Obrázok 2 Porovnanie spôsobov určenia času ukončenia plamenného horenia

Figure 2 Comparison of methods for determining the flame-out time



Získané výsledky sú uvedené v tabuľke 4. Priemerný určený čas je 823 s a variačný koeficient predstavuje 2,73 %. Najkratší čas bol určený na základe rýchlosti uvoľňovania tepla a naopak najdlhší metódou A vychádzajúcou z efektivity spaľovania.

Tabuľka 4.: Čas do ukončenia homogénneho horenia v závislosti od použitej metódy určenia

Table 4: Flame-out time depending on the used determination method

Vizuálne stanovenie		808 s
Stanovenie na základe rýchlosti uvoľňovania tepla		795 s
Stanovenie na základe efektivity spaľovania	Metóda A	850 s
	Metóda B	840 s

ZÁVER

Čas do ukončenia plamenného horenia je v prípade lignocelulózných materiálov problematické určiť, nakoľko vo fáze dohasínania plameňa dochádza k postupnému prechodu medzi homogénnym a heterogénnym horením. Pri meranej vzorke smrekového dreva bola táto fáza zaznamenaná v čase približne od 700 s do 900 s.

Každá z uvedených metód určovania času terminácie homogénneho horenia má svoje klady a zápory a vzhľadom na mierne rozdiely v získaných výsledkoch je nevyhnutné uvádzať akým spôsobom bol tento čas určený.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporená agentúrou VEGA pre projekt VEGA 1/0678/22. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-21-0187.



ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] IMLIMTHAN, Surachet, et al. Introduction to lignocellulosic materials. In: Lignin-Based Materials for Biomedical Applications. Elsevier, 2021. p. 1-34.
- [2] HERNÁNDEZ-BELTRÁN, Javier Ulises, et al. Insight into pretreatment methods of lignocellulosic biomass to increase biogas yield: current state, challenges, and opportunities. *Applied sciences*, 2019, 9.18: 3721.
- [3] QU, Tingting, et al. Experimental study of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose, and lignin. *Industrial & engineering chemistry research*, 2011, 50.18: 10424-10433.
- [4] JUNG, Suk-Jun; KIM, Seung-Hyun; CHUNG, Ill-Min. Comparison of lignin, cellulose, and hemicellulose contents for biofuels utilization among 4 types of lignocellulosic crops. *Biomass and bioenergy*, 2015, 83: 322-327.
- [5] BERTAUD, Frédérique; HOLMBOM, Bjarne. Chemical composition of earlywood and latewood in Norway spruce heartwood, sapwood and transition zone wood. *Wood Science and Technology*, 2004, 38: 245-256.
- [6] SIKORA, Adam, et al. Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. *Journal of wood Science*, 2018, 64: 406-416.
- [7] GÖKKAYA, Dilek Selvi, et al. Hydrothermal gasification of the isolated hemicellulose and sawdust of the white poplar (*Populus alba* L.). *The Journal of Supercritical Fluids*, 2020, 162: 104846.
- [8] ÖZYUĞURAN, Ayşe; YAMAN, Serdar. Prediction of calorific value of biomass from proximate analysis. *Energy Procedia*, 2017, 107: 130-136.
- [9] DUTTA, P. P., et al. Down draft gasification modelling and experimentation of some indigenous biomass for thermal applications. *Energy Procedia*, 2014, 54: 21-34.
- [10] ANCA-COUCÉ, Andrés, et al. Smouldering of pine wood: Kinetics and reaction heats. *Combustion and Flame*, 2012, 159.4: 1708-1719.
- [11] BACH, Quang-Vu, et al. Comparative assessment of wet torrefaction. *Energy & Fuels*, 2013, 27.11: 6743-6753.



- [12] KAMIKAWA, Daisuke, et al. Evaluation of combustion properties of wood pellets using a cone calorimeter. *Journal of wood science*, 2009, 55: 453-457.
- [13] WARD, Darold E.; HARDY, Colin C. Smoke emissions from wildland fires. *Environment international*, 1991, 17.2-3: 117-134.
- [14] FERREK, Ronald J., et al. Emission factors of hydrocarbons, halocarbons, trace gases and particles from biomass burning in Brazil. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 1998, 103.D24: 32107-32118.



ZISŤOVANIE TEPLoty UHOĽNATENIA DREVA POMOCOy SOFTVÉRU ANSYS DETERMINATION OF CHARNING TEMPERATURE OF WOOD USING ANSYS SOFTWARE

Vivianna RÉDVAIOVÁ¹ - Dominik ŠPILÁK¹

¹Technická univerzita vo Zvolene, Ul. T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika, xredvaiova@is.tuzvo.sk, xspilakd@is.tuzvo.sk

Abstract

The aim of the article was to determine the charring temperature of wood using a computer model. The methodology of the work consisted in performing a real medium-scale fire test as a basis for creating a computer model. The T-history method was used to refine the outputs from the computer model. Outputs of the computer modelling were compared with real medium-scale fire tests using the coefficient of determination. The result showed the importance of modification of the material input data. Based on the comparison of the real medium-scale fire tests and the computer modelling the charring temperature of the wood was found to be 299.2 °C with a standard deviation of 3.09 °C with the coefficient of determination 0.9686 %.

Keywords: *finite element analysis, ANSYS, medium scale test, charred layer.*

ÚVOD

V súčasnosti sa počítačové modelovanie založené na analýze konečných prvkov (FEA) čoraz viac podieľa na navrhovaní budov, v materiálovom navrhovaní konštrukcií a v skúšobníctve, čo poskytuje niekoľko výhod. FEA sa používajú na vykonávanie modelov, simulácií a poskytujú používateľovi predstavu o tom, ako sa pravdepodobne bude materiál alebo konštrukcia správať pri určitom zaťažení. Základnou podmienkou pre porovnanie výsledkov z experimentálnych testov alebo praxe s výsledkami z FEA je



kvalita vstupných údajov. Ako uvádza Wald a kol. (2017), jednou z nevýhod softvérov na báze FEA je ťažká dostupnosť vstupných údajov, najmä materiálových a požiarных charakteristík.

V prípade modelovania správania sa nehomogénnych materiálov akými je drevo, sú zásadným problémom materiálové vlastnosti, ktoré sú rozdielne nie len v rôznych smeroch, ale aj v jednom smere. Významným faktorom je aj obsah vlhkosti, ktorý kompletne mení vlastnosti dreva a zaťažuje výsledky práce výraznou chybou (Wald, 2017, Hu, 2023). Správna implementácia vstupných údajov, má mimoriadne dôležitý vplyv na simuláciu tvorby uhoľnatej vrstvy a vrstvy degradovaného dreva a na stanovenie požiarnej odolnosti drevených konštrukčných prvkov. Podľa mnohých autorov (Bartlett, a kol. 2019, Frangi 2001, Janssens, 1994, White, 2010, König, 2000, Gerhards, 1982) pevnosť dreva v tlaku a modul pružnosti dramaticky klesá z max. hodnoty takmer na nulu s rastúcou teplotou až do teploty 300°C. Je preto veľmi dôležité poznať správnu hodnotu teploty uhoľnatenia dreva, aby sa tak predišlo podhodnoteniu požiarnej odolnosti alebo naopak jej nadhodnoteniu.

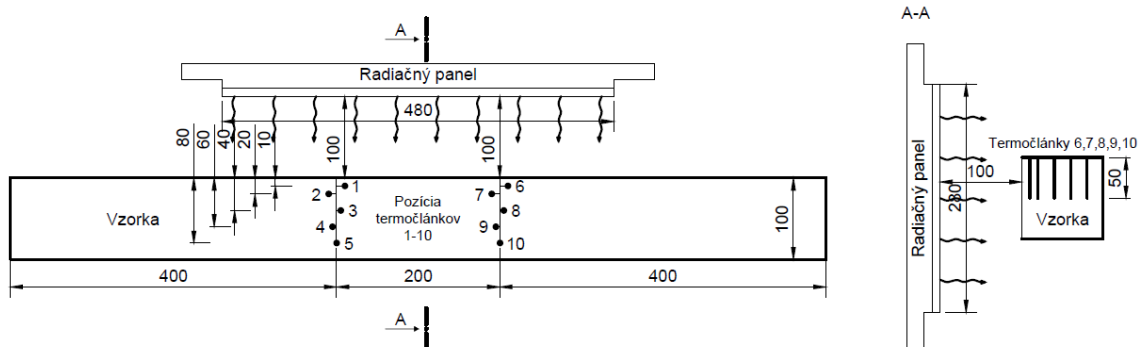
Cieľom príspevku je preto s pomocou optimalizácie nastavení materiálových vlastností počítačového modelu popisujúceho prenos tepla v drevenom nosníku zaťaženom tepelným namáhaním stanoviť teplotu uhoľnatenia dreva.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Metodika práce pozostávala z dvoch častí. Prvou časťou bolo vykonanie strednorozmerového testu dreveného nosníka zo smrekového dreva zaťaženého sálavým zdrojom tepla. Cieľom testu bolo získanie informácií o teplotných priebehoch vo vnútri nosníka počas skúšky, získanie informácií o počiatkovej hustote a vlhkosti dreveného nosníka, a zistenie plochy uhoľnatej vrstvy. Druhou časťou bolo vytvorenie modelu konečných prvkov (MKP) a vykonanie simulácie dreveného nosníka zaťaženého sálavým zdrojom tepla a zistenie teploty uhoľnatenia dreva.

Strednorozmerový test

Teplotné profily v čase boli vyhodnotené na základe strednorozmerovej požiarnej skúšky. Na strednorozmerové skúšky boli použité drevené trámy smreka obyčajného (*Picea abies*) s rozmermi 100x100x1000 mm. Priemerná hustota a vlhkosť bola stanovená gravimetrickou metódou zo 6 vzoriek s rozmermi 100x100x100 mm z toho istého kmeňa stromu zo strednorozmerových požiarnych skúšok. Strednorozmerovej skúške boli podrobené dve testované vzorky po dobu 60 minút. Počas testu sa snímali teplotné priebehy na vopred určených miestach testovanej vzorky (obr. 1). Priebehy teplôt boli snímané pomocou termočlánkov NiCr-Ni (Omega Engineering Inc., Norwalk, CT, USA) s rozsahom merania $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+1200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Celkom 10 termočlánkov v 2 skupinách bolo umiestnených na vopred definovaných miestach v strede vzorky v hĺbke 50 mm pre každú vzorku. Termočlánok T1 a T6 mal hĺbku 10 mm od exponovanej strany, T2 a T7 20 mm, T3 a T8 40 mm, T4 a T9 60 mm, T5 a T10 80 mm.



Obrázok 1 Pozícia termočlánkov v testovanej vzorke

Figure 1 Positions of thermocouples in test samples

Na zaznamenávanie teplôt sa použil AHLBORN ALMEMO 2290-8710 V7 (Ahlborn Messund Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Germ). Skúšobné vzorky boli zaťažované radiačným panelom umiestneným 100 mm od skúšobnej vzorky. Veľkosť radiačnej plochy bola 480x280 mm. Zdrojom energie keramického radiačného panela bol plyný propán-bután s konštantným prietokom $15\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

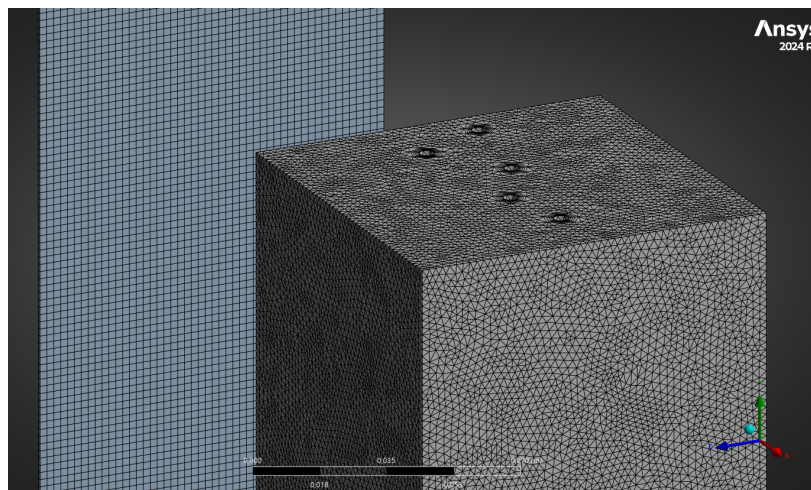
Model konečných prvkov

MKP bol zjednodušený na proces prenosu tepla materiálom a dosiahnutie teploty zuhoľnatenia pomocou nestacionárnej teplotnej analýzy (angl. „Transient Thermal



Analysis“) (Špilák a Majlingová, 2022b, Špilák a kol., 2022a, Zhang a kol., 2012, Molina a kol., 2012, Couto a kol., 2016) v softvéry ANSYS 2024/R2 (ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA). MKP bol vytvorený v prostredí „SpaceClaim“ (ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA) a bol zjednodušený na prostú kocku s rozmerom strany 100 mm a otvormi pre termočlánky. Na vytvorenie siete konečných prvkov (obr. 2) bola využitá kombinácia funkcií „Patch Conforming Method“ a „Inflation“ na vytvorenie jemnejšej siete v okolí otvorov. Bola využitá tetragonálna sieť s veľkosťou elementov 2 mm.

Prenos tepla medzi radiačným panelom a vzorkou bol vytvorený manuálne a pozostával z vedenia, prúdenia a sálania. Celkové nastavenie okrajových podmienok bolo uskutočnené tak, aby čo najlepšie zodpovedali reálnemu strednorozmerovému testu. Teploty zo simulácií boli zaznamenané funkciou „Priemerná teplota“ vo vopred definovaných polohách v otvoroch, rovnako ako pri reálnych požiarňach skúškach. Validácia MKP bola vykonaná na základe teplotných kriviek, ktoré boli namerané termočlánkami. Východiskovým bodom pre validáciu MKP bolo porovnanie výsledkov z reálnych požiarňach skúšok a simulácií.



Obrázok 2 Model konečných prvkov

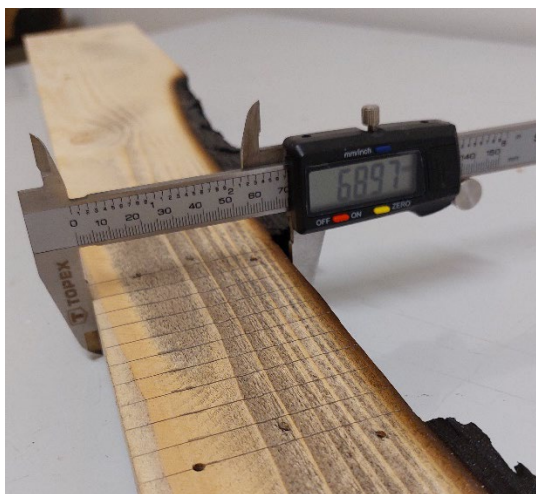
Figure 2 Finite element mesh



Do vytvoreného modelu boli vložené materiálové charakteristiky dreva v kombinácii hustota, tepelná vodivosť a entalpia. Všetky vlastnosti boli závislé od teploty. Hustota dreva bola prepočítaná na základe Eurokódu 5. Počiatočná hustota dreva bola zadaná na základe výsledkov meraní hustoty pomocou gravimetrickej metódy. Počiatočná krivka tepelnej vodivosti vychádzala z Eurokódu 5 a bola upravená podľa Çavuş a kol. (2019), pri teplote fázovej zmeny vody boli použité nastavenia podľa Chen (2019) a Mathur a kol. (2020). Teploty, pri ktorých dochádza k fázovej premene vody v dreve boli zistené zo získaných teplotných kriviek zo strednorozmerových skúšok pomocou „T-history method“ podľa Zhanga a kol. (2020). Na tento účel bol použitý softvér MATLAB R2023b (The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, USA). Entalpia bola rátaná pomocou hmotnostnej tepelnej kapacity podľa Nasera (2019).

Stanovenie teploty uhoľnatenia dreva

Po skončení strednorozmerových skúšok sa testované vzorky pozdĺžne rozrezali na 3 časti, pričom hĺbka zuhoľnatenia sa odmerala zo stredového výrezu v oblasti medzi termočlánkami o dĺžke 10 cm, z ktorej sa očistila zuhoľnatená vrstva dreva. Po očistení sa pomocou digitálneho posuvného meradla odmerala nezuhoľnatená zvyšná časť dreva (obr. 3). Každá vzorka sa odmerala v 11 bodoch a to každý jeden centimeter. Z hodnôt, ktoré sa namerali sa urobila priemerná hodnota. Tá sa odčítala od 100 mm a tým sa získala hĺbka zuhoľnatenia dreva.



Obrázok 3 Meranie nezuhoľnatej časti dreva

Figure 3 Measurement of the non-charred part of the wood

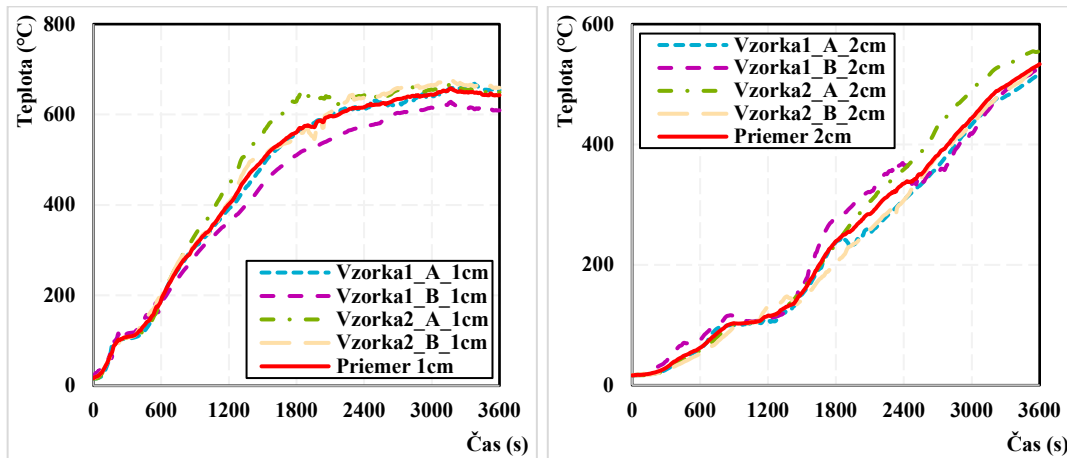


VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priemerná vlhkosť dreva bola pomocou gravimetrickej metódy stanovená na hodnotu 11,65 % so smerodajnou odchýlkou 0,37 %. Priemerná hustota dreva pri nulovej vlhkosti bola stanovená na $376,4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ so smerodajnou odchýlkou $19,5 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pri vlhkosti 11,65 % bola priemerná hustota lepeného dreva stanovená na $420,24 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ so smerodajnou odchýlkou $21,82 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

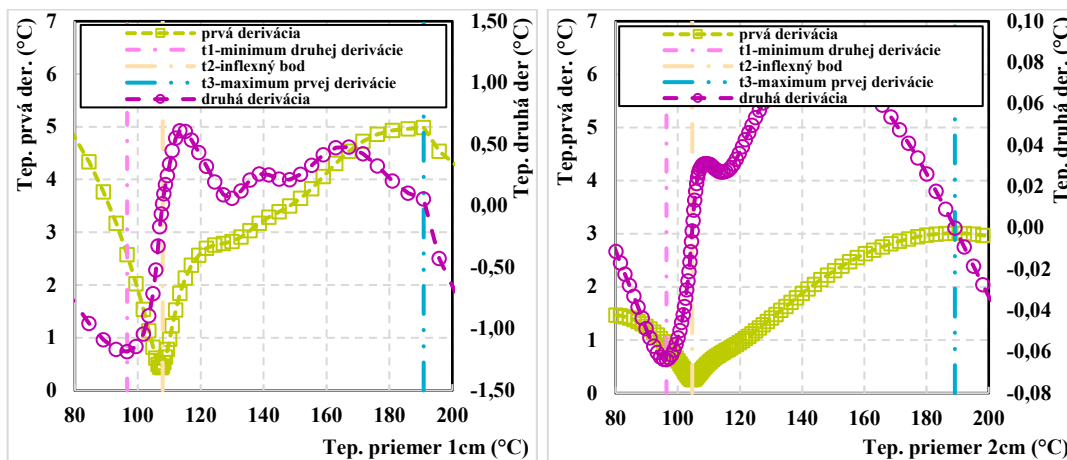
Výsledky zo strednorozmerových testov drevených nosníkov boli spracované vo forme grafov, pre každú hĺbku bol spracovaný samostatný graf so stanovenou priemernou hodnotou a smerodajnou odchýlkou. V hĺbke 1 cm bola priemerná smerodajná odchýlka $53,4 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 cm $14,6 \text{ }^\circ\text{C}$, 4 cm $2,6 \text{ }^\circ\text{C}$, 6 cm $4,3 \text{ }^\circ\text{C}$ a 8 cm $1,6 \text{ }^\circ\text{C}$. Pri analýze teplotných priebehov bolo viditeľné, že k fázovej zmene vody obsiahnutej v dreve došlo iba v hĺbke 1 a 2 cm (obr. 4). Tieto teplotné krivky boli použité pri zistení začiatku a konca fázovej premeny podľa T-history metódy podľa Zhanga a kol. (2020).

Aby bolo možné s teplotnými profilmi lepšie pracovať, priemerné hodnoty boli v softvéri MATLAB upravené pomocou aplikácie „Data Cleaner“. Pre vyhladenie krivky bola použitá funkcia „Smooth Data“ s parametrami „Local quadratic regression“ s 0,05 „Smoothing factor“. Cieľom bolo vyhladiť krivky aby bolo možné určiť inflexné body, minimum druhej derivácie a maximum prvej derivácie. Následne boli vyhotovené krivky prvej a druhej derivácie pre teplotné profily v hĺbke 1 a 2 cm z ktorých boli pomocou softvéru MATLAB zistené minimum druhej derivácie (t_1), inflexný bod (t_2) a maximum prvej derivácie (t_3). Pre teplotný profil v hĺbke 1 cm bolo $t_1 \text{ } 96,6 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 \text{ } 107,9 \text{ }^\circ\text{C}$ a $t_3 \text{ } 190,9 \text{ }^\circ\text{C}$ a pre teplotný profil v hĺbke 2 cm bolo $t_1 \text{ } 96,3 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_2 \text{ } 104,6 \text{ }^\circ\text{C}$ a $t_3 \text{ } 189,1 \text{ }^\circ\text{C}$ (obr. 5).



Obrázok 4 Porovnanie teplotnočasových kriviek zo strednorozmerových testov v hĺbke 1 a 2 cm

Figure 4 Comparison of time-temperature curves from medium-scale tests at a depth of 1 and 2 cm

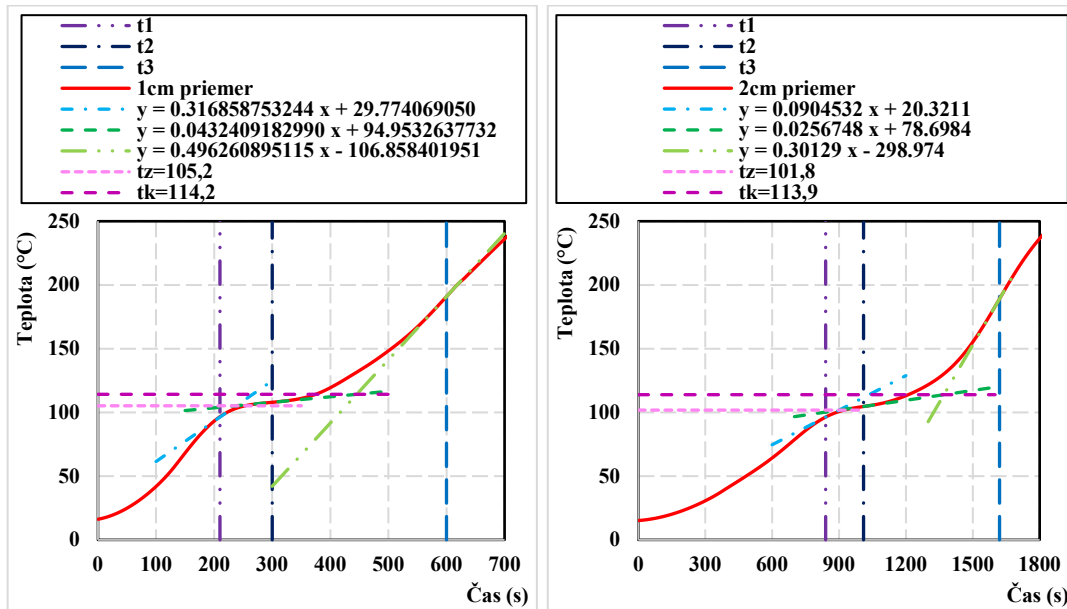


Obrázok 5 Graf prvej a druhej derivácie pre hĺbku 1 a 2 cm

Figure 5 Graph of the first and second derivatives for a depth of 1 and 2 cm

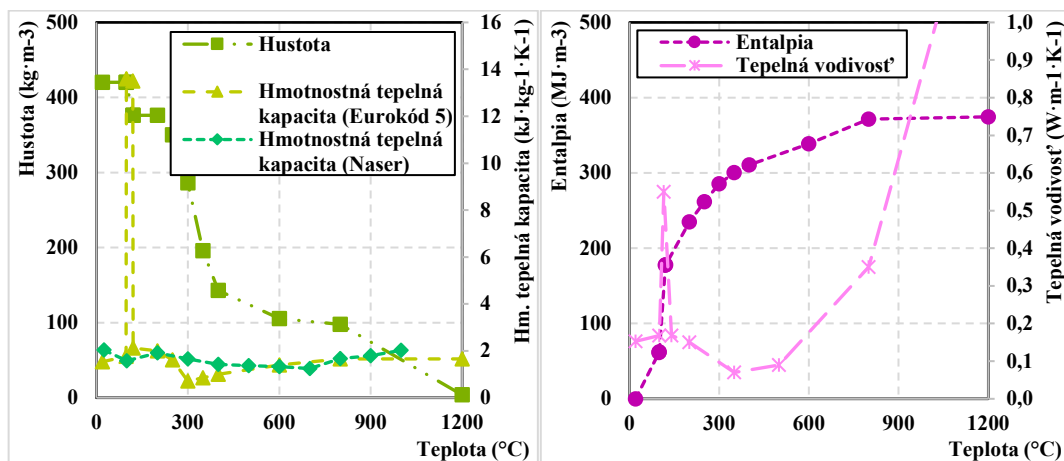
Boli vygenerované dotyčnice bodov $y = 0,316858753244 \cdot x + 29,774069050$, $y = 0,0432409182990 \cdot x + 94,9532637732$, $y = 0,496260895115 \cdot x - 106,858401951$ pre hĺbku 1 cm a $y = 0,0904532 \cdot x + 20,3211$, $y = 0,0256748 \cdot x + 78,6984$, $y = 0,30129 \cdot x - 298,974$ pre hĺbku 2 cm. Pomocou priesečníkov dotyčníc boli stanovené teploty začiatku a konca fázovej premeny. Pre hĺbku 1 cm boli hodnoty stanovené na 105,2 °C a 114,2 °C a pre hĺbku 2 cm na 101,8 °C a 113,9 °C (obr. 6). Priemerné hodnoty boli 103,5 °C

a 114,05 °C. Zistené hodnoty boli použité pri úprave vstupných hodnôt počítačového modelu.



Obrázok 6 Stanovenie počiatkovej a koncovej teploty odparovania vody z dreva v hĺbke 1 a 2 cm

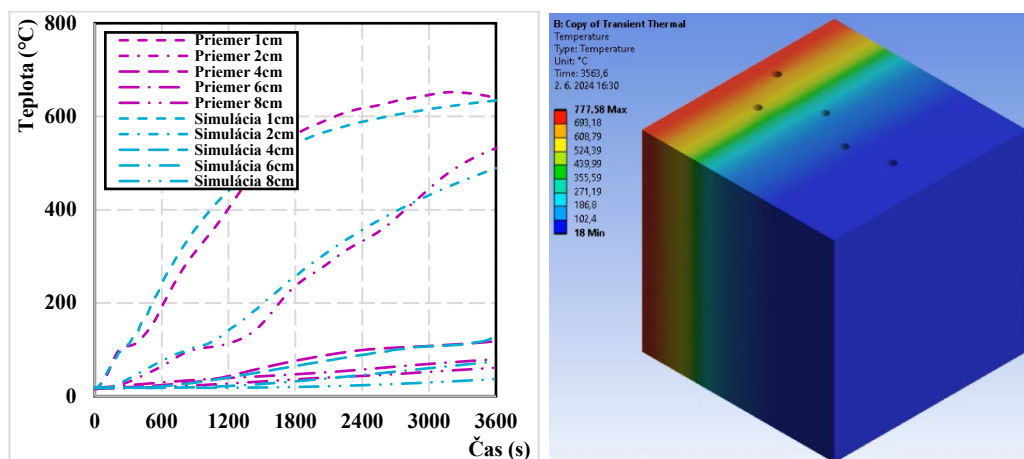
Figure 6 Determination of the initial and final temperature of water evaporation from wood at a depth of 1 and 2 cm



Obrázok 7 Vstupné údaje o hmotnostnej tepelnej kapacite a hustote

Figure 7 Specific heat and density input data

Následne boli do modelu implementované materiálové charakteristiky o tepelnej vodivosti, hustote a entalpii (obr. 7) upravené pomocou zisteného intervalu fázovej premeny vody v dreve. Po skončení simulácie boli výsledné hodnoty získané zo simulácie porovnané so strednorozmerovými testami (obr. 8). Výstupom simulácie boli záznamy o teplote spracované v grafickej podobe a bol vytvorený teplotný profil vzorky. Presnosť simulácie bola stanovená pomocou koeficientu spoľahlivosti (R2) v softvéri MATLAB. Pri porovnaní výsledkov je vidieť relatívne vysokú zhodu medzi reálnym testom a simuláciou. Koeficient spoľahlivosti bol stanovený na hodnotu 96,86 % so smerodajnou odchýlkou 1,216 %. Z výsledkov je viditeľné, že pripravený model a úprava nastavení pomocou T-history metódy priniesla kvalitné výstupy, pričom model zachytil aj fázu odparovania vody.



Obrázok 8 Porovnanie reálnych testov s výsledkami simulácie

Figure 8 Comparison of real tests with simulation results

Z reálnych testov bola hĺbka zuhoľnatenia stanovená na 28,83 mm so smerodajnou odchýlkou 0,49 mm. Pri stanovení hĺbky zuhoľnatenia bola kľúčová teplotná izoterma, ktorá určovala hranicu zuhoľnatenia. V simulácii zodpovedá rovnaká hĺbka zuhoľnatenia teplote 299,2 °C, čo je len o málo menej ako definuje Eurokód 5. Keďže simulácia pracovala s presnosťou 96,86 %, je potrebné sa aj na túto hodnotu pozeráť s určitou štatistickou odchýlkou, ktorá predstavuje 3,09 °C. Výsledná hodnota teploty uhoľnatenia je preto 299,2 °C s odchýlkou 3,09 °C.



ZÁVER

Hlavným cieľom článku bolo zistenie teploty uhoľnatenia dreva pomocou softvéru ANSYS. Pre splnenie hlavného cieľa boli vykonané strednorozmerové požiarne skúšky drevených konštrukčných prvkov vystavených sálavému zdroju tepla, zistila sa ich vlhkosť a hustota vzoriek. Po skončení skúšok boli vzorky pozdĺžne rozrezané, odstránila sa zuhoľnatená vrstva a zistila sa hĺbka zuhoľnatenia. Výsledky z reálnych testov sa štatisticky spracovali a na ich základe bol vytvorený MKP v softvéru ANSYS. Vykonali sa simulácie a porovnávala sa hĺbka zuhoľnatej vrstvy z reálnych testov a z výsledkov simulácií. Následne bola stanovená teplota zuhoľnatenia pomocou výsledkov simulácií. Teplota uhoľnatenia bola nami stanovená na hodnotu 299,2 °C s odchýlkou 3,09 °C.

Presnosť simulácií by sa dala spresniť vykonaním väčšieho množstva strednorozmerových skúšok. Ďalšie spresnenie výsledkov by sa dalo dosiahnuť získaním nových vstupných údajov týkajúcich sa materiálových charakteristík dreva, a to predovšetkým hustoty, tepelnej vodivosti a hmotnostnej tepelnej kapacity.

POĎAKOVANIE

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-22-0030.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

1. BARTLETT, A.I. – R.M. HADDEN –L.A. BISBY, A Review of Factors Affecting the Burning Behaviour of Wood for Application to Tall Timber Construction. *Fire Technology*, 2019. 55(1): p. 1-49. DOI: 10.1007/s10694-018-0787-y.
2. ÇAVUS, V. a kol., Determination of Thermal Conductivity Properties in Some Wood Species Obtained from Turkey. *Bioresources*, 2019. 14(3): p. 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
3. CHEN, H.Y. a kol., Thermal Conductivity during Phase Transitions. *Advanced Materials*, 2019. 31(6). DOI: 10.1002/adma.201806518.



4. COUTO, D.L.P. a kol., Perforated cellular wooden slabs under fire: Numerical and experimental approaches. *Journal of Building Engineering*, 2016. 8: p. 218-224. DOI: 10.1016/j.jobbe.2016.10.007.
5. FRANGI, A., *Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken*. 2001, Birkhäuser.
6. GERHARDS, Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: An analysis of immediate effects. *Wood and Fiber*, 1982. 14.
7. HU, Y.P. a kol., Experimental Study of the Anisotropic Thermal Conductivity of Spruce Wood. *International Journal of Thermophysics*, 2023. 44(8). DOI: 10.1007/s10765-023-03238-7.
8. JANSSENS, M.L. – R.H. WHITE, Short communication: Temperature profiles in wood members exposed to fire. *Fire and Materials*, 1994. 18(4): p. 263-265. DOI: <https://doi.org/10.1002/fam.810180410>.
9. KÖNIG, J., *Timber frame assemblies exposed to standard and parametric fires. Part 2 A design model for standard fire exposure*. 2000.
10. MATHUR, V. – P.K. ARYA, - K. SHARMA. *Estimation of activation energy of phase transition of PVC through thermal conductivity and viscosity analysis*. in *International Conference on Innovations in Technology, Management and Design for Achieving Sustainable Development Goals - Materials Science (ICSDBG)*. 2020. Jaipur, INDIA.
11. MOLINA, J. a kol., Análise Numérica do Comportamento de Elementos de Madeira em Situação de Incêndio. *Floresta e Ambiente*, 2012. 19: p. 162-170. DOI: 10.4322/loram.2012.019.
12. NASER, M. Z. (2019). "Properties and material models for common construction materials at elevated temperatures." *Construction and Building Materials*, 215, 192-206.
13. ŠPILÁK, D. – A. MAJLINGOVÁ, Progressive Methods in Studying the Charred Layer Parameters Change in RELATION TO WOOD MOISTURE CONTENT. *POLYMERS*, 2022b. 14(22). DOI: 10.3390/POLYM14224997.



14. ŠPILÁK, D. a kol., Determining the charred layer of wooden beams with finite element analysis based on enthalpy approach. *Buildings*, 2022a. 12(7). Doi: 10.3390/buildings12070875.
15. STN EN 1995-1-2: 2008, Eurokód 5. Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-2, Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru (73 1701). Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2008, 72 s.
16. WALD, F. a kol., *Modelování dynamiky požáru v budovách*. 2017: České vysoké učení technické v Praze.
17. WHITE, R.H. – M. DIETENBERGER, Fire safety of wood construction. *Forest Products Laboratory. Wood Handbook- Wood as an Engineering Material*, 2010: p. 1-17.
18. ZHANG, J. a kol., A numerical study on fire endurance of wood beams exposed to three side fire. *Journal of Zhejiang University-Science A*, 2012. 13(7): p. 491-505. DOI: 10.1631/jzus.A1200022.
19. ZHANG, Y.Y.C. a kol., Derivation of thermal properties of phase change materials based on T-history method. *Journal of Energy Storage*, 2020. 27. DOI: 10.1016/j.est.2019.101062.



PRÍPRAVA OBYVATEĽSTVA PRE PRÍPAD LESNÝCH POŽIAROV

EDUCATION OF THE POPULATION FOR FOREST FIRE EVENTS

Daniela RIDZOŇOVÁ^{*1,2} - Andrea MAJLINGOVÁ¹

¹Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology,
Department of Fire Protection, T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia,

xridzonova@is.tuzvo.sk, majlingovais.tuzvo.sk

²Technical University of Ostrava, Faculty of Safety Engineering, Department of Fire
Protection, Lumírova 630/13, 700 30 Ostrava-jih-Výškovice, Česko,

daniela.ridzonova.st@vsb.cz

Abstract

The article deals with the current topic of forest fires from the point of view of population integration in Europe. We took a closer look at specific countries from individual parts of Europe, where it was proven to us, according to the available information, that the number of fires is increasing every year. Vegetation, climate and human activity have an influence on the origin and spread of fires, which is still the most common cause of fires, mostly due to human negligence or intentional arson. Climate change contributes to dry and warm periods, which are suitable conditions for the spread of fire. Next, the article deals with preventive measures that people should do in cases where they have homes and facilities near the forests or perform leisure activities in the forest. Part of the article is also the method of responding to the fire, how population should proceed in cases where they notice a fire, but also in cases when they are threatened by a fire. The education of the population for the emergencies is essential pre-requisite, when we can achieve a rapid intervention of the integrated rescue system services.

Keywords: *Civil protection · Forest fire · Population protection · Climate change*



ÚVOD

Témou článku je pripravenosť obyvateľstva v prípade zvýšeného počtu požiarov vplyvom klimatickej zmeny. Lesy pokrývajú viac ako 30 % suchozemského ekosystému, ktorý predstavuje 4,06 miliardy hektárov na celom svete [1]. V dnešnej dobe lesy plnia mnoho funkcií so zámerom uspokojiť vlastníkov, užívateľov lesa, lesníckej praxe a návštevníkov lesov, čo znamená, že je pod neustálím vplyvom človeka a jeho činností, ale taktiež, ako súčasť krajiny, na les pôsobí biotické a abiotické činitele [2].

Lesy podliehajú tlaku v dôsledku faktorov klimatickej zmeny, čo následne ovplyvňuje rastliny a živočíchy žijúce v lese. Vysoké teploty počas letných mesiacov zabezpečujú vysušenie pôdy a lesných porastov, kedy vlhkosť paliva je veľmi nízka, čo znamená, že vznik lesných požiarov sa od roku 1984 zdvojnásobil [1]. Európa v posledných rokoch je každoročne, hlavne počas letných mesiacov, zasiahnutá lesnými požiarimi, ktoré spôsobujú enormné škody na životoch, zdraví, prírodnom prostredí a majetku [3]. Výskyt lesných požiarov je možné zvládnuť pomocou vhodných prostriedkov a stratégií riadenia. Kde je neodmysliteľnou súčasťou príprava obyvateľov na možný vznik lesných požiarov aj v ich okolí, čo môže mať za následok prenesenia požiaru na obývané územie [1].

Avšak vplyv klimatickej zmeny a jej dopady na vznik lesných požiarov je naďalej nižší ako vznik lesných požiarov vplyvom človeka a jeho úmyselné či neúmyselné konanie. Tento dôvod nám brzdí prisudzovať narastajúcu tendenciu lesných požiarov len meteorologickým podmienkam klimatickej zmeny a vysokým teplotám ovzdušia počas letných mesiacov [2].

Ochrana obyvateľstva pred lesnými požiarimi je dôležitou súčasťou civilnej ochrany a jej potreba je nevyhnutná, čo nám ukazuje zvyšujúci sa trend množstva požiarov hlavne počas letných mesiacov. Mnoho štátov Európy a orgány, ktoré riešia problematiku lesných požiarov, kde môžeme zaradiť prevenciu, či represiu, dávajú menší dôraz práve na pripravenosť obyvateľstva z hľadiska lesných požiarov, čo má negatívne dopady v oboch oblastiach, kedy často krát občania len svojim správaním alebo úkonmi vedú sťažiť zásah hasičov. Preto potreba riešenia tejto problematiky je nevyhnutná [4].



PROBLEMATIKA

Požiarovosť lesného prostredia v Európe

Vznik a intenzita lesných požiarov je podmienená klimatickou zmenou, ktorá zapríčiňuje teplé a suché počasie, čo vytvára ideálne prostredie pre šírenie požiarov. Následky lesných požiarov sú devastujúce, kedy okrem okamžitej straty vegetácie a živočíchov vedú požiare k erózii pôdy, strate biodiverzity a zhoršeniu kvality ovzdušia. V mnohých prípadoch sa lesy, ktoré boli postihnuté požiarom, nedokážu obnoviť na svoju pôvodnú úroveň, čo má dlhodobé ekologické a hospodárske dôsledky.

Len v Európe zasiahnu požiare každý rok viac ako pol milióna hektárov lesa. Pravdou je, že v niektorých prípadoch pre prirodzené vysievanie rastlinných druhov v niektorých ekosystémoch (napr. stredomorských) je potrebný oheň, avšak dôsledky požiarov sú prevažne negatívne, kedy môže viesť k veľkým ekonomickým a environmentálnym škodám, či stratám na životoch [4].

Požiare v lesoch môžu mať rôzne príčiny a sú určené klímou, vegetáciou a priamym vplyvom človeka. Príčiny vzniku požiaru môžeme rozdeliť na prirodzených faktorov, ako sú blesky, a antropogénne faktory, ako je nedbalosť, vypaľovanie porastov alebo úmyselné podpálenie. Klíma sa uznáva ako hlavný determinant požiarneho vzorcu v globálnom meradle. Avšak okolo 95 % európskych lesných požiarov sú spôsobené ľudskou činnosťou.

Požiarovosť lesného prostredia sa stáva čoraz vážnejším problémom, ktorý si vyžaduje pozornosť a opatrenia na jeho zmiernenie [4].

Krajiny EÚ sa snažia reagovať na rastúci problém s lesnými požiarom prostredníctvom rôznych opatrení. Rýchlejšiu reakciu na vznik požiaru v prírodnom prostredí zabezpečuje systém monitorovania a včasného varovania. Zároveň sa prikladá dôraz na osvetovú činnosť, cieľom ktorej zvyšovať povedomie verejnosti o prevencii požiarov a o bezpečnom správaní v lesoch. Mnohé vyspelé krajiny EÚ tiež investujú do technológií a vybavení na hasenie požiarov a monitorovanie postihnutého územia, aby mohli zabezpečiť efektívnu reakciu na vznik mimoriadnych udalostí v prírodnom prostredí [5].



Lesné požiare sa vyskytujú vo väčšine krajín EÚ, aj napriek rozmanitosti ekosystémov. Európu môžeme rozdeliť do štyroch základných oblastí a to na Strednú Európu, Východnú Európu, Západnú Európu a Južnú Európu [6].

Popis požiarnej situácie vo vyššie vymedzených oblastiach je predmetom tohto článku.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Predmetom realizovanej výskumnej časti bola analýza a syntéza poznatkov v požiarovosti a postupoch používaných orgánmi krízového riadenia a civilnej ochrany pri príprave obyvateľstva na sebazáchranu a poskytovanie vzájomnej pomoci počas mimoriadnych udalostí, medzi ktoré patria aj požiare v prírodnom prostredí, resp. lesné požiare.

Objektom výskumu sú vybrané krajiny, ktoré reprezentujú jednotlivé časti Európy, konkrétne Rakúsko, Bulharsko, Švédsko, Grécko, Belgicko.

Analýzy boli vykonané na základe údajov a informácií získaných z domácej a zahraničnej vedeckej a odbornej literatúry. Zahraničné vedecké práce týkajúce sa predmetných výskumných tém boli identifikované v databázach Web of Science, Scopus, Science Direct a prostredníctvom kľúčových slov „wildfire“, „forest fire“, „population protection“, „education and training in civil protection“, „Europe“, „adaptation to climate change“, „climate change“.

Na základe poznatkov o postupoch používaných pri príprave obyvateľstva na sebazáchranu a poskytovanie vzájomnej pomoci boli stanovené všeobecné postupy pre európske krajiny, ktoré sú predstavené v podkapitole „príprava obyvateľstva na sebazáchranu a poskytovanie vzájomnej pomoci.“

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Požiarovosť lesného prostredia: Stredná Európa, Rakúsko

Rakúsko ako veľká časť ostatnej EÚ zaznamenalo zvýšený počet požiarov lesa. Rakúsko je alpská krajina v strednej Európe. Celková rozloha krajiny je 8,4 miliónov hektárov, pričom približne 4 milióny hektárov, tvoria lesy a nachádza sa tam 65 rôznych druhov drevín. [6] Požiare v prírode nepredstavujú v súčasnosti významné riziko v



porovnaní s inými prírodnými hrozbami, ako sú búrky alebo škody podkôrným hmyzom. Avšak vplyvom klimatickej zmeny a s ňou spojené zvyšovanie teploty v posledných rokoch ukázali, že rozsiahle požiare by sa v budúcnosti mohli stať veľkým problémom pre krajinu.

Aj v prípade Rakúska medzi hlavné príčiny vzniku požiaru patria ľudské činnosti, častý vznik požiarov majú tiež na svedomí prírodné faktory najmä blesky, ktoré sú príčinou až polovice požiarov počas leta [7].

Rakúska požiarňa databáza eviduje viac ako 5 000 prípadov za posledných 25 rokov, pričom ročne sa zaznamená okolo 200 požiarov s priemernou spálenou plochou 60 hektárov. Väčšina požiarov trvá menej ako jeden deň a zasiahnutá plocha nepresahuje 5 hektárov. Vďaka hustej sieti osídlenia a efektívnejšej činnosti hasičských jednotiek sú požiare rýchlo uhasené. Hasiace práce zabezpečujú jednotlivé obce, ktoré majú k dispozícii vyše 340 000 dobrovoľných hasičov a viac ako 4 500 hasičských zborov. Hustá sieť lesných ciest, ktoré sú vhodné pre ťažké hasičské autá, umožňuje rýchly zásah aj v ťažko prístupných oblastiach [6].

Požiarovosť lesného prostredia: Východná Európa, Bulharsko

Lesné požiare v Bulharsku sú spôsobené viacerými faktormi. Podobne ako v ostatných častiach Európy je jedným z najdôležitejších faktorov je dlhodobé sucho a vysoké teploty počas letných mesiacov, ktoré zvyšuje náchylnosť lesa na vznietenie. Avšak veľká časť požiarov je aj tak dôsledkom ľudskej činnosti, či už ide o nedbalé zaobchádzanie s ohňom, poľnohospodárske spaľovanie alebo úmyselné zakladanie požiarov. V boji proti týmto požiarom sa Bulharsko spolieha na kombináciu preventívnych opatrení, ako sú protipožiarne pásy, hliadky a monitorovanie rizikových oblastí, ako aj na rýchle zásahy hasičských zložiek [6].

Lesné plochy v Bulharsku zaberajú približne 37 % územia krajiny. Z toho 71 % tvoria listnaté a 29 % ihličnaté lesy [6].

Podľa údajov Výkonnej agentúry pre lesy (Ministerstvo poľnohospodárstva, výživy a lesníctva, 2019) bolo v roku 2018 zaznamenaných 222 požiarov na divokom



území, pričom zhorelo odhadom 1 453 hektárov, z toho 19,7 hektára boli korunové požiare [6].

Požiarovosť lesného prostredia: Severná Európa, Švédsko

Lesy vo Švédsku veľkou mierou prispievajú k národnému hospodárstvu, tiež sú dôležitou súčasťou švédskych prírodných ekosystémov a podporujú biodiverzitu. Vzhľadom na relatívne vlhké a chladné podnebie a nízka hustota obyvateľstva je riziko vzniku lesných požiarov nižšie ako v mnohých iných krajinách Európy. Požiare vo Švédsku majú skôr podobu povrchových a prízemných požiarov, ktoré spaľujú korene, rašelinu a iné drevité palivá ležiace. Príčina vzniku požiaru, podobne ako v iných krajinách EÚ, je spôsobovaných ľudskou činnosťou, čo tvorí viac ako 50 % a okolo 7 % požiarov bolo iniciovaných bleskom v období rokov 1998 – 2014 [6].

Očakáva sa, že sucho, ktoré je dôsledkom otepľovania, bude mať vplyv na frekvenciu a rozsah požiarov [6].

Za jeden z najväčších lesných požiarov moderného Švédska môžeme klasifikovať požiar z roku 2014 v grófstve Västmanland. Počas leta, kedy boli vysoké teploty a sucho, príčinou vzniku požiaru boli iskry zo stroja na obrábanie pôdy v lesnom prostredí. Oblasť zasiahnutá požiarom bola o veľkosti 14 000 hektárov. Aktívny bol 18 dní, od 31. júla do 17. augusta 2014 [8].

Od tohto roku lesné požiare vo Švédsku pribúdajú, kedy v roku 2018 sa v mnohých zalesnených oblastiach o veľkosti 21 602 ha lesov po celom švédsku vyskytli viaceré požiare [6].

Požiarovosť lesného prostredia: Južná Európa, Grécko

Grécko v posledných rokoch čelí množstvu lesných požiarov, ktoré si vyžadujú aj medzinárodnú pomoc. Vďaka výborným environmentálnym a meteorologickým podmienkam pre šírenie požiaru, je Grécko každoročne sužované množstvom požiarov [9].

Mnoho zainteresovaných osôb v prípade prevencie a represie lesných požiaroch preferuje skôr konkrétne riešene ako širokospektrálnu stratégiu.[9] V období rokov 1980



– 2018 postihlo Grécko celkovo 56 043 požiarov, čo predstavuje 1 437 udalostí ročne, ktoré viedli k spáleniu 42 531 ha ročne, z čoho 20 392 ha je čisto lesná plocha [6].

V posledných desaťročiach problém požiarov narastá najmä kvôli klimatickej zmene, kedy sa prejavuje obdobie extrémneho sucha počas požiarnej sezóny, socioekonomickým zmenám vo využívaní pôdy, demografickým zmenám, kedy vidiecke obyvateľstvo sa redukuje.

Hasenie lesných požiarov v Grécku do roku 1998 mala na starosti lesná služba, neskôr zodpovednosť prešla na hasičskú službu. Dôsledky tejto zmeny sa prejavili a znižovaní množstva zamestnancov a finančných prostriedkov lesnej služby, na druhej strane investície na hasenie požiarov sa zdvojnásobili. Avšak požiarne prevencia bola takmer zanedbateľná, čo viedlo k tomu, že priemerná spálená plocha za 20 rokov od roku 1998 zostala v podstate rovnaká ako za 20 rokov pred rokom 1998 [6].

Po poslednom požiari v Grécku prebiehajú snahy o modernizáciu systému riadenia požiarov, čím sa okrem iných prvkov zlepši aj úroveň spolupráce medzi zainteresovanými orgánmi [6].

Požiarovosť lesného prostredia: Západná Európa, Belgicko

V súčasnosti je asi 23% Belgicka pokryté lesom. Napriek miernej prímorskej klíme sú lesné požiare v Belgicku zriedkavé a zväčša menšie ako 500 ha. Taktiež ako v ostatných krajinách Európy najviac požiarov je počas letného obdobia, ktoré sa vyznačuje suchom a vysokými teplotami [6].

Po veľkých požiariach v roku 2011, Belgicko spustilo národný akčný plán pre lesné požiare, ktorého cieľom je zlepšiť analýzu rizík, mapovanie územia, núdzové plánovanie, školenia, cvičenia súvisiace s mimoriadnou udalosťou lesného požiaru. Súčasťou tohto akčného plánu je tiež vytvorenie mapy rizík požiarov vo voľnej prírode, ktoré je založené na údajoch pre celé územie Belgicka [10]. Túto mapu je možné využiť v prípade identifikovania rizikové oblasti, optimalizovať rozdelenie zdrojov a zvyšovať pripravenosť na plánované rozšírenie zón so stredným rizikom požiaru v Európe.



Napriek vypracovaniu národného akčného plánu zostáva ešte veľa problémov, ktoré je potrebné riešiť v tejto problematike. Lesné požiare nie sú považované za prioritu a dáta o menších požiaroch nie sú správne zaznamenané, a spálená plocha sa zvyčajne dokumentuje len pri veľkých udalostiach, pričom presné miesto niekedy chýba [10].

Príprava obyvateľstva na sebazáchranu a poskytovanie vzájomnej pomoci

Pripravenosť obyvateľstva

Pripravenosť obyvateľstva na vznik mimoriadnej udalosti lesných požiarov je stále neriešená v mnohých vyspelých štátoch Sveta a Európska únia nie je výnimka. Pripravenosť na vznik mimoriadnych udalostí a následné možné katastrofy je činnosť, ktorú by mal vlastniť každý človek.

Pripravenosť obyvateľov a vedomosti o predchádzaní a správaní sa pri už vzniknutej mimoriadnej udalosti, vieme docieľiť rýchly a priamy zásah zložiek Integrovaného záchranného systému, rýchle spozorovanie požiaru, obmedziť neprimerané správanie občanov, ktorí sú zachraňovaní, čo vedie k bezproblémovému zásahu hasičských jednotiek.

Systém varovania

Varovné signály sú jedno z najdôležitejších opatrení z hľadiska civilnej ochrany, kedy vieme docieľiť rýchle podanie informácie občanom o ohrození. Zvuk sirény vždy znamená nebezpečenstvo okrem prípadov skúšania sirén, ktoré prebieha vždy druhý piatok v mesiaci o 12:00.

V prípade takejto situácie je občan povinný konať podľa pokynov vydaných príslušným orgánom.



Tabuľka 1 Varovné signály civilnej ochrany

Table 1 Civil protection warning signals

Názov signálu	Použitie	Spôsob varovania
Všeobecné ohrozenie	Pri ohrození alebo vzniku mimoriadnej udalosti ako aj pri možnosti rozšírenia následkov mimoriadnej udalosti	2 – minútový kolísavý tón sirén
Ohrozenie vodou	Pri ohrození ničivými účinkami vody z vodnej stavby	6 – minútový stály tón sirén
Koniec ohrozenia	Koniec ohrozenia alebo koniec pôsobenia následkov mimoriadnej udalosti	2 – minútový stály tón sirén bez opakovania

Obyvateľ v prípade započutia varovného signálu je povinný:

1. Okamžite sa ukryť.

V prípade pobytu mimo budovy je potrebné vyhľadať čo najrýchlejšie úkryt. Ak sa vaše deti nachádzajú v škole, nechodte pre nich, škola je zariadenie, kde sa o deti postarajú v prípade ohrozenia. Ak cestujete autom zaparkujte a vyhľadajte najbližší úkryt v najbližšej budove.

Ukrytie sa neodporúča v prípade signálu ohrozenia vodou!

2. Zatvoriť okná aj dvere.

Je potrebné vytvoriť uzavretý a izolovaný priestor.

3. Zapnite rádio alebo televíziu.



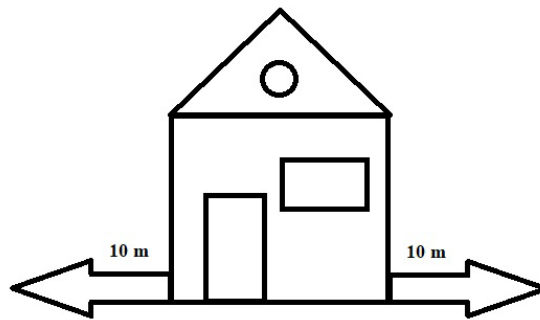
Z uvedených informačných kanálov sa dozviete najnovšie informácie a následné pokyny v prípade vzniku mimoriadnej udalosti [11].

Prevenia lesných požiarov z hľadiska obyvateľov

Občania, ktorí bývajú v blízkosti lesov by mali mať osvojené opatrenia, ktorými môžu predchádzať alebo spomaliť šírenie lesného požiaru na obývaný priestor.

Ochrana domu pred požiarom:

1. Vytvoriť si vlastnú požiarnu zónu okolo domu. Odporúča sa minimálne v 10 m okolo domu odstrániť všetok horľavý materiál, ako sú suché listy, konáre, drevo a pod.



Obrázok 1 Vlastná požiarna zóna

Figure 1 Own fire zone

2. Vyhnete sa používaniu horľavých stavebných materiálov. V prípade stavby je jeden z možností vyhnúť sa horľavým stavebným materiálom a v prípade použitia podobného materiálu je potrebné použiť retardéry horenia ako povrchovú úpravu vonkajších drevených materiálov.
3. Skladujte horľavé materiály v chránených priestoroch a izolovane.
4. Vhodné je tiež mať v domácnosti hasiaci prístroj alebo iný zdroj vody, ktorý v prípade požiaru môžete použiť.



Vypracovanie núdzového plánu pre seba a svoju rodinu:

Plán by mal byť zrozumiteľný a použiteľný. Je potrebné mať na pamäti, že telekomunikačná sieť nemusí fungovať.

1. Príprava núdzovej tašky.

Taška by mala obsahovať nabíjačku, baterku, rádio, kópie osobných dokladov.

Jedlo s dlhšou trvanlivosťou, voda, krmivo pre zvieratá najmenej na tri dni.

Lieky pre každého člena rodiny, ktorý má zdravotné problémy a informácie od lekára o danom ochorení.

Súčasťou tašky by mala byť aj peňažná hotovosť.

2. V prípade potreby evakuácie:

Dohodnite sa s rodinou na bezpečnom mieste stretnutia v prípade odlúčenia členov rodiny.

Pripísať do plánu kontakty na najbližších rodinných príslušníkov v prípade potreby ďalšej pomoci.

Ak sa nachádzate v lese alebo žijete blízko lesa je potrebné:

1. Počas času zvýšeného nebezpečenstva vzniku požiaru, ktorý je hlavne v letných mesiacoch, obmedziť aktivity, ktoré si vyžadujú založenie ohňa ako napríklad grilovanie alebo opekanie.
2. Taktiež je potrebné nevykonávať činnosti, ktoré vytvárajú iskry a môžu spôsobiť požiar.
3. Poznať miesto, požiarne podmienky a byť informovaný o počasí.
4. Nahlásiť akékoľvek požiare a alebo prítomnosť osôb s nevhodným správaním, ktoré by mohlo nasvedčovať možnému vzniku požiaru.
5. Ak chcete založiť oheň, tak len na miestach na to určených alebo vytvorte bezpečné ohnisko z kameňov, ktoré naukladáte dookola.
6. Pri založení ohňa je potrebné mať v blízkosti dostatok vody v nádobe, ktorú neskôr použijete pre uhasenie ohňa.



7. Pred odchodom z miesta založenia ohňa je potrebné miesto riadne skontrolovať a ubezpečiť sa, že oheň je uhasený.

Čo je potrebné robiť v prípade lesných požiarov

Spozorovanie lesného požiaru:

1. Je potrebné nepanikáriť, zostať pokojný a snažiť sa z priestoru evakuovať proti vetru.
2. Okamžite kontaktovať hasičov na linke európskeho tiesňového volania 112 alebo 150.
3. Poskytnúť presné a vecné informácie, kde volajúci povie oblasť, ktorá je požiarom zasiahnutá, smer šírenia požiaru a vegetácia, ktorá je požiarom zasiahnutá.
4. Je potrebné opustiť oblasť zasiahnutú požiarom.

Čo robiť, keď sa osoba nachádza v blízkosti lesného požiaru:

1. Neodporúča sa ukrývať v aute, ak váš dom je zhotovený z dreva, vyhľadajte úkryt v inej budove.
2. V prípade, že sa nachádzate v dome a únik nie je bezpečný, je potrebné pevne zatvoriť všetky dvere a okná, zakryť všetky medzery mokkými handrami, aby ste zabránili prieniku dymu, ďalej je potrebné všetky horľavé predmety preložiť z blízkosti okien a dverí.
3. V prípade, že sa nachádzate v budove a únik z nej nie je bezpečný, je potrebné postupovať podľa pokynov príslušných orgánov.
4. Dýchať vzduch v priestoroch požiaru sa odporúča prostredníctvom navlhčenej látky alebo oblečenia a blízko pri podlahe.
5. Ak sa nachádzate na voľnom priestranstve a ste obklopený požiarom, je potrebné sa chrániť proti tepelnému žiareniu napr. skryť sa za veľký kameň.
6. V prípade, že je možnosť opustiť oblasť, je potrebné tak urobiť hneď, držte sa ďalej od oblastí s množstvom vegetácie.
7. Osoby s postihnutím, ktoré sú neschopné opustiť priestor samé, sú povinné kontaktovať príslušné orgány a počkať kým dorazia [12].



ZÁVER

Článok popisuje aktuálny stav v prípade lesných požiarov v Európe, kedy podľa hydrometeorologických podmienok a biodiverzity daného územia je vznik a priebeh lesných požiarov odlišný. Podmienky klimatickej zmeny a jej dopady napomáhajú intenzite lesných požiarov, čo je spôsobené vysokými teplotami a obdobiami sucha s následným obdobiami zvýšeného nebezpečenstva vzniku požiaru. Avšak najčastejším iniciátorom lesných požiarov ostáva naďalej človek, kedy svojim nedbalým správaním, vypaľovaním porastov alebo úmyselným podpálením tvorí 95 % európskych lesných požiarov. V tomto prípade vidíme potrebu vzdelávať občanov z hľadiska správania sa v lese, ale aj ochrany seba, svojich blízkych, či majetku.

Druhá časť článku sa zaoberá jednotlivými krokmi, ktoré by si mali osoby osvojiť v prípade lesných požiarov, kde sú upresnené opatrenia a úkony v prípade prevencie lesných požiarov. Prevencia je rozdelená do jednotlivých častí podľa toho, či osoba vlastní nehnuteľnosť blízko lesa alebo sa osoba zdržiava v lese z dôvodu kempovania a pod.

Ďalšia časť sa zaoberá úkonmi, ktoré treba vykonať pri spozorovaní lesného požiaru a upresnené sú situácie v prípade, že osoby nemôžu bezpečne tento priestor opustiť [4].

POĎAKOVANIE

Táto publikácia je výstupom výskumného projektu H2020-LC-GD-2020-3, ID:10103724 "Integrated Technological and Information Platform for Wildfire Management" (SILVANUS).

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

[1] MANSOOR, S., FAROOG, I., KACHROO, M. M., MAHMOUD, A. E. D., FAWZY, M., POPESCU, S. M., ... & AHMAD, P. (2022). Elevation in wildfire frequencies with respect to the climate change. *Journal of Environmental management*,



- [online] 301, 113769. [cit. 2024-09-20]. Dostupné na:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721018314>
- [2] SEDLIAK M., MAJLINGOVÁ A., TUČEK J., GALLA Š., 2015. Manažment rizík hospodárenia na lesnej pôde s dôrazom na lesné požiare. Zvolen. TU vo Zvolene. ISBN 978-80-228-2762-1
- [3] TUČEK J., MAJLINGOVÁ A., 2007. Lesné požiare v národnom parku Slovenský raj: aplikácie geoinformatiky. Zvolen. TU vo Zvolene. ISBN 978-80-228-1802-5.
- [4] KHABAROV, N., KRASOVSKII, A., OBERSTEINER, M., SWART, R., DOSIO, A., SAN-MIGUEL-AYANZ, J., ... & MIGLIAVACCA, M. (2016). Forest fires and adaptation options in Europe. *Regional Environmental Change*, [online] 16, 21-30. [cit. 2024-09-20] Dostupné na: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10113-014-0621-0>
- [5] GRÜNIG, M., SEIDL, R., & SENF, C. (2023). Increasing aridity causes larger and more severe forest fires across Europe. *Global Change Biology*, [online] 29(6), 1648-1659. [cit. 2024-09-26] Dostupné na: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.16547>
- [6] FERNANDEZ-ANEZ, N., KRASOVSKIY, A., MÜLLER, M., VACIK, H., BAETENS, J., HUKIC, E., ... & CERDA, A. (2021). Current wildland fire patterns and challenges in Europe: A synthesis of national perspectives. *Air, Soil and Water Research*, [online] 14, 11786221211028185. [cit. 2024-09-28] Dostupné na: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/11786221211028185>
- [7] HENNER, D. N., & KIRCHRNGAST, G. (2021). How Does Climate Change Increase the Risk of Forest Fires in Austria. *KKL-ÖAW Study Report–February*. [online] [cit. 2024-09-28] Dostupné na: https://www.oeaw.ac.at/fileadmin/kommissionen/klimaundluft/akt_KKLStudyReport-HennerKircheng_ForestFireRisksAustria_Feb2021.pdf
- [8] PIMENTEL, R., & ARHEIMER, B. (2021). Hydrological impacts of a wildfire in a Boreal region: The Västmanland fire 2014 (Sweden). *Science of the Total*



Environment, [online] 756, 143519. [cit. 2024-09-28] Dostupné na:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720370509>

[9] PALAIOLOGOU, P., KALABOKIDIS, K., AGER, A. A., & DAY, M. A. (2020). Development of comprehensive fuel management strategies for reducing wildfire risk in Greece. *Forests*, [online] 11(8), 789. [cit. 2024-09-29] Dostupné na:
<https://www.mdpi.com/1999-4907/11/8/789>

[10] DEPICKER, A., De BAETS, B., & BAETENS, J. M. (2020). Wildfire ignition probability in Belgium. *Natural hazards and earth system sciences*, [online] 20(2), 363-376. [cit. 2024-10-01] Dostupné na: <https://nhess.copernicus.org/articles/20/363/2020/>

[11] MINISTERSTVO VNÚTRA SR., 2024. Varovanie obyvateľstva. [cit. 2024-10-01] Dostupné na: <https://www.minv.sk/?varovanie-obyvateľstva-1>

[12] SILVANUS, 2024, Integrated Technological and Information Platform for Wildfire Management. [cit. 2024-10-01] Dostupné na internete: <https://silvanus-project.eu/>



ŠTÚDIUM VÝBUŠNOSTI PLYNOV PRACHOV, A HYBRIDNÝCH ZMESÍ

STUDY OF EXPLOSION PARAMETERS OF GASES, DUSTS AND HYBRID MIXTURES

Zuzana SZABOVÁ¹ - Richard KURACINA¹ - László KOSÁR¹

¹Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta STU so sídlom v Trnave, Ústav integrovanej bezpečnosti, Ulica Jána Bottu č. 2781/25
917 24 Trnava, zuzana.szabova@stuba.sk, richard.kuracina@stuba.sk,
laszlo.kosar@stuba.sk

Abstract

S výbuchmi sa v priemysle stretávame pomerne často. Môže to byť výbuch prachu, výbuch plynu alebo aj výbuch hybridnej zmesi, pozostávajúcej z plynu a prachu. Aby výbuch mohol nastať, je potrebné splniť niekoľko základných podmienok – prítomnosť horľaviny, prítomnosť oxidovadla v uzatvorenom priestore, prítomnosť iniciačného zdroja a koncentračných podmienok. Každý z materiálov má však rozdielne správanie v prípade výbuchu. Toto je možné charakterizovať napr. parametrami ako sú výbuchový tlak P_{max} , rýchlosť nárastu tlaku pri výbuchu dP/dt alebo výbuchovou konštantou K_{st} . V článku sa zaoberáme charakterizáciou a porovnaním parametrov jednotlivých typov výbušných látok. Rozdiely medzi týmito typmi výbušných látok majú v konečnom dôsledku výrazný vplyv na opatrenia protivýbuchovej prevencie.

Keywords: *výbuch, hybridná zmes, horľavý plyn, horľavý prach*

ÚVOD

Protivýbuchová prevencia je dôležitou súčasťou takmer všetkých priemyselných odvetví. Horľavé a výbušné plyny a prachy sú bežnou súčasťou priemyslu – či je to potravinárstvo, poľnohospodárstvo, drevárstvo, chladenie, pohon automobilov, spracovanie ropy, plynárenský priemysel, ďalej to môže byť v chemickom priemysle, pri výrobe a spracovaní plastov, v kovospracujúcom priemysle či aditívnych technológiách.

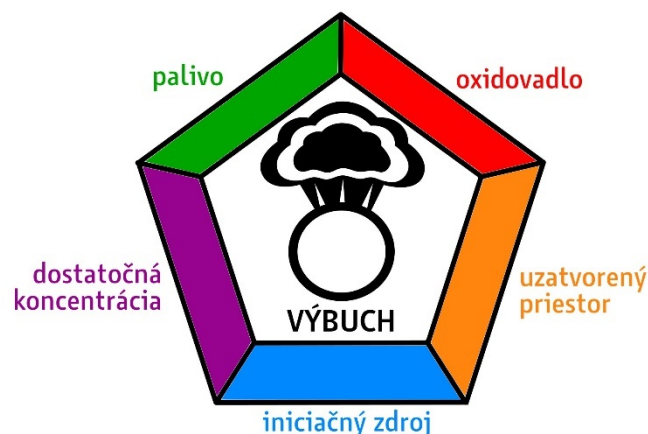


S niektorými horľavými prachmi a plynmi je možné sa tiež stretnúť aj v bežnom živote, aj keď si to ľudia ani neuvedomujú (napr. múka, cukor, káva, kakao, koreniny, turistické plynové fľaše, automobilové palivá, palivá budúcnosti ...) [1-3].

Vo svete aj na Slovensku bola zaznamenaných viacero vážnych nehôd, pri ktorých boli prítomné horľavé plyny či prachy. Škody a následky pri takýchto nehodách môžu dosiahnuť veľký rozsah (niekoľko miliónov €) ale môže ísť aj o malé a lokálne výbuchy. Úlohou protivýbuchovej prevencie je tak zabránenie samotnému výbuchu (to ale nie je vždy možné) alebo znížiť následky na čo najmenšiu možnú mieru. Základné údaje pre uplatnenie princípov protivýbuchovej prevencie poskytujú výbuchové parametre [3-7].

Výbuch plynu alebo prachu vyžaduje päť faktorov (Obrázok 1):

1. iniciačný zdroj
2. oxidovadlo
3. horľavý prach
4. dostatočnú koncentráciu
5. uzatvorený priestor



Obrázok 1 Pentagón výbuchu plynu, prachu alebo hybridnej zmesi
Figure 1 Explosion pentagon of dust, gas or hybrid mixture

V prípade porovnávania výbuchových parametrov prachov a plynov sú to najmä:

- dolná medza výbušnosti DMV,
- maximálny výbuchový tlak P_{max}



- maximálna rýchlosť nárastu tlaku dP/dt a z nej vyplývajúca výbuchová konštanta. Výpočet výbuchovej konštanty je pre prachy, plyny a ich zmesi rovnaký:

$$K = \left(\frac{dP}{dt}\right)_{max} \times \sqrt[3]{V}$$

kde K je hodnota výbuchovej konštanty (pre plyny s indexom „ST“, pre prachy s indexom „G“ a hybridné zmesi „H“) v bar.m/s, $(dP/dt)_{max}$ je maximálna rýchlosť nárastu tlaku v bar/s a V je objem nádoby, v ktorej prebehol výbuch v m^3 .

Metódy a zariadenia

Na UIBE disponujeme modifikovanou výbuchovou komorou KV-150M2-UIBE a 20L komorou pre stanovenie výbuchových parametrov prachov, hybridných zmesí a zmesí jedného plynu a vzduchu. Ďalej je k dispozícii modifikovaná Hartmannova trubica (zatiaľ pre stanovenie horľavosti prachov, v blízkej budúcnosti aj na stanovenie minimálnej iniciačnej energie) a Godbert-Greenwaldova pec a vyhrievaná plocha pre stanovenie minimálnej teploty vznietenia. V rámci projektu „APVV-21-0187 Progresívne metódy testovania prachu a prachovzduchových zmesí pre potreby výrobného priemyslu na Slovensku“ bude skúšobné laboratórium akreditované.

Meranie výbuchu rozvíreného prachu prebehlo v 20L výbuchovej komore. Ako vzorka bolo použité *Lycopodium Clavatum* v optimálnej koncentrácii pre dosiahnutie najvyšších výbuchových parametrov. Rýchlosť záznamu tlaku bola 20 000/s.

Meranie výbuchu hybridnej zmesi prachu a plynu prebehlo tiež v 20L komore. Ako vzorka prachu bolo použité *Lycopodium Clavatum* a vodík s koncentráciou 10 % obj. tak, aby boli dosiahnuté najvyššie hodnoty výbuchových parametrov. Rýchlosť záznamu tlaku bola 20 000/s.

Meranie výbuchu plynu prebehlo v 365L komore KV 150M2-UIBE. Ako vzorka plynu bol použitý vodík s koncentráciou, pri ktorej sa dosiahli najvyššie parametre výbuchu. Rýchlosť záznamu bola tiež 20 000/s.



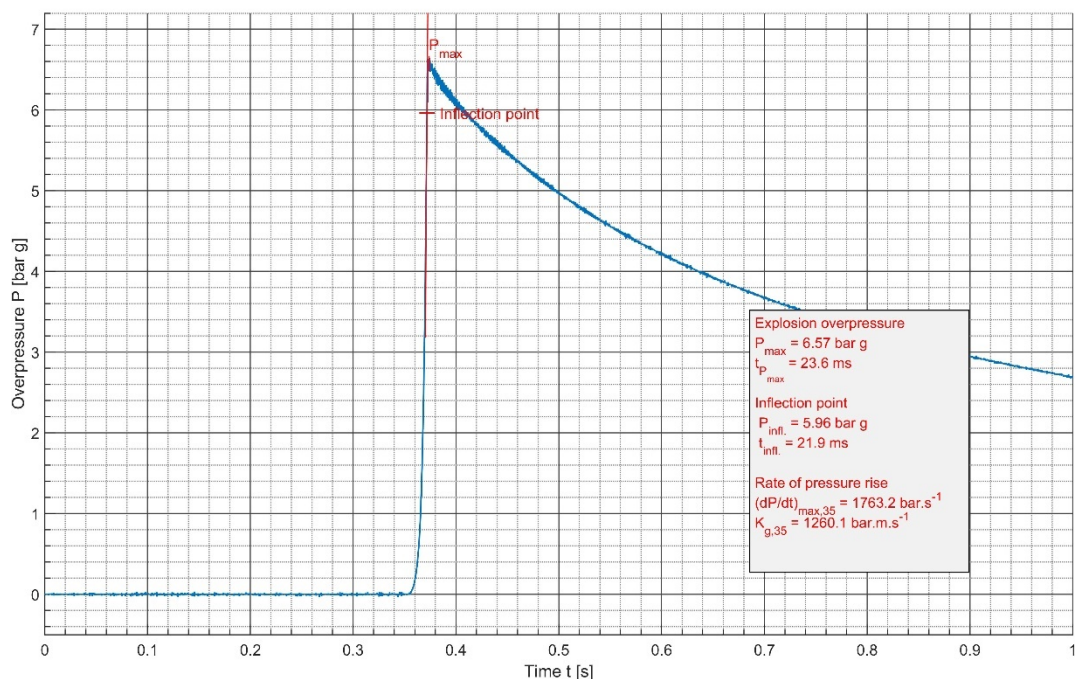
výsledky a vyhodnotenie

Výsledky boli porovnané pri všetkých troch typoch vzoriek (prach, hybridná zmes, plyn) pri maximálnych hodnotách dosiahnutého tlaku a rýchlosti nárastu tlaku, tabuľka 1. Pretože meranie výbuchu plynného vodíka prebehlo pri inom objeme, porovnáваме vo výsledkoch hodnotu výbuchovej konštanty. Tlakové záznamy meraní sú na obrázkoch 2 – 4.

Tabuľka 1 Maximálne dosiahnuté hodnoty P_{max} , $(dP/dt)_{max}$ a výbuchovej konštanty pre plynnú, hybridnú a prachovú vzorku

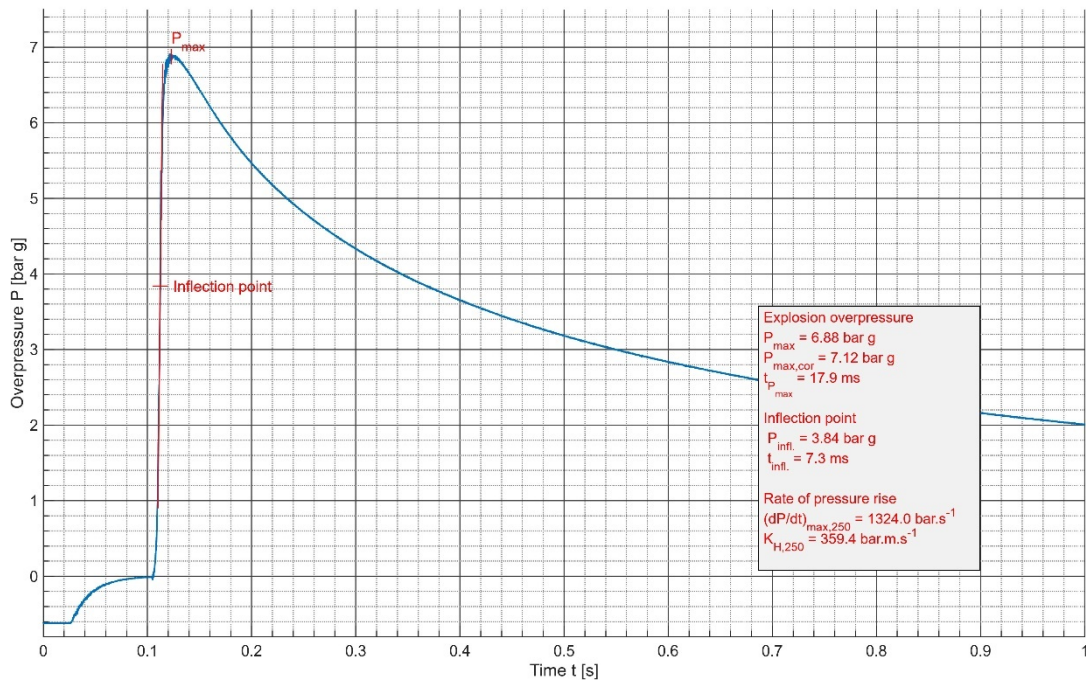
Table 1 Maximum values of P_{max} , $(dP/dt)_{max}$ and explosion constant for gas, hybrid and dust sample

Typ vzorky	plyn	hybridná zmes	prach
P_{max} (bar g)	6,57	6,88	7,11
$(dP/dt)_{max}$ (bar/s)	1763	1324	572
K (bar.m/s)	1260	359	155



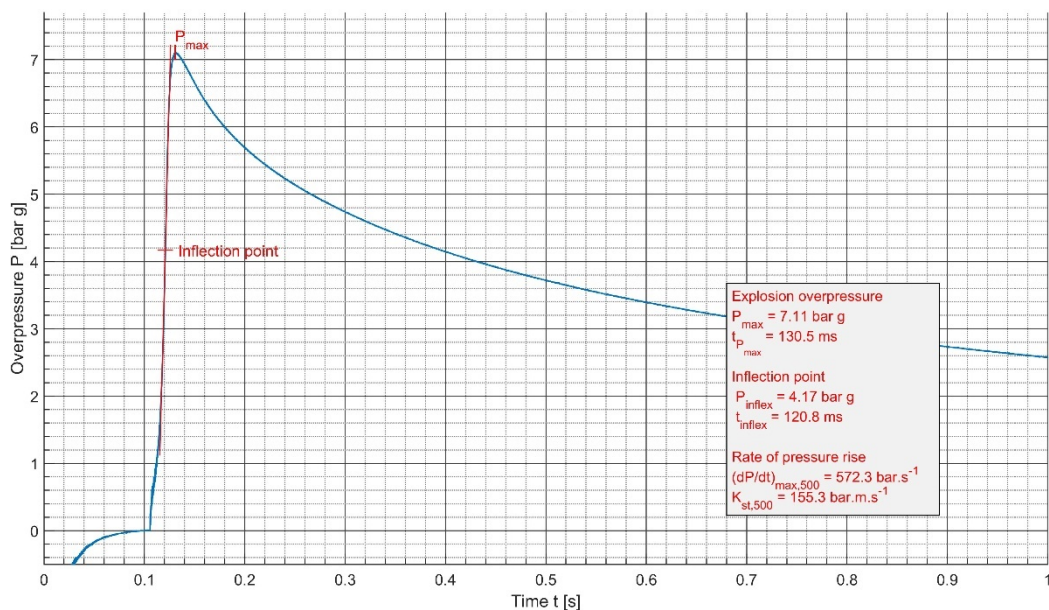
Obrázok 2 Tlakový záznam výbuchu vodíka s koncentráciou 35% obj. v 365L komore

Figure 2 Pressure record of hydrogen (35 % vol.) explosion in 365L chamber



Obrázok 3 Tlakový záznam výbuchu hybridnej zmesi práškoveho lycopodia (500 g/m³) a vodíka (10% obj.) v 20L komore

Figure 3 Pressure record of hybrid mixture explosion (lycopodium 500 g/m³ and hydrogen 10% obj.) in 20L sphere



Obrázok 4 Tlakový záznam výbuchu práškoveho lycopodia s koncentráciou 500 g/m³ v 20 L komore

Figure 4 Pressure record of lycopodium powder explosion (500 g/m³) in 20L sphere



Z tabuľky a uvedených tlakových záznamov je možné konštatovať, že vyššia hodnota tlaku sa dosiahne výbuchom prachovej vzorky. Je to spôsobené tým, že na jednotku objemu je energia obsiahnutá vo vzorke prachu vyššia ako je pri plynách. Najvyššia hodnota tlaku 7,11 bar g bola dosiahnutá pri práškovej vzorke.

Naproti tomu vyššia rýchlosť nárastu tlaku sa dosiahne pri vzorke plynu. Je to spôsobené hlavne rýchlosťou šírenia plameňa vo vzore, ktorá je pri plynách výrazne vyššia ako je pri prachoch. Pri vzorke vodíka bola dosiahnutá najvyššia výbuchová konštanta s hodnotou 1260 bar.m/s.

Pri výbuchu hybridnej zmesi je dosiahnutá nižšia hodnota tlaku kvôli plynnej časti zmesi (tlak je nižší kvôli výbuchu vodíka) a tiež je nižšia hodnota výbuchovej konštanty kvôli tomu, že výbuch prachu dosahuje typicky nižšie hodnoty.

Záver

Na základe meraní rôznych typov výbušných látok (prach, plyn, hybridná zmes) je možné konštatovať, že najvyššie hodnoty rýchlosti nárastu tlaku sa dosahujú pri plynných látkach, najvyššie hodnoty výbuchového tlaku zasa dosahujú prachové látky. Hybridné zmesi sú ovplyvňované parametrami oboch zložiek, čo má za následok ich nižšie hodnoty.

Pri plynách je preto potrebné prispôbovať opatrenia protivýbuchovej prevencie oveľa vyšším hodnotám nárastu tlaku, pri prachových látkach je potrebné sa zamerať pri prevencii aj na vyššie hodnoty dosiahnutého výbuchového tlaku.

Ďalší výskum v oblasti porovnávania výbuchových parametrov bude zameraný aj na iné typy vzoriek, ktoré sa môžu často vyskytovať v priemysle.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-21-0187.



zoznam bibliografických odkazov

1. Eckhoff R. K. 2003. Dust explosions in the process industries: identification, assessment and control of dust hazards. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-7602-1.X5000-8>
2. Amyotte P. 2013. An Introduction to Dust Explosions Understanding the Myths and Realities of Dust Explosions for a Safer Workplace, Elsevier. 2013. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07244-7>
3. Bjerketvedt D., Bakke J. R., van Wingerden K. Gas explosion handbook, Journal of Hazardous Materials, Volume 52, Issue 1, 1997, Pages 1-150, ISSN 0304-3894, [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(97\)81620-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)81620-2).
4. Abbasi, S. 2007. Dust explosions - Cases, causes, consequences and control. Elsevier : In Journal of Hazardous Materials, 2007. ISSN: 0304-3894.
5. Barton, John. 2002. Dust explosion prevention and protection. Glasgow : Gulf Publishing Company, 2002. ISBN 0 7506 7519 3.
6. Kauffman, C,W. 1982. Agricultural dust explosions in grain handling facilities. Ontario : Fuel-air Explosions, University of Waterloo Press, 1982. s. 305-347.
7. Damec, J. Nebezpečí výbuchů průmyslových prachů (4. část). In 150 hoří, 1993, č. 6. ISSN 0682-8467.



PROTIPOŽIARNA BEZPEČNOSŤ DREVOSTAVIEB V SR FIRE SAFETY OF TIMBER BUILDINGS IN SLOVAKIA

Ludmila TEREŇOVÁ¹ – Katarína DÚBRAVSKÁ¹

¹ Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta, Katedra protipožiarnej ochrany,
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika, ludmila.terenova@tuzvo.sk,
katarina.dubravska@tuzvo.sk

Abstract

The article deals with the development of the construction of timber buildings in Slovakia. Especially, multi-storey timber buildings can be built in the Slovak Republic from 2017 up to 5 floors above ground. The requirements were defined by the publication of STN 92 0201-2: 2017. Other possibility of design are included in amending other standards that have an impact on the fire safety of timber buildings. In practice, we observe that no multi-storey timber building has yet been built in Slovakia. However, it follows from the contribution that the legislative requirements that are set in Slovakia for multi-storey timber buildings can be applied and implemented in their design of fire safety of in practice.

Keywords: *multi-storey timber buildings, fire safety, fire resistance, separation distance, sprinklers,*

ÚVOD

Drevostavby na Slovensku majú svoju tradíciu, ale určite nie až takú ako napr. v škandinávskych štátoch alebo v Nemecku, Anglicku, Rakúsku či Švajčiarsku. Na vidieku sa v SR stavali hlavne tradičné zrubové drevostavby, v horských oblastiach napr. hrazdené drevostavby. Spoločenský vývoj však priniesol väčší rozmach vo výstavbe kamenných a tehlových stavieb, neskôr železobetónových a oceľových stavieb. V škandinávskych štátoch tradíciu drevených stavieb ďalej budovali, rozvíjali a zdokonaľovali a v súčasnosti sú majstri vo výstavbe celodrevených viacpodlažných



budov. Podobná situácia je v ďalších západoeurópskych štátoch (Nemecko, Anglicko), v ktorých sa drevo používa bežne ako nosný materiál štvorpodlažných a päťpodlažných budov. Obmedzenie výšky budovy spravidla súvisí iba s požiadavkami na požiarnu odolnosť danej stavby [1].

ROZBOR PROBLEMATIKY

Viacpodlažné drevostavby v zahraničí

V dnešnej dobe pozorujeme narastajúci trend výstavby drevostavieb. Do roku 2017 boli drevostavby zaradené do horľavého konštrukčného celku, čo výrazne obmedzovalo počet podlaží. Pri opláštení/zapuzdrení konštrukčných prvkov nehorľavým materiálom a dodržaní stanovených podmienok, sa môže drevostavba zaradiť aj do zmiešaného konštrukčného celku. Aj v takom prípade je možné postaviť stavbu s 5 nadzemnými podlažiami. Ako uvádza Mózér [2], to sa nejedná o žiadny výstrelok, ale skôr o konzervatívne riešenie, čo potvrdzuje fakt, že v zahraničí vyrastajú drevené výškové stavby s 10 a viac nadzemnými podlažiami. Ako je možné, že v iných krajinách sa stavajú výškové drevostavby?

Požiarne testy a ďalšie metódy hodnotenia boli medzinárodne harmonizované, ale požiadavky vzhľadom na typ budovy a konečné využitie zostávajú na národnej úrovni. Napriek týmto štandardom existujú technické normy a protipožiarna bezpečnosť sa riadi národnou legislatívou [3]. Z toho vyplýva, že protipožiarna bezpečnosť drevostavieb a jej podlažnosť je limitovaná práve národnými normami a existujú viditeľné rozdiely medzi krajinami. Na jednej strane sú krajiny ako Nový Zéland, Taliansko, Holandsko, ktoré nemajú výškové obmedzenia pri výstavbe drevostavieb. Na strane druhej sú krajiny ako Slovensko, Maďarsko, Bulharsko, ktoré majú konzervatívnejšie normy a teda ich výstavba je možná do 3-5 nadzemných podlaží. Ako uvádza Buchanan [4], niektoré európske krajiny vyžadujú schodiskové a výtahové šachty vo vysokých drevených budovách vyhotovené z nehorľavých materiálov.

Na svete a v Európe existuje množstvo viacpodlažných drevostavieb. Medzi viacpodlažné drevostavby patria napríklad [4] :

- 9-poschodová budova Forte v Melbourne (Rakúsko),



- 8-poschodová školská budova v Prince George (Kanada),
- 14-poschodová stavba Treet v Bergene (Nórsko),
- 15-poschodová administratívna budova v Otawe (Kanada),
- 42-poschodová polyfunkčná budova v Chicagu (USA).



Obrázok 1 15-poschodová administratívna budova v Otawe [4]

Figure 1 15-storey building in Ottawa [4]

Prehľad predpisov protipožiarnej bezpečnosti na národnej úrovni pre drevené stavby spracovala Östman [5] v dokumente „National fire regulations for the use of wood in buildings - Worldwide review 2020“. V tabuľke 1 sú vybrané niektoré informácie z tohto dokumentu - maximálna výška a počet podlaží, požiarne odolnosť nosných prvkov v drevostavbách určených na bývanie a ubytovanie.



Tabuľka 1 Maximálna výška a počet podlaží, požiarne odolnosť nosných prvkov v drevostavbách určených na bývanie a ubytovanie (výber informácií National fire regulations for the use of - Östman, 2022 [5])

Table 1 Maximum height and maximum number of storeys, fire resistance requirements of load-bearing elements in residential buildings (selection of information National fire regulations for the use of - Östman, 2022 [5])

Krajina	Max. výška (m)	Počet podlaží	Platné od	Požiarne odolnosť (min)			
				Max. počet podlaží			
				1-2	3-4	5-8	nad 8
Austrália*	25	8	2019	30-60	60-90	90	-
Rakúsko*	22	7	2019	30-60	30-60	60-90	-
Bulharsko	12	4	2010	-	30	60	120
Kanada*	42	12	2020	45	45-60	60 ¹⁾ /120	120
Chorvátsko*	22	7	2015	30	60	90	-
Česko*	9-12	3-4	1980+	15 ²⁾ /30	30 ²⁾ /60	45 ²⁾ /60	-
Dánsko*	12 ²⁾	3-4	2020	60	60	-	-
Fínsko*	28	8	2011	30	60 ²⁾	60 ²⁾	-
Francúzsko	50	16	1986	15-30	30-60	60	90-120
Nemecko*	22	7-8	2021	30	60	90	-
Maďarsko*	14	3	2020	15	30	-	-
Írsko	10	3-4	2006	30	30-60	-	-
Taliansko*	NL	NL	2006			60	90-120
Holandsko	NL	NL	2012		60	90	120
Poľsko	25	8	2017	30	30	30	120
Portugalsko	NL	NL	2009	30	30	60	90



Rumunsko*	-	3-4	1999	-	-	-	-
Rusko*	75	NL	2012	0-30 ²⁾	45	45	90 ⁴⁾ - 120
Srbsko*	-	3	2019	15-30	30-60	-	-
Španielsko	NL	NL	2019	30	60	90	120
Švajčiarsko	100	33	2015	0 ⁴⁾ /30	0 ⁴⁾ /30	30 ⁴⁾ /60	60 ⁴⁾ /90
NL - bez limitu pre drevo 1) pre 5-6 poschodie 2) platia ďalšie podrobnosti 3) na rôznych poschodiach a v niektorých krajinách, rôzne požiarne úseky 4) so sprinklerovým zariadením							

Tabuľka 1 uvádza požiadavky na konštrukcie, kde je jej nosná časť tvorená dreveným prvkom, avšak môže byť zapuzdrená, a tým drevený prvok chránený. V dokumente „National fire regulations for the use of wood in buildings - Worldwide review 2020“ [5] sa pri stanovovaní požiadaviek na drevenú konštrukciu posudzovalo:

- drevo je aplikované ako nosná časť konštrukcie,
- priznané drevo (z interiéru alebo exteriéru),
- zapuzdrená konštrukcia,

pri konštrukciách s priznaným drevom sú najprísnejšie obmedzenia vo výške stavby, resp. v počte podlaží. Okrem faktu, či sa jedná o priznané drevo alebo zapuzdrené, vplyv na počet podlaží má aj výskyt stabilného hasiaceho zariadenia v budove.

Pri aplikácii požiarnotechnických zariadení v drevostavbe je možnosť zväčšenia plochy požiarneho úseku, resp. počtu požiarnych podlaží. Buchanan [4] uvádza návrh pasívnej ochrany vo viacpodlažných stavbách na báze dreva. Návrh spočíva v aplikácii sprinklerových zariadení (štandardných alebo špeciálnych - extra zdroj vody priamo v budove), a tým by vznikla možnosť budovať drevostavby s väčším počtom podlaží ako je to v súčasnosti možné. Dôležitým faktorom je aj materiálové riešenie konštrukcie - priznané drevo, zapuzdrená konštrukcia, tak ako je to uvedené vyššie.



Tabuľka 2 Možnosti zväčšenia počtu požiarnych podlaží v drevostavbe aplikáciou sprinklerových zariadení [4]

Table 2 Possibilities of increasing the number of storeys in a timber building by applying sprinklers [4]

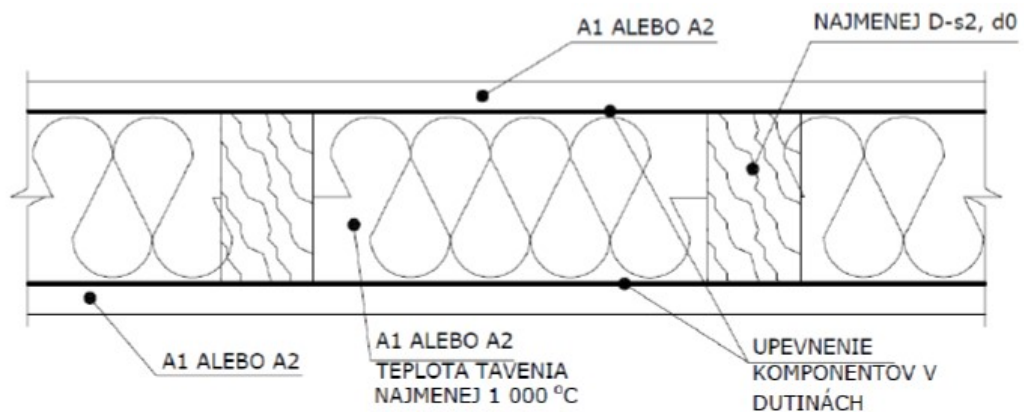
Výška	Nízko- podlažná	Stredno- podlažná	Vysoká	Veľmi vysoká	Výšková
Počet podlaží	1-2	3-5	6-8	9-15	nad 15
Podmienky evakuácie	rýchla evakuácia	pomalá evakuácia	evakuácia s asistenciou	evakuácia s asistenciou	evakuácia s asistenciou
Bez sprinklerov	exponované miestne oblasti	neexponované drevo	nepovolené	nepovolené	nepovolené
So sprinklermi	exponované veľké oblasti	exponované miestne oblasti	neexponované drevo	celkové zapuzdrenie	celkové zapuzdrenie
So špeciálnymi sprinklermi	exponované veľké oblasti	exponované veľké oblasti	exponované miestne oblasti	neexponova né drevo	celkové zapuzdrenie

Legislatívne požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť viacpodlažných drevostavieb v SR

Predpisy týkajúce sa požiarnej odolnosti drevených konštrukcií na Slovensku sú v súčasnosti asi najprísnejšie zo všetkých blízkyh (a ďalekých) krajín. Vývoj samostatných štátov zasiahol aj oblasť technických noriem, medzi iným aj predpisy upravujúce možnosti výstavby nosných konštrukcií z dreva [1].

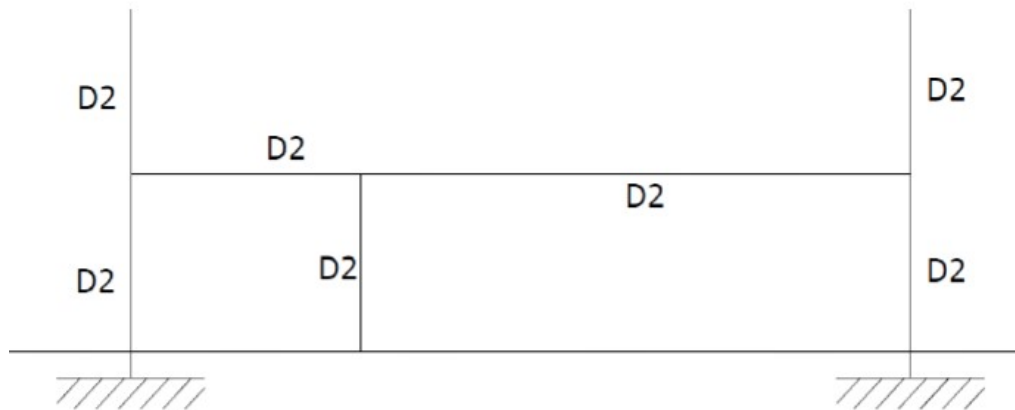
Základné predpoklady pre navrhovanie viacpodlažných drevostavieb v SR boli vytvorené vydaním projektovej normy STN 92 0201-2 v roku 2017 [6], v ktorej bol v článku 2.6.4.b) zadaný nový zmiešaný konštrukčný celok. Podľa tejto definície musí mať viac ako trojpodlažná drevostavba vo svojom konštrukčnom systéme všetky nosné a požiarne deliace konštrukcie druhu D2. A to také, ktorých nosný prvok musí mať triedu reakcie na oheň najviac $D_{s2,d0}$ a výplň všetkých dutín v týchto konštrukciách musí byť z materiálu triedy reakcie na oheň A1 alebo A2 s teplotou tavenia 1000 a viac °C.

Komponenty vyplňajúce dutiny konštrukčných prvkov sú uložené tak, aby nedochádzalo k ich pohybu (sadaniu) v dutinách alebo ich vypadnutiu a to ani po zlyhaní vonkajších ochranných komponentov (opláštenia). Konštrukčný prvok druhu D2 požadovaný pre viacpodlažné drevostavby je vyobrazený na obrázku 2.



Obrázok 2 Konštrukčný prvok druhu D2 pre zmiešaný konštrukčný celok viacpodlažných drevostavieb [7]
Figure 2 The element of structure of type D2 for the combined construction of multi-storey wooden buildings [7]

Konštrukčný systém viacpodlažných drevostavieb musí byť teda poskladaný z nosných a požiariene deliace konštrukcií, ktoré spĺňajú požiadavky na konštrukčný prvok druhu D2 podľa čl. 2.6.4.b) STN 92 0201-2 [6]. Takýto konštrukčný systém vytvára nový zmiešaný konštrukčný celok, ktorý je vyobrazený na obrázku 3.



Obrázok 3 Nový zmiešaný konštrukčný celok pre viacpodlažné drevostavby [7]
Figure 3 New combined construction of multi-storey timber buildings [7]

Maximálna podlažnosť drevostavieb určených na bývanie a ubytovanie skupiny B v novom zmiešanom alebo horľavom konštrukčnom celku je daná tabuľkou 3, z ktorej vyplýva, že uvedené drevostavby je možné v novom zmiešanom konštrukčnom celku navrhovať najviac 5-podlažné a v horľavom konštrukčnom celku najviac 3-podlažné.

Tabuľka 3 Stupeň protipožiarnej bezpečnosti pre stavby na bývanie a ubytovanie skupiny B [6]

Table 3 The degree of fire resistance of residential buildings, group B [6]

Konštrukčný celok	Najväčší počet nadzemných podlaží	Najnižší stupeň protipožiarnej bezpečnosti požiarneho úseku	
		v NP + 1. PP	v 2. PP a ďalšom PP
Nehorľavý	3	I.	II.
	8	II.	III.
	16	III.	IV.
	viac ako 16	IV.	V.
Zmiešaný	2	I.	neprípustné
	3	II.	
	5	III.	
Horľavý	1	I.	neprípustné
	2	II.	
	3	III.	

Pri určovaní stupňa protipožiarnej bezpečnosti viacpodlažných drevostavieb s novým zmiešaným konštrukčným celkom platia v tabuľke 4 hodnoty požiarnej výšky



12 m, uvedené v zátvorke. V horľavom konštrukčnom celku pri najviac 3-podlažnej drevostavbe je požiarne výška stavby 6 m, to znamená, že pri určovaní stupňa protipožiarnej bezpečnosti je podľa tabuľky 4 smerodajná požiarne výška 9 m.

Tabuľka 4 Určenie stupňa protipožiarnej bezpečnosti pre nevýrobné stavby [6]

Table 4 Assessment of degree of fire resistance of non-manufacturing buildings [6]

Konštrukčný celok	Výpočtové požiarne zaťaženie v požiarne úseku	Najnižší stupeň protipožiarnej bezpečnosti požiarneho úseku				
		I.	II.	III.	IV.	V.
		Požiarne výška stavby h do m				
Nehorľavý	do 15	22,5	bez obmedzenia			
	nad 15 do 30	12	30	bez obmedzenia		
	nad 30 do 45	6	22,5	45	bez obmedzenia	
	nad 45 do 60	6	12	30	45	bez obm.
	nad 60 do 90	0	6	12	30	bez obm.
	nad 90 do 120	0 _a	0	6	22,5	45
	nad 120 ^{*)}	N ₁	0 _a	0	12	30
Zmiešaný	do 10	12	12	18 (12)	22,5(12)	N ₂
	nad 10 do 25	6	12	18 (12)	22,5(12)	N ₂
	nad 25 do 35	6	12	18 (12)	22,5(12)	N ₂
	nad 35 do 50	0	6	18 (12)	22,5(12)	N ₂
	nad 50 do 75	0	6	12	22,5(12)	N ₂
	nad 75 do 100	0 _a	0	6	12	N ₂
	nad 100 ^{*)}	N ₁	0 _a	0	6	N ₂
Horľavý	do 10	9	9	12	12	N ₂
	nad 10 do 20	4	9	9	12	N ₂
	nad 20 do 30	4	9	9	9	N ₂
	nad 30 do 40	0	4	9	9	N ₂
	nad 40 do 60	0	4	4	9	N ₂
	nad 60 do 80	0 _a	0	4	4	N ₂
	nad 80 ^{*)}	N ₁	0 _a	0	4	N ₂



N ₁	tento stupeň protipožiarnej bezpečnosti sa nesmie použiť;
N ₂	zmiešaný a horľavý konštrukčný celok sa nesmie použiť pre tieto stupne protipožiarnej bezpečnosti;
0	požiarne úseky v jednopodlažných stavbách;
0 _a	požiarne úseky v jednopodlažných stavbách a so súčiniteľom $a \leq 1,1$;
*)	ak je náhodné požiarne zaťaženie vyššie ako 180 kg.m^{-2} pri nehorľavom konštrukčnom celku, 100 kg.m^{-2} pri zmiešanom konštrukčnom celku alebo 80 kg.m^{-2} pri horľavom konštrukčnom celku a súčasne súčiniteľ a je vyšší ako 1,1, môže územne príslušný orgán požiarnej ochrany požadovať ďalšie požiarne bezpečnostné opatrenia s ohľadom na konkrétne podmienky v týchto požiarnych úsekoch (napr. inštaláciu elektrickej požiarnej signalizácie, stabilného hasiaceho zariadenia, zvýšenie požiarnej odolnosti nosných a požiarne deliacich konštrukcií a požiarnych uzáverov v nich); v podzemných podlažiach sú neprípustné uvedené výpočtové požiarne zaťaženia pri súčasnom súčiniteľi a vyššom ako 1,1 bez ďalších požiarnych bezpečnostných opatrení;
(12)	hodnoty v zátvorkách platia pre zmiešané konštrukčné celky podľa 2.6.4 b) uvedenej v STN 920201-2

Z tabuľky 3 vyplýva, že požiarne úseky v 3 až 5 podlažných drevostavbách na bývanie a ubytovanie skupiny B spadajú do III. stupňa protipožiarnej bezpečnosti. Ostatné 3 až 5 podlažné drevostavby podľa tabuľky 4 môžu byť zaradené do III. alebo IV. stupňa protipožiarnej bezpečnosti.

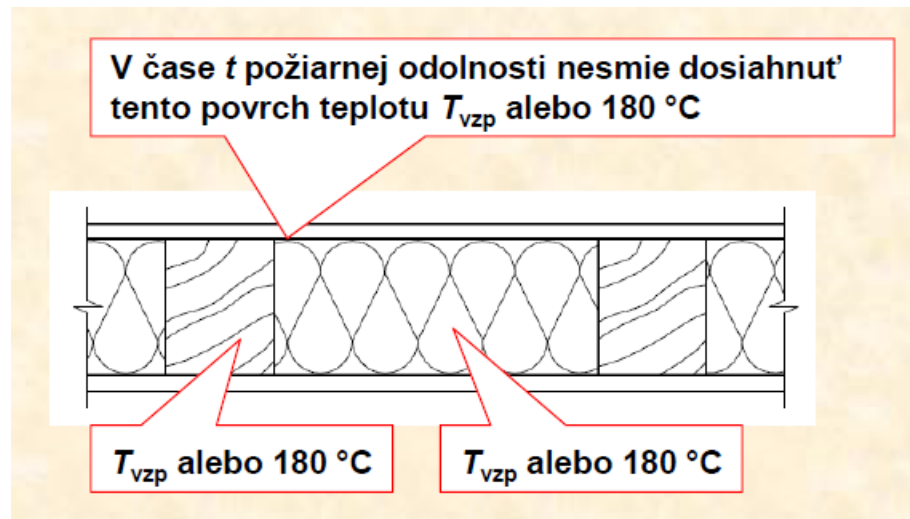
Z uvedeného rozboru problematiky vyplýva, že nosné a požiarne deliace konštrukcie viacpodlažných drevostavieb v III. až IV. stupni protipožiarnej bezpečnosti musia podľa STN 92 0201-2 [6] spĺňať požadovanú požiarnu odolnosť 60 až 90 minút.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Požiadavky na konštrukčné prvky drevostavieb

Pre drevostavby sú typické konštrukčné prvky druhu D2 a D3. Podstatný rozdiel medzi nimi je, že konštrukcia druhu D2 v požadovanom čase požiarnej odolnosti nesmie zvyšovať intenzitu požiaru a konštrukcia druhu D3 ju môže zvyšovať. Požiadavkami na konštrukčné prvky, ktoré uvádza STN 92 0201-2 [6] je dané, že horľavé látky, ktoré sú uzavreté vo vnútri D2 konštrukcie, nesmú v požadovanom čase požiarnej odolnosti dosiahnuť teplotu vzplanutia. Ak táto teplota nie je presne určená, uvažuje sa s teplotou $180 \text{ }^\circ\text{C}$ (viď. obrázok 4). Čas, potrebný na dosiahnutie teploty vzplanutia, to znamená čas

požiarnej odolnosti musí byť preukázaný experimentálne alebo výpočtom, čiže dokladom o preukázaní zhody alebo výpočtom podľa Eurokódu 5 [8].



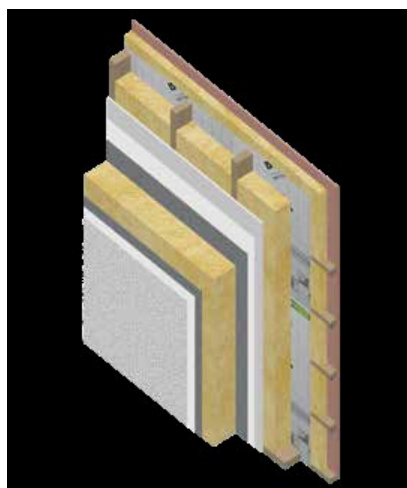
Obrázok 4 Požiadavky na konštrukčný prvok druhu D2 [9]
Figure 4 The element of structure of type D2 requirements [9]

Uvedené požiadavky na konštrukčný prvok druhu D2 platia pre horľavý konštrukčný celok drevostavby, ako aj pre nový zmiešaný konštrukčný celok drevostavby. Konštrukčný prvok druhu D2 v novom zmiešanom konštrukčnom celku (pre najviac 5 podlažné drevostavby) však musí navyše spĺňať požiadavky, ktoré boli uvedené v kapitole 1.2 na obrázku 2. Výrobcovia KVH-hranolov, ktoré plnia funkciu nosných prvkov v sendvičových konštrukciách súčasných drevostavieb v SR, deklarujú triedu reakcie na oheň $D_{s2, d0}$. CLT panely, ktoré sú staticky vhodné pre výstavbu viacpodlažných drevostavieb (4 a 5 podlažných) majú zvyčajne taktiež triedu reakcie na oheň $D_{s2, d0}$, ktorú deklaruje výrobca. Zapuzdrenie konštrukcie je možné z vnútornej strany zabezpečiť protipožiarnym sadrokartónovým systémom a z vonkajšej strany zatepľovacím systémom z minerálnej vlny.

Požiadavku na vyplnenie dutín nehorľavým materiálom s teplotou tavenia najmenej 1000 °C spĺňa kamenná minerálna vlna triedy reakcie na oheň A1. Jej upevnenie v dutinách konštrukčných prvkov je možné technicky vyriešiť napr. natiahnutím pletiva, aby pri požiari nedošlo k vypadnutiu z konštrukcie.

Požiadavky na požiaru odolnosť

Panelové sendvičové konštrukcie bežných drevostavieb s najviac troma nadzemnými podlažiami majú väčšinou v praxi deklarovанú požiaru odolnosť nosných a požiarne deliacich konštrukcií 60 REI/D3 alebo 30 REI/D2. To znamená, že konštrukcia v prípade konštrukčného prvku D2 spĺňa 30-minútovú požiaru odolnosť. V prípade použitia ako konštrukčný prvok D3 spĺňa 60-minútovú požiaru odolnosť (vid'. obrázok 5).



Obrázok 5 Príklad obvodovej steny s kontaktným zatepl'ovacím systémom – systém Saint -Gobain [10]

Figure 5 External wall with contact insulation system – Saint-Gobain system [10]

Pre 4 a 5 podlažné drevostavby je vhodný konštrukčný systém montovaný z CLT panelov. Výsledky požiarnych skúšok boli konzistentné a ukázali, že CLT pri požari uhoľnatie predvídateľným spôsobom a požiaru odolnosť sa dá vypočítať na základe počtu a hrúbky jednotlivých vrstiev, z ktorých sa skladá každý panel a predpokladov o type lepidla. Panely CLT sa vyrábajú s požiarou odolnosťou 30, 60 a 90 minút [7]. Protipožiarnym obkladom a zateplením je možné dosiahnuť aj vyššiu požiaru odolnosť (120 min). Na obrázku 6 je zobrazená dvojpodlažná drevostavba z CLT panelov postavená v SR.



Obrázok 6 Príklad drevostavby z CLT panelov [11]

Figure 6 Timbr building from CLT [11]

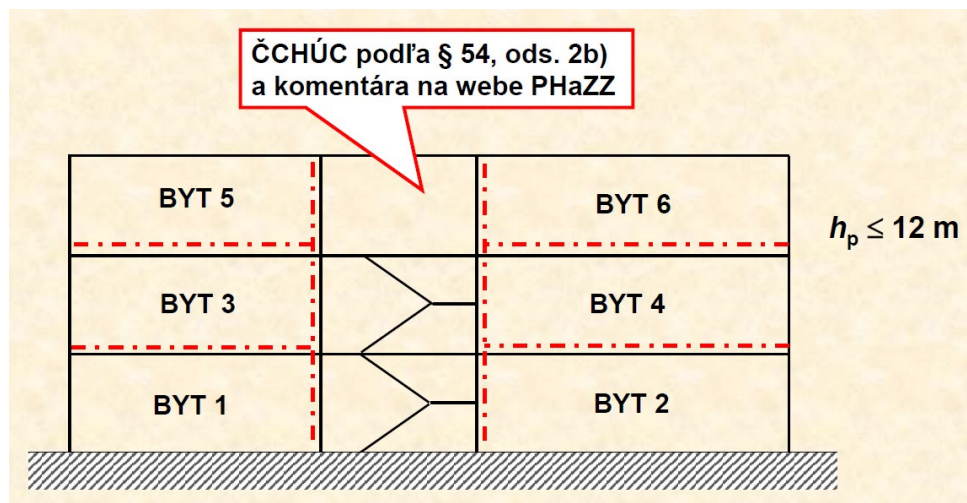
Únikové cesty v drevostavbách v podmienkach SR

Pre stavby na bývanie a ubytovanie skupiny B do požiarnej výšky 12 m, ktorá predstavuje viacpodlažné drevostavby do 5-tich nadzemných podlaží, sú vo Vyhláske MV SR č. 94/2004 Z. z. [12] v § 54, odsek 2b) dané nasledovné riešenia únikových ciest:

Spoločná komunikácia, do ktorej vedú dvere z obytných buniek v stavbe na bývanie a ubytovanie s požiarou výškou nadzemnej časti do 12 m, musí tvoriť

- a) chránenú únikovú cestu alebo
- b) samostatný požiarne úsek, ktorý tvorí čiastočne chránenú únikovú cestu, v ktorom je
 - výpočtové požiarne zaťaženie najviac 3,5 kg/m alebo
 - výpočtové požiarne zaťaženie najviac 7,5 kg/m² a súčiniteľ horľavých látok je najviac 1,1.

Z uvedeného vyplýva, že pre najviac 5 podlažné drevostavby je možné v zmysle legislatívy SR navrhovať aj čiastočne chránené únikové cesty, ktoré nemusia zohľadňovať konštrukčný celok a konštrukčný celok stavby môže byť zmiešaný alebo horľavý, čiže spoločný s obytnou časťou domu (viď. obrázok 7). Podľa Vyhlášky MV SR č. 94/2004 Z. z. [12] je však obmedzená dĺžka čiastočne chránenej únikovej cesty a to 20 m, ak vedie k jednému východu zo stavby alebo 40 m, ak vedie najmenej dvomi rôznymi smermi k východu na voľné priestranstvo alebo do chránenej únikovej cesty. Je viac než pravdepodobné, že 20 m dlhá čiastočne chránená úniková cesta z 5 podlažnej drevostavby nebude postačovať.



Obrázok 7 Samostatný požiarny úsek, ktorý tvorí čiastočne chránenú únikovú cestu v drevostavbe s požiarnou výškou do 12 m [9]

Figure 7 The fire compartment that forms a partially protected escape route in a timber building with a fire height of up to 12 m [9]

V prípade, že je potrebné vybudovať chránenú únikovú cestu podľa § 54, odsek 2a), musí byť ohraničená konštrukčnými prvkami druhu D1, to znamená že musí tvoriť železobetónové alebo murované jadro.

Samočinné stabilné hasiace zariadenia v drevostavbách

Ako už bolo uvedené v úvodných kapitolách príspevku, sprinklerové stabilné hasiace zariadenia sú vo viacpodlažných drevostavbách v zahraničí samozrejmosťou. Uhasia požiar v počiatkoch jeho vzniku, čím sa zabráni jeho ďalšiemu šíreniu. Vo



viacpodlažných bytových drevostavbách sú sprinklery nainštalované v každom byte a častokrát aj na lodžiách. Uhasia požiar v byte skôr, než by sa rozšíril do vedľajších priestorov a sprinklery na lodžiách zabránia šíreniu požiaru na vonkajšej strane budovy. Na Slovensku takáto ochrana drevostavieb neexistuje hlavne z dôvodu, že je v našich podmienkach pre investorov finančne náročná.

Odstupové vzdialenosti a požiarne nebezpečný priestor v drevostavbách

V STN 92 0201-4/ Zmena 3 [13], ktorá vyšla v roku 2020, článok 2.6.4 e) je uvedené, že v nevýrobnej stavbe alebo vo výrobnnej stavbe a v stavbe poľnohospodárskej výroby so skupinami prevádzkarní 1 až 5 alebo v sklade v jednopodlažnej stavbe s $A_s \leq 1$, v ktorých je na celej ploche inštalované SHZ, okrem priestorov bez požiarneho rizika a obvodové steny sú z D1 alebo D2, avšak bez vonkajšieho povrchu z výrobkov triedy E alebo F alebo horľavých povrchov uvoľňujúcich množstvo tepla väčšie ako 100 MJ/m^2 sa požiarne nebezpečný priestor neurčuje. Toto ustanovenie je teda využiteľné aj pre drevostavby, ktoré majú nosné a požiarne deliace konštrukcie druhu D2, to znamená drevostavby v horľavom alebo novom zmiešanom konštrukčnom celku.

Keďže drevostavby v našich podmienkach nie sú chránené SHZ, vzniká od ich obvodových konštrukcií s horľavým povrchom požiarne nebezpečný priestor, ktorý je daný určenou odstupovou vzdialenosťou. Odstupová vzdialenosť závisí od toho, aká povrchová úprava je použitá z vonkajšej strany obvodovej steny a aká je jej hrúbka. Ak sa výpočtom preukáže, že v prípade prenesenia požiaru z vnútra stavby na fasádu, sa z horľavého povrchu obvodovej steny uvoľní viac tepla ako 100 MJ/m^2 , pri určovaní odstupovej vzdialenosti ju musíme uvažovať ako čiastočne požiarne otvorenú plochu. Tým sa logicky odstupová vzdialenosť navyšuje. Pri použití zateplenia drevovláknitou doskou Steico Protect hr. 60 mm alebo dreveného obkladu z tatranského profilu hr. 22 mm na drevostavbu rodinného domu, vychádza odstupová vzdialenosť podľa STN 92 0201-4/Z3 [9] 8,1 m [14].



ZÁVER

Z rozboru problematiky a výsledkov uvedených v príspevku vyplýva, že legislatívne požiadavky v SR dávajú dobré predpoklady pre projektovanie a riešenie protipožiarnej bezpečnosti viacpodlažných drevostavieb v SR a ich samotnú výstavbu či už v horľavom alebo zmiešanom konštrukčnom celku stavby. Vieme navrhnúť vhodný konštrukčný systém s ohľadom na podlažnosť drevostavby a zvoliť vhodné materiálové riešenie konštrukčných prvkov tak, aby boli splnené požiadavky na ich požadovanú požiaru odolnosť 30, 60 a 90 min. Vhodným a spoľahlivým riešením je CLT konštrukčný systém. Pri riešení evakuácie vieme, kedy využiť chránené aj čiastočne chránené únikové cesty. A vieme, že návrhom samočinných sprinklerových hasiacich zariadení zabezpečíme ochranu proti šíreniu požiaru vo vnútri stavby aj na susedné budovy. Určite máme dostatok dobrých odborníkov, ktorí uvedené požiadavky dokážu v praxi zrealizovať. Potrebujeme však viac času, aby sa s výstavbou drevostavieb v SR vysporiadala celá spoločnosť.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená projektom VEGA č. 1/0115/22 Komplexný prístup k štúdiu zmien parametrov požiaru s využitím progresívnych analytických a testovacích metód.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Drevená nosná konštrukcia pre viacpodlažné domy. [online]. [cit. 2024-09-24]. Dostupné na internete: <https://www.asb.sk/architektura/drevena-nosna-konstrukcia-pre-viacpodlazne-domy>
- [2] Mózer, V. 2018. Moderné a bezpečné drevostavby. Asociácia výrobcov minerálnych izolácií. 2018
- [3] Östman, B. 2022. National fire regulations for the use of wood in buildings - worldwide review 2020. Wood Material Science & engineering 2022, 17 (1), 2-5. <https://doi.org/10.1080/17480272.2021.1936630>
- [4] Buchanan, A. H. 2016. Fire Resistance of Multistorey Timber Buildings. Fire Science and Technology 2015, 9-16. https://doi.org/10.1007/978-981-10-0376-9_2



- [5] Östman, B. 2021. National fire regulations for the use of wood in buildings - worldwide review 2020. Växjö: Linnaeus University, 2021, 20 s. ISBN 978-91-89283-39-8
- [6] STN 92 0201-2: 2017 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 2: Stavebné konštrukcie
- [7] Aktuálne zmeny v oblasti požiarnej prevencie [online]. [cit. 2024-08-16]. Dostupné na internete: https://www.sksi.sk/buxus/docs/anotacie/BA/9-MACASEK_2018_zmeny_v_94_2004.pdf
- [8] Eurokód 5: 2008 Navrhovanie drevených konštrukcií. Časť 1-2: Všeobecné pravidlá. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru
- [9] Požiarna bezpečnosť drevostavieb z pohľadu legislatívy SR [online]. [cit. 2024-10-09]. Dostupné na internete: https://cognitiosro.sk/storage/app/media/publikacie/15.12.2020%20-%20nov%C3%A9/PBS-drevostavieb_2020.pdf
- [10] Funkčné riešenia pre moderné drevostavby [online]. [cit. 2024-10-10]. Dostupné na internete: <chrome:extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.saint-gobain.sk/documents/katalogy-brozury/funkcne-riesenia-pre-moderne-drevostavby.pdf>
- [11] Požiarna odolnosť CLT drevodomu [online]. [cit. 2024-10-10]. Dostupné na internete: <https://budmero.sk/poziarna-odolnost-clt-drevodomu-horlavost-ohen-budmero/>
- [12] Vyhláška MV SR č. 94/2004 Z.z., ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarnu bezpečnosť pri výstavbe a užívaní stavieb, v znení neskorších predpisov
- [13] STN 92 0201-4/Z3: 2020 Požiarna bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 4: Odstupové vzdialenosti
- [14] Tereňová, L, Štefková, J. 2022. The impact of the heat flux density on separation distances from flammable surfaces of exterior walls. Delta: fire protection & safety scientific journal, 2022. zv. 16, 33-41. ISSN 1337-0863



**HYDRAULICKÁ PLOŠINA A JEJ VÝZNAM PRI
ZÁSAHOVE ČINNOSTI HASIČSKÉHO A
ZÁCHRANNÉHO ZBORU**

**HYDRAULIC PLATFORM AND ITS IMPORTANCE IN
THE INTERVENTION ACTIVITIES OF THE FIRE AND
RECSUE CORPS**

Marianna TOMAŠKOVÁ¹- Anna VRABELOVÁ²- Silvia MALÁKOVÁ³

^{1,2} Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, KKBaE, Letná 1/9 , 042 00
Košice-Sever, Slovenská republika, marianna.tomaskova@tuke.sk

³ Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta Katedra konštrukčného a
dopravného inžinierstva, Letná 1/9 , 042 00 Košice-Sever, Slovenská republika,
silvia.malakova@tuke.sk

Abstract

Elevating devices are special equipment and are an essential part of modern firefighting technology. They enable rescuers to intervene effectively and safely in difficult conditions. The machinery must meet safety requirements and protective measures must be designed according to the EN ISO 12100 principles for hazards. Operators of this equipment must receive training to ensure that they are able to use this type of firefighting equipment correctly and effectively with regard to their own safety and that of rescuers.

Keywords: *automotive platform, automotive ladder, personal protective equipment.*

ÚVOD

Jednou z kľúčových oblastí činností hasičského a záchranného zboru je zasahovanie pri rôznych typoch udalostí ohrozujúcich bezpečnosť a majetok, ako sú



požiare, dopravné nehody, technické zásahy a rôzne havárie. Každý typ zásahu si vyžaduje špecifické odborné znalosti, vybavenie a prístup, aby sa mohla poskytnúť efektívna pomoc a minimalizovať škody. Zvládnutie týchto situácií je kľúčové pre ochranu životov, majetku a životného prostredia. V rámci tejto komplexnej problematiky osobitnú kategóriu predstavuje zásahová činnosť vo výškach. Prudký rast výškových stavieb a technologických zariadení vedie k nárastu mimoriadnych udalostí v týchto prostrediach. Zásahy vo výškach predstavujú pre hasičov náročné a komplexné operácie, ktoré si vyžadujú špeciálne znalosti, zručnosti a vybavenie.

Zásahová činnosť

Činnosti príslušníkov Hasičského a záchranného zboru zahŕňajú širokú škálu aktivít zameraných na poskytovanie pomoci a záchrane osôb a majetku v prípade havárií, živelných pohrôm, alebo iných nebezpečných situácií, tab.1. Výšková záchranná automobilová technika s podskupinami podľa Vyhlášky 162/2006 Z. z. zahŕňa hasičský automobil vybavený otočným rebríkom, alebo výškovou pracovnou plošinou. Pričom rozdiel medzi otočným automobilovým rebríkom (AR) a výškovou automobilovou pracovnou plošinou (AP), je, že automobilový rebrík má jednoduchšiu konštrukciu, obmedzenú mobilitu a výšku dosahu. Automobilová pracovná plošina má všestrannejšiu konštrukciu, väčšiu mobilitu a výška dosahu, je vhodná na rôzne zásahové činnosti vo výškach. Podľa STN EN 1777 je vysokozdvíhacia výšková technika pre hasičské a záchranné služby je zdvíhacia plošina skladajúca sa z pracovnej plošiny a hydraulickéj výsuvnej konštrukcie namontovanej na základni, ktorou je podvozok s vlastným pohonom a určená na prepravu osôb a ich výbavy, v niektorých prípadoch aj hasičských monitorov, na pracovné miesta slúžiace na zásahy pri hasení požiaru, pri záchrane, alebo ochrane osôb, ochrane prostredia a rôzne iné technické činnosti.



Tabuľka 1 Zásahy hasičského záchranného zboru pomocou výškovej techniky

Table 1 Fire brigade interventions using high-rise equipment

Technické zásahy	
Technické zásahy sú jednou z hlavných činností Hasičského a záchranného zboru. Tieto zásahy zahŕňajú rôzne technické činnosti zamerané na minimalizáciu škôd a zaistenie bezpečnosti osôb a majetku.	Medzi najčastejšie technické zásahy patria: záchranné práce pri dopravných nehodách, záchranné práce pri výškových zásahoch, záchranné akcie na vode.
Protipožiarne zásahy, Hasenie požiarov v rôznych budovách	Bytové domy, priemyselné prevádzky, lesy [1], [2].
Zásahy zahŕňajúce nebezpečnú látku	Príslušníci HAZZ zasahujú v rôznych situáciách, v ktorých sa vyskytujú chemické a biologické riziká. Patria sem predovšetkým priemyselné havárie, úniky nebezpečných látok, prírodné katastrofy, teroristické útoky a iné incidenty. Pri týchto zásahoch musia dodržiavať prísne bezpečnostné opatrenia a používať špeciálne vybavenie [1], [3].
Zásahy podľa stupňa naliehavosti:	Aktuálne zásahy: Tieto zásahy sú zamerané na záchranu života a majetku v bezprostrednom ohrození a vyžadujú si okamžitý zásah, rýchlu a účinnú reakciu záchranných zložiek. [2] Preventívne zásahy: Tieto zásahy sú zamerané na prevenciu požiarov a mimoriadnych udalostí. Patria sem napríklad protipožiarne kontroly, školenia a informačné kampane. Príslušníci tiež poskytujú verejnosti a podnikom osvetu a informácie o bezpečnosti. [1], [2].
Zásahy podľa miesta zásahu:	Zásahy v mestách Zásahy mimo mesta

Zásahová činnosť s výškovou technikou

Zásahová činnosť hasičských jednotiek pomocou výškovej techniky zohráva významnú úlohu pri pomoci osôb v núdzi. Zásahové činnosti príslušníkov Hasičského a záchranného zboru s využitím výškových techník sú neoddeliteľnou súčasťou záchrany



osôb a majetku v rôznych núdzových situáciách. Tieto techniky umožňujú hasičom dostať sa do ťažko dostupných, alebo extrémne nebezpečných miest, ako sú horiace budovy, vysoké stromy či strmé svahy a efektívne tam zasiahnuť tab. 2,3.

Tabuľka 2 Zásahová činnosť s výškovou technikou

Table 2 Intervention activity with high-altitude equipment

Všeobecné používanie výškovej techniky	Záchrana a evakuácia osôb, zvierat, majetku, do bezpečia z výšky.
Preprava hasiacich prostriedkov	Vykonávanie záchranných a hasiacich prác z ovládateľnej a funkčnej kliečky oprava striech po silnom vetre.
Evakuácia osôb z budov a priestorov zasiahnutých požiarom	Hasenie požiarov a doprava hasiacej látky na miesto požiaru z výšky.
Vykonanie prieskumu a kontroly miesta udalosti	Preprava personálu a materiálu potrebného na hasenie požiaru na vyvýšené miesta pre rýchly a účinný zásah. Osvetlenie miesta zásahu.

Tabuľka 3 Oblasti výjazdov HaZZ v rokoch 2021 – 2023 [1]

Table 3 Areas of call-outs of the Fire and Rescue Service in the years 2021 – 2023 [1]

Oblasti výjazdov HaZZ	Počet zásahov		
	2021	2022	2023
Technický zásah	11439	10427	12097
Dopravná nehoda	6951	7147	7789
Požiar	8107	11151	6800
Cvičenie	1400	1580	1748
Nebezpečná látka	2298	1049	881
Falošný poplach	600	620	533
Celkovo	30795	31974	29848



Analýza tabuľky č. 3 o príčinách výjazdov HaZZ v roku 2023 odhaľuje, že výšková technika zohráva významnú úlohu pri zásahoch. Z celkového počtu 171 713 výjazdov bolo 91 811 technických zásahov (53,5%) a 17 332 požiarov (10,1%). Tieto typy zásahov si vyžadujú použitie výškovej techniky v značnej miere [6]. Význam výškovej techniky je obzvlášť evidentný pri technických zásahoch. Z 91 811 technických zásahov sa výšková technika používala v 30 000 prípadoch, čo predstavuje 32,7%. To poukazuje na široké spektrum využitia výškovej techniky pri rôznych typoch technických zásahov. Aj pri požiaroch zohráva výšková technika dôležitú úlohu. Z 17 332 požiarov sa výšková technika používala v 4 000 prípadoch, čo predstavuje 23,1%. To je obzvlášť dôležité pri požiaroch vo výškových budovách, kde je nutné evakuovať osoby a hasiť oheň z rôznych úrovní [7].

Oblasti využitia výškovej techniky

Výšková technika sa používa pri požiaroch na rôznych miestach, ktoré sú ťažko dostupné. Niektoré z najčastejších oblastí využitia výškovej techniky pri požiaroch sú:

- Výškové budovy,
- Priemyselné objekty,
- Letiská,
- Mosty a tunely,
- Lesné požiare.

Vlastnosti výškového zdvíhacieho zariadenia:

Pracovná výška: Plošiny dosahujú mimoriadne vysoké pracovné výšky, niektoré modely až do 112 metrov. To prekonáva možnosti bežných hasičských rebríkov a umožňuje zasahovať v situáciách, ako sú hasenie požiarov vo výškových budovách alebo záchrana ľudí uviaznutých na vysokých miestach.

Nosnosť: Plošiny dokážu uniesť značnú váhu, čo umožňuje hasičom a záchranárom prepravovať na miesto zásahu potrebné vybavenie a ľudí.



Flexibilita: Hydraulické ramená umožňujú plošine pohybovať sa rôznymi smermi a dosiahnuť aj na miesta s obmedzeným prístupom.

Bezpečnosť: Plošiny sú vybavené bezpečnostnými prvkami, ako sú zábrany proti pádu a stabilizačné systémy, ktoré zaisťujú bezpečnosť pracovníkov vo výškach [8].

Využitie a výhody zvoleného výškového zdvíhacieho zariadenia:

Hasičské zásahy: zvolená plošina sa primárne používa pri hasičských zásahoch vo výškach, ako je hasenie požiarov v budovách, továrňach a iných objektoch.

Záchranné práce: plošiny sa využívajú aj pri záchranných prácach vo výškach, napríklad pri záchrane ľudí z horiacich budov, záchrane horolezcov uviaznutých na skalách, alebo pri evakuácii ľudí z povodní.

Údržba a inšpekcia: zvolená plošina sa využíva aj v stavebníctve, pri údržbe a inšpekcii mostov, budov, veterných elektrární a iných vysokých konštrukcií.

Eventy a filmovanie: využitie nachádza aj pri organizovaní eventov a filmovaní, kde umožňuje kameramanom a technikom získať jedinečné zábery z výšky [8].

Typy zdvíhacích plošín

Rebríková plošina pre hasenie požiarov a záchranu v mestách. Vďaka ich kompaktnému dizajnu a krátkej dĺžke prepravy sú plošiny navrhnuté tak, aby boli rýchle v úzkych mestských uliciach a pri zložitých scenároch požiarov. Sú k dispozícii v rôznych hmotnostných triedach s optimálnym dosahom, a to s, alebo bez záchranného rebríka. Model F32TLK spĺňa európske normy [8].



Obrázok 1. Rebríková plošina pre hasenie požiarov a záchranu v mestách (model - Bronto F32TLK) [8]

Figure 1. Ladder platform for urban firefighting and rescue (model - Bronto F32TLK) [8]

Výškové zdvíhacie plošiny pre hasenie a záchranu

Zdvíhacie plošiny F-HLA umožňujú efektívnu a bezpečnú prevádzku pri extrémne náročných výškových záchranných a hasičských misiách až do 112 metrov. Tieto platformy sú špeciálne navrhnuté pre mestské oblasti s vysokými budovami a priemyselnými požiarnymi aplikáciami, kde je potrebné dosiahnuť vzdialenosti väčšie ako 100 metrov pri rozprašovaní vody alebo peny, alebo ak je nutný prístup k vysokým konštrukciám. Sú určené na poskytovanie spoľahlivej podpory pri riešení významných situácií vo veľkých výškach. [6]



Obrázok 2. Výšková zdvíhacia plošina (model Bronto F-HLA) [8]

Figure 2. High-rise lifting platform (Bronto F-HLA model) [8]



Zdvíhacie plošiny pre priemyselné hasenie požiarov

Vodná, penová veža na priemyselné hasenie požiarov.

Hasiči v priemyselných podnikoch, rafinériách ropy a chemických závodoch pracujú v nebezpečných podmienkach a musia byť pripravení na situácie, kde je potrebná vysoká kapacita peny a vody. Rad vodných a penových veží Bronto Skylift F-WFT zahŕňa efektívne veže na vodu a penové nádrže určené na ciele, ktoré sú ťažko prístupné a zhasnutie. S kapacitou vody 6000 l/min je rad F-WFT ideálny na chladenie nádrží ohrozených požiarom a na boj s intenzívnymi požiarimi. Ocelové strešné veže radu F-WFT majú veľmi krátku prepravnú dĺžku, čo im umožňuje efektívne používanie vo všetkých priemyselných prostrediach. Jednotka sa môže prispôbiť rôznym špecifikáciám a voliteľné diaľkové ovládanie umožňuje prevádzku z bezpečnej vzdialenosti, bez ohrozenia výkonu. [8]



Obrázok 3. Vodná, penová veža na priemyselné hasenie požiarov pri zásahu (model Bronto F-WTF) [8]

Figure 3. Water, foam tower for industrial firefighting in intervention (model Bronto F-WTF) [8]



Zdvíhacie plošiny s hasiacou kapacitou pre priemyselné hasenie požiarov a záchranu

Bronto Skylift Super Extinguishers sú špeciálne navrhnuté pre extrémne požiadavky priemyselných požiarnych jednotiek. Zvýšený horizontálny dosah, vynikajúci dosah nad a cez prekážky, rozsiahla schopnosť vypúšťania vody až do 12 000 l/min a rôzne možnosti umožňujú bezpečné operácie v náročných priemyselných prostrediach. Viacúčelové plošiny F-SE radu zahŕňajú najväčšiu záchranársku klietku, s maximálnym bezpečným zaťažením až do 500 kg. Pomer výšky ku hmotnosti prekonáva akúkoľvek inú plošinu na trhu a plošiny SE môžu byť vybavené akoukoľvek vhodnou, vysokokapacitnou požiarnou pumpou. [8]



Obrázok 4. Zdvíhacia plošina s veľkou hasiacou kapacitou pri zásahu (model Bronto F-SE) [8]

Figure 4. Lifting platform with large extinguishing capacity during intervention (model Bronto F-SE) [8]

POSÚDENIE RIZÍK VYBRANEJ ZÁSAHOVEJ ČINNOSTI S VÝŠKOVOU TECHNIKOU

Pre posúdenie rizík zásahovej činnosti s výškovou technikou pomocou zmiešanej metódy, ktorá vychádza z legislatívnych požiadaviek STN EN ISO 12100 a STN EN

1777. Pri analýze sa zohľadnili riziká tak pre príslušníkov HaZZ priamo zapojených do zásahu, ako aj pre osoby nachádzajúce sa v priestore ovplyvnenom zásahom [9,10].

V rámci posúdenia bolo identifikovaných 20 potenciálnych ohrození, tab.4. Z nich 9 bolo klasifikovaných ako kritické, čo znamená, že si vyžadujú bezodkladné zavedenie bezpečnostných opatrení. Ďalších 8 ohrození bolo klasifikovaných ako stredne rizikové, s odporúčaním zavedenia preventívnych bezpečnostných opatrení, Tab.4.

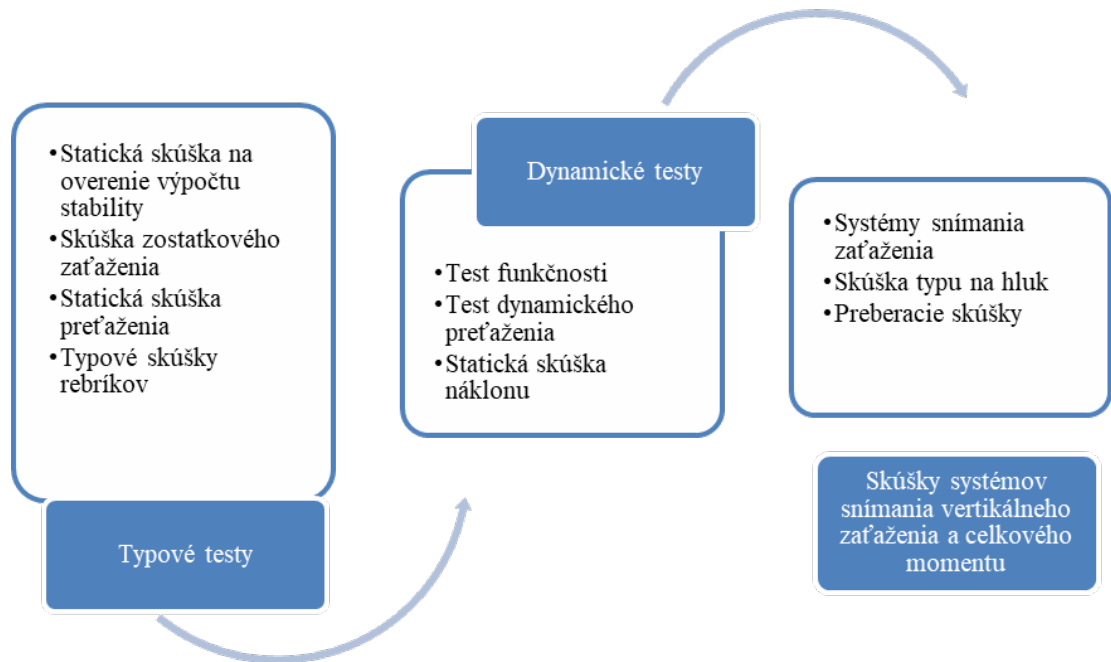
Tabuľka 4. Posúdenie rizík pri zásahoch s použitím automobilovej plošiny [autor]

Table 4. Risk assessment for interventions using automotive platform [author]

Zariadenie: Automobilová plošina	Spracovateľ: Tomašková	Dátum: 3.5.2024	Posúdenie rizík a návrh ochranných opatrení podľa zmiešanej metódy TNI ISO/TR 14121-2	Čierna oblasť - vyžadujú sa opatrenia	Sivá oblasť - Odporúčajú sa bezpečnostné opatrenia	Klasifikácia rizika				predbežné posúdenie rizika	priebežné posúdenie rizika	následné posúdenie rizika
						Se	Fr	Pr	Av			
Následky	Zhvažnosť Se	Klasifikácia Fr	Klasifikácia Pr	Klasifikácia Av	Klasifikácia CI	Klasifikácia Av	Klasifikácia Pr	Klasifikácia Fr	Klasifikácia CI	Klasifikácia Av	Klasifikácia Pr	Klasifikácia Fr
	4	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	1	2	3	4	5	6
	3	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	2	3	4	5	6	7
	2	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	3	4	5	6	7	8
	1	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	4	5	6	7	8	9
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	5	6	7	8	9	10
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	6	7	8	9	10	11
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	7	8	9	10	11	12
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	8	9	10	11	12	13
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	9	10	11	12	13	14
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	10	11	12	13	14	15
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	11	12	13	14	15	16
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	12	13	14	15	16	17
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	13	14	15	16	17	18
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	14	15	16	17	18	19
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	15	16	17	18	19	20
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	16	17	18	19	20	
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	17	18	19	20		
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	18	19	20			
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	19	20				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	20					

SKÚŠKY HYDRAULICKEJ PLOŠINY

Typové skúšky sa musia vždy vykonať na každom konštrukčnom modeli prvej hydraulickej platformy každej konštrukcie určenej na sériovú výrobu, ako aj na špeciálnych strojoch.



Obrázok 5 Overovanie a skúšky hydraulickej plošiny [9]

Figure 5 Hydraulic platform verification and testing [9]

Príklady výpočtov pre priemery oceľových lán, lanového bubna a lanovej kladky hydraulickej plošiny

Ľahká prerušovaná prevádzka sa podľa EN 280 určuje pre väčšie stroje s veľkými menovitými zaťažzeniami, ktoré sa často prevádzkujú s menším ako menovitým zaťažením a len občas. Ťažká prevádzka sa stanovuje pre menšie stroje s malými menovitými zaťažzeniami, ktoré sa pravidelne plne zaťažujú a pravidelne nasadzujú. Stredná prevádzka sa v Norme STN EN 1777 uvádza ako najnepriaznivejší prípad pre výsuvnú konštrukciu, keďže sa mení zaťaženie v priebehu pracovného cyklu. Ťažká prevádzka sa vyskytuje len na vyrovnávacích systémoch pri strojoch s nízkymi



menovitými zaťaženiami. Hodnoty zaťaženia v nasledujúcich príkladoch sú zvolené tak, aby bol priemer lana 9 mm, koeficienty využitia majú minimálne hodnoty.

Príklad 1:

Ľahká prerušovaná prevádzka podľa EN 280

$$40\,000 \text{ cyklov počas } 10 \text{ rokov} = \frac{40\,000}{365 \times 10} = 10,96 \text{ cyklov za deň.} \quad (1)$$

Najnepriaznivejší prípad, 25 m výložník pohybujúci sa rýchlosťou 0,4 m/s v rozsahu 180° (spolu 360°). Stredná hodnota prevádzkového času /deň v hodinách [h], vzťahnutá na 1 rok.

$$\frac{1 \times 50}{0,4} = 393 \text{ s/cyklus} \frac{10,96 \times 393}{60 \times 60} = 1,12 \text{ h/deň} = V_1 \text{ (1-2h/deň)} \quad (2)$$

Príklad 2:

Ťažká prevádzka podľa EN 280

$$10\,000 \text{ cyklov počas } 10 \text{ rokov} = \frac{100\,000}{365 \times 10} = 27,4 \text{ cyklov/deň} \quad (3)$$

Najnepriaznivejší prípad, 10 m výložník pohybujúci sa rýchlosťou 0,4 m/s v rozsahu 90° spolu 180° .

Stredná hodnota prevádzkového času/deň v hodinách, je vzťahnutá na 1 rok.

$$\frac{1 \times 20}{2 \times 0,4} = 78,5 \text{ s/cyklus} \frac{27,4 \times 78,5}{60 \times 60} = 0,6 \text{ h/deň} = \text{trieda } V_{0,5} \text{ (0,5-1 hod za deň)} \quad (4)$$

Príklad 3:

Výpočet najmenšieho priemeru lana

$$d_{min.} = c \cdot \sqrt{S} \quad (5)$$

S je vypočítané zaťaženie lana [N]

Ak sa použije skupina pohonu 1 A_m berú sa do úvahy hodnoty koeficientov c:

- Pre umŕtvené laná s menovitou pevnosťou 1 570 N/mm². c=0,090



- Pre umŕtvené laná s menovitou pevnosťou 1 770 N/mm². c=0,085
- Pre umŕtvené laná s menovitou pevnosťou 1 960 N/mm². c=0,085
- Pre umŕtvené laná s menovitou pevnosťou 2 160 N/mm². c=sa nepoužíva pre skupinu pohonu 1 A_m podľa tabuľky normy EN 1777

Pre S = 10 000 N a c = 0,090 a S=11 211 N a c=0,085: d_{min}=9 mm.

Koeficienty využívania:

Oceľové lano 6x19 podľa ISO 2408:2004, najmenšia trhacia sila F_{min} pre oceľové lano s priemerom 9 mm a pevnosťou drôtu 1 770 N/mm²:

- S textilnou dušou: F_{min}= 47 300 N
- S oceľovou dušou: F_{min}= 51 000 N

Tabuľka 5 Koeficienty využívania

Table 5 Utilisation coefficients

Pevnosť drôtu	Textilná duša	Oceľová duša	Rovnica
1 570 N/mm ² S=10 000 N	$\frac{43\,300 \times 1\,570}{10\,000 \times 1\,770} = 4,20$	$\frac{51\,000 \times 1\,570}{10\,000 \times 1\,770} = 4,52$	$\frac{F_{min}}{S} \times \frac{1\,570}{1\,770}$
1 770 N/mm ² S=11 211 N	$\frac{47\,300}{11\,211} = 4,22$	$\frac{51\,000}{11\,211} = 4,55$	$\frac{F_{min}}{S}$
1 960 N/mm ² S= 11 211N	$\frac{4,22 \times 1\,960}{1\,770} = 4,67$	$\frac{4,55 \times 1\,960}{1\,770} = 5,04$	$\frac{F_{min}}{S} \times \frac{1\,960}{1\,770}$

NÁVRH OPATRENÍ

Príprava a plánovanie sú významné pred vykonaním zásahu s výškovou technikou je nevyhnutné mať presný plán a prípravu. Je podstatné zahrnúť do plánu identifikáciu rizík a možných nebezpečenstiev spojených s použitím výškovej techniky. Ďalším významným faktorom je Odborný výcvik a príprava. Zabezpečenie všetkých členov tímu, ktorí budú pracovať s výškovou technikou, aby absolvovali odborný výcvik a mali



potrebné schopnosti a znalosti na bezpečné používanie tejto techniky. Pravidelná údržba a kontrola techniky zahŕňa pravidelnú údržbu a kontrolu výškovej techniky, aby sa minimalizovali riziká spojené s poruchami, alebo nedostatočnou funkčnosťou zariadení. Zavedenie prísnych bezpečnostných postupov a vyžadovanie používania ochranných osobných pracovných prostriedkov, ako sú bezpečnostné pásy, prilby a iné ochranné vybavenie. Monitorovanie a komunikácia súvisí so zabezpečením neustáleho monitorovania situácie počas zásahu a efektívnu komunikáciu medzi členmi tímu pracujúcimi s výškovou technikou. Tieto opatrenia by mali pomôcť minimalizovať riziká spojené s používaním výškovej techniky pri zásahovej činnosti a zabezpečiť bezpečnosť a ochranu zdravia tímu pri práci na výškach.

ZÁVER

Riziká zásahovej činnosti príslušníkov Hasičského a záchranného zboru so zameraním na zásahy s výškovou technikou sú posúdené pomocou zmiešanej metódy posudzovania rizík. Bolo identifikovaných 20 potenciálnych ohrození, z ktorých 9 bolo klasifikovaných ako kritické a 8 ako stredne rizikové. Kritické ohrozenia si vyžadujú bezodkladné zavedenie preventívnych opatrení, ako sú dôkladná príprava a plánovanie pred každým zásahom s výškovou technikou, odborný výcvik a príprava príslušníkov

hasičského a záchranného zboru na prácu s výškovou technikou, pravidelná údržba a kontrola výškovej techniky, zavedenie prísnych bezpečnostných postupov, neustále monitorovanie situácie počas zásahu a efektívna komunikácia. Implementácia týchto opatrení by mala minimalizovať riziká a zvýšiť bezpečnosť príslušníkov hasičského zboru pri práci na výškach.

POĎAKOVANIE

Príspevok bol vypracovaný v rámci projektov KEGA č. 026TUKE-4/2023, 029TUKE-4/2021 a 037TUKE-4/2024.



ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- [1] Portál Minv.sk. Hasičský a záchranný zbor. [online] [cit. 27.04.2024]. dostupné na internete: <https://www.minv.sk>
- [2] Portál hzs.sk Horská záchranná služba. [online] [cit. 01.04.2024]. dostupné na internete: <https://hzs.sk>
- [3] Portál dposr.sk Dobrovoľná požiarna ochrana SR. [online] [cit. 15.04.2024]. dostupné na internete: <https://www.dposr.sk>
- [4] Raková, J. a kol. Hasiči - Spravodajca protipožiarnej ochrany a záchrannej služby. Bratislava: Ministerstvo vnútra SR-Prezídium Hasičského a záchranného zboru, 2023. ISSN 1335-9975.
- [5] Monoši, M. a kol. Hasičská technika I., Košice: elfa, 2021, ISBN 978-80-8126-185-5.
- [6] Portál pozary.cz ohnisko žhavých zpráv. [online] [cit. 04.04.2024]. dostupné na internete: <https://www.pozary.cz> [accessed: 11 Jun 2024].
- [7] Portál hzscr.cz Hasičský záchranný sbor České republiky. [online] [cit. 11.03.2024]. dostupné na internete: <https://www.hzscr.cz>, [accessed: 11 Jun 2024].
- [8] Portál brontoskylift.com. Bronto Skylift. [online] [cit. 20.04.2024]. Retrieved from: <https://brontoskylift.com>
- [9] STN EN 1777: 2010 (92 0607) Vysokozdvíhacie hydraulické plošiny (HP) pre hasičské a záchranné služby. Bezpečnostné požiadavky a skúšky.
- [10] STN EN ISO 12100:2011 Bezpečnosť strojov. Všeobecné zásady konštruovania strojov. Posudzovanie a znižovanie rizika.



VZNIK PRCHAVÝCH PRODUKTOV PRI TERMICKEJ DEGRADÁCII DREVA

THE FORMATION OF GASEOUS PRODUCTS AT THE THERMAL DEGRADATION OF WOOD

Veronika VEĽKOVÁ¹ – Nikoleta ULBRIKOVÁ¹

¹Katedra protipožiarnej ochrany, Drevárska fakulta Technickej univerzity vo Zvolene,
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika, veronika.velkova@is.tuzvo.sk,
ulbrikova@is.tuzvo.sk

Abstract

The aim of the contribution is to assess the formation of gaseous products at the thermal degradation of spruce and oak wood. Samples of spruce and oak wooden sawdust were thermally loaded at the temperatures of 200, 250 and 300 °C, the samples of gaseous products were collected, processed and analyzed using the GC-MS method. There were identified 14 compounds for spruce samples and 16 compounds for oak samples at the temperature of 300 °C. These can be divided to chemical groups as alkanes, terpenes and benzene derivatives.

Keywords: *thermal loading, gaseous products, oak, spruce, gas chromatography, mass spectrometry*

ÚVOD

Drevo je materiál so širokospektrálnym využitím. Hodnotenie vlastností dreva závisí od jeho momentálnej aplikácie a požiadaviek kladených naň. Významné hľadisko predstavuje pozitívna uhlíková stopa v prípade aplikácií v stavebnom priemysle, keď konzervácia oxidu uhličitého pretrváva niekoľko desaťročí. Pri tomto využití horľavosť dreva predstavuje negatívny jav a je nutné ho dôkladne poznať. Informácie o zložení a množstve vznikajúcich plynných produktov sa môžu využiť pri objasňovaní mechanizmu a kinetike termickej degradácie dreva.



Rozbor problematiky

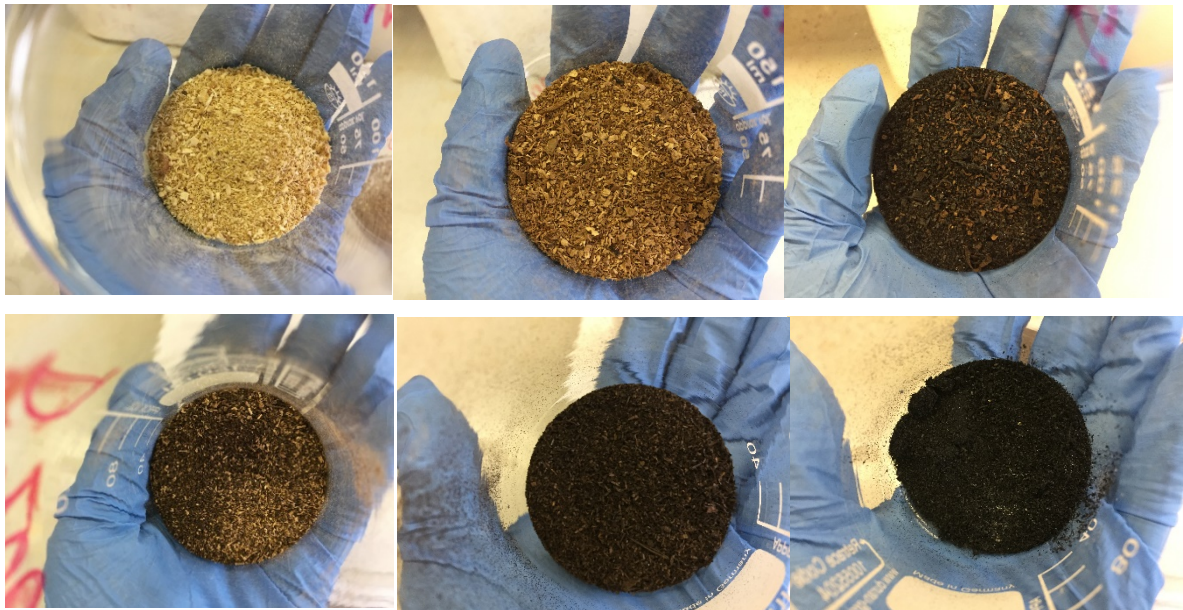
Základné komponenty dreva podliehajú rôznym zmenám pri termickej degradácii, ich termická stabilita je rozdielna. Pri termickej degradácii dreva sa ako prvé štiepia hemicelulózy, následne celulóza a lignín. Rozkladné reakcie prebiehajú už pri nižších teplotách a intenzita s teplotou rastie (Kačíková, Netopilová, Osvald 2006). Niektoré reakcie môžu pôsobiť katalyticky pre ďalší rozklad. Z hemicelulózy sa pri teplote 200 °C štiepi napríklad kyselina octová, ktorá pôsobí ako katalyzátor v procese štiepenia celulózy (Polletto et al. 2019). Pri vysokých teplotách sa z hemicelulózy aj celulózy odštiepuje levoglukozan. Pri degradácii hemicelulózy s celulózou vznikajú horľavé plyny, ktoré sa potom zúčastňujú plameňového horenia (Kačíková, Netopilová, Osvald 2006, Čabalová, Kačík, Kačíková 2013).

Termickú degradáciu môžeme rozdeliť do niekoľkých fáz podľa teploty. Od 50 – 100 °C dochádza k vzniku látok s nízkou molekulovou hmotnosťou a vody, od 100 – 200 °C vzniká zuhoľnatená vrstva, kyselina mravčia, CO a podobne. V rozsahu teplôt 200 – 300 °C sa urýchľujú dehydratačné reakcie, pri 300 – 450 °C nastáva depolymerizácia celulózy a vzniká decht. Nad 450 °C dochádza k oxidácii dreva na CO, CO₂ a H₂O (Kačíková, Netopilová, Osvald 2006. Makovická Osvaldová 2018, Poletto 2019). Finálne prchavé produkty sú však sprevádzané mnohými medziproduktami organického charakteru, ktoré podporujú plameňové horenie, pôsobia ako jeho katalyzátory, prispievajú k vzniku a šíreniu požiaru. Z hľadiska bezpečnosti osôb zohrávajú tiež dôležitú úlohu ako dráždivé a toxicky pôsobiace komponenty dymu.

Cieľom príspevku bolo sledovať vznikajúce plynné organické produkty termického rozkladu dreva a sledovať ich zmeny vplyvom teploty.

EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

V experimente boli skúmané vzorky smrekového (Smrek obyčajný, *Picea abies*, L) a dubového (dub letný, *Quercus robur*) dreva vo forme pilín. Vzorky pilín boli termicky zaťažované teplotami 200, 250 a 300 °C boli odoberané vznikajúce prchavé produkty. Na odber prchavých produktov bolo použité zariadenie na odoberanie prchavých produktov EMIMAT s využitím adsorpčných rúrok ORBO naplnené aktívnym uhlím.



Obrázok 6 Vzorky dreva po termickom zaťažení – hore zľava doprava smrekové dreva pri teplotách 200, 250, 300 °C; dole zľava doprava pri teplotách 200, 250, 300 °C

Figure 3 Wood samples after the thermal loading – top left to right: spruce wood at the temperatures 200, 250, 300 °C; down oak wood at the temperatures 200, 250, 300 °C

Aktívne uhlie s adsorbovanými produktami bolo extrahované sírouhlíkom dvojstupňovo (2 x 15 min). Získané extrakty boli analyzované plynovou chromatografiou s hmotnostnou spektrometriou.

Analýza spracovaných vzoriek prebehla za nasledujúcich podmienok:

Plynový chromatograf Agilent 7890B:

- kolóna: HP5-MS, 30 m, 0,25 mm, 0,25 μ m
- nosný plyn: He
- prietok nosného plynu 1mL/min
- teplotný program: štart 40 °C počas 4 min, stúpanie 5 °C/min do 220 °C, potom stúpanie do 250 °C
- detekcia látok hmotnostnou spektrometriou

Hmotnostný detektor Agilent 7895C:

- teplota zdroja: 150 °C



- teplota kvadrupolu: 200 °C
- ionizačná energia 70 eV

Identifikácia látok (kvalitatívne stanovenie) bola vykonaná porovnaním hmotnostných spektier stanovených zlúčenín s hmotnostnými spektrami z knižnice NIST. Kvantitatívne stanovenie vybraných zlúčenín sa vykonalo metódou externého štandardu na základe plochy píkov.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Počas termickej degradácie vzoriek smrekového a dubového dreva boli odoberané vznikajúce plynné produkty, ktoré boli následne spracované a analyzované metódou plynovej chromatografie s hmotnostnospektrometrickou detekciou. Získané výsledky sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Výsledky kvalitatívnej analýzy prchavých produktov termickej degradácie vzoriek smrekového a dubového dreva

Table 1 The results of qualitative analysis of samples of gaseous products of thermal loading of spruce and oak wood

Názov zlúčeniny	Ret. čas	SO 200 °C	SO 250 °C	SO 300 °C	DL 200 °C	DL 250 °C	DL 300 °C
Toluén	4,781	+	+	+	+	+	+
Etylbenzén	7,725	+	+	+	+	+	+
p-xylén	8,006	+	+	+	+	+	+
o-xylén	8,804	+	+	+	+	+	+
α - pinén	10,217	+	+	+	+	+	+
Kamfén	10,724	+	+	+	+	+	+
1-etyl-3- metylbenzén	11,198	-	+	+	-	+	+
β - pinén	11,694	+	+	+	-		+
1,3,5- trimetylbenzén	12,277	-	+	+	-	+	+
Dekán	12,546	+	+	+	+	+	+
3-karén	12,838	+	+	+	-	+	+



Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)-	13,334	-	+	+	-	-	+
Limonén	13,463	+	+	+	+	+	+
Propenylbenzén	13,69	-	-	-	-	+	+
1-metyl-4-propylbenzén	14,3	-	-	-	-	-	+
Undekán	15,803	+	+	+	+	+	+

+ zlúčenina bola identifikovaná; - zlúčenina nebola identifikovaná

V analyzovaných vzorkách prchavých produktov bolo jednoznačne identifikovaných maximálne 14 zlúčenín pre vzorky smrekového dreva a maximálne 16 zlúčenín pre vzorky dreva pri najvyššej teplote 300 °C. Po chemickej stránke môžeme stanovené zlúčeniny priradiť k terpénom (α -, β -pinén, kamfén, 3-karén, limonén), alkánom (dekán, undekán) a najmä derivátom benzénu. Toluén, etylbenzén, dimetylbenzény a aj ďalšie je možné považovať za typické organické medzi produkty aj produkty termickej degradácie organických polymérnych látok či už prírodného (bavlna, drevo) alebo syntetického charakteru (PE, PP, PVC, PUR, PS a iné).

Pre vybrané zlúčeniny sa metódou externého štandardu porovnaním plochy pík vykonalo aj kvantitatívne stanovenie, výsledky sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2 Výsledky kvantitatívneho stanovenia vybraných prchavých produktov termickej degradácie vzoriek smrekového a dubového dreva v $\mu\text{g/g}$ vzorky dreva.

Table 2 The results of quantitative analysis of samples of chosen gaseous products of thermal loading of spruce and oak wood in $\mu\text{g/g}$ of wood sample

	SO 200 °C	SO 250 °C	SO 300 °C	DL 200 °C	DL 250 °C	DL 300 °C
Toluén	0,369	0,176	0,199	2,381	5,315	3,489
Etylbenzén	0,138	0,330	0,147	0,139	0,158	0,087
p-xylén	0,035	0,036	0,057	0,165	0,191	1,622



Zaujímavý je pokles stanoveného množstva jednoduchších derivátov benzénu (= jedna alkylová skupina – toluén a etylbenzén) pri teplote 300 °C vo vzorkách oboch druhov drevín. Podporuje to tvrdenie o depolymerizácii celulózy a postupnom rozklade depolymerizačných produktov s následnou kreáciou termostabilných oxidov (Candelier et al. 2013, Dietenberger, Hasburgh 2016). Množstvo p-xylénu s teplotou stúpalo, výraznejšie u vzoriek dubového dreva (1,622 µg/g dreva). Oxidačné produkty ako napr. benzaldehyd neboli stanovené jednoznačne, preto nie sú v tab. uvádzané, no pri hodnotení chromatogramov sa objavili náznaky takých zlúčenín a výsledky iných autorov ich potvrdzujú (Dietenberger, Hasburgh 2016, Vargun 2019).

Záver

Príspevok sa venoval skúmaniu vzniku prchavých produktov termickej degradácie smrekového a dubového dreva. Vzorky drevných pilín boli zaťažované teplotami 200, 250 a 300 °C a boli odoberané a následne analyzované vznikajúce prchavé produkty. Metódou plynovej chromatografie s hmotnostnou detekciou bolo 14 zlúčenín pre vzorky smrekového a 16 zlúčenín pre vzorky dubového dreva pri teplote 300 °C. Jedná sa o alkány, terpény a deriváty benzénu. Jednoduchšie deriváty benzénu (toluén) so stúpajúcou teplotou podliehajú rozkladu a ich množstvo klesá.

Horenie dreva patrí v stavebnom priemysle k negatívnym javom, produkcia horľavých prchavých zlúčenín pri jeho termickej degradácii výrazne ovplyvňuje bezpečnosť stavieb. Zvyčajne je nevyhnutné využiť rôzne spôsoby ochrany dreva, aby pozitívna fixácia uhlíka v drevostavbách bola naozaj výhodnou z hľadiska environmentálneho, no aj z hľadiska bezpečnosti obyvateľov.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore projektu KEGA 009TU Z-4/2023.

Zoznam bibliografických odkazov

1. Candelier, K. et al. 2013. Thermodesorption coupled to GC-MS to characterize volatiles formation kinetic during wood thermodegradation. J. Anal. Appl. Pyrolysis 101:96–102.



2. Čabalová, I. , Kačík, F., Kačíková, D. 2013. Vplyv sálavého ohrevu na chemické zmeny smrekového dreva. In Acta facultatis xylogologiae Zvolen. 2013, roč. 55, č. 2, s. 59-66.
3. Dietenberger, M., Hasburgh, L. 2016. Wood Products Thermal Degradation and Fire. Reference Module in Materials Science and Materials Engineering [online]. 2016, s. 1–8. Dostupné na: doi:10.1016/b978-0-12-803581-8.03338-5
4. Kačíková, D., Netopilová, M., Osvald, A. 2006. Drevo a jeho termická degradácia. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě, 2006. 79 s.
5. Lowden, L. A., Hull, T. R. 2013. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. In Fire Science Reviews. ISSN 2193-0414, 2013, vol. 2, n. 4, p. 1-19.
6. Makovická Osvaldová, L. et al. 2018. Effect of Thermal Treatment on Selected Fire Safety Features of Tropical Wood. Communications - Scientific letters of the University of Zilina [online]. 2018, roč. 20, č. 2, s. 3–7. ISSN 13354205, 25857878. Dostupné na: doi:10.26552/com.C.2018.2.3-7
7. Poletto, M. et al. 2012. Thermal decomposition of wood: Kinetics and degradation mechanisms. Bioresource Technology [online]. 2012, roč. 126, s. 7–12. ISSN 09608524. Dostupné na: doi:10.1016/j.biortech.2012.08.133
8. Vargun, E. et al. 2019. Thermal degradation of oriental beech wood impregnated with different inorganic salts. Maderas. Ciencia y tecnología [online]. 2019, roč. 21, č. 2, s. 163–170. ISSN 0718-221X. Dostupné na: doi:10.4067/S0718-221X2019005000204

THE EFFECT OF THE TYPE OF PLASTIC FILLER IN PARTICLEBOARD ON CHANGES IN ITS FIRE PROPERTIES

Iveta Čabalová¹, Tatiana Bubeníková¹, Anna Darabošová¹, Martin Zachar²

¹ Department of Chemistry and Chemical Technologies, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia, cabalova@tuzvo.sk, bubenikova@tuzvo.sk, xdarabosova@is.tuzvo.sk

² Department of Fire Protection, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia, zachar@tuzvo.sk
*corresponding author: cabalova@tuzvo.sk

INTRODUCTION

Particleboard composites are wood-based materials made by bonding wood particles with resin under heat and pressure, offering durability and versatility in construction and furniture manufacturing. These composites can incorporate wood waste like sawdust and offcuts, making them an efficient and sustainable option. In recent years, advancements in wood composites have led to the development of wood-plastic composites (WPCs), which combine wood fibers or particles with plastic polymers. WPCs are gaining popularity due to their environmental benefits, durability, and potential for recycling. The inclusion of wood flour in WPCs can reduce costs while improving mechanical properties. One important aspect of WPCs is their fire resistance, which enhances safety and makes them suitable for various applications, particularly in construction. This study aims to evaluate how different plastic fillers affect the fire-resistant properties of particleboard, a key factor in both safety and environmental sustainability.

MATERIAL AND METHODS

Three-layer particleboards were produced using wood particles from spruce logs, with particle sizes ranging from 0.25 to 4.0 mm for the core and 0.25 to 1.0 mm for the surface layers. Waste plastics, including polypropylene from painted and unpainted bumpers, and polyethylene from fuel tanks, were shredded into 1 to 4 mm pieces and mixed with wood particles. Urea-formaldehyde (UF) glue with ammonium nitrate and paraffin emulsion was used as a binder. The composites were pressed at 1 MPa, followed by hot pressing at pressures of 20, 10, and 5 MPa for a total of 5 minutes at 230°C. Sample designations included a reference particleboard (P) and particleboards with 10% content of shredded plastic from painted bumpers (PB10), unpainted bumpers (UB10), and fuel tanks (FT10).

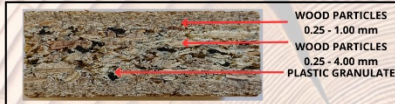


Fig. 1. Wood-plastic particleboard

Spontaneous ignition temperature (SIT) was determined according to STN ISO 871 standard (2022). Measurements were performed on twenty replicates per sample. The principle of the test is to heat the tested material in a heating chamber at different temperatures without the igniting flame. The temperature profile in the furnace is measured using the thermocouples (type K) with the diameter of 0.5 mm; the data logger ALMEMO® 710 (Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Germany) is used for temperature recording. The lowest air temperature at which the sample was ignited within 10 minutes was recorded as the spontaneous ignition temperature. Subsequently, the induction time was found.

The reaction to fire tests was determined according to ISO 11925-2 (2020) standard. **The mass burning rate** was measured with an instrument consisting of an electronic balance with an accuracy of two decimal places, a weight protection unit, a metal sample holder, a metal loading frame for placing the radiant heat source and an infrared thermal heater with the input of 1000 W. The sample was placed into the holder in the distance of 30 mm from the heat source for a specific time of 600 s and the weight change was recorded every 10 s. The heat flux of the infrared thermal heater was 30 kW·m⁻². Measurements were performed on twenty replicates per sample. To determine the burning rate in the specified time interval, the absolute burning rate u is calculated according to the relational equation:

$$u = \frac{\delta(t) - \delta(t + \Delta t)}{\Delta t}$$

Where:

- u - absolute burning rate (%·s⁻¹);
- $\delta(t)$ - specimen mass in the time (t) (%);
- $\delta(t + \Delta t)$ - specimen mass in the time (t + Δt) (%);
- Δt - time interval in which the mass values are recorded (s).

RESULTS

The addition of 10% plastic from unpainted bumpers and fuel tanks had minimal effect on the ignition temperature and time of the particleboards. However, incorporating painted bumpers reduced the ignition time, likely due to the presence of paint, while the ignition temperature remained unchanged.

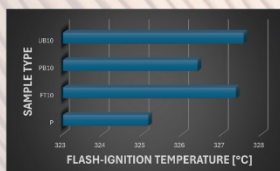


Fig. 2 Flash-ignition temperature of particleboard in dependence on the type of plastic filler



Fig. 3 Time to ignition of particleboard in dependence on the type of plastic filler

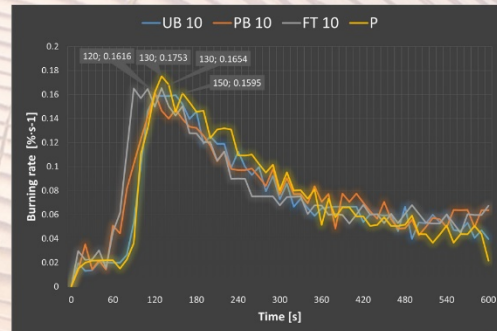


Fig. 4 Absolute burning rate of the composite samples

The study found that all particleboard samples, including those with 10% plastic additives, showed similar thermal stability to the reference sample, with nearly identical values for time to ignition, maximal burning rate, and time to reach the maximum burning rate. The UB10 sample demonstrated the highest thermal stability, with a time to initiation of 150 seconds and a maximal burning rate of 0.1595 %·s⁻¹. Overall, the addition of plastic did not significantly affect the fire protection properties of the tested materials.

CONCLUSION

The spontaneous ignition temperature and the mass burning rate are important parameters for evaluating the flammability of interior materials. Particleboard have been used commonly as the interior lining materials in commercial or residential buildings. Due to the flammability of these materials it is important and necessary to carry out the standard test methods of evaluating the fire resistance of these building materials.

In this paper, particleboard – reference sample and particleboard containing 10 % of waste plastics from automobiles (unpainted, painted bumpers and fuel tanks) were evaluated from the point of fire-technical properties. Based on the results, adding 10 % plastic from unpainted bumpers and fuel tanks to the particleboard had almost no effect on the temperature and time to ignition. Adding 10 % of painted bumpers to particleboards caused a decrease in time to initiation. The reason was probably the paint used on the bumpers. From the point of view of mass burning rate evaluation, all samples reached very similar results comparable to reference sample, but the best results were obtained for particleboard containing 10 % of unpainted bumpers, the time to initiation 150 s and the maximal burning rate of 0.1595 %·s⁻¹.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the Contract no. APVV-22-0034; and by the Ministry of Education, Research, Development and Youth of the Slovak Republic under the Contract no. VEGA 1/0027/24 and the project UNIVNET "University Research Association for Waste Recovery, especially from the Automotive Industry" No. 0201/0082/19.

REFERENCES

- Asdrubali, F., et al. 2017. A review of structural, thermo-physical, acoustical, and environmental properties of wooden materials for building applications. Building and Environment, 114: 307–332. DOI: 10.1016/j.buildenv.2016.12.033
- Gogoi, R., Manik, G. 2021. Mechanical Properties of Wood Polymer Composites. DOI:10.1007/978-981-16-1606-8_6
- Haque, Md, et al. 2018. Melt-viscosity and mechanical behaviour of polypropylene (PP)/wood flour composites: Effect of pulverization of wood flour with and without water. DOI: 10.1016/j.aiepr.2018.11.001
- Horta, J.F., et al. 2017. Study of Wood-Plastic Composites with Reused High Density Polyethylene and Wood Sawdust. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.08.02
- Meikle, J.L. 1997. Material Doubt: the Consequences of Plastic. Environmental History. DOI:10.2307/3985351
- Owodunni, A.A., et al. 2020. Adhesive application on particleboard from natural fibers: A review. DOI: 10.1002/pc.25749
- STN ISO 871. Determination of ignition temperature using a hot-air furnace, 2022.
- ISO 11925-2. Reaction to fire tests - ignitability of products subjected to direct impingement of flame - part 2: Single-flame source test, 2020.



Advances in Fire & Safety Engineering 2024

Pokrok v požiarnom a bezpečnostnom inžinierstve 2024

Recenzovaný zborník pôvodných vedeckých prác z XIII. ročníka medzinárodnej vedeckej konferencie Advances in Fire and Safety Engineering 2024

Vydala

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, vo Vydavateľstve TU vo Zvolene v roku 2024

Náklad

20 kusov, online

1. Vydanie

ISBN 978-80-228-3443-8