



**NÁVRH SMART RIEŠENÍ PREPOJENIA VÝSLEDKOV
POŽIARNEHO SKÚŠOBNÍCTVA
S POČÍTAČOM PODPOROVANÝM MODELOVANÍM
PRE ZVÝŠENIE KVALITY VÝSTUPOV
BEZPEČNOSTNÉHO VÝSKUMU**

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

15. október 2024

B4, Technická univerzita vo Zvolene, Drevárska fakulta,

T. G. Masaryka 2117/24, 960 01 Zvolen

ZBORNÍK POZVANÝCH PREDNÁŠOK





Technická univerzita vo Zvolene, KPO Drevárska fakulta,
T. G. Masaryka, 960 01 Zvolen

Recenzenti:

prof. Ing. Jozef Martinka, PhD.

prof. Bc. Ing. Linda Makovická Osvaldová, PhD.

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

I. vydanie v rozsahu 78 strán, 3,66 AH, 3,74 VH

Vydavateľ: Technická univerzita vo Zvolene

Rok vydania: 2024 – elektronicky (online PDF)

Grafická úprava: autori

Redakčné práce: Vydavateľstvo Technickej univerzity vo Zvolene

www.tuzvo.sk

Vydanie schválila Edičná rada Technickej univerzity vo Zvolene číslo EP 85/2024 ako zborník zo schváleného vedeckého podujatia. Rukopis neprešiel jazykovou úpravou.

Za vedeckú úroveň tejto publikácie zodpovedajú autori a recenzenti.

© Technická univerzita vo Zvolene

© KPO Drevárska fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

ISBN 978-80-228-3456-8

Všetky práva vyhradené. Žiadna časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.





VEDECKÝ VÝBOR:

- prof. Bc. Ing. Linda Makovická Osvaldová, PhD. Žilinská univerzita v Žiline,
Fakulta špeciálneho inžinierstva
- prof. Bc. RNDr. Danica Kačíková, MSc., PhD. Technická univerzita vo Zvolene,
Drevárska fakulta
- prof. Ing. Jozef Martinka, PhD. Slovenská technická univerzita Bratislava,
Materiálovotechnologická fakulta
so sídlom v Trnave

Publikované pozvané prednášky boli recenzované členmi vedeckého výboru.





PROGRAM

Otvorenie:

09.00 h – 09.15 h Kačíková Danica: Informácia o projekte APVV-22-0030, postupe riešenia a napĺňaní cieľov

Pozvané prednášky:

09.15 h – 09.30 h Dúbravská, Katarína: Posúdenie tvorby zuhoľnatej vrstvy dreva prostredníctvom strednorozmerových testov

09.30 h – 09.45 h Kmeťová, Elena: Expandovateľný grafit využívaný ako retardér horenia dreva

09.45 h – 10.00 h Kubovský, Ivan: Vplyv termickej degradácie na farebné a chemické zmeny vybraných druhov dreva

10.00 h – 10.15 h Majlingová, Andrea: Štúdium horľavosti drevotriekových dosiek vyrobených s použitím lepidla PF/pMDI a z drevných častíc ošetrených polyesterizáciou so sorbitolom a kyselinou citrónovou

10.15 h – 10.30 h Mitterová, Iveta: Výskum v oblasti retardácie horenia dreva a aplikovateľnosti ochranných látok

10.30 h – 10.45 h Prestávka na občerstvenie

10.45 h – 11.00 h Mračková, Eva: Synergické efekty stanovenia dolných medzí výbušnosti

11.00 h – 11.15 h Špilák, Dominik: Vplyv vlhkosti dreva na výsledky modelovania drevených konštrukčných prvkov zaťažených požiarom

11.15 h – 11.30 h Tereňová, Ľudmila: Hodnotenie požiarnej odolnosti obvodových stien z horľavých materiálov

11.30 h – 11.45 h Zachar, Martin: Aplikácia progresívnych laboratórnych metód na hodnotenie materiálov

Záver:

11.45 h – 12.00 h Kačíková Danica: Harmonogram riešenia projektu APVV-22-0030 na ďalší rok a očakávané prínosy



Obsah

Dúbravská, Katarína:	Posúdenie tvorby zuhoľnatej vrstvy dreva prostredníctvom strednorozmerových testov	4 – 11
Kmeťová, Elena:	Expandovateľný grafit využívaný ako retardér horenia dreva	12 – 16
Kubovský, Ivan:	Vplyv termickej degradácie na farebné a chemické zmeny vybraných druhov dreva	17 – 25
Majlingová, Andrea:	Štúdium horľavosti drevotriekových dosiek vyrobených s použitím lepidla PF/pMDI a z drevných častíc ošetrených polyesterizáciou so sorbitolom a kyselinou citrónovou	26 – 33
Mitterová, Iveta:	Výskum v oblasti retardácie horenia dreva a aplikovateľnosti ochranných látok	34 – 41
Mračková, Eva	Synergické efekty stanovenia dolných medzí výbušnosti	42 – 48
Špilák, Dominik:	Vplyv vlhkosti dreva na výsledky modelovania drevených konštrukčných prvkov zaťažených požiarom	49 – 54
Tereňová, Ľudmila:	Hodnotenie požiarnej odolnosti obvodových stien z horľavých materiálov	55 – 61
Zachar, Martin:	Aplikácia progresívnych laboratórnych metód na hodnotenie materiálov	62 – 76

Posúdenie tvorby zuhoľnatej vrstvy dreva prostredníctvom strednorozmerových testov

Pozvaná prednáška

Ing. Dúbravská Katarína, PhD.

KPO DF TUZVO

Úvod

- Eurokód 5 – na drevenej konštrukcii vystavenej účinkom požiaru dochádza k tvorbe zuhoľnatej vrstvy,
- zuhoľnatená vrstva:
 - izolačný charakter,
 - prirodzená bariéra medzi exponovanou stranou a nepoškodeným drevom,
- trhliny v dreve – významný vplyv na uhoľnatenie dreva prienik tepla a kyslíka hlbšie do dreva,
- cieľ – sledovať tvorbu zuhoľnatej vrstvy a rýchlosť uhoľnatenia,

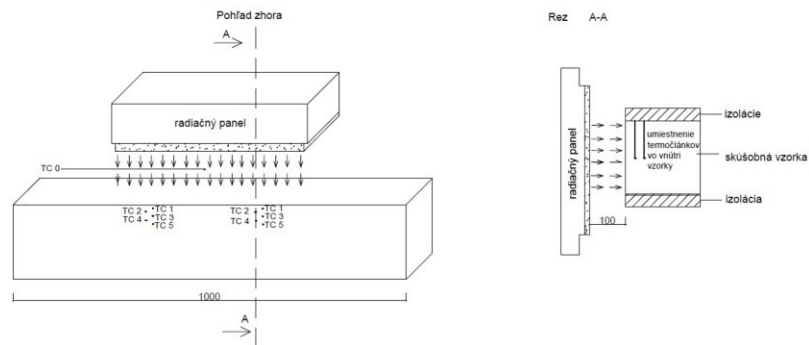
Metodika

- strednorozmerová komora na Technickej univerzite vo Zvolene,
- zariadenia pre meranie:
 - meracia ústredňa AHLBORN ALMEMO 2290-8710 V7,
 - termočlánky Ni-Cr Ni (teplotný rozsah -40 do +1200°C),
 - radiačný panel s výkonom do 50 kW (radiačná plocha 480 x 280mm),
 - nehorľavá podložka pre umiestnenie vzorky,

Metodika

- umiestnenie termočlánkov
 - 2 skúšobné vzorky s dvoma radmi termočlánkov,
 - umiestnenie termočlánkov:
 - TC1 - 10 mm od exponovanej strany,
 - TC2 - 20 mm od exponovanej strany,
 - TC3 - 30 mm od exponovanej strany,
 - TC4 - 40 mm od exponovanej strany,
 - TC5 - 50 mm od exponovanej strany
 - doba trvania strednorozmerového testu: 60 min,
 - vzdialenosť sk. vzorky od radiačného panela: 100 mm,

Metodika



Obr. 1 Umiestnenie skúšobnej vzorky od radiačného panela v komore pre vykonanie strednorozmerového testu (zdroj: autori)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

5

Metodika

- podmienky okolia:
 - uzatvorená miestnosť $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$,
 - odsávanie splodín horenia,
- zaznamenávanie teploty vo vopred stanovených miestach v skúšobnej vzorke - každých 10 sekúnd,
- teoretické východisko zakotvené v Eurokóde 5,
- teplota uhoľnatenia - poloha izotermy 300°C ,

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

6

Skúšobná vzorka

- druh dreveniny - na základe mikroskopického pozorovania - v priečnom reze viditeľné jednoduché jamy okenného typu - borovica,
- vlhkosť 6,4-7,1 %,
- hustota $456 \text{ kg.m}^{-3} \pm 19 \text{ kg.m}^{-3}$,
- rozmery 190 x 190 x 1000 mm,
- skúšobná vzorka z konštrukcie 150-ročnej budovy,

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

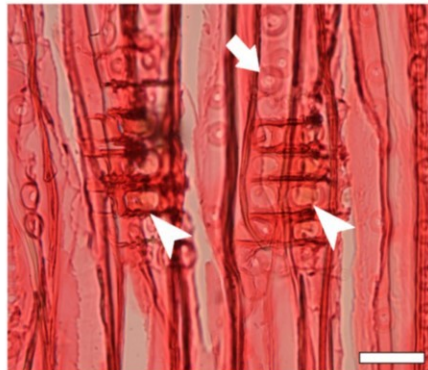
7

Skúšobná vzorka

- rozdelenie skúšobných vzoriek v závislosti od podielu jadra a beľu:
 - 50S/140H
 - 20S/170H



Obr. 2 Vzorka 20S/170H (autori)



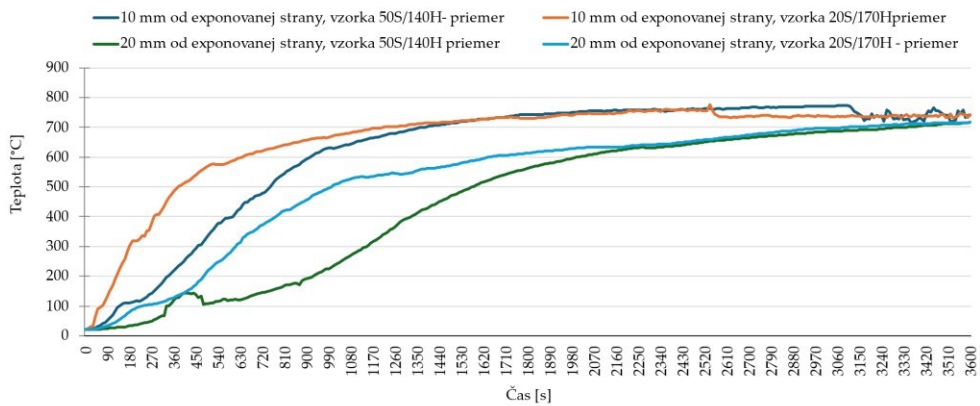
Obr. 3 Radiálny rez vzorkou (autori)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

8

Výsledky



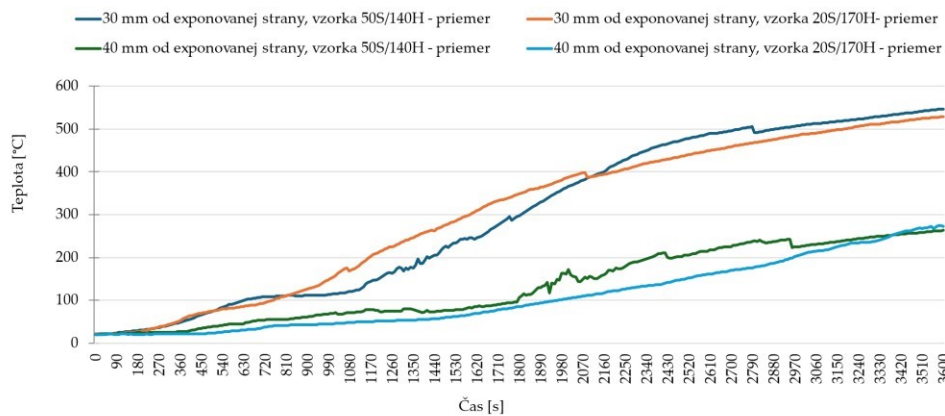
Obr. 4 Teplotné priebehy vo vzdialenosti 10 a 20 mm od exponovanej strany (Dúbravská et al., 2024)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

9

Výsledky



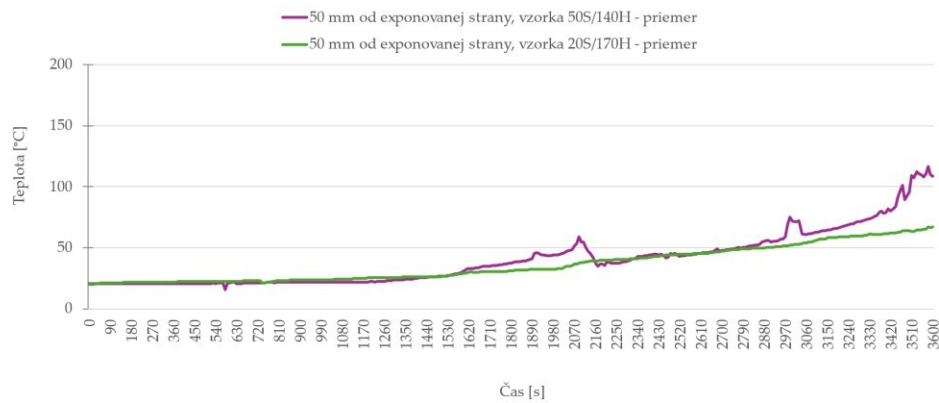
Obr. 5 Teplotné priebehy vo vzdialenosti 30 a 40 mm od exponovanej strany

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

10

Výsledky



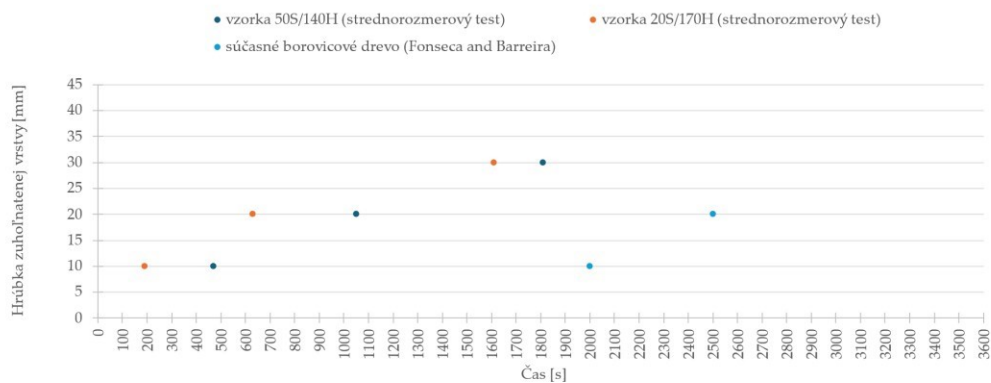
Obr. 6 Teplotné priebehy vo vzdialenosti 50mm od exponovanej strany strany

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

11

Výsledky



Obr. 7 Porovnanie závislosti uhoľnatej vrstvy vytvorenej na 150-ročnom dreva (strednorozmerový test) a zuhoľnatej vrstvy vytvorenej na súčasnom dreve z výskumu Fonseca a Barreira (2009) (Dúbravská et al., 2024)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

12

Výsledky

Tab. 1 Okamžitá rýchlosť uhoľnatenia vo vzdialenostiach 10, 20, 30 mm od exponovanej strany (Dúbravská et al., 2024)

Vzdialenosť od exponovanej strany [mm]	Vzorka 50S/140H	Vzorka 20S/170H
10	1,29 ±0,15	3,16 ±0,30
20	1,14 ±0,09	1,90 ±0,18
30	0,99 ±0,05	1,08 ±0,06



Obr. 8 Rez vzorkou po 60 min tepelného zaťaženia (Dúbravská et al., 2024)

Záver

- s narastajúcou vzdialenosťou od exponovanej strany je rýchlosť uhoľnatenia pomalšia,
- potvrdil sa izolačný charakter zuhoľnatej vrstvy,
- zuhoľnatená vrstva masívneho prvku z dreva má podstatne lepšie izolačné vlastnosti ako zuhoľnatená vrstva vzniknutá na materiáloch na báze dreva (napr. CLT panel-odpadnutie zuhoľnatej vrstvy od ostatných),
- proces tvorby zuhoľnatej vrstvy je podstatne rýchlejší pri 150-ročnom dreve ako pri súčasnom (najmä v prvých minútach),
- výskum do budúcnosti – vplyv trhlín a prasklín (ich dimenzie) na proces tvorby zuhoľnatej vrstvy najmä súčasného dreva, ale aj historického,

Použitá literatúra

DÚBRAVSKÁ, K.; KUČEROVÁ, V.; ŠTEFKOVÁ, J.; MIŠÍKOVÁ, O. 2024. Charring of and chemical changes in historical wood under thermal loading. In *Forests*. 2024, 15, 1189.

DÚBRAVSKÁ, K.; MIŠÍKOVÁ, O. 2024. *Posúdenie zuhoľnatej vrstvy a rýchlosť uhoľnatenia 150-ročného dreva*. In *Požárni ochrana 2024*. 2024, 13-16.

FONSECA, E. M.; BARREIRA, E.M.L. 2009. Charring rate determination of wood pine profiles submitted to high temperatures. In *WIT Trans.Built Environ*. 2009, 108, 449-459.

KAČÍKOVÁ, D.; MAKOVICKÁ-OSVALDOVÁ, L. 2009. Rýchlosť odhoriavanie drev z rôznych častí stromu vybraných ihličnatých drevín. In *Acta Facultatis Xylogiae*. 2009, 51(1), 27-32.

Ďakujem za pozornosť.

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

Expandovateľný grafit využívaný ako retardér horenia dreva

Pozvaná prednáška

Ing. Elena Kmeťová, PhD.
KPO DF TUZVO

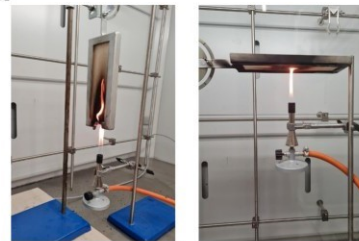
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

1

Realizované merania

- **smrekové drevo**
- **skúška sálavým tepelným zdrojom**
 - 10 minút, 4 cm od zdroja
 - 25 x 90 x 10 mm
 - úbytok hmotnosti, rýchlosť odhorievania
- **Úžitkový vzor č. 9589**
 - uhol sklonu vzorky (0°, 45° a 90°), 10 minút
 - 50 x 40 x 10 mm
 - šírenie plameňa, úbytok hmotnosti, rýchlosť odhorievania
- **meranie teploty povrchu**
 - termokamera Fluke RSE600
- **optické merania**
 - digitálny mikroskop Keyence VHX-7000
 - softvér VHXX-H5M
 - 3D snímka povrchu 39 x 39 mm, 4 kvadranty



Obr. 1 a 20° a 90° uhol sklonu vzorky



Obr. 345° uhol sklonu vzorky

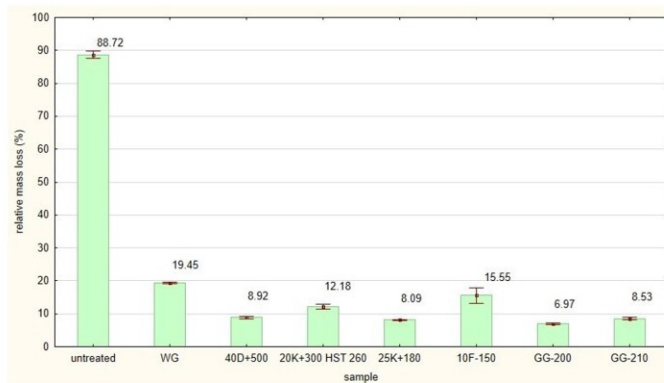
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

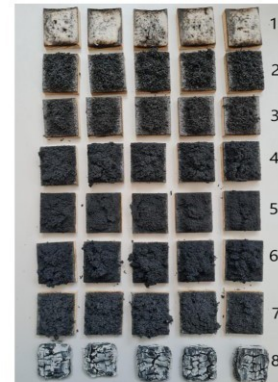
2

Porovnanie rôznych typov EG

Skúška sálavým tepelným zdrojom



Obr. 4 Úbytok hmotnosti testovaných vzoriek (%)

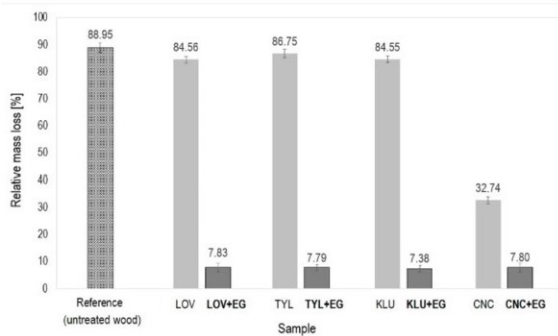


Obr. 5 Fotodokumentácia vzoriek po experimente (1-WG; 2-40 D + 500 LST; 3-20 K + 300 HST 260; 4-25 K + 180; 5-10 F-150; 6-GG-200; 7-GG-210; 8-neošetrené)

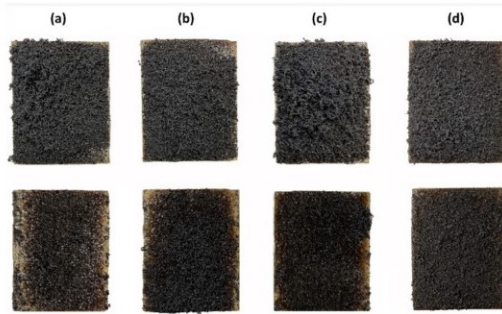
Kmeťová, E.; Kačíková, D.; Jurczyková, T.; Kačík, F. The Influence of Different Types of Expandable Graphite on the Thermal Resistance of Spruce Wood. *Coatings* **2023**, *13*, 1181. <https://doi.org/10.3390/coatings13071181>

Porovnanie rôznych typov surfaktantov

Skúška sálavým tepelným zdrojom



Obr. 6 Úbytok hmotnosti testovacích vzoriek (%)



Obr. 7 Vzorky po vykonaní skúšky sálavým tepelným zdrojom a následne po teste kohézie ochrannej vrstvy (a-Lovose TS 20 + EG 25 K + 180, b-Tylose MH 300 + EG 25 K + 180, c-Klucel H + EG 25 K + 180, d-CNC + EG 25 K + 180)

Jurczyková, T.; Kmetová, E.; Kačík, F.; Lexa, M.; Dědič, D. Evaluating the Effectiveness of Cellulose-Based Surfactants in Expandable Graphite Wood Coatings. *Polymers* **2024**, *16*, 2832. <https://doi.org/10.3390/polym16192832>

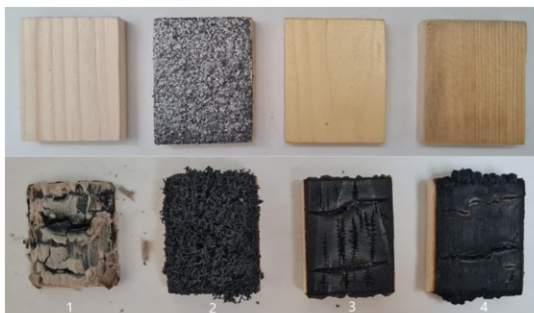
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

4

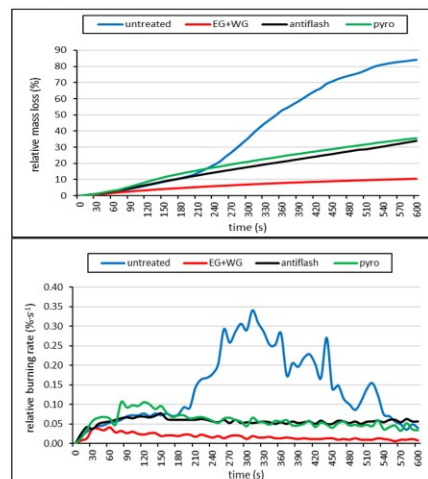
Porovnanie EG a komerčných retardérov

Skúška sálavým tepelným zdrojom



Obr. 8 Vzorky pred a po vykonaní experimentu (1-neošetrené, 2-EG+vodné sklo, 3-Bochemit Antiflash, 4-Bochemit Pyro)

Kmetová, E.; Kačíková, D.; Kačík, F. The Effect of Intumescent Coating Containing Expandable Graphite onto Spruce Wood. *Coatings* **2024**, *14*, 490. <https://doi.org/10.3390/coatings14040490>



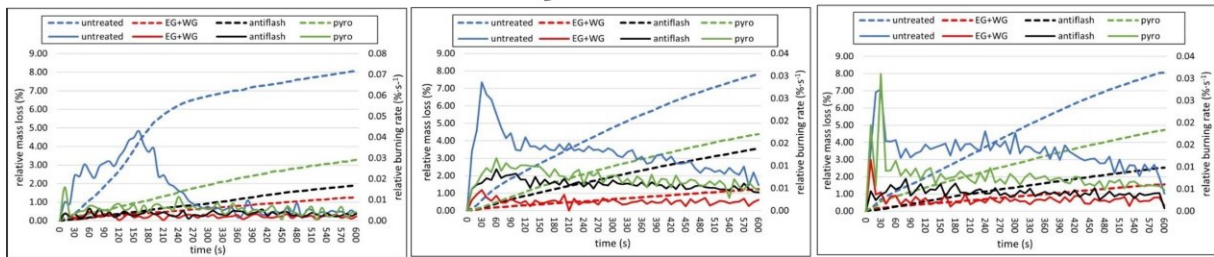
Obr. 9 a 10 Úbytok hmotnosti a rýchlosť odhorovania

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

5

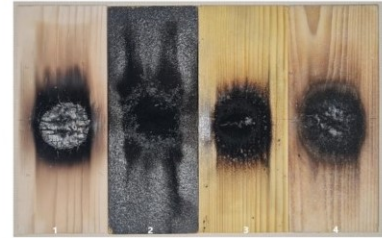
Úžitkový vzor č. 9589



Obr. 11 11° uhol sklonu vzorky

Obr. 12 45° uhol sklonu vzorky

Obr. 13 90° uhol sklonu vzorky



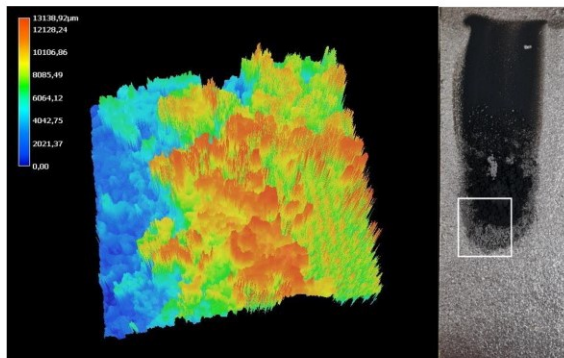
1 - neošetrené, 2 – expandovateľný grafit + vodné sklo, 3 - Bochemit Antiflash, 4 - Bochemit Pyro

15. 10. 2024

Kmeťová, E.; Kačíková, D.; Kačík, F. The progressive test method for assessing the thermal resistance of spruce wood treated with flame retardants. *Wood & Fire Safety 2024: proceedings of the 10th International conference on Wood & Fire Safety 2024*, 146-153. ISBN 9783-031-59177-8

6

Optické merania

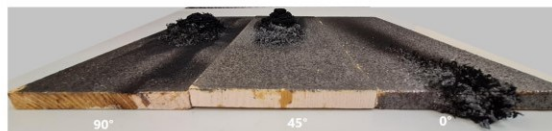


Obr. 14 Snímka z mikroskopu pri 45° uhol sklonu vzorky

Expanzia grafitu:

- pri 0° → 10,10 mm
- pri 45° → 24,11 mm
- pri 90° → 23,87 mm

Kmeťová, E.; Kačíková, D. Hodnotenie vplyvu retardačnej úpravy na termickú odolnosť smrekového dreva prostredníctvom optických meraní. In *Požárni ochrana 2024: recenzovaný zborník abstraktů XXXIII. ročníku mezinárodní konference 2024*, 34-38. ISBN 978-80-7385-274-0.



Obr. 15 Expanzia grafitu

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

7

Záver

- najlepšie výsledky → vzorky ošetrené EG+VS
- najhoršie výsledky → vzorky neošetreného dreva
- **použitie retardérov horenia → zlepšenie termickej odolnosti dreva**
- nevyhnutnosť ochrany dreva z protipožiarneho hľadiska

Ďakujem za pozornosť.

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

Vplyv termickej degradácie na farebné a chemické zmeny vybraných druhov dreva

Pozvaná prednáška

doc. Ing. Ivan Kubovský, PhD.
KFEAM DF TUZVO

15.10.2024

2. vedecký seminár k projektu APVV -22-0030

1

Vonkajšie faktory schopné zmeniť vlastnosti dreva

- teplo** - termodegradácia (zmeny v ligníne a hemicelulózach).
- elektromagnetické žiarenie (UV, VIS, IR)** - absorpcia elektromagnetického žiarenia (fotodegradácia, $\lambda_{\text{max absorb}} = 280 \text{ nm}$).
- vlhkosť** - hydrotermická úprava (hydrolyza celulózy, zmeny štruktúry lignínu).
- vybrané chemické látky** - napr. bielenie (H_2O_2).

15.10.2024 2. vedecký seminár k projektu APVV

-22-0030

2

Analýza farebných zmien - základné atribúty farby

- **Farebný tón** - dominantná λ svetla (odtieň)
- **Farebná sýtosť** - podiel achromatickej zložky v danej farbe
- **Svetlosť** - množstvo odrazeného svetla od predmetu (ekvivalent jas).

Dôsledok: rozpad a vznik väzieb v hlavných zložkách dreva, vznik chromofórov (príčina farebnosti a farebných zmien).

Zobrazenie - vhodná kolorimetrická sústava (napr. CIE Lab).

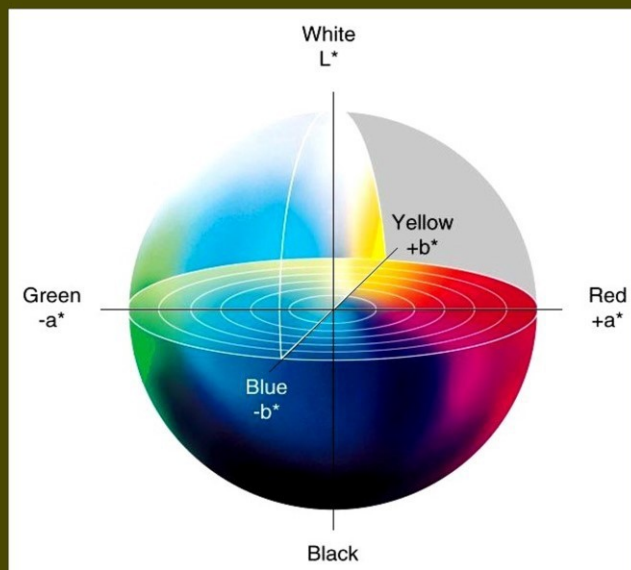
Spracované podľa: Kubovský a Urgela, 2004

3

15.10.2024 2. vedecký seminár k projektu APVV

-22-0030

Kolorimetrický priestor CIE Lab



$$L^* = 116 \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

X, Y, Z - trichromatické zložky danej farby

X_n, Y_n, Z_n - trichromatické zložky normalizovaných svetiel (700 nm, 546,1 nm a 435,8 nm).

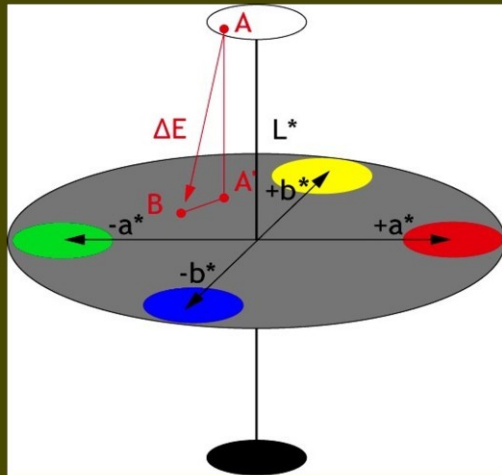
Obr. 1 Kolorimetrický priestor CIE Lab (podľa Kubovský a Urgela, 2004)

4

15.10.2024 2. vedecký seminár k projektu APVV

-22-0030

Farebné diferencie v CIE Lab (analýza farebných zmien)



$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

ΔL^* , Δa^* , Δb^* - farebné diferencie (rozdiely hodnôt po úprave a pred ňou)

Obr. 2 Znáznornenie farebných diferencií v CIE Lab (podľa Kubovský a Kačík, 2015)

5

15.10.2024 2. vedecký seminár k projektu APVV

-22-0030

Základné zložky dreva - najvýznamnejšie funkčné skupiny

Tab. 1 Vybrané funkčné skupiny v hlavných zložkách dreva (podľa Colom et al., 2003, Lionetto et al., 2012)

Vlnočet (cm ⁻¹)	Funkčná skupina	Lokalizácia
3300-4000	O-H	lignín
2800-3000	C-H, CH ₂	celulóza, hemicelulózy, lignín
1730-1740	C=O	lignín a hemicelulózy
1640-1650	C=O	lignín
1595-1600	C=C	lignín (syringyl)
1505-1510	C=C	lignín (guaiacyl)
1450-1465	C-H, CH ₃	hemicelulózy+lignín
1420-1430	CH ₂	celulóza (amorfná a kryštalická)
1370-1380	C-H	celulóza
1250	C-O	karboxylové skupiny
1150-1165	C-O-C	celulóza
895-905	C-H	celulóza (amorfná)

6

15.10.2024 2. vedecký seminár k projektu APVV

-22-0030

Materiál a metodika

Dreviny: Agát, Africký Padauk, Merbau, Mahagón a Iroko.

Rozmery: 20 × 100 × 200 mm

Vlhkosť (MOC): 12 %

Termická degradácia (ThermoWood - 160, 180 a 210 °C, bez úpravy pri 20 °C - ako referenčná).

Materiál a metodika

Meranie farby: spektrofotometer CM-700D (Konica Minolta).

Chemická analýza: stanovenie obsahu lignínu, celulózy a hemicelulózy.

FTIR analýza: ATR metóda, spektrometer Nicolet iS10 (32 skenov, merací rozsah 4000 - 650 cm^{-1}).

Výsledky - farebné zmeny po termickej úprave



Obr. 3 Povrch agátového dreva po termickej úprave (Kačík et al., 2023)

Výsledky - farebné zmeny po termickej úprave

Tab. 2 Hodnoty L^* , a^* , b^* , ΔE v závislosti od teploty (Kačík et al., 2023, Gaff et al., 2023)

Farebný priestor CIE Lab	Teplota (°C)	Agát	Africký padauk	Merbau	Mahogón	Iroko
		L^*	20	69.5	46.60	38.53
	160	38.0	40.28	30.35	40.16	51.48
	180	34.0	35.33	27.83	28.50	42.40
	210	32.2	30.60	13.92	19.62	32.45
a^*	20	3.7	25.90	11.46	12.39	8.22
	160	7.4	24.01	7.71	14.61	11.19
	180	6.1	19.58	3.62	12.95	11.02
	210	5.6	9.57	1.81	5.33	7.50
b^*	20	28.0	23.37	14.47	20.53	26.05
	160	11.6	22.40	6.76	19.72	23.62
	180	9.2	17.09	3.42	16.71	17.50
	210	8.2	8.81	1.71	7.08	9.20
ΔE	20	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00
	160	35.7	6.91	11.93	11.29	12.32
	180	40.3	18.58	18.50	23.02	22.38
	210	42.3	33.04	37.01	42.47	38.96

Výsledky - zmeny v hlavných zložkách dreva po termickej úprave

Tab. 3 Obsah hlavných zložiek dreva v závislosti od teploty (Kačík et al., 2023, Gaff et al., 2023)

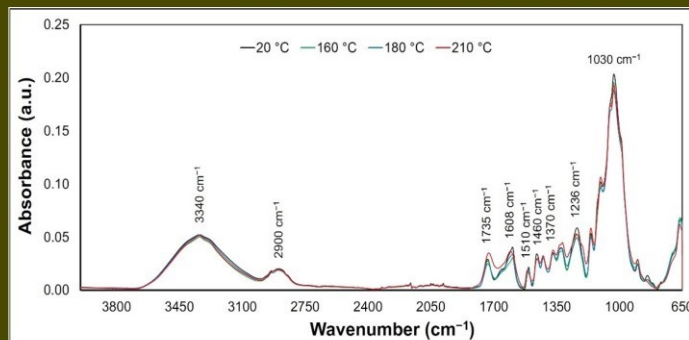
Zložka dreva (%)	Teplota (°C)	Agát	Africký padauk	Merbau	Mahogón	Iroko
Lignín (%)	20	24.11	33.77	33.77	24.84	29.09
	160	23.94	34.84	33.24	25.26	29.00
	180	25.23	35.53	35.78	27.40	29.85
	210	28.82	39.73	44.64	31.59	36.94
Celulóza (%)	20	42.50	40.47	41.44	45.35	42.91
	160	44.88	40.81	42.81	45.92	44.08
	180	47.63	40.40	47.22	47.43	42.45
	210	54.45	44.07	49.95	49.40 (0.98)	50.89 (1.36)
Hemicelulózy (%)	20	25.96	25.62	17.07	23.07	29.77
	160	22.47	24.24	15.77	21.55	24.70
	180	16.33	21.47	9.89	14.06	23.40
	210	4.85	10.17	1.74	5.13	10.78

11

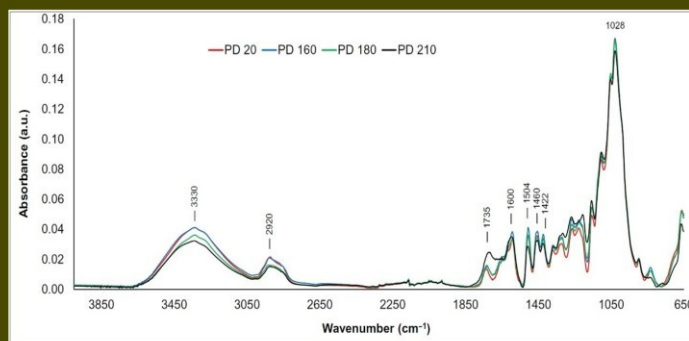
15.10.2024 2. vedecký seminár k projektu APVV

-22-0030

Výsledky - zmeny vo FTIR spektrách po termickej úprave (agát a africký padauk)



Obr. 4 FTIR spektrum termicky upraveného agátového dreva (Kačík et al., 2023)



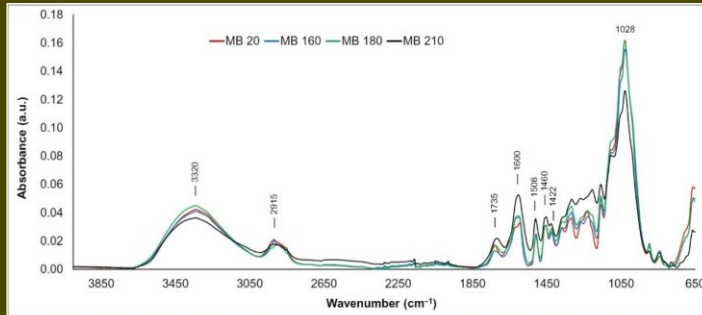
Obr. 5 FTIR spektrum termicky upraveného dreva Padouk (Gaff et al., 2023)

12

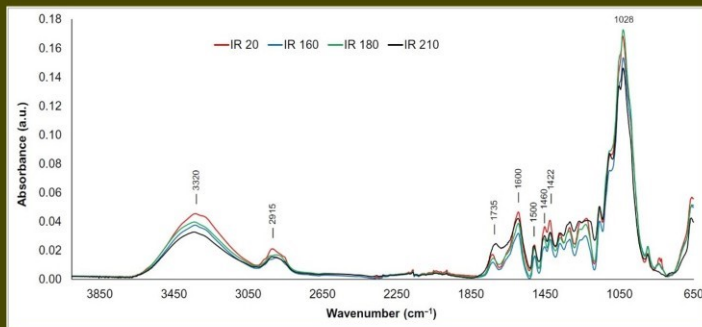
15.10.2024 2. vedecký seminár k projektu APVV

-22-0030

Výsledky - zmeny vo FTIR spektrách po termickej úprave (merbau a iroko)

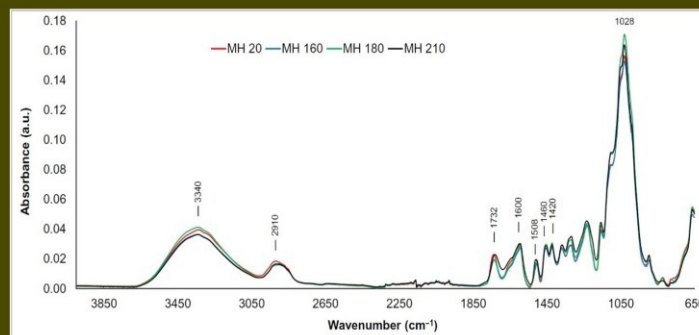


Obr. 6 FTIR spektrum termicky upraveného dreva Merbau (Gaff et al., 2023)



Obr. 7 FTIR spektrum termicky upraveného dreva Iroko (Gaff et al., 2023)

Výsledky - zmeny vo FTIR spektrách po termickej úprave (mahagón)



Obr. 8 FTIR spektrum termicky upraveného mahagónového dreva (Gaff et al., 2023)

Závery

- Farebné zmeny povrchu dreva - najmä pokles svetlosti spolu s nárastom teploty.
- Nárast celkovej farebnej diferencie ΔE .
- Zmeny v zložení dreva - zmeny v polysacharidoch, s rastúcou teplotou najrýchlejšie odbúravanie hemicelulóz .
- Degradácia celulózy a štiepenie väzieb v ligníne .
- Vzájomná reakcia funkčných skupín → kondenzácia lignínu .
- Zmeny v C=O a C=C (lignín, hemicelulózy) .
- Oxidačné reakcie → chinóny, hydrochinóny, fenoly (chromofóry, zodpovedné za farbu dreva) .

Použité literárne zdroje

- Colom, X., Carrillo, F., Nogués, F., Garriga, P. 2003. Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. In: Polymer Degradation and Stability, 80, s. 543-549.
- Gaff, M., Kubovský, I., Sikora, A., Kačíková, D., Li, H., Kubovský, M., Kačík, F. 2023. Impact of thermal modification on color and chemical changes of African padauk, merbau, mahogany, and iroko wood species. In: Reviews on advanced materials science, 62(1), 10 s., ISSN 1605-8127. doi/10.1515/rams-2022-0277/pdf.
- Kačík, F., Kubovský, I., Bouček, J., Hřčka, R., Gaff, M., Kačíková, D. 2023. Colour and chemical changes of black locust wood during heat treatment. In: Forests, 14(1), art. No. 73, 13 s., ISSN 1999-4907. <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/1/73>.
- Kubovský, I., Kačík, F. Výskum farby a zloženia povrchu dreva ožarovaného CO2 laserom. 2015. Monografia, TU vo Zvolene 2015, 91 s., ISBN 978-80-228-2795-9.
- Kubovský, I., Urgela, S. 2004. Farba a svetlo. Monografia, TU vo Zvolene 2004, 102 s., ISBN-80-228- 1399-0.
- Lionetto, F., Del Sole, R., Cannoletta, D., Vasapollo, G., Maffezzoli, A. 2012. Monitoring wood degradation during weathering by cellulose crystallinity. Materials, 2012 roč. 5, č.10, s. 1910-1922. doi: 10.3390/ma5101910.

Ďakujem za pozornosť.

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

**Štúdium horľavosti drevotrieskových
dosiek vyrobených s použitím lepidla
PF/pMDI a z drevných častíc ošetrených
polyesterizáciou
so sorbitolom a kyselinou citrónovou**
Pozvaná prednáška

prof. Bc. Ing. Andrea Majlingová, PhD., MSc.
KPO DF TUZVO

Úvod

Požiadavky na vlastnosti drevotrieskových dosiek sa neustále zvyšujú. Preto bol uskutočnený výskum zameraný na stanovenie vplyvu polyesterifikácie borovicových častíc zmesou sorbitolu a kyseliny citrónovej (SCA) na požiarne vlastnosti drevotrieskových dosiek lepených hybridnou živcou PF/pMDI.

Problematika

Na základe výsledkov výskumu výroby drevotriekových dosák z drevných častíc impregnovaných zmesou uhlíčitánu draselného a močoviny sa zistilo, že na tento účel možno použiť hybridné živice PF/pMDI [1,2].

Z praktického hľadiska ide o zaujímavé riešenie, pretože použitie tohto typu spojiva zvyčajne umožňuje splniť požiadavky na materiály používané v exteriéri, čo je rozhodujúce napríklad v stavebníctve [3].

Podľa Becka [4] sa v poslednom desaťročí dostáva do popredia polyesterizácia chemických látok v dreve ako technika chemickej modifikácie. Zaujímavým príkladom látok, ktoré možno použiť na tento účel, sú sorbitol a kyselina citrónová (SCA). Ide o lacný, široko dostupný, biologický a netoxický roztok, ktorý môže prispieť napríklad k zlepšeniu rozmerovej stability dreva, odolnosti proti hubovej hnilobe, odolnosti proti podzemným termitom a odolnosti proti morskému prostrediu [5-7].

Problematika

Okrem toho výskum, ktorý uskutočnili Mubarak et al. [8], ukázal, že SCA modifikované bukové drevo sa vyznačuje nižšou teplotou tepelného rozkladu, čo podľa autorov naznačuje možné protipožiarne vlastnosti SCA.

Preto vzhľadom na sľubné výsledky z hľadiska použitia PF živice modifikovanej polymérnym 4,4'-metyléndifenyldiizokyanátom (PF/pMDI) na drevo ošetrené proti požiaru, mnohé priaznivé účinky polyesterifikácie na vlastnosti dreva a skutočnosť, že vplyv použitia SCA modifikovaného dreva na požiarne vlastnosti drevotriekových dosák nebol doteraz skúmaný, bol tento výskum zameraný na stanovenie práve požiarnych vlastností drevotriekových dosák vyrobených z drevných častíc polyesterifikovaných sorbitolom a kyselinou citrónovou.

Materiál

Častice borovice (*Pinus sylvestris* L.) určené na výrobu jednovrstvových drevotrieskových dosiek a strednej vrstvy trojvrstvových drevotrieskových dosiek dodal miestny výrobca materiálov na báze dreva. Kyselina citrónová (čistota > 99 %) a D -sorbitol (čistota > 98 %) boli zakúpené od spoločnosti Merck (Poznaň, Poľsko). Fenol -formaldehydové lepidlo s viskozitou 618 mPa-s, s časom vytvorenia gelovej formy v čase 249 s pri teplote 130 °C, obsahom pevnej látky 53 %, pH 10,5 dodal Silekol (Kędzierzyn -Koźle, Poľsko). pMDI získaný od spoločnosti Bayer AG (Leverkusen, Nemecko) sa vyznačoval týmito vlastnosťami: obsah pevnej látky 100 %, obsah NCO 32 %, hydrolytický chlór 96 mg/kg a viskozita 220 mPa-s.

Metodika

1. Polyesterizácia častíc dreva

Na určenie priemerných rozmerov častíc dreva sa vykonala sitová analýza, pričom analýza ukázala, že viac ako 80 % častíc dreva predstavovali frakcie v rozsahu od 1,5 do 2,5 mm.

Pred spracovaním sa vysušili pri 100 °C na obsah vlhkosti 2 ± 2 %.

Zmes sorbitolu a kyseliny citrónovej na impregnáciu sa pripravila podľa metódy opísanej Beckom [4]. Zásobný roztok (pH 2) sa pripravil zmiešaním kyseliny citrónovej a sorbitolu v molárnom pomere 3 : 1 a rozpustením práškov v destilovanej vode na dosiahnutie koncentrácie 56 %.

Potom sa získaný roztok zriedil destilovanou vodou na koncentrácie 25 % a 35 %, ktoré sa použili na ošetrovanie. Častice dreva sa umiestnili do 45 -l HDPE nádob naplnených impregnačným roztokom a namáčali sa 3 h. Po namočení sa nechali 30 min odkvapkať a potom sa 18 h vytvrdzovali pri teplote 140 °C, aby sa dokončila polyesterifikácia [7].

Metodika

2. Výroba a testovanie drevotrieskových dosiek

Tabuľka 1 Zoznam variantov drevotrieskových dosiek

Označenie variantu	Koncentrácia SKC	Podiel pMDI v PF/pMDI lepidle
0-0	neošetrené	0%
0-5	neošetrené	5%
0-15	neošetrené	15%
0-25	neošetrené	25%
25-0	25%	0%
25-5	25%	5%
25-15	25%	15%
25-25	25%	25%
35-0	35%	0%
35-5	35%	5%
35-15	35%	15%
35-25	35%	25%

Na prípravu hybridného lepidla sa k PF živici pridalo predpokladané množstvo pMDI a získaná zmes sa ručne miešala, kým sa nedosiahla správna homogenizácia. Lepenie drevených častíc sa vykonávalo v pomalobežnom lepiacom zariadení vybavenom pneumatickým systémom LFG-5 (DeVilbiss, Varšava, Poľsko). Stupeň lepenia, vypočítaný ako pomer suchej hmotnosti lepidla k suchej hmotnosti dreva, bol 10 %. Pre každý variant sa pomocou hydraulického lisu Simpelkamp (Krafeld, Nemecko) vyrobili dve drevotrieskové dosky s rozmermi 580 × 670 mm, predpokladanou hrúbkou 10 mm a predpokladanou hustotou 650 kg/m³. Použili sa tieto parametre lisovania: čas lisovania 25 s/mm konečnej hrúbky dosky, teplota lisovania 180°C a jednotkový tlak 2,5 N/mm².

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

7

Metodika

3. Posúdenie horľavosti dosiek

Na preskúmanie správania sa vzoriek pri horení sa stanovila hmotnostná rýchlosť odhorievania. Vzorka s rozmermi 50 × 70 mm sa umiestnila do kovového držáka vo vzdialenosti 30 mm od sálajúceho tepelného zdroja s tepelným tokom 30 kW/m² a príkonom 1 000 W (obrázok 1). Úbytok hmotnosti sa meral elektronickými váhami pripojenými k držiakovi, počas 600 s v intervaloch 1 s, pričom sa použilo 5 vzoriek z každého variantu.

Rýchlosť odhorievania (θ) sa vypočítala podľa nasledujúcej rovnice 2:

$$\theta = \frac{\delta(\tau) - \delta(\tau + \Delta\tau)}{\Delta\tau} \quad (2)$$

kde: $\delta(\tau)$ je hmotnosť vzorky za čas τ (g); $\delta(\tau + \Delta\tau)$ je hmotnosť vzorky za čas $\tau + \Delta\tau$ (g) a $\Delta\tau$ je časový interval, v ktorom bola zaznamenaná hodnota hmotnosti (s).

Horľavosť drevotrieskových dosiek v teplovzdušnej peci sa stanovila podľa normy ISO 871 [9] v Setchkinovej peci. Za teplotu bodu vzplanutia sa považovala najnižšia teplota vzduchu, pri ktorej sa vzorky s rozmermi 10 × 10 mm a celkovou hmotnosťou $1 \pm 0,03$ g zapálili do 600 s. Teplota v teplovzdušnej peci sa merala pomocou termočlánkov a zaznamenávala pomocou dataloggeru Ahlborn Almemo 2290-8710 V7 (Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH, Holzkirchen, Nemecko). Test sa pre každý variant opakoval 5x.



Obrázok 1 Požiarna skúška, ktorá slúži na stanovenie hmotnostnej rýchlosti odhorievania vzorky

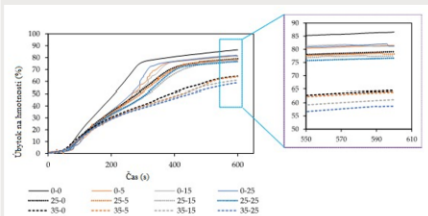
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

8

Výsledky a diskusia

Krivky percentuálneho úbytku hmotnosti pri pôsobení zdroja sálavého tepla a ďalších stanovených požiarных vlastností sú uvedené na obrázku 2 a v tabuľke 2.



Obrázok 2 Krivky percentuálneho úbytku hmotnosti pri pôsobení zdroja sálavého tepla [15]

Tabuľka 2 Požiarne vlastnosti vyrobených drevotrieskových dosiek [15]

Variant	Úbytok hmotnosti (%)	Čas do zapálenia	Max rýchlosť odhorievania (g/s)	Čas do dosiahnutia maximálnej rýchlosti odhorievania (s)	Teplota vzplanutia (°C)
0-0	86.06 ± 0.66 ^a	49 ± 3 ^a	0.47 ± 0.22 ^a	124 ± 82 ^a	314.4 ± 4.0 ^a
0-5	82.84 ± 1.17 ^{ab}	69 ± 15 ^{ab}	0.62 ± 0.03 ^{ab}	216 ± 118 ^{ab}	316.4 ± 5.0 ^a
0-15	81.95 ± 1.30 ^{ab}	73 ± 10 ^{ab}	0.76 ± 0.31 ^{ab}	288 ± 108 ^{ab}	319.9 ± 3.0 ^a
0-25	81.79 ± 0.98 ^{ab}	74 ± 8 ^a	0.63 ± 0.02 ^{ab}	167 ± 99 ^{ab}	320.6 ± 2.6 ^a
25-0	79.15 ± 0.84 ^a	62 ± 3 ^{ab}	0.55 ± 0.13 ^{ab}	180 ± 169 ^{ab}	349.9 ± 2.9 ^a
25-5	78.42 ± 1.92 ^a	70 ± 10 ^{ab}	0.60 ± 0.06 ^{ab}	143 ± 118 ^{ab}	353.1 ± 1.1 ^a
25-15	77.83 ± 0.92 ^a	71 ± 16 ^{ab}	0.57 ± 0.06 ^{ab}	99 ± 22 ^a	370.3 ± 2.4 ^a
25-25	77.41 ± 1.91 ^a	57 ± 3 ^{ab}	0.57 ± 0.12 ^{ab}	104 ± 54 ^{ab}	386.4 ± 4.1 ^a
35-0	64.79 ± 3.89 ^{cd}	50 ± 9 ^{ab}	0.31 ± 0.22 ^a	65 ± 11 ^a	403.5 ± 1.4 ^a
35-5	64.05 ± 4.27 ^{cd}	52 ± 10 ^{ab}	0.29 ± 0.21 ^a	148 ± 18 ^a	410.4 ± 5.1 ^a
35-15	61.24 ± 4.86 ^{cd}	58 ± 11 ^{ab}	0.33 ± 0.16 ^a	80 ± 23 ^a	426.5 ± 2.9 ^a
35-25	58.59 ± 1.82 ^d	71 ± 8 ^{bc}	0.33 ± 0.16 ^a	72 ± 40 ^a	431.6 ± 2.8 ^a

Výsledky a diskusia

Výsledky vykonaných analýz zameraných na stanovenie rýchlosti odhorievania vzoriek ukázali, že dosky vyrobené z častíc ošetrených 35 % roztokom SKS vykazovali najnižšie hodnoty konečného úbytku hmotnosti po 600 s experimentu. Pri použití 25 % roztoku sa výsledky výrazne líšili od dosiek vyrobených z neošetrených častíc spojených len čistou PF živivicou. Okrem toho analýza časov vznietenia vzoriek nepreukázala žiadnu jasnú tendenciu v dôsledku polyesterifikácie ani modifikácie živice.

Ako však uvádzajú Park a Lee [10], vznietenie materiálov na báze dreva je zložitý jav na analýzu z dôvodu nehomogenity drevotrieskových dosiek a s tým spojeného výskytu dutých priestorov, rozptylu hustoty, nerovnomernej štruktúry povrchu atď. Rýchlosť horenia drevotrieskových dosiek je tiež zložitý jav na analýzu, najmä vzhľadom na prebiehajúci proces zuhoľnatenia [11]. Na druhej strane teplota bodu vzplanutia sa výrazne menila v závislosti od predpokladaných premenných.

Výsledky a diskusia

Vzhľadom na to, že väčšina výsledkov bola na prvý pohľad nepresvedčivá, bola vykonaná analýza ANOVA na posúdenie vplyvu jednotlivých premenných. Výsledky sú uvedené v tabuľke 3.

Tabuľka 3 Výsledky analýzy ANOVA vykonanej na základe výsledkov skúmania požiarnej vlastností [15]

Hlavný faktor	Štatistické parametre				
	SS	Df	MS	F	p
Úbytok hmotnosti (%)					
A	4815.6	2	2407.8	310.37	0.00000
B	140.4	3	46.8	6.03	0.00143
A × B	47.8	6	8.0	1.03	0.42010
Čas do zapálenia (s)					
A	780.7	2	390.3	4.089	0.022922
B	1914.7	3	638.2	6.686	0.000732
A × B	2201.6	6	366.9	3.844	0.003287
Maximálna rýchlosť odhorievania (g/s)					
A	1.06136	2	0.53068	19.1714	0.000001
B	0.09236	3	0.03079	1.1123	0.353384
A × B	0.13749	6	0.02292	0.8278	0.554226
Čas do dosiahnutia maximálnej rýchlosti odhorievania (s)					
A	117724	2	58862	5.7204	0.005912
B	30472	3	10157	0.9871	0.406801
A × B	87483	6	14581	1.4170	0.227675
Teplota vzplanutia (°C)					
A	100449	2	50225	4548.6	0.000000
B	5343	3	1781	161.3	0.000000
A × B	1676	6	279	25.3	0.000000

A – koncentrácia SKC, B – podiel pMDI, A × B – interakcia medzi hlavnými faktormi, SS – suma štvorcov, MS – stredná hodnota štvorcov, F – Fisherova štatistika, p-hodnota

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

11

Výsledky a diskusia

Na základe získaných štatistických parametrov sa zistil významný vplyv koncentrácie SCA na každý z analyzovaných parametrov, ktorý bol obzvlášť výrazný, čo potvrdzujú vysoké hodnoty SS, MS, F a p-hodnoty. Na základe termogravimetrickej analýzy, ktorú vykonali Mubarak et al [8], sa zistilo, že drevo ošetrené 30 % SKC vytvrdené pri 140 °C vykazuje zníženie úbytku hmotnosti približne o 20 % v porovnaní s kontrolnými vzorkami. Podľa autorov by kombinácia hydrolyzy glykozidických väzieb polysacharidov dreva kyslým SKC, postupujúcej esterifikácie a tepelnej degradácie počas vytvrdzovania mohla podporiť zuhoľňovanie a znížiť úbytok hmotnosti. Zdá sa, že tento spôsob úpravy častíc je z hľadiska protipožiarnej ochrany menej účinný ako napríklad zmes uhličitanu draselného a močoviny použitá v predchádzajúcej štúdii [2]. Nedávne zistenia Kurkowiaka et al. [12] však naznačujú, že kombinácia SCA s komerčným retardérom horenia na báze fosforu by mohla viesť k ďalšiemu zlepšeniu požiarnej odolnosti drevotriekových dosiek. Podiel pMDI v hybridnom lepidle zasa preukázal štatisticky významný vplyv na hmotnostné straty, čas do vznietenia a teplotu bodu vzplanutia. Hoci v literatúre existujú náznaky týkajúce sa napríklad zhutnenia spojovacích línii odstránením mikrotrhlín v dôsledku prídavku pMDI [13] alebo zvýšenej tepelnej stability vytvrdených hybridných živíc [1,14], ktoré by potenciálne mohli do určitej miery prispieť k zlepšeniu horľavosti, tento účinok nemožno na základe súčasných poznatkov bez dodatočnej komplexnej analýzy jednoznačne vysvetliť. Navyše v prípade výsledkov času do vznietenia a teploty bodu vzplanutia boli zaznamenané interakcie medzi koncentráciou SCA a zaťažením pMDI. To znamená, že súčasné zvýšenie koncentrácie SCA a podielu pMDI spôsobuje postupné zvyšovanie zápalných vlastností drevotriekových dosiek.

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

12

Záver

Aplikovaná úprava drevných častíc prispela k zlepšeniu horľavých vlastností vyrobených dosiek a so zvyšujúcou sa koncentráciou SKC sa zvyšovala aj viditeľnosť tohto účinku. Výsledky štúdie tiež naznačujú, že zvýšenie obsahu pMDI môže mať vplyv na horľavosť drevotriekovej dosky, avšak na podrobné vysvetlenie tohto účinku je potrebné vykonať ďalšie štúdie. Za najlepší variant možno považovať drevotriekové dosky vyrobené z častíc ošetrených 35 % roztokom SKC, ktoré boli spojené hybridnou živicom obsahujúcou 15 % pMDI.

Použitá literatúra

- [1]. Kawalerczyk, J.; Dukarska, D.; Barczewski, M.; Dziurka, D.; Mirski, R. Optimization of Isocyanate Content in PF/pMDI Adhesive for the Production of High-Performing Particleboards. *Polymers* 2023, 15, 4645.
- [2]. Kawalerczyk, J.; Dziurka, D.; Majlingová, A.; Lieskovský, M.; Walkiewicz, J.; Mirski, R. The Effect of Impregnation with Fire Retardant on the Properties of Particleboard Bonded with PF/pMDI Adhesive. *Wood Material Science & Engineering* 1–11, doi:10.1080/17480272.2023.2266408.
- [3]. Dukarska, D.; Czarnecki, R.; Dziurka, D.; Mirski, R. Construction Particleboards Made from Rapeseed Straw Glued with Hybrid pMDI/PF Resin. *European Journal of Wood and Wood Products* 2017, 75, 175-184.
- [4]. Beck, G. Leachability and Decay Resistance of Wood Polyesterified with Sorbitol and Citric Acid. *Forests* 2020, 11, 650.
- [5]. Treu, A.; Nunes, L.; Larnøy, E. Macrobiological Degradation of Esterified Wood with Sorbitol and Citric Acid. *Forests* 2020, 11, 776.
- [6]. Treu, A.; Nunes, L.; Larnøy, E. Macro Biological Degradation of Wood Treated with Sorbitol and Citric Acid: First Results from Marine Environment and Termite Exposure. 2020.
- [7]. Larnøy, E.; Karaca, A.; Gobakken, L.R.; Hill, C.A.S. Polyesterification of Wood Using Sorbitol and Citric Acid under Aqueous Conditions. *International Wood Products Journal* 2018, 9, 66-73.
- [8]. Mubarak, M.; Militz, H.; Dumarçay, S.; Gérardin, P. Beech Wood Modification Based on in Situ Esterification with Sorbitol and Citric Acid. *Wood Science and Technology* 2020, 54, 479–502.

Použitá literatúra

- [9]. Mancel, V.; Čabalová, I.; Krilek, J.; Réh, R.; Zachar, M.; Jurczyková, T. Fire Resistance Evaluation of New Wooden Composites Containing Waste Rubber from Automobiles. *Polymers* 2022, 14, 4465.
- [10]. Park, J.-S.; Lee, J.-J. Ignition and Heat Release Rate of Wood-Based Materials in Cone Calorimeter Tests. *Journal of the Korean Wood Science and Technology* 2008, 36, 1-8.
- [11]. Quintiere, J.G.; Quintiere, J.G. A Semi-Quantitative Model for the Burning Rate of Solid Materials; National Institute of Standards and Technology, Building and Fire Research ..., 1992;
- [12]. Kurkowiak, K.; Wu, M.; Emmerich, L.; Militz, H. Fire-Retardant Properties of Wood Modified with Sorbitol, Citric Acid and a Phosphorous-Based System. *Holzforschung* 2023, 77, 38-44.
- [13]. Zheng, J.; Fox, S.C.; Frazier, C.E. Rheological, Wood Penetration, and Fracture Performance Studies of PF/pMDI Hybrid Resins. *Forest products journal* 2004, 54.
- [14]. Xu, G.-Z.; Eom, Y.-G.; Lee, B.-H.; Kim, H.-J. Effect of pMDI or HDI Content in UMF Resin on Bonding High Moisture Content Veneers. *J Korean Wood Sci Technol* 2010, 38, 414-420.
- [15]. Kawalerczyk, J., Kuliński, M., Majlingová, A. et al. The effect of wood particles polyesterification with sorbitol and citric acid on the properties of particleboard produced with the use of PF/pMDI adhesive. *Eur. J. Wood Prod.* 2024, 82, 1725-1737.

Ďakujem za pozornosť.

prof. Bc. Ing. Andrea Majlingová, PhD., MSc.
Technická univerzita vo Zvolene
Drevárska fakulta
Katedra protipožiarnej ochrany
T. G. Masaryka 24
960 01 Zvolen
e-mail: majlingova@is.tuzvo.sk

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

Výskum v oblasti retardácie horenia dreva a aplikovateľnosti ochranných látok

Pozvaná prednáška

Ing. Mitterová Iveta, PhD.
KPO DF TUZVO

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

1

Drevo v stavebníctve

- trvalo udržateľný prírodný zdroj,
- všestranne využiteľné – predovšetkým ako konštrukčný materiál,
- disponujúce veľmi dobrými mechanickými, tepelnotechnickými, technologickými a ekologickými vlastnosťami,
- degradujúce vplyvom klimatických a biologických činiteľov a účinkom vyšších teplôt aktivačného zdroja

Ochrana dreva ➡ aplikácia smerovo účinných spôsobov ochrany
(konštrukčná, fyzikálna, chemická, protipožiarna) [1, 2]

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

2

Protipožiarna ochrana dreva

- faktory ovplyvňujúce návrh protipožiarnej ochrany – *legislatívne, ekonomické a technologické* [3]
- existencia rôznych systémov – tzv. *suché a mokré technológie* (obklady, nátery, nástreky, impregnácia, nanokompozitné systémy)
- látky používané v ochranných systémoch – *retardéry horenia*
 - *anorganické* (fosforečnany amónne, sírany amónne, chloridy amónne),
 - *organické* (fosforom modifikovaný pšeničný škrob alebo celulózo-*nanovlákná*)
 - *intumescentné* – vodné disperzie vhodných polymérov s prídavkom retardačných a penotvorných zložiek
 - *protipožiarne obklady* na anorganickej báze – na báze cementu, sadry, resp. minerálnych vlákien (dosky sadrokartónové, sadrovláknité, minerálnovláknité) [4]
- v praxi najviac využívanými sú intumescentné (napeňovacie) náterové látky

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

3

Orientácia výskumu

- chemická ochrana dreva látkami s ohňovzdorným smerovým účinkom,
- využitie rôznych aplikačných spôsobov ochranných látok na drevo
- využitie rôznych metód hodnotenia (normové a modelové testy)

Cieľ príspevku

- sumarizácia výsledkov série experimentov hodnotiacich termickú odolnosť smrekového dreva pred a po retardačnej úprave, pri tepelnom zaťažení sálavým zdrojom

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

4

Materiál a metódy

Materiál

- drevo smreka obyčajného (*Picea abies L.*) – čisté a povrchovo upravené retardačnou látkou
- použité náterové látky – vodou riediteľné
 - *Hr-prof* – účinná látka fosforečnan železitý
 - *Bochemit Antiflash* – účinná látka kyselina boritá
 - *Plamor OK* - zmes retardérov v polyvinylacetátovej disperzii
- použitá aplikácia – náter (1, 2 a 3 vrstvy), máčanie (24 hod)
- použitá koncentrácia – neriedená a riedená v pomere 3:1 a 1:1

15. 10. 2024

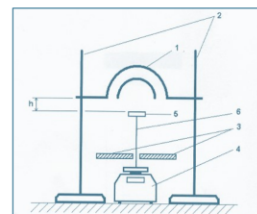
2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

5

Materiál a metódy

Metódy

- použitá nenormová (modelová) testovacia metóda
 - skúška sálavým teplom (infračerveným žiariacim telesom s výkonom 1kW) – obr.1
- hodnotiace kritériá
 - úbytok hmotnosti a čas vznietenia
- porovnávacie kritériá
 - vplyv počtu vrstiev retardačnej látky na hodnotiace kritériá
 - vplyv aplikácie látky (náter, máčanie) na hodnotiace kritériá
 - vplyv koncentrácie retardačnej látky na hodnotiace kritériá
 - vplyv prostredia na účinnosť retardačnej látky



Obr. 1 Schéma zariadenia [5]

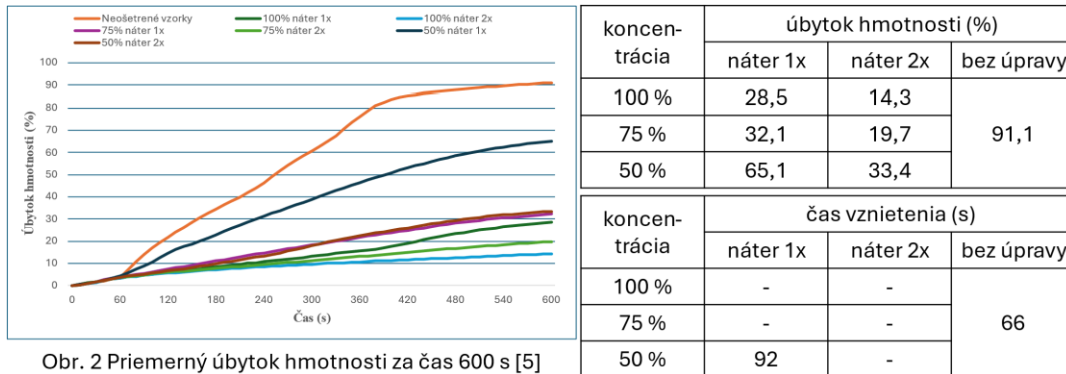
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

6

Výsledky

a) Vyhodnotenie termickej odolnosti smrekového dreva ošetreného retardačnou látkou **Plamor OK** [5]



Obr. 2 Priemerný úbytok hmotnosti za čas 600 s [5]

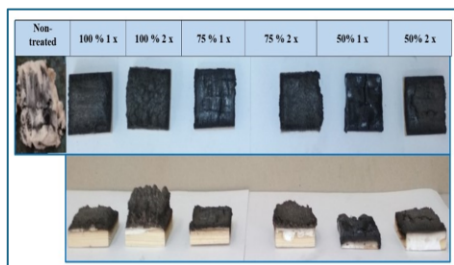
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

7

Výsledky

a) Vyhodnotenie termickej odolnosti smrekového dreva ošetreného retardačnou látkou **Plamor OK** [5]



Obr. 3 Fotodokumentácia vzoriek po skúške [5]

konštatovanie:

- aplikácia látky Plamor OK prispela k výraznému zníženiu úbytku hmotnosti (oproti neošetreným vzorkám) a zabránila ich vznieteniu
- najlepší účinok látky bol zaznamenaný pri aplikácii v 100 % koncentrácii a v dvoch vrstvách
- účinnosť látky sa znižovala riedením vodou

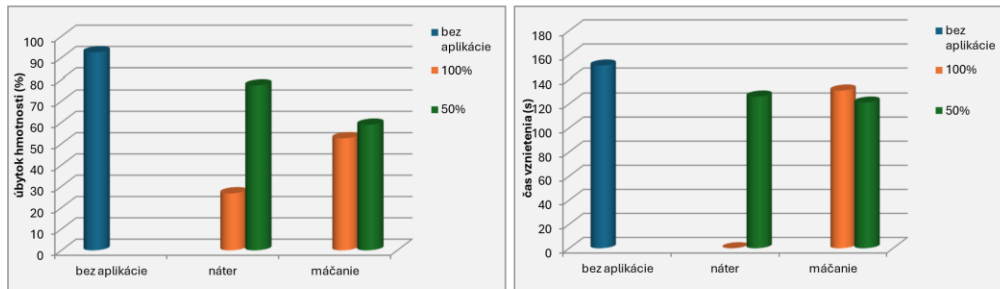
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

8

Výsledky

b) Vyhodnotenie termickej odolnosti smrekového dreva ošetreného retardačnou látkou **Bochemit Antiflash (3x)** [6]



Obr. 4 a 5 Priemerný úbytok hmotnosti a čas vznietenia testovaných vzoriek [6]

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

9

Výsledky

b) Vyhodnotenie termickej odolnosti smrekového dreva ošetreného retardačnou látkou **Bochemit Antiflash (3x)** [6]

koncentrácia	úbytok hmotnosti (%)		
	náter	máčanie	bez úpravy
100 %	26,7	52,6	92,5
50 %	77,4	58,9	

koncentrácia	čas vznietenia (s)		
	náter	máčanie	bez úpravy
100 %	-	131	151
50 %	126	121	

konštatovanie:

- aplikácia látky Bochemit Antiflash prispela k výraznému zníženiu úbytku hmotnosti (oproti neošetreným vzorkám)
- najlepší účinok látky bol zaznamenaný pri aplikácii náterom v 100 % koncentrácii
- účinnosť látky sa znížila riedením vodou
- látka v neriedenej forme je vhodnejšia pre aplikáciu náterom, v riedenej forme je vhodnejšia pre aplikáciu máčaním

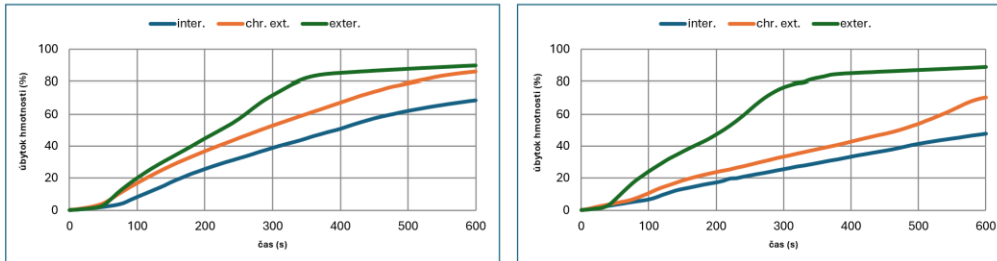
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

10

Výsledky

c) Vyhodnotenie termickej odolnosti smrekového dreva ošetreného retardáčnou látkou **HR-Prof** [7]



Obr. 6 a 7 Vplyv prostredia na účinnosť retardáčnej látky a na úbytok hmotnosti neošetrených vzoriek (vľavo) a ošetrených vzoriek (vpravo) [7]

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

11

Výsledky

c) Vyhodnotenie termickej odolnosti smrekového dreva ošetreného retardáčnou látkou **HR-Prof** [7]

prostredie	čisté vzorky		vzorky ošetrené HR-Prof	
	úb. hmotnosti (%)	čas zapálenia (s)	úb. hmotnosti (%)	čas zapálenia (s)
interiér	68	95	48	155
chránený exteriér	85	61	71	92
exteriér	90	37	89	37

konštatovanie:

- prostredie, ktorému boli vzorky vystavené (čisté a retardáčne upravené), malo výrazný vplyv na účinnosť retardáčnej látky a na hodnotiace kritériá
- najnepriaznivejší vplyv malo vonkajšie prostredie

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

12

Závery

- všetky hodnotené retardačné látky prispeli k zlepšeniu termickej odolnosti smrekového dreva
- účinnosť látok sa významne menila s počtom nanášaných vrstiev a použitou koncentráciou
- riedením látok sa ich účinnosť znižovala
- účinnosť látok sa menila aj v závislosti od spôsobu aplikácie (náter, máčanie)
- imtumescentná látka poskytla lepšiu ochranu ako látky na anorganickej báze
- na účinnosť látky významne vplýva aj okolité prostredie, ktorému je vystavená (výsledky potvrdili nepriaznivý vplyv vonkajšieho prostredia)

Použitá literatúra

- [1] Štefko, J. a kol. (2010). Moderné drevostavby / Modern wooden buildings. Prvé vydanie. Bratislava: Antar, spol. s r. o., 2010, 135 s. ISBN 80-967718-9-2.
- [2] Reinprecht, L. (2008). Ochrana dreva / Wood Protection. *Vysokoškolská učebnica*. Zvolen : TU vo Zvolene, 2008, 453 s. ISBN 978-80-228-1863-6.
- [3] Buchanan, A. (2001). Structural desing for fire safety. Edition England: John Wiley & Sons 2001.
- [4] Kmeťová, E., Kačík, F., Kubovský, I., Kačíková, D. (2022). Effect of Expandable Graphite Flakes on the Flame Resistance of Oak Wood. *Coatings* 2002, 12(12), 1908
- [5] Mitterová, I., Racsco, R. 2019 Change in mass loss of thermally loaded spruce wood due to its flame retardant treatment /Zmena úbytku hmotnosti termicky zaťaženého smrekového dreva vplyvom jeho ošetrenia retardérom horenia. In: Delta : fire protection & safety scientific journal. - ISSN 1337-0863. - Vol. 13, iss. 1 (2019), p. 80-91.

Použitá literatúra

[6] Mitterova, I., Zachar, M., Majlingova, A. 2017. Effect of flame retardants on selected fire parameters of spruce wood / Vplyv retardérov horenia na vybrané požiarotechnické charakteristiky smrekového dreva. In: Fire protection, safety and security 2017. International scientific conference, May 3rd - 5th, 2017, Zvolen, Slovak Republic : conference proceedings. Zvolen : Technical University in Zvolen, 2017. - ISBN 978-80-228-2957-1. - P. 128-132 [CD-ROM].

[7] Mitterová, I. 2022. Wood in building structures and its fire protection. In: Delta : fire protection & safety scientific journal. - ISSN 1337-0863. - Vol. 16, iss. 2 (2022), p. 15-23.

Ďakujem za pozornosť.

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

Synergické efekty stanovenia dolných medzí výbušnosti

Synergic effects of determining lower explosive limits

Pozvaná prednáška

doc. Ing. Mračková Eva, PhD.
KPO DF TUZVO

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

1

Úvod

- tvorba disperzných zmesí v technologických procesoch;
- riziko nebezpečenstva vzniku výbuchu v drevospracujúcich, potravinárskych prevádzkach, v automobilovom priemysle, farmácii, v chemickom priemysle;
- stanovenie dolnej medze výbušnosti – najnižšia koncentrácia disperznej zmesi kedy dochádza k výbuchu;
- podmienka zaistiť bezpečnosť a ochranu zdravia pri práci vo výrobných procesoch;
- aktuálna potreba riešenia danej problematiky;

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

2

Určovanie požiarnych parametrov horľavých látok

Tab. 1 Požiarno-technické charakteristiky horľavých látok

Zapáliteľnosť	teplota vzplanutia (°C) teplota vznietenia (°C)
Horľavosť	schopnosť látky sa vznietiť, kyslíkové číslo (obj.%)
Reakcia na oheň	
Spaľovacie teplo a výhrevnosť (MJ.kg ⁻¹)	
Bod vzplanutia (°C)	
Bod vznietenia (°C)	
Bod horenia (°C)	
Medze výbušnosti	dolná a horná medza výbušnosti (obj.%), (g.m ⁻³)

Tab. 2 Požiarno-bezpečnostné parametre horľavých prachov

Usadený prach	Rozvírený prach
minimálna teplota vznietenia usadeného prachu a príslušný indukčný čas vznietenia (t_{min}^u) (°C)	minimálna teplota vznietenia rozvíreného prachu a príslušný indukčný čas vznietenia (t_{min}^r) (°C)
vznietenia (τ_i) (s)	vznietenia (τ_i) (s)
rýchlosť šírenia plameňa (mm.s ⁻¹)	dolná medza výbušnosti (LEL)
spaľovacie teplo (Q_s) (MJ.kg ⁻¹) a výhrevnosť (H)	maximálne výbuchové parametre, t.j. maximálny výbuchový tlak p_{max} (Pa) a maximálna $\left(\frac{dp}{dt}\right)_{max}$ (MPa.s ⁻¹)
kritická degradačná teplota (°C)	rýchlosť nárastu výbuchového tlaku
kyslíkové číslo (obj.%)	minimálna iniciačná energia (MIE) (J)
	limitný obsah kyslíka (LOC) (obj. %)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

3

Horľavé látky schopné výbušnosti

Disperzné zmesi

• drevný prach zo

Smreka obyčajného - (*Picea abies* Karst. (L.))Dubá zimného - (*Quercus petraea* (MATT.) LIEBL.)Buka lesného - (*Fagus sylvatica* L.)Topoľa - (*Populus* ssp.)

Drevotrieskovej dosky - aglomerovaný materiál

Čerešne vtácej (*Cerasus avium* L.)Slivky domácej (*Prunus demestica* L.)

Disperzné zmesi

• pary horľavých kvapalín z

riedidla DT1200/00

tužidla TH 0790/00

laku TU 7425/00



Obr. 1 Riedidlo DT 1200/00 v nádobe na uskladnenie



Obr. 2 Drevný prach smreka obyčajného



Obr. 3 Drevný prach duba zimného

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

4

Skúšobné zariadenia Výpočtové metódy Modelovanie

Experimenty vykonávané nenormovou metódou (vo VK 100)

Experimenty vykonávané v zmysle EN 14034:2011(v VA-20)

Výpočtové stanovenia dolnej medze výbušnosti

Software na vytvorenie počítačového modelu ANSYS 19.7



Obr. 4 Výbuchová komora VK 100

15. 10. 2024



Obr. 5 Výbuchový autokláv VA-20

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

Výpočtové metódy pomocou s tavovej rovnice ideálneho plynu

$$m = 2 \cdot c_s \cdot \rho \cdot S \cdot \sqrt{\frac{D \cdot \tau}{3 \cdot (1 - c_s)}} \quad (1)$$

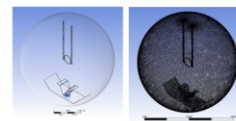
kde:
 m - množstvo odparenej kvapaliny (kg)
 c_s - koncentrácia nasýtených pár horľavej kvapaliny pri danej teplote (% obj.)
 ρ - merná hmotnosť pár kvapaliny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 S - výparná plocha (m^2)
 τ - čas vyparovania kvapaliny (h)
 D - difúzný koeficient pár horľavej kvapaliny vo vzduchu ($\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$)

$$D = \frac{0,765}{\sqrt{M}} \quad (2)$$

kde:
 M - molárna hmotnosť ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)

$$c_{SKUT} = \frac{V_{par}}{V_m} = \frac{\frac{\rho \cdot V_k \cdot R \cdot T}{M \cdot p}}{V_m} = \frac{\rho \cdot V_k \cdot R \cdot T}{M \cdot p \cdot V_m} \cdot 100\% \quad (3)$$

kde:
 c_{skut} - skutočná koncentrácia (obj. %)
 V_{par} - objem pár horľavej kvapaliny (m^3)
 V_m - objem miestnosti (m^3)
 M - molárna hmotnosť ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)
 ρ - merná hmotnosť pár kvapaliny ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 R - plynová konštanta, $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
 V_k - objem horľavej kvapaliny (m^3)
 T - teplota okolia (K)



a) b)

Obr. 6 a) Počítačový model VA-20
Obr. 6 b) Sieť konečných prvkov

5

Výsledky

Stanovenia dolnej medze výbušnosti (DMV) vo VK 100 drevných prachov smreka, buka, duba, topoľ a prachu drevotriekovej doskyz aglomer. materiálu

Tab. 3 Experimentálne stanovenie LEL drevných prachov a aglomer. materiálu

č.	Naváž. (g)	DMV (g.m ⁻³)	Výsledky skúšky prach Smrek obyčajný (<i>Picea abies</i> Karst. (L.))					Výsledky skúšky prach Dub zimný (<i>Quercus petraea</i> (MATT.) LIEBL.)					Výsledky skúšky prach Buk lesný (<i>Fagus sylvatica</i> L.)					Výsledky skúšky prach Topoľ (<i>Populus</i> ssp.)					Výsledky skúšky prach Drevotrieková doska aglomerovaný materiál				
			číslo pokusu					číslo pokusu					číslo pokusu					číslo pokusu					číslo pokusu				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	7	70	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
2	6,3	63	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	N	N	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
3	6	60	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
4	5,6	56	P	P	N	P	N	N	N	P	P	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	P	N	N	N	P
5	5	50	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
6	4	55	N	P	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P

N – negatívny výsledok
P – pozitívny výsledok

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

Tab. 4 Porovnanie hodnôt DMV podľa literatúry a získaných experimentálne

Druh dreveného prachu	DMV podľa Groha (g.m ⁻³)	DMV podľa Busseniusa (g.m ⁻³)	DMV podľa Eckhoff (g.m ⁻³)	DMV experimentálne (g.m ⁻³)
Smrek obyčajný (<i>Picea abies</i> Karst. (L.))	30	60	70	56,6
Dub zimný (<i>Quercus petraea</i> (MATT.) LIEBL.)	50	60	60	56,6
Buk lesný (<i>Fagus sylvatica</i> L.)	60	80	100	63
Topoľ (<i>Populus</i> ssp.)	30	60	70	56,6
Drevotrieková doska aglomer. materiál	30	60	50	56,6

Stanovené DMV vybraných drevných prachov vo VK 100 sú porovnateľné s tabuľkovými hodnotami (Mračková, 2006)

6

Výsledky

Stanovenia dolnej medze výbušnosti vo VK 100 prachov ovocných drevín

Tab. 5 Experimentálne stanovenie DMV drevného prachu z dreva čerešne

Číslo merania	Navážka (g)	LEL (g.m ⁻³)	Výsledky skúšky				
			N – negatívny P – pozitívny				
			číslo pokusu				
			1	2	3	4	5
1	7	70	P	P	P	P	P
2	6	60	P	P	N	P	P
3	5	50	N	N	N	N	N
4	5,5	55	N	P	P	N	P
5	5,4	54	N	N	N	N	P

Tab. 6 Experimentálne stanovenie dolnej medze výbušnosti drevného prachu z dreva slivky

Číslo merania	Navážka (g)	LEL (g.m ⁻³)	Výsledky skúšky				
			N – negatívny P – pozitívny				
			číslo pokusu				
			1	2	3	4	5
1	7	70	P	P	P	P	P
2	6	60	P	N	N	P	P
3	5	50	P	P	N	N	P
4	4,8	48	N	P	N	N	N
5	4	40	N	N	N	N	N

Tab. 7 Porovnanie hodnôt LEL podľa odbornej literatúry a získaných experimentálne (Groh, 2004), (Bussenius 1985), (Eckhoff 2005).

Druh drevného prachu	LEL podľa Groha (g.m ⁻³)	LEL podľa Busseniusa (g.m ⁻³)	LEL podľa Eckhoffa (g.m ⁻³)	LEL experimentálne (g.m ⁻³)
Čerešňa vtáčica (<i>Cerasus avium L.</i>)	60	60	30	55
Slivka domáca (<i>Prunus domestica</i>)	-	-	-	50

Dolná medza výbušnosti pre prach z dreva čerešne vtáčej (*Cerasus avium L.*) bola stanovená na 55 g.m⁻³ a pre prach z dreva slivky domácej (*Prunus domestica L.*) na 50 g.m⁻³. Stanovené DMV drevných prachov sú porovnateľné s hodnotami zo zahraničnej literatúry autorov Groh, Bussenius a Eckhoff. (Mračková, 2016)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

7

Výsledky

Výpočtové overenie výbušnej koncentrácie v prevádzkarni lakovne

1. Modelová situácia v lakovni

Otvorená nádoba s horľavou látkou (A1 - DT 1200/00, B1 - TH 0790/00, C1 - TU 7425/00)

2. Modelová situácia v sklade

Otvorená nádoba s horľavou látkou (A2 - DT 1200/00, B2 - TH 0790/00, C2 - TU 7425/00)

3. Modelová situácia v prevádzke lakovne vypukol požiar.

Otvorená nádoba s horľavou látkou A3 - DT 1200/00)

Tab. 8 Výsledky z 1. a 2. modelovej situácie v prevádzke skladu a lakovni (Mračková, 2021)

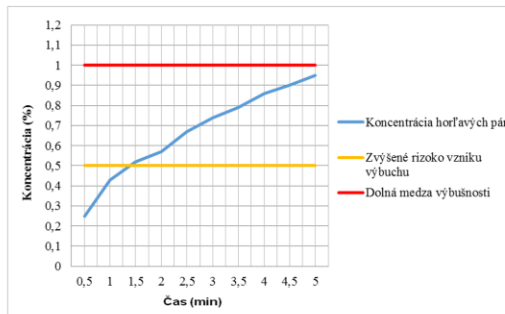
Označenie HK v model. situácii	Množstvo odparenej kvapaliny (l)	Koncentrácia horľavých pár (obj.%)	Rozsah výbušnosti (obj.%)	Vznik výbušnej atmosféry
A1	4,07	4,03	1-12,8	A
B1	12,90	12,80	1,9-10,2	N
C1	2,02	2,00	1-10	A
A2	4,07	7,80	1-12,8	A
B2	12,90	24,80	1,9-10,2	N
C2	2,02	3,90	1-10	A

A – áno, vznikne výbušná atmosféra
N – nie, nevznikne výbušná atmosféra

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

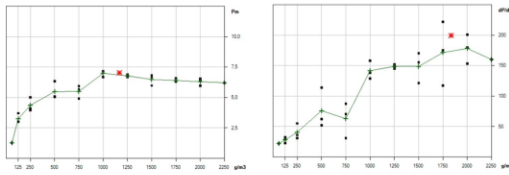
8



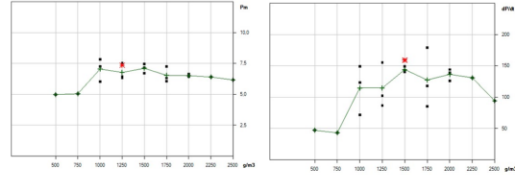
Obr. 7 Priebeh zmeny koncentrácie horľavých pár v 3. modelovej situácii (Mračková, 2021)

Výsledky

Stanovenie maximálnych výbuchových parametrov a dolnej medze výbušnosti vo výbuchovom autokláve VA-20 podľa EN 14034-1: 2011 a EN 14034-2:2011



Obr. 8 Graficky znázornené maximálne výbuchové parametre dreveného prachu smreka obyčajného z pásovej brúsky



Obr. 9 Graficky znázornené maximálne výbuchové parametre dreveného prachu smreka obyčajného z odsávacieho zariadenia (pila, fréza, hobľovačka)

Tab. 9 Maximálne výbuchové parametre dreveného prachu smreka obyčajného z pásovej brúsky

Maximálny výbuchový tlak (MPa)	P_{max}	0,7	± 10 %
Maximálny nárast tlaku (MPa·s ⁻¹)	$(dp/dt)_{max}$	19,9	± 20 %
Kubická konštanta (MPa·s ⁻¹)	K_{max}	5,4	± 20 %
Dolná medza výbušnosti (g·m ⁻³)	LEL	70	± 10 %

Tab. 10 Maximálne výbuchové parametre dreveného prachu smreka obyčajného z odsávacieho zariadenia (pila, fréza, hobľovačka)

Maximálny výbuchový tlak (MPa)	P_{max}	0,74	± 10 %
Maximálny nárast tlaku (MPa·s ⁻¹)	$(dp/dt)_{max}$	59,9	± 20 %
Kubická konštanta (MPa·s ⁻¹)	K_{max}	4,3	± 20 %
Dolná medza výbušnosti (g·m ⁻³)	LEL	100	± 10 %

Vzorky dreveného prachu smreka obyčajného boli odobraté z rôznych strojných zariadení v drevárskej prevádzke, kde sa preukázali nebezpečnejšie parametre z pásovej brúsky. (Mračková, Palugová, 2019)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

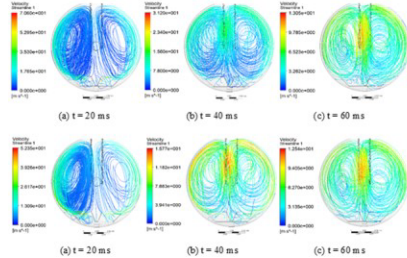
9

Výsledky

Simulácia rozptýlenia častíc smrekového prachu analýzou CFD vo VA -20

Tab. 11 Maximálne výbuchové parametre dreveného prachu smreka obyčajného

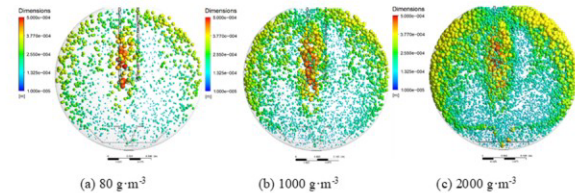
Maximálny výbuchový tlak (MPa)	P_{max}	0,7	± 10 %
Maximálny nárast tlaku (MPa·s ⁻¹)	$(dp/dt)_{max}$	19,9	± 20 %
Kubická konštanta (MPa·s ⁻¹)	K_{max}	5,4	± 20 %
Dolná medza výbušnosti (g·m ⁻³)	LEL	70	± 10 %



Obr. 10 Časová sekvencia trás častíc prachu zafarbených podľa rýchlosti pri koncentrácii 80 g·m⁻³ a 1000 g·m⁻³

Tab. 12 Rýchlosť častíc dreveného prachu vo výbuchovej autokláve

Čas (ms)	Rýchlosť častíc pri koncentrácii 80 g·m ⁻³ (m·s ⁻¹)	Rýchlosť častíc pri koncentrácii 1000 g·m ⁻³ (m·s ⁻¹)	Rýchlosť častíc pri koncentrácii 2000 g·m ⁻³ (m·s ⁻¹)
20	122,7	128,7	128,4
40	31,2	28,3	30,9
60	13,3	14,7	17,2



Obr. 11 Poloha častíc prachu v čase 60 ms zafarbených podľa ich veľkosti

Podľa časových sekvencií sa vo vnútri autoklávy vyskytujú dva vírivé prúdy, ktoré spôsobujú vznik vyššej koncentrácie prachu na stenách nádoby a v blízkosti iniciačného zariadenia (Špilák, Mračková, Majlingová, 2020)

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

10

Záver

Synergia efektov

- potvrdila sa možnosť stanovovať dolnú medzu výbušnosti (DMV) normovou aj nenormovou metódou drevných prachov (ihličnatých, listnatých, ovocných drevín a aglomerovaného materiálu DTD);
- všetky drevné prachy sa svojou veľkosťou DMV zaraďujú medzi výbušné disperzné zmesi;
- skutočná koncentrácia horľavých kvapalín vo výrobných prevádzkach sa matematicky určuje pomocou stavovej rovnice ideálneho plynu, na základe dolnej medze výbušnosti určenej výrobcom v Karte bezpečnostných údajov;
- zamestnávateľ si aktuálne vie stanoviť nebezpečenstvo výbušnej atmosféry v prevádzkach tak, ako sa výpočtom preukázalo tromi modelovými situáciami;
- znalosť skutočnej koncentrácie v tomto prípade je aktuálna DMV stanovená výpočtom, kde je povinnosť zamestnávateľa prijať organizačné alebo technické opatrenia na ochranu a bezpečnosť zdravia zamestnancov pri práci;

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

11

Použitá literatúra

- BUSSENIUS, S.: 1985. Protipožární a protivýbušová ochrana průmyslu. Praha, 1985. 174 s.
- ECKHOFF, R.: 2005. Explosion hazards in the process industries. Houston Texas: Gulf Publishing Company, 2005. 457 s. ISBN 0-9765113-4-7
- EN 14034 - 1: 2011 Stanovenie výbuchových charakteristík rozvíreného prachu - Časť 1: Stanovenie maximálneho výbuchového tlaku p_{max} rozvíreného prachu.
- EN 14034 - 2: 2011 Stanovenie výbuchových charakteristík rozvíreného prachu - Časť 2: Stanovenie maximálnej rýchlosti nárastu tlaku výbuchu $(dp/dt)_{max}$ rozvíreného prachu.
- GROH, H.: 2004. Tables of combustion and explosion characteristics of dusts. Oxford, 2004.
- MRAČKOVÁ, E.: 2006. Výbušnosť drevného prachu (smrek, buk, dub, topoľ, drevotriesková doska). Vedecká monografia. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2006. 91s. ISBN 80 -228-1698-1.
- MRAČKOVÁ, E.: 2016. Laboratory determination of granulometric analysis and the lower explosion limit of selected wood dust of fruit trees. In: Zborník radova: 5. medzinarodna naučna konferencija Bezbednosni inženjering požar, životna sredina, radna okolina, integrisani rizici i 15. medjunarodna konferencija Zaštite od požara i eksplozije. Novi Sad: Visoka tehnička škola strukovnih studija, 2016, s. 63--73. ISBN 978-86-6211-106-7 .APVV-0057-12
- MRAČKOVÁ, E. - PALUGOVÁ, M.: 2019. Depending between the dust particle size of Norway spruce wood and its maximum explosion parameters. In: *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 2019. s. 56--64. ISSN 1337-0863 .APVV-17-0005; KEGA 009TU Z -4/2017.
- MRAČKOVÁ, E.: 2021. Výpočtové overenie výbušnej koncentrácie v prevádzkarni lakovne. In: *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov*. 2021. zv. 2021, č. 22928, s. 2021. ISSN 1801-4399.
- ŠPILÁK, D. - MRAČKOVÁ, E. - MAJLINGOVÁ, A.: 2020. Simulation of distraction of spruce dust particles by CFD analysis for the purpose of explosion protection. In: *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 2020. s. 14--25. ISSN 1337-0863 .APVV-17-0005; VEGA 1/0717/19.

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

12

Ďakujem za pozornosť.

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

Vplyv vlhkosti dreva na výsledky modelovania drevených konštrukčných prvkov zaťažených požiarom

Pozvaná prednáška

Ing. Špilák Dominik, PhD.
KPO DF TUZVO

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

1

Úvod do počítačového modelovania

- Požiarne modely – komplexný problém
 - Vysoký počet okrajových podmienok
 - Modely sú od začiatku zaťažené veľkou chybou
- Potrebne modely zjednodušiť
 - Modelovať len konkrétny jav, ktorý je pre nás významný
 - Pri modelovaní drevených konštrukčných prvkov zaťažených požiarom
 - rozhodujúci je prenos tepla v konštrukcii
 - Nie je potrebné riešiť chémiu
 - Možnosť modelovať proces tvorby zuhoľnatej vrstvy

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

2

Modely popisujúce prenos tepla a tvorbu zuhoľnatenej vrstvy dreva

- Zjednodušený model
- Pre dosiahnutie vysokej presnosti modelu je kľúčové správne zadať vstupné údaje o materiálových vlastnostiach
- Kľúčové materiálové vlastnosti sú:
 - Tepelná vodivosť
 - Hustota
 - Hmotnostná tepelná kapacita
 - Entalpia
- Uvedené materiálové vlastnosti sú závislé na teplote
 - Najčastejšie sa využívajú údaje z Eurokódu 5
 - Nezhľadujú vplyv viacerých faktorov, pričom najdôležitejšia je vlhkosť dreva

15. 10. 2024

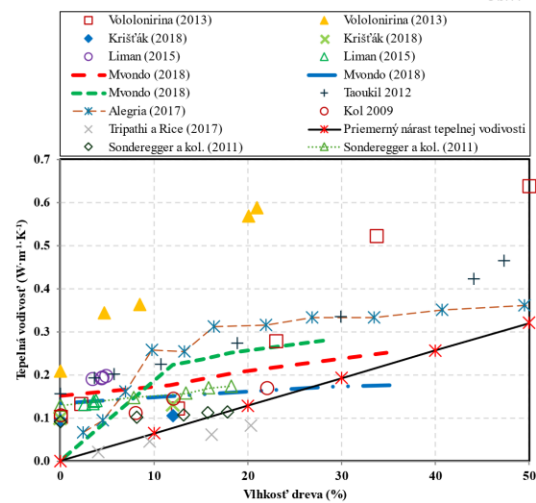
2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

3

Vplyv vlhkosti na materiálové vlastnosti

Obr.1

- Vlhkosť dreva ovplyvňuje jeho:
 - Tepelnú vodivosť
 - Hmotnostnú tepelnú kapacitu
 - Hustotu
 - Entalpiu
- S rastúcou vlhkosťou dreva rastie jeho tepelná vodivosť (obr.1)



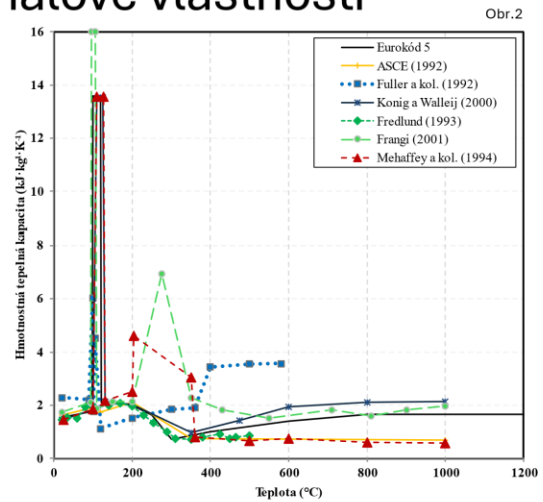
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

4

Vplyv vlhkosti na materiálové vlastnosti

- S rastúcou vlhkosťou narastá hmotnostná tepelná kapacita dreva pri teplote v intervale od 100°C do približne 140°C (obr. 2)



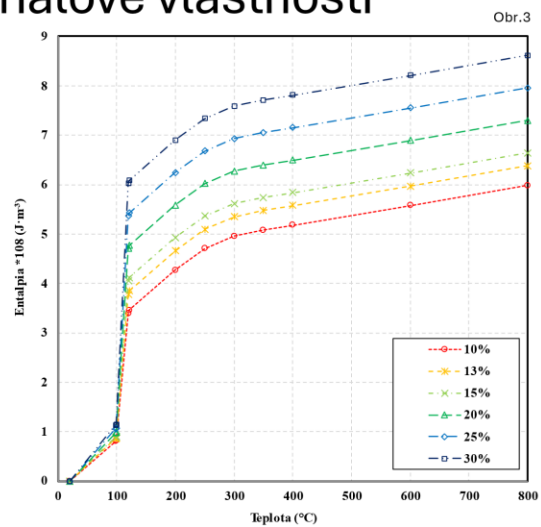
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

5

Vplyv vlhkosti na materiálové vlastnosti

- S rastúcou vlhkosťou dreva narastá skok entalpie v oblasti fázovej premeny vody (obr. 3)
- Na premenu väčšieho množstva vody obsiahnutej v dreve sa spotrebu väčšie množstvo energie



15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

6

Význam vlhkosti dreva z hľadiska požiarnej odolnosti a modelovania

- Väčšie množstvo energie sa spotrebuje na fázovú premenu vody
 - Vlhkosť v dreve oddaľuje jeho iniciáciu
 - Nárast teploty dreva je pomalší
 - Znižuje sa teplota dreva v reze
- Význam v oblasti počítačového modelovania
 - Je potrebné upraviť vstupné údaje o materiálových vlastnostiach dreva na základe nameranej vlhkosti dreva
 - Všeobecné údaje prezentované v Eurokóde 5 sú navrhnuté pre vlhkosť dreva 10%
 - Pri iných vlhkosťach dreva neposkytujú spoľahlivé výsledky

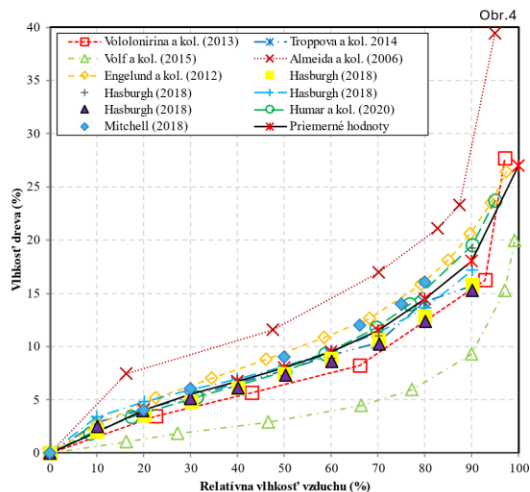
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

7

Vplyv relatívnej vlhkosti vzduchu na vlhkosť dreva

- Skúšobné metódy sú väčšinou nastavené na konkrétnu vlhkosť dreva
- V skutočnosti je vlhkosť používaného dreva omnoho vyššia, v dôsledku relatívnej vlhkosti vzduchu (obr. 4)
- Vo výsledku požiarne skúšky nereflektujú podmienky, v akých bude konštrukcia z dreva umiestnená



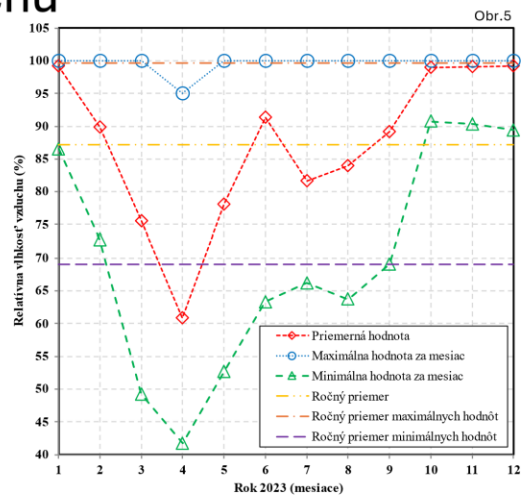
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

8

Relatívna vlhkosť vzduchu

- Výkyvy relatívnej vlhkosti vzduchu súvisia vo všeobecnosti s periodickými zmenami teploty vzduchu
- Relatívna vlhkosť vzduchu za rok 2023 bola na Slovensku v rozpätí hodnôt od 42 % do 100 % (obr. 5)
- Týmto hodnotám relatívnej vlhkosti vzduchu zodpovedá vlhkosť dreva v rozsahu hodnôt od 8(9) % do 25 %



15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

9

Záver

- Vlhkosť dreva výrazným spôsobom ovplyvňuje jeho vlastnosti
- Eurokód 5 poskytuje spoľahlivé vstupné údaje do počítačového modelovania iba pri určitej vlhkosti dreva
- V prípade, že chceme vytvoriť počítačový model popisujúci správanie drevených konštrukčných prvkov zaťažených požiarom pri rôznej vlhkosti dreva, je potrebné vychádzať z iných vstupných údajov aké poskytuje Eurokód 5

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

10

Ďakujem za pozornosť

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

Hodnotenie požiarnej odolnosti obvodových stien z horľavých materiálov

Pozvaná prednáška

Ing. Tereňová Ľudmila, PhD.
KPO DF TUZVO

Úvod

V súčasnej dobe sme obklopení najrôznejšími materiálmi a materiálovými kombináciami vo výrobkoch a konštrukciách.

- Súčasný trendy životného štýlu, najmä v oblasti bývania, naznačujú preferovaný návrat k prírodnému bývaniu/natural housing (slamené domy)
- Drevostavby z CLT panelov – stavebný materiál vyhotovený z vrstiev smrekového dreva, vysušené smrekové dosky sa poukladajú priečne na seba a jednotlivé vrstvy sa zlepia po celej ploche
- Priemyselné halové stavby – opláštenie zo sendvičových panelov z polyizokyanurátu (PIR) a z polyuretánu (PUR)

Požiadavky legislatívy na požiarnu odolnosť sa vzťahujú aj na obvodové steny z horľavých materiálov

Obvodová stena z nosnej slamy

Požiarne odolnosť je nepredpokladanou vlastnosťou slamených balíkov, pretože slama je ľahko horľavá, zatiaľ čo pri balíku slamy môže slama poskytnúť požiarne odolnosť porovnateľnú s tradičnými stavebnými materiálmi.

Materiál a metóda

Predmetom skúmania je posúdenie požiadaviek na požiarne odolnosť konštrukčného prvku obvodovej steny z nosnej slamy hr. 500 mm.

Konštrukčný prvok sa vyhotoví zo slamených balíkov, na ktoré sa naniesie hlinená omietka hr. 50 mm. Posúdi sa čas, počas ktorého dokáže vzorka odolávať vnútornému plne rozvinutému požiaru v zmysle STN EN 13 501-2:2023.

Vzorka sa zaťažuje teplotou podľa normovej teplotnej krivky, ktorá reprezentuje podmienky plne rozvinutého požiaru vo vnútri stavby po dobu 150 min.

Simuláciou v programe ANSYS sa použije na teplotný priebeh v rôznych vrstvách stavebnej konštrukcie z nosnej slamy.

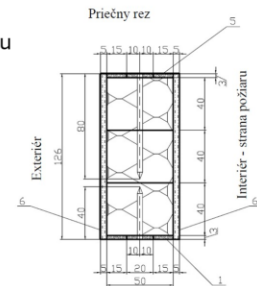
Program ANSYS využíva predovšetkým metódy matematického modelovania pre virtuálne vytvorený model.

Simulácia v programe ANSYS

- Údaje potrebné k modelovaniu

Ozn.	Názov materiálu	Hrúbka (mm)	Merná tepelná kapacita (kJ/kg/K)	Tepelná vodivosť (W/m/K)	Hustota (kg/m ³)
1	Hlinená omietka (vonkajšia)	50	0,24	0,53	1300
2	Slamený balík (na plscho)	500	2,74	0,12-1,5	120
3	Hlinená omietka (vnútorná)	50	0,24	0,53	1300

- Priečný rez slamenou stenou



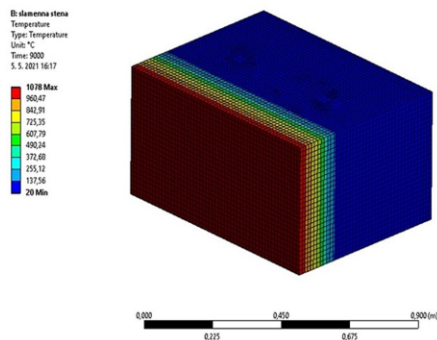
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

3

Výsledky simulácie

- Teplotný profil vzorky slamenej steny v programe ANSYS



- Zo znázorneného teplotného profilu simulovanej vzorky vyplýva, že teplota na neexponovanej strane vzorky nescúpla
- Omietka predstavovala určitú izolačnú bariéru pred zdrojom tepla a prístupom kyslíka k slame
- Teplota vo vrstve medzi hlinenou omietkou a slameným balíkom dosiahla teplotu vzplanutia slamy, t. j. viac ako 310°C v 20. min. skúšky

Najvyššia teplota

- na povrchu omietky dosiahla 1078°C,
- vo vrstve medzi omietkou a slameným balíkom 870°C a
- v 1/3 hrúbky od hlinenej omietky len necelých 162°C.

Predpokladaná požiarne odolnosť

- 15 REI/D2 alebo 120 REI/D3.

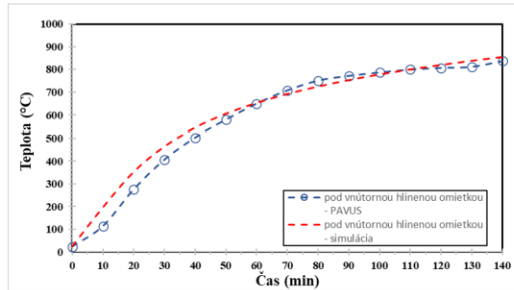
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

4

Validácia výsledkov

- Porovnanie teplôt pri vykonaní testu v autorizovanej skúšobni PAVUS avýstupov zo simulácie v programe ANSYS



Porovnanie teplôt pri validácii

- Teplotné priebehy sa porovnali v časti za vnútornou hlinenou omietkou
- Medzi hodnotami z PAVUS a výsledkami simulácie je len zanedbateľný rozdiel a namerané a predpovedané hodnoty sa vo veľkej časti prekrývajú
- Na základe porovnania výsledkov simulácie a výsledkov z PAVUS-u považujeme model za validovaný a využiteľný pre ďalšie simulácie.

Publikované:
Tereňová, L., Špilák, D., Dúbravská, K., Štefková, J. 2024.

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

5

Obvodová stena z CLT panelov

Správanie sa CLT panelov pri požiari závisí od hrúbky a počtu vrstiev, z ktorých je samotný stavebný materiál vyhotovený.

Pri tepelnom namáhaní sa na povrchu dreva vytvára zuhoľnatená vrstva, ktorá má izolačný charakter a termická degradácia v ďalších vrstvách prebieha pomalšie.

Materiál a metóda

Skúšobná vzorka bola vyhotovená z krížom lepených lamiel bez povrchovej úpravy:

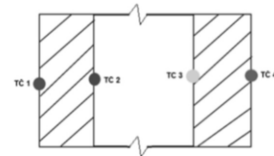
- 3 - vrstvový panel zo smrekového dreva s vlhkosťou do 15 %
- rozmery - 1000 x 1500 x 80mm
- hrúbka strednej vrstvy 40 mm, vonkajšie vrstvy hr. 20 mm
- smer lepenia lamiel stredovej vrstvy je vertikálny, smer lepenia lamiel vonkajších vrstiev je horizontálny.

Skúšobná vzorka bola zaťažovaná sálavým teplom prostredníctvom radiačného panelu po dobu 30 min, ktorým sa simulovalo pôsobenie vnútorného plne rozvinutého požiaru.

Rozmer radiačnej plochy – 480 x 280 mm. Teplota radiačnej plochy je pri uvedených parametroch približne 798 °C.

Skúšobná vzorka sa umiestnila vo vzdialenosti 200 mm od radiačného panelu. Tejto vzdialenosti zodpovedá intenzita vyžarovania o hodnote 43,1 kW/m², energetický zdroj keramického radiačného panelu bol plyn propán - bután s konštantným prietokom.

- Skúšobná vzorka a rozmiestnenie termočlánkov
- Teplotné priebehy sa zaznamenávali prostredníctvom NiCr-Ni termočlánkov s meracím rozsahom teploty od -200 do +1350 °C.



- termočlánok TC 1 – termočlánok umiestnený na exponovanej strane skúšobnej vzorky,
- termočlánok TC 2 – termočlánok umiestnený na styku strednej vrstvy a vonkajšej vrstvy z exponovanej strany,
- termočlánok TC 3 – termočlánok umiestnený na styku strednej vrstvy a vonkajšej vrstvy z neexponovanej strany,
- termočlánok TC 4 – termočlánok umiestnený na neexponovanej strane.

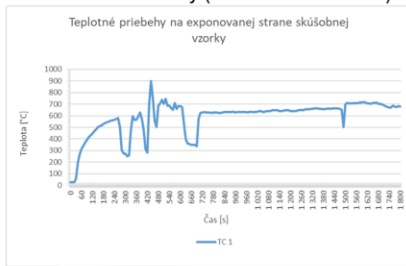
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

6

Výsledky a vyhodnotenie

- Teplotný priebeh na exponovanej strane vzorky (termočlánok T C1)



- Plameňové horenie v 7. min. skúšky (v 12. min sa už jednalo o bezplameňové horenie)

- Teplotné priebehy vo vnútri vzorky (termočlánky T C2, TC 3)



15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

7

Výsledky a vyhodnotenie

- Teplotný priebeh na neexponovanej strane vzorky (termočlánok T C4)



- Vyhodnotenie nárastu teplôt na jednotlivých termočlánoch

Čas (min)	Nárast teploty vzhľadom na počiatočnú teplotu (°C)			
	TC 1	TC 2	TC 3	TC 4
1. min	286,7	4,3	7,9	3,1
2. min	423,4	5,0	8,0	3,4
3. min	503,8	5,4	8,2	3,5
4. min	541,0	6,0	8,2	3,4
5. min	248,9	7,3	8,1	3,4
10. min	657,1	31,4	8,0	3,3
15. min	603,9	79,8	7,9	3,3
20. min	615,4	87,3	7,4	3,0
25. min	672,2	92,0	7,1	6,3
30. min	653,4	84,7	6,9	7,3
max. nárast	728,5	101,1	8,2	8,2

- pri porovnaní teplotných nárastov na TC 1 a TC 2 v 30. min je rozdiel 568,7 °C
- na povrchu skúšobnej vzorky vyhotovenej z troch vrstiev smrekového dreva sa vytvorila zuhoľnatá vrstva
- kritérium tepelnej izolácie sa zachovalo (nárast teploty na neexponovanej strane nepresiahol 180 °C)
- 2. vrstva CLT panelu ostala takmer neporušená
- predpokladaná požiarna odolnosť 30/D3

Publikované:

Dúbravská, K., Tereňová, L., Štefková, J. 2020.

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

8

Obvodová stena z PUR a PIR panelov

Požiarne odolnosť PUR a PIR panelov závisí od materiálu tepelnej izolácie, čo v konečnom dôsledku môže mať vplyv na veľkosť požiarne nebezpečného priestoru okolo posudzovanej budovy.

V dôsledku prítomnosti kovového plechu u sendvičových panelov dochádza k oneskoreniu vznietenia, alebo k zapáleniu dôjde len cez otvory medzi panelmi t.j. spojmi.

Materiál a metóda

- Vzorka 1: sendvičový panel PIR s polyizokyanurátovej peny – technické parametre

Izolačné jadro panelu	PIR		Hmotnosť (kg/m ²) pre plechy ext. 0,5mm/ int. 0,5 mm
Tepelné vodivosť	$\lambda_d=0,019$ W/m.K merané pri 10 °C		
Hrúbka panela (mm)	Súčiniteľ prestupu tepla U (W/m ² .K)	Trieda reakcie na oheň EN 13501 -1	
120	0,16	B-s1, d0	13,28 13,17

- Vzorka 2: sendvičový panel PUR s polyuretánovej peny – technické parametre

Izolačné jadro panelu	PUR		Hmotnosť panelu (kg/m ²)
Tepelné vodivosť	$\lambda_d=0,022$ W/m.K		
Hrúbka panela (mm)	Súčiniteľ prestupu tepla U (W/m ² .K)	Trieda reakcie na oheň EN 13501 -1	
60	0,37	F	10,4

- Pri experimente bol použitý keramický radiačný panel, ako zdroj sálavého tepla, s rovnakými parametrami ako pri predchádzajúcom experimente, ktorým sme simulovali pôsobenie vnútorného plne rozvinutého požiaru
- Vzorky boli od keramického radiačného panelu vzdialené 200 mm a boli zafažované po dobu 45 min.
- Na exponovanej strane vzoriek umiestnené termočlánky T1 až T5
- Na neexponovanej strane termočlánky T6 a T7
- Hodnoty teplôt sa zaznamenávali na prístroji ALMEMO



Termočlánky exponovaná strana

Termočlánky neexponovaná strana

Priestor testovania

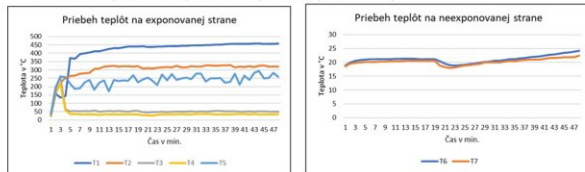
15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

9

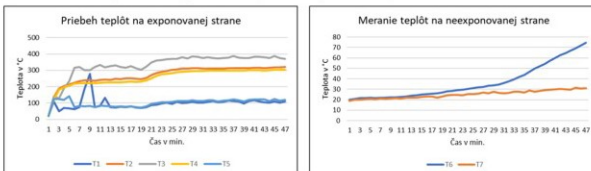
Výsledky a vyhodnotenie

- Priebeh teplôt na exponovanej a neexponovanej strane PIR



- Najvyššia teplota bola nameraná na termočlánku T1 a to 457,9 °C
- Najvyššia nameraná teplota na neexponovanej strane dosiahla 23,9 °C

- Priebeh teplôt na exponovanej a neexponovanej strane PUR



- Najvyššia nameraná teplota bola na termočlánku T3 a to 387,3 °C
- 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 tým, že sálavé teplo prešlo až na neexponovanú stranu

- Celkové zhodnotenie výsledkov



Zmena vnútorného jadra a zmena hrúbky PIR panelu
Predpokladaná požiarne odolnosť 30/D3



Zmena vnútorného jadra a zmena hrúbky PUR panelu
PUR panel je bez požiarnej odolnosti

Publikované:
Tereňová, L. 2024.

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV22-0030

10

Záver

Obvodová stena z nosnej slamy

- Po narušení celistvosti sa slamené balíky chovajú ako masívne drevo, čiže vonkajší povrch prehorí, zuhoľnatie a chráni pred plameňmi ďalšie vlákna, ktoré sa nachádzajú pod povrchom. Svedčia o tom teploty, ktoré boli počas simulácie namerané v 1/3 hrúbky slameného balíka od hlinenej omietky. Ku vzplanutiu došlo v 20 min. skúšky.

Obvodová stena z CLT panelov

- Pri zaťažení účinkami požiaru sa na exponovanej strane vytvorila zuhoľnatá vrstva, ktorá vo všeobecnosti spomaľuje proces tepelnej degradácie zostatkového prierezu. Na základe teplotných priebehov sledovaných vo vopred stanovených miestach sme dospeli k záveru, že kritérium tepelnej izolácie sa zachovalo. Plameňové horenie nastalo v 7. minúte skúšky a skončilo v 12 minúte.

Obvodová stena z PIR a PUR panelov

- Na povrchu jadra PIR panelu sa vytvorili čierne uhlíky, ktoré boli podobné uhlíkom pri zuhoľnatení dreva. Počas testovania nedošlo ku vznieteniu vnútorného jadra. Z pôvodnej hrúbky 120 mm zostala hrúbka 117 mm.
- Vnútorné jadro sendvičového PUR panelu bolo pôsobením sálavého tepla úplne degradované. Počas testovania nedošlo ku vznieteniu vnútorného jadra. Z pôvodnej hrúbky 60 mm zostala hrúbka 7 mm.

Konštrukcie obvodových stien z rôznych druhov horľavých materiálov môžu mať podobné známky správania sa pri namáhaní vnútorným požiarom. Všetky skúmané konštrukcie s výnimkou PUR panelu môžu spĺňať požiadavky požiarnej odolnosti pre konkrétne riešenia protipožiarnej bezpečnosti.

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

11

Použitá literatúra

- Loučanová, e., Olšiačková, M., Nosáľová, M., Paluš, H., 2023. Perception of seledcted types of family houses with regard to wood-based structures. *Acta Facultatis Xylogogiae Zvolen* 65, 147-160. <https://doi:10.17423/afx.2023.65.1.13>
- Frangj, A., Fontana, M., Hugl, E., Jöbstl, R., 2009: Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire, *Fire Safety Journal* 44(8): 1078-1087
- Cascone, S., Rapisarda, R., Cascone, D., Physical properties of straw bales as a construction material: A review. *Sustainability* 11, 3388-3407. <https://doi:10.3390/su11123388>
- STN EN 13501-2, 2023. Klasifikácia požiarnych charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 2: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok požiarnej odolnosti (okrem ventilačných zariadení)
- Li, Y., Zhu, N., Chen, J., 2023. Straw characteristics and mechanical straw building materials: a review. *Journal of Material Sciences* 58, 2361-2380
- Tereňová, L., Špilák, D., Dúbravská, K., Štefková, J. 2024. Simulation of a compartment fire effect on a load-bearing wall made of straw. In: *Acta Facultatis Xylogogiae Zvolen: vedecký časopis Drevárskej fakulty*. 2024. zv. 66, č. 1, s. 139-149. ISSN 1336-3824. APVV-22-0030. WOS, SCOPUS.
- Leško, R., Lopušniak, M., 2015: Požiarna odolnosť drevených prvkov a konštrukcií viacpodlažnej budovy stanovene podľa Eurokodu 5 (Fire resistance of timber elements and structures in multi-storey building determined by Eurocode 5), *Acta Facultatis Xylogogiae Zvolen* 57(2): 135-144
- Dúbravská, K., Tereňová, L., Štefková, J. 2020. CLT construction performance under thermal loading. In: *Wood research* 2020. zv. 65, č. 4, s. 605-613. ISSN 1336-4561. APVV-17-0005. WOS, SCOPUS.
- 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: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379711217302540?via%3Dihub>; ISSN 03797112
- Tereňová, L. 2024. Protipožiarna bezpečnosť PUR a PIR panelov. In: *Požárni ochrana 2024: recenzovaný zborník abstraktů XXXIII. ročníku mezinárodní konference*. 2024. s. 112-117. ISBN 978-80-7385-274-0. Dostupné z: <https://www.spbi.cz/documents/5%20PO/2024/Abstrakty%20PO2024.pdf> APVV-22-0030

15. 10. 2024

2. vedecký seminár k projektu APVV-22-0030

12

Ďakujem za pozornosť.

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

Aplikácia progresívnych laboratórnych metód na hodnotenie materiálov

Pozvaná prednáška

doc. Ing. Martin Zachar, PhD.
KPO DF TUZVO

Obsah

- Základné požiadavky na protipožiaru bezpečnosť stavieb.
- Materiály v požiaro-deliacích konštrukciách.
- Hodnotenie materiálov - trieda reakcie na oheň.
- Požiarotechnické charakteristiky materiálov.
- Progressívne laboratórne metódy.

2



Obr. Moderná drevostavba
(<https://www.archiweb.cz/b/dum-nad-vodopadem>)

Úvod

- Protipožiaru bezpečnosť stavby je schopnosť stavby zabrániť v prípade požiaru stratám na životoch a zdraví osôb, zvierat a stratám na majetku.
- Protipožiaru bezpečnosť - základná požiadavka na stavbu (Zákon NR SR č. 50/1976 Zb.).

3



Obr. Požiar drevostavby
(<https://www.chatar-chalupar.cz/jaka-jsou-rizika-drevostavby>)

Projektová dokumentácia stavby

Obsah:

- členenie stavby na požiarne úseky,
- určenie požiarneho rizika,
- **určenie požiadaviek na konštrukcie stavby** ,
- zabezpečenie evakuácie osôb a zvierat,
- určenie požiadaviek na únikové cesty,
- určenie odstupových vzdialeností,
- určenie požiarnebezpečnostných opatrení,
- určenie zariadení na zásah.



Obr. Model stavby (<https://www.drevoastavby.cz>)

5

Právne predpisy

- **Zákon NR SR č. 314/2001 Z. z.** , o ochrane pred požiarimi, v znení neskorších predpisov.
- **Zákon NR SR č. 133/2013 Z. z.** , o stavebných výrobkoch, v znení neskorších predpisov.
- **Vyhláška MV SR č. 94/2004 Z. z.** , ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarne bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb, v znení neskorších predpisov.
- Ďalšie predpisy:
 - Požiarna prevencia (skladovanie horľavých kvapalín, horľavých plynov, tuhých horľavých látok, požiadavky na prevádzku palivových spotrebičov, atď...).
 - Požiarna bezpečnosť stavieb (STN 92 0Xxx, STN EN 13 501 - x, EUROKÓDY).



4

Projektová dokumentácia stavby

Obsah:

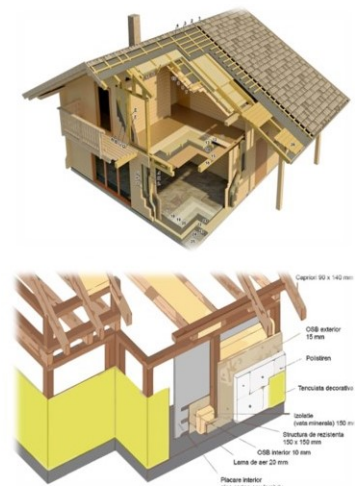
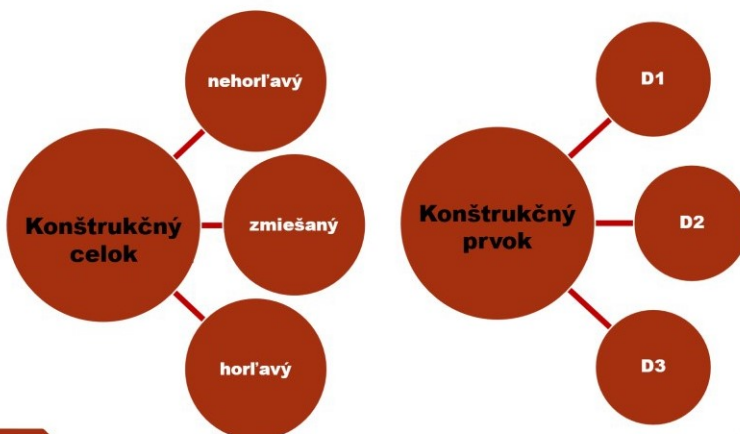
- členenie stavby na požiarne úseky,
- určenie požiarneho rizika,
- **určenie požiadaviek na konštrukcie stavby** ,
- zabezpečenie evakuácie osôb a zvierat,
- určenie požiadaviek na únikové cesty,
- určenie odstupových vzdialeností,
- určenie požiarnebezpečnostných opatrení,
- určenie zariadení na zásah.



Obr. Model stavby (<https://www.drevoastavby.cz>)

5

Požiadavky na konštrukcie stavby

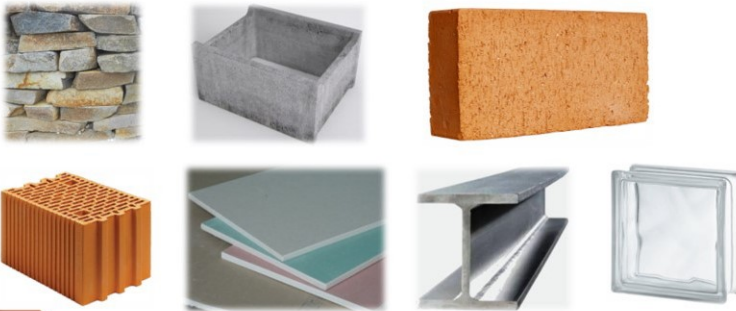


Obr. Detaily drevostavby (<https://www.drevoastavby.cz>)

6

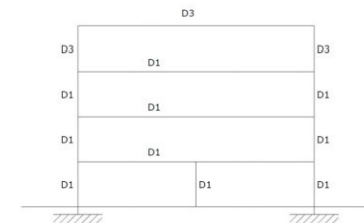
Nehorľavý konštrukčný celok

- Nosné konštrukcie
 - Požiarne deliace konštrukcie
- konštrukčné prvky **druhu D1**



7

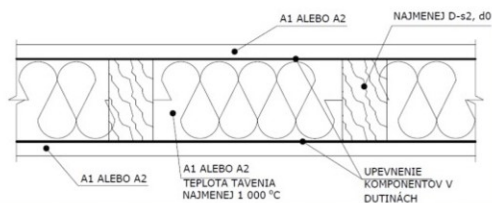
Obr. Stavebné materiály (Zachar)



Obr. Nehorľavý konštrukčný celok (STN 92 0201 -2)

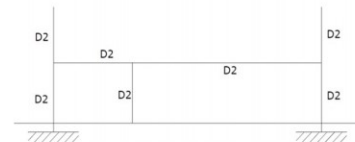
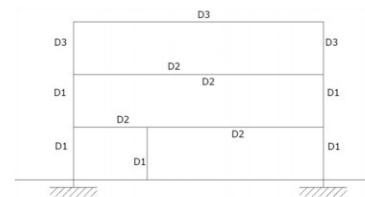
Zmiešaný konštrukčný celok

- Zvislé nosné konštrukcie
 - Zvislé požiarne deliace konštrukcie
 - Ostatné nosné a požiarne deliace konštrukcie
- konštrukčné prvky **druhu D1**
- Nosné konštrukcie
 - Požiarne deliace konštrukcie
- konštrukčné prvky **druhu D2**
(musia byť splnené ďalšie kritériá)



8

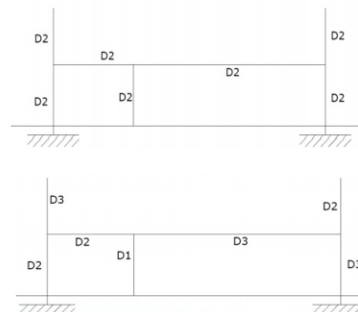
Obr. Zmiešaný konštrukčný prvok (STN 92 0201 -2)



Obr. Zmiešané konštrukčné celky (STN 92 0201 -2)

Horľavý konštrukčný celok

- **Nosné konštrukcie**
 - **Požiarne deliace konštrukcie**
- ➔ konštrukčné prvky **druhu D2**
- ➔ konštrukčné prvky **druhu D1, D2, D3**



Obr. Horľavé konštrukčné celky (STN 92 0201 -2)

9

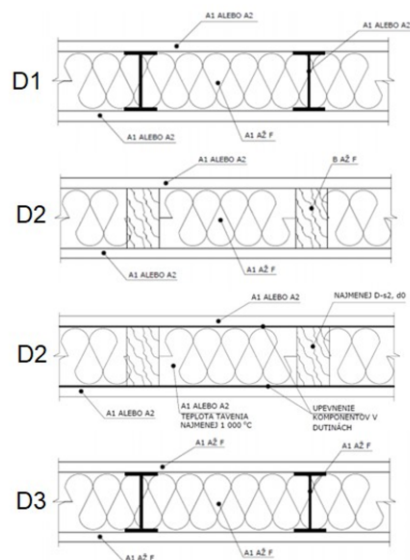
Konštrukčné prvky

- **Konštrukčné prvky druhu D1** - počas požadovanej požiarnej odolnosti nezvyšujú intenzitu požiaru.
- **Konštrukčné prvky druhu D2** - počas požadovanej požiarnej odolnosti nezvyšujú intenzitu požiaru.
- **Konštrukčné prvky druhu D3** - počas požadovanej požiarnej odolnosti sa môžu zapáliť a zvyšovať intenzitu požiaru.



Obr. Konštrukčné prvky (Knauf Insulation)

10



Obr. Konštrukčné prvky (STN 92 0201 -2)

Reakcia na oheň

STN EN 13 501 -1+A1/Z1 (2017)

- Stavebné výrobky
- Podlahové krytiny
- Tepelnoizolačné výrobky na lineárne potrubia

Triedy: A1, A2, B, C, D, E a F.



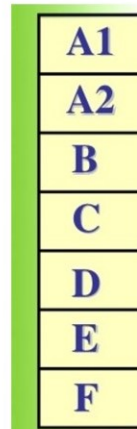
Obr. Triedy reakcie na oheň (STN EN 13 501 -1)

11

Klasifikácia stavebných výrobkov

Skúšobné postupy:

- Skúška nehorľavosti (STN EN ISO 1182: 2010).
- Skúška celkového spalného tepla (STN EN ISO 1716: 2010).
- Skúška tepelného pôsobenia osamelo horiaceho predmetu (STN EN 13 823+A1: 2015).
- Skúška zapáliteľnosti jedno-plameňovým zdrojom (ISO 11 925-2: 2010).



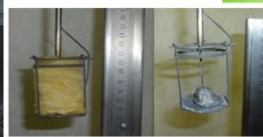
EN ISO 1182 & EN ISO 1716



EN 13823



EN ISO 11925-2



Obr. Priebeh testovania (Zachar)

12

Obr. Vzorok (Zachar)

Drevo ako súčasť konštrukčných prvkov

Drevo	Špecifikácia výrobkov	Minimálna hustota (kg/m ³)	Minimálna celková hrúbka (mm)	Trieda (STN EN 13 501-1)
Konštrukčné drevo	Vizuálne alebo strojovo triedené konštrukčné drevo s pravouhlým prierezom získaným rezaním, hobľovaním alebo ináč, alebo s kruhovým prierezom	350	22	D-s2, d0
Dosky na báze dreva	Dosky z orientovaných triesok OSB	600	9	D-s2, d0
	Trieskové dosky	600	9	D-s2, d0
	Vláknité dosky, tvrdé	900	6	D-s2, d0
	Vláknité dosky polotvrde	600	9	D-s2, d0
		400	9	E, trvalý
	Vláknité dosky mäkké	250	9	E, trvalý
	Vláknité dosky MDF	600	9	D-s2, d0
	Cementovo-trieskové dosky	1000	10	B-s1, d0
	Pregleované dosky	400	9	D-s2, d0
	Dosky z prírodného dreva	400	12	D-s2, d0

13



Obr. Materiály na báze dreva (Zachar)

Požiarnotechnické charakteristiky

- Doba zapaľovania
- Doba samovoľného plameňového horenia
- Doba samovoľného žeravenia (tlenia)
- Hmotnostná rýchlosť horenia
- Lineárna rýchlosť horenia
- Teplota vzplanutia
- Teplota zapálenia
- Teplota vznietenia
- Teplota samovznietenia
- Dolná medza zápalnosti (výbušnosti)
- Horná medza zápalnosti (výbušnosti)
- Optická hustota dymu
- Kyslíkové číslo
- Spalné (spaľovacie) teplo
- Výchrevnosť
- Faktory ovplyvňujúce horľavosť dreva:
 - vlastnosti dreva (hustota, vlhkosť, zloženie, atď..),
 - vonkajšie podmienky.

14



Obr. Priebek testovania (Zachar)

Cieľ výskumu

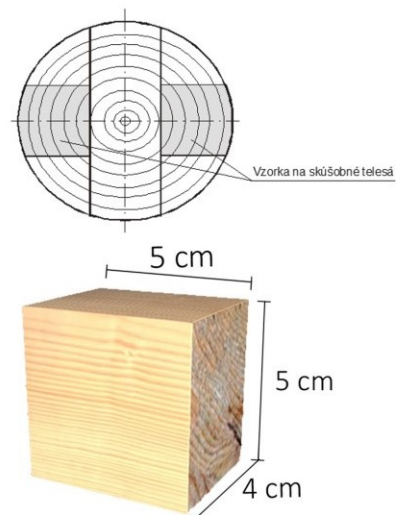
- Stanovenie vybraných požiarnotechnických charakteristík:
 - Stanovenie iniciačného času.
 - Stanovenie hmotnostného úbytku.
 - Stanovenie rýchlosti horenia.
 - Stanovenie rýchlosti zuhoľnatenia.

15

Materiál

- Smrekové drevo - *Picea abies* (L.) H. Karst:
 - priemer kmeňa 420 mm,
 - lokalita Hakovo (800 m. n. m.),
 - číslom porastu - 220,
 - vek stromu - 120 rokov,
 - druh ťažby - letná.
- Príprava vzoriek:
 - kondicionovanie - teplota $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$,
- relat. vlhkosti $50 \pm 5\%$ - 40 hodín,
 - rozmery - 40 x 50 x 50 mm,
 - vlhkosť - 0 %,
 - hustota vzoriek - $443\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

16



Obr. Vzorky (Zachar, 2022)

Metodika

- Stanovenie iniciačného času a hmotnostného úbytku – *nenormová metóda* - (Úžitkový vzor č. 9373)
 - Tepelný tok - 15, 20, 25 a 30 kW·m²

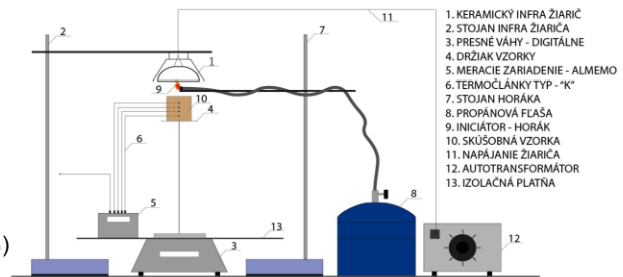
Spôsob vyhodnotenia

$$\delta_m(\tau) = \frac{m(\tau_0) - m(\tau)}{m(\tau_0)} * 100 \quad (\%)$$

kde: $\delta_m(\tau)$ - relatívny úbytok hmotnosti v čase (t) (%)

$m(\tau_0)$ - pôvodná hmotnosť vzorky (g),

$m(\tau)$ - hmotnosť vzorky v čase (t) (g).



Obr. Schematické znázornenie testovacej aparatury (Zachar, 2022)

17

Metodika

- Stanovenie rýchlosti odhorievania – *nenormová metóda* - (Úžitkový vzor č. 9373)
 - Tepelný tok - 15, 20, 25 a 30 kW·m²

Spôsob vyhodnotenia

$$\vartheta = \frac{\delta(\tau) - \delta(\tau + \Delta\tau)}{\Delta\tau}$$

kde: ϑ - rýchlosť odhorievania (%·s⁻¹),

$\delta(\tau)$ - hmotnostný úbytok v čase (τ) (%),

$\delta(\tau + \Delta\tau)$ - hmotnostný úbytok v čase ($\tau + \Delta\tau$) (%),

($\Delta\tau$) - časový interval, v ktorom sa odčítavajú hmotnosti (s).



Obr. Testovaná vzorka (Zachar)

18

Metodika

- Stanovenie rýchlosti zuhoľnatenia – *nenormová metóda* (Úžitkový vzor č. 9373)

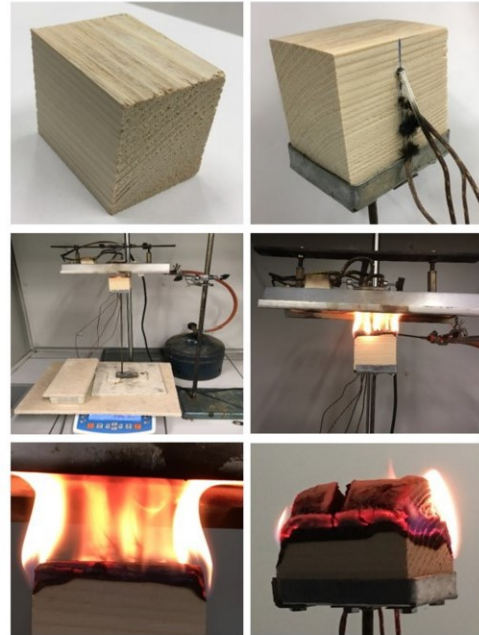
Spôsob vyhodnotenia

$$\beta_0 = \frac{T_{char}}{t}$$

kde: β_0 - rýchlosť zuhoľnatenia ($\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$),

T_{char} - zuhoľnatená vrstva (mm),

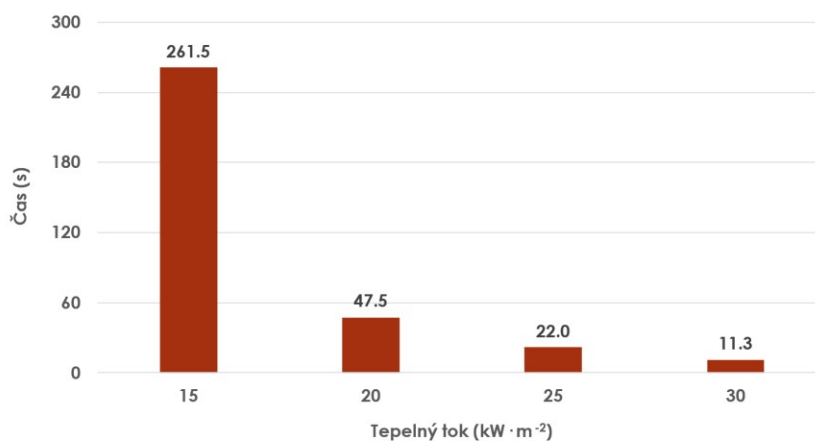
t - čas tepelného zaťaženia (min).



Obr. Priebeh testovania vzoriek (Zachar, 2022)

19

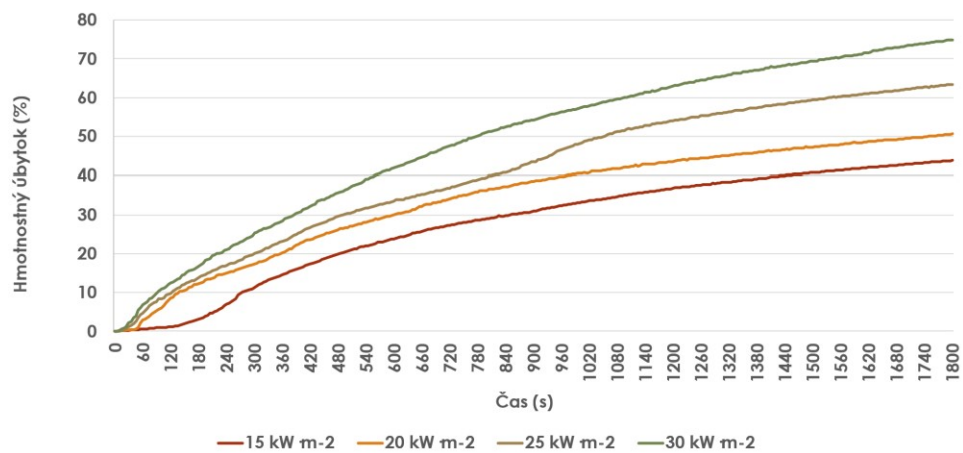
Výsledky



Obr. Iničiálny čas (Zachar, 2022)

20

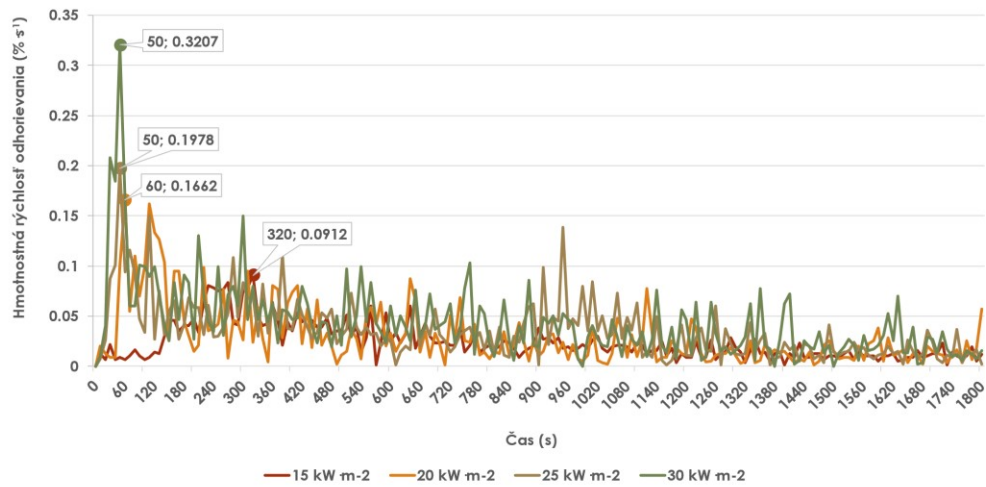
Výsledky



21

Obr. Hmotnostný úbytok (Zachar, 2022)

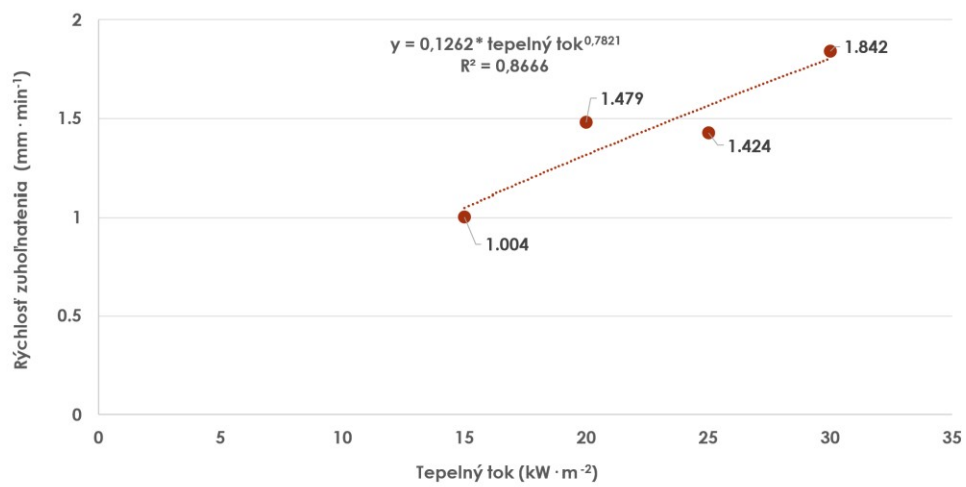
Výsledky



22

Obr. Rýchlosť odhorievania (Zachar, 2022)

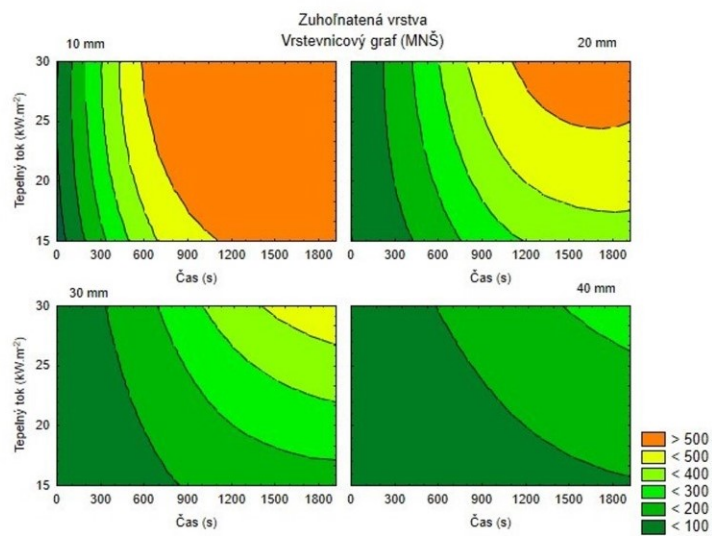
Výsledky



23

Obr. Rýchlosť zuhoľnatenia v intervale 0 až 1800 s (Zachar, 2022)

Výsledky



24

Obr. Model priebehu zuhoľnatej vrstvy v čase pre príslušnú hĺbku (Zachar, 2022)

Závery

- Výsledky práce možno uplatniť pri ďalšom skúmaní a komparácii požiarnotechnických charakteristík smrekového dreva.
- Uplatnenie výsledkov:
 - požiarne prevencia,
 - zisťovanie príčin vzniku požiarov,
 - bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci,
 - vstupné údaje pre počítačom podporované modelovanie rozvoja požiaru v uzavretom priestore.

25

Použitá literatúra

Zákon NR SR č. 314/2001 Z. z., o ochrane pred požiarimi, v znení neskorších predpisov.

Zákon NR SR č. 133/2013 Z. z., o stavebných výrobkoch, v znení neskorších predpisov.

Zákon NR SR č. 124/2006 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci

Vyhláška MV SR č. 94/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú technické požiadavky na protipožiarne bezpečnosť pri výstavbe a pri užívaní stavieb, v znení neskorších predpisov.

Vyhláška MVaRR SR č. 158/2004 Z. z., ktorou sa ustanovujú skupiny stavebných výrobkov s určenými systémami preukazovania zhody a podrobnosti o používaní značiek zhody, v znení neskorších predpisov.

STN 92 0201-2 Požiarne bezpečnosť stavieb. Spoločné ustanovenia. Časť 2: Stavebné konštrukcie

STN EN ISO 1182 Skúška reakcie výrobkov na oheň. Skúška nehorľavosti (ISO 1182: 2010).

STN EN ISO 1716 Skúška reakcie výrobkov na oheň. Stanovenie celkového spalného tepla (ISO 1716: 2010).

STN EN 13 823+A1 Skúšky reakcie stavebných výrobkov na oheň. 2015. (STN EN 13 823+A1 2015).

STN EN ISO 11925-2 Skúšky reakcie na oheň. (ISO 11 925 -2 2010).

<https://www.archiweb.cz/b/dum-nad-vodopadem>

<https://www.drevostavby.cz/>

<https://www.chatar-chalupar.cz/jaka-jsou-rizika-drevostavby/>

Knauf Insulation. 2024. <https://www.ecose.sk/sk/preco-je-mozne-stavat-patposchodove-drevostavby-uz-aj-na-slovensku/>

Zachar, M. 2022. Aplikácia progresívnej testovacej metódy na stanovenie požiarnotechnických charakteristík smrekového dreva. Technická univerzita vo Zvolene, 2022. - 118 s. ISBN 978-80-228-3354-7.

26

Ďakujem za pozornosť.

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