

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta bezpečnostního inženýrství

Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s.

Česká asociace hasičských důstojníků, z.s.

Recenzovaný

# SBORNÍK ABSTRAKTŮ

XXXIII. ročník mezinárodní konference

# POŽÁRNÍ OCHRANA 2024

VŠB TECHNICKÁ  
UNIVERZITA  
OSTRAVA

FAKULTA  
BEZPEČNOSTNÍHO  
INŽENÝRSTVÍ



**OSTRAVA!!!**



**SILVANUS**

**ADMD**



4. - 5. září 2024  
Ostrava

**Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava**  
Fakulta bezpečnostního inženýrství

**Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s.**

**Česká asociace hasičských důstojníků, z.s.**

Recenzovaný

# **SBORNÍK ABSTRAKTŮ**

XXXIII. ročník mezinárodní konference

# **POŽÁRNÍ OCHRANA 2024**

pod záštitou

primátora Statutárního města Ostravy

Mgr. Jana Dohnala

a

rektora VŠB-TUO

prof. RNDr. Václava Snášela, CSc.

a

generálního ředitele Hasičského záchranného sboru ČR

genpor. Ing. Vladimíra Vlčka, Ph.D., MBA

a

Českého národního výboru CTIF



**4. - 5. září 2024**

**Ostrava**

POŽÁRNÍ OCHRANA 2024

Recenzovaný Sborník abstraktů XXXIII. ročníku mezinárodní konference

Editor: doc. Ing. Jiří Pokorný, Ph.D., MPA, dr. h. c.

© Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s.

17. listopadu 2172/15, 708 00 Ostrava - Poruba

Nebyla provedena jazyková korektura

Za věcnou správnost jednotlivých příspěvků odpovídají autoři

**ISBN 978-80-7385-274-0**

**Odborný garant konference**  
**Scientific guarantor**

doc. Ing. Jiří Pokorný, Ph.D., MPA, dr. h. c. - VŠB-TUO

**Vědecký výbor konference**  
**Scientific committee**

prof. Ing. Karol Balog, PhD. - VŠB-TUO  
prof. RNDr. Pavel Danihelka, CSc. - VŠB-TUO  
prof. Dr. Ing. Aleš Dudáček - VŠB-TUO  
Dr. habil. Dipl.-Ing. Zuzana Giertlová - Technische Universität München  
Dr. Ing. Zdeněk Hanuška - VŠB-TUO  
doc. Ing. Petr Kučera, Ph.D. - VŠB-TUO  
prof. Bc. Ing. Andrea Majlingová, MSc., PhD. - Technická univerzita vo Zvolene  
prof. Ing. Jozef Martinka, PhD. - Slovenská technická univerzita  
prof. dr hab. Marzena Półka - Akademia Pozarnicza  
doc. Ing. Eva Sventeková, PhD. - Žilinská univerzita v Žiline  
doc. Ing. Petr Štroch, Ph.D. - RSBP spol. s r.o.  
prof. nadzw. dr hab. Andrzej Urbanek - Uniwersytet Pomorski w Slupsku  
genpor. Ing. Vladimír Vlček, Ph.D., MBA - MV-GŘ HZS ČR  
Český národní výbor CTIF

**Organizační výbor konference**  
**Organizing committee**

doc. Ing. Vilém Adamec, Ph.D. - VŠB-TUO  
Ing. Petr Bebčák, Ph.D. - VŠB-TUO  
Ing. Lenka Černá - Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s.  
Ing. Miroslav Mynarz, Ph.D. - VŠB-TUO  
Ing. Jiří Serafin, Ph.D. - VVUÚ, a.s.  
Ing. Ondřej Suchý, Ph.D. - MV-GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany  
Ing. Martin Trčka, Ph.D. - VŠB-TUO  
Ing. Jan Tripes - PAVUS, a.s.

## Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Příprava na taktické cvičení složek IZS s využitím simulačních technologií.....</b>   | <b>1</b>  |
| Miroslav Antonín, Marek Smetana, David Košatka   |           |
| <b>Vliv organických polutantů v odpadních vodách na výsledky termické analýzy C-sorbentů na bázi grafenu.....</b>  | <b>4</b>  |
| Petra Bursíková, Karel Klouda, Petra Roupcová, Kateřina Bátorová   |           |
| <b>Testování sorpčních materiálů pro vzorkování organických látek z plynného prostředí.....</b>  | <b>9</b>  |
| Petra Bursíková, Milan Růžička   |           |
| <b>Příprava ochrany obyvatelstva v Polsku před hrozbami v době míru, krize a války - představení Interdisciplinárního Centra Monitorování Hrozeb Obyvatelstvu a Kritické Infrastruktury - 21. století v bezpečnostních vědách.....</b> | <b>12</b> |
| Grzegorz Dientientiew, Eugeniusz Kołpaczyński  |           |
| <b>Posúdenie zuhoľnatej vrstvy a rýchlosť uhoľnatenia 150-ročného dreva.....</b>   | <b>13</b> |
| Katarína Dúbravská, Oľga Mišíková  |           |
| <b>Modelování funkce proudových ventilátorů v uzavřené garáži v softwaru FDS.....</b>  | <b>17</b> |
| Lucie Hasalová, Václav Vystrčil  |           |
| <b>Požární ochrana a vybraná bezpečnostní rizika ve školní praxi.....</b>  | <b>19</b> |
| Martina Hrušková   |           |
| <b>Destrukce vysokotlaké lahve jako následek působení požáru kapaliny.....</b>   | <b>24</b> |
| Vojtěch Jankůj, Miroslav Mynarz, Petr Lepík, Kateřina Symonová, Pavel Raška, Jan Hora  |           |
| <b>Vliv výbuchového tlaku chemických iniciátorů na výbuchové parametry prachových disperzí ve 20 l výbuchové komoře.....</b>   | <b>26</b> |
| Břetislav Janovský, Jan Karl, Prokop Janovský  |           |
| <b>Špecifiká a riziká pri likvidácii lesných požiarov.....</b>   | <b>28</b> |
| Jaroslav Kapusniak   |           |
| <b>Podmínky ve 20 l výbuchové komoře po rozvření prachu a aktivaci chemických iniciátorů.....</b>  | <b>32</b> |
| Jan Karl, Romana Friedrichová, Břetislav Janovský  |           |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Hodnotenie vplyvu retardačnej úpravy na termickú odolnosť smrekového dreva prostredníctvom optických meraní.....</b>   | <b>34</b> |
| Elena Kmeťová, Danica Kačíková, Martin Zachar   |           |
| <b>Požární řešení skladových objektů.....</b>   | <b>39</b> |
| Kateřina Kráslová, Martin Benýšek   |           |
| <b>E-hromadné dopravní prostředky a protipožární opatření.....</b>  | <b>44</b> |
| Daniel Kudláček   |           |
| <b>Integrovaný přístup a využití moderních technologií v managementu lesních požárů (projekt SILVANUS).....</b>   | <b>47</b> |
| Andrea Majlingová, Krishna Chandramouli, Marek Gašparín   |           |
| <b>Návrh metodického hodnocení potenciálního nebezpečí vzniku lesního požáru na základě diferenciacie lesních porostů z hlediska preventivních opatření a účinného zásahu.....</b>  | <b>50</b> |
| Vratislav Mansfeld  |           |
| <b>Charakterizace hasebních vod po požáru lithiových akumulátoru a testování hasičských sorbentů pro eliminaci lithia.....</b>  | <b>52</b> |
| Marek Martinec, Kateřina Běhounková, Hana Kujalová, Jan Bindzar, Lucia Tajnaiová, Klára Anna Mocová, Jana Kastroňová, Radek Vurm, Jakub Pilař, Kryštof Řehák, Barbora Štěpánová, Petra Najmanová, Jan Kárl, Ondřej Suchý, Lucie Pokorná |           |
| <b>Neurónové siete na modelovanie požiarov.....</b>   | <b>55</b> |
| Jozef Martinka, Peter Rantuch   |           |
| <b>Hodnocení požárního rizika lesních i nelesních ekosystémů.....</b>   | <b>58</b> |
| Radka Mašková, Oldřich Volf, Jana Beranová, Lucie Kudláčková, Markéta Poděbradská, Emil Cenciala, Vladimír Zatloukal, Miroslav Trnka  |           |
| <b>Hodnotenie minerálnych stropných kaziet zaťažených sálavým teplom.....</b>   | <b>61</b> |
| Iveta Mitterová, Ľuboslava Hrehorová  |           |
| <b>Požární bezpečnost silničních tunelů se zaměřením na větrání.....</b>  | <b>66</b> |
| Pavel Moucha, Martin Benýšek  |           |
| <b>Stanovenie vybranej požiarotechnickej charakteristiky hybridnej zmesi vo výbuchovej komore.....</b>  | <b>69</b> |
| Eva Mračková, Filip Eperješi  |           |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Ponorný ohříváč vody jako iniciátor požáru.....</b>  | <b>74</b>  |
| Miroslava Nejtková  |            |
| <b>CFD simulace metanového hořáku s důrazem na modelování turbulence.....</b>   | <b>79</b>  |
| Aleš Palkovič, Milan Jahoda, Lucie Hasalová   |            |
| <b>CELSPAC - FIREexpo - Výzkumná část projektu prevence zdravotních rizik.....</b>  | <b>81</b>  |
| Aleš Pindur, Pavel Čupr, Katarína Řiháčková, Jana Navrátilová, Nina Pálešová  |            |
| <b>Případové studie použití modelu FlamMap k posouzení rizikových míst pro šíření přírodních požárů.....</b>  | <b>86</b>  |
| Markéta Poděbradská, Lucie Kudláčková, Jana Beranová, Jan Novotný, Radka Mašková, Emil Cienciala, Lucie Hasalová, Václav Vystrčil, Pavel Zahradníček, Jan Balek, Monika Bláhová, Charles McHugh, Miroslav Trnka |            |
| <b>Termický rozklad grafénového materiálu vyrobeného z odpadového PET.....</b>  | <b>89</b>  |
| Peter Rantuch, Jozef Martinka   |            |
| <b>Návrh ochranných opatření proti vzniku rizik požiarov a výbuchov pre technologické zariadenie Alkoxylačnej jednotky.....</b>   | <b>92</b>  |
| Rastislav Svaček, Eva Mračková  |            |
| <b>Parametrické modelování zuhelnatění dřeva a vývoje trhlin při různých požárních scénářích: Nové poznatky a metodologie.....</b>  | <b>97</b>  |
| Jakub Šejna, Kamila Cábová, František Wald  |            |
| <b>Požární bezpečnost a statické vlastnosti dřevostaveb: Překonávání výškových limitů pomocí požárně inženýrského přístupu.....</b>   | <b>100</b> |
| Jakub Šejna, Kamila Cábová, František Wald  |            |
| <b>Protivýbuchová ochrana v praxi.....</b>  | <b>103</b> |
| Ilona Šimoníková  |            |
| <b>Problematika vstupných údajov do počítačového modelovania popisujúceho prenos tepla v drevenom nosníku zaťaženom tepelným namáhaním.....</b>   | <b>105</b> |
| Dominik Špilák  |            |
| <b>Protivýbuchová ochrana staveb v praxi.....</b>   | <b>109</b> |
| Vojtěch Štrba, Miroslav Mynarz  |            |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Protipožiarna bezpečnosť PUR a PIR panelov.....</b>  | <b>112</b> |
| Eudmila Tereňová  |            |
| <b>Masivní únik oxidu uhličitého na průmyslové zóně v Chebu.....</b>  | <b>118</b> |
| Martin Tomášek  |            |
| <b>Zmeny prchavých produktov termickej degradácie dreva vplyvom<br/>úpravy dreva - The Changes of the Gaseous Products of the Thermal<br/>Degradation of Wood duet the Wood Modification.....</b> | <b>121</b> |
| Veronika Veľková, Katarína Trojanová  |            |
| <b>Možnosti modelovania šírenia a interakcie rázových vln.....</b>  | <b>124</b> |
| Sebastián Vojtáš, Miroslav Mynarz   |            |
| <b>Adaptace území Karlovarského kraje na změny klimatu ve vztahu<br/>k prevenci a hašení lesních požárů.....</b>  | <b>127</b> |
| Oldřich Volf, Miroslav Mazurkovič, Miroslav Trnka   |            |
| <b>Velikost konvektivní složky při měřeních tepelného toku - parametrická<br/>studie.....</b>   | <b>131</b> |
| Václav Vystrčil, Lucie Hasalová   |            |
| <b>TereZa - systém podpory operačního řízení HZSp Správy železnic, s.o.....</b>   | <b>133</b> |
| Jiří Zoubele  |            |



# Příprava na taktické cvičení složek IZS s využitím simulačních technologií

**Ing. Miroslav Antonín<sup>1</sup>**

**doc. Ing. Marek Smetana, Ph.D.<sup>1</sup>**

**Mgr. David Košatka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství  
Lumírova 13, 700 30 Ostrava-Výškovice

<sup>2</sup>Masarykova Univerzita, Pedagogická fakulta  
Poříčí 31, 639 00 Brno-střed  
miroslav.antonin.st@vsb.cz

## **Klíčová slova**

Simulace, cvičení, IZS, XVR.

## **Úvod**

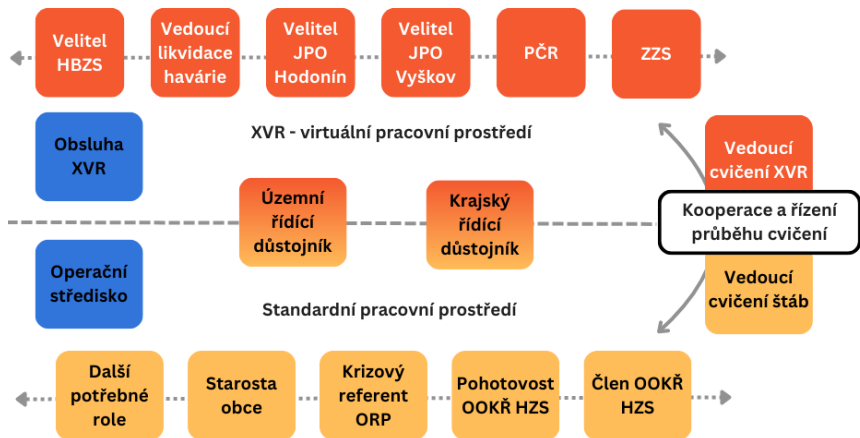
Realizace společných cvičení složek integrovaného záchranného systému (dále jen IZS) je stanovena právním předpisem [1]. Tato cvičení jsou náročná na organizaci a vyžadují zapojení velkého počtu osob. Moderní výpočetní technika však nabízí možnost, jak organizační a technickou náročnost cvičení snížit. Tou je využití simulací a virtuální reality. Výhodou tohoto přístupu je účast primárně řídicích pracovníků, čímž odpadá potřeba zajistit např. figuranty nebo účastníky s podružnými rolami, kteří se na rozhodovacím procesu pro zvládnutí mimořádné události přímo nepodílejí [2]. Cílem tohoto příspěvku je představit přípravu na plánované taktické cvičení složek IZS, která proběhla s využitím simulačních technologií.

## **Námět a příprava cvičení**

Námětem cvičení byla havárie na technologii podzemního zásobníku plynu Uhřetice, okres Hodonín. Zmíněný areál byl v rámci přípravy cvičení nasnímán dronem tak, aby mohl být v kompatibilním formátu importován do simulačního software XVR Simulation (dále jen XVR). XVR je holandský program, využívaný hasiči, záchranáři i policisty napříč 50 zeměmi po celém světě [3], proto je i vhodnou volbou pro realizaci společného cvičení složek IZS a dalších zainteresovaných subjektů ve virtuálním prostředí. Program XVR byl použit jako nástroj pro vytvoření virtuálního tréninkového scénáře, ve kterém probíhala taktická část cvičení. Rozsah scénáře předpokládal i činnost štábu velitele zásahu a svolání krizového štábu obce s rozšířenou působností (dále jen ORP).

## Realizace

Cvičení se uskutečnilo dne 10. 6. 2024 v Centru simulačních technologií na Fakultě bezpečnostního inženýrství, VŠB-TUO (dále jen CESIT). Do rolí cvičících, instruktorů a obsluhy simulace bylo zapojeno celkem 18 osob, další pak jako pozorovatelé. Kromě zástupců základních složek IZS se do cvičení zapojili i vedoucí likvidace havárie provozu podzemního zásobníku plynu Uhřice, Hlavní báňská záchraná stanice Hodonín a krizový referent ORP Kyjov. Díky vybavení pracoviště CESIT si účastníci vyzkoušeli jak řídicí role v místě mimořádné události pomocí programu XVR, tak role v rámci štábů na pracovišti SIMPROKIM. S cílem dosáhnout co největší autenticity byly využity reálné podklady (havarijní karta, dokumentace zdolávání požáru, databáze Krizport, požární poplachový plán) a komunikační nástroje (ruční terminály Matra, mobilní telefony). Simulace proběhla celkem dvakrát, aby měli cvičící možnost poučit se z případných chyb a při druhé simulaci již postupovat správně resp. řešení zdokonalit. Druhá simulace byla sice obtížnější (požár, více zraněných), podstata rozhodovacího procesu řídicích pracovníků se tím ale nezměnila, jen spektrum úkolů. Po ukončení první i druhé simulace následovala skupinová diskuze.



Obr. 1 Role cvičících

## Závěr

Hlavní cíle cvičení, tedy vzájemná výměna znalostí a zkušeností mezi odborníky z praxe a ověření možnosti použití simulačních technologií pro realizaci společného cvičení složek IZS, byly splněny. Účastníci cvičení ocenili možnost seznámit se s podstatou práce, priorit a povahou úkolů dalších cvičících a nesrovnalosti si ujasnit při skupinové diskusi mezi oběma simulacemi. Simulace scénáře pomocí XVR byla hodnocena kladně a účastníci poskytli cennou zpětnou vazbu k této formě společné odborné přípravy.

**Použitá literatura**

- [1] ČESKO, 2000.: Zákon č. 239/2000 Sb. Zákon o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů. online. In: AION CS - INFO@AION. CZ. Zákony pro lidi. Available at: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-239>. [accessed 2024-07-09]
- [2] PRASOLOVA-FORLAND, E.; MOLKA-DANIELSEN, J.; FOMINYKH, M.; LAMB, K. 2017.: Active learning modules for multi-professional emergency management training in virtual reality. online. 2017 IEEE 6th International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), In: *2017 IEEE 6<sup>th</sup> International Conference on*. s. 461-468. ISBN 9781538609002. ISSN 24706698. Available at: <https://doi.org/10.1109/TALE.2017.8252380>. [accessed 2024-07-01]
- [3] XVR SIMULATION, 2024.: About XVR. online. In: *XVR Simulation*. Available at: <https://www.xvrsim.com/en/about/>. [accessed 2024-07-05]

## Vliv organických polutantů v odpadních vodách na výsledky termické analýzy C-sorbentů na bázi grafenu

Ing. Petra Bursiková, Ph.D.<sup>3</sup>

doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., MBA<sup>1,2</sup>

Ing. Petra Roupcová, Ph.D.<sup>2</sup>

Mgr. Kateřina Bártlová<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v. v. i.

Jeruzalémská 1283/9, 110 00 Nové Město

<sup>2</sup>VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství

Lumírova 630/12, 700 30 Ostrava - Výškovice

<sup>3</sup>MV-GR HZS ČR, Technický ústav požární ochrany

Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany

klouda@vubp.cz, petra.bursikova@hzscr.cz

### Klíčová slova

C-sorbenty, odpadní vody, organické polutanty, hmotnostní spektrometrie, TGA, DSC.

### Úvod

Analýzy byly provedeny v návaznosti na řešení projektu „Inovativní sorbenty na bázi uhlíku jako účinný způsob dočišťování odpadních vod“.



Obr. 1 Grafické vyjádření možných způsobů sorpce

Sorbenty grafen oxid (GO), jeho redukovaná forma (rGO) a tzv. dřevá forma (HGO) byly připraveny z grafitu jeho oxidací po interkalaci kyselinou sírovou, a to manganistanem draselným a dusičnanem sodným. Takto připravený GO byl redukován pomocí kyseliny askorbové, HGO, byl připraven hydrotermálním působením na vodnou suspenzi GO 30 % H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> při teplotě 80 °C. Připravené sorbenty byly umístěny v průtočných kolonách linky, kterými protékaly odpadní vody po vyčištění v ČOV (Ostrava, Příbram) klasickými technikami, a to ze dvou odlišných

zdrojů. Cílem jejich aplikace bylo sorpcí odstranit organické polutanty, zbytky farmaceutických produktů, jejich metabolitů, drog apod. Z teoretických předpokladů se jedná o různé typy sorpcí, a to v závislosti na fyzikálně-chemickém typu polutantů funkční skupiny sorbentů, které jsou v určitém zastoupení - OH, C=O, COC, COOH sp<sup>2</sup> uhlíkaté struktury.

### Průběh spekter TGA a DSC analýzy dle sorbentů a odpadních vod

Při termické analýze předpokládáme oxidační rozklad na sorbované látky a části sorbentů spojených s exoeffektem a štěpení struktury sorbentů do termicky stabilní formy.

Základní tvary křivek GO a HGO před jejich aplikací jsou dva exoeffekty a u rGO jeden exoeffekt. U sorbentu GO a HGO je druhý exoeffekt (při vyšší teplotě) štěpení ostravskou vodou na 3 píky, které jsou intenzivnější u sorbentu HGO. Maxima píky mají rozptyl cca 20 °C viz tab. 1. Sorbent u rGO má jeden nedělený exoeffekt. Vliv vody se projevil v hodnotě maxima, který byl nižší v případě ostravské vody. Teploty píků ve vztahu na sorbent a typ vody, hmotnostní úbytek,  $\Delta H$  exoeffektů udává tab. 1.

Tab. 1 Přehled fyzikálně-chemických parametrů ze spekter termické analýzy

| Voda    | Sorbent | I EXOEFEKT                          |                        | II EXOEFEKT                         |                        |
|---------|---------|-------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|
|         |         | Teplota píku<br>C/ $\Delta H$ mW/mg | Hmotnostní<br>úbytek % | Teplota píku<br>C/ $\Delta H$ mW/mg | Hmotnostní<br>úbytek % |
| Ostrava | GO      | 225                                 | 10,56                  | 511; 531; 550                       | 16,01                  |
|         |         | 5,094                               |                        | 11,91                               |                        |
| Příbram | GO      | 235,8                               | 8,61                   | 561,5                               | 17,70                  |
|         |         | 3,998                               |                        | 14,3                                |                        |
| Ostrava | HGO     | 218,6                               | 6,95                   | 454; 472; 496 <sup>a)</sup>         | 17,21                  |
|         |         | 2,505                               |                        | 9,127                               |                        |
| Příbram | HGO     | 224,3                               | 6,51                   | 476,9                               | 14,07                  |
|         |         | 2,237                               |                        | 15,13 <sup>a)</sup>                 |                        |
| Ostrava | rGO     | -                                   | -                      | 627,1                               | 24,89                  |
|         |         |                                     |                        | 10,63 <sup>a)</sup>                 |                        |
| Příbram | rGO     | -                                   | -                      | 651,8                               | 34,5                   |
|         |         |                                     |                        | 13,5 <sup>a)</sup>                  |                        |

Pozn.: Dle dřívějších publikací max píky rGO 687 °C, HGO 587 °C.

Porovnáme-li hodnoty hmotnosti zbytku ze spekter po termické oxidaci nad 710 °C, jež jsou GO (zbytek u Ostravy 69,94 %; u Příbrami 71,84 %) HGO (zbytek u Ostravy 72,50 %; Příbram 78,72 %), rGO (zbytek u Ostravy 73,08 %, u Příbrami 65,30 %) vyplývá, že pro sorbent GO se nejvíce nasorbuje z ostravské vody, totéž platí i pro sorbent HGO. Obrácená situace je u sorbentu rGO, kde převažují nasorbované polutanty z příbramské vody.

### **Chemická analýza polutantů v odpadních vodách**

Hmotnostní analýzou jsme stanovili složení testovaných odpadních vod a určili jsme nejvýznamnější polutanty u kterých došlo k záchytu při kontaktu s konkrétním sorbentem, a to v rozdělení na vodu z Ostravy a Příbrami.

#### **Seznam polutantů zachycených sorbentech z ČOV Příbram**

**GO:** alfuzosin, amisulprid, atorvastatin, azithromycin, clarithromycin, felodipine, trimethoprim, verapamil, fexofenadine, bisoprolol

**rGO:** alfuzosin, atorvastatin, azithromycin, bisoprolol, candesartan, clarythromycin, erythromycin, sulfapyridine, telmisartan, verapamil

**HGO:** alfuzosin, clarithromycin, candesartan, erythromycin, fluconazole sotalol, telmisartan, theophylline, valsartan, verapamil

#### **Seznam polutantů zachycených sorbentech z ČOV Ostrava**

**GO:** alfuzosin, azithromycin, clarithromycin, desloratadine, erythromycin, propranolol, telmisartan, verapamil, bisoprolol, ibersatan

**rGO:** alfuzosin, amisulprid, atorvastatin, azithromycin, clarithromycin, propranolol, telmisartan, verapamil, trimethoprim, sulfapyridine

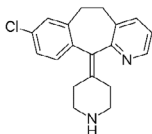
**HGO:** alfuzosin, azithromycin, atenolol, clarithromycin, desloratadine, erythromycin, metoprolol, telmisartan, verapamil, bisoprolol

Porovnáním těchto sorbentů je vidět, že složení polutantů ve vodách se liší a rovněž i tak sorpční schopnosti sorbentů. Ze seznamu jsme určili polutanty pro sorbent GO a HGO, které byly identifikovány v ostravské vodě a nebyly obsaženy v příbramské vodě. Teoreticky to mohly být látky, které svoji aktivní sorpci na sorbentech GO a HGO způsobily následně štěpení exoefektu při prováděné TGA a DSC analýze.

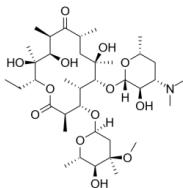
Porovnáním jejich chemických struktur a jejich funkčních skupin lze dovodit, že toto umožňuje využít v různých poměrech všech výše citovaných mechanismů sorpce na testovaných C-sorbentech a tím způsobí vysokou odolnost vůči zahřívání použitého sorbentu, tj. desorpce látky spojená s částečnou oxidací sorbentu, viz tab. 1.

## Chemická struktura a aktivních funkčních skupin u látek [1] - polutantů hrajících rozhodující roli při sorpci na GO v ostravské vodě:

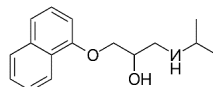
DES Loratadine



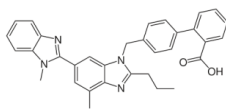
ERYTHROMYCIN



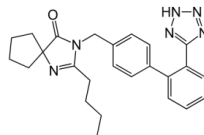
PROPRANOLOL



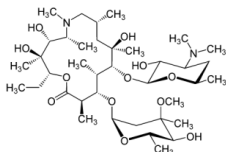
TELMISARTAN



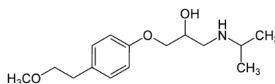
IRBESARTAN



AZITHROMYCIN



METOPROLOL



### Výsledky a diskuse

Zachycené polutanty mají pestrou chemickou strukturu. Obsahují i skupiny, které mohou vytvořit iverzibilní vazby s funkčními skupinami sorbentů. Máme u polutantů jak aromatickou a heteroaromatickou strukturu, což by mohlo nahrávat  $\pi$ - $\pi$  vazbám. Struktura sacharidů nahrává vzniku H-vazbám.

V případě sorbentu HGO, kde rozdíl ve spektrech termické analýzy jsou nejprůkaznější může sehrát roly filtrace polutantů a interkalace mezi vrstvami a tím podpora klasických sorpčních sil.

**Závěr**

Termogravimetrická analýza nabízí uplatnění při testování sorpčních schopností k různým sorbentům a nabízí cesty k hledání optimální rafinaci sorbentů a zjišťování fyzikálně chemických změn u sorbentů po tepelné rafinaci.

**Použitá literatura**

[1] Zdroj obrázků strukturálních vzorců: <https://en.wikipedia.org/wiki/>.



# Testování sorpčních materiálů pro vzorkování organických látek z plynného prostředí

**Ing. Petra Bursiková, Ph.D.**

**Ing. Milan Růžička**

MV-GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany

Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany

Petra.Bursikova@hzscr.cz, Milan.Ruzicka@hzscr.cz

## Klíčová slova

Těkavé organické látky, sorpční materiály, plynová chromatografie, SPME.

## Úvod

Sorpční materiály se vyrábějí jako práškové, granulované nebo vláknité materiály v různých formách a modifikacích. Jedná se o přírodní nebo o syntetické materiály, které se vyznačují strukturou s velkým množstvím pórů [1]. Zachycují kapalně nebo plynné složky na svém povrchu na pevnou fázi procesem adsorpce. Adsorpce je rovnovážný děj, který závisí na teplotě a koncentraci adsorbující látky. Na povrch sorpčního materiálu se zachytí pouze určité množství látky za daných podmínek, tj. sorpční kapacita.

Při zjišťování příčin požáru se používají sorpční materiály k záchytu a následné identifikaci velmi malých množství par těkavých organických látek jako je benzin, nafta nebo zplodiny hoření. Vzorky rozměrných textilií, jako jsou například oděvy, se odebírají celé tak, že se pevně zabalí do co nejmenšího, pevně utaženého balíčku a mezi vrstvy oděvu se vloží sorpční materiál. Nejčastější jsou to hydrofilní sorpční terčiky, které se po nasorbování plynných látek využijí k chemické analýze. Tou se prokazuje přítomnost stop benzínu nebo nafty v odebraném vzorku a výsledky těchto analýz pomáhají při vyšetřování příčin vzniku požáru a potvrzení, zda byl požár založen úmyslně. Cílem práce bylo ověřit, zda komerčně prodávané sorpční terčiky lze nahradit levnějšími a případně i účinnějšími sorpčními materiály.

## Popis měření a výsledky

Sorpční účinnost byla zjišťována u vybraných sorpčních materiálů plynovou chromatografií (GC) s hmotnostní spektrometrií (MS TOF) a mikroextrakcí na tuhé fázi (SPME). Byly testovány netkané textilie z polypropylenu (PP), polyesteru (PES), aratex a materiály z polyethylentereftalátu (PET), polyuretanu (PUR), bavlny, skelná vata a další. Jako referenční materiál byly zvoleny komerčně vyráběné sorpční terčiky.

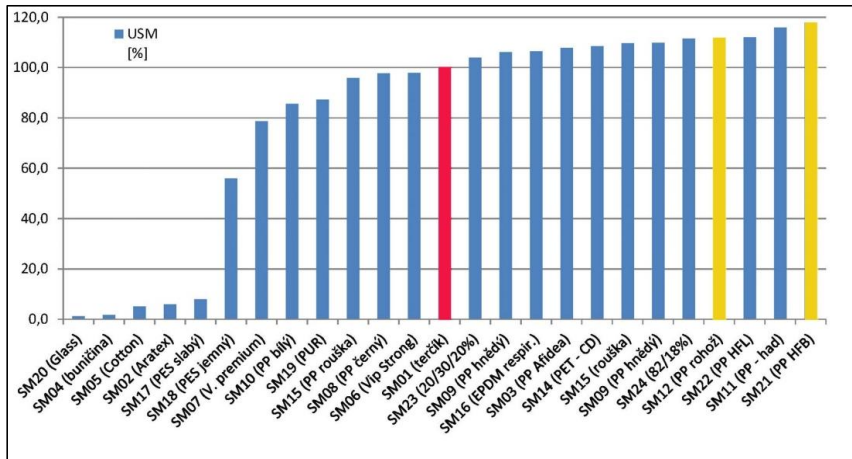
Nejdříve byly na všech materiálech provedeny slepá GC-MS stanovení. Odstrizek materiálu o hmotnosti  $(100 \pm 5)$  mg byl vložen do vialky o objemu 10 ml a po předehřátí na teplotu 60 °C bylo do vialky vsunuto SPME vlákno, na které se

sorbovaly těkavé látky uvolněné z čistého sorpčního materiálu po dobu 20 minut. Z chromatogramu každého slepého stanovení (blanku) byly vypočítány součty ploch všech nalezených složek ( $\Sigma A_{Blank}$ ).

Potom byly ve sklenici Omnia uzavřené šroubovacím víčkem vzorky vystaveny parám automobilového benzínu (BA). Sycení probíhalo 60 až 70 minut při laboratorní teplotě. Vzorky byly syceny ve sklenici vždy po pěti ks a do každé sklenice byl přidán jeden referenční vzorek (sorpční terčik). Vzorky s parami benzínu nasorbovanými reprodukovatelným způsobem byly analyzovány stejnou metodou jako předtím blanky a byla počítána hodnota součtů ploch všech nalezených složek ve vzorcích vystavených parám BA ( $\Sigma A_{SMBA}$ ). Hodnoty sorpční účinnosti materiálů byly vztaheny k účinnosti hydrofilního sorpčního terčiku Spectro CS, který je dlouhodobě používán při vzorkování akceleračních. Výpočet účinnosti materiálu „n“ byl proveden dle vztahu:

$$USM_{rel} [\%] = (\Sigma A_{vzorek} "n" - \Sigma A_{Blank} "n") / (\Sigma A_{SM1} - \Sigma A_{Blank, SM1}) \cdot 100$$

kde je  $USM_{rel}$  relativní sorpční účinnost materiálu v %,  $\Sigma A_{vzorek} "n"$  suma všech ploch z chromatogramu vzorku sorpčního materiálu „n“ s nasorbovanými parami BA,  $\Sigma A_{Blank} "n"$  suma všech ploch z chromatogramu analýzy čistého sorpčního materiálu,  $\Sigma A_{SM1}$  suma všech ploch z chromatogramu referenčního sorpčního terčiku s nasorbovanými parami BA a  $\Sigma A_{Blank, SM1}$  suma všech ploch z chromatogramu analýzy čistého referenčního sorpčního terčiku.



Obr. 1 Graf sorpčních účinností vybraných materiálů

Na obr. 1 je graficky znázorněno porovnání sorpční účinnosti všech testovaných materiálů. Dostačující sorpční účinnost vykazují směsné materiály PP s viskózou, rozvlákněný PET a pěnový PUR. Jako zcela nevhodné se jeví směsi PES a bavlny a celulózové materiály vůbec. Nejmenší sorpční účinnost byla podle předpokladu prokázána na skelné vatě. Nejvyšší sorpční účinnost byla stanovena u různých forem polypropylenových tkanin.

### **Závěr**

Provedené analýzy ukázaly, že nejvhodnějším materiálem pro sorpci organických látek z plynného prostředí je polypropylenová tkanina. Má mírně vyšší sorpční účinnost než běžně používané sorpční terčíky a zároveň je levnější. Všechny testované sorpční materiály je třeba před použitím tepelně přechistit, aby se zbavily zbytků těkavých organických látek z jejich výroby.

### **Použitá literatura**

- [1] Wikipedie: Otevřená encyklopedie: Adsorpce [online]. c2024 [citováno 15. 08. 2024]. Dostupný z www: <<https://cs.wikipedia.org/w/index.php?title=Adsorpce&oldid=23741488>>.

## **Příprava ochrany obyvatelstva v Polsku před hrozbami v době míru, krize a války - představení Interdisciplinárního Centra Monitorování Hrozeb Obyvatelstvu a Kritické Infrastruktury - 21. století v bezpečnostních vědách**

**Dr. Grzegorz Diemientiew**

**Dr. Eugeniusz Kolpaczyński**

Uniwersytet Pomorski w Słupsku

ul. Arciszewskiego 22A, 76-200 Słupsk

grzegorz.diemientiew@upsl.edu.pl, eugeniusz.kolpaczynski@upsl.edu.pl

V Polsku se intenzívně pracuje na vytvoření účinné ochrany obyvatelstva před hrozbami: ohrožení života a zdraví, kulturního dědictví a přírodního prostředí. Ochrana obyvatelstva je hlavním úkolem služeb, hasičů a inspekcí, specializovaných na ochranu bezpečnosti a veřejného pořádku, záchranných služeb, justice a všech obyvatel. Jednou z nejnaléhavějších otázek ochrany obyvatelstva je vývoj a zavádění nových, přijatelných a organizačních řešení v této oblasti.

Prezentace se bude týkat klíčových aspektů fungování moderního monitorovacího centra hrozeb a jeho role při zajišťování bezpečnosti v 21. století. Zaměříme se na interdisciplinární přístup, který kombinuje znalosti a zkušenosti z různých oblastí vědy a hospodářského sektoru s cílem monitorovat, analyzovat a čelit moderním hrozbám.

Probereme inovativní technologie, které hrají klíčovou roli v moderním monitoringu, jako je umělá inteligence, drony, GIS a velká data. Představíme také efektivní metody krizového řízení včetně systémů včasného varování, koordinace záchranných operací a procesů obnovy po katastrofách.

Nakonec identifikujeme budoucí hrozby, jako jsou změny klimatu, terorismus a pandemie a představíme strategii dlouhodobé ochrany, které lze implementovat za účelem zvýšení bezpečnosti obyvatelstva a kritické infrastruktury.

Prezentace si klade za cíl ukázat, jak může interdisciplinární přístup a pokročilé technologie podpořit efektivní monitorování hrozeb a přispět ke zvýšení bezpečnosti. Představíme také případy úspěšných iniciativ a osvědčených postupů, které mohou inspirovat další aktivity v této oblasti.

## Posúdenie zuhoľnatej vrstvy a rýchlosť uhoľnatenia 150-ročného dreva

**Ing. Katarína Dúbravská, PhD.**

**Ing. Oľga Mišíková, PhD.**

Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika  
katarina.dubravska@tuzvo.sk

### Kľúčové slová

Zuhoľnatená vrstva, rýchlosť uhoľnatenia, 150-ročné drevo.

### Úvod

Historické drevo je charakteristické trhlinami a prasklinami, ktoré vznikli v priebehu rokov na jeho povrchu. Ako príčinu vzniku trhlín a prasklín uvádza Yin a kol. [1] to, že historické budovy sú stovky rokov vystavené ultrafialovému žiareniu, dažďu, snehu a iným vplyvom. Trhliny môžu mať významný vplyv na uhoľnatenie dreva v mieste trhliny a v prípade viacerých trhlín v priereze dokonca na celý drevený prierez [2]. Vytvorené trhliny a praskliny umožňujú preniknúť teplu a kyslíku do vnútra prierezu [3], [4]. Tým sa podporuje proces tvorby zuhoľnatej vrstvy.

### Cieľ

Cieľom príspevku je hodnotenie tvorby zuhoľnatej vrstvy na 150-ročnom dreve pri zaťažení radiačným panelom a rýchlosti uhoľnatenia tohto dreva na základe teplotného vývoja vo vopred stanovených miestach skúšobnej vzorky.

### Metodika

Testovanie prebiehalo v strednorozmerovej komore na Katedre protipožiarnej ochrany Technickej univerzity vo Zvolene. Experiment trval 3600 s pre každú skúšobnú vzorku. Zaťaženie skúšobných vzoriek sa vykonalo prostredníctvom keramického panelu s intenzitou vyžarovania  $50 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Vo vopred stanovených miestach v skúšobnej vzorke (10, 20, 30, 40, 50 mm od exponovanej strany) sa prostredníctvom Ni-Cr Ni termočlánkov sledovali teplotné priebehy, resp. dosiahnutie teploty uhoľnatenia. Ako uvádza Eurokód 5 [5], za polohu čiar zuhoľnatenia sa môže brať poloha izoterm  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ .

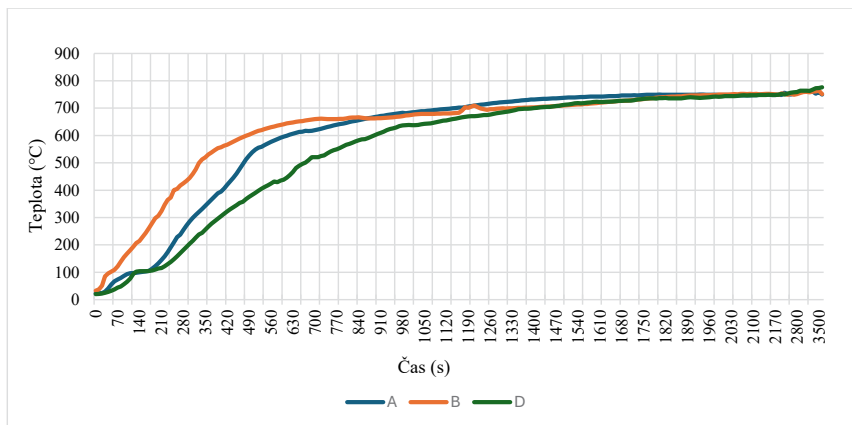
Skúšobné vzorky boli hranoly o rozmeroch  $190 \times 190 \times 1000 \text{ mm}$ , ktoré boli odstránené z 150-ročnej budovy. Povrch skúšobných vzoriek bol poškodený pôsobením času, poveternostnými podmienkami. Vyskytovali sa na ňom trhliny a praskliny. Hustota skúšobných vzoriek bola  $450 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} \pm 5 \%$ . Vlhkosť 6,3-7,2 %. Druh dreveniny sa určil na základe mikroskopie.

## Výsledky

Na určenie druhu 150-ročného dreva bolo potrebné vykonať mikroskopické pozorovanie. Vzorka malého dreveného bloku bolo pozorovaná radiálnou mikroskopiou. Bloček dreva bol zaliaty v epoxidovej živici a mikroskopický rez bol vyhotovený na mikrotóme v hrúbke 20 mikrometrov. Typické sú viditeľné stenčiny krížového poľa oknového typu. Okienkové prriedenie naznačuje, že analyzovanou drevinou bola borovica.

Po vykonaní mikroskopie sa vzorky podrobili strednorozmerovému testu. Pri vystavení skúšobných vzoriek tepelnému zaťaženiu radiačného panela nastalo okamžité tmavnutie exponovanej strany. Proces tmavnutia a tvorby zuhoľnatej vrstvy pri termickom zaťažení spozorovali aj Kačíková a Osvaldová [6]. Vznietenie vzoriek nastalo v priebehu prvej minúty. Výskyt plameňa na exponovanej strane vzoriek pretrvával do ukončenia testu.

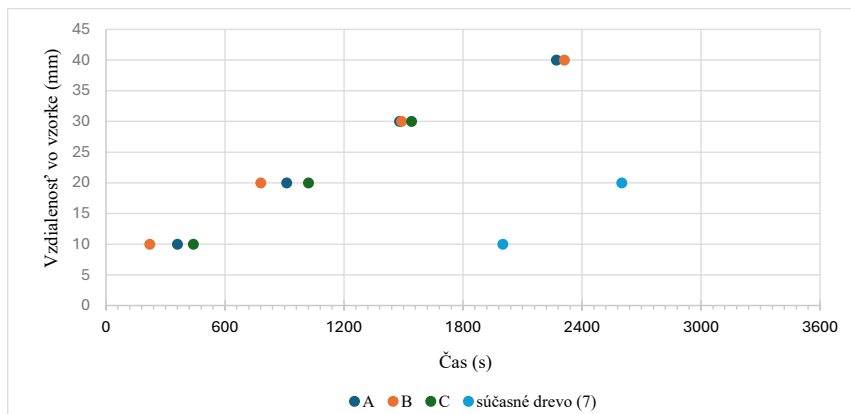
Na obr. 1 je znázornený teplotný priebeh vo vzdialenosti 10 mm od exponovanej strany skúšobnej vzorky. Ako si je možné všimnúť teplotný vývoj od začiatku testu približne do 1200 s je výrazne rozdielny. Následne dochádza k ustáleniu z dôvodu dosiahnutia maximálnej teploty závislej od výkonu radiačného panela.



Obr. 1 Teplotný vývoj zaznamenaný v sk. vzorkách A, B, C vo vzdialenosti 10 mm od exponovanej strany

Povrch testovaných skúšobných vzoriek bol vystavený degradačným procesom (vplyv poveternostných podmienok, slnečného žiarenia, mikroorganizmi), ktoré viedlo k vzniku trhlín. Ako uvádza Kamenická et al. [2], z predbežných analýz trhlín v dreve vyplýva, že trhliny môžu mať výrazný vplyv na uhoľnatie dreva v mieste trhliny.

Degradačné procesy, ktoré pôsobili 150 rokov, majú za následok výrazne rýchlejšiu tvorbu zuhoľnatej vrstvy dreva v prvých minútach testu. Porovnanie závislosti tvorby zuhoľnatej vrstvy vytvorenej na 150-ročnom dreve v čase, ktorých výsledky sa získali strednorozmerovým testom a tvorby zuhoľnatej vrstvy vytvorenej na súčasnom dreve v čase, ktorých výsledky sú z výskumu Fonseca a Barreira [7] je znázornené na obr. 2.



Obr. 2 Porovnanie závislosti zuhoľnatej vrstvy vytvorenej na 150-ročnom dreve (strednorozmerový test) a zuhoľnatej vrstvy vytvorenej na súčasnom dreve z výskumu Fonseca a Barreira [7]

Strednorozmerovými testami sa potvrdil izolačný charakter vytvorenej zuhoľnatej vrstvy. Tvorba zuhoľnatej vrstvy viedla k zníženiu rýchlosti zuhoľnatia. Tab. 1 ukazuje rozdiely v rýchlosti zuhoľnatia v priebehu strednorozmerového testu. Rýchlosť zuhoľnatia prvých 10 mm bola v rozmedzí 1,37-2,77 mm.min<sup>-1</sup>. Rýchlosť zuhoľnatia 40 mm bola 1,03-1,05 mm.min<sup>-1</sup>.

Tab. 1 Okamžitá rýchlosť zuhoľnatia v hĺbke 10, 20, 30, 40 mm od exponovanej strany

|                 | 10 mm | 20 mm | 30 mm | 40 mm     |
|-----------------|-------|-------|-------|-----------|
| <b>Sample 1</b> | 1,67  | 1,32  | 1,21  | 1,05      |
| <b>Sample 2</b> | 2,77  | 1,54  | 1,20  | 1,03      |
| <b>Sample 3</b> | 1,37  | 1,17  | 1,17  | nenastalo |

## Záver

Vykonaním strednorozmerových testov sa dospelo k nasledovným záverom:

- mikroskopickým pozorovaním sa stanovil druh 15-ročného dreva - borovica,
- proces tvorby uhoľnatej vrstvy na 150-ročnom dreve je výrazne rýchlejší ako proces tvorby uhoľnatej vrstvy na súčasnom dreve,
- s narastajúcou vzdialenosťou od exponovanej strany, rýchlosť uhoľnatenia skúšobnej vzorky je pomalšia. Tým sa potvrdil izolačný charakter vytvorenej uhoľnatej vrstvy.

## PodĎakovanie

*Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-22-0030 a Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied na základe Zmluvy VEGA č. 1/0115/22.*

## Použitá literatúra

- [1] YIN, Y.; LUOB.; ZHANG, Z.; ZHANG, Y.; CHENG, X.; JIANG, X. (2020).: Introductione to the application of non-destructive testing methods in wood structure ancient architecture. *ANc. Archit. Gard. Technol.*, 1(3): 20-23.
- [2] KAMENICKÁ, Z.; SANDANUS, S.; KLAS, T.; RANTUCH, P.; MARTINKA, J.; BALOG, L. (2018).: Experimentálna a numerická analýza vplyvu trhlín na uhoľnatenie drevených prvkov. *Czech Journal of Civil Engineering*, 4(1): 58-64.
- [3] LI, K.; HOSTIKKA, S.; PENG, D.; YANZHOU, L.; HEPING, Z.; JIE, J. (2017).: Charring shrinkage and cracking of fir during pyrolysis in an inert atmosphere and at different ambient pressures. *Proceedings of the Combustion Institute*, 36: 3185-3194.
- [4] LI, K.; MOUSAVI, M.; HOSTIKKA, A.S. (2017).: Char cracking of medium density fibreboard due to thermal shock effect induced pyrolysis shrinkage. *Fire Safety Journal*, 91:165-173.
- [5] STN EN 1995-1-2: Eurokód 5. Navrhovanie drevených konštrukcií. časť 1-2: Všeobecne. Navrhovanie konštrukcií na účinky požiaru.
- [6] KAČÍKOVÁ, D.; MAKOVICKÁ-OSVALDOVÁ, L. (2009).: Rýchlosť odhoriavanie drev z rôznych častí stromu vybraných ihličnatých drevín. *Acta Facultatis Xylologiae*, 51(1): 27-32.
- [7] FONSECA, E.M.; Barreira, E.M.L. (2009).: *Charring rate determination of wood pine profiles submitted to high temperatures*, 108: 449-459.



# Modelování funkce proudových ventilátorů v uzavřené garáži v softwaru FDS

**Ing. Lucie Hasalová, Ph.D.**

**Ing. Václav Vystrčil**

MV-GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany  
Písková 42, 14300 Praha  
lucie.hasalova@hzscr.cz, vaclav.vystrcil@hzscr.cz

## Klíčová slova

CFD, horizontální proudění, uzavřená parkoviště, nucená ventilace.

## Úvod

Matematické modely počítačové dynamiky tekutin (CFD) nachází uplatnění v mnoha oblastech požárního inženýrství. Jednou ze studovaných problematik je modelování chování větracích systémů s nuceným horizontálním prouděním v uzavřených garážích. Tato zařízení mohou být součástí návrhu systému usměrňování pohybu kouře v případě požáru a jedná se o jednu z prvních oblastí, kde je možnost využití modelování metodu CFD pro návrh a ověření funkce takového systému zakotvena v předběžné české normě ČSN P CEN/TS 12101-11 [1]. Ta v příloze C, ačkoliv informativně a ne normativně, definuje požadavky a doporučení pro takovou simulaci - tzv. správnou praxi.

V tomto příspěvku byl pro simulování funkce systému nuceného horizontálního proudění využit software FDS. Jedná se o nejčastěji využívaný software pro modelování požárů v inženýrské praxi. Cílem tohoto příspěvku je otestovat využití tohoto softwaru v kontextu návrhu celého systému dle předběžné normy na reálné úloze jednoho podzemního patra bytového domu.

## FDS a limity jeho využití

Ačkoliv může být horizontální proudění vyvolané nucenou ventilací velmi rychlé, stále je výrazně pod limitní rychlosti proudění, pro kterou je software FDS navržen. Jedná se tedy z hlediska proudění a požáru o podmínky, na které je software validován. Software dále splňuje všechny požadavky informativní přílohy C. Software dále pracuje s relativně jednoduchým konceptem definování okrajových podmínek pro systémy ventilace tzv. HVAC prvky, pomocí kterých lze zjednodušeně modelovat nucení proudění i uvnitř výpočetní domény. Jedna z citlivostních a validačních studií ale naznačuje, že FDS podhodnocuje výměnu hmoty vzduchu mezi okolím a proudem vzduchu vytékajícím z ventilátoru ve větší vzdálenosti za výtokovým otvorem [2]. Výrazným omezením softwaru pro tuto aplikaci je strukturovaná výpočetní síť a neflexibilní možnost zjemňování sítě, které omezují, jak možnost vymodelovat samotné tělo ventilátoru a výtokového otvoru ventilátoru, tak oblast blízko za výtokovým otvorem, kde je rychlost proudění plynu nejvyšší.

## Modelované scénáře

Před tím, než je namodelován systém ventilátorů na ploše garáže o rozměrech přibližně 100x40 metrů, je třeba ověřit, zda proudění vzduchu vyvolané ventilátorem v simulaci odpovídá skutečným parametrům proudění ventilátoru v úloze tzv. volného (neomezeného) toku vzduchu z proudového ventilátoru. Nejlepší je pro takové případy zkouška. Experimentální data jsou ale ve většině případů nedostupná. Druhou možností je pak využití dat výrobce o geometrických rozměrech ventilátoru a korelací, které predikují rychlost jako funkci vzdálenosti za výtokovým otvorem, délku dosahu proudu atd. [2, 3]. „Ve skutečnosti bude výkon proudu vzduchu záviset na řadě faktorů, jako jsou podmínky instalace, rozměry místnosti, pohyby vzduchu v místnosti křížící proud vzduchu, umístění proudových ventilátorů, přivodní a odvodní ventilátory atd.“ [1] Po modelu volného výtoku byl vytvořen zjednodušený scénář tzv. omezeného výtoku vzduchu z ventilátoru tzn. mezi dvě překážky, které představují strop a podlahu. Ventilátor byl umístěn pod strop tak, jak bylo navrženo do uzavřené garáže. Pro tento typ simulace již nejsou k dispozici empirické korelace pro validaci modelu. Lze využít pouze data dostupná z experimentálních zkoušek pro vědecké účely a některé studie výrobců, ale jedná se do velké míry o inženýrské posouzení chování predikovaného proudění a jeho parametrů.

Jako poslední je pak modelován celý systém odvětrání dle aktivační sekvence navržené pro daný prostor a parametry celého systému pro usměrňování pohybu kouře a posuzováno, zda navržený systém splňuje cíle návrhů definované normativním předpisem.

## Závěr

Software FDS je validován na úlohy tohoto typu. Stejně jako u jiných úloh, jsou ale výsledky silně ovlivněny uživatelem, a to i tehdy, pokud jsou dodrženy podmínky informativní přílohy pro vytvoření CFD analýzy. CFD analýza může v porovnání se zjednodušeným návrhem za využití normativních požadavků odhalit tzv. hluchá místa a je vhodná zejména u prostor geometricky složitých či jinak specifických proti předpokladům a limitům normového návrhu. CFFD analýza je časově velmi náročná, a to jak ve fázi přípravy, protože je třeba kromě samotného modelu garáže a různých scénářů místa požáru třeba udělat také validační studie volného a omezeného výtoku, tak i z hlediska výpočetního času. Výpočetní čas je dlouhý zejména díky velikosti domény a také dlouhému simulačnímu času vyžadovanému normativním předpisem.

## Použitá literatura

- [1] ČSN P CEN/TS 12101-11. Zařízení pro usměrňování pohybu kouře a tepla - Část 11: Větrací systémy s nuceným horizontálním prouděním pro uzavřené garáže. Evropský výbor pro normalizaci, 2022. 51 p.
- [2] Modeling Jet Fans. <https://support.thunderheadeng.com/tutorials/pyrosim/modeling-jet-fans/> (accessed July 16, 2024).
- [3] KMECOVA, M. et al 2019.: IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 471 062045.

# Požární ochrana a vybraná bezpečnostní rizika ve školní praxi

**RNDr. Martina Hrušková, PhD.**

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Pedagogická fakulta  
Jeronýmova 10, 371 15 České Budějovice  
mhruskova@pf.jcu.cz

## Klíčová slova

Požární ochrana, bezpečnost, škola, útočník ve škole, děti předškolního a školního věku, dospívající.

## Úvod

Text je zaměřen na specifickou oblast legislativního rámce požární ochrany - únikovou cestu ve školských zařízeních. Příspěvek si neklade za cíl být „slovem do praxe“, cílem je předložit úvahu ke slabšímu místu jinak velmi dobrého a funkčního systému, který je navíc podložen evidencí i evropskými technickými normami (EN 1125, EN 179 and EN 13637; CFPAGEUROPE Guidelines, 2022). V oblasti školství se ale čím dál tím jasněji ukazuje, že v oblasti bezpečnosti je potřeba k velmi kvalitní legislativě týkající se požární ochrany zohlednit ještě dva další faktory, kterými jsou (a) útočník ve škole (znesnadnění sebezáchrany osob proti útočnickovi v budově) a (b) lidský - dětský a teenagerovský - faktor. V případě, že se dítě nebo dospívající rozhodne svévolně opustit školu, tak mu v podmínkách aktuálního legislativního rámce požární ochrany (únikový východ ven volně přístupný) a při současných ekonomických a personálních podmínkách ve školách nezabraňuje nic. V době mimo mimořádnou událost s nutností evakuace osob se tak bohužel razantně a neúměrně zvyšuje míra bezpečnostního rizika pro děti a dospívající (dopravní bezpečnost a další). Riziko profesního selhání se pak neúměrně zvyšuje i u dohlížejícího pedagoga, neboť za každé dítě v době vyučování zodpovídá konkrétní pedagogický pracovník, který kromě vzdělávání také zároveň dohlíží na 20 i více dětí najednou.

## Výběr z legislativy týkající se únikových cest ve školních budovách

Základním předpisem k nouzovým východům a únikovým cestám je jednak příloha k nařízení vlády č. 101/2005 Sb., o podrobnějších požadavcích na pracoviště a pracovní prostředí (Zákony pro lidi, 2005) a zákon č. 262/2006 Sb. (§ 102, Zákoniík práce; Zákony pro lidi, 2024a; v budoucím znění platném od 1. 1. 2025). Dále pak vyhláška č. 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb, konkrétně § 23 Stavba užívaná k činnosti školy a školského zařízení (Zákony pro lidi, 2008), jejíž znění od 1. 1. 2025 je již k dispozici (Zákony pro lidi, 2024b). Dalším závazným dokumentem byla ČSN 73 0802 (Technor, 2009; Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty; platnost do prosince 2023), která byla nahrazena ČSN 73 0802 ED. 2 (Technor, 2023; Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty; aktuální verze platnost od října 2023 doposud).

## Útočník ve škole

Útoky mezi samotnými žáky ve školách nejsou bohužel výjimečné, v dalším textu je uveden pouze výběr vážných útoků ve školách od roku 2003. (Novotná, 2022; Gáfríková & Nádvorníková, 2022; Žďárský deník, 2014)

Prosinec 2003: Psychicky nemocný student královéhradecké univerzity napadl baseballovou pálkou třiapadesátiletého pedagoga Jana Laška. Učitele zbil v jeho pracovně v budově Pedagogické fakulty v Hradecké ulici. „Podobný útok jsem nikdy nezažil, ani jsem neslyšel o podobném incidentu na jiné vysoké škole v Čechách. Domnívám se, že šlo o zkratkovité jednání, které se přeneslo na mě. Útočník vykřikoval něco o terorizování rodiny, ale já jej neznám a nic o něm nevím,“ řekl Lašek. Podle vyšetřovatelů byl útočník v době spáchání činu nepřičetný.

Březen 2004: Student učiliště ve Svitavách přímo během vyučovací hodiny vážně pobodal osmnácti ranami nožem svého šedesátiletého učitele Bohuslava Šíbla. Ten po převozu do nemocnice zemřel.

Září 2011: Patnáctiletý student gymnázia v Chomutově se na svůj čin předem připravil. Kolem půl deváté ráno si před školou na obličej nasadil masku a dovnitř vstoupil vyzbrojený paličkou na maso a nožem. První, koho na chodbě potkal, byla sekretářka školy v doprovodu s ekonomkou. „Tohle je teroristický útok,“ křičel patnáctiletý student a zaútočil na první z nich. Sekretářce gymnázia zasadil několik ran do hlavy. Žena skončila v nemocnici. Útok zastavil ředitel školy spolu se školníkem, kteří žáka přemohli.

Říjen 2012: Na gymnázium v Rakovníku napadl čtrnáctiletý student učitelku. „Jedno se o těžké zranění v oblasti hrudníku. Měla hlubokou bodnou ránu v zádech,“ uvedla tehdy mluvčí středočeské záchranné služby Tereza Janečková. Těžce zraněnou učitelku přepravil vrtulník záchranné služby do pražské střešovické nemocnice, kde se zotavila. Útočník nebyl vzhledem k věku trestně odpovědný.

Březen 2014: Dva mladíci z Výchovného ústavu v Králíkách na Orlickoústecku brutálně napadli nočního vychovatele a noční vychovatelku. Muži vrazil jeden z útočníků šroubovák do krku, ženu povalil na zem a oba ji kopali do hlavy a těla. Chlapci útočili, protože chtěli utéct.

Říjen 2014: Ve Žďáru nad Sázavou zemřel šestnáctiletý student Petr Vejvoda, když chránil studentku před psychicky narušenou ženou, která vnikla do školy s nožem v ruce. (Žďárský deník, 2014)

Březen 2022: Devatenáctiletý učeň napadl svého učitele mačetou v jeho kabinetu, ten zraněním na místě podleh. (Novotná, 2022; Gáfríková & Nádvorníková, 2022)

Prosinec 2023: Útočníkem byl studentem fakulty, kde čtrnáct obětí zastřelil, 25 zranil (z toho 10 vážně). Výhrůžek i nenávisti po útoku na FF UK přibylo, jen koncem ledna 2024 Policie ČR prověřovala 219 případů výhrůžek. (iROZHLAS, 2024)

Tragédie z let 2014 (Žďár nad Sázavou) a 2023 (Praha) se staly podnětem pro zařazení základních, středních a vysokých škol mezi tzv. měkké cíle. Také se ty školy, které byly v době před útoky v režimu „otevřená škola“, začaly více zaměřovat

na zabezpečení školy proti vstupu cizích osob. Možností zabezpečení jsou v různých úrovních. Od útoku ve Žďáru nad Sázavou roku 2014 zůstává po zhodnocení provozu škol a s ohledem na názory zaměstnanců škol a veřejnosti stejné stanovisko MŠMT. „V tuto chvíli bezpečnostní rámy ne. Nevím, jestli by byly dostatečně schopné vyřešit situaci a nakolik by to byla komplikace pro běžný život škol. Jako vláda chceme rozhodovat na základě dat a analýz, na to by byla nutná analýza a řešit to se školskými asociacemi. V tuto chvíli nechci dělat unáhlená rozhodnutí,“ komentoval v roce 2022 zabezpečení škol ministr Petr Gazdík. (Novotná, 2022)

Situace se však i v souvislosti s kovidovou dobou pozměnila. V posledních letech zaznamenáván nárůst výskytu psychických onemocnění (NÚDZ, 2023) a také zvyšující se počet útoků žáků mezi sebou (Asociace bezpečná škola, 2023), bylo by vhodné posílit psychologickou prevenci a podporu v samotných školách a také znovu uvážit možná bezpečnostní rizika v situaci, kdy je útočník ve škole. Zamyšlení by se mohlo týkat podmínky otevírání dveří ve směru úniku (snižuje možnost sebezáchrany) nebo technickou inovaci dveří, které jsou součástí únikové cesty. Dveře většiny školních tříd totiž není možné zabarikádovat a bránit je před vstupem útočníka, který se pohybuje po škole. „Z protipožárních důvodů se dveře musí otvírat směrem na chodbu, což poskytuje výhodu útočníkům. U dveří každé třídy by měl být klíč v prosklené skříňce, která umožňuje dveře třídy uzamknout zevnitř, a tím se chránit,“ řekl generál ve výslužbě Andor Šándor (poradce a analytik v oblasti bezpečnosti) v roce 2018, klíč vedle dveří však už současná legislativa neumožňuje. Dále A. Šandor v roce 2018 k sebezáchraně žáků sdělil: „Studenti škol se učí i jiné možnosti, jak bránit dveře své třídy proti útočníkům. Postavíte pásek, který provléknou za kliku a drží tím dveře. Nemohou stát přímo za dveřmi a držet dveře vahou svého těla. Útočník by je mohl snadno zasáhnout.“ (Mareš, 2018) Otázkou však je, kolik dětí pásek nosí, příp. jaké technické vylepšení dveří by tuto improvizovanou pomůcku mohlo nahradit.

### **Dětský a teenagerovský faktor**

Zhodnocení bezpečnostních rizik v současné legislativě by se také mělo týkat věkového složení všech osob, které ve školních budovách jsou. Za většinu z nich (děti a dospívající) ze zákona zodpovídá po celou dobu vyučování určený pedagogický pracovník (zákon č. 561/2004 Sb., Zákony pro lidi, 2004). Jak uvádí například Krutil (2019), tak není neobvyklé, že se děti (i předškolní) rozhodnou v průběhu vyučování samostatně školu opustit. Pozornost pedagoga pověřeného dohledem (dohlíží a vzdělává najednou na 20 dětí i více) není neomezená a opuštění bezpečného prostoru mateřské nebo základní školy volně přístupným únikovým východem tak není pro děti a dospívající obtížné. Současné ekonomické a personální podmínky téměř všech českých škol neumožňují trvalý dohled dospělých u únikových vchodů. Za tohoto stavu se jeví jako vhodné znovu zhodnotit všechna bezpečnostní rizika, nejen rizika vzniku mimořádné situace v objektu (statistika požárů ve školách, například Podjukl, 2024), ale i ta, která se týkají pobytu malých dětí bez dohledu dospělých mimo školku nebo školu (dopravní bezpečnost a další). Poněkud jiné bezpečnostní riziko bylo zaznamenáno u dospívajících na středních školách a učilištích. Únikový východ dospívající kvůli

krátkodobému odchodu ze školy zabezpečují proti dovření, čímž zvyšují riziko vstupu nežádoucích osob do budovy školy. Za tohoto stavu by bylo vhodné přihlédnout i k tomu, že evakuace všech dětí i dospívajících ve školních budovách probíhá vždy za dohledu pověřených dospělých.

Pokud se za současné ekonomické situace nedá čekat navýšení finančních prostředků na osoby dohlížející, aby únikový východ z budovy nebyl zneužit, je potřeba dohodnout se na úrovni zabezpečení, která bude zohledňovat celou paletu bezpečnostních rizik. Čidlo s alarmem by mohlo nevhodně upozornit útočnicka na pohyb osob, odchodové tlačítko ve výšce 2 metrů s elektromagnetem pak zcela neodpovídá legislativě v její současné podobě atd. Nicméně věrme, že postupně dojde odborná veřejnost k pokročilejšímu technickému řešení únikových dveří, které by vyhovovalo také školní praxi.

### Závěr

V oblasti školství se čím dál tím jasněji ukazuje, že v oblasti bezpečnosti je potřeba k velmi kvalitní legislativě týkající se požární ochrany zohlednit ještě dva další faktory, kterými jsou (a) útočnick ve škole a (b) lidský - dětský a teenagerovský - faktor. Technické parametry dveří únikové cesty a technické parametry únikových dveří z budovy škol by si v jinak velmi dobrém a funkčním systému ochrany zasluhovaly ještě o něco více pozornosti.

### Použitá literatura

- [1] Asociace bezpečná škola, 2023: *Útoků v českých školách přibývá*. Dostupné z: <https://www.asociacebezpecnaskola.cz/2023/01/24/utoku-v-ceskych-skolach-pribyva/>.
- [2] CFPAEUROPE, G., 2022: *Panic & emergency exit devices*. Dostupné z: [https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA\\_E\\_Guideline\\_No\\_02\\_2022\\_F.pdf](https://cfpa-e.eu/app/uploads/2022/05/CFPA_E_Guideline_No_02_2022_F.pdf).
- [3] Gáfríková, E., & Nádvoříčková, I., 2022: *Krvavé útoky na školách v ČR: osmnáct smrtelných ran i náhodná oběť nemocné ženy*. Dostupné z: <https://www.denik.cz/krimi/utoky-na-ucitele-historie-prehled.html>.
- [4] iROZHLAS, 2024: *Výhrůžek i nenávisti po útoku na FF UK dál přibývá*. Dostupné z: [https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/vinohradska-12-strelba-nafilozoficke-fakulte-vrah-policie-vysetrovani-nenavist\\_2401240600\\_nel](https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/vinohradska-12-strelba-nafilozoficke-fakulte-vrah-policie-vysetrovani-nenavist_2401240600_nel).
- [5] KRUTIL, R., 2019: *Tříletý kluk odešel bez povšimnutí ze školky domů, případ řeší inspekce*. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/brno/zpravy/chlapec-ze-skolky-odesel-domu-skolni-inspekce-brno.A190918\\_095528\\_brno-zpravy\\_krut](https://www.idnes.cz/brno/zpravy/chlapec-ze-skolky-odesel-domu-skolni-inspekce-brno.A190918_095528_brno-zpravy_krut).
- [6] MAREŠ, M. 2018: *Generál Šándor: Většinu dveří školních tříd nelze zabarikádovat proti teroristům*. Dostupné z: <https://www.obcasnik.eu/general-sandor-vetsinu-dveri-skolnich-trid-nelze-zabarikadovat-proti-teroristum/>.

- [7] NOVOTNÁ, K. 2022: *Útoky na českých školách: studenti dříve napadali spolužáky i učitele*. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/utok-skola-student-incident.A220331\\_131510\\_domaci\\_knn](https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/utok-skola-student-incident.A220331_131510_domaci_knn).
- [8] NÚDZ, 2023: *Národní monitoring duševního zdraví dětí: 40 % vykazují známky střední až těžké deprese, 30 % úzkosti. Odborníci připravují preventivní opatření*. Dostupné z: <https://www.nudz.cz/pro-media/tiskove-zpravy/narodni-monitoring-dusevniho-zdravi-deti-40-vyказuje-znamky-stredni-az-tezke-deprese-30-uzkosti-odbornici-pripravuji-preventivni-opatreni>.
- [9] PODJUKL, M. 2024: *(Ne)dramatické požáry v českých školách*. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/17442-ne-dramaticke-pozary-v-ceskych-skolach>.
- [10] Technor, 2023: ČSN 73 0802 ED. 2 (730802) Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-73-0802-ed-2-730802-250077.html>.
- [11] Technor, 2009: ČSN 73 0802 (730802) Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/csn-73-0802-730802-221875.html#>.
- [12] Zákony pro lidi, 2024a: Zákon č. 262/2006 Sb. (Zákoník práce). Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262/zneni-20250101>.
- [13] Zákony pro lidi, 2024b: Vyhláška č. 23/2008 Sb. Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb. Budoucí znění od 1.1.2025 (verze 4). Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23/zneni-20250101>.
- [14] Zákony pro lidi, 2008: Vyhláška č. 23/2008 Sb. Vyhláška o technických podmínkách požární ochrany staveb. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23/zneni-20250101>.
- [15] Zákony pro lidi, 2005: Nařízení vlády č. 101/2005 Sb. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-101/zneni-20050301>.
- [16] Zákony pro lidi, 2004: Zákon č. 561/2004 Sb. Zákon o předškolním, základním, středním, vyšším odborném a jiném vzdělávání (školský zákon). Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-561>.
- [17] Žďárský deník, 2014: *Žena, která pobodala studenty a jednoho zabila, zaútočila před 2 roky v Havířově*. Dostupné z: [https://zdarsky.denik.cz/zpravy\\_region/zena-ve-zdarske-stredni-skole-pobodala-studenta-20141014.html](https://zdarsky.denik.cz/zpravy_region/zena-ve-zdarske-stredni-skole-pobodala-studenta-20141014.html).

## Destrukce vysokotlaké lahve jako následek působení požáru kapaliny

**Ing. Vojtěch Jankůj, Ph.D.**

**Ing. Miroslav Mynarz, Ph.D.**

**Ing. Petr Lepík, Ph.D.**

**Ing. Kateřina Symonová**

**Ing. Pavel Raška, Ph.D.**

**Ing. Jan Hora**

VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství

Lumírova 630/13, 700 30 Ostrava-Výškovice

vojtech.jankuj@vsb.cz

### Klíčová slova

Vodík, dusík, tlaková lahev, destrukce, exploze, požár kapaliny.

### Úvod

Rychlý rozvoj průmyslu a technologií směrem k zelené energii přináší řadu výzev, včetně nepředvídaných problémů, které vyžadují pečlivou pozornost. Průmyslové havárie a nehody mohou mít negativní dopady na životní prostředí, což je v rozporu s cíli ochrany životního prostředí a udržitelného hospodaření s přírodními zdroji. S rostoucí poptávkou po čistších energetických řešeních se jeví vodík jako slibná, ekologicky přijatelná a přátelská možnost. Jeho všestrannost jako čistého nosiče energie pro dopravu, průmysl a výrobu elektřiny zdůrazňuje potřebu vysokotlakého skladování vodíku v nádobách, jako jsou lahve. Tlakové lahve s technickými plyny se používají k různým účelům v průmyslu nebo domácnostech ke svařování, chlazení nebo i pohonu. V podmínkách požáru se však tyto lahve mohou stát nebezpečnými a náchylnými k neřízené destrukci. Chování tlakových lahví v podmínkách požáru je kritickým bezpečnostním problémem, kvůli jejich nepředvídatelné a nebezpečné reakci, ať už se jedná o hořlavý nebo nehořlavý plyn. Faktory jako vlastnosti materiálu, vnitřní tlak, obsah lahve, doba a intenzita tepelného působení přispívají ke složitosti předvídání následků. [1]

### Experimentální měření

Tlaková lahev v podmínkách požáru s sebou nese značné riziko nárůstu tlaku uvnitř lahve a současně dochází vlivem zvýšené teploty ke snižování pevnosti pláště. Není-li včas ohřívání přerušeno, dojde k porušení těsnosti lahve a úniku plynu nebo k fyzikálnímu výbuchu. Při požáru s přítomností tlakových lahví je důležité zejména minimalizovat případné ohrožení hasičů, ochlazovat lahve a bránit přímému kontaktu plamene a sálavého tepla s lahvemi. [2]



V souvislosti s vodíkem, jako nosičem energie budoucnosti, se pojí vysokotlaké skladování. Standardní pracovní tlak lahve s vodíkem byl 200 bar, avšak s rostoucími požadavky na přepravu a skladování co největšího množství plynu, přichází na trh tlakové lahve s pracovním tlakem 300 bar a nebo i vyšší. Pro využití ve vodíkové mobilitě, je vodík stlačen na 350 bar pro autobusy a nákladní automobily, respektive na 700 bar pro osobní vozy. V závislosti na požadovaném tlaku, místa určení nebo obsaženého plynu jsou využity různé druhy tlakových lahví lišící se materiálem, konstrukcí, plnicím tlakem nebo výstrojí. Momentálně se na trhu vyskytují lahve označené jako typ I - V, kdy se přechází z celokovového obalu na částečně kovová jádra s částečnými kompozitními obaly, až po plastová jádra s celokompozitními obaly nebo nově pouze celokompozitní lahve bez kovové nebo plastové vložky. [3]

V rámci velkorozměrových zkoušek byly tlakové lahve s vodíkem a dusíkem vystaveny podmínkám požáru hořlavé kapaliny. Cílem bylo zjistit kritické veličiny - destrukční tlak, povrchové teploty, fragmentace a další. Pro test byly připraveny tlakové lahve na dusík a vodík s pracovním tlakem 300 bar, které byly umístěny mezi 4 nerezové vany o rozměrech 650x530x150 mm. V každé z těchto van bylo nalita voda, motorová nafta představující požár a malé množství benzínu pro snazší iniciaci. Iniciace proběhla vzdáleně pomocí pyrotechnického mžikového palníku. Průběh zkoušek byl dokumentován pomocí dronů, kamer (vysokorychlostní, termo) a následně byly zaznamenány výsledky analyzovány a srovnávány.

## Závěr

Pochopení a příprava na složitosti spojené s tlakovými lahvemi v podmínkách požáru je klíčová pro bezpečnost zasahujících jednotek a účinné řízení nehod. V tomto kontextu bylo provedeno experimentální měření tlakových lahví v podmínkách požáru. Lahve obsahující hořlavé (vodík) a nehořlavé (dusík) plyny byly umístěny přímo do požáru způsobeného hořlavou kapalinou. Během tohoto experimentu byly zaznamenány kritické údaje jako destrukční tlak a teplota pláště a byly analyzovány, diskutovány a srovnávány důsledky, včetně fragmentace. Výsledky poskytují přehled o chování tlakových lahví s pracovním tlakem 300 bar v podmínkách požáru, čímž přispívají k vývoji bezpečnějších skladovacích řešení a strategií pro reakci na mimořádné události.

## Použitá literatura

- [1] MYNARZ, M.; JANKŮJ, V.; LEPÍK, P.: *Chování tlakových lahví při řízení a neřízené destrukci*. Ostrava, z.s.: SPBI, z.s. 2022. ISBN 978-80-7385-258-0.
- [2] *Bojový řád jednotek požární ochrany - taktické postupy zásahu: Požáry s přítomností tlakových lahví s technickými stlačenými a zkapalněnými plyny* [online]. Dostupné z: [http://metodika.caht.cz/bojovy\\_rad/P\\_32\\_Technicke\\_plyny.pdf](http://metodika.caht.cz/bojovy_rad/P_32_Technicke_plyny.pdf).
- [3] JANKŮJ, V.; SYMONOVÁ, K.; BERNATÍK, A.: *Bezpečnost vodíkových technologií*. Ostrava: SPBI, z.s., 2023. ISBN 978-80-7385-271-9.

## Vliv výbuchového tlaku chemických iniciátorů na výbuchové parametry prachových disperzí ve 20 l výbuchové komoře

doc. Dr. Ing. Břetislav Janovský

Ing. Jan Karl

Prokop Janovský

Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická

Studentská 573, 532 10 Pardubice

bretislav.janovsky@upce.cz

### Klíčová slova

Dust explosion, chemical ignitor, explosion pressure, pressure ratio.

Proces iniciace chemickými iniciátory se stále více diskutuje v souvislosti s jejich vlivem na výbuchové parametry prachů a hybridních směsí ve 20 l komoře. Konkrétně se jedná o turbulenci generovanou činností iniciátorů a/nebo předpřípravou systému velkou a horkou ohnivou koulí hořící pyrotechnické složce vymetené z iniciátoru. Výbuchový tlak vygenerovaný chemickými iniciátory je v normách zahrnut pomocí tzv. Pressure Ratio ( $PR$ ) [1] a korigovaného výbuchového tlaku  $P_m$  [1, 2]. Výbuchový tlak iniciátorů by měl být také brán v úvahu, když se vznícení prachu vyhodnocuje v rámci např. Go/No-Go testů.

Cílem předkládané práce je vliv naměřených výbuchového tlaků generovaných iniciátory na výpočty  $PR$  a  $P_m$  ve srovnání s výbuchovémi tlaky iniciátorů vypočtenými podle rovnic daných normami. Testován byl také vliv koncentrace prachu (hmotnosti prachu uvnitř komory) na výbuchové tlaky iniciátorů.

Dva zapalovače firmy Sobbe o energii 5 kJ vytvořily při zkouškách bez prachu výbuchové přetlaky přibližně 0,73 barg na rozdíl od 1,6 barg výbuchového přetlaku vypočítaného podle rovnice v [2]. Poté byly při testech dispergovány čtyři koncentrace (125, 250, 500 a 750 g.m<sup>-3</sup>) prachových částic masku spolu s akci dvou 5 kJ iniciátorů. Stejně testy byly provedeny se směsí masku (80 % hmotnostních) a spór Lycopodia Clavata (20 % hmotnostních). Prach sloužil jako tepelná jímka a maximální výbuchové přetlaky se snížily na asi 0,52 barg pro oba testované prachy při nejvyšší testované koncentraci prachu. Pokud je  $PR$  počítán pomocí hodnoty 1,6 barg jako výsledek výpočtu přetlaku iniciátorů podle normy, pak jsou hodnoty  $PR$  nižší o téměř 1 bar oproti hodnotám  $PR$  vypočteným s využitím hodnot naměřených přetlaků iniciátorů pouze ve vzduchu. Pokud se započítají hodnoty výbuchového přetlaku iniciátorů při dané koncentraci prachu, pak  $PR$  roste s rostoucí koncentrací prachu na dalších 0,2 barg při 750 g.m<sup>-3</sup>. Hodnoty  $P_m$  jsou také významně ovlivněny výbuchového přetlakem použitých iniciátorů. Hodnota  $P_m$  pro tlak zapalovačů 1,6 barg byla dokonce -0,01 bar v případě koncentrace prachu 125 g.m<sup>-3</sup> oproti

cca 1 baru pro hodnoty získané pomocí naměřeného výbuchového tlaku iniciátorů. Rozdíl se zmenšovaly se zvyšující se koncentrací prachu a tím i naměřenými výbuchovými přetlaky prachu. Při použití výbuchových přetlaků iniciátorů včetně vlivu rozvířeného prachu byl pozorován pouze zanedbatelný nárůst hodnot  $P_m$ .

### **Použitá literatura**

- [1] ASTM International, 2019.: ASTM E1226-19, Standard Test Method for Explosibility of Dust Clouds. ASTM International, West Conshohocken, PA [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [2] CEN, the European Committee for Standardization EN. 14034-1 (2011) - Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 1: Determination of the maximum explosion pressure  $p_{max}$  of dust clouds.

## Špecifiká a riziká pri likvidácii lesných požiarov

**Ing. Jaroslav Kapusniak, Ph.D.**

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva  
Ul. 1. mája 32, 010 26 Žilina, Slovenská republika  
jaroslav.kapusniak@uniza.sk

### Kľúčové slová

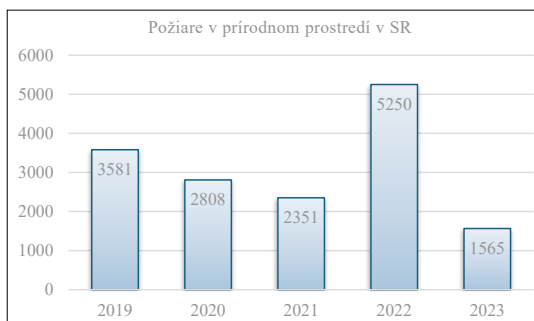
Lesný požiar, štatistika požiarovosti v prírodnom prostredí, hasičská technika, vecné prostriedky, ťažko dostupný terén.

### Úvod

Lesné požiare a celkovo požiare v prírodnom prostredí predstavujú značné riziko pre životné prostredie a ľudské životy, v kombinácii s očakávaným nárastom ich frekvencie a rozsahu vplyvom klimatických zmien [1]. Ich likvidácia v ťažko dostupnom teréne sa stáva mimoriadne náročnou a vyžaduje si špeciálne vybavenie a taktiky. Lesnému požiaru z hľadiska dynamiky horenia môžeme rozumieť ako komplexu fyzikálno-chemickému javu. Horenie lesa predstavuje horenie súboru organických materiálov, z ktorých sa lesný porast skladá [2].

### Štatistika požiarov v prírodnom prostredí na území Slovenska

Práve štatistika je taktiež kľúčovým nástrojom pre zhodnotenie rizika, prevenciu, plánovanie a efektívne nasadenie síl a prostriedkov v boji proti lesným požiarom. Z dostupných štatistických údajov za rok 2023 uvedených v tabuľke [3] môžeme usúdiť, že prevažnú časť požiarov v prírodnom prostredí tvoria požiare trávnatých a krovinatých porastov. Počet požiarov v prírodnom prostredí, najmä však lesných požiarov, sa v závislosti od obdobia v roku mení. Taktiež môžeme vidieť na Obr. 1, že počet požiarov sa v sledovanom období značne odlišuje od roku k roku. Nevykazuje jednoznačnú stúpajúcu ani klesajúcu tendenciu. Príkladom toho je rok 2022, kedy bol výrazne odlišný v porovnaní s ostatnými rokmi sledovaného obdobia.



Obr. 1 Grafické zobrazenie počtu požiarov v prírodnom prostredí v SR [3]

Požiare trávnatých a krovinatých porastov tvorili počet 3 606, a taktiež požiare lesov rúbanísk tvorili počet 476, čo je taktiež zvýšenie o oproti ostatným rokom sledovaného obdobia.

Tab. 1 Štatistika požiarovosti v prírodnom prostredí za rok 2023 [3]

| 2023/Kraj                                     | BA  | TT  | NR  | BB  | TN  | ZA  | PO  | KE         | Spolu       |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------------|-------------|
| Stoh, krmoviny                                | 3   | 14  | 15  | 15  | 6   | 7   | 11  | 11         | 82          |
| <b>Trávnatý a krovinatý porast</b>            | 172 | 127 | 86  | 78  | 62  | 44  | 112 | 181        | <b>862</b>  |
| Vypaľovanie v prírodnom prostredí             | 20  | 21  | 4   | 10  | 9   | 7   | 18  | 33         | 122         |
| Iné   | 46  | 43  | 45  | 24  | 35  | 29  | 29  | 36         | 287         |
| <b>Les, rúbanisko</b>                         | 18  | 6   | 3   | 25  | 14  | 36  | 7   | 4          | <b>113</b>  |
| Žatva   | 4   | 30  | 21  | 11  | 5   | 2   | 13  | 13         | 99          |
| Spolu v kraji - požiare v prírodnom prostredí | 263 | 241 | 174 | 163 | 131 | 125 | 190 | <b>278</b> | <b>1565</b> |

Najväčšia požiarovosť v prírodnom prostredí sa vyskytuje v Košickom kraji. V prípade **požiarov lesa a rúbaniska** bolo najviac požiarov v Žilinskom a v Banskobystrickom kraji. Tieto ukazovatele požiarovosti (les a rúbanisko) v krajoch sú takmer identické aj v predchádzajúcich rokoch sledovaného obdobia. V roku 2022 bolo zaznamenaných najviac požiarov lesa a rúbanísk v krajoch: Košice (154), Banská Bystrica (100), Prešov (81).

### Analýza vybraných zásahov pri likvidácii lesných požiarov

Analýza zásahov sa týka dvoch lesných požiarov, ktoré sa udiali za posledných päť rokov, a ktoré patrili svojim rozsahom medzi najväčšie na Slovensku v uvedenom období. Konkrétne išlo požiar v Oščadnici v roku 2020 a požiar v Malej Lode v roku 2022.

Dňa 20. 7. 2022 v čase o 14:41 hod. prijalo KOS v Košiciach správu o požiaru lesa v katastri obce Malá Lodina. Nakoľko sa jednotky nevedeli dostať k požiaru a letecké hasenie bolo počas noci pozastavené, požiar sa nekontrolovateľne rozšíril. Požiar sa podarilo uhasiť až po 11 dňoch [4]. Plocha zasiahnutá požiarom dosiahla až 51 ha, pri nasadení 110 profesionálnych a dobrovoľných hasičov. V ťažko dostupnom teréne bolo vybudovaných 21 jazierok slúžiacich na hasenie lesného požiaru. [5]

V katastrálnom území obce Oščadnica v okrese Čadca vznikol požiar z trávnatého porastu a prešiel do požiaru zmiešaného lesného porastu [6]. Požiar na ploche 84 ha sa podarilo zlikvidovať po 11 hodinách s nasadením 29 profesionálnych a 106 dobrovoľných hasičov, s celkovo 48 kusmi hasičskej techniky [7].



Obr. 2 Lesný požiar Oščadnica [8]

### Vyhodnotenie a odporúčania k haseniu lesných požiarov

Na základe zhrnutia poznatkov získaných z analýzy vybraných prípadových štúdií požiarov, z praktických skúseností, ako aj z analýzy súčasného stavu a z informácií k problematike lesných požiarov, je potrebné sa zaoberať odporúčaniami na zlepšenie efektivity hasenia lesných požiarov. Navrhujem zhrnutie do troch všeobecných oblastí:

- taktika hasenia: je potrebné sa zamerať na optimalizáciu taktických postupov pri zásahoch, **s dôrazom na rýchlu reakciu** efektívne nasadenia síl a prostriedkov, vytvoriť platformu vzdelávania na zdieľanie najlepších praktík v oblasti taktiky hasenia lesných požiarov,
- technika hasenia: vo všeobecnosti je spokojnosť s dostupnou hasičskou technikou, avšak je potrebné investovať do modernizácie hasičskej techniky, ako napríklad **nahradenie starších typov štvorkoliek a vrťuľníkov** modernou technikou, vrátane dronov, ktorá je prispôsobená náročným podmienkam terénu,
- prevencia lesných požiarov: posilnenie aktivít zameraných na prevenciu, najmä **spolupráce a koordinácie s DHZO** (častejšie cvičenia a simulácie lesných požiarov), taktiež medzinárodná spolupráca (výmena skúseností a nové trendy) a vzdelávanie v oblasti prevencie.

### Záver

Cieľom článku je, na základe štatistických údajov požiarovosti, analýzy súčasného nasadenia hasičských jednotiek podľa vybraných prípadových štúdií požiarov v ťažko dostupnom teréne a analýzou dostupných informácií získaných z dotazníkového výskumu, spracovanie návrhov pre zvýšenie efektívnosti hasenia lesných požiarov. Analýza konkrétnych prípadových udalostí lesných požiarov v katastroch obcí Oščadnica a Malá Lodina, priniesla cenné poznatky v koordinácii a spolupráci zložiek integrovaného záchranného systému.

**Použitá literatura**

- [1] Prezídium Hasičského a záchranného zboru, 2024.: *Ochrana lesov pred požiarmi*. [Online]. [cit.20-06-2024]. Dostupné na: [https://www.minv.sk/swift\\_data/source/hasici\\_a\\_zachranari/Malatinec/preventivno\\_vychovna\\_cinnost/Ochrana%20lesov%20pred%20poziarmi\\_2020.pdf](https://www.minv.sk/swift_data/source/hasici_a_zachranari/Malatinec/preventivno_vychovna_cinnost/Ochrana%20lesov%20pred%20poziarmi_2020.pdf).
- [2] MONOŠI, M.; MAJLINGOVÁ, A.; KAPUSNIAK, J. 2015.: *Lesné požiare*. Žilina: EDIS, 2015. 200 s. ISBN 978-80-554-0971-9.
- [3] BOŽOŇOVÁ, I., 2024.: *Prezídium Hasičského a záchranného zboru, Štatistika zásahov v HaZZ*, 2024.
- [4] Síta, 2022.: *Na likvidácii požiaru v obci Malá Lodina sa podieľa 110 hasičov*. [Online]. [cit. 20-06-2024]. Dostupné na: <https://www.noviny.sk/696656-na-likvidacii-poziaru-v-obci-mala-lodina-sa-podiela-110-hasicov>.
- [5] Anonym 1, 2022.: *Správa o zásahu č. 80-2000019168-2*. Prešov: Hasičský a záchranný zbor, 2022. 28 s. [cit. 20-06-2024].
- [6] MV SR, 2020.: *Požiar lesa v katastri obce Oščadnica, okres Čadca*. [Online]. [cit. 16- 07-2024]. Dostupné na: <https://www.minv.sk/?AktualityZA&sprava=poziar-lesa-v-katastri-obce-oscadnica-okres-cadca>.
- [7] Anonym 2, 2020.: *Správa o zásahu č. 50-2 504 478 -1*. Čadca: Hasičský a záchranný zbor, 2020. 8 s. [cit. 20-06-2024].
- [8] PALUCHOVA, M., 2020.: *Oščadnicou lomcoval rozsiahly požiar lesa* [Online]. [cit.16- 07-2024]. Dostupné na: <https://mykysuce.sme.sk/c/22377490/oscadnicou-lomcuje-rozsiahly-poziar-lesa.html>.

## Podmínky ve 20 l výbuchové komoře po rozvíření prachu a aktivaci chemických iniciátorů

**Ing. Jan Karl**

**Ing. Romana Friedrichová, Ph.D.**

**doc. Ing. Břetislav Janovský**

MV-GŘ HZS ČR, Technický ústav požární ochrany

Písková 42, 143 00 Praha 4 - Modřany

jan.karl@hzscr.cz

### Klíčová slova

Dust explosion, pyrotechnic ignitor, dust preconditioning, decomposition.

Prevence výbuchu prachu a zmírnění jeho následků vyžaduje měření výbuchových parametrů prachu. Zkušební metody jsou definovány normami [1, 2], které poskytují výsledky ve výbuchových komorách o standardní velikosti 1 m<sup>3</sup>, případně 20 l. Výsledky jsou však ovlivněny některými procesy, které jsou zanedbány. Tato ovlivnění jsou v objemu 1 m<sup>3</sup> zanedbatelné, ale v menší, 20 l komoře, se stávají významnými.

Problémem počátečních podmínek, tedy podmínek v době iniciace hoření prachové disperze, se zabýval Spitzer [3], který zjistil, že rozvíření prachu způsobuje stlačení plynu uvnitř komory a zvýšení teploty na 45 °C v době iniciace, což snižuje naměřený maximální výbuchový tlak.

Větším problémem je však vliv hoření samotných chemických iniciátorů, známý jako přebuzená iniciace. Několik autorů hodnotilo vliv iniciační energie na parametry výbuchu. Jen málo z nich se však zajímalo o vliv hoření pyrotechnické směsi na atmosféru uvnitř komory včetně testovaného prachu. Jedním z nich je Cloney [4] se svými 1D CFD simulacemi zážehu a jeho vlivu na rozptýlený prach. Zjistili, že malé částice polyetyleny (10-30 μm) mají za podmínek tepelné rovnováhy teplotu ležící mezi 120 a 130 °C.

Taveau [5] předpokládá, že: „*Je pravděpodobné, že silné předehtání způsobené pyrotechnickým palníkem ovlivňuje prach před příchodem plamene, což způsobuje částecnou reakci a vznik reaktivnější hybridní směsi, která je tvořena z turbulentního hořlavého plynu (nebo páry) a prachu. Tento jev jsme navrhli nazvat iniciátorem indukovanou hybridní směsí.*“

Cílem předložené práce je prohloubit fyzikální a chemické procesy způsobené předehtáváním prachu po působení palníku. Analytickými metodami, jako jsou STA, FTIR a elementární analýza CHNS, bylo analyzováno složení atmosféry po vystavení prachových částic Lycopodia, jakožto přírodního materiálu, teplotám do 650 °C ve vzduchu a dusíku.



## Závěr

V závislosti na teplotě a atmosféře byly měřeny různé koncentrace CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, organických sloučenin. Zdá se, že rozptýlený prach se rozkládá převážně na CO a CO<sub>2</sub> v oblasti blízké palníkům i v atmosféře, kde je koncentrace kyslíku nižší než 2 % obj. Koncentrace ostatních organických sloučenin byly velmi nízké včetně převážně etylenu a acetaldehydu. Dispergovaný prach se chová jako tepelná jámka, která neumožňuje velkou modifikaci prachu v celém prachovém oblaku plamenem generovaným hořením palníků před příchodem plamene při hoření samotného prachu. Výrazné ovlivnění oblaku Lycopodia, jako přírodního materiálu, se nepotvrdilo.

## Použitá literatura

- [1] EN 14034-1 (2011).: Determination of explosion characteristics of dust clouds - Part 1: Determination of the maximum explosion pressure  $p_{max}$  of dust clouds. CEN, the European Committee for Standardization.
- [2] ASTM International, 2019.: ASTM E1226-19, Standard Test Method for Explosibility of Dust Clouds. ASTM International, West Conshohocken, PA [www.astm.org](http://www.astm.org).
- [3] SPITZER, S.H.; ASKAR, E.; BENKE, A.; JANOVSKY, B.; KRAUSE, U.; KRIETSCH, A., 2022.: Influence of pre-ignition pressure rise on safety characteristics of dusts and hybrid mixtures. *Fuel*, 311, 122495.
- [4] CLONEY, C.T.; RIPLEY, R.C.; AMYOTTE, P.R.; KHAN, F.I. (2013).: Quantifying the effect of strong ignition sources on particle preconditioning and distribution in the 20-L chamber. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26: 1574-1582.
- [5] Taveau, J.R.; Going, J.E.; Hochgreb, S.; Lemkowitz, S.M.; Roekaerts, D.J.E.M. (2017).: Igniter-induced hybrids in the 20-l sphere. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 49: 348-356.

## Hodnotenie vplyvu retardačnej úpravy na termickú odolnosť smrekového dreva prostredníctvom optických meraní

**Ing. Elena Kmeťová, PhD.**

**prof. Bc. RNDr. Danica Kačíková, MSc. PhD.**

**doc. Ing. Martin Zachar, PhD.**

Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika  
xkmetovae@is.tuzvo.sk

### Kľúčové slová

Smrekové drevo, retardéry horenia, termická odolnosť, optické merania.

Článok pojednáva hodnotení vplyvu retardačnej úpravy na termickú odolnosť smrekového dreva prostredníctvom optických meraní. Smrekové drevo bolo ošetrené dvomi komerčnými retardermi horenia - Bochemit Pyro a Bochemit Antiflash a tiež progresívnym retardérom horenia - expandovateľným grafitom v kombinácii s vodným sklom. Drevo vďaka jedinečnej kombinácii výhodných vlastností, ako je ľahké spracovanie, dobré fyzikálne a mechanické vlastnosti, bolo a stále aj je jedným z najrozšírenejších lignocelulóзовých materiálov využívaných ako stavebný materiál [1].

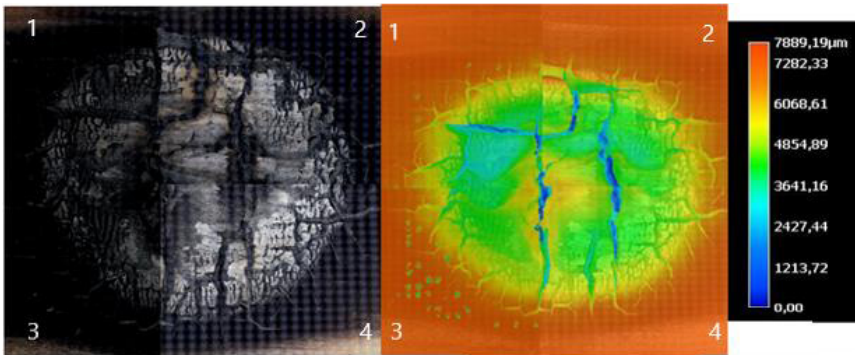
Okrem spomínaných pozitívnych vlastností má drevo aj nevýhodné vlastnosti, z ktorým môžeme spomenúť malú odolnosť voči biotickým a abiotickým činiteľom (huby, plesne, hniloba, horľavosť). Práve horľavosť dreva je jedným z dôležitých faktov, ktorý môže brániť jeho širšej uplatniteľnosti. v oblastiach náchylných na požiar. Horľavosť je všeobecný pojem, ktorý popisuje vlastnosti materiálu pri reakcii na oheň [2-4].

V súčasnosti ovplyvňuje výber stavených materiálov veľa faktorov a pre ich testovanie sa využíva veľké množstvo normalizovaných aj nenormalizovaných skúšobných metód. Jednou z laboratórnych testovacích metód, ktoré sa využívajú pri hodnotení termickej odolnosti dreva, je aj skúška zapaliteľnosti. Postup skúšky je určený podľa STN EN ISO 11925-2 [5].

Šírenie plameňa je požiarnotechnickou charakteristikou, ktorá ovplyvňuje celý proces horenia. Rýchlosť rozvoja požiaru závisí aj od toho, ako rýchlo sa plameň môže šíriť po povrchu horľavého materiálu. Šírenie plameňa je riadené mechanizmom, ktorý prenáša teplo pred zónu horenia a ten je silne ovplyvnený geometriou povrchu a sklonom [6-9].

Zo smrekového dreva boli pílením v tangenciálnom smere vymanipulované vzorky s rozmermi 250x90x10 mm. Experimenty boli vykonané pri troch rôznych uhloch sklonu vzorky ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ). Pri každom sklone vzorky sa vykonalo 10 experimentov. Pri hodnotení sme využili progresívnu testovaciu metódu - modifikáciu skúšky zapáliteľnosti, podľa úžitkového vzoru č. 9589 [10]. Po termickom zaťažení plameňovým zdrojom sme na vzorkách vykonali optické merania pomocou digitálneho mikroskopu Keyence VHX-7000. Cieľom výskumu bolo prostredníctvom softvéru VHX-H5M vyhodnotiť odhorený objem a tiež maximálnu rýchlosť odhorievania, v závislosti od uhla sklonu vzorky.

Pri meraniach boli vzorky umiestnené na eucentrický stolík mikroskopu a objektívom bola následne zoskenovaná 3D snímka povrchu veľkosti 39x39 mm. Rozmer bol zvolený tak, aby po spojení 4 kvadrantov, bola zoskenovaná celá plocha zasiahnutá pôsobením plameňa.



Obr. 1 Výškové profily na neošetrenej vzorke pri  $90^\circ$  uhle sklonu vzorky po zaťažení plameňom

Optické merania sa z hľadiska obmedzenia mikroskopu vykonávali na vzorkách vždy samostatne na 4 kvadrantoch (1 - 4). Následne boli kvadranty pomocou obrazovej analýzy spojené do celkového obrazu.

Tab. 1 Maximálna rýchlosť zuhoľnatenia ( $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ )

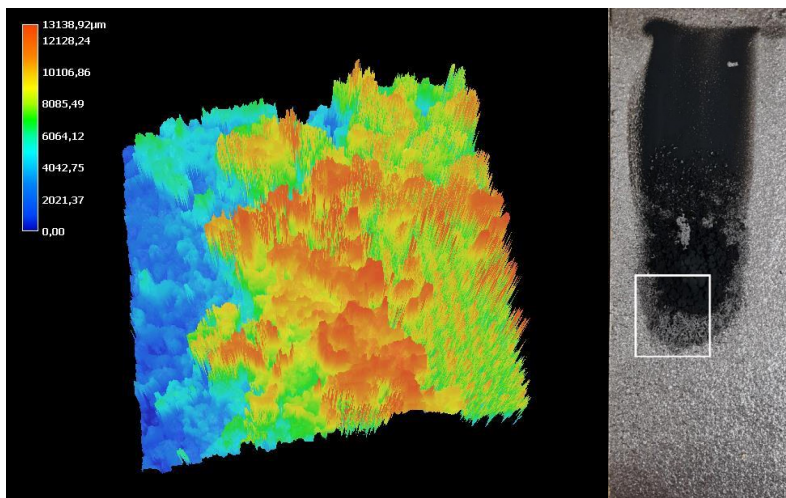
| Vzorka           | Uhol sklonu vzorky |            |            |
|------------------|--------------------|------------|------------|
|                  | $0^\circ$          | $45^\circ$ | $90^\circ$ |
| Neošetrené drevo | 0,0167             | 0,0135     | 0,0126     |
| Antiflash        | 0,0060             | 0,0077     | 0,0049     |
| Pyro             | 0,0030             | 0,0093     | 0,0083     |

Maximálna rýchlosť zuhoľnatenia, stanovená pomocou optických meraní, bola najvyššia pri neošetrených vzorkách smrekového dreva pri 0° uhle sklonu vzorky, čo zodpovedá faktu, že pri testovaní týchto vzoriek dochádzalo k prehoreniu vzorky v celej jej hrúbke. Ošetrenie retardérmí horenia, výrazne znížilo rýchlosť zuhoľnatenia vzoriek. Dôvodom klesajúcej rýchlosti zuhoľnatenia je predovšetkým to, že vrstva retardéru horenia na povrchu vzorky znižuje prehrievanie a tepelný rozklad dreva.

Tab. 2 Odhorený objem (mm<sup>3</sup>) za 600 sekúnd

| Vzorka           | Uhol sklonu vzorky |         |         |
|------------------|--------------------|---------|---------|
|                  | 0°                 | 45°     | 90°     |
| Neošetrené drevo | 7585,84            | 8731,43 | 6441,37 |
| Antiflash        | 74,82              | 285,81  | 13,90   |
| Pyro             | 5,89               | 268,39  | 389,98  |

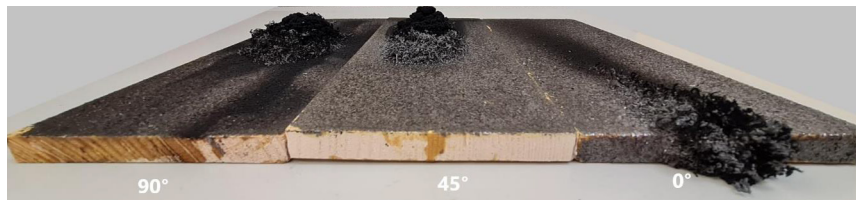
V tab. 2 sú uvedené hodnoty odhoreného objemu dreva v závislosti od uhla sklonu vzorky a od typu ošetrenia. Odhorený objem koreluje s výsledkami nameraných hodnôt maximálne rýchlosti zuhoľnatenia vzoriek.



Obr. 2 Výškové profily na vybranom kvadrante vzorky ošetrenej EG+VS po zažatí plameňom

Na vzorkách ošetrených expandovateľným grafitom v kombinácii s vodným sklom nebolo možné z hľadiska obmedzení pri nastavení výškových hladín merania uskutočniť optické merania v plnom rozsahu, preto v práci uvádzame na ukážku

merania výškového profilu na zvolenom kvadrante vzorky ošetrenej EG v kombinácii s vodným sklom pri 45° uhle sklonu vzorky.



Obr. 3 Fotodokumentácia vzoriek ošetrenej EG+VS po vykonaní experimentu

Počas vykonávania experimentu pri pôsobení plameňa na expandovateľný grafit dochádzalo k jeho expanzii (obr. 3). Pri 0° uhle sklonu vzorky expandoval do výšky 10,10 mm. Pri 45° uhle sklonu vzorky a 90° uhle sklonu vzorky bola expanzia grafitu približne rovnaká. Pri 45° uhle sklonu vzorky to bolo 24,11 mm a pri 90° uhle sklonu vzorky 23,87 mm nad povrch vzorky.

Môžeme teda povedať, že najhoršie z hľadiska termickej odolnosti obstáli neošetrené vzorky smrekového dreva a všetky použité druhy retardérov horenia preukázali značný pozitívny vplyv na zlepšenie jeho termickej odolnosti.

### Pod'akovanie

*Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-22-0030 a Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže Slovenskej republiky a Slovenskej akadémie vied na základe Zmluvy VEGA č. 1/0115/22.*

### Použitá literatúra

- [1] POPESCU, C.; PFRIEM, A. (2020):. Treatments and modification to improve the reaction to fire of wood and wood based products-An overview. *Fire and Materials* 44(1):100-111. DOI: 10.1002/fam.2779.
- [2] KADLICOVÁ, P.; GAŠPERCOVÁ, S.; MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, L.: 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>.
- [3] QUINTIERE, J.G.: Principles of Fire Behaviour. Second edition. *Boca Raton: CRC Press*, 2017. DOI:10.1201/9781315369655.
- [4] KMEŤOVÁ, E.; KAČÍKOVÁ, D.; ZACHAR, M.: Posúdenie šírenia plameňa po povrchu lignocelulóзовého materiálu. In.: *ŠVOČ: 62<sup>nd</sup> student scientific international conference 25<sup>th</sup> May 2022*. 2022. ISBN 978-80-228-3315-8, 54-63.

- [5] STN EN ISO 11925-2: 2020: Skúšky reakcie na oheň. Zapáliteľnosť stavebných výrobkov vystavených priamemu pôsobeniu plameňového horenia. Časť 2: Skúška jednoplameňovým zdrojom.
- [6] DRYSDALE, D. 1999.: *An Introduction to Fire Dynamics - Second Edition*. UK: John Wiley & Sons. 451 s. ISBN 0-471-97290-8.
- [7] 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. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry* 122:281-293. DOI 10.1007/s10973-015-4667-0.
- [8] KOBAYASHIA, Y.; HUANGB, X.; NAKAYA, S.; TSUE, M.; FERNANDEZ-PELLO. C. (2017).: Flame spread over horizontal and vertical wires: The role of dripping and core. *Fire Safety Journal* 91:112-122. DOI: 10.1016/j.firesaf.2017.03.047.
- [9] PIZZO, Y.; CONSALVI, J. L.; QUERRE, P.; COUTIN, M.; PORTERIE, B. (2009).: Width effects on the early stage of upward flame spread over PMMA slabs: Experimental observations. *Fire Safety Journal*. 44 (3):407-414. DOI: 10.1016/j.firesaf.2008.09.003.
- [10] Úžitkový vzor č. 9589: Zariadenie na stanovenie rýchlosti šírenia plameňa po povrchu polymérnych materiálov a spôsob na toto stanovenie.

## Požární řešení skladových objektů

**Bc. Kateřina Kráslová**

**Ing. Martin Benýšek, Ph.D.**

ČVUT Praha

Thákurova 2077/7, 166 29 Praha 6

katerina.kraslova@fsv.cvut.cz

### Klíčová slova

Požární bezpečnost, sklad, skladové regálové systémy, požární odolnost, požární úsek.

### Úvod

Díky narůstajícím požadavkům obchodu vznikají velkokapacitní logistická centra, která požadují co největší prostorovou otevřenost. V rámci trendů sledujeme nárůst automatizace a využití regálů jako nosných konstrukcí. Tak vzniká otázka, jak tyto skutečnosti reflektuje norma ČSN 73 0845. Pro porovnání řešení požární bezpečnosti jsou analyzovány podklady, které se používají v Portugalsku, Kanadě a požadavky NFPA (The National Fire Protection Association). V závěru je představena softwarová pomůcka, která určuje skupinu provozů skladů. Díky této pomůcce je proces stanovení zjednodušen a jsou eliminovány případné chyby, které mohou do výpočtu vstoupit.

### Česká republika

Vychozím materiálem je ČSN 73 0845 s ohledem na požadavky ČSN 73 0804 ed. 2 a další. Nejdříve se sklad zařadí do jedné ze čtyř skupin v závislosti na velikosti půdorysné plochy požárního úseku, podlažích a využití objektu. Dále se postupuje dle jednotlivých kapitol normy. Ač norma stanovuje omezení na velikosti požárních úseků a skladovací výšky, je možné tyto hodnoty navýšit při instalaci elektrické požární signalizace, samočinného stabilního hasicího zařízení či zařízení pro odvod kouře a tepla. [1, 2]

Požární úseky mají minimálně IV. stupeň požární bezpečnosti a konstrukce musejí vykazovat požární odolnost po dobu alespoň: 90 min (podzemní podlaží a mezi objekty), 60 min (nadzemní podlaží), 30 min (poslední nadzemní podlaží, konstrukce střech atd.). [1, 2]

### Portugalsko

Požární bezpečnost skladů se řídí ustanoveními zákonné vyhlášky 220/2008 a ministerské vyhlášky 1532/2008. Skladové objekty spadají do budov typu XII „průmysl, dílny, sklady“ a následně se zařazují do jedné ze 4 kategorií rizik. Kategorie závisí na tom, zda je sklad vnitřní či venkovní, na počtu podlaží pod podlažím,

ze kterého bude veden požární zásah, a na modifikované hustotě požárního zatížení. Ministerská vyhláška následně stanovuje technické požadavky. [3, 4]

Požadované požární odolnosti konstrukcí jsou v závislosti na kategorii rizika: 60 min (1. kat.), 90 min (2. kat.), 120 min (3. kat.) a 180 min (4. kat.). [4]

### Kanada

Návrh vychází z kanadských národních stavebních předpisů z roku 2020 a kanadských národních požárních předpisů z roku 2020. Skladové objekty jsou zařazeny do skupiny F2 nebo F3 (průmyslové prostory se středním nebo nízkým rizikem), v závislosti na obsahu hořlavin na podlahovou plochu. Podle zařazení se stanovují požadavky na konstrukce, odstupové vzdálenosti atd. [5, 6]

### NFPA

Požární bezpečností skladů se zabývá NFPA 1 „Fire Code“, dle kterého se musejí skladované výrobky klasifikovat, se zohledněním veškerých materiálů, obalů a palet. Dokument mimo jiné řeší i sklady, jejichž nosné konstrukce tvoří samotné ocelové regály. V případě, kdy je regálový sklad vybaven sprinklerovým zařízením u stropu a mezi regály, není pro tyto ocelové konstrukce požadována žádná požární odolnost. Pokud je objekt vybaven sprinklerovým zařízením pouze u stropu, musejí ocelové sloupy vykazovat požární odolnost po dobu alespoň 60 min. [7]

### Porovnání

V tab. 1 jsou vyhodnoceny sledované parametry.

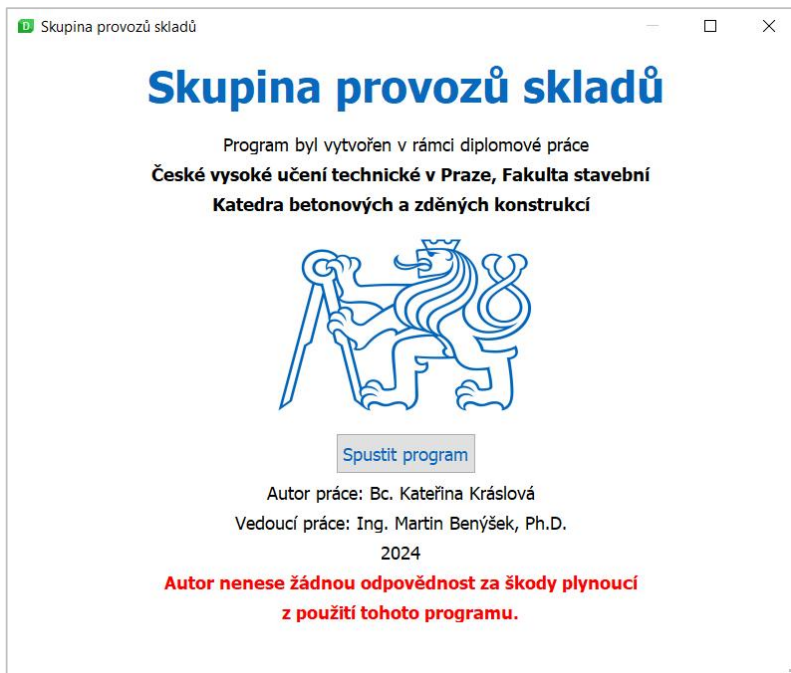
Tab. 1 Porovnání sledovaných parametrů

| Sledovaný parametr  | Česká republika        | Portugalsko | Kanada  | NFPA              |
|---|------------------------|-------------|---|-------------------|
| Minimální požadovaná požární odolnost   | 30 min                 | 60 min      | 45 min  | -( <sup>1</sup> ) |
| Možnost neomezené skladovací plochy   | Ne                     | Ano         | Ano   | -                 |
| Příklad maximální plochy skladu( <sup>2</sup> )   | Až 4000 m <sup>2</sup> | Neomezená   | Až 10800 m <sup>2</sup> popř. neomezená( <sup>3</sup> ) | -                 |
| Řešení regálových skladů  | Ne                     | Ne          | Ne  | Ano               |
| <p>(<sup>1</sup>) Požadavky pouze u specifických případů, například ocelový sloup o výšce 4,5 m až 6 m požadavek na 60 min.</p> <p>(<sup>2</sup>) Jednopodlažní samostatně stojící objekt sloužící výhradně ke skladování bez výbavy sprinklerovým zařízením.</p> <p>(<sup>3</sup>) Při skladování nehořlavých materiálů.</p> |                        |             |   |                   |



## Softwarová pomůcka: Skupina provozů skladů

Výpočetní software Skupina provozů skladů je vytvořen v programovacím jazyce Python a bude volně dostupný na katedře betonových a zděných konstrukcí fakulty stavební ČVUT v Praze. Jedná se o nástroj, který přiřadí požárnímu úseku skupinu provozů skladů, a to postupem který odpovídá A.4 ČSN 73 0845. Program slouží výhradně skladům tuhých látek. Po otevření programu se objeví vstupní okno, které znázorňuje obr. 1. Po stisknutí tlačítka „Spustit program“ se zobrazí okno na obr. 2, ve kterém uživatel vybere, pomocí čeho bylo určeno požární riziko a následně doplní vstupní hodnoty. Po stisknutí tlačítka „Vypočítat“ se zobrazí výsledné hodnoty průměrného tepelného výkonu ( $q$ ) a nahodilého požárního zatížení ( $p$ ) a výsledná skupina provozů skladů.



Obr. 1 Vstupní okno

Skupina provozů skladů

**Požární riziko v požárním úseku určeno pomocí**

$t_e$  ekvivalentní doby trvání požáru

$\tau$  pravděpodobné doby trvání požáru

**Vstupní hodnoty pro výpočet  $q$**

1. materiál

$m_i$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$ ]

$H_i$  [ $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ]

$M_i$  [kg]

<  >

Přidat materiál Odebrat poslední materiál

**Vstupní hodnoty pro výpočet  $p_n$**

1. materiál

$M_i$  [kg]

$K_i$

<  >

Přidat materiál Odebrat poslední materiál

$S$  [ $\text{m}^2$ ]

**Výstupní hodnoty**

$q$  [ $\text{MW}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

$p_n$  [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ]

Skupina provozů skladů

Vypočítat

Obr. 2 Výpočetní okno

## Závěr

Nejmírnější požadavky na požární odolnosti konstrukcí má ČSN 73 0845. Jak portugalská, tak kanadská legislativa, na rozdíl od české, umožňuje za splnění určitých podmínek neomezené skladovací plochy. Vybavení aktivními prvky požární ochrany je ve všech podkladech něčím podmíněno a zpravidla s sebou nese úlevy, například ve vztahu ke skladovacím plochám. Pouze NFPA poskytuje řešení skladů, ve kterých plní nosnou funkci samotné ocelové regály. V rámci navazujícího výzkumu budou modelovány požární scénáře ve skladu plastů. Předmětem sledování bude výkon požáru ve vazbě na požární odolnosti konstrukcí, a to bez a s instalovanými požárně bezpečnostními zařízeními.

**Použitá literatura**

- [1] ČSN 73 0845 Požární bezpečnost staveb - Sklady. květen 2012.
- [2] ČSN 73 0804 ed. 2 Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty. září 2023.
- [3] Free Access - NFPA 1: Fire Code [online]. [vid. 2024-05-15]. Dostupné z: <https://link.nfpa.org/free-access/publications/1/2024>.
- [4] Decreto-Lei n.o 220/2008 de 12 de novembro - Regime Jurídico da Segurança Contra Incêndio em Edifícios. listopad 2008.
- [5] Portaria n.o 1532/2008 de 29 de dezembro - Regulamento Técnico de Segurança contra Incêndio em Edifícios. prosinec 2008.
- [6] CANADIAN COMMISSION ON BUILDING AND FIRE CODES. National Building Code of Canada: 2020 [online]. 978-0-660-37913-5. B.m.: National Research Council of Canada. 2022. Dostupné z: doi:10.4224/w324-hv93.
- [7] CANADIAN COMMISSION ON BUILDING AND FIRE CODES. National Fire Code of Canada: 2020 [online]. 978-0-660-37929-6. B.m.: National Research Council of Canada. 2022. Dostupné z: doi:10.4224/tx9t-j486.

## E-hromadné dopravní prostředky a protipožární opatření

**Ing. Daniel Kudláček, MBA.**

VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství  
Lumírova 13, 700 30 Ostrava-Výškovice  
daniel.kudlacek@vsb.cz

### Klíčová slova

E-dopravní prostředky, protipožární opatření, baterie, požární rizika, infrastruktura, simulace, modelování, kritická infrastruktura.

### Úvod

S rozvojem elektromobility se zvyšuje počet elektrických hromadných dopravních prostředků, což přináší nové výzvy v oblasti požární ochrany. Elektrické autobusy a další e-dopravní prostředky představují specifická požární rizika zejména kvůli lithium-iontovým bateriím. Tato rizika vyžadují nové přístupy a opatření k zajištění bezpečnosti ve veřejné dopravě, která je klasifikována jako kritická infrastruktura. Tento příspěvek analyzuje aktuální stav, identifikuje klíčová rizika a navrhuje efektivní protipožární opatření.

### Výchozí stav

Požární rizika spojená s e-dopravními prostředky jsou relativně novým problémem, který vyžaduje důkladné studium a analýzu. Existující literatura a případové studie, jako například požáry v Düsseldorfu, Hannoveru a Stuttgartu, poskytují cenné informace o příčinách a důsledcích těchto událostí. Analýza těchto zdrojů ukazuje, že technické závady při nabíjení a problémy s bateriemi jsou častými příčinami požárů.

### Způsoby řešení

#### *Numerické simulace požáru v depu*

Numerické simulace požáru jsou klíčovým nástrojem pro pochopení šíření požáru a kouře v depu pro elektrobuses. Tyto simulace by měly obvykle zahrnout následující kroky:

1. **Modelování prostoru depa:** Vytvoření přesného modelu depa zahrnujícího všechny relevantní prvky jako jsou vozidla, nabíjecí stanice, konstrukční prvky a ventilační systémy.
2. **Definice scénářů požáru:** Určení různých scénářů požáru, včetně počátečních podmínek, typu hořlavého materiálu a způsobu šíření požáru.
3. **Výpočet šíření požáru a kouře:** Použití výpočetních modelů, jako jsou CFD (Computational Fluid Dynamics) simulace, k predikci šíření tepla, kouře a toxických plynnů v depu.

#### 4. **Analýzu výsledků:** Vyhodnocení výsledků simulace, identifikace kritických oblastí a zhodnocení efektivity stávajících protipožárních opatření.

Na základě výsledků této simulace lze navrhnout konkrétní protipožární opatření, která mohou zahrnovat:

- Optimalizaci rozmístění vozidel a nabíjecích stanic: Zajištění dostatečných odstupů mezi vozidly a nabíjecími stanicemi pro minimalizaci rizika šíření požáru.
- Instalaci dodatečných hasicích systémů: Umístění automatických hasicích zařízení v kritických oblastech identifikovaných simulací.
- Zlepšení ventilačních systémů: Implementace ventilačních systémů pro rychlé odvádění kouře a tepla z prostoru depa.
- Posílení konstrukčních prvků: Použití požárně odolných materiálů a konstrukcí pro zajištění stability budovy během požáru.

#### **Technicko-organizační opatření**

Vydání organizačního řídicího aktu s detailními pokyny pro bezpečnostní opatření týkající se lithium-iontových baterií, které jsou zásadně důležité při nákupu a provozu E-dopravních prostředků. S rozsahem řešícím minimálně tyto oblasti:

- Bezpečnostní pravidla pro skladování baterií: Baterie by měly být skladovány ve vhodných bezpečnostních skříních nebo kontejnerech, které splňují normy jako EN 14470 a mají požární odolnost alespoň 90 minut. Prostor pro skladování musí být dobře větraný a chráněný před vysokými teplotami a mechanickým poškozením.
- Ochrana před zkratem: Prevence externích a interních zkratů, například použitím krytů na svorky baterií a ochrany před mechanickým poškozením.
- Oddělení skladovacích prostor: Prostorové nebo konstrukční oddělení skladovacích prostorů pro baterie od ostatních částí depa, aby se minimalizovalo riziko šíření požáru.
- Monitorovací systémy: Implementace systémů požární detekce a monitoringu teploty, které jsou propojené s trvale obsazeným kontrolním centrem.
- Bezpečnostní opatření při nabíjení: Nabíjení baterií by mělo být odděleno od skladovacích prostor a mělo by probíhat podle přísných bezpečnostních postupů definovaných výrobcem a pojišťovnou.
- Zajištění speciálního školení a rozvoje pracovníků údržby a elektrikářů v depech zahrnující skladování, nabíjení, údržbu, řešení požárních incidentů, diagnostiku elektrických systémů, znalost relevantních norem a předpisů včetně ADR a další.

## Závěr

Správná praxe při provozování dep elektrovozidel by měla zahrnovat řadu technických a organizačních opatření, které na základě simulací, posouzení rizik a zhodnocení efektivity stávajících protipožárních opatření navrhnou konkrétní kroky v rozmístění hasících systémů, optimalizaci konstrukčních a technických a ochranných prvků, zabezpečení pracovníků se specifickou kvalifikací.

## Použitá literatura

- [1] VdS Schadenverhütung GmbH. (2019). *VdS 3103 Lithium Batteries*. <https://shop.vds.de/download/vds-3103en>.
- [2] VdS Schadenverhütung GmbH. (2023). *VdS 0825 Brandschutz in Betriebshöfen für Linienbusse*. <https://shop.vds.de/publikation/vds-0825>.
- [3] ČSN EN IEC 62485-2. (2019). Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové baterie a bateriové instalace - Část 2: Staniční baterie. <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Detail.aspx?k=506833>.
- [4] ČSN EN IEC 62485-6. (2021). Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové baterie a bateriové instalace - Část 6: Bezpečný provoz lithium-ion baterií pro trakční aplikace. <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Detail.aspx?k=513067>.
- [5] ČSN EN IEC 62485-1. (2018). Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové baterie a bateriové instalace - Část 1: Obecné bezpečnostní informace. <https://csnonlinefirmy.agentura-cas.cz/Detail.aspx?k=506040>.
- [6] SCHOLZEN, G. (2023).: *Brandschutz für E-Bus-Depots*. Schadenprisma, 3/2023.
- [7] Vyhláška č. 23/2008 Sb. o technických podmínkách požární ochrany staveb. <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-23>.

## **Integrovaný přístup a využití moderních technologií v managementu lesních požárů (projekt SILVANUS)**

**prof. Bc. Ing. Andrea Majlingová, PhD., MSc.<sup>1</sup>**

**Krishna Chandramouli<sup>2</sup>**

**Ing. Marek Gašparín, Ph.D.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovenská republika

<sup>2</sup>VENAKA TRELEAF

Berlín, Německo

<sup>3</sup>HZS Moravskoslezského kraje

Výškovická 2995/40, 700 30 Ostrava-Zábřeh

majlingova@tuzvo.sk, marek.gasparin@hzscr.cz

### **Projekt SILVANUS a integrovaný přístup k manažmentu požiarov v prírodnom prostredí**

Andrea Majlingová (TUZVO)

Integrovaný manažment požiarov v prírodnom prostredí (Integrated Wildfire Management - IWFMM) je prístup k riešeniu problematiky škodlivých aj prospešných požiarov v kontexte prírodného prostredia a sociálno-ekonomických systémov, v ktorých sa vyskytujú, prostredníctvom posudzovania rizík a hľadania vhodných preventívnych, mitigačných a obnovných opatrení.

IWFMM prístup uľahčuje uplatňovanie nákladovo efektívnych prístupov na predchádzanie škodlivým požiarom, ako aj na udržiavanie žiaducich požiarových režimov. Ak sa požiare vyskytnú, poskytuje rámec na posúdenie, či ich účinky budú škodlivé, prospešné alebo priaznivé; zváženie relatívnych prínosov a rizík; a primeranú a účinnú reakciu na základe stanovených cieľov pre danú oblasť.

Projekt SILVANUS reaguje na potrebu implementácie tohto prístupu hneď z viacerých aspektov. Jedným je aplikácia progresívnych technológií pre získanie dátových súborov potrebných na posúdenie nebezpečenstva vzniku požiaru v prírodnom prostredí, tvorbu prognóz šírenia požiaru a ďalším sú aktivity realizované Centrom adaptačných stratégií a rozvoja, ktoré bolo zriadené v rámci implementácie projektu a ktorého centrom je Technická univerzita vo Zvolene. Integrovaný prístup k manažmentu požiarov v prírodnom prostredí je realizovaný prostredníctvom sieťovania relevantných strán zainteresovaných do riešenia problematiky obhospodarovania lesa a krajiny a tiež zdolávania požiarov vyskytujúcich sa v prírodnom prostredí. Ďalším z prístupov k podpore integračných aktivít je organizácia tzv. „okruhých stolov“ - diskusných fór, ktorých účastníkmi a diskutujúcimi sú zástupcovia hasičov, lesníkov, štátnej ochrany prírody, Slovenského hydrometeorologického ústavu, civilnej ochrany, samosprávy.

## Doterajšie aktivity Centra adaptačných stratégií a rozvoja

Centrum pre adaptačné stratégie a rozvoj (CASD) je koncipované ako globálna iniciatíva think tanku, ktorej cieľom je vytvoriť „Európske centrum excelentnosti pre adaptačné stratégie, informovanosť a riadenie prírodných zdrojov“. Rozsah pôsobnosti tohto centra excelentnosti zahŕňa vytvorenie udržateľnosti prenosu poznatkov vytvorených v rámci programu SILVANUS a z iných projektov spolupráce.

CASD má dva ciele. Prvým cieľom je pokračovať v horizontálnej integrácii výskumu a vývoja, v rámci ktorej bude platforma projektu SILVANUS slúžiť ako centrum alebo spojovacie tkanivo pre integráciu súvisiacich technologických výstupov. Druhým cieľom je riešenie vertikálnej zložky, ktorá zahŕňa integráciu rôznorodých cieľových skupín zainteresovaných strán, ako sú hasiči, pracovníci prvej pomoci, pracovníci civilnej ochrany, vlastníci lesov a pozemkov, združenia pre správu lesov, energetický sektor, drevársky priemysel, tvorcovia politik atď.

Jedna z prvých aktivít centra bola zameraná na organizáciu slovenského pilotného cvičenia v regióne Poľana na strednom Slovensku a demonštrovanie výsledkov cvičenia na workshope v apríli 2023. V septembri 2023 sa zástupcovia CASD zúčastnili workshopu siete iProcureNet, ktorý sa konal v Nikózii na Cypre. Cieľom tejto účasti bolo predstavenie projektu SILVANUS, jeho cieľov, výstupov, ako aj identifikácia prepojení medzi oboma projektmi a začatie sieťových aktivít.

Ďalšie aktivity CASD boli zamerané na prevenciu požiarov v prírodnom prostredí a podporu integrovaného prístupu k manažmentu týchto požiarov. Počas „Lesníckych dní“ organizovaných vo Zvolene v apríli 2024. Činnosť CASD pokračovala aj v máji a júni 2024 prípravou seminára pre rumunské zainteresované strany. Technická univerzita vo Zvolene, konkrétne jej Centrum pre adaptačné stratégie a rozvoj (CASD), bola hlavným organizátorom workshopu s názvom Holistický a integrovaný prístup k manažmentu rizika lesných požiarov v prírodnom prostredí v Karpatskom regióne. Seminár samotný sa konal 13. - 14. júna 2024 v Odorheiu Secuiesc v Rumunsku.

## SILVANUS project - integrated wildfire management platform

Krishna Chandramouli (Venaka Treleaf)

The SILVANUS project was funded to develop an integrated technology platform with innovative toolkits to provide decision making ability addressing all the aspects of fire management (IFM - Integrated Wildfire Management). This includes improvement in preparedness to fire incidents, response coordination during a fire incident and post fire recovery phase of wildfire management. The project brought together the triple synergy between ‘environment’, ‘human factors’ and ‘technology and scientific innovation’.

The key innovations of the project are summarised by the adoption of 4 rings of protection, that can be used in any order as technology capability needed and required corresponds to all phases of wildfires:

- the enhanced state of forest monitoring ability, that includes the use of in-situ devices to detect smoke, fire, and other generate high probability maps of fire ignition,



- the use of drones and other visual processing toolkits, that offers support for validating reports on fire incidents,
- the development and validation of robots to combat and extinguish fire with minimal human interaction,
- the deployment of water bombs.

The outcomes of the SILVANUS IFM platform are displayed on the Dashboard. This Dashboard serves as a versatile tool that can be extensively customized to integrate results from a customer's existing technologies. As part of the project, up to 23 user products have been integrated into the SILVANUS IFM platform and are visualized on the Dashboard.

### **Pilotné demonstrácie projektu SILVANUS v Českej republike**

Marek Gašparín (HZS Moravskoslezského kraje)

Významnou součástí projektu SILVANUS jsou tzv. pilotní lokality. Jedná se o vybrané lokality v partnerských zemích projektu, kde se implementují projektové aktivity a testují a validují technická řešení a nástroje vyvíjené nebo integrované v rámci projektu SILVANUS. Celkem existuje deset těchto pilotních lokalit, z nichž sedm se nachází v Evropě, a po jedné v Indonésii, Austrálii a Brazílii.

Jako pilotní lokalita v České republice byla vybrána oblast Kyčera v Moravskoslezských Beskydech. V této lokalitě byly v letech 2023 a 2024 realizovány dvě pilotní demonstrace projektu SILVANUS, na jejichž realizaci spolupracoval HZS Moravskoslezského kraje se společností Lesy ČR a VŠB-TUO, FBI.

První pilotní demonstrace se uskutečnila v říjnu 2023 a v jejím rámci byly testovány dílčí technologie vyvíjené nebo integrované v projektu SILVANUS. Druhá demonstrace v červnu 2024 byla zaměřena na samotnou integraci technologií a testovala se integrace 12 různých technologií, například robotů, dronů, optických detektorů požárů či softwaru pro modelování rozvoje požárů. Toto integrační testování bylo první integrační testování v rámci projektu SILVANUS.

Důležitou součástí pilotních demonstrací byly také propagační aktivity projektu SILVANUS. Obě demonstrace zahrnovaly odborné workshopy, na kterých byl pozvaným zástupcům odborné veřejnosti představen projekt SILVANUS a jeho technická řešení.

Pilotní demonstrace nebyly koncipovány pouze jako testovací aktivity jednotlivých technologií, ale samotné testování bylo začleněno do cvičení jednotek požární ochrany a složek integrovaného záchranného systému. Hasiči tak měli možnost si prakticky vyzkoušet nasazení těchto technologií v horském terénu při simulovaném hašení lesního požáru.

## Návrh metodického hodnocení potenciálního nebezpečí vzniku lesního požáru na základě diferenciacce lesních porostů z hlediska preventivních opatření a účinného zásahu

**Ing. Vratislav Mansfeld, Ph.D.**

Ústav pro hospodářskou úpravu lesů Brandýs nad Labem  
Nábřeží 1326, 250 01 Brandýs nad Labem  
mansfeld.vratislav@uhul.cz

*V roce 2022 území Národního parku České Švýcarsko (NP ČŠ) zasáhl největší požár v novodobé historii České republiky. Zkušenosti s jeho zdoláváním ukázaly na důležitost odpovídajících podkladů z hlediska nastavení preventivních opatření v lesních porostech. Informace tohoto druhu nachází uplatnění také při realizaci opatření pro účinný zásah (konektivita na integrovaný záchranný systém), včetně standardních podkladů pro zpracování dokumentace zdolávání lesních požárů. Další možné využití je při vybavení jednotek hasičských záchranných sborů (HZS) a v neposlední řadě při podpoře vlastníků lesů efektivně řešit povinnosti vyplývající ze zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů.*

Extrémní projevy klimatické změny zásadním způsobem ovlivňují problematiku lesních požárů v ČR. Tyto události je ovšem nutné chápat především v kontextu intenzivně obhospodařované a využívané kulturní krajiny. V důsledku toho jsou lesní požáry způsobeny v naprosté většině lidskou činností. Při hledání strategie zdolávání lesních požárů doposud nebylo předloženo řešení založené na vhodné redukci komplexity dané problematiky. Jedná se o metodické zjednodušování, které je základem každé vědecké činnosti. Zásadně byl opomíjen vliv člověka, respektive kauzalita jeho pracovních a volnočasových aktivit v lesních porostech. Naopak byl kladen důraz na extrémní projevy klimatické změny, zejména dlouhodobé sucho, zvyšování teplot a výskyt extrémně vysokých teplot. Tyto faktory nepochybně ovlivňují výskyt a intenzitu lesních požárů, nicméně opomíjení dalších faktorů je vážnou chybou. Je zřejmé, že pokud by se v kritickém období vyloučila přítomnost člověka z prostředí lesních porostů, tak prakticky lesní požár nevznikne navzdory rizikům plynoucím z meteo-podmínek, lesního stanoviště a druhové skladby porostů... Ovšem vyloučit osoby z lesního prostředí nelze. Přesto uvedený postřeh stojí za zmínku, aby byly zřejmé hlavní nedostatky dosavadních řešení, byť založených na sofistikovaných modelech.

Kromě odborného řešení je nutné problematiku lesních požárů zakotvit vhodným způsobem po formální stránce; v prvé řadě v zákoně č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů. Uvedený zákon v této chvíli prochází novelizací a v důsledku toho nastala mimořádná příležitost k řešení aktuálních problémů plynoucích z povinnosti vlastníků lesů z hlediska prevence, zdolávání a dokumentace lesních požárů. Jak se ukázalo na požáru v NP ČŠ je detekována

řada situací, kdy nedochází k optimálnímu naplnění těchto povinností v praxi. Na druhou stranu je nutné tyto povinnosti v příslušné legislativě upravit tak, aby bylo možné je bez rozporů v běžném životě aplikovat. Vedle toho v oblasti informačních technologií nastal významný posun, který je výzvou k tomu, aby procesy spojené s realizací zákona č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů byly realizovány na moderní úrovni ideálně v napojení na IZS.

V tomto směru Ústav pro hospodářskou úpravu lesů v Brandýse nad Labem (ÚHÚL) nabízí východisko z dané situace v podobě *Metodického hodnocení potenciálního nebezpečí vzniku lesního požáru na základě diferenciacce lesních porostů z hlediska preventivních opatření a účinného zásahu*, včetně navazující dlouhodobé a systematické podpory integrovaného záchranného systému (IZS). Bezprostřední přínos předkládaného řešení spočívá v moderním a reálném pojetí povinností plynoucí ze zákona o požární ochraně v případě lesních požárů. Tento proces zahrnuje určitou míru podpory ze strany ÚHÚL zúčastněným stranám, a to v podobě služby, která zajistí podklady pro naplnění legislativních povinností v lesnické praxi. Současně lze tyto podklady a z nich plynoucí doporučení poskytnout IZS. V tomto směru existuje význačný potenciál smysluplného využití předaných informací. Doposud situace v lesích z pozice lesních požárů nebyla systematicky řešena. Standardní a přehledné uspořádání podkladů, z toho plynoucí doporučení a garance jejich každoroční údržby s deklarovanou správností a přesností jsou základem pro kvalitní hodnocení dané problematiky na národní i mezinárodní úrovni a v neposlední řadě i pro jakoukoliv odbornou, vědeckou činnost. Navazující benefity lze detekovat v oblasti vybavení jednotek HZS a zhodnocení prostředků vložených do již existujících monitoringů zejména dálkového průzkumu země, oblastních plánů rozvoje lesů a dalších databází, které spravují subjekty mající v předmětu zájmu lesní porosty. Získané výsledky naleznou také uplatnění při realizaci opatření ke zmírnění dopadů extrémních projevů klimatické změny<sup>1</sup>.

Závěrem lze konstatovat, že návrh *Metodického hodnocení potenciálního nebezpečí vzniku lesního požáru na základě diferenciacce lesních porostů z hlediska preventivních opatření a účinného zásahu* spočívá na principech daných Evropskou unií: tj. činnost založená na důkazech a řízení založené na výsledcích („*Evidence Based Policy & Results Based Management*“) s požadavkem na zpětnou vazbu, při současném uplatnění principu subsidiarity, proporcionality a respektování zásad INSPIRE.

---

<sup>1</sup> Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR a Národní akční plán adaptace na změnu klimatu.

# Charakterizace hasebních vod po požáru lithiových akumulátorů a testování hasičských sorbentů pro eliminaci lithia

Marek Martinec<sup>1</sup>

Kateřina Běhounková<sup>1</sup>, Hana Kujalová<sup>1</sup>, Jan Bindzar<sup>1</sup>, Lucia Tajnaiová<sup>1</sup>, Klára Anna Mocová<sup>1</sup>, Jana Kafroňová<sup>1</sup>, Radek Vurm<sup>1</sup>, Jakub Pilař<sup>1</sup>, Kryštof Řehák<sup>1</sup>, Barbora Štěpánová<sup>2</sup>, Petra Najmanová<sup>2</sup>, Jan Kárl<sup>3</sup>, Ondřej Suchý<sup>3</sup>, Lucie Pokorná<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Technická 5, 166 28 Praha 6

<sup>2</sup>MV-GR HZS ČR, Technický ústav požární ochrany

Písková 42, 143 01 Praha 4 - Modřany

<sup>3</sup>Dekonta, a.s.

Dřetovice 109, 273 42 Stehelčevy

Marek.Martinec@vscht.cz, lucie.pokorna@vscht.cz, jan.karl@hzscr.cz,

stepanova@dekonta.cz

## Klíčová slova

Elektromobilita, hasební vody, lithium, Li-Ion akumulátory, sorbenty, sorpce.

## Úvod

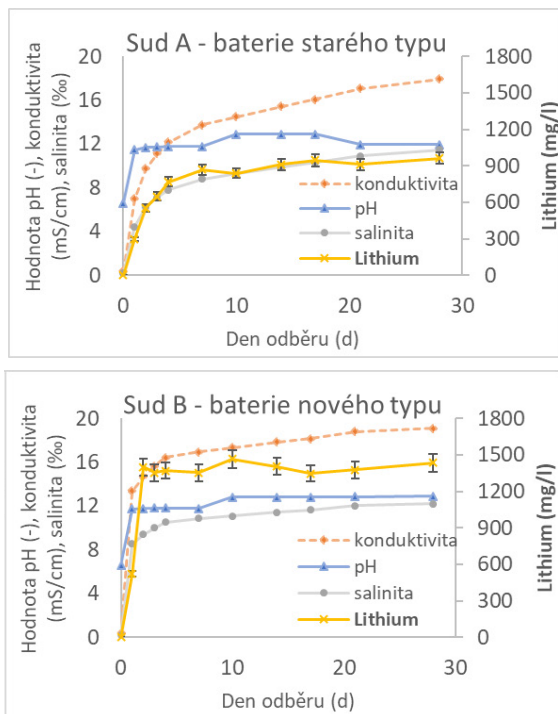
S narůstajícím množstvím elektromobility roste u nás i v zahraničí množství požárů lithiových akumulátorů. Při hašení těchto akumulátorů dochází k jejich kompletnímu ponoření do vody, čímž se do vody mohou vylouhovat potenciálně škodlivé a nebezpečné látky. K zjištění koncentrace a toxicity daných látek byly zapáleny a následně ponořeny do vody dva Li akumulátory z elektromobilu (starého a nového typu). Po dobu několika týdnů byly pravidelně odebrány vzorky a analyzovány na veškeré základní chemické ukazatele, kovy, organické látky a testy ekotoxicity.

Dále byly k odstraňování lithia (případně dalších kovů) z těchto vod otestovány sorbenty, které zasahující složky IZS ČR běžně vozí k zásahům. Z šesti testovaných sorbentů se dva ukázaly jako potenciálně vhodné.

## Ponorné experimenty s autobateriemi

Během ponorného experimentu byly zapáleny dvě plně nabitě elektrobaterie do auta, starého typu (napětí 49,7 V, zapálena zkratem) a nového typu (napětí 33,0; zapálena opakovaným proražením), a následně ponořeny do sudů s vodou. Po dobu cca tři měsíců byly ze sudů pravidelně odebrány vzorky vody a následně kompletně analyzovány na parametry fyzikálně-chemické a ekotoxikologické.

Hasební vody jsou velmi toxické, jejich konduktivita neustále rostla a vyšplhala se až na hodnotu kolem  $20 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ , což je srovnatelné se skládkovými výluhy. Hodnota pH se v obou případech ustálila kolem 12. Koncentrace lithia jsou vysoké, ale u obou baterií se liší (s maximem  $969 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  u sudu A;  $1553 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  u sudu B), Nejdůležitější data jsou uvedena na Obr. 1.

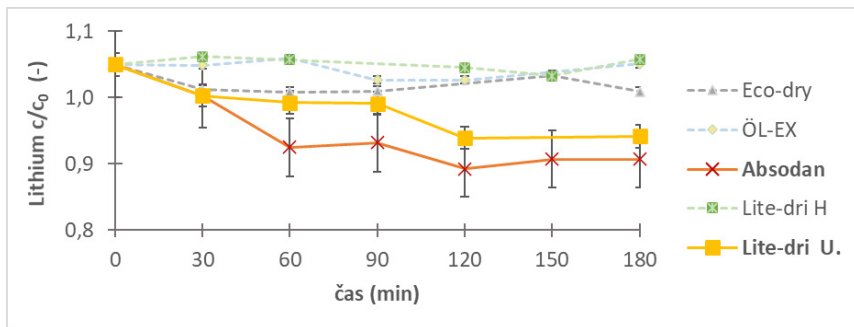


Obr. 1 Hodnota pH (-), konduktivita ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), salinita (‰) a koncentrace lithia ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) v průběhu ponorného experimentu

### Sorpce lithia na hasičské sorbenty

Cílem této části bylo posoudit schopnost sorbentů, které poskytl Hasičský záchranný sbor České republiky (HZS ČR), sorbovat lithium z vodního prostředí, zejména pak z hasebních vod, které vznikají při likvidaci požárů elektromobilů. Sorbenty používané HZS ČR však nejsou určeny k eliminaci lithia, či kovů obecně, jejich primárním účelem je zachycení ropných či olejových látek. Během sorpčních testů se nijak neupravovaly podmínky, ve kterých experimenty probíhaly (teplota, pH). A to z toho důvodu, aby se co nejvíce podobaly případnému způsobu použití sorbentů v praxi. Testované sorbenty: Absodan, Eco-dry, Lite-dri univerzální, ÖL-EX, Lite-dri hydrofobní.

Nejlépe si při odstraňování lithia vedl sorbent Absodan, se sorpční kapacitou  $3,04 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$  (Obr. 2). Tento sorbent se svým složením značně lišil od většiny ostatních sorbentů. Jeho základ tvoří oxidy hliníku a křemíku. Oba tyto kovy se hojně vyskytují ve struktuře zeolitů, které jsou ve spojitosti eliminace lithia z vodního prostředí zmiňovány nejčastěji. Druhého nejlepšího výsledku dosáhla univerzální sorpční drť Lite-dri U ( $2,83 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ ).



Obr. 2 Koncentrace lithia v průběhu tříhodinového testu na modelových vzorcích při použití hasičských sorbentů

## Neurónové siete na modelovanie požiarov

**prof. Ing. Jozef Martinka, PhD.**

**doc. Ing. Peter Rantuch, PhD.**

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta  
so sídlom v Trnave

Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika

jozef.martinka@stuba.sk

### Kľúčové slová

Požiarne inžinierstvo, neurónové siete, modelovanie požiarov, predikcia, umelá inteligencia.

### Úvod

Umelú inteligenciu (AI) si väčšina laickej verejnosti (ale aj časť odborne verejnosti z iných oblastí) spája najmä s konverzačnými robotmi a nástrojmi na rozpoznanie objektu na obrázku (napr. Google Lens). Odborná komunita v oblasti ochrany pred požiarom dobe pozná aj aplikáciu na detekciu požiaru vo videosekvencii (kedy kamerový systém dokáže samočinne bez zásahu ľudského činiteľa „spozorovať“ vznik požiaru). Možnosti umelej inteligencie v požiarom inžinierstve sú však podstatne širšie a pre veľkú časť odbornej verejnosti zatiaľ stále nepoznané.

Na úvod je potrebné definovať rozdiel (resp. vzájomný vzťah) medzi umelou inteligenciou a neurónovými sieťami (NS). Umelá inteligencia je širší pojem, ako neurónová sieť (neurónová sieť alebo neurónové siete sú jadrom umelej inteligencie). Neurónovú sieť [1] definuje ako matematický model, ktorý simuluje aktivitu biologických nervových systémov a ktorý môže byť trénovaný (učený) podobne, ako živé organizmy. Podrobnosti o princípe činnosti neurónových sietí môže čitateľ v prípade záujmu nájsť napr. v [1].

Cieľom tohto príspevku nie je opísať všetky aplikácie neurónových sietí v požiarom inžinierstve, ale upozorniť na konkrétnu aplikáciu (modelovanie požiarov).

### Modelovanie požiarov neurónovými sieťami

Na modelovanie požiarov sa používajú rôzne modely (napr. matematické modelovanie, fyzikálne modelovanie a pod.) a softvérové riešenia. Za najpresnejšie (benchmark) sa dnes považujú CFD modely, ktoré majú prakticky len jednu významnejšiu nevýhodu (relatívne vysoké nároky na výpočtový výkon počítača a časovú náročnosť simulácie). Naproti tomu zónové modely požiaru majú minimálne požiadavky na výkon počítača a výpočtový čas (resp. je ich možné vykonať aj bez výpočtovej techniky s použitím papiera, pera a kalkulačky), ale za cenu nižšej

presnosti a rozlíšenia (počítajú s rovnakou teplotou, resp. koncentráciou plynov v celej zóne). Typickým predstaviteľom CFD modelu je softvér FDS (Fire Dynamics Simulator) a zónového modelu CFAST (Consolidated Fire and Smoke Transport). Podrobnosti o matematickom modelovaní požiaru môže čitateľ nájsť napr. v [2].

Neurónová sieť sa dá využiť aj ako tzv. digitálne dvojča. Digitálne dvojča definuje [3] ako repliku fyzického objektu, ktorá simuluje skutočný stav objektu alebo produktu. Takéto digitálne dvojča na modelovanie požiarov vytvorili Hodges a kol. [4]. Citovaný autori [4] natrénovali neurónovú sieť údajmi o geometrii priestoru a parametrami požiaru získanými z FDS a CFAST tak, že natrénovaná neurónová sieť dokáže predikovať parametre požiaru (porovnateľné s FDS) len zo zjednodušenej geometrie požiarneho úseku a parametrov získaných z CFAST. V praxi to teda znamená, že takto natrénovaná neurónová sieť umožňuje získať výstupy porovnateľné s FDS za niekoľko minút (limitujúci je len čas na zadanie zjednodušenej geometrie priestoru a na získanie výstupov z CFAST - samotná predikcia v natrénovanej neurónovej sieti je aj na priemernom osobnom počítači záležitosťou zlomku sekundy až niekoľko sekúnd). Z pohľadu pomeru medzi presnosťou výstupu a času potrebného na jeho získanie sa jedná pravdepodobne o najvýhodnejší spôsob modelovania požiaru. Tento spôsob má však aj svoje nevýhody (najmä časová náročnosť na získanie výstupov FDS na natrénovanie neurónovej siete a obmedzenia v zadávaní geometrie požiarneho úseku pri samotnej predikcii).

## Záver

Predložený príspevok opísal možnosť modelovania požiaru v neurónovej sieti, ktorý predstavuje z pohľadu časovej náročnosti a presnosti kompromis medzi CFD a zónovým modelom (je podstatne menej časovo náročný ako FDS model a podstatne presnejší ako zónový model).

## Pod'akovanie

*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-16-0223. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-21-0187.*

## Použitá literatúra

- [1] Aggarwal, C.C. 2018.: *Neural Networks and Deep Learning: A Textbook*. 2018. Cham: Springer. 497 s. ISBN 978-3-319-94463-0.
- [2] Kučera, P.; Pezdová, Z. 2010.: *Základy matematického modelování požáru*. 2010. Ostrava: SPBI. 111 s. ISBN 978-80-7385-095-1.
- [3] IBA Group, a. s. 2024.: *Digitálne dvojča* [cit. 2024/06/25]. Dostupné na: <<https://www.ibask.eu/trendy/digitalni-dvojce/>>



- [4] Hodges, J.L.; Lattimer, B.Y.; Luxbacher, K.D. 2019.: Compartment fire predictions using transpose convolutional neural networks. In: *Fire Safety Journal*. 2019(108). Paper no. 102854. ISSN 0379-7112. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2019.102854>.

## Hodnocení požárního rizika lesních i nelesních ekosystémů

**Radka Mašková<sup>1</sup>**

**Ing. Oldřich Volf, Ph.D., MBA<sup>3</sup>**

**Jana Beranová<sup>1</sup>**

**Lucie Kudláčková<sup>2</sup>**

**Markéta Poděbradská<sup>2</sup>**

**Emil Cienciala<sup>1</sup>**

**Vladimír Zatloukal<sup>1</sup>**

**Miroslav Trnka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>IFER - Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, s.r.o.

Čs. armády 655, 254 01 Jílové u Prahy

<sup>2</sup>CzechGlobe - Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i

Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

<sup>3</sup>Hasičský záchranný sbor Karlovarského kraje

Závodní 205, 360 06 Karlovy Vary

radka.maskova@if-er.cz

### Klíčová slova

Požáry v přírodním prostředí, hodnocení požárního rizika, mapové zobrazení, nástroj prevence.

### Úvod

Přírodní požáry zahrnují všechny nekontrolované, volně se šířící požáry lesních i nelesních společenstev a zemědělských kultur. S postupující změnou klimatu lze očekávat, že riziko jejich vzniku se bude zvyšovat. V rámci dvou navazujících projektů bezpečnostního výzkumu, které byly řešeny v letech 2018-2021 s podporou Ministerstva vnitra a Ministerstva životního prostředí, byl sestaven Index požárního rizika [1], [2].

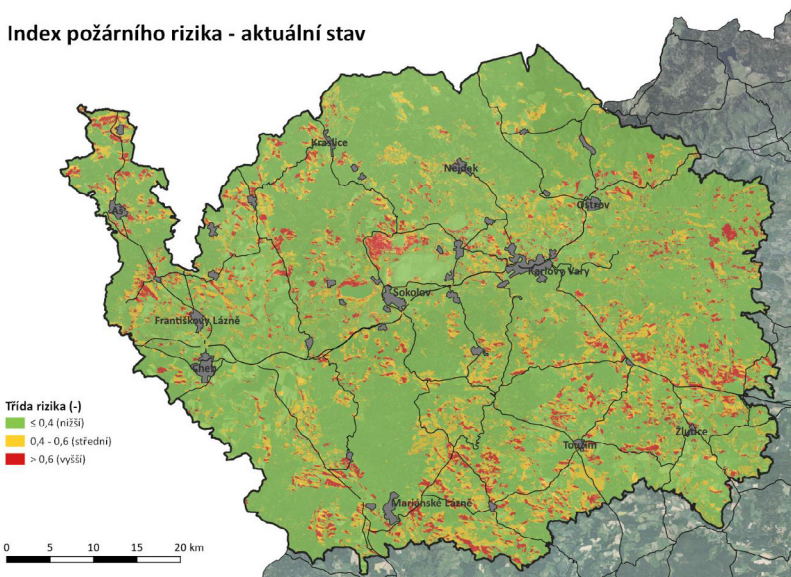
### Metodika

Index požárního rizika vyjadřuje, do jaké míry je dané lesní nebo nelesní stanoviště rizikové z hlediska vzniku a šíření požáru. V případě lesních ekosystémů do jeho výpočtu vstupuje charakter stanoviště (stanovený na bázi lesnické typologie), charakter porostu (na základě převládající dřevinné skladby, věku a zápoje porostu) a množství odumřelé biomasy (podíl stojících souší), v případě nelesních ekosystémů pak charakter biotopu, sklon a expozice stanoviště a zemědělský management. Výsledný index požárního rizika je bezrozměrná veličina, která nabývá hodnot od 0 do 1 a je standardně agregován do tří tříd rizika: do 0,40 (nižší riziko); 0,41 až 0,60 (střední riziko) a nad 0,60 (vyšší riziko).

Index požárního rizika přináší snadné a velkoplošně aplikovatelné řešení pro kategorizaci území z hlediska jeho náchylnosti ke vzniku a šíření přírodních požárů. Index navíc umožňuje implementaci scénářů vývoje krajiny, a to jak v krátkodobém horizontu zahrnujícím nejrůznější managementová opatření (lesnický i zemědělský management), tak dlouhodobém při zohlednění předpokládané klimatické změny.

Index požárního rizika lze znázornit jako mapovou vrstvu, která formou tříbarevného „semaforového“ zobrazení umožňuje jednoduše odlišit v území potenciálně rizikové lokality. Takto pojatý index požárního rizika lze klasifikovat v nejrůznějším prostorovém detailu. Zkušenosti máme jak se studii pro menší území (NP České Švýcarsko [3], NP Šumava v rozsahu územních pracovišť Srní [4] a Stožec), tak také pro celý Karlovarský kraj.

V rámci příspěvku bude představena mapa indexu požárního rizika pro Karlovarský kraj (Obr. 1), včetně základní analýzy výskytu konkrétních přírodních požárních událostí z let 2016 až 2023 a předpokládané změny požárního rizika v lesích do roku 2050 pro různé scénáře lesnického hospodaření. Pro vybrané lokality bude připravena ukázka změny indexu požárního rizika v souvislosti se změnou managementu.



Obr. 1 Aktuální index požárního rizika - Karlovarský kraj

## Závěr

Index požárního rizika je vhodným nástrojem pro správce a majitele lesních i zemědělských pozemků, pro veřejnou správu (např. obecní úřady všech úrovní) a v neposlední řadě i pro odbory prevence Hasičského záchranného sboru různé úrovně. Na základě hodnoty indexu lze dobře lokalizovat a optimalizovat protipožární preventivní opatření a vyhodnocovat jejich efekt na snížení rizika vzniku a šíření požárů. V případě implementace klimatických scénářů a scénářů změn ve využití krajiny a obhospodařování lesů je takto stanovený index požárního rizika také vhodný pro vyhodnocování adaptačních strategií.

## Použitá literatura

- [1] BERANOVÁ, J. et al. (2022).: *Prevence vzniku a šíření přírodních požárů v bezprostředním okolí povrchových zdrojů pitné vody včetně metod pro odhad důsledků případného výskytu*. Certifikovaná metodika, Ministerstvo životního prostředí, Praha, Věstník MŽP č. 7/2022.
- [2] TRNKA, M. et al. (2022).: *Doporučená adaptační a mitigační opatření v rizikových oblastech výskytu přírodních požárů s přihlédnutím k měnícímu se klimatu*. Certifikovaná metodika, Ministerstvo životního prostředí, Praha, Věstník MŽP č. 6/2022.
- [3] BERANOVÁ, J. et al. (2023).: *Analýza požárního rizika lesních ekosystémů v Národním parku České Švýcarsko a praktický návrh preventivních opatření minimalizující vznik požáru a jeho dopady na majetek, zdraví a životy osob na území NPCŠ a v jeho bezprostředním okolí*.
- [4] BERANOVÁ, J. et al. (2023).: *Analýza požárních rizik lesních ekosystémů v NP Šumava v rozsahu Územního pracoviště Srní dle metodiky stanovení indexu požárního rizika na lesní ekosystémy a navazující nelesní plochy*.
- [5] BERANOVÁ, J. et al. (2024).: *Vytvoření mapy indexu požárního rizika pro Lázeňské lesy města Karlovy Vary a modelová predikce šíření požáru z rizikových lokalit*.

# Hodnotenie minerálnych stropných kaziet zaťažených sálavým teplom

**Ing. Iveta Mitterová, PhD.**

**Ing. Ľuboslava Hrehorová**

Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika  
mitterova@tuzvo.sk

## Kľúčové slová

Minerálna doska, kazeta, stropný podhl'ad, sálavé teplo, úbytok hmotnosti.

## Úvod

Stropné podhl'ady predstavujú moderné, rýchle a čisté riešenie opláštenia stropov. Plnia niekoľko funkcií. Okrem vylepšenia estetického vzhľadu interiéru, prispievajú k zlepšeniu akustických, vlhkostných a tepelných vlastností stropnej konštrukcie, niektoré z nich zabezpečujú aj protipožiarne požiadavky [1, 2].

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 plechu [2], pričom tieto môžu byť pripevňované priamo na strop (v prípade, ak je cieľom strop iba obložiť) alebo sa použije závesný systém, kedy sa podhl'adové dosky, resp. podhl'adové kazety ukladajú do závesnej konštrukcie - križového roštu). Druhý spôsob sa využíva hlavne v prípade potreby zníženia svetlej výšky miestnosti alebo na prekrytie rôznych inštalácií (vedení potrubia, elektroinštalácie a pod.). Výhodou je, že sú demontovateľné a umožňujú tak ľahký prístup do priestoru nad nimi.

Výber vhodného riešenia sa odvíja od priestorového určenia, napr. niekde postačujú podhl'adové kazety pre všeobecné použitie, inde sa vyžadujú špeciálne druhy, napr. v hygienicky náročných priestoroch (nemocnice, laboratória), v priestoroch s vysokým účinkom vlhkosti (plavárne, sprchy) alebo v priestoroch s vysokými nárokmi na akustiku (koncertné sály).

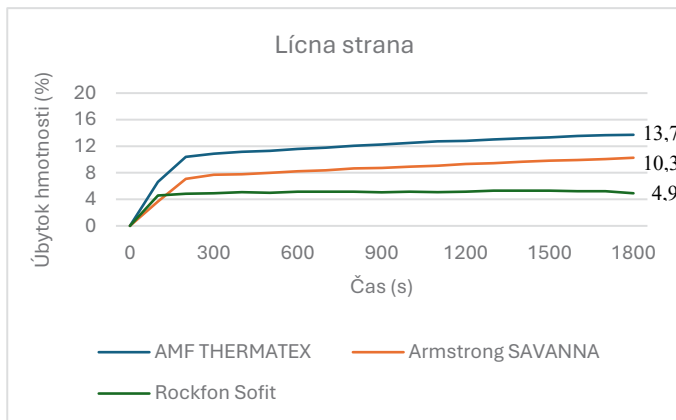
Cieľom príspevku je predstaviť výsledky experimentálnych prác, zameraných na posúdenie správania sa minerálnych stropných kaziet pri zaťažení sálavým teplom.

## Materiál a metóda

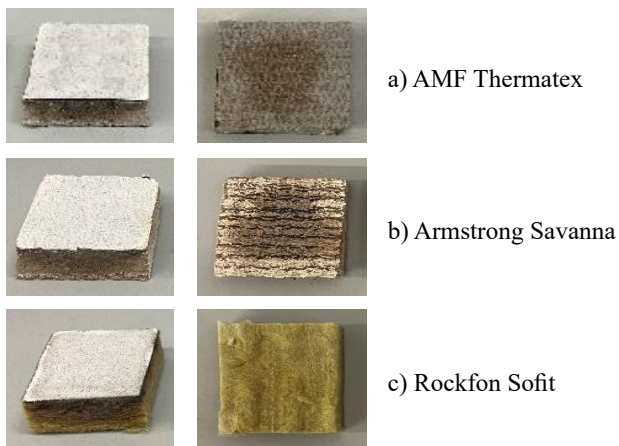
Na experimentálnu časť boli použité vzorky troch bežne dostupných materiálov pre aplikáciu v stropných podhl'adoch, konkrétne: AMF THERMATEX Antaris C, ARMSTRONG SAVANNA a ROCKFON SOFIT (viď obr. 1). Základ uvedených materiálov tvorí minerálna vlna, navyše AMF Thermatex a Armstrong Savanna obsahujú prídavok ílu, škrobu a perlitu. Lícový povrch týchto materiálov je štukový, bez perforácie (hladký), pri Armstrongu jemne granulovaný.



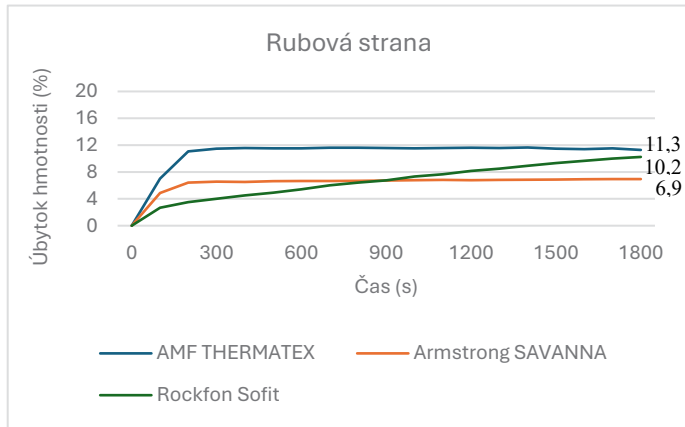
Obr. 1 Fotodokumentácia skúšobných vzoriek - líčna a rubová strana  
 a) AMF Thermatex Antaris C, b) Armstrong Savanna, c) Rockfon Sofit



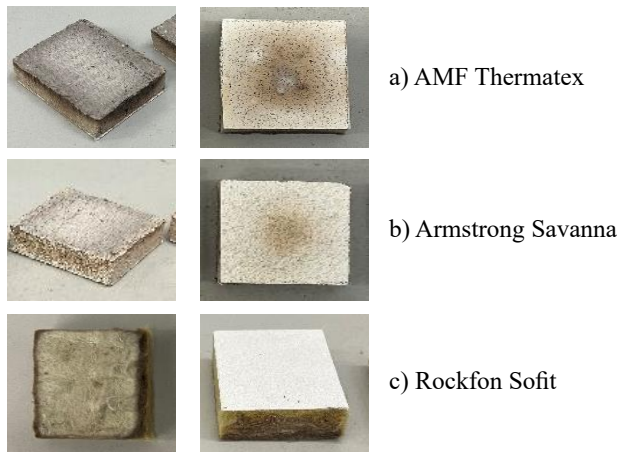
Obr. 2 Závislosť úbytku hmotnosti na čase testovaných materiálov -  
 namáhanie líčnej strany



Obr. 3 Vzorky po zaťažení líčnej strany - ukážka namáhanej a odvrátenej strany



Obr. 4 Závislosť úbytku hmotnosti na čase testovaných materiálov - namáhanie rubovej strany



Obr. 5 Vzorky po zaťažení rubovej strany - ukážka namáhanej a odvrátenej strany

Vzorky rozmerov 50x40x10 mm boli zaťažené infražiaričom s výkonom 1000 W po dobu 30 minút, pričom ich povrch bol od žiariaceho telesa vo vzdialenosti 30 mm. Za uvedený čas bol kontinuálne počítačovým programom zaznamenaný úbytok hmotnosti. Z každého materiálu boli testované 4 vzorky z líčnej strany (pre prípad pôsobenia tepelného zaťaženia z priestoru miestnosti) a 4 vzorky z rubovej strany (pre prípad tepelného zaťaženia v dutine nad podhl'adom).

## Výsledky

Výsledky meraní sú graficky zdokumentované na obr. 2 a 4 a tiež prostredníctvom fotodokumentácie na obr. 3 a 5.

## Záver

Cieľom výskumu bolo porovnať tri druhy minerálnych materiálov, ktoré sa v praxi vo veľkej miere využívajú v stropných podhľadoch. V súčasnosti tieto materiály plnia nielen funkčné a estetické hľadisko, ale aj protipožiarne. Práve takýmito sú aj nami hodnotené materiály.

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. 2) 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. 3, 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 ako v predchádzajúcom prípade, ale ani tu nedošlo k poškodeniu odvrátenej strany (viď obr. 5).

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, ktoré deklarujú ich výrobcovia, Rocfon Sofit spĺňa podľa STN EN 13501-1 [3] požiadavky najprísnejšej triedy reakcie na oheň A1 [4], materiály Armstrong Savanna a AMF Thermatex Antaris C sú klasifikované nižšou triedou A2-s1, d0 [5, 6], avšak patria do kategórie nehorľavých materiálov.

## Podakovanie

*Predložená práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-22-0030 (50 %) a vedeckej grantovej agentúry na základe zmluvy č. VEGA-1/0115/22 (50 %).*

## Použitá literatúra

- [1] *Minerálne kazety* [on-line], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: Minerálne kazety - GIPSOL, s.r.o. (suchavystavba.sk).
- [2] *Kazetové stropy* [on-line], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: Kazetové stropy | LEMARCK (sadrokarton.sk).
- [3] STN EN 13501-1 (2019): Klasifikácia požiarных charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň.
- [4] *Rockfon® Sofit™* [on-line], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: cz-tile-datasheet-rockfon-sofit\_d\_12\_2023.pdf.



- [5] *Knauf Ceiling Solutios Armstrong SAVANNA* [on-line], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: Armstrong SAVANNA | Mineral Ceiling Tile (knaufceilingsolutions.com).
- [6] *Knauf Ceiling Solutios AMF THERMATEX®Antaris C* [on-line], [cit. 2024-8-02], dostupné na internete: DS\_AMF\_THERMATEX\_Antaris\_C\_UA.pdf (knaufceilingsolutions.com).

# Požární bezpečnost silničních tunelů se zaměřením na větrání

**Bc. Pavel Moucha**

**Ing. Martin Benýšek, Ph.D.**

ČVUT v Praze, Fakulta stavební

Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 - Dejvice

pavel.moucha@fsv.cvut.cz, martin.benysek@fsv.cvut.cz

## Klíčová slova

Požární bezpečnost, silniční tunel, modelování požáru, větrání, šíření požáru.

## Úvod

Návrh požární bezpečnosti silničních tunelových staveb je s ohledem na nespočet vstupních parametrů značně obtížný. Požární zkoušky jsou z důvodu enormních materiálních a finančních nákladů ojedinělé. Cílem je prostřednictvím CFD modelů stanovit rozsah využití stávajících nominálních teplotních křivek pro silniční tunely. Současně tam, kde využitelnost CFD modelů převažuje nad teplotními křivkami, je snaha o snížení výpočetní náročnosti simulací.

## Dosavadní stav poznání

Pro navrhování, projektování, provoz, zabezpečení a údržbu silničních tunelů platí zejména ČSN 73 7507, TP 98, TP 154 a Metodický pokyn Ministerstva dopravy ČR - Větrání silničních tunelů. Tunely s délkou nad 350 m se považují za objekty se složitými podmínkami pro zásah, nad 1 000 m se jedná o stavbu kategorie III ve smyslu Vyhlášky č. 460/2021 Sb. CFD modely hrají významnou roli při zpracování operativně taktických studií, vyžadovaných ze strany HZS.

Způsob větrání má z pohledu požární bezpečnosti silničních tunelů zásadní vliv na rozvoj požáru a proces spalování - interakce požáru s prouděním vzduchu v tunelu může způsobit značné aerodynamické změny, ať už v podobě přiškrčení toku vzduchu ve vazbě na vztlakové jevy nebo zpětného proudění kouře a horkých plynů (z anglického *back-layering*). [1], [2]

Množství produkovaného kouře je závislé na rychlosti uvolňování tepla (z anglického *HRR - heat release rate*). V rámci studií byla odvozena až 4 násobně vyšší rychlost uvolňování tepla při požáru v tunelu oproti požáru totožného materiálu v otevřeném venkovním prostoru. [1], [3]

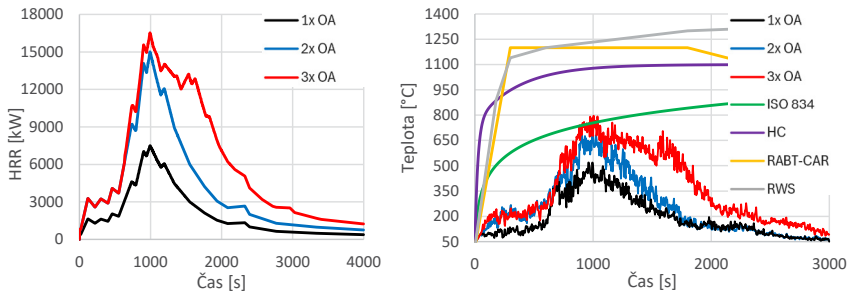
## Výpočetní model

Byl vytvořen CFD model silničního tunelu (dálniční dvoupruhový ve smyslu ČSN 73 7507, délky 500 m) za účelem analýzy závislosti požárního zatížení a větrání na průběh požáru. V této 1. fázi jsou prezentovány 3 referenční požáry osobních

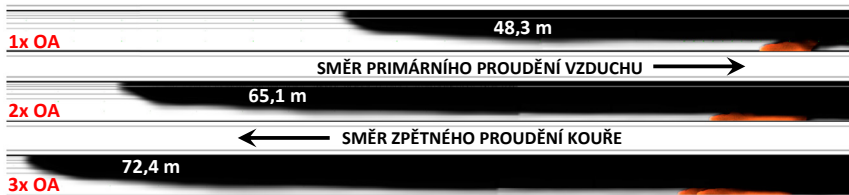
automobilů (kombi, hmotnost 1 420 kg [1]) ve vazbě na přirozené větrání tunelu s rychlostí proudění vzduchu  $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Požáry byly definovány chemickou reakcí polyuretanu. Jednalo se o 3 samostatné modely požárů - 1x OA, 2x OA (kolize), 3x OA (kolize 2 OA včetně přenosu požáru na 3. OA). Přenos požáru byl řešen prostřednictvím pneumatik vozidel ve vazbě na jejich teplotu vznícení (uvažováno  $350 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Průběh HRR OA byl převzat z [1], výkon až 7,5 MW. U požáru 3 OA byl vypočtený průběh HRR CFD modelem (v intervalu od 18-té minuty do 45-té minuty) nižší než vložený - příčinou bylo kritické omezení přístupu vzduchu k požáru v souvislosti se zmiňovaným jevem zpětného proudění kouře. Tzv. *back-layering* nastal i u požárů 1x OA a 2x OA (viz obr. 2) - zde však nezpůsobil tak značnou redukci přístupu vzduchu, aby omezil výkony jednotlivých požárů.

V tunelu byly v pravidelné prostorové síti (o straně  $1,0 \text{ m}$ ) do vzdálenosti  $10 \text{ m}$  od středu ohniska požáru osazena čidla měřící teplotu plynu a teplotu povrchu ostění tunelu, doplněno stejným měřením (po  $5 \text{ m}$ ) i v navazující části tunelu. Teplota plynů (ve výškové úrovni  $3,5 \text{ m}$  nad vozovkou,  $5 \text{ m}$  od středu ohniska požáru po směru primárního proudění kouře tunelem\*\*\*) dosahovala v průměru až  $520 \text{ }^\circ\text{C}$ , resp. až  $660 \text{ }^\circ\text{C}$ , resp. až  $800 \text{ }^\circ\text{C}$  (viz obr. 1 vpravo) - značně nižší průběhy teplot v porovnání s nominálními teplotními křivkami.



Obr. 1 Vypočtené průběhy HRR CFD modelem (vlevo);  
Průměrná teplota plynů\*\*\* (vpravo)



Obr. 2 Grafické vykreslení max. zpětného proudění kouře pro 3 referenční požáry OA

## Závěr

Navazující části výzkumu nejsou s ohledem na dlouhou výpočetní náročnost simulací doposud prezentovány - bude se jednat o simulace nuceného havarijního větrání ve spojitosti s požáry nákladních vozidel (nad 12 t) a následný dopad na teplotní průběhy během požáru (vazba na nominální teplotní křivky). Dále bude prováděna analýza výpočetního času modelů a jejich možná optimalizace - zkrácení výpočtu s minimalizací dopadu na přesnost výstupů.

## Použitá literatura

- [1] INGASON, H.; LI ZHEN, Y.; LÖNNERMARK, A.: *Tunnel Fire Dynamics* [online]. New York, NY: Springer New York, 2015. ISBN 978-1-4939-2198-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4939-2199-7 [cit. 2024-06-20].
- [2] LI ZHEN, Y.; INGASON, H.: Overview of research on fire safety in underground road and railway tunnels. *ScienceDirect - Tunnelling and Underground Space Technology 81*. 2018. Dostupné z: doi:10.1016/j.tust. 2018.08.013. [cit. 2024-06-20].
- [3] SVOBODOVÁ, N.: *Využití zónových modelů požáru při modelování požáru v tunelech*. Odborný článek. Školitel: NOVÁK J. ČVUT - Fakulta stavební. 2021. Dostupné z: www.concrete.fsv.cvut.cz/phdworkshop /.../Svobodova\_Nicole.pdf. [cit. 2024-06-20].

# Stanovenie vybranej požiarotechnickej charakteristiky hybridnej zmesi vo výbuchovej komore

**doc. Ing. Eva Mračková, PhD.**

**Ing. Filip Eperješi**

Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta  
T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika  
mrackova@tuzvo.sk

## Kľúčové slová

Hybridná zmes, dolná medza výbušnosti, acetón, toluén, drewný prach, Le Chatelier model výpočtu, Bartknechtov model výpočtu.

## Úvod

V súčasnosti sa vykonávajú opatrenia na znižovanie rizík a nebezpečenstva súvisiacich s hybridnými zmesami, čo sa dosahuje monitorovaním a kontrolovaním ich súčasného stavu kvôli prípadu možného vzniku výbuchu [1]. Keďže sa hybridné zmesi skladajú z mnohých skupensky rozdielnych látok, ktoré majú potenciál explodovať, manipulácia s nimi si vyžaduje dodržiavanie bezpečnostných opatrení a protivýbuchových protokolov. Je dôležité mať pripravené a hlavne funkčné bezpečnostné postupy pre prípad výbuchu hybridnej zmesi s cieľom znížiť škody a zachrániť životy [2]. Znalosť dolnej medze výbušnosti (DMV, LEL) horľavých látok vo výrobných procesoch technológií je jednou zo základných požiarotechnických charakteristík a požiarnebezpečnostných parametrov [3].

Cieľom bolo experimentálne a matematické stanovenie dolnej medze výbušnosti vytvorenej hybridnej zmesi. Pre vytvorenie hybridnej zmesi bola použitá horľavá kvapalina toluén ( $C_7H_8$ ) a drewný prach z aglomerovaného materiálu MDF (Medium Density Fiber). Drewnoláknité dosky MDF sú so strednou hustotou  $700 \text{ g.m}^{-3}$  drewných vlákien a sú ideálne na tvarovanie, rezanie a frézovanie. Na experimentálne stanovenie dolných medzi výbušnosti čistých látok a hybridných zmesí bola použitá výbuchová komora VK 100. Postup bol vykonaný nenormovou metodikou, v zmysle odporúčaného postupu výrobcu zariadenia VK 100. Matematické výpočty stanovenia dolnej medze výbušnosti hybridnej zmesi boli určené podľa vzťahov od Le Chateliera, rovnica (1) a Bartknechta rovnica (2).

$$LEL_{hybrid} = \frac{100}{\frac{X_{gas}}{LEL_{gas}} + \frac{C_{dust}}{MEC_{dust}}} \quad (1)$$

kde:

$LEL_{hybrid}$  dolná medza výbušnosti hybridnej zmesi ( $\text{g.m}^{-3}$ )

$X_{gas}$  koncentrácia plynu v hybridnej zmesi (obj. %)

$LEL_{gas}$  najnižšia medza výbušnosti plynu vo vzduchu (obj. %)

$C_{dust}$  koncentrácia prachu v hybridnej zmesi ( $\text{g.m}^{-3}$ ) [4]

$MEC_{dust}$  minimálna výbušná koncentrácia prachu vo vzduchu ( $\text{g.m}^{-3}$ )

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

kde:

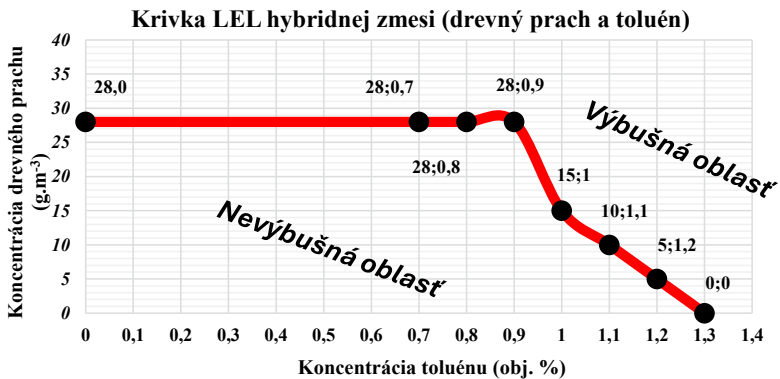
$LEL_{hybrid}$  dolná medza výbušnosti hybridnej zmesi ( $\text{g.m}^{-3}$ )

$MEC_{dust}$  minimálna výbušná koncentrácia prachu vo vzduchu ( $\text{g.m}^{-3}$ )

$X_{gas}$  koncentrácia plynu v hybridnej zmesi (obj. %)

$LEL_{gas}$  najnižšia medza výbušnosti plynu vo vzduchu (obj. %) [4]

Výsledné hodnoty čistých látok vstupujúcich do hybridnej zmesi boli stanovené pre horľavú kvapalinu toluénu ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ), ktorý pozitívne reagoval dosiahol DMV 1,3 obj. %. Dolná medza výbušnosti prachu z drevovláknitej dosky MDF bola  $29 \text{ g.m}^{-3}$ .



Obr. 1 Grafické zobrazenie krivky dolnej medzy výbušnosti hybridnej zmesi drevného prachu a toluénu, pri určitých koncentráciách

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

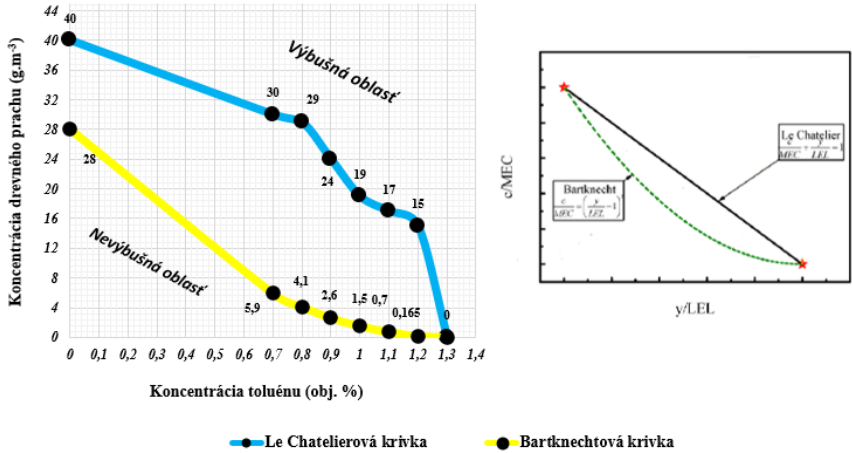
Tab. 1 Matematické výsledky hybridnej zmesi podľa Le Chatelierovho vzťahu (drevný prach a toluén)

| Výsledky výpočtov hybridnej zmesi (drevný prach a toluén) -<br>Le Chatelierov vzťah |                         |                       |                                    |                                      |   |
|---|-------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------------------------|---|
| Č.v.  | $LEL_{gas}$<br>(obj. %) | $X_{gas}$<br>(obj. %) | $C_{dust}$<br>(g.m <sup>-3</sup> ) | $MEC_{dust}$<br>(g.m <sup>-3</sup> ) | Výsledná koncentrácia<br>(g.m <sup>-3</sup> ) |
| 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  |

Tab. 2 Výsledky výpočtov hybridnej zmesi podľa Bartknechtovho vzťahu (drevný prach a toluén)

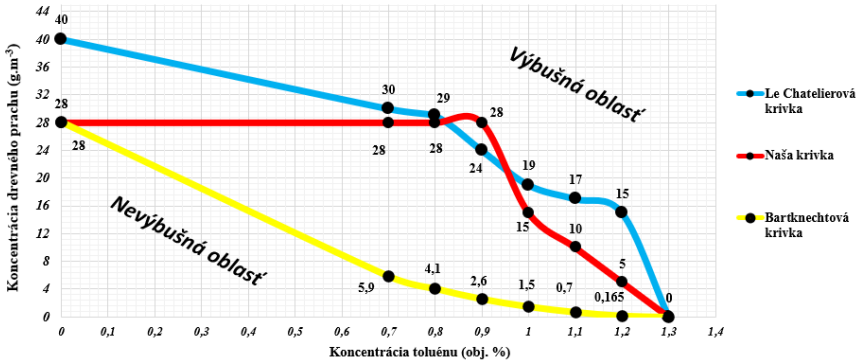
| Výsledky výpočtov hybridnej zmesi (drevný prach + toluén) -<br>Bartknechtov vzťah |                                      |                       |                         |   |
|---|--------------------------------------|-----------------------|-------------------------|---|
| Čísl.v.   | $MEC_{dust}$<br>(g.m <sup>-3</sup> ) | $X_{gas}$<br>(obj. %) | $LEL_{gas}$<br>(obj. %) | Výsledná koncentrácia<br>(g.m <sup>-3</sup> ) |
| 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  |

Krivky LEL hybridnej zmesi (drewný prach + toluén)



Obr. 2 Grafické porovnanie výpočtových kriviek dolnej medzi výbušnosti hybridnej zmesi (drewný prach a toluén) s ich modelmi

Krivky LEL hybridnej zmesi (drewný prach + toluén)



Obr. 3 Grafické porovnanie kriviek dolnej medzi výbušnosti hybridnej zmesi drewného prachu a toluénu

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.



## 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. Vďaka získaným údajom a stanovení danej požiarnotechnickej charakteristike zaistíme bezpečnosť a ochranu zamestnancov pred výbuchom a následným požiarom vo výrobných technológiách.

## Pod'akovanie

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

## Použitá literatúra

- [1] WU, D.; ZHAO, P.; SPITZER, S.H.; KRIETSCH, A.; AMYOTTE, P.; KRAUSE, U.: A review on hybrid mixture explosions: Safety parameters, explosion regimes and criteria, flame characteristics, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 82, 2023, 104969, [cit. 10.03.2024], ISSN 0950- 4230, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104969>. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423022002455>.
- [2] KWASI ADDAI, E.; GABEL, D.; KRAUSE, U.: 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] RUSSO, P.; DI BENEDETTO, A.; SANCHIRICO, R.: Theoretical Evaluation of the Explosion Regimes of Hybrid Mixtures, *CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS*, 2012, Pages 51- 56, [cit. 17.03.2024], DOI:10.3303/CET1226009. Dostupné na: [https://www.researchgate.net/publication/259214634\\_Theoretical\\_Evaluation\\_of\\_the\\_Explosion\\_Regimes\\_of\\_Hybrid\\_Mixtures](https://www.researchgate.net/publication/259214634_Theoretical_Evaluation_of_the_Explosion_Regimes_of_Hybrid_Mixtures).
- [4] Kwasi Addai, K.; Gabel, D.; Krause, U.: 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>.

## Ponorný ohřívač vody jako iniciátor požáru

**Ing. Miroslava Nejtková**

MV-GŘ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva  
Na Lužci 204, 533 41 Lázně Bohdaneč  
miroslava.nejtkova@hzscr.cz

### Klíčová slova

Iniciační zdroj, ponorný ohřívač, požár, termočlánek.

### Úvod

Cílem tohoto příspěvku je upozornit na možnost vzniku požáru při nedodržení bezpečnostních podmínek ohřívačů vody. Jedná se o shrnutí poznatků z praktického ověření funkčnosti konkrétního typu ohřívače vody, který způsobil požár. V příspěvku budou shrnuty závěry ze tří měření.

### Ponorný ohřívač

Jednotky požární ochrany byly přivolány k požáru rodinného domu, kde došlo k požáru vířivého bazénu a v jeho blízkosti umístěných skříní. Na místě bylo odebráno torzo ohřívače vody, které bylo předáno k laboratornímu zkoumání. Současně k laboratornímu zkoumání byl dodán vzorek stejného typu ohřívače vody.

Konkrétně se jednalo o ohřívač, ke kterému byly dodány doklady uvádějící, že se jedná o ponorné topné těleso z ABS nerezové oceli o jmenovitém příkonu 2 500 W, jmenovitého napětí 220 V. Teplota ohřevu maximálně 75 °C s automatickým vypnutím. [1]

Dle návodu na stránkách prodejce [1] je uvedeno upozornění, že se topné těleso rychle ohřívá, má vysoký výkon a rychle dochází k varu vody. Ohřívač je opatřen regulací teploty (75 °C), která má zajistit vypnutí ohřevu.

Z dodaného návodu byly vybrány nejdůležitější informace týkající se bezpečnosti používání výrobku, kde je uvedeno, že uživatel nesmí nikdy používat spotřebič bez dozoru, musí se u něj bezprostředně zdržovat a mít po dobu provozu na něj výhled. V okruhu 1 m od spotřebiče nesmí být jakékoli konstrukce z hořlavých materiálů a do vzdálenosti 7,5 m žádné hořlavé kapaliny. Je přísně zakázáno používat ohřívač vody na vzduchu - bez ponoření do vody nebo za použití méně vody. Ohřívač vody musí být zcela ponořen do vody a až následně jej připojit k napájení.

Zkoumáním *vzorku* (spotřebič z požářiště) bylo zjištěno, že je nefunkční topná spirála, neboť byl přerušen na několika místech odporový drát topného tělesa. Na krytu topného tělesa je viditelný otvor, taktéž deformace a úbytek kovového materiálu. K tomuto přerušení došlo během používání ohřívače vody. Na napájecí šňůře ani na vidlici nebyly nalezeny nátahy či jiné stopy po zkratu či jiném negativním působení el. energie. Část izolace napájecí šňůry shořela vlivem požáru.

### ***Průběh a výsledky zkoušky***

Laboratorní zkoumání výrobku bylo zaměřeno na:

- možnost automatického vypnutí ohřívače vody,
- zda dochází k intenzivnějšímu vypařování vody a
- chování zapnutého ohřívače bez ponoření do vody (na vzduchu).

Za tímto účelem proběhly tři pokusy. Pro pokusy ve vodě (pokus č. 1 a č. 2) byl zvolen plastový kbelík o objemu 10 l s plastovým uchem. Jednalo se o kbelík kónického tvaru o horním průměru 25,5 cm, výšky 26 cm.

Na kovovém krytu ohřívače, a to na prvním otvoru a na šestém otvoru, byly umístěny termočlánky typu NiCr, kterými byla měřena povrchová teplota ohřívače. Při pokusu č. 1 a č. 2 byl další termočlánek měřící teplotu vody ponořený v blízkosti ohřívače. Následně byl el. spotřebič zapojen do el. sítě. Během pokusu byla měřena teplota a hodnoty se zaznamenávaly průběžně prostřednictvím univerzální měřící ústředny - datalogger ALMEMO 5690-2M. Odečet teplot při prvních dvou pokusech byl v cyklu 15 sekund, při třetím pokusu v pěti sekundových cyklech.

#### ***Vyhodnocení prvního pokusu [2, 3]***

*První pokus* byl zaměřen na funkčnost termočláunku topného tělesa ohřívače. Termočlánek byl označen tepelnou hodnotou 75 °C. Na začátku pokusu č. 1 byl termočlánek zcela ponořen do vody, hladina vody cca 4 cm nad horní částí termočláneku. První pokus trval 4 hodiny a skládal se ze sedmi cyklů. Během cyklů došlo k rozpojení termostatu v teplotním intervalu 79,4 - 88,4 °C. Během pokusu docházelo k odpařování vody. Na počátku byla hladina ve výšce 22,5 cm, po ukončení pokusu ve výšce 19,5 cm. V době ukončení pokusu byl termočlánek ohřívače ponořen z poloviny do vody.

#### ***Vyhodnocení druhého pokusu [2, 3]***

V případě *druhého pokusu* byla při zahájení pokusu horní část termočláunku ponořena těsně pod hladinu vody. Pokus probíhal celkem 04h:28min:30s od zapojení do el. sítě. Během této doby došlo k 52 cyklům. Doba cyklů se zkracovala z třinácti minutového ohřevu na minutový interval a doba znovusepnutí termostatu z 31min:30s min na 1 min 15 sekund. Přestože v druhé polovině pokusu nebyl termočlánek ponořen do vody, docházelo k jeho opakovanému omývání. Druhý pokus byl ukončen v době, kdy ohřívač byl ponořen do vody pouze do výšky druhého otvoru krytu, a bylo zřetelné rozehrátí krytu topného tělesa do žlutočervené barvy. Termokamerou byla naměřena povrchová teplota topného tělesa 260 °C. Po tomto pokusu bylo topné těleso stále funkční, pouze na krytu tělesa byl viditelný pruh vyžehnaného kovu. Na RTG snímku nebylo viditelné poškození odporového drátu, byl celistvý. Funkčnost topného tělesa byla potvrzena i prostřednictvím multimetru.

### Vyhodnocení třetího pokusu [2, 3]

Během *třetího pokusu* byl ohřívač umístěn na vzduchu, mimo vodu. Měřící termočlánky byly umístěny opět na první a šestý otvor ohřívače (nad sebou).

Časový průběh od zapojení:

- v 6. vteřině je zřetelně vidět druhým otvorem shora rozžhavený kovový kryt topného tělesa žluté barvy,
- v 9. sekundě zřetelné rozžhavení kovového krytu - viditelné všemi otvory nad sebou, následně se objevují záblesky a odlet žhavých částic,
- od 25. sekundy viditelné plameny,
- 30. vteřina odpojení ohřívače z el. sítě,
- 45. vteřina odpadnutí plastového spodního konce, následuje odpadávaní žhavých částic.

Během tohoto pokusu č. 3 byla naměřena termočlánkem umístěným ve spodním otvoru maximální teplota 728 °C, průměrná teplota na termočlánku na pozici 1 (horní otvor) byla 428 °C.

Pokus č. 3 byl kontinuálně zaznamenáván prostřednictvím termokamery, jejíž výstupem je radiometrický záznam. Ze záznamu je zřejmé, že během 5 sekund od zapojení dochází k rapidnímu nárůstu teploty krytu topné spirály (viditelná místa otvory krytu ohřívače) na 437 °C, v 15. sekundě je dosažena teplota nad 730 °C, v 18. sekundě teplota nad 900 °C, po 25. sekundě dosahuje teplota již 1000 °C (viditelné plameny). Ve 30. sekundě je odpojen ohřívač z el. sítě, teplota klesá pod 1000 °C a po dobu dalších třiceti sekund se teploty pohybují nad 700 °C. V čase první až druhé minuty od odpojení dochází dále k poklesu teplot, teploty se pohybují v intervalu cca 650 - 450 °C. Teploty na krytu topného tělesa se pohybují nad 400 °C až do doby, kdy je ohřívač ponořen do vody pro rychlé uhašení.



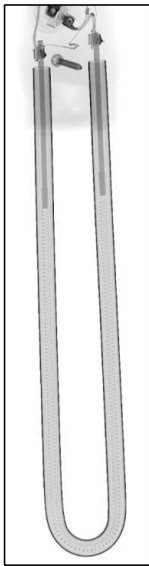
Obr. 1 Topné těleso ohřívače odebrané z požářiště

Po zchladnutí bylo provedeno zadokumentování stavu ohříváče, byl odejmut kryt a zadokumentován stavu topného tělesa (obr. 2). Na krytu topného tělesa je vidět zřetelné poškození krytu topné spirály. Na RTG snímku je zřetelné poškození topné spirály (obr. 5), kdy došlo k úbytku kovového materiálu a poškození odporového vlákna. Nefunkčnost topné spirály byla potvrzena i prostřednictvím multimetru.

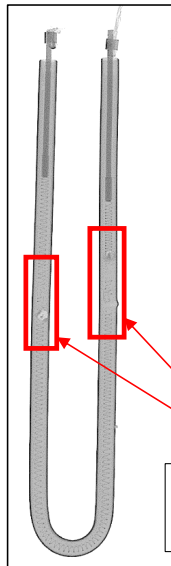


Obr. 2 Topné těleso ohříváče po pokusu č. 3

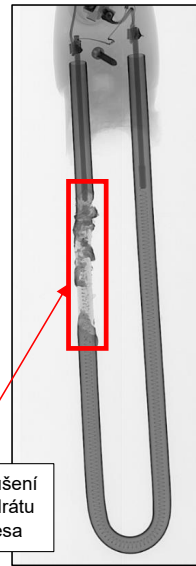
Na obr. 3 - 5 je porovnání RTG snímků topných těles, kde obr. 3 znázorňuje funkční topné těleso (výrobek č. 1). Na obr. 4 je RTG snímek topného tělesa odebraného z požářiště (vzorek č. 1). Na obr. 5 je znázorněno topné těleso po pokusu č. 3.



Obr. 3 RTG snímek nepoškozeného topného tělesa



Obr. 4 RTG snímek vzorku z požářiště



Obr. 5 RTG snímek výrobku po 3. pokusu

Oblast s přerušeni odporového drátu topného tělesa

## Závěr

Během pokusů bylo zjištěno, že pokud je ohřívač i termostat ponořený pod vodu, termočlánek plní svou funkci, a to spíná a rozspíná se v závislosti na teplotě vody. Během těchto cyklů dochází k odpařování vody, což má za následek to, že termostat po určité době již není zcela ponořen pod vodu. Termostat je označen hodnotou regulace 75 °C. Z provedených pokusů je zřejmé, že vypíná až při vyšších teplotách.

Při pokusech bylo prokázáno, že pokud je termostat nad vodou (na vzduchu) a zároveň je omýván horkou vodou, dochází k jeho opakovanému spínání a rozspínání. Cykly sepnutí a rozpojení termostatu jsou pak velmi krátké (cca 30 sekundové až minutové).

V případě, kdy termostat již nebyl omýván horkou vodou, tedy nebyla dosažena potřebná teplota pro rozpojení, nedochází k ochlazení ohřívače, dojde rychle k ohřevu topné spirály s vizuálním efektem - barva kovu žlutá/žlutočervená.

Při posledním pokusu byl ohřívač umístěn zcela mimo vodu, pouze na vzduchu. Během 6 sekund došlo k rozehrání kovové spirály do žluté barvy. Přestože byl ohřívač vody v čase 30 sekund odpojen od el. sítě, docházelo dále k odpadávání hořících plastových částí, odlétávání žhavých kovových částí kovového krytu topného tělesa. Během tohoto pokusu č. 3 byla dosažena naměřená maximální teplota na krytu ohřívače 728 °C, průměrná teplota na termočlátku na pozici 1 (horní otvor) byla 428 °C. Prostřednictvím termokamery byla naměřena teplota topného tělesa vyšší jak 1000 °C. Během tohoto pokusu došlo k porušení odporového drátu, a tedy i nefunkčnosti topné spirály.

Vzhledem k provedeným pokusům je možné konstatovat, že daný požár způsobil ohřívač vody, který byl umístěn v plastovém kbelíku. Uživatel vyjmul ohřívač z vířivky a vložil jej do kbelíku. Avšak vidlici přívodní šňůry neodpojil od sítě, vidlice byla zapojena do zásuvky s časovým spínačem. Voda se během opakovaného spínání termočlátku odpařovala, kovové těleso nebylo ochlazováno, a tím došlo ke vzniku horkého povrchu a k následnému rozšíření požáru na okolní hořlavé předměty (dřevěné skříně). Během pokusu bylo prokázáno, že dochází k rozletu žhavých částí kovu topného tělesa, které přispěly k rozvoji požáru. Tím, že uživatel ponorného ohřívače nedodržel podmínky požární bezpečnosti elektrického spotřebiče [4], došlo ke vzniku požáru.

## Použitá literatura

- [1] Dospubné z.: <https://allegro.cz/nabidka/ohrivac-2500w-pro-bazen-vodni-lazne-ohrivac-14225375032>.
- [2] MV GR̂ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, Protokol o zkoumání vzorku a výrobku. ECUD: 5223007831. 2023.
- [3] MV GR̂ HZS ČR, Institut ochrany obyvatelstva, Odborné vyjádření. ECUD: 5223007831. 2023.
- [4] Zákon č. 133/1985 Sb., o požární ochraně, ve znění pozdějších předpisů.

# CFD simulace metanového hořáku s důrazem na modelování turbulence

Ing. Aleš Palkovič<sup>1</sup>

doc. Dr. Ing. Milan Jahoda<sup>1</sup>

Ing. Lucie Hasalová, Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vysoká škola chemicko - technologická v Praze

Technická 5, 166 28 Praha

<sup>2</sup>MV-GR HZS ČR, Technický ústav požární ochrany

Písková 42, 143 00 Praha

palkovia@vscht.cz

## Klíčová slova

CFD, simulace hoření, Ansys Fluent, výpočetní síť, turbulence.

## Úvod

Numerické simulace jsou dnes již nedílnou součástí požárního inženýrství. Vzhledem k povaze požárů je třeba v simulacích popsat kromě turbulentního proudění také chemickou reakci a sdílení tepla radiací. Obecně je v CFD simulacích k dispozici několik matematických modelů pro popis každého zmíněného jevu. Výběr nejvhodnějšího modelu je pro dosažení správných výsledků klíčový. Uživatel CFD softwaru by si tedy měl být vědom rozdílů mezi jednotlivými modely, aby tak mohl dospět k erudovanému závěru, jaké modely s jakým nastavením jsou pro jeho konkrétní aplikaci vhodné. Tento příspěvek je zaměřen převážně na turbulentní modely v kombinaci s výpočetní sítí. Rozdíly jsou demonstrovány na příkladu metanového hořáku. Simulace je vytvořena v programu Ansys Fluent.

## Turbulence a výpočetní síť

Nejčastěji používanou skupinou modelů v CFD simulacích je metoda Reynoldsových středovaných Navier-Stokesových rovnic (RANS) [1], v nichž je veškerá turbulence modelována, a tedy kompletně ovlivňována nastavením daného modelu. Metoda velkých vírů (LES) [1] počítá většinu vírů přímo a pouze jejich část je modelována. Toto rozdělení závisí na velikosti výpočetní sítě, neboť modelovány jsou pouze víry, které jsou menší než velikost buňky. V literatuře je uváděno, že 80 % kinetické turbulentní energie by mělo být počítáno přímo, aby LES poskytoval relevantní výsledky [2]. Simulace s LES modelem běžně vyžadují jemnější síť, a jsou tak časově náročnější.

V literatuře jsou uváděna různá doporučení týkající se toho, jakou zvolit velikost buňky pro konkrétní LES simulaci. Kromě výše zmiňovaných 80 % turbulentní kinetické energie je možné vypočítat integrální velikost vírů ( $L$ ) na základě turbulentních veličin z předběžného RANS výpočtu. Velikost buňky je

pak volena v rozmezí  $L/12$  až  $L/5$  [3]. V požárních aplikacích je doporučena velikost buňky počítána na základě charakteristického průměru požáru ( $D^*$ ) v rozmezí  $D^*/20$  až  $D^*/4$  [4].

Výše zmíněné turbulentní modely a doporučení týkající se volby velikosti sítě jsou aplikovány na příkladu metanového hořáku s průměrem 37 cm. Tento příklad byl vybrán z databáze pracovní skupiny MaCFP (Measurement & Computation of Fire Phenomena), která shromáždila dobře popsané experimenty za účelem systematického rozvoje modelování požárních aplikací [5, 6].

### Závěr

V příspěvku je na příkladu metanového hořáku prezentováno, při jakém nastavení se vypočtené výsledky nejvíce shodují s experimentálními daty. V této simulaci bylo dosaženo nejvyšší shody při použití LES turbulentního modelu s buňkou o velikosti 25 mm. Tato velikost odpovídá doporučení  $D^*/16$ . Předkládaná simulace je však poměrně detailní, a tak jsou diskutována rovněž variantní nastavení v případě simulací globálnějšího charakteru.

### Použitá literatura

- [1] ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS, 2021.
- [2] STEPHEN, P.B.: Ten questions concerning the large-eddy simulation of turbulent flows. *New journal of Physics*, 2004, 6.1: 35.
- [3] BAGGETT, J.S.; JIMENEZ, J.; KRAVCHENKO, A.G.: “Resolution requirements in large-eddy simulations of shear flows”. In: *Annual research briefs* (1997), pp. 51-66.
- [4] Fire Dynamics Simulator User’s Guide, NIST, 2021.
- [5] MERCI, B.; TORERO, J.L.; TROUVE, A.: Call for participation in the first workshop organized by the IAFSS Working Group on Measurement and Computation of Fire Phenomena. *Fire Safety Journal*, 2016, 82: 146-147.
- [6] MaCFP database, <https://github.com/MaCFP/macfp-db>.



## CELSPAC - FIREexpo - Výzkumná část projektu prevence zdravotních rizik

**Mgr. Aleš Pindur, DiS.<sup>1,3</sup>**

**doc. RNDr. Pavel Čupr, Ph.D.<sup>2</sup>, Mgr. Katarína Řiháčková, Ph.D.<sup>2</sup>,  
Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.<sup>2</sup>, Mgr. Nina Pálešová<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Masarykova univerzita, Fakulta sportovních studií  
Kamenice 753/5, 625 00 Brno

<sup>2</sup>Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta  
Kamenice 753/5, 625 00 Brno

<sup>3</sup>MV-GR HZS ČR, Školní a výcvikové zařízení HZS  
Trnkova 85, 628 00 Brno

380785@mail.muni.cz, ales.pindur@cez.cz, pavel.cupr@recetox.muni.cz,  
katarina.rihakova@recetox.muni.cz, jana.navratilova@recetox.muni.cz,  
nina.palesova@recetox.muni.cz

### Klíčová slova

Hasiči, zdraví, biomonitoring člověka, perfluoralkylové látky, polycyklické aromatické uhlovodíky, složení těla, fyzická kondice.

### Úvod

Je známo, že „hasičská“ profese patří mezi vysoce rizikové (Fent et al., 2013; J. Laitinen et al., 2012). Zásah je stresovým prostředím, často doprovázeným vysokými teplotami, zplodinami hoření, členitým terénem a dalšími faktory, které kladou vysoké nároky na zasahující hasiče. Nedávné výzkumy naznačují, že riziko výskytu některých závažných onemocnění hasičů, může úzce souviset s jejich pracovní zátěží. Ti sice podléhají stejným rizikovým faktorům jako obecná populace (například genetickým, či environmentálním), ale navíc jsou při plnění služebních povinností vystavováni dalším fyzikálním, chemickým, či biologickým vlivům (Dobraca et al., 2015; Rotander et al., 2015).

Při požárech působí na hasiče mnoho nebezpečných chemických látek, mezi něž patří polycyklické aromatické uhlovodíky (PAHs) jako součást zplodin hoření a perfluorované látky (PFCs), které jsou mimo jiné využívány i jako zhasěče hoření v hasicích pěnách. Ke zvýšené inhalační a dermální expozici těchto látek může docházet zejména při hašení požárů a při tréninkových aktivitách v přípravě na výkon jejich povolání (Laitinen et al., 2014).

Schopnost podat adekvátní výkon, je jedním z nejdůležitějších požadavků pro kvalitně odvedenou činnost u zásahu a může také ovlivnit míru expozice toxickým látkám a tím i výsledná zdravotní rizika. Dobrá fyzická zdatnost proto jedním ze základních předpokladů výkonu tohoto povolání. Je také jedním z hlavních faktorů ovlivňujících nejen rychlost nástupu únavy a následně náchylnost ke zraněním ale

také k akutním a chronickým komplikacím neúrazového charakteru, které jsou dominantní příčinou úmrtí hasičů (náhlá zástava oběhu, intoxikace). Zásadním rizikovým faktorem pro vznik úrazových a neúrazových komplikací na místě zásahu, jsou mj. dehydratace, přehřátí, desadaptace na zátěž, nadváha a obezita (Garner et al., 2013; Hur et al., 2015; Kong et al., 2010; Park et al., 2011; Rhea et al., 2004; Son et al., 2014).

Z výše uvedených informací lze usuzovat, že o takto náročném povolání je potřeba nejen při výzkumu uvažovat v celém kontextu, do kterého je nutné začlenit i vliv primárně preventivního chování v tématech výživy, vhodné suplementace, sportovního tréninku či psychologie a expozice nebezpečným chemickým látkám. (Magnusson et al., 2015).

Výzkumný projekt CELSPAC - FIREexpo je součástí širšího konceptu, který přináší do praxe vědecky podložená opatření a doporučení, která mohou vést k upevnění fyzického a duševního zdraví českých hasičů. Cílem výzkumné studie CELSPAC - FIREexpo je zjistit, jak hasičská profese ovlivňuje biologické markery expozice širokému portfoliu nebezpečných chemických sloučenin a markery účinků u hasičů a jak mohou tyto změny souviset se zdravím hasičů. Tyto znalosti pokládají základy pro opatření, která mohou pomoci zmírnit zdravotní následky způsobené rizikovými faktory hasičské profese. Úzká spolupráce Školního a výcvikového zařízení Hasičského záchranného sboru ČR pro profesionální hasiče a mezioborového výzkumného týmu RECETOX a Fakulty sportovních studií Masarykovy univerzity, vede ke kvalitnímu prakticky orientovanému výzkumu, který pomáhá chránit ty, kteří chrání Nás. (Řiháčková et al., 2023, Pálešová et al., 2023, Pálešová et al., 2024, Pálešová et al., 2024, Pindur et al., 2024). <https://www.recetox.muni.cz/hear/projects/celspac-fireexpo>.

## **Metody:**

Od začátku projektu v lednu 2019 do poloviny roku 2020 bylo k účasti na výzkumu nabráno téměř 170 účastníků ze tří skupin populace: i) profesionální hasiči, ii) noví hasiči v rámci Nástupního odborného výcviku a iii) kontrolní skupina. Všichni účastníci vyplnili expoziční dotazníky a podstoupili testy fyzické kondice, tělesného složení a odběry krve a moči pro biochemické vyšetření a analýzy markerů expozice a účinku. Kontrolní skupina podstoupila toto testování dvakrát, rekruti HZS čtyřikrát tak, aby byly viditelné změny markerů v konkrétních fázích výcviku. Všechny biologické vzorky byly zpracovány, rozděleny na alikvoty a uloženy v biobance CELSPAC (zařízení, které zajišťuje bezpečné a kvalitní uložení všech vzorků pro další použití). Ve studii CELSPAC - FIREexpo bylo zpracováno a uskladněno téměř 4000 alikvotů moči a téměř 10000 alikvotů žilní krve, krevního séra nebo krvinek.

## Výsledky:

- Hasiči mají zvýšenou hladinu perfluorovaných a polyfluorovaných látek v séru oproti běžné populaci.
- Některé vzorky překročily bezpečnou hodnotu pro perfluorované a polyfluorované látky.
- Trénink v kontejneru vede k zvýšení hladiny metabolitů PAH v moči.
- Délka kariéry nebo věk a dárcovství krve ovlivnily sérové hladiny perfluorovaných a polyfluorovaných látek hasičů.
- Výsledky naznačují, že vyšší expozice směsi sloučenin PAHs a perfluorovaných a polyfluorovaných látek je spojena se zvýšením bilirubinu a změnou sérových lipidů, což může vést k nepříznivému kardiometabolickému profilu.
- U hasičů byly pozorovány vyšší hodnoty některých těžkých kovů, Olovo bylo pozitivně asociováno s cholesterolem a triglyceridy a Cadmium bylo negativně spojeno s HDL cholesterolem.
- Směs kovů (loidů) byla pozitivně asociována s cholesterolem ( $\beta = 14,75$ , 95 %  $CrI = 2,45-29,08$ ), LDL ( $\beta = 15,14$ , 95 %  $CrI = 3,39-29,35$ ) a TG ( $\beta = 14,79$ , 95 %  $CrI = 0,73-30,42$ ), zatímco negativně s HDL ( $\beta = -14,96$ , 95 %  $CrI = -25,78$  až  $-1,8$ ).
- Všechny dosavadní výsledky tohoto výzkumu jsou shrnuty v následujících impaktovaných časopisech, stažitelných ve formátu Open Access (OA - DOI):  
 Řiháčková et al., 2023 - <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163298>  
 Pálešová et al., 2023 - <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114215>  
 Pálešová et al., 2024 - <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.4c00272>  
 Pálešová et al., 2024 - <https://doi.org/10.1007/s00420-024-02059-x>  
 Pindur et al., 2024 - <https://doi.org/10.5817/StS2024-2-4>

## Závěr

V současné době jsme ve fázi interpretace prvních výsledků studie a dokončujeme další laboratorní rozbory a rozbory dat. Zaměřujeme se například na poly- a perfluoralkylové látky (PFAS), které se často používají v hasičských pěnách, polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), které jsou produkty nedokonalého spalování organických látek, nebo zpomalovače hoření (FR) a mnoho dalších, včetně chemických látek uvedených ve Stockholmské úmluvě. Tyto sloučeniny mohou mít negativní účinky na lidský organismus a tím i na jeho zdraví. Další markery nám poskytují informace o úrovních poškození DNA, metylaci DNA, amarkeru regulace epigenetické genové exprese, oxidativním stresu, antioxidační kapacitě, aktivitě hormonů štítné žlázy, stresových hormonech a dalších. To vše jsou markery, které mohou být ovlivněny expozicí chemickým sloučeninám, vysokou zátěží fyzickou aktivitou a stresem a mohou být spojeny s negativními zdravotními účinky nebo zhoršením zdraví.

**Doporučení:**

- Dlouhodobý biomonitoring hasičů
- Identifikace hlavních zdrojů expozice a jejich eliminace/minimalizace
- Záznam expozičního počtu, frekvence a podstaty zásahů (zejména pokud dochází k chemické expozici)
- Sledování biologických efektů expozice chemickým látkám
- Poskytování informací a vzdělávání hasičů v oblasti (chronické) expozice chemickým látkám a jejich možných zdravotních důsledků
- Správná dekontaminace ochranných prostředků a pracovního/tréninkového prostředí
- Při tréninku použití materiálů s minimálním obsahem škodlivých chem. látek

**Použitá literatura**

- [1] DOBRACA, D.; ISRAEL, S.; MCNEEL, R.; MIAOMIAO, W.; RYSZARD, G.; JUNE-SOO, P. et al. (2015).: “Biomonitoring in California Firefighters: Metals and Perfluorinated Chemicals.” *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 57 (1). Wolters Kluwer Health:88-97.
- [2] FENT, K.; EISENBERG, J.; EVANS, D.; SAMMONS, D., (2013).: Evaluation of dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in firefighters, *Health Hazard Evaluation Report2010-0156-3196*, 90s.
- [3] LAITINEN, J.A.; JANI, K.; JANNE, K.; HANNU, K. (2014).: “Firefighters’ Exposure to Perfluoroalkyl Acids and 2-Butoxyethanol Present in Firefighting Foams.” *Toxicology Letters* 231 (2):227-32.
- [4] LAITINEN, J.; MÄKELÄ, M.; MIKKOLA, J.; HUTTU, I. (2012).: Firefighters multiple exposure assesment in practice, *Toxicology Letters*, 213, 129-133. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.06.005>.
- [5] ROTANDER, A.; LEISA, MAREE, L.T.; LESA, A.; MARGARET, K.; JOCHEN, F.M. 2015.: “Elevated Levels of PFOS and PFHxS in Firefighters Exposed to Aqueous Film Forming Foam (AFFF).” *Environment International* 82:28-34.
- [6] RHEA, M.R.; ALVAR, B. A.; GRAY, R. (2004).: Physical fitness and job performance of firefighters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(2), 348-352.
- [7] MAGNUSSON, S., & HULTMAN, D. (2015).: *Modell Skelleftea | Healthy Firefighter*.
- [8] GARNER, J.C.; WADE, CH.; GARTEN, R.; CHANDER, H.; ACEVEDO, E. (2011).: The influence of firefighter boot type on balance. *International Journal of Industrial Ergonomics* 43 (2013) 77-81.
- [9] HUR, P.; PARK, K.; ROSENGREN, K.; HORN, G.P.; HSIAO, E.T. (2014).: Effects of air bottle design on postural control of firefighters, *Applied Ergonomics* 48 (2015) 49-55.

- [10] KONG, P.W.; BEAUCHAMP, G.; SUYAMA, J.; HOSTLER, D. (2009): Effect of fatigue and hypohydration on gait characteristics during treadmill exercise in the heat while wearing firefighter thermal protective clothing, *Gait & Posture* 31 (2010) 284-288.
- [11] PARK, K.; ROSENGREN, K.S.; HORN, G.P.; SMITH, D.L.; HSIAO-WECKSLER, E.T. (2011): Assessing gait changes in firefighters due to fatigue and protective clothing. *Safety Science* 49 (2011) 719-726.
- [12] SON, S.; BAKRI, I.; MURAKI, S.; TOCHIHARA, Y. (2013): Comparison of firefighters and non-firefighters and the test methods used regarding the effects of personal protective equipment on individual mobility, *Applied Ergonomics* 45 (2014) 1019-1027.
- [13] ŘIHÁČKOVÁ, K.; PINDUR, A.; KOMPRDOVÁ, K.; PÁLEŠOVÁ, N.; KOHOUTEK, J.; ŠENK, P.; NAVRÁTILOVÁ, J.; ANDRÝSKOVÁ, L.; ŠEBEJOVÁ, L.; HŮLEK, R.; ISMAEL, M.; ČUPR, P. (2023): The exposure of Czech firefighters to perfluoroalkyl substances and polycyclic aromatic hydrocarbons: CELSPAC - FIREexpo case-control human biomonitoring study. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT. NETHERLANDS: ELSEVIER*, 2023, roč. 881, July 2023, s. 1-12. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163298>.
- [14] PÁLEŠOVÁ, N.; MAITRE, L.; STRATAKIS, N.; ŘIHÁČKOVÁ, K.; PINDUR, A.; KOHOUTEK, J.; ŠENK, P.; ANNA BARTOŠKOVÁ, A.; GREGOR, P.; VRIJHEID, M.; ČUPR, P. (2023): Firefighters and the liver: Exposure to PFAS and PAHs in relation to liver function and serum lipids (CELSPAC-FIREexpo study). *International Journal of Hygiene and Environmental Health. Elsevier*, 2023, roč. 252, July 2023, s. 1-12. ISSN 1438-4639. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114215>.
- [15] PÁLEŠOVÁ, N.; BLÁHOVÁ, L.; JANOŠ, T. et al. (2024): Exposure to benzotriazoles and benzothiazoles in Czech male population and its associations with biomarkers of liver function, serum lipids and oxidative stress. *Int Arch Occup Environ Health* 97, 523-536 (2024). <https://doi.org/10.1007/s00420-024-02059-x>.
- [16] PÁLEŠOVÁ, N.; ŘIHÁČKOVÁ, K.; KUTA, J.; PINDUR, A.; ŠEBEJOVÁ, L.; ČUPR, P. (2024): Internal Flames: Metal(loid) Exposure Linked to Alteration of the Lipid Profile in Czech Male Firefighters (CELSPAC-FIREexpo Study). *ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY LETTERS. UNITED STATES: AMER CHEMICAL SOC*, 2024. ISSN 2328-8930. Dostupné z: <https://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.4c00272>.
- [17] PINDUR, A.; VAJDA, P.; ŘIHÁČKOVÁ, K.; KALINA, J.; KUNCOVÁ, M.; REGULI, Z.; ČUPR, P. (2024): Relationship between personality profile and physical condition in the CELSPAC-FIREexpo study of newly-recruited firefighters in training. *Studia Sportiva*. Dostupné z <https://doi.org/10.5817/StS2024-2-4>.

## Případové studie použití modelu FlamMap k posouzení rizikových míst pro šíření přírodních požárů

Markéta Poděbradská<sup>1,2</sup>

Lucie Kudláčková<sup>1,2</sup>, Jana Beranová<sup>3</sup>, Jan Novotný<sup>1</sup>, Radka Mašková<sup>3</sup>, Emil Cienciala<sup>3</sup>, Lucie Hasalová<sup>4</sup>, Václav Vystrčil<sup>4</sup>, Pavel Zahradníček<sup>1</sup>, Jan Balek<sup>1</sup>, Monika Bláhová<sup>1,2</sup>, Charles McHugh<sup>5</sup>, Miroslav Trnka<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>CzechGlobe - Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i

Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

<sup>2</sup>Mendlova univerzita v Brně, Ústav agrosystémů a bioklimatologie

Zemědělská 1, 613 00 Brno

<sup>3</sup>IFER - Ústav pro výzkum lesních ekosystémů, s.r.o.

Čs. armády 655, 254 01 Jílové u Prahy

<sup>4</sup>MV-GR HZS ČR, Technický ústav požární ochrany

Písková 42, 143 00 Praha 4 - Modřany

<sup>5</sup>Missoula Fire Sciences Laboratory, US Department of Agriculture

5775 US Highway 10 W, Missoula, MT 59808-9361

podebradska.m@czechglobe.cz

### Klíčová slova

Požáry v přírodním prostředí, modelování chování požárů, FlamMap, hodnocení požárního rizika.

### Úvod

Přestože přírodní požáry v minulosti nepředstavovaly pro Českou republiku zásadní hrozbu, s měnícím se klimatem a nárůstem suchých a horkých epizod můžeme očekávat nárůst v jejich počtu a závažnosti [1]. V důsledku častějších a intenzivnějších přírodních požárů, globálního růstu populace a výstavby na rozhraní intravilánu a přírodní krajiny rostou náklady na kontrolu a hašení požárů [2, 3]. Celková připravenost na tuto skutečnost a porozumění faktorům, které hrají roli při šíření požárů ve volné přírodě, mohou přispět k efektivnějšímu zásahu při požární události, efektivnějšímu vynaložení dostupných prostředků a tedy mohou eliminovat škody na majetku, lidském zdraví a přírodních zdrojích.

### Metodika

FlamMap [4] je jednou z globálně nejpoužívanějších aplikací sloužících k analýze chování přírodních požárů. Byl vyvinut v Missoula Sciences Laboratory a ke komplexní analýze požárního chování používá soubor několika různých modelů [např. 5, 6, 7]. FlamMap využívá informace z osmi prostorových vrstev, které charakterizují terén, typ paliva, jeho množství a vertikální rozložení v každém bodě analyzovaného prostoru. FlamMap může být spuštěn buď v základní verzi s konstantními environmentálními podmínkami (využití např. pro klasifikaci území

na základě rizikovitosti případného požáru), nebo ve verzi FARSITE, kdy jsou využity pozorované (případně hypotetické) meteorologické podmínky a je simulován postup konkrétního požáru. V rámci prezentace budou představeny výsledky modelování pomocí základní verze FlamMap [8] i použití verze FARSITE [9].

## Výsledky

Vhodnost použití modelu FARSITE v podmínkách České republiky byla vyhodnocena na případové studii požáru v NP České Švýcarsko (2022). Model byl použit pro simulaci a rekonstrukci pozorovaného požárního chování a odhadu finálního perimetru shořelé oblasti. Byla také provedena citlivostní analýza a vyhodnoceny jednotlivé faktory, které přispěly k rychlému postupu požáru. Tato studie byla publikována v recenzovaném časopise [10] a byla součástí zprávy pro Ministerstvo životního prostředí (Jaké faktory ovlivnily vznik a šíření požáru v NP České Švýcarsko?).

Verze FARSITE byla také následně použita pro posouzení požárně rizikových situací na území NP Šumava (oblast Srní - Spálený a Kostelní vrch [11]) a v Lázeňských lesích Karlových Varů [12]. Rizikové lokality byly vybrány zadavatelem projektu (správa NP Šumava, HZS Karlovy Vary). Pro tyto lokality byl simulován průběh požáru za nepříznivých podmínek počasí, které byly vytipovány z historických meteorologických dat daných oblastí.

Základní verze modelu FlamMap byla použita pro klasifikaci celého území Srní (NP Šumava) a Karlovarského kraje podle charakteristik požárního chování (lineární rychlost šíření požáru, délka plamene, tepelný výkon fronty požáru), za konstantních meteorologických podmínek, které byly určeny na základě analýzy historických dat o počasí. Na základě této klasifikace lze určit místa, která jsou riziková z pohledu zvládnutí případného požáru.

## Závěr

Pomocí modelu FlamMap jsme zrekonstruovali požární chování v NP České Švýcarsko, což přineslo nové poznatky z pohledu kontextu střední Evropy, kde byl model FlamMap použit poprvé pro reálný případ požáru. Použití modelu bylo validováno pomocí pozorovaných požárních charakteristik a shořelé plochy. Na základě této studie usuzujeme, že model FlamMap je vhodným nástrojem pro studium požárního chování v podmínkách střední Evropy. Pomocí modelových scénářů a citlivostní analýzy jsme dospěli k závěru, že při požáru hrál roli především silný nárazový vítr a palivový typ vegetace.

Analýza oblastí v NP Šumava a Karlovarském kraji přinesla poznatky o požárním chování a postupu potenciálně vzniklého požáru v rizikových lokalitách vytipovaných místními experty. Zároveň jsme pomocí základní verze modelu FlamMap identifikovali místa v krajině, kde by chování vzniklého požáru bylo rizikové z hlediska jeho kontroly a uhasitelnosti. Výsledky této analýzy mohou být dále použity pro preventivní opatření požární ochrany, managementu porostů a důkladnějšímu monitoringu těchto oblastí.

## Použitá literatura

- [1] TRNKA, M. et al.: *Observed and estimated consequences of climate change for the fire weather regime in the moist-temperate climate of the Czech Republic*. Agric. For. Meteorol. 310, 108583. (2021).
- [2] The United States Department of the Interior.: *Budget Justifications and Performance Information Fiscal Year 2021*. <https://www.predictiveservices.nifc.gov/IMSR/2019/20191227IMSR.pdf>. (2021)
- [3] STEIN, S.M.; MENAKIS, J.; CARR, M.A.; COMAS, S.J.; STEWART, S.I.; CLEVELAND, H.; BRAMWELL, L.; RADELOFF, V.C. *Wildfire, Wildlands, and People: Understanding and Preparing for Wildfire in the Wildland-Urban Interface A Forests on the Edge Report wildlands, and people: understanding and preparing for wildfire in the wildland-urban interface-a Forests on the Edge re.* (2013)
- [4] FINNEY, M.A. 2005.: *The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire*. Forest Ecology & Management 211: 97-108.
- [5] ROTHERMEL, R.C. 1972.: *A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels*. Research Paper INT-RP-115. Ogden, UT: USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station. 52 p.
- [6] Van WAGNER, C.E. 1977.: *Conditions for the start and spread of crown fire*. *Canadian Journal of Forest Research*. 7(1): 23-34. <https://doi.org/10.1139/x77-004>.
- [7] NELSON RM, Jr (2000).: *Prediction of diurnal change in 10-h fuel stick moisture content*. *Canadian Journal of Forest Research* 30, 1071-1087. doi:10.1139/CJFR-30-7-1071.
- [8] FINNEY, M.A. 2006.: *An overview of FlamMap fire modeling capabilities*. In: *Fuels management-how to measure success: conference proceedings*. 2006 March 28-30; Portland, Oregon. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 213-220. (647 KB; 13 pages)
- [9] FINNEY, M.A. 1998.: *FARSITE: Fire Area Simulator-model development and evaluation*. *Research Paper RMRS-RP-4 Revised*. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. (1,667 KB; 47 pages)
- [10] KUDLÁČKOVÁ, L.; PODĚBRADSKÁ, M.; BLÁHOVÁ, M. et al.: *Using FlamMap to assess wildfire behavior in Bohemian Switzerland National Park*. Nat Hazards 120, 3943-3977 (2024). <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06361-8>.
- [11] BERANOVÁ, J. et al. (2023).: *Analýza požárních rizik lesních ekosystémů v NP Šumava v rozsahu Územního pracoviště Srní dle metodiky stanovení indexu požárního rizika na lesní ekosystémy a navazující nelesní plochy*.
- [12] BERANOVÁ, J. et al. (2024): *Vytvoření mapy indexu požárního rizika pro Lázeňské lesy města Karlovy Vary a modelová predikce šíření požáru z rizikových lokalit*.



## Termický rozklad grafénového materiálu vyrobeného z odpadového PET

doc. Ing. Peter Rantuch, PhD.

prof. Ing. Jozef Martinka, PhD.

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Materiálovotechnologická fakulta  
so sídlom v Trnave

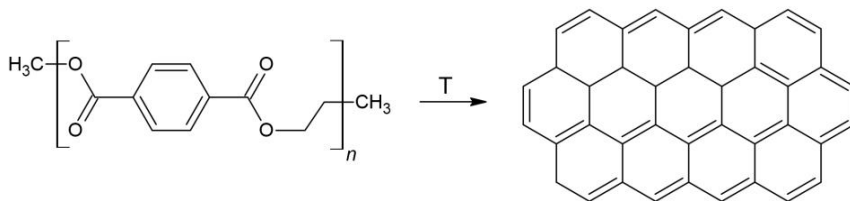
Ulica Jána Bottu č. 2781/25, 917 24 Trnava, Slovenská republika  
peter.rantuch@stuba.sk

### Kľúčové slová

Grafén, termogravimetrická analýza, polyetyléntereftalát, odpad.

### Úvod

Do roku 2015 bolo vyprodukovaných približne 6 300 miliónov ton plastového odpadu, z čoho asi 79 % skončilo na skládkach alebo v prírodnom prostredí. Ak budú súčasné trendy pokračovať, do roku 2050 bude toto množstvo predstavovať 12 000 miliónov ton. [1] Jedným z najčastejšie sa vyskytujúcich plastov je polyetyléntereftalát (PET), využívaný predovšetkým na výrobu jednorazových obalov na nápoje. Jeho výroba tvorí v Európe 5 % celkovej produkcie plastov.[2] Jedným zo spôsobov jeho využitia je výroba materiálov na báze grafénu pomocou vysokých teplôt [3] (Obr. 1).



Obr. 1 Zjednodušená schéma výroby grafénového materiálu z odpadového PET

Keďže materiály s vysokým obsahom uhlíka majú pri horení retardačný účinok, otvárajú sa pre získaný materiál možnosti využitia v oblasti ochrany pred požiarmi. Z tohto dôvodu bol podrobený termogravimetrickej analýze, ktorá poskytuje jeho základnú charakteristiku z hľadiska stability pri zvýšenej teplote.

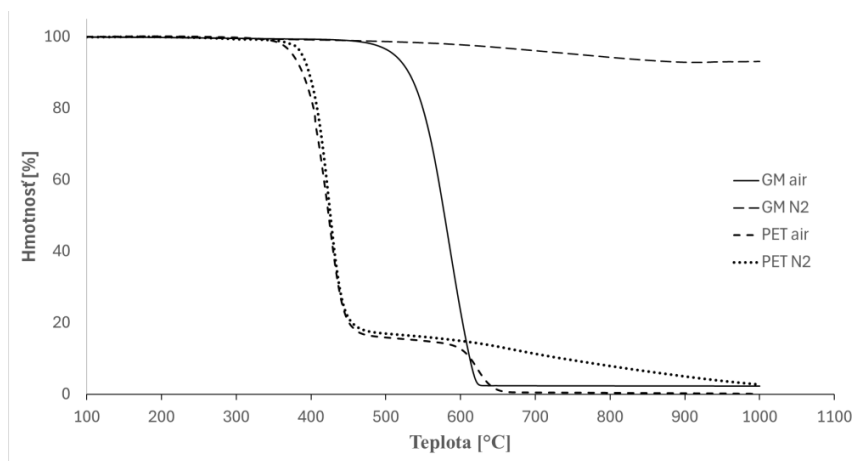
### Metodika

Výroba grafénového materiálu prebiehala postupom popísaným El Essawy a kol. [3]. Ako vstupný materiál bol použitý recyklát PET. Vzorka bola vložená do hermeticky uzatvoreného reaktora a následne zahrievaná do 800 °C. Táto teplota bola udržiavaná po dobu 60 minút.

Termogravimetrické merania pôvodného PET a výsledného grafénového materiálu boli uskutočnené v čistom dusíku a v atmosfére simulujúcej vzduch (20 % O<sub>2</sub> + 80 % N<sub>2</sub>) pri rýchlosti ohrevu 5 °C.min<sup>-1</sup>. Merania prebiehali v teplotnom rozsahu 100 °C až 1000 °C.

## Výsledky

Na základe nameraných údajov boli zostrojené grafické závislosti hmotnosti vzoriek od teploty zobrazené na Obr. 2. Ako je zrejmé, grafénový materiál je tepelne výrazne stabilnejší než pôvodný PET, pričom v dusíku je jeho hmotnostný úbytok len veľmi mierny.



Obr. 2 Termogravimetrická analýza grafénového materiálu (GM) a polyetyléntereftalátu (PET) v dusíku (N<sub>2</sub>) a vo vzduchu (air)

## Záver

Z uskutočnenej termogravimetrickej analýzy vyplýva, že vyrobený grafénový materiál je v dusíku stabilný približne do teploty 600 °C a v kyslíku do 460 °C. Vzhľadom na jeho tepelnú stabilitu a vysoký obsah uhlíka je možné predpokladať, že v podmienkach požiaru môže pôsobiť ako retardér horenia. Je preto vhodné ho odporučiť na ďalší výskum, ktorý bude viac zohľadňovať podmienky panujúce počas požiaru.

## PodĎakovanie

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-16-0223. Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-21-0187.

**Použitá literatura**

- [1] GEYER, R.; JAMBECK, J.R.; LAW, K.L.: Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science advances*, 2017, 3.7: e1700782.
- [2] Plastics Europe. Plastics - the facts 2023. 2023.
- [3] EL ESSAWY, NOHA A., et al.: Green synthesis of graphene from recycled PET bottle wastes for use in the adsorption of dyes in aqueous solution. In: *Ecotoxicology and environmental safety*, 2017, 145: 57-68.

# Návrh ochranných opatření proti vzniku rizik požiarov a výbuchov pre technologické zariadenie Alkoxylačnej jednotky

**Ing. Rastislav Svaček<sup>1</sup>**

**doc. Ing. Eva Mračková, PhD.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>SLOVECA, Sasol Slovakia, spol. s r.o.

Mostová 2, 811 02 Bratislava, prevádzka Nováky, Slovenská republika

<sup>2</sup>Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta

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

rastislav.svacek@sk.sasol.com, mrackova@tuzvo.sk

## Kľúčové slová

Požiar, výbuch, horľavá kvapalina, horľavý plyn, technologické zariadenie, Etylénoxid (EO), riziká, ochranné opatrenia.

## Úvod

V technologickom zariadení Alkoxylačnej jednotky sa uskutočňuje výroba Alkoxylátov. Výroba sa začleňuje do chemického priemyslu, kde vznikajú riziká a incidenty požiarov a výbuchov. Vznik nebezpečenstva požiaru alebo výbuchu je zákonitý proces, ktorý predpokladá priestorové a časové koncentračné pomery medzi horľavou látkou, oxidačným činidlom, katalyzátorom a iniciačným zdrojom. [1] Pravdepodobnosť, že sa tieto koncentračné pomery môžu vyskytnúť v technologickom procese, určuje nebezpečenstvo požiaru resp. výbuchu objektu, technologického zariadenia, alebo technologického postupu. [2] Táto pravdepodobnosť je však závislá na veľkosti jednotlivých potenciálnych nebezpečenstiev a to na stave, vlastnostiach a množstve horľavej látky, oxidačného prostriedku, katalyzátora a ďalej na veľkosti energie a druhu iniciačného zdroja. [3, 4] Stupeň potenciálneho nebezpečenstva závisí na vlastnostiach a množstve látky, ktorá je k dispozícii, alebo ktorú možno očakávať a na prevádzkovom stave objektu a zariadenia, na stave daného okolia.

Cieľom je podrobná analýza vzniknutého reálneho incidentu zariadenia Alkoxylačnej jednotky v zahraničí a návrh opatrení na ochranu pred výbuchom a požiarom technologického zariadenia, identickej Alkoxylačnej jednotky na Slovensku.

Alkoxylácia sa delí na dva stupne. Prvý stupeň etoxylácia sa označuje chemická reakcia, pri ktorej sa na zlúčeninu s aktívnym vodíkom aduje (pridáva) jedna alebo viac molekúl etylénoxidu (EO). Podobne sa definuje druhý stupeň propoxylácia, pri ktorej sa na zlúčeninu s aktívnym vodíkom aduje jedna alebo viac molekúl propylénoxidu (PO). Hlavnou spracovávanou surovinou je Etylénoxid, ktorý je vzhľadom na svoje fyzikálne a chemické vlastnosti najnebezpečnejšou chemickou

látkou procesu, pretože jeho dolná medza výbušnosti (DMV) je 2,6 % a horná medza výbušnosti (HMV) je 99,9 %.

Pre návrh opatrení bol zvolený reálny incident výbuchu reaktora Alkoxylačnej jednotky z roku 2020 v Španielsku. Uvedený incident bol zvolený preto, lebo presne uvedený typ Alkoxylačnej jednotky (obr. 1) pracuje na Slovensku. Analýza výbuchu reaktora R-3131 bola vykonaná bariérovou technikou systematickej analýzy príčin (BSCAT). Analýza bola vybraná z množstva iných používaných analýz, ako najvhodnejšia pretože spája moderné prístupy riadenia bezpečnosti založené na rizikách so systematickým vyšetrovaním základnej príčiny incidentu.

Bariérová technika systematickej analýzy príčin (BSCAT) je skratka pre „The Barrier Systematic Cause Analysis Technique“ „bariérovú techniku systematickej analýzy príčin“. Je škálovateľná, čo umožňuje jej aplikáciu na akúkoľvek zložitosť incidentu a poskytuje minimálnu štruktúru s primeranou flexibilitou na podporu procesu kreatívneho myslenia. Na základe získaných informácií sa spätne identifikuje reťazec udalostí od konečných následkov, v tomto prípade výbuchu v U3100. Reťazec udalostí v chronologickom poradí predstavuje zvyšujúce sa riziko smerom k vrcholnej udalosti a konečné dôsledky, ktoré môžu súvisieť s rôznymi škodami týkajúcimi sa personálu, životného prostredia, výroby a majetku.



Obr. 1 Jednotka U 3100 pred explóziou [5]

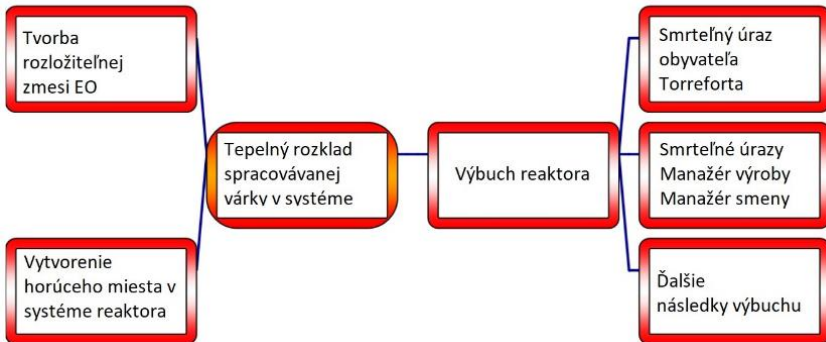
Reťazcom kľúčových udalostí a posledných známych prevádzkových parametrov ako teplota, tlak, množstvo nadávkovaného etylénoxidu (EO) boli vyhodnotené pravdepodobnosti, ktoré viedli od prvej odchýlky, od normálnej a bezpečnej prevádzky cez ďalšiu eskaláciu ku konečným následkom incidentu. (obr. 2a), b)) a (obr. 3) Ďalším krokom bola identifikácia a hodnotenie opatrení a následne analýza základných príčin. Tieto opatrenia musia byť schopné zabrániť výskytu ďalšej udalosti a tým zastaviť vývoj reťazca udalostí.



a)

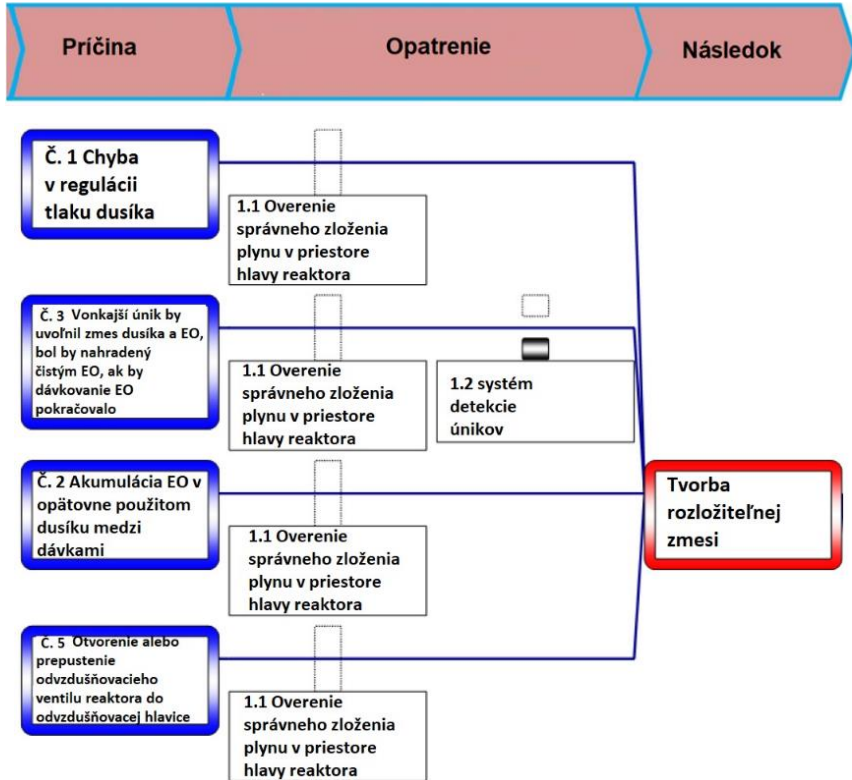
b)

Obr. 2 Reálny príklad reaktora jednotky U 3100 po explózii a), zakreslené vzdialenosti odletu úlomkov b) [5]



Obr. 3 Reťazec udalostí vedúcich k havárii zariadenia Alkoxylačnej jednotky

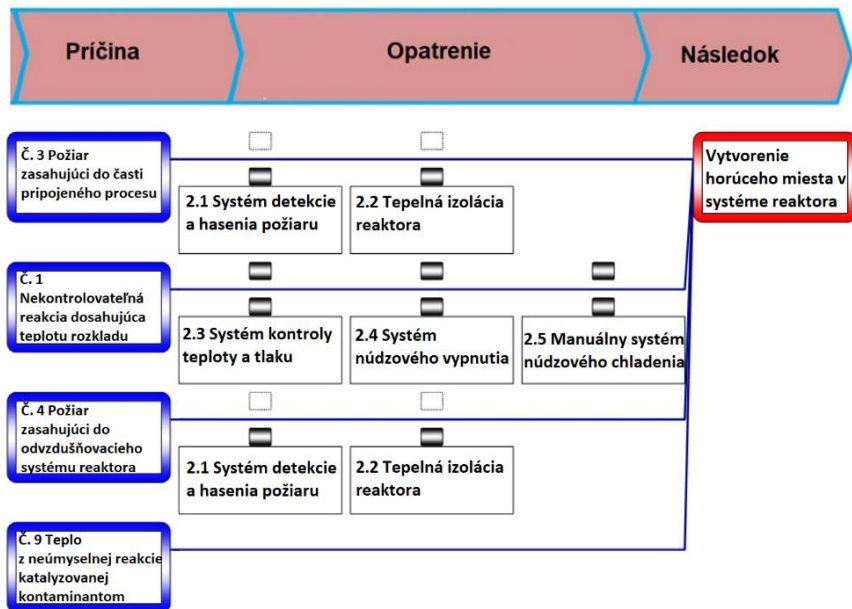
Z reálného incidentu výbuchu a následného požiaru reaktora jednotky U 3100 bol vypracovaný metodikou analýzy BSCAT návrh opatrení na ochranu pred výbuchom a požiarom technologického zariadenia Alkoxylačnej jednotky. (obr. 4, obr. 5)



Obr. 4 Popis opatrení pred rizikom tvorby rozložiteľnej zmesi EO

## Záver

Na vznik incidentu vplývali technologické procesy a vplyv horľavých kvapalín a plynov, nebezpečenstvá reaktorov a hlavne fyzikálne a chemické vlastnosti Etylénoxidu. Návrh opatrení na ochranu pred výbuchom a požiarom technologického zariadenia Alkoxylačnej jednotky, metodikou analýzy BSCAT boli vyhodnotené nasledovné opatrenia - overenie správneho zloženia plynu v priestore hlavy reaktora, systém detekcie úniku, systém detekcie a hasenia požiaru, tepelná izolácia reaktora, systém kontroly teploty a tlaku, systém núdzového vypnutia, manuálny systém núdzového chladenia, pretlakový poistný ventil a systém na zabránenie tepelnému rozkladu na ochranu pred požiarom a výbuchom technologického zariadenia Alkoxylačnej jednotky.



Obr. 5 Popis opatrení pred rizikom vytvorenia horúceho miesta v systéme reaktora

## PodĎakovanie

*Predložená práca bola podporovaná Vedeckou grantovou agentúrou na základe zmluvy č. VEGA-1/0115/22 (100 %).*

## Použitá literatúra

- [1] BUSSENIUS, S. 1982.: *Brand- und Explosionschutz in der Industrie*. 1. vyd. Berlin: Staatsdruckerei. 1982. 462 s.
- [2] CURTIS, J.S.: Safe storage of dilute ethylene oxide mixtures in water, *In Plant/ Operations Progress*, Vol. 9, Iss. 2 (1990), pp. 91-97.
- [3] BEL, H.; WEID, C.; HOPWOOD, M.: Chemical explosion at Iqoxe in Tarragona, *Incident Investigation Report*, rev. 1., Hamburg, 2020, 89 s., Report No.: 2020- 9184, Rev. 1.
- [4] GRUMBLES, T.; JACKSON, S.; LENAHAN, R.; STEWART, J.; VOGEL, K.: *Ethylene Oxide Product Stewardship Guidance Manual*. 3. vyd. London, 2007, 172.
- [5] BEL, H.; WEID, C.; HOPWOOD, M.: Chemical explosion at Iqoxe in Tarragona, *Incident Investigation Report*, rev. 1., Hamburg, 2020, 89 s., Report No.: 2020- 9184, Rev. 1.



# Parametrické modelování zuhelnatění dřeva a vývoje trhlin při různých požárních scénářích: Nové poznatky a metodologie

**Ing. Jakub Šejna**

**Ing. Kamila Cáblová, Ph.D.**

**prof. Ing. František Wald, CSc.**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

[jakub.sejna@fsv.cvut.cz](mailto:jakub.sejna@fsv.cvut.cz)

## Klíčová slova

Rychlost zuhelnatění, dřevo, požár, zuhelnatělá vrstva, pravděpodobnost.

## Úvod

V posledních letech se dřevo stalo preferovaným stavebním materiálem díky své udržitelnosti a šetrnosti k životnímu prostředí. S rostoucím využíváním dřeva v stavebnictví je zajištění dostatečné požární odolnosti klíčové. Hlavní výzvou je stanovení hloubky zuhelnatění během požárů, protože rychlost zuhelnatění není konstantní [1]. Pravděpodobnostní přístup je považován za nezbytný pro přesnější odhady [2], zejména při nenormových požárech [3]. Navzdory dostupnosti různých výpočtových metod zjednodušené nebo normové modely často nezohledňují proměnlivou povahu požárních podmínek a heterogenní vlastnosti dřeva. Zvýšená přesnost při výpočtu rychlosti zuhelnatění je klíčová zejména pro určení požární odolnosti dřevěných konstrukcí při přirozených nebo orientovaných požárech. Orientovaný požár je typ požáru, který má výrazně směrový charakter, což znamená, že šíření plamenů a tepla je výrazně ovlivněno určitým směrem nebo faktory, které vytvářejí podmínky pro šíření požáru jedním směrem. Zároveň orientovaný požár je důležitý při navrhování požární odolnosti konstrukcí a hodnocení rizik, protože asymetrické šíření požáru může vést k nečekanému zatížení konstrukcí

Studie zkoumající parametrické pojetí vývoje zuhelnatělé vrstvy na dřevěných sloupech při tzv. orientovaném požáru, navazující na výzkum [4] modelování pyrolýzy dřeva v Room Corner Test (RCT). Požární experimenty v plném měřítku pomocí RCT byly použity k simulaci orientovaných požárních scénářů, které jsou klíčové pro sledování počáteční reakce dřeva při požáru a vývoje zuhelnatělé vrstvy. Tyto experimenty poskytují významné poznatky o chování dřeva za nestandardních podmínek.

Pomocí pravděpodobnostní analýzy tato studie zkoumá detailněji možný vývoj zuhelnatělé vrstvy na smrkových sloupech. Prostřednictvím rozsáhlého statistického souboru dat o smrkovém dřevě jsou zkoumány četné faktory ovlivňující tvorbu zuhelnatělé vrstvy [2].

### **Přechod od deterministického ke stochastickému modelování**

Přestože jsou stochastické modely, které zohledňují náhodnost parametrů, složitější, je jejich potřeba zřejmá. Studie [5], [6] se zabývají stochastickými analýzami hoření dřeva, zvažují proměnné jako tepelné vlastnosti a koeficienty hraničního tepelného toku, ale navazují na zjednodušené modely pro určení zuhelnatělé vrstvy. Zároveň je poukázováno, že běžný předpoklad pro izotermu 300 °C nemusí být pokaždé vhodný a závisí na zvolené teplotní křivce.

Hietaniami [2] vyvinul pokročilý pravděpodobnostní přístup k výpočtu rychlosti zuhelnatění dřeva. Tato metodika zahrnuje různé faktory jako tepelný tok, koncentraci kyslíku a vlhkost, přičemž používá různé pravděpodobnostní rozdělení pro modelování těchto proměnných. Tento přístup umožňuje zohlednit heterogenní vlastnosti dřeva v průběhu času a za různých teplotních podmínek. Hietaniemiho výpočetní metoda významně přesahuje omezení standardních požárních progresí, což ji činí použitelnou pro širokou škálu požárních scénářů.

### **Závěr**

Výzkum potvrdil významný vliv požáru na hoření dřeva a zdůraznil vliv různých požárních parametrů. Empirické výpočty vrstvy zuhelnatění, přestože jsou jednoduché, zahrnují základní charakteristiky požáru a poskytují rychlou a obecně konzervativní metodu. Pokročilé metody založené na fyzikálních principech jsou však nezbytné pro přesné modelování nejen přirozených požárů, ale především pro možné studování chování dřeva v rámci požárně inženýrského přístupu. Modely jako PyCiF [3], které se nespolehlí na kritérium izotermu 300 °C, vyžadují pečlivě zvolené a kalibrované tepelné vlastnosti dřeva. Exotermická povaha hoření dřeva a související generování tepla jsou klíčové faktory v těchto modelech.

Výzkum rovněž zkoumal vliv výkonu hořáků (intenzity požáru) na rychlost zuhelnatění a zdůraznil, že i když je zaměřeno pouze na jeden parametr, nelze ignorovat další. Parametrická studie odhaluje složitý vztah mezi intenzitou požáru, teplotami dřeva a dalšími požárními parametry. Tato studie může být cenná pro další zkoumání pravděpodobnostního přístupu k určování rychlostí zuhelnatění, kdy následná práce se může zaměřit na numerické modelování hoření dřeva v kombinaci s předpovědí vývoje trhlin v zuhelnatělé vrstvě.

**Použitá literatura**

- [1] BUCHANAN, A.H.; A. K. ABU.: *Structural design for fire safety*. Second edition. Chichester: West Sussex, 2017. ISBN 978-047-0972-892.
- [2] HIETANIEMI, J.: A Probabilistic Approach to Wood Charring Rate. VTT Building and Transport. *JULKAISIJA - UTGIVARE - PUBLISHER*, 2005, 2005(1), 1-54. ISSN 951-38-6583-5.
- [3] PEČENKO, R.; HOZJAN, T.: A novel approach to determine charring of wood in natural fire implemented in a coupled heat-mass-pyrolysis model. *Holzforschung*. 2021, 75(2), 148-158. ISSN 1437-434X. Dostupné z: doi:10.1515/hf-2020-0081.
- [4] ŠEJNA, J.; CÁBOVÁ, K.; PEČENKO, R.; HOZJAN, T.; KRÍŠŤANOVÁ, M.; WALD, F.: Validation of a virtual room corner fire test with spruce members and the development of the char layer. In: *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference on Structures in Fire*. Hong Kong: The Hong Kong Polytechnic University, 2022, s. 1093-1102.
- [5] PEČENKO, R.; PLANINC, I.; SVENSSON, S.; HOZJAN, T.: Implementing coupled heat and moisture transfer model in the fire analysis of timber beams. *Fire Safety Journal*. 2019, 107, 170-178. ISSN 03797112. Dostupné z: doi:10.1016/j.firesaf.2018.11.007.
- [6] HUČ, S.; PEČENKO, R.; HOZJAN, T.: Predicting the thickness of zero-strength layer in timber beam exposed to parametric fires. *Engineering Structures*. 2021, 229. ISSN 01410296. Dostupné z: doi:10.6028/NIST.TN.1842

# Požární bezpečnost a statické vlastnosti dřevostaveb: Překonávání výškových limitů pomocí požárně inženýrského přístupu

**Ing. Jakub Šejna**

**Ing. Kamila Cábová, Ph.D.**

**prof. Ing. František Wald, CSc.**

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

[jakub.sejna@fsv.cvut.cz](mailto:jakub.sejna@fsv.cvut.cz)

## **Klíčová slova**

Požárně inženýrský přístup, dřevo, výškové stavby, požární bezpečnost, statika.

## **Úvod**

V posledních letech se dřevostavby stávají stále populárnějším stavebním řešením díky své udržitelnosti a schopnosti vázat uhlík. Dřevo se jeví jako významný materiál v ekologicky udržitelné architektuře, avšak zároveň představuje určité výzvy, zejména z hlediska požární bezpečnosti a statiky. Tento abstrakt představuje aspekty této problematiky pohledem statika a požárního specialisty a zdůvodňuje svůj pohled na požárně inženýrský přístup na zahraničních stavbách.

## **Pohledem požární bezpečnosti**

Dřevostavby jsou ve své podstatě hořlavé, což představuje klíčovou výzvu v oblasti požární bezpečnosti. Během požáru dřevo vytváří ochrannou zuhelnatělou vrstvu, která zpomaluje další hoření a přenos tepla. Tato vrstva však je křehká a mechanicky nedokáže přenášet zatížení. V České republice jsou dřevostavby výškově omezeny normami na 12 metrů, pokud není použit speciální inženýrský přístup. Tento přístup zahrnuje pokročilé numerické modely a experimenty, které umožňují přesnější předpovědi chování nejen dřevěných konstrukcí při požáru. Při správném statickém návrhu bude mít z hlediska požární bezpečnosti například povrchové úpravy stěn, nebo při použití CLT panelů bez povrchové ochrany. Je například důležité zkoumat možnosti šíření plamene pod stropem vlivem hořlavých povrchů a navrhovat požární předěly [1], nebo možnostmi, jak lze počítat množství uvolněného kouře a tepla při hoření dřeva [2, 3]. Jednotlivými postupnými kroky ověřovat, jestli nejsou ohroženy unikající osoby v době evakuace, nebo jestli nejsou ohroženi zasahující hasiči.

## Pohledem statiky

Z pohledu statiky představuje dřevo materiál s velmi zajímavým chováním, pokud je vystaveno požáru. Při hoření dřevo postupně ztrácí pevnost, ale díky zuhelnatělé vrstvě dochází ke zpomalení tohoto procesu. Tento proces je z hlediska statiky důležitý, protože umožňuje konstrukci nést zatížení i během požáru. Výzkumy ukazují, že dřevo si může zachovat dostatečnou pevnost i po ztrátě části materiálu v důsledku požáru. Například sloup o čtvercovém průřezu 200 mm, který by po požáru z každé strany ztratil 24 mm, by mohl být stále dostatečně pevný na to, aby přenášel určité zatížení [4].

V porovnání s ocelovými a betonovými konstrukcemi má dřevo výhodu v nižší hmotnosti a rychlejší výstavbě. Nicméně, dřevěné konstrukce vyžadují pečlivé statické návrhy, zejména v případech výškových budov, kde je nutné zohlednit riziko požáru nejen v návrhu prvků, ale i v návrhu styčniců, které mohou být kritickým článkem konstrukce.

## Pohled na výškové stavby v zahraničí

Výškové dřevostavby, jako jsou Mjøstårnet (81 m) v Norsku a HoHo Wien (84) v Rakousku, představují špičkové příklady inovativního využití dřeva ve výstavbě. V těchto projektech byl použit pokročilý požárně inženýrský přístup, který zahrnuje detailní numerické modely a testování požární odolnosti. I přes použití numerických modelů byly vytypovány detaily a ty byly podrobeny požárním zkouškám, i když by nemusely. Byly navrženy zdvojené systémy pro hašení, pro případ, kdyby jeden měl poruchu. Byly navrženy nehořlavé protipožární předěly po určitém počtu pater, aby se požár vlivem dřeva nemohl šířit dál. Při realizaci byl kladen důraz na preciznost, tedy raději byly postaveny stejným systémem nižší části komplexu a následně až zbylé. Celkově je nutné poznamenat, že pro přípravu projektu bylo věnováno mnoho času, konzultací, oponentských textů a poznatků z výzkumu. A to jen pro to, aby se nic nepřehlédlo.

## Závěr

Dřevostavby představují zajímavé a ekologicky šetrné řešení, které však vyžaduje důkladné zohlednění požární bezpečnosti a statických vlastností. Dřevo jako stavební materiál nabízí mnoho výhod, ale jeho použití ve výškových stavbách je omezeno normami, které lze překonat použitím inženýrského přístupu. Tento přístup, zahrnující pokročilé modelování a experimenty, umožňuje bezpečné využití dřeva i ve vyšších budovách. Projekty jako Mjøstårnet a HoHo Wien dokazují, že je možné realizovat výškové dřevěné konstrukce s vysokými standardy požární bezpečnosti a stability.

**Použitá literatura**

- [1] MADDEN, J.; KRIEF, M.; WIESNER, F.; WU, W.; HILDITCH, R.; ERVINE, A.; LANGE, D. (2024).: Burning Behaviour of a Timber Ceiling: A Bench-Scale Investigation. *Paper presented at the 13<sup>th</sup> International Conference on Structures in Fire (SiF 2024)*, University of Coimbra, Portugal, 19-21 June 2024.
- [2] ŠEJNA, J.; ŠTRAUS, D.; CÁBOVÁ, K.; WALD, F. (2024).: Probabilistic Modelling of Wood Charring Rates: A Parametric Study and Next Steps. *Paper presented at the 13<sup>th</sup> International Conference on Structures in Fire (SiF 2024)*, University of Coimbra, Portugal, 19-21 June 2024.
- [3] PEČENKO, R.; KNĚŽ, N.; HOZJAN, T.; ŠEJNA, J.; CÁBOVÁ, K.; TUREK, G. (2024).: On the Char Front Temperature of Beech (*Fagus sylvatica*). *Wood Science and Technology*, 58(4), 1535-1553. ISSN 1432-5225.
- [4] ŠEJNA, J.; BLESÁK, L. (2022).: *Požární odolnost dřevěných konstrukcí*. Praha: Czech Technical University in Prague. ISBN 978-80-01-07012-3.

## Protivýbuchová ochrana v praxi

**Ing. Ilena Šimoníková**

VVUU, a.s.

Pikartská 1337/7, 716 00 Ostrava-Radvanice

simonikovai@vvuu.cz

### Klíčová slova

Protivýbuchová ochrana, výbuch, bezpečnost, analýza rizik.

Ochrana proti výbuchu se neřeší posledních pár let, ale už mnoho desítek let, přesto jsme svědky mnoha mimořádných událostí a to nejen ve světě, ale také v České republice. Ze statistik HZS ČR můžeme vyčíst, že výbuchů nejsou ročně stovky nebo desítky, ale i ty jednotky případů znamenají vysoké materiální škody a úmrtí lidí.

Tato přednáška má poukázat na důležitost řešení protivýbuchové ochrany již od počátku návrhu technologie a také stavby, ve které je instalována. Velmi často se lze setkat se situacemi, kdy Dokumentace o ochraně před výbuchem je řešena až ve chvíli, kdy si ji vyžádá HZS ČR v rámci povolení stavby nebo kolaudace stavby. V tuto chvíli už je velice těžké v případě, že je něco třeba upravit, toto provést. Ideálně by mělo být řešena protivýbuchová ochrana již v počátku projektu. Jsou zde totiž nadnárodní koncerny nebo zahraniční výrobci a projektanti, kteří danou technologii mají již v jiné zemi instalovanou a chtějí ji instalovat v ČR. V první kroku narážíme na provedení elektroinstalace - krytí IP mnohdy nevyhovuje našim normám o vnějších vlivech. Druhé je neznalost našich specifických ČSN norem (typický příklad je norma pro hořlavé kapaliny ČSN 65 0201+Z1). Od roku 2022 je již v zákoně uveden požadavek, že povinnou součástí projektové dokumentace (ale nejen jí, ale také provozní dokumentace) jsou Protokoly o určení vnějších vlivů. Ty jsou prvotní a základní dokument, který hodnotí povahu zpracovávaných látek a definují prostory s nebezpečím výbuchu. Problémem bývá, že v rámci protokolu nebyly doloženy bezpečnostní listy a požárně technické charakteristiky, které jsou ale zákonnou povinností provozovatelů, aby je měli k dispozici.

Jen při znalosti požárně technických charakteristik a technickobezpečnostních parametrů lze s jistotou definovat prostory s nebezpečím výbuchu a není potřeba se uchylovat k variantě, že látky jsou podobné nebo asi nehoří a nevybuchují.

Když už jsou definovány prostory s nebezpečím výbuchu, je potřeba se soustředit na analýzu rizik iniciačních zdrojů. Vždy na počátku musíme zít možnost výskytu všech 13 možných zdrojů iniciace a ty můžeme postupně vylučovat. Neexistuje situace, kdy iniciační zdroje vyloučíme pro všechny situace, zvláště tam,

kde se pohybují operátoři, údržba apod. Ve všech návodech k použití je napsáno, že zařízení musí být pravidelně kontrolována, ale s uzemňovacími prvky to mnohdy neprobíhá.

Pokud iniciační zdroje nejsme schopni vyloučit (např. u filtračních jednotek odsávacích frézky, pily), je nutné přistoupit k instalaci konstrukční výbuchové ochrany.

V prezentaci jsou rozebrány typické příklady chyb a nedostatečných kontrol zařízení a nesprávného použití explozních prvků v technologii.



# Problematika vstupných údajov do počítačového modelovania popisujúceho prenos tepla v drevenom nosníku zaťaženom tepelným namáhaním

**Ing. Dominik Špilák, PhD.**

Technická univerzita vo Zvolene

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

xspilakd@is.tuzvo.sk

## Kľúčové slová

Počítačové modelovanie, zuhoľňatelná vrstva, vstupné údaje, ANSYS.

## Úvod

Základom pre dosiahnutie presných výstupov z počítačového modelovania vedenia tepla v dreve sú správne zadané vstupné údaje týkajúce sa predovšetkým materiálových vlastností dreva. Kľúčovými premennými sú tepelná vodivosť, hmotnostná tepelná kapacita, entalpia a hustota [1]. Všetky predchádzajúce tepelné vlastnosti dreva závisia od teploty. Významným faktorom je aj obsah vlhkosti, ktorý kompletne mení vlastnosti dreva [2, 3]. Naser [4] a Maraveas [5] vo svojej štúdií vykonali komplexné porovnanie nameraných hodnôt tepelnej vodivosti a hmotnostnej tepelnej kapacity rôznych drevín vystavených tepelnému zaťaženiu od viacerých autorov [1-4, 6-12]. Poukázali na vysoký rozptyl nameraných hodnôt spôsobený rozdielnymi postupmi merania a rôznorodosť meraných drevín. Je preto nepraktické používať hodnoty uvedené v Eurokóde 5 [8] na numerické výpočty, pretože je malá šanca na presné výsledky. Cieľom príspevku je optimalizácia nastavení materiálových vlastností počítačového modelu popisujúceho prenos tepla v drevenom nosníku zaťaženom tepelným namáhaním.

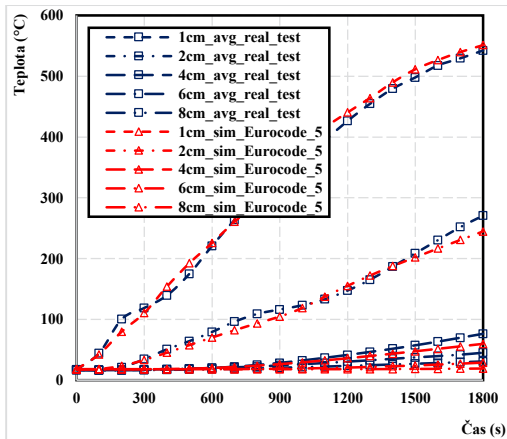
## Metodika

Prvým krokom bolo vykonanie strednorozmerových testov drevených nosníkov zo smrekového dreva zaťažených sálavým zdrojom tepla, získanie informácií o teplotných priebehoch vo vnútri nosníkov počas skúšky, získanie informácií o hustote a vlhkosti dreveného nosníka. Druhým krokom bolo vytvorenie počítačového modelu dreveného nosníka zaťaženého sálavým zdrojom tepla a testovanie rôznych nastavení materiálových vlastností. Materiálové vlastnosti vychádzali z Eurokódu 5 [8] a boli postupne upravované pomocou nameranej počiatočnej vlhkosti dreva a T-history metódy podľa Zhanga [13]. Tepelná vodivosť dreva pri fázovej zmene obsiahnutej vody v dreve bola upravená podľa Chena [14] a Mathura [15]. Hmotnostná tepelná kapacita a entalpia bola upravená podľa výskumu Nasera [4]. Počítačové modelovanie bolo vykonávané v softvéri ANSYS Mechanical 2024 R1 a využitá bola Transient Thermal Analysis.

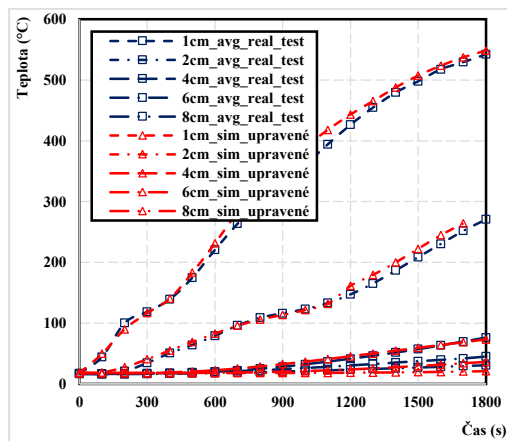
## Výsledky práce

Výsledky počítačového modelovania ukázali, že úprava vstupných nastavení materiálových vlastností dreva prináša signifikantný posun v presnosti výsledkov. Nastavenia podľa Eurokódu 5 (obr. 1a) poskytujú spoľahlivé výsledky s relatívne dobrou presnosťou, avšak ich využitie v prípade rôznej vlhkosti dreva je obmedzené, pretože vstupné údaje o hmotnostnej tepelnej kapacite a tepelnej vodivosti neberú vlhkosť dreva do úvahy. S využitím entalpie je možné do určitej miery napodobniť fázovú premenu vody v dreve pri teplote 100 °C. T-history metóda sa ukázala ako užitočný nástroj, ktorý umožnil presnejšie definovať začiatok a koniec fázovej premeny vody v dreve, ktorý striktné udáva Eurokód 5.

a)



b)



Obr. 1 Porovnanie výsledkov z počítačového modelovania s reálnymi testami:  
a) nastavenia podľa Eurokódu 5; b) upravené nastavenia

Ďalšie spresnenie výsledkov prinieslo zvýšenie tepelnej vodivosti dreva podľa Chena [14] a Mathura [15] v oblasti fázovej premeny vody na hodnotu  $0,45 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  pri teplote  $114,8 \text{ }^\circ\text{C}$ , čím sa dosiahla presnosť  $98,691 \%$  s takmer dokonalým napodobnením teplotného priebehu počas fázovej premeny vody (obr. 1b).

## Záver

Nastavenia podľa Eurokódu 5 poskytujú spoľahlivé výsledky s relatívne dobrou presnosťou, avšak ich využitie v prípade rôznej vlhkosti dreva je obmedzené. S využitím entalpie je možné do určitej miery napodobniť fázovú premenu vody v dreve. Pomocou ďalších úprav sa podarilo dosiahnuť presnosť až  $98,691 \%$ . Z výsledkov modelovania vyplýva, že by mohla existovať korelácia medzi obsahom vlhkosti dreva a maximálnou hodnotou tepelnej vodivosti dreva v oblasti fázovej premeny vody.

## Použitá literatúra

- [1] MALAGA-TOBOLA, U., et al.: Influence of wood anisotropy on its mechanical properties in relation to the scale effect. *International Agrophysics*, 2019. 33(3): p. 337-345. DOI: 10.31545/intagr/110808.
- [2] BARTLETT, A.I.; HADDEN, R.M.; BISBY, L.A.: 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.
- [3] HU, Y.P., et al.: Experimental Study of the Anisotropic Thermal Conductivity of Spruce Wood. *International Journal of Thermophysics*, 2023. 44(8). DOI: 10.1007/s10765-023-03238-7.
- [4] NASER, M.Z.: Properties and material models for common construction materials at elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 2019. 215: p. 192-206. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2019.04.182.
- [5] MARAVEAS, C., et al.: Performance of Timber Connections Exposed to Fire: A Review. *Fire Technology*, 2015. 51(6): p. 1401-1432. DOI: 10.1007/s10694-013-0369-y.
- [6] FRANGI, A.: *Brandverhalten von Holz-Beton-Verbunddecken*. 2001, Birkhäuser.
- [7] JANSSENS, M.L.; WHITE, R.H.: 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>.
- [8] European Committee for, S. and I. British Standards, Eurocode 5: design of timber structure. 1994, Brussels: BSI Brussels.
- [9] KMIECIK, K.: Impact of wood species on the timber beam strength and stiffness under fire. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019. 586(1): p. 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/586/1/012004.

- [10] KAMENICKÁ, Z., et al.: Methods for determining the charring rate of timber and their mutual comparison. *Wood Research*, 2018. 63(4): p. 583-590.
- [11] MACIULAITIS, R.; JEFIMOVAS, A.; ZDANEVICIUS, P.: Research of natural wood combustion and charring processes. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2012. 18(5): p. 631-641. DOI: 10.3846/13923730.2012.720935.
- [12] WALD, F., et al.: *Modelování dynamiky požáru v budovách*. 2017: České vysoké učení technické v Praze.
- [13] ZHANG, Y.Y.C., et al.: 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.
- [14] CHEN, H.Y., et al.: Thermal Conductivity during Phase Transitions. *Advanced Materials*, 2019. 31(6). DOI: 10.1002/adma.201806518.
- [15] MATHUR, V.; ARYA, P.K.; SHARMA, K.: 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 (ICSDG)*. 2020. Jaipur, INDIA.

## Protivýbuchová ochrana staveb v praxi

**Ing. Vojtěch Štrba**

**Ing. Miroslav Mynarz, PhD.**

VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostního inženýrství

Lumírova 13, 700 30 Ostrava-Výškovice

miroslav.mynarz@vsb.cz

### Klíčová slova

Protivýbuchová ochrana staveb.

### Výbuch a vznik šíření tlakových vln

Výbuchy v obytných budovách, případně i v průmyslových objektech nejsou našťastí tzv. na denním pořádku, nicméně k nim dochází.

Výbuch (exploze) je proces, při němž v důsledku uvolnění chemické energie ve velmi krátké době vzniká velké množství výbuchových plynů, majících vysokou teplotu a vysoký tlak. Tyto plyny se v prostoru prudce rozpínají a působí na okolní vzduch, vytlačují ho z jeho původního místa. Tím vzniká tlaková vlna.

Tlak výbuchových plynů postupně v čase klesá, až se jeho hodnota rovná atmosférickému tlaku. V tu chvíli se výbuchová vlna od výbuchových plynů oddělí a šíří se dále v prostoru samostatně. Částice výbuchových plynů se však setrvačností pohybují dále, jejich tlak klesne pod hodnotu atmosférického tlaku (vzniká podtlak) a za výbuchovou vlnou se šíří výbuchová vlna zředění. Vlivem vyššího okolního tlaku vzduchu se výbuchové plyny postupně zastaví a začne jejich zpětný pohyb, tlak v nich postupně roste, až setrvačností mírně přestoupí atmosférický tlak a vytvoří se opět podmínky pro rozpínání výbuchových plynů atd. Je zřejmé, že se jedná o vlastní kmitání (pulsaci) soustavy výbuchových plynů a vzduchu.

Výše bylo zjednodušeně popsáno šíření tlakových vln ve volném prostoru. V případě šíření tlakových vln v uzavřeném prostoru je situace komplikovanější, neboť uvnitř budov není zpravidla volný prostor, v němž by se mohly tlakové vlny volně šířit všemi směry, ale dostávají se do kontaktu s vnitřními konstrukcemi (svislé a vodorovné konstrukce, případně konstrukce spojující různé výškové úrovně) a s nimi interagují, dochází k odezvě konstrukce na tuto tlakovou vlnu.

### Působení tlakové vlny na stavební konstrukce

Při dopadu tlakové vlny na pevnou překážku dochází ke ztlumení a následnému odrazení této vlny. Tímto mechanismem vzniká v konstrukci zatížení, které je co do velikosti rovno dvojnásobek až osminásobek přetlaku v dopadající vlně pro danou vzdálenost od epicentra výbuchu.

Při výbuchu v uzavřeném prostoru (uzavřené místnosti, uvnitř budov nebo technologiích), dojde vlivem odrazů tlakové vlny od vnitřních povrchů (stěny, stropy, podlahy, jiné překážky) k navýšení zatížení přibližně o 50 % a doba trvání přetlaku je pak přibližně dvojnásobná.

### **Následky tlakové vlny**

Tlaková vlna ovšem působí nejen materiální škody, ale bohužel má dopad i na uživatele (obyvatele) zasažených obytných objektů nebo na obsluhu v případě výbuchů v průmyslových objektech nebo areálech.

Na osoby a případně zvířata vyskytující se v objektech působí tlaková vlna nejprve náhlým zvýšením tlaku okolního vzduchu s tím, jak se tlaková vlna šíří prostorem a následně mechanicky, a to prostřednictvím částmi výbuchem poškozených konstrukcí (úlomky zdiva, roztržštěné výplně otvorů aj.). Skokově (náhle) zvýšený tlak okolního vzduchu, kterému zpravidla není schopno tělo bez následků odolat, vyvolá stlačení částí těla vystavených tlakové vlně, což způsobí stlačení vnitřních orgánů a jejich následné poškození.

### **Příčiny výbuchů**

Příčina výbuchů (explozí) může být různá. Obecně se může jednat o výbuch způsobených osobou nebo osobami záměrně anebo technická závada, ať už na technickém vybavení budovy (rozvody hořlavých látek, plynů a směsí) nebo na nějakém technickém nebo strojním vybavení, případně k výbuchu dojde z důvodu špatného technického stavu rozvodů nebo zařízení. Nelze samozřejmě vyloučit ani kombinaci několika těchto důvodů.

### **Podklady pro návrh opatření protivýbuchové ochrany**

Podkladem pro návrh opatření protivýbuchové ochrany je analýza rizik, která má za úkol stanovit parametry výbuchu, ke kterému může v konstrukci (objektu) nebo mimo ní dojít a v jakém časovém intervalu (době opakování). To znamená stanovit uniklé množství hořlavých výbušných látek (náplně cisteren, skladových tanků či nádrží aj.), které mohou být z nejrůznějších důvodů porušeny, případně stanovit množství výbušniny, se kterou se v daném provozu pracuje apod.

### **Rozvoj technologií**

Stejně jako v minulých staletích, i v tom současném jsme svědky řady inovací ve všech oblastech lidského života. Dochází k řadě průlomových zjištění ve vědě a v technice, do běžného života proniká řada nových produktů, výrobků a technologií. Namátkou lze jmenovat například snahy o větší využití jiných druhů energií, než na jaké jsme dosud zvyklí, např. vodík.

Nové technologie však skýtají kromě nesporných výhod i nová rizika jak pro koncové uživatele, tak i pro okolí staveb. Ne vše je domyšleno do nejmenších detailů a ne vždy lze stávající budovy zcela adaptovat a přizpůsobit novým prvkům, do nichž budovávají.

## Legislativa a praxe

V průmyslových provozech, kde se pracuje s výbušným prostředím a výbušnými látkami se bezesporu stávající normy a příslušné bezpečnostní předpisy aplikují a jistě i vyžadují při pravidelných kontrolách a revizích.

Jak je tomu však v obytných budovách a budovách občanské vybavenosti? Jsou v technických místnostech (strojovnách) přijata taková opatření, která pomohou následky případných výbuchů technologických prvků v nich umístěných, zmírnit? Máme na mysli odlehčovací klapky, odlehčovací otvory a statické posouzení hlavních nosných konstrukcí budovy na účinky výbuchů.

Jsou výplně otvorů směřujících z místností, v nichž se nachází potencionální zdroj tlakové vlny (kotel, strojní zařízení) do veřejného prostoru takového charakteru, že v případě tlakové vlny nedojde k šíření střepů z rozbitého skla v podobě mraku letících drobných fragmentů, který by se dal nejlépe přirovnat ke šrapnelové střele?

Jsou ve veřejných garážích, v nichž je připuštěno parkování vozidel na alternativní paliva (LPG, CNG případně vodík) navrhnut a v praxi řádně osazen adekvátní počet čidel úniku plynu a je zajištěno odvětrání parkovacích prostor? Jsou prováděny pravidelné kontroly funkčnosti těchto čidel a odvětrání?

Je povědomí o způsobu posouzení účinků výbuchů na stavební konstrukce mezi statiky dostatečné?

## Použitá literatura

- [1] Protivýbuchová ochrana staveb, Celoživotní vzdělávání v oblasti protivýbuchové ochrany staveb; <http://pvoch.cvut.cz>.
- [2] KRATOCHVÍL, V., et. al.: *Tlakové láhve z hlediska požární bezpečnosti*, Ostrava, SPBI, z.s. 2009, 155 s., ISBN 978-80-7385-070-8.
- [3] ČSN EN 1991-1-7 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-7: Obecná zatížení - Mimořádná zatížení; prosinec 2007.
- [4] ČSN EN 14460 Konstrukce odolné výbuchovému tlaku; prosinec 2018.
- [5] Archiv Ing. Štrby.

## Protipožiarne bezpečnosť PUR a PIR panelov

**Ing. Ludmila Tereňová, PhD.**

Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika  
ludmila.terenova@tuzvo.sk

### Kľúčové slová

Sendvičový panel, polyizokyanurát (PIR), polyuretán (PUR), plne rozvinutý požiar, požiarne odolnosť, požiarne nebezpečný priestor.

### Úvod

Sendvičové panely sú stále viac využívané na realizáciu priemyselných stavieb pre ich rýchlu výstavbu, ekonomickú úspornosť, dobrú tepelnú izoláciu a požiarne odolnosť. Ich požiarne odolnosť však závisí od materiálu tepelnej izolácie, čo v konečnom dôsledku môže mať vplyv na veľkosť požiarne nebezpečného priestoru okolo posudzovanej budovy.

Cieľom príspevku je zistenie správania sa PIR a PUR panelov v podmienkach plne rozvinutého požiaru a stanoviť požiarne odolnosť sendvičových panelov z polyizokyanurátu (PIR) s deklarovanou požiarne odolnosťou a z polyuretánu (PUR) pomocou modelového testu požiarnej odolnosti.

V súčasnej dobe sme obklopení najrôznejšími materiálmi a materiálovými kombináciami vo výrobkoch. Pri väčšine priemyselných výrob dochádza k premene surovín na polovýrobky. Mnohé z nich znamenajú potenciálne nebezpečenstvo. Preto je potrebné poznať materiállovú podstatu surovín používaných v priemyselnom odvetví a len tak možno vhodnými úpravami minimalizovať nežiaduce účinky materiálov [1].

Už v dávnej minulosti vznikla potreba hodnotenia materiálov z hľadiska protipožiarnej ochrany. Hlavné vývojom nových materiálov vznikla potreba nových postupov pri testovaní materiálov ako sú plasty, polyuretánové peny a iné. V snahe zachytiť všetky špecifiká, ktoré materiál má na vznik a vývoj požiaru a vykonať objektívny test vznikla veľká škála modifikovaných upravených starých metód ale aj celkom nových metód [2].

V dôsledku prítomnosti kovového plechu u sendvičových panelov dochádza k oneskoreniu vznietenia, alebo k zapáleniu dôjde len cez otvory medzi panelmi t.j. spojami [3]. Ako sa bude plameň alebo požiar šíriť, závisí od toho, ako ľahko sa budú spoje otvárať a ako plyny unikajú medzi dvoma oceľovými plechmi. Celkové správanie požiaru je teda značne závislé od celého systému. Preto sú dôležité vlastnosti, ako je dizajn spojov a detaily spojov. Ďalším veľmi dôležitým faktorom je, ako sú panely pripevnené k nosnej konštrukcii, ak nie sú samonosné [4].



## Metodika a materiál

V nasledujúcej tab. 1 sú uvedené technické parametre vzoriek PIR a PUR a údaje o požiarnej odolnosti, získané z technických listov priamo od výrobcu. Tepelnoizolačné jadro vzoriek sa nachádza medzi dvoma pozinkovanými plechmi hrúbky 0,50 mm. Rozmery vzoriek sú 1000x1000 mm.

Tab. 1 Technické parametre PIR a PUR panelov [5]

| Parameter   | PIR                    | PUR                 |
|---|------------------------|---------------------|
| Hrúbka panelu (mm)  | 120                    | 60                  |
| Hmotnosť pre plechy ext. 0,5 mm/int. 0,5 mm (kg.m <sup>-2</sup> )   | 13,28/13,17            |                     |
| Hmotnosť panelu (kg.m <sup>-2</sup> )                               |                        | 10,4                |
| Koeficient tepelnej vodivosti (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ) | $\lambda_d = 0,019$    | $\lambda_d = 0,022$ |
| Koeficient prestupu tepla U (W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> )   | 0,16                   | 0,37                |
| Trieda reakcie na oheň STN EN 13501-1 [6]                           | B-s1, d0               | F                   |
| Požiarne odolnosť STN EN 13501-2 [7]                                | EW 30 DP3<br>EI 20 DP3 | neuvedená           |

Pri experimente bol použitý keramický radiačný panel, ako zdroj sálavého tepla, ktorým sa simuloval priebeh vnútorného plne rozvinutého požiaru. Priebeh tepelného namáhania je daný teplotnými krivkami vo forme teplotnej-časovej závislosti [8]. Rozmery radiačnej plochy keramického radiačného panela sú 480x280 mm a jeho maximálny výkon je 50,5 kW.m<sup>-2</sup> s maximálnou teplotou radiačnej plochy 935 °C.

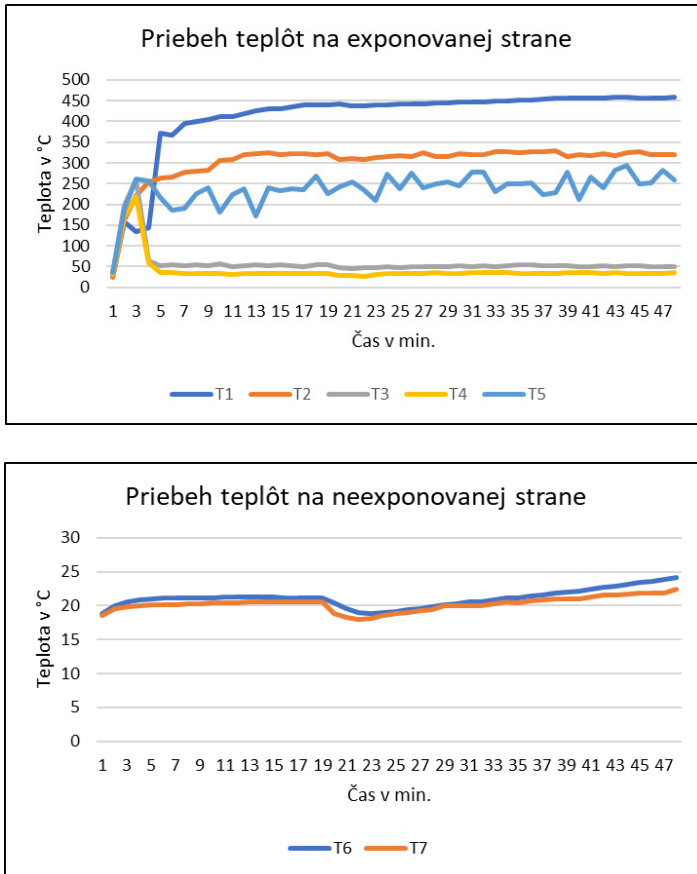
Pri používaní keramického radiačného panel bol zdrojom energie propánbután s konštantným prietokom. Prietok plynu sa meral ciachovaným laboratórnym prietokomerom. Vzorka bola od keramického radiačného panela vzdialená 200 mm. tejto vzdialenosti zodpovedá intenzita vyžarovania sálavého tepla 43,1 kW.m<sup>-2</sup>.

Teplota sa snímala termočlánkami Ni-Cr, ktoré boli rovnomerne rozmiestnené na exponovanej a neexponovanej strane sendvičových panelov. Termočlánky T1 až T5 boli na exponovanej strane, termočlánky T6 a T7 na neexponovanej strane a jeden termočlánok (T8) meral teplotu prostredia. Hodnoty teplôt sa zaznamenávali na prístroji ALMEMO v intervale 10 sekúnd. Čas trvania skúšky každej vzorky bol určený 45 minút.

## Výsledky a vyhodnotenie

### Sendvičový panel PIR

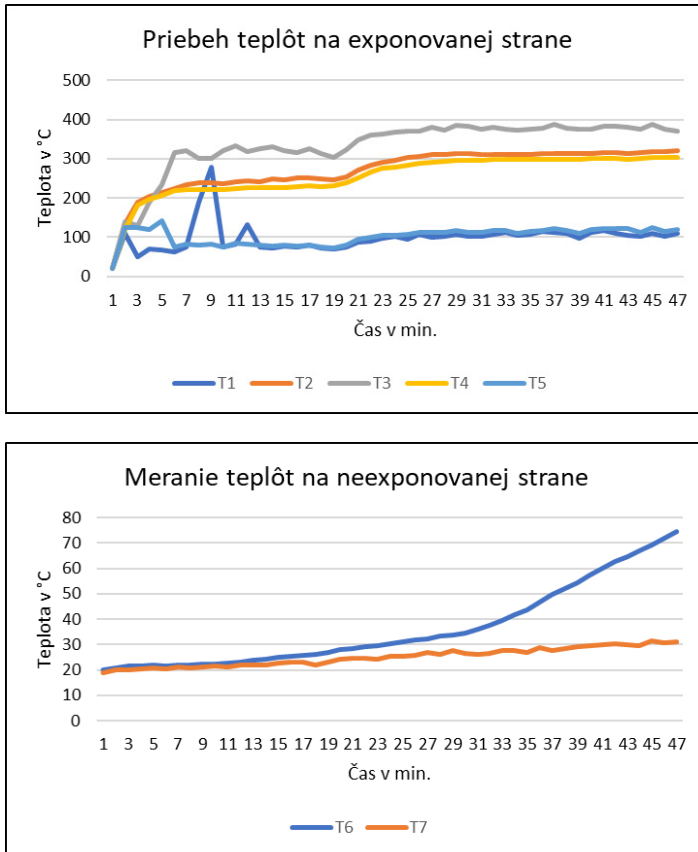
Z obr. 1 je zrejmé, že s pribúdajúcim časom teplotné krivky stúpajú, hlavne na termočlánkoch T1 a T2 na exponovanej strane vzorky a zostali funkčné počas celého merania. Najvyššia teplota bola nameraná na termočlánku T1 a to 457,9 °C. Najvyššia nameraná teplota na neexponovanej strane dosiahla 23,9 °C.



Obr. 1 Priebeh teplôt na exponovanej a neexponovanej strane PIR

### Sendvičový panel PUR

Z grafu priebehu teplôt na exponovanej strane vzorky (obr. 2) je viditeľný nárast teploty hlavne na termočlánkoch T2, T3, T4. Najvyššia nameraná teplota bola na termočlánku T3 a to 387,3 °C. Z grafu je zrejmé, že teplota na termočlánku T1 v 9 min. vyskočila na 279,6 °C, čo bolo spôsobené manipuláciou odlepeného termočlánku. Najvyššia dosiahnutá teplota na neexponovanej strane vzorky bola na termočlánku T6 a to 74,4 °C, čo bolo spôsobené úbytkom vnútorného jadra sendvičového panelu a sálavé teplo prešlo až na neexponovanú stranu.



Obr. 2 Priebeh teplôt na exponovanej a neexponovanej strane PUR

### Celkové zhodnotenie výsledkov

Povrch sendvičového panela PIR z oceľového plechu o hrúbke 0,50 mm sa pri vyššie uvedených teplotách mierne vydul. Vnútročné jadro tvoril polyizokyanurát, ktorý bol po ukončení skúšky ohorený do hĺbky približne 40 mm. Na povrchu sa vytvorili čierne uhlíky, ktoré boli podobné uhlíkom pri horení dreva (obr. 3). Hrúbka výplne PIR panelu bola v niektorých miestach 117 mm a jej úbytok bol spôsobený opadaním zuhoľnatej časti.



Obr. 3 Zmena vnútorného jadra a zmena hrúbky PIR panelu

Sendvičový panel PUR prešiel pôsobením sálavého tepla väčšími zmenami. Pri vyššie uvedených teplotách došlo k viditeľnému ohoreniu a vydutiu plechu. Vnútročné jadro tvorené polyuretánom bolo po ukončení skúšky skoro celé spálené (obr. 4). Úbytok vnútorného jadra bol z hrúbky 60 mm na 7 mm. Počas celého testovania bolo cítiť nepríjemný štiplavý zápach, ktorý dráždil oči a dýchacie cesty.



Obr. 4 Zmena vnútorného jadra a zmena hrúbky PUR panelu

## Záver

Na základe výsledkov experimentu je možné súhlasiť s parametrami, ktoré uvádzajú výrobcovia PIR a PUR panelov. Sendvičový panel PIR sa v podmienkach pôsobenia vysokých teplôt správa oveľa lepšie a spoľahlivejšie ako sendvičový panel PUR. Môžeme skonštatovať, že pri testovaní sendvičového panela PIR bola dosiahnutá vyššia teplota ako pri sendvičovom paneli PUR. Napriek vyššej teplote

sendvičový panel PIR svojou štruktúrou vnútorného jadra odolal účinkom sálavého tepla, ktorým sme simulovali vnútorný plne rozvinutý požiar, bez väčšej straty. Vykazuje požiaru odolnosť 20 až 30 min pri splnení kritéria tepelnej izolácie, radiácie a celistvosti a je bezpečný aj z hľadiska rizika prenesenia požiaru na susedné budovy. Sendvičový panel PUR nevyhovel modelovému testu požiarnej odolnosti a pri určovaní bezpečných odstupových vzdialeností sa musí zohľadňovať požiaru otvorenosť obvodovej steny vyhotovenej z PUR panelov.

## PodĎakovanie

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

## Použitá literatúra

- [1] KAČÍKOVÁ, D. a kol. 2011.: *Materiály v protipožiarnej ochrane*. 1 vyd. Technická univerzita vo Zvolene, 367 s. ISBN 978-80-228-2317-3.
- [2] OSVALD, A. a kol. 2009.: *Hodnotenie materiálov pre potreby protipožiarnej ochrany*. Vydavateľstvo Technická univerzita vo Zvolene, 2009. 355 s. ISBN 978-80-228-2039-4.
- [3] WANG, Y.C.; FOSTER, A. 2017.: Experimental and numerical study of temperature developments in PIR core sandwich panels with joint. In: *Fire Safety Journal* [online]. 2017, vol. 90 [cit. 2024-03-01], p. 1-14. Dostupné na internete: &lt;https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711217302540?via%3Dihub&gt;, ISSN 0379-7112.
- [4] VAN HEES, P. 2006.: Fire behaviour of sandwich panels. In: *Flammability Testing of Materials Used in Construction, Transport and Mining* [online]. 2006 [cit. 2024-04-16], p.149-163. Dostupné na internete: &lt;https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9781855739352500065&gt;, ISBN 9781855739352.
- [5] Katalóg panelshop.: *Všetky dôležité informácie o sendvičových paneloch*. [online] [cit. 2024-02-12]. Dostupné na internete [https:// www.panelshop.sk/dolezite-informacie-o-sendvicovych-paneloch/](https://www.panelshop.sk/dolezite-informacie-o-sendvicovych-paneloch/).
- [6] STN EN 13501-1: 2019 Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajú údaje zo skúšok reakcie na oheň.
- [7] STN EN 13501-2: 2024 Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 2: Klasifikácia využívajú údaje zo skúšok požiarnej odolnosti a/alebo dymotesnosti (okrem ventilačných zariadení).
- [8] MÓZER, V. 2017.: *Požiaru bezpečnosť stavieb*. Bratislava: Vydavateľstvo Eurostav, 2017. 207 s. ISBN 978-80-89228-50-8.

## Masivní únik oxidu uhličitého na průmyslové zóně v Chebu

**Ing. Martin Tomášek, Ph.D., MBA**

ČVUT v Praze, Fakulta biomedicínského inženýrství

Nám. Sítná 3105, 272 01 Kladno

Hasičský záchranný sbor Karlovarského kraje

Závodní 205, 360 06 Karlovy Vary

[martin.tomasek1@hzscr.cz](mailto:martin.tomasek1@hzscr.cz)

### Klíčová slova

Oxid uhličitý, únik, jednotka požární ochrany, velitel zásahu.

### Úvod

Ve čtvrtek 29. února 2024 došlo po 10:00 hodině v areálu firmy JSP International, s.r.o., (JSP) v průmyslové zóně v Chebu, k úniku 25 tun oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). K úniku došlo vlivem technické závady během přečerpávání z cisterny společnosti Messer Technogas s.r.o. do jejich stacionárního zásobníku. Mimořádná událost (MU) byla na tísňovou linku 112 ohlášena jako „únik plynu z tlakové lahve vedle kamionu“.

### Situace na místě zásahu

Po příjezdu první jednotky požární ochrany (jednotka PO) na místo zásahu bylo průzkumem zjištěno, že z ventilu cisterny stále uniká CO<sub>2</sub> a dochází k namrzání celé technologie stáčení na cisterně, na místě zásahu se dále nacházel zraněný řidič. Hasiči začali okamžitě spolupracovat s techniky z přepravní společnosti Messer Technogas. V průběhu řešení mimořádné události (MU) došlo vlivem technické závady k náhlému a velmi masivnímu úniku CO<sub>2</sub>.

VZ okamžitě nařídil evakuaci všech pracovníků (celkem 60) firmy JSP a zastavení výrobního provozu. Jednotky PO odjely s mobilní požární technikou mimo areál JSP. VZ vyhlásil II. stupeň požárního poplachu. Během cca 20 minut unikl z cisterny veškerý CO<sub>2</sub>. V areálu firmy, kde k úniku došlo, byla do výšky metru a půl až dva metry souvislá vrstva CO<sub>2</sub>, který je těžší než vzduch a držel se tak u země. Na obr. 1 je zachycena situace na místě zásahu během masivního úniku CO<sub>2</sub>.

### Průběh zásahu

VZ začal dle vyhlášky [1] organizovat a následně členit místo zásahu na charakteristické prostory zóny a stanoviště, které podporovaly taktiku jednotek PO a řízení zásahu [2]:

- prostor předpokládaného šíření CO<sub>2</sub> do okolních areálů firem DHL a HF-Czechforge,
- vnější zóna,

- nebezpečná zóna, kterou VZ určil na ploše 240x150 m (oplocený areál firmy JSP),
- bezpečnostní uzávěry na křižovatkách,
- nástupní prostor pro jednotky PO a složky integrovaného záchranného systému (IZS),
- velitelské stanoviště,
- prostor pro poskytnutí přednemocniční neodkladné péče,
- shromaždiště evakuovaných zaměstnanců firmy JSP,
- VZ dále zřídil dva úseky a určil jejich velitele.



Obr. 1 Situace na místě zásahu během úniku CO<sub>2</sub> [3]

Hasiči se během zásahu pokoušeli zastavit únik CO<sub>2</sub> z cisterny. Vlivem nulové viditelnosti a velkému chladu (teploty okolo -40 °C) se to však nepovedlo. Během této činnosti došlo ke zranění dvou hasičů a to statickou elektřinou, která vznikala při proudění CO<sub>2</sub> z cisterny. Dále došlo k záchraně dvou řidičů z tahače, kteří neuposlechli předchozí výzvy VZ k opuštění areálu firmy JSP a zůstali v kabině a to na parkovišti východně od haly objektu JSP a dále k záchraně vrátného firmy JSP, který zůstal ve vrátnici u hlavního vjezdu do areálu firmy JSP.

### **Závěr**

Po celou dobu zásahu byli hasiči vybaveni osobními ochrannými prostředky včetně izolační dýchací a detekční techniky. Dále probíhalo měření koncentrace kyslíku, detekčním přístrojem GasAlert, ve vnitřních prostorách firem JSP, DHL a HF-Czechforge, po celou dobu zásahu s normálními hodnotami kyslíku. I přes veškerá opatření, která přijal VZ, došlo ke zranění čtyř hasičů.

**Použitá literatura**

- [1] Vyhláška č. 328/2001 Sb., o některých podrobnostech zabezpečení integrovaného záchranného systému.
- [2] Interní podklady Hasičského záchranného sboru Karlovarského kraje. 2024.
- [3] Foto autor.



# Zmeny prchavých produktov termickej degradácie dreva vplyvom úpravy dreva - The Changes of the Gaseous Products of the Thermal Degradation of Wood duet the Wood Modification

**Ing. Veronika Veľková, PhD.**

**Ing. Katarína Trojanová**

Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta  
T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovenská republika  
veronika.velkova@is.tuzvo.sk

## Klíčová slova

Smrekové drevo, termická úprava, retardér horenia, termická degradácia, prchavé produkty, plynová chromatografia s hmotnostnou spektrometriou.

## Úvod

Príspevok je venovaný skúmaniu vplyvu úpravy dreva na zmeny prchavých produktov vznikajúcich pri termickej degradácii smrekového dreva.

Termická degradácia dreva je proces závislý aj od zloženia dreva, ktoré sa líši v rámci samotnej dreviny tak aj v závislosti od prostredia, v ktorom sa drevena nachádza. Pri termickej degradácii sa ako prvé štiepia hemicelulózy, následne celulóza a lignín. Z hemicelulózy sa pri teplote 200 °C štiepi napríklad kyselina octová, ktorá pôsobí ako katalyzátor v procese štiepenia celulózy. Pri vysokých teplotách sa z hemicelulózy aj celulózy odštiepuje levoglukozan. Pri degradácii hemicelulózy s celulózou vznikajú horľavé plyny, ktoré sa potom zúčastňujú plameňového horenia [1-5].

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, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O [2, 6].

Cieľom príspevku je hodnotenie vplyvu rôznej úpravy dreva na vznik prchavých produktov termickej degradácie smrekového dreva.

V experimentálnej časti boli použité vzorky smrekového dreva v tvare kocky s rozmermi 20x20 mm v troch sadách. Prvá sada vzoriek bola upravená termicky pri teplote 160 °C po dobu 9 hodín. Termická úprava prebieha v troch po sebe nasledujúcich krokoch. Ako prvé prebieha sušenie dreva, ktoré je zároveň najdlhšie trvajúcou fázou, nasleduje zahrievanie na danú teplotu a nakoniec je drevo chladené a zvlhčované [7, 8]. Ďalšia sada vzoriek bola upravená tromi nátermi retardačnej

látky HR PROF, ktoré sme nanášali v rozmedzí jednej hodiny a následne nechali vyschnúť do nasledujúceho dňa. V tretej sade boli skúmané vzorky neupraveného smrekového dreva.

Takto upravené vzorky boli následne termicky zaťažené po dobu 15 minút pri teplotách 150 °C, 200 °C a 250 °C. Zároveň boli zachytávané prchavé produkty presávaním vznikajúcich splodín do odberových rúrok ANASORB s aktívnym uhlím, prietok plyných látok sme nastavili na 30-40 l.min<sup>-1</sup>. Adsorbované prchavé zlúčeniny boli extrahované CS<sub>2</sub>. Získané extrakty boli analyzované použitím plynovej chromatografie s hmotnostnou spektrometriou (GC-MS, Agilent). Identifikácia zlúčenín bola vykonaná komparáciou hmotnostných spektier s knižnicou spektier NIST (Agilent).

V prípade tepelne upravených matric sme identifikovali vo všetkých vzorkách zhodne tri alifatické alkány. Iné prchavé produkty identifikované neboli, čo bolo spôsobené predchádzajúcou tepelnou úpravou matric.

Vo vzorkách z neošetrených matric sme celkovo identifikovali 55 prchavých zlúčenín. Z toho všetky boli identifikované len vo vzorkách získaných z matric namáhaných teplotou 250 °C. Oproti tomu pri teplote 150 °C sme identifikovali približne dvakrát menej prchavých zlúčenín.

Vo vzorkách sme identifikovali látky, ktoré je možné zaradiť medzi deriváty karboxylových kyselín, fenolu, ale identifikovali sme aj alifatické uhl'ovodíky. Najvýznamnejšími z nich boli napríklad levoglukozenón, vanilín a  $\alpha$  - pinén, ktoré boli identifikované pri všetkých teplotách a furfural, identifikovaný pri teplote 250 °C. Tieto prchavé zlúčeniny sú dôkazmi termickej degradácie dreva.

Vo vzorkách z matric ošetrených retardačnou látkou sme identifikovali deväť prchavých zlúčenín. Všetky zlúčeniny sme identifikovali vo vzorkách z tepelného namáhania pri teplotách 200 °C a 250 °C.

Medzi zlúčeninami sa vyskytujú alifatické uhl'ovodíky či terpeny. Opäť najvýznamnejšími boli práve zlúčeniny levoglukozenón,  $\alpha$  - pinén a furfural dokazujúce termickú degradáciu dreva. V tomto prípade sme však pri všetkých teplotách identifikovali iba levoglukozenón.

## Záver

Jednotlivé prchavé zlúčeniny identifikované vo vzorkách patria medzi deriváty fenolu, terpeny, alifatické uhl'ovodíky, deriváty karboxylových kyselín a podobne.

Úprava dreva má značný vplyv na vznik prchavých produktov pri jeho termickej degradácii, čo potvrdzujú aj počty identifikovaných zlúčenín v jednotlivých typoch vzoriek. V prípade matric upravených retardačnou látkou vznikalo približne dvakrát menej prchavých produktov ako v prípade neošetrených matric. Najvýznamnejšími produktami termickej degradácie dreva boli furfural a levoglukozenón, ktoré dokazujú degradačné procesy. V dôsledku predchádzajúcej tepelnej úpravy sme vo vzorkách z tepelne upravených matric furfural ani levoglukozenón neidentifikovali.

## PodĎakovanie

*Príspevok vznikol vďaka finančnej podpore projektu KEGA 009TU Z-4/2023.*

## Použitá literatúra

- [1] KAČÍKOVÁ, D.; NETOPILOVÁ, M.; OSVALD, A. 2006.: *Drevo a jeho termická degradácia*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s. v Ostravě, 2006. 79 s.
- [2] Ornaghi, H.L. et al. 2021.: THERMAL DECOMPOSITION OF WOOD FIBERS: THERMAL SIMULATION USING THE F-TEST STATISTICAL TOOL. *Cellulose Chemistry and Technology* [online]. 2021, roč. 55, č. 3-4, s. 231-241 [cit. 3.4.2024]. ISSN 05769787, 24579459. Dostupné na: doi:10.35812/CelluloseChemTechnol.2021.55.23.
- [3] PETTERSEN, R.C. 1984.: The Chemical Composition of Wood. V: *The Chemistry of Solid Wood* [online]. B.m.: American Chemical Society, Advances in Chemistry, 207, s. 57-126 [cit. 29.2.2024]. ISBN 978-0-8412-0796-7. Dostupné na: doi:10.1021/ba-1984-0207.ch002.
- [4] POLETTO, M. et al. 2012. Thermal decomposition of wood: Kinetics and degradation mechanisms. *Bioresource Technology* [online]. 2012, roč. 126, s. 7-12 [cit. 4.3.2024]. ISSN 09608524. Dostupné na: doi:10.1016/j.biortech.2012.08.133.
- [5] 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 [cit. 7.4.2024]. ISSN 0718-221X. Dostupné na: doi:10.4067/S0718-221X2019005000204.
- [6] DIETENBERGER, M.; HASBURGH, L. 2016.: Wood Products Thermal Degradation and Fire. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering* [online]. 2016, s. 1-8 [cit. 22.3.2024]. Dostupné na: doi:10.1016/b978-0-12-803581-8.03338-5.
- [7] TJEERDSMA, B. et al. 1998.: Characterisation of thermally modified wood: Molecular reasons for wood performance improvement. *Holz als Roh- und Werkstoff* 56 (1998) 149-153. [online]. 1998, roč. 56. Dostupné na: doi:10.1007/s001070050287.
- [8] MAKOVICKA OSVALDOVA, 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 [cit. 7.4.2024]. ISSN 13354205, 25857878. Dostupné na: doi:10.26552/com.C.2018.2.3-7.

## Možnosti modelovania šírenia a interakcie rázových vln

**Bc. Sebastián Vojtáš**

**Ing. Miroslav Mynarz, Ph.D.**

VŠB-TUO, Fakulta bezpečnostného inžinýrství

Lumírova 13, 700 30 Ostrava-Výškovice

miroslav.mynarz@vsb.cz

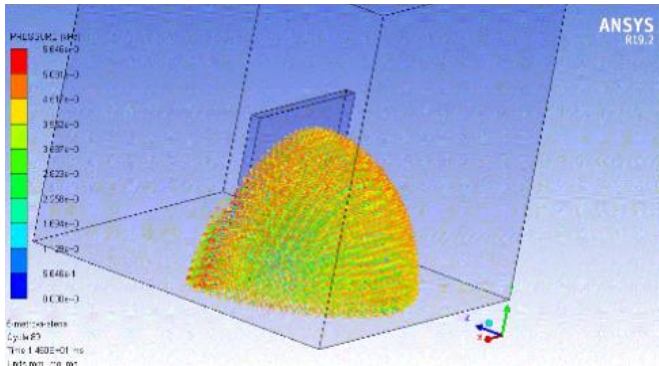
Príspevok sa zaoberá stručným popisom funkcií dvoch numerických softwarov Autodyn a LS-Dyna. Výpočetné algoritmy fungujú na princípe hydrokódov, ktoré je možné použiť k simuláciám vysoko dynamických procesov ako sú výbuchové či kolízne deje. Hydrokódy slúžia na výpočty hmoty, hybnosti a energie a ich zmenu v čase.

Problematika šírenia rázových vln vo voľnom priestore s ich následnou interakciou s pevnými (nepoddajnými) prekážkami je úzko spojená s niekoľkými možnosťami použitia softwarov. Eulerovská metóda sa používa na sledovanie prúdenia tekutín bez transformácie siete (buniek). Langrange proces je založený na prispôbení siete (buniek) s pohybom materiálu. Tento princíp sa používa hlavne pri modelovaní tuhých materiáloch. Na sledovanie zložitejších dejov je nutné použiť kombináciu týchto dejov vo forme „ALE“ metódy (Arbitrary Lagrange Euler metódy). Tento hybridný proces funguje na princípu transformácie siete, to znamená, že sa sieť pohybuje a skresľuje prostredie podľa nastavenia užívateľa. Na jednom rozhraní sa nachádza Lagrange formulácia a na druhom sa nachádza Eulerová formulácia. ALE je označovaná ako Lagrange s automatickým prezónovaním. Obdobou ALE v LS-Dyne je MM-ALE (Multi material-arbitrary langrange euler metóda). Rozdiel je len v komplexnejšom postupe pri formulácii modelu. [1, 2]

Šírenie indukovaných rázových vln vrátane ich interakcií je namodelované pomocou inžinierskych numerických nástrojov popísaných v odseku vyššie. Modely sú porovnané s reálnymi experimentami.

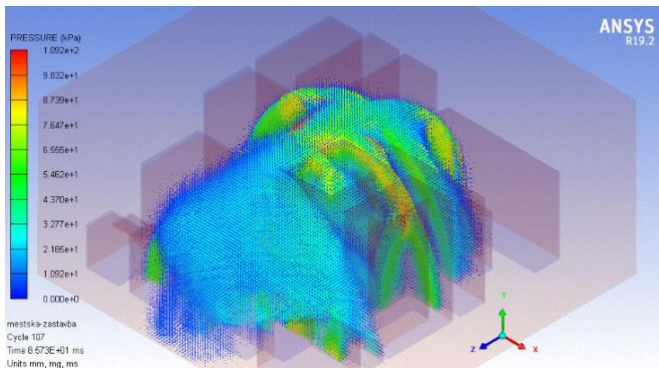
Prvý model je zameraný na možnosti modelovania šírenia rázových vln v bežnom prostredí v závislosti na rôznych hmotnostiach náloží. Primárne sa jedná o nálož Semtexu 10-SE o hmotnostiach 100, 200 a 400 g. Získané hodnoty sú porovnané s výsledkami získaných z experimentov.

Ďalšie numerické simulácie nadväzujú na modely šírenia rázové vlny vo voľnom prostredí. Konkrétne sa jedná o interakciu rázových vln s pevnou prekážkou (stenou). I v tomto prípade boli uskutočnené simulácie pro rôzne hmotnosti náloží.



Obr. 1 Zachytenie priebehu šírenia tlakovej vlny pre 100 gramov nálož s namodelovanou prekážkou steny pohľad izometrický

Pro overenie možností použitých simulačných techník na praktickom prípade bol vytvorený model zohľadňujúci šírenie rázovej vlny v komplexnej geometrii, a to v priestoroch úzkych ulíc starého mesta Bratislavy alebo Prahy.



Obr. 2 Zachytenie tlakovej vlny po detonácii semtexu v namodelovanej mestskej zástavbe izometrický pohľad

Všetky uskutočnené numerické výpočty ukazujú, že vyššie uvedené algoritmy založené na princípu hydrokódov umožňujú s pomerne vysokou vernosťou simulovať tieto rýchle deje, ako je šírenie rázových vln vo voľnom priestore a ich prípadné interakcie s prekážkami. Avšak pre kvalitné zvládnutie výpočtu je nutné uskutočniť aspoň čiastočnú verifikáciu nastavenia výpočtových modelov. Tieto modely je najvhodnejšie ladit' na kvalitne vykonaných a zdokumentovaných experimentoch, ak sa takéto možnosti ponúkajú. [1]

**Použitá literatura**

- [1] TheNumericalSimulation of HighExplosivesusing AUTODYN-2D & 3D [online]. England, 1998 [cit. 2022-10-06]. Dostupné z: <http://truegrid.com/paper052f.pdf>. Akademická práce. Century Dynamics Ltd.
- [2] K. BIRNBAUM, Naury, James TANCRETO a Kevin HAGER. Calculation of Blast Loading in the High Performance Magazine with AUTODYN-3D. Century Dynamics, Inc., Oakland, CA, 1994. Odborný článek. Naval Facilities Engineering Service Center.

## Adaptace území Karlovarského kraje na změny klimatu ve vztahu k prevenci a hašení lesních požárů

**Ing. Oldřich Volf, Ph.D., MBA<sup>1</sup>**

**Ing. Miroslav Mazurkovič<sup>1</sup>**

**Miroslav Trnka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Hasičský záchranný sbor Karlovarského kraje

Závodní 205, 360 06 Karlovy Vary

<sup>2</sup>CzechGlobe - Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i

Bělidla 986/4a, 603 00 Brno

oldrich.volf@hzscr.cz

### Klíčová slova

Požáry v přírodním prostředí, požární riziko, lesní požár, nástroj prevence, adaptace.

### Úvod

Potřeba systematické přípravy území Karlovarského kraje (KVK) k předcházení, případně pak k zdolávání lesních požárů, vyplynula z následujících skutečností:

- 1) Opakované meziroční nárůsty požárů v krajině v uplynulém období se současným nárůstem rozsahu těchto požárů na území KVK.
- 2) Zkušenost s rozsáhlým lesním požárem v Národním parku České Švýcarsko v roce 2022, na jehož likvidaci se Hasičský záchranný sbor Karlovarského kraje (HZS KVK) spoluúčastnil nasazením požárního odřadu a speciální techniky požární ochrany.
- 3) Nepříznivý trend změny klimatu s dopady na proměnu charakteru krajiny v KVK (postupné vysychání a jeho rychlost).
- 4) Zalesněnost území KVK představuje 51 % rozlohy regionu (tj. 1540 km<sup>2</sup> lesní plochy)<sup>1</sup>.

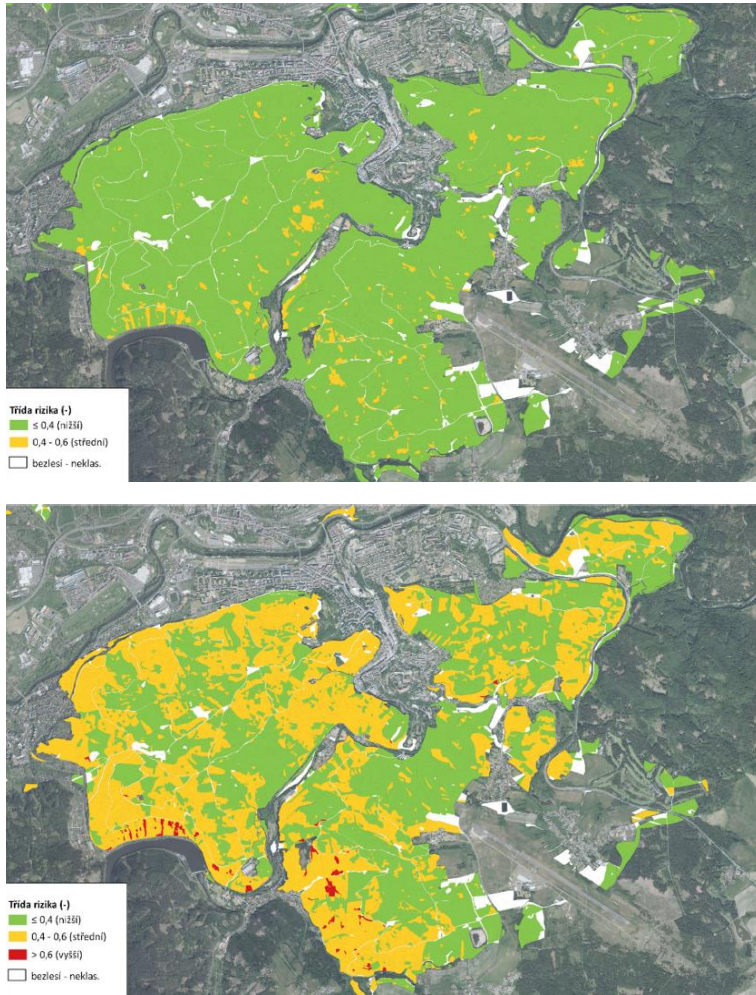
Bezpečnostní rada KVK dne 29. 9. 2022 schválila základní rámec pro vytvoření adaptačních opatření v území tak, aby do roku 2050 byl region dobře připraven čelit rostoucím rizikům vzniku a šíření lesních požárů.

---

<sup>1</sup> Údaje o zalesnění kraje se mohou mírně lišit podle užití „definice lesa“. Např. [www.faktaoklimatu.cz](http://www.faktaoklimatu.cz).

## Základní adaptační cíle

Soubor adaptačních opatření je velmi široký. Zahrnuje revizi hrozeb pro území KVK, úpravu havarijního plánu kraje, změny ve vybavení jednotek požární ochrany (HZS KVK i SDH obcí), vhodnými věcnými prostředky požární ochrany, přístup a úloha státního požárního dozoru atd. Základní adaptační mechanismus je budován a ověřován formou pilotního projektu na území lázeňských lesů a parků Karlovy Vary (LLKV). Podle výstupů z tohoto projektu pak bude možné aplikovat metody a postupy na další zájmové lokality v regionu.



Obr. 1 Požární riziko LLKV současný stav, požární riziko v roce 2050



## Mapa indexu požárního rizika LLKV

Pro celé území LLKV byla vytvořena mapa indexu požárního rizika (Obr. 1), pomocí certifikované metody [1]. Výsledky analýzy jsou velmi alarmující. V současné době je 96,4 % posuzované rozlohy lesa v nejnižším stupni rizika (ze tří). Pouze 3,6 % území je ve druhém stupni požárního rizika. Třetího stupně žádná posuzovaná lokalita nedosáhla. V důsledku probíhajících klimatických změn bude v roce 2050 situace diametrálně odlišná. Do druhého stupně požárního rizika bude připadat 51,1 % území posuzované lokality. Do třetího stupně se dostane 0,5 % území, což představuje 12 ha plochy lesa. Vezmeme-li v úvahu stávající meziroční nárůsty požárů v krajině, pak lze předpokládat až 15ti násobný nárůst počtu požárů (cca 2000 požárů v období duben až září).

## Adaptační opatření k efektivní reakci na probíhající změny

V reakci na identifikaci rizika [2], byla vytvořena dokumentace k managementu lesního požáru na území LLKV, a to s využitím geografického informačního systému (GIS) v nástroji Terinos. Dokumentace vychází z GIS dat LLKV (cestní síť lesa, porosty atd.), které jsou doplněny údaji o nástupních prostorách, shromaždištech techniky, obratištích, vodních zdrojích, ale také o zájmových bodech (turisticky významná místa, sídelní objekty, infrastruktura atd.). Tato dokumentace významným způsobem zefektivňuje organizaci zásahu v území LLKV a snižuje tak dobu volného rozvoje požáru.

Dalším opatřením bylo vytvoření nástroje pro identifikaci okamžiku rozhodného k vyhlášení období zvýšeného nebezpečí vzniku požáru. Systém se opírá o automatizované shromažďování dat ČHMÚ z meteorologických stanic KVK v korelaci s prognózou požárně nebezpečného počasí na portálu FireRisk<sup>2</sup>. Systém byl k užívání schválen BRK. S tím souvisí také provedená novela Nařízení KVK, kterým se stanoví podmínky k zabezpečení požární ochrany v době zvýšeného nebezpečí vzniku požáru. Nový předpis upřesnil požadavky na vlastníky lesů nad 50 ha ve vztahu k hlídkové činnosti ve vyhlášeném období. V neposlední řadě byla vytvořena analýza pokrytí území LLKV automatickou detekcí lesních požárů FireWatch.

## Závěr

Pilotní projekt se ukazuje jako efektivní nástroj k nastartování adaptačních opatření také v ostatních zájmových zalesněných lokalitách KVK. Řada uskutečněných jednání na úrovni kraje i měst ukazují, že si představitelé regionu uvědomují probíhající změny a zejména jejich dopady v podobě neustále se zvyšujícího počtu mimořádných událostí. Pro adaptační opatření k přípravě na rostoucí počty požárů v krajině nacházíme velmi otevřené kooperativní prostředí. To umožňuje propojovat koncepční záměry HZS KVK například s oblastmi hospodaření měst s dešťovou vodou a jejího využití k tvorbě zásob požární vody apod. Práce na adaptačních opatřeních rovněž generuje nové formy spolupráce s IFER a CzechGlobe na definování aspektů snižujících index požárního rizika.

<sup>2</sup> Dostupné z.: <https://www.firerisk.cz/>.

**Použitá literatura**

- [1] TRNKA, M. et al. (2022): *Doporučená adaptační a mitigační opatření v rizikových oblastech výskytu přírodních požárů s přihlédnutím k měnícímu se klimatu*. Certifikovaná metodika, Ministerstvo životního prostředí, Praha, Věstník MŽP č. 6/2022
- [2] BERANOVÁ, J. et al. (2024): *Vytvoření mapy indexu požárního rizika pro Lázeňské lesy města Karlovy Vary a modelová predikce šíření požáru z rizikových lokalit*. Závěrečná zpráva. 19 s. IFER, CzechGlobe.

## Velikost konvektivní složky při měřeních tepelného toku - parametrická studie

Ing. Václav Vystrčil<sup>1,2</sup>

Ing. Lucie Hasalová, PhD.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MV-GR HZS ČR, Technický ústav požární ochrany  
Písková 42, 143 00 Praha 4 - Modřany

<sup>2</sup>VŠB-TUO, FBI

Lumírova 13, 700 30 Ostrava-Výškovice  
vaclav.vystrcil@hzscr.cz

### Klíčová slova

Tepelný tok, koeficient přestupu tepla, sálavý tepelný tok, konvektivní tepelný tok, měření tepelného toku.

### Úvod

Dvě velmi důležité veličiny, které nepřímo popisují velikost a účinky požáru jsou teplota a tepelný tok. Velmi často velikost požáru popisujeme pouze teplotou plamenů nebo plynů v bezprostředním okolí plamene, zejména proto, že ji dokážeme měřit podstatně jednodušeji než tepelný tok. Celkový tepelný tok z požáru je ale v některých případech vhodnější pro posouzení vlivu požáru na okolí.

### Celkový tepelný tok při požáru

Během požáru se tepelná energie přenáší třemi mechanismy - vedením (kondukcí), prouděním (konvekci) a sáláním (radiací). Ačkoli jsou tyto tři mechanismy přítomny vždy současně, jejich podíl na celkovém tepelném toku se mění v jednotlivých fázích požáru. [1]

V případě že posuzujeme tepelné účinky vzdáleného požáru (plamene) na konkrétní povrch, zpravidla nemusíme uvažovat vedení tepla pevnými předměty.

Celkový tepelný tok dopadající na povrch (například stěnu) při požáru se tedy skládá z radiační a konvektivní složky. Při velkorozměrových požárních zkouškách je dopadající tepelný tok často měřen měřičem tepelného toku typu Schmidth-Boelter nebo Gordon-Gauge. Tato měřidla měří celkový tepelný tok dopadající na povrch. Při interpretaci výsledků požárních zkoušek získaných pomocí těchto senzorů často bývá celkový tepelný tok interpretován jako sálavý tepelný tok. Konvektivní složku lze zanedbat ale jen za některých podmínek při měření a bez bližšího rozboru měření tedy nelze hovořit pouze o radiační složce tepelného toku, jak se v praxi běžně dělá. [2]

## Koeficient přestupu tepla

Pro stanovení vlivu konvektivní složky tepelného toku je zapotřebí znát koeficient přestupu tepla. Hodnota koeficientu přenosu tepla závisí na charakteru proudění tekutiny, teplotě a rychlosti proudící tekutiny, a vlastnostech tekutiny samotné. Určení koeficientu přestupu tepla experimentálně je složité a obvykle se v inženýrské praxi využívají empirické korelace pro výpočet koeficientu přestupu tepla pro konkrétní kombinaci geometrie povrchu či tělesa a vlastností tekutiny. [3, 4] Tyto podmínky jsou při velkorozměrových zkouškách proměnné v čase a je tak téměř nemožné určit koeficient přestupu tepla přesně. Při odhadu velikosti konvektivní složky je tedy jeho hodnota zpravidla odhadována na základě určitých předpokladů o průběhu zkoušky. V řadě literárních zdrojů jsou hodnoty pro konkrétní prostředí doporučovány, ale často s velkým rozptylem hodnot. [3, 4]

## Závěr

Při interpretaci výsledků měření je vždy nutné popsat nejistoty měření. Jak bylo výše uvedeno, stanovení velikosti konvektivní složky tepelného toku bude vždy do jisté míry inženýrským odhadem. V prezentaci tohoto příspěvku bude prezentován vliv na velikost konvektivní složky tepelného toku při různých hodnotách koeficientu přestupu tepla, dále bude diskutováno jakým podmínkám může daný koeficient přestupu tepla odpovídat.

## Použitá literatura

- [1] QUINTIERE, J.G.: *Principles of fire behavior*. 2<sup>nd</sup> edition. Boca Raton: CRC Press, 2017. ISBN 978-1-4987-3562-9.
- [2] WICKSTRÖM, U.; HUNT, S.; LATTIMER, B.; BARNETT, J.; BEYLER, C.: Technical comment-Ten fundamental principles on defining and expressing thermal exposure as boundary conditions in fire safety engineering. *Fire and Materials* [online]. 2018, 42(8), 985-988 [cit. 2023-05-17]. ISSN 03080501. Dostupné z: doi:10.1002/fam.2660.
- [3] DRYSDALE, D.: *An introduction to fire dynamics*. 3<sup>rd</sup> ed. Chichester: Wiley, 2011. ISBN 978-0-470-31903-1.
- [4] HURLEY, M.J.: *SFPE Handbook of fire protection engineering*. Fifth edition. New York: Springer, 2016. ISBN 1493925644.

## TereZa - systém podpory operačního řízení HZSp Správy železnic, s.o.

### Ing. Jiří Zoubele

Správa železnic, státní organizace, Hasičský záchranný sbor  
Chodovská 1430/3a, 141 00 Praha 4  
Zoubele@spravazeleznic.cz

Hasičský záchranný sbor Správy železnic je největší hasičský sbor podniku v České republice. Působí na území celé republiky a má 14 jednotek s hasičskými stanicemi umístěnými v důležitých bodech železniční sítě. Z pohledu operačního řízení jsou nejvýznamnějším okruhem činnosti sboru zásahy při nehodách a mimořádných událostech na železnici.

Důvodem, proč jsme se zaměřili na inovaci informační podpory operačního řízení byla mimořádná složitost procesu řešení události na železnici. Tyto události obvykle přímo, či nepřímo ovlivňují velké množství osob a subjektů, kterým je třeba řízeně podávat informace. Současně je nutné koordinovat zásahovou činnost s velkým počtem terénních pracovníků a dispečerských pracovišť podílejících se na záchranných, likvidačních a návazně i obnovovacích pracích.

Při použití standardních hlasových komunikačních kanálů, tedy radiostanic a telefonů doplněných datovým hlášením kódů typické činnosti jsme přestávali být schopni činnost účinně koordinovat. Zahlcení hlasovým provozem, neschopnost rychle zjistit „co už bylo vykomunikováno“ a chybějící povědomí dispečerských složek o tom „jak to vypadá na místě události“, to vše nás přimělo k rozhodnutí začít stavět podporu operačního řízení na bázi využití multimediálních informačních technologií.

Projekt technologické podpory operačního řízení a koordinace obnovovacích prací jsme nazvali TereZa. Začali jsme na něm systematicky pracovat v roce 2015 a už v druhé polovině tohoto roku jsme implementovali první provozní verzi stejnojmenného informačního systému.

### Koncepce a charakteristika systému TereZa

Koncepce systému TereZa vychází z následujících základních strategických požadavků:

- Minimalizace hlasové komunikace - ponechat ji pouze v účelných případech.
- Jednoduchost a přehlednost - žádné zbytečné funkce, možnost zpětné kontroly.
- Vše potřebné v jednom systému - omezit nutnost použití několika aplikací.
- Otevřenost - umožnit napojení na okolní systémy.
- Komfort pro uživatele - minimalizovat zátěž uživatele systému, zejména v terénu.

S respektováním výše uvedených požadavků byl vytvořen systém a technologická platforma, která poskytuje ucelené pracovní prostředí pro řízení zásahu pro operační střediska (obecně dispečerská pracoviště) a mobilní pracovní prostředí pro velitele zásahu (obecně terénní složky).

Dispečerů operačních středisek využívají tzv. Panel operační situace, který jim poskytuje ucelený přehled o pohybu výjezdových jednotek a jejich činnosti při zásahu, navíc jim umožňuje multimediálně komunikovat s jednotkami v terénu.

Hasiči v terénu (velitelé zásahů, velitelé JPO, velitelé směn a družstev) jsou s operačním střediskem spojeni pomocí mobilního klienta systému TereZa provozovaného na mobilních telefonech, vozidlových tabletech a inteligentních vozidlových navigacích, popřípadě na ovladačích dronu.

Třetí důležitou komponentou systému je platforma umožňující napojení systému TereZa na okolní informační systémy, které poskytují data uživatelům systému TereZa, nebo je naopak ze systému přebírají. Mezi klíčové napojené systémy patří například naše vlastní implementace informačního systému ISV6 (Informační systém výjezd společnosti RCS Kladno s.r.o.) nebo systémy Krajských operačních středisek HZS ČR.

TereZa poskytuje podporu všech klíčových fází životního cyklu události, který zahrnuje:

- Příjem a záznam hlášení o mimořádné události.
- Odeslání příkazů k vyslání jednotek.
- Navigaci na místo události.
- Předávání textových a hlasových zpráv v průběhu cesty na místo.
- Pořizování a sdílení fotodokumentace zásahu v reálném čase.
- Multimediální komunikaci mezi velitelem zásahu a operačním střediskem.
- Koordinaci činnosti pomocí sdílení mapových služeb.
- Vyhodnocení zásahu.
- Předání údajů k dalšímu zpracování.

Proces je podporován například prostřednictvím následujících funkcí systému:

- Příjem zprávy o mimořádné události nebo požadavku operátorem operačního střediska HZS SŽ.
- Automatický příjem datové zprávy o mimořádné události z KOPIS.
- Automatický příjem datové zprávy o nestandardní situaci z technologického systému SŽ (ASDEK).
- Rozeslání elektronických příkazů k jízdě zásahovým vozidlům a velitelům zásahových jednotek.
- Spuštění vozidlové navigace s automatickým zadáním cíle.

- Oboustranná multimediální komunikace (hlas, statický obraz, text) mezi operačním střediskem a zasahujícími jednotkami.
- Sdílení mapových podkladů a vizualizace aktuální polohy vlastních zasahujících sil a prostředků, ale i složek integrovaného záchranného systému.
- Zjišťování kontaktních telefonních čísel a jejich odesílání do telefonního seznamu velitele zasahující jednotky (dopravní zaměstnanci, zástupci honiteb, atp.).

Využití jednotlivých funkcí systému je průběžně konzultováno s uživateli s cílem zachovat a rozvíjet jen ty funkcionality, které poskytují nejvyšší přidanou hodnotu.

### **Aktuální stav**

V současné době (polovina roku 2024) je v provozu už druhá generace systému TereZa. Je provozována v nepřetržitém režimu 24/7 a rozsah implementace zahrnuje přibližně:

- 450 jmenovitých uživatelů dispečerského panelu (téměř 200 mimo HZS SŽ);
- 500 mobilních zařízení včetně 16 dronů;
- 30 napojených informačních systémů a datových zdrojů;
- 150 000 - 200 000 vytvořených multimediálních zpráv ročně.

Nasazením TereZy se nám podařilo zredukovat hlasovou komunikaci o vyšší desítky procent a vytvořit tak obsluhám operačních středisek prostor pro efektivnější podporu zásahu. Například telefonování s dispečerskými složkami Správy železnic probíhající v úvodních fázích události se podařilo odbourat téměř úplně! (Snížení o více než 90 %).

O výsledcích základního průzkumu po příjezdu na místo události zpravují velitelé zásahu operační středisko obvykle kombinací fotografie z osobního mobilního zařízení, nebo dronu doplněné v případě potřeby hlasovou zprávou, která je následně převedena i do textové podoby. Tato forma komunikace je využívána i v případě průběžného hlášení vývoje zásahu. Výsledkem je zjednodušení práce hasičů v terénu i na operačním středisku a současně zásadní zvýšení úrovně informovanosti kooperujících pracovišť a nadřízených složek.

### **Co dál**

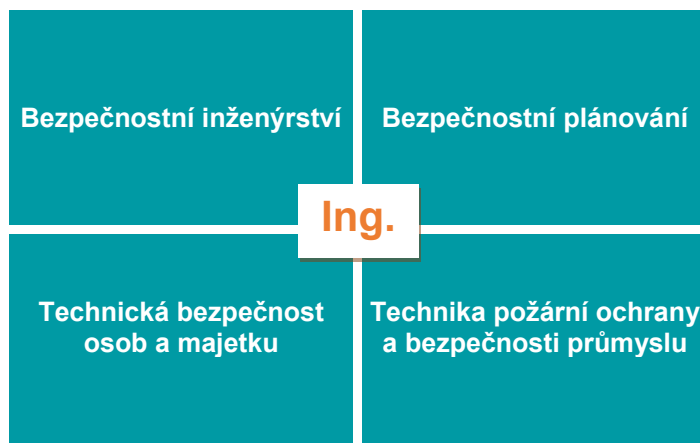
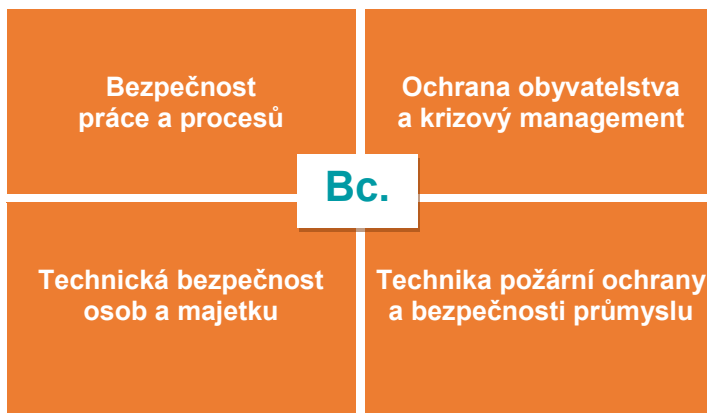
Dosažené výsledky a velmi dobré přijetí systému TereZa uživateli potvrdily správnost zvolené koncepce. To však neznamená, že je hotovo. Příležitostí ke zvýšení kvality a efektivity činností v operačním řízení i mimo něj je možná ještě více, než když jsme začínali. O směřování dalšího rozvoje platformy TereZa vedeme neustálou diskusi s výkonnými hasiči, nadřízenými složkami a v poslední době stále častěji i s „nehasičskými“ odbornými složkami našeho zřizovatele, Správy železnic.

V následujícím krátkodobém a střednědobém horizontu se budeme věnovat mimo jiné dvěma rozvojovým směrům. Jedním z nich je využití systému pro zvýšení úrovně bezpečnosti při zásahu, což zahrnuje například problematiku zkvalitnění

informací o stavu železničního provozu v místě zásahu, pohybu zasahujících složek v dopravní cestě a přesných polohách vlaků a také další zvýšení úrovně propojení se systémy IZS. Druhou zásadní oblastí je další zlepšení koordinace s ostatními organizačními jednotkami Správy železnic při obnovovacích pracích, čehož plánujeme dosáhnout mimo jiné implementací platformy TereZa pro odborná pracoviště, která mají na starost správu železniční infrastruktury.



## NABÍZÍ STUDIUM UNIKÁTNÍCH OBORŮ ZAMĚŘENÝCH NA BEZPEČNOST



NOVĚ I MAGISTERSKÉ STUDIUM V ANGLICKÉM JAZYCE – 2 roky, titul Ing.

**HSE Professional**  
(Health, Safety and Environment Professional)

## Plán konferencí FBI a SPBI, z.s.

### 5. - 6. únor 2025 Ochrana obyvatelstva

Mezinárodní konference pořádaná ve spolupráci s Fakultou bezpečnostního inženýrství a MV-Generálním ředitelstvím HZS ČR. V programu konference jsou zastoupeny tématické obory: krizový management, ochrana obyvatelstva, ochrana kritické infrastruktury, nebezpečné látky. Cílem konference je vyvolat diskusi mezi odborníky o zapojení moderních technologií do systémů ochrany obyvatelstva.

### duben 2025 Bezpečnost a ochrana zdraví při práci

Mezinárodní konference pořádaná ve spolupráci s Fakultou bezpečnostního inženýrství, Ministerstvem práce a sociálních věcí ČR a Výzkumným ústavem bezpečnosti práce, v.v.i. Hlavní témata konference se týkají nových výzev v řízení bezpečnosti práce a procesů.

### květen 2025 Požární bezpečnost stavebních objektů

Národní konference pořádaná ve spolupráci s Fakultou bezpečnostního inženýrství. Jednání konference je zaměřeno do oblastí týkající se požární bezpečnosti staveb, legislativních postupů při výstavbě, problematiky požárně bezpečnostních zařízení a logických návazností bezpečnostních a protipožárních systémů.

### červen 2024 FIRE SAFETY

Požární bezpečnost jaderných elektráren - mezinárodní seminář, který se koná vždy 2 roky v České republice a 2 roky na Slovensku. Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s. ho spolupořádá s Fakultou bezpečnostního inženýrství a Slovenskou společností propagace vědy a techniky. Seminář je zaměřený na problematiku požární bezpečnosti jaderných elektráren.

### 10. - 11. září 2025 Požární ochrana

Mezinárodní konference pořádaná ve spolupráci s Fakultou bezpečnostního inženýrství, Českou asociací hasičských důstojníků, z.s. a MV-Generálním ředitelstvím HZS ČR. Jednání konference je rozděleno do sekcí: Požární ochrana, Technologie pro bezpečnost, Protivýbuchová prevence, Věda a výzkum v požární ochraně, Zkušebnictví v požární ochraně.

Více informací na [www.spbi.cz](http://www.spbi.cz).

VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | FAKULTA BEZPEČNOSTNÍHO INŽENÝRSTVÍ





## DŮVĚŘUJ KNAUFU, ZAJISTÍ BEZPEČÍ.

Komplexní řešení pro pasivní požární ochranu budov.

Když dojde k požáru, záleží na každé vteřině.

Pokud chcete zvýšit bezpečnost osob a objektů, důvěřujte protipožárním produktům a systémům značky Knauf FIREWIN.

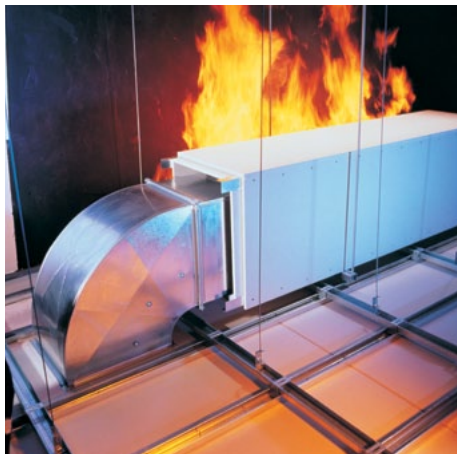
Více na [www.knauf.cz](http://www.knauf.cz)

**KNAUF**

# KNAUF FIREWIN: SPOLEHLIVÉ ŘEŠENÍ PRO PASIVNÍ POŽÁRNÍ OCHRANU BUDOV

Bezpečnost před požárem je klíčem k ochraně budov. Když se vznítí plameny, každá vteřina může zachránit život. Knauf FIREWIN je zde, aby pomohl chránit to, co je nejdůležitější.

Páteří každé stavby je její nosná konstrukce. V případě požáru je třeba ji ochránit, aby lidé mohli být evakuováni a záchranáři přijeli včas. Firma Knauf se této věci věnuje intenzivně s řadou produktů a systémů pod značkou Knauf FIREWIN. Knauf FIREWIN zahrnuje systémové desky pro konstrukce s vysokou požární odolností (FIREBOARD, RED PLANO, DIAMANT), specializované protipožární omítky (VERMIPLASTER) a protipožární ucpávky.



Společnost Knauf se přitom nezaměřuje jen na výrobky. Klade také důraz na to, aby ti, kdo je instalují a aplikují, věděli, co dělají. Montážní firmy procházejí školením a certifikací od odborníků Knauf. Protože nejlepší protipožární ochrana začíná u lidí, kteří ji provádějí.



Bezpečnost je naší prioritou. Důvěřujte Knauf FIREWIN a spěte klidně. S Knaufem jste v bezpečí.

*KNAUF Praha, spol. s r. o., je součástí globální skupiny KNAUF, která patří mezi světové lídry ve výrobě stavebních materiálů. Na českém stavebním trhu je od roku 1991 a stala se jedním z předních výrobců sádkovkartonových desek a suchých maltových směsí. KNAUF nabízí komplexní sortiment protipožárních, akustických a dalších specializovaných řešení. Značka KNAUF je synonymem vysoké kvality a nadstandardního servisu.*



Více na  
[www.knauf.cz](http://www.knauf.cz)



FIREWIN

KNAUF



# SILVANUS

Projekt realizovaný v rámci Zelené dohody pro Evropu (European Green Deal) zaměřen na management lesních požárů a změnu klimatu

Projekt vytváří platformu pro prevenci a likvidaci lesních požárů – změnám klimatu odolný management lesů aplikován ve třech fázích

## Fáze I. – PREVENCE A PŘIPRAVENOST

Modelování požáru, simulace reálných prostředí a scénářů ochrany lesů, školicí a vzdělávací programy, mobilní aplikace pro zapojení občanů

## Fáze II. – DETEKCE A REAKCE

Analýza počasí, modelování chování požáru, integrace technologií pro likvidaci požárů, koordinace UGV a UAV prostředků, prostředky pro detekci lesních požárů, infrastruktura bezdrátové komunikace pro koordinaci emergentních složek

## Fáze III. – OBNOVA A ADAPTACE

Geografická data, modely biodiverzity a růstu lesů, ekologická klasifikace lokalit, doporučení pro správu lesů, strategie obnovy půdy, obnova přírodních zdrojů

**SILVANUS** – 48 členné konsorcium partnerů z 18 zemí (Evropa, Austrálie, Indonésie a Brazílie). Odborníci z řad univerzit, výzkumných institucí, technologických partnerů a stakeholderů



Moderní a inovativní ochránce proti lesním požárům

Ve prospěch lesů a lidstva

[silvanus-project.eu](https://silvanus-project.eu)



Projekt je financován z programu Evropské Unie pro výzkum a inovaci Horizon 2020, číslo grantu 101037247

---

**Požární ochrana 2024**

Recenzovaný Sborník abstraktů XXXIII. ročníku mezinárodní konference

Kolektiv autorů

Za věcnou správnost jednotlivých příspěvků odpovídají autoři

Nebyla provedena jazyková korektura

Editor: doc. Ing. Jiří Pokorný, Ph.D., MPA, dr. h. c.

Vydalo Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s. v Ostravě 2024,  
jako svou publikaci

1. vydání

**ISBN 978-80-7385-274-0**



# Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, z.s.

**SPBI, z.s. je nakladatelství a vydavatelství původní odborné literatury v oblasti bezpečnostního inženýrství.**

**Pro odbornou veřejnost nabízíme:**

- ♦ publikace z oblasti požární ochrany, bezpečnosti průmyslu, bezpečnostního plánování a ochrany obyvatelstva v edici **SPBI SPEKTRUM**
- ♦ odborné konference a semináře:
  - **Bezpečnost a ochrana zdraví při práci**
  - **Ochrana obyvatelstva**
  - **Požární ochrana**
  - **Požární bezpečnost stavebních objektů**
  - **Fire Safety - požární bezpečnost jaderných elektráren**

**Internetové knihkupectví a informace o konferencích včetně sborníků přednášek najdete na [www.spbi.cz](http://www.spbi.cz).**



**Kontaktní adresa:**

**Lumírova 13, 700 30 Ostrava - Výškovice  
[www.spbi.cz](http://www.spbi.cz), [spbi@spbi.cz](mailto:spbi@spbi.cz), tel.: +420 597 322 970**