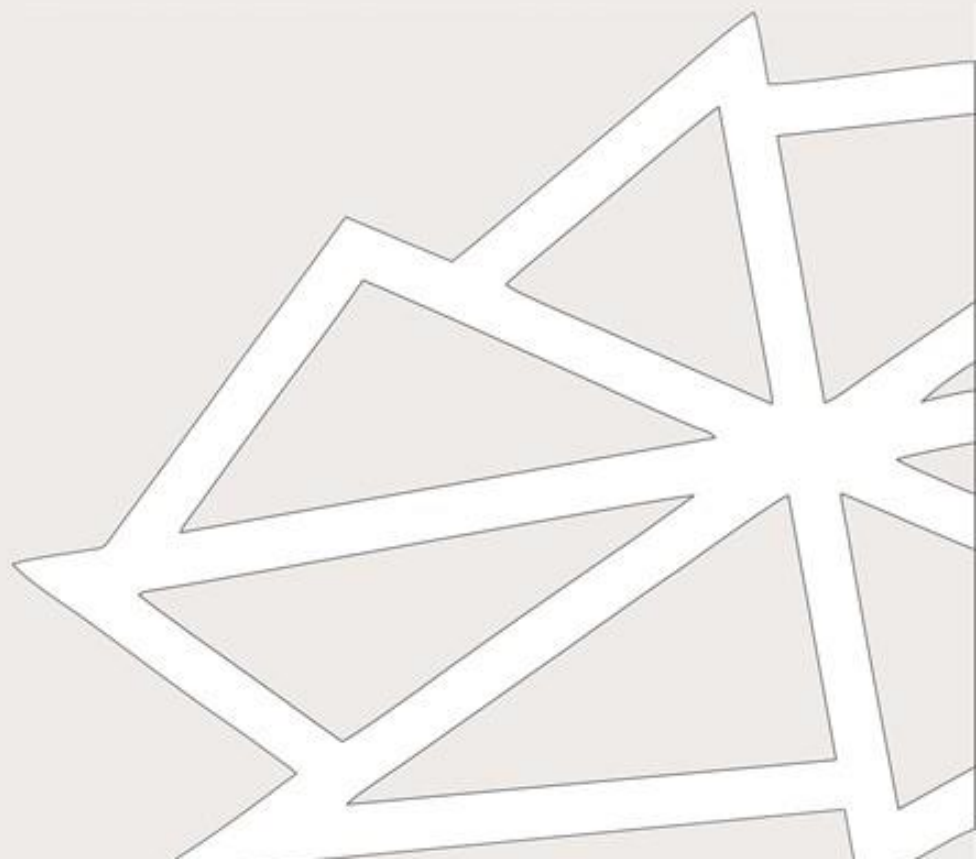


TECHNICAL UNIVERSITY IN ZVOLEN
FACULTY OF WOOD SCIENCES AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE PROTECTION

Δ Delta

FIRE PROTECTION & SAFETY
Scientific Journal

Vol. 14 Iss. 2
December 2020



Delta journal publishes reviewed original scientific papers, review papers, case studies and short communications devoted to research on fire protection and safety, occupational health and safety and protection of persons and property.

Journal topics:

Fire and Its Propagation

- Combustion and Fire Chemistry and Physics
- Fire Behaviour Modelling
- Fire Investigation
- Smoke Control and Combustion Toxicity

Effect of Heat and Fire on Materials and Products

- Fire Properties of Materials
- Fire Testing
- Thermal Stability and Thermal Degradation of Materials and Products

Fire Protection and Fire-Fighting

- Active and Passive Fire Protection Systems and Methods
- Fire-Fighting Equipment and Fire Tactics
- Fire Safety Design of Buildings and Technology
- Rescue Works and Rescue Equipment

Protection of Persons, Property and Environment

- Environmental Impacts of Fires and Accidents
- Fire and Accident Risk Management
- Fire Safety Management
- Interaction Human – Fire – Environment

Occupational Health and Safety

- Injury Investigation Methods
- Safety Engineering

Časopis *Delta* uverejňuje recenzované pôvodné vedecké práce, prehľadové články, prípadové štúdie a krátke oznámenia z oblasti protipožiarnej ochrany a bezpečnosti, bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci a ochrany osôb a majetku.

Tematické oblasti časopisu:

Požiar a jeho rozvoj

- Dynamika požiaru
- Chémia a fyzika horenia a požiaru
- Modelovanie správania sa požiaru
- Riadenie dymu a toxicita splođín horenia
- Zisťovanie príčin vzniku požiarov

Vplyv tepla a ohňa na materiály a výrobky

- Požiarne skúšobníctvo
- Požiarotechnické vlastnosti materiálov
- Termická stabilita a termická degradácia materiálov a výrobkov

Protipožiarne ochrana a bezpečnosť

- Požiarne bezpečnosť stavieb a technológií
- Požiarne taktika a hasičská technika
- Systémy a metódy aktívnej a pasívnej protipožiarnej ochrany
- Záchranné práce a záchranná technika

Ochrana osôb, majetku a životného prostredia

- Environmentálne dopady požiarov a havárií
- Interakcia človek – požiar – prostredie
- Manažment požiarnej bezpečnosti
- Manažment rizík vzniku požiarov a havárií

Bezpečnosť a ochrana zdravia pri práci

- Bezpečnostné inžinierstvo
- Metódy zisťovania príčin vzniku úrazov

TECHNICAL UNIVERSITY IN ZVOLEN
FACULTY OF WOOD SCIENCES AND TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF FIRE PROTECTION

Δ Delta

FIRE PROTECTION & SAFETY
Scientific Journal

Vol. 14 Iss. 2
December 2020

Editorial Office of the *Delta* journal / Redakcia časopisu *Delta*

Contact / Kontakt

Technical University in Zvolen

Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection, T.G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic, e-mail: delta@tuzvo.sk, website: <https://kpo.tuzvo.sk/sk/delta-scientific-journal>

Technical Editor / Technický redaktor

Eva FEKIAČOVÁ

Editors / Editori

František KAČÍK, Danica KAČÍKOVÁ, Andrea MAJLINGOVÁ, Jaroslava ŠTEFKOVÁ, Rastislav ŠULEK, Ludmila TEREŇOVÁ

International Editorial Board / Medzinárodná redakčná rada

Editorial Board Chief / Predseda redakčnej rady

Danica KAČÍKOVÁ

Editorial Board Members / Členovia redakčnej rady

Karol BALOG, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic

Andries JORDAAN, University of the Free State, Bloemfontein, South Africa

František KAČÍK, Technical University in Zvolen, Slovak Republic

Omer KUCUK, University Kastamonu, Turkey

Peter LOŠONCI, University of Security Management in Kosice, Slovak Republic

Andrea MAJLINGOVÁ, Technical University in Zvolen, Slovak Republic

Linda MAKOVICKÁ OSVALDOVÁ, University of Zilina, Slovak Republic

Jozef MARTINKA, Slovak University of Technology in Bratislava, Slovak Republic

Esko MIKKOLA, KK-Fireconsult Ltd., University of Helsinki, Finland

Andrei NIKULIN, National Mineral Resources University, Saint Peterburg, Russia

Anton OSVALD, Slovak Republic

Jiří POKORNÝ, VSB-TU Ostrava, Czech Republic

Ágoston RESTÁS, National University of Public Service, Budapest, Hungary

Branko SAVIĆ, Higher Education Technical School of Professional Studies in Novi Sad, Serbia

Marianna TOMAŠKOVÁ, Technical University in Košice, Slovak Republic

Ivana TUREKOVÁ, Constantine the Philosopher University in Nitra, Slovak Republic

Qiang XU, Nanjing University of Science and Technology, P. R. China

Publisher / Vydavateľ

Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic, IČO 00397440

Published twice a year / Vychádza 2-krát ročne

Vydanie I. – December 2020

EV 3857/09

ISSN (print) 1337-0863

ISSN (online) 2585-9730

Print // Tlač

Technical University in Zvolen / Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 01 Zvolen

Slovak Republic / Slovenská republika

Content / Obsah

1. Rastislav Veľas, Martin Lieskovský, Andrea Majlingová, Danica Kačíková:
Determination of gross calorific value and net calorific value of fine forest fuel in selected forest stands 5
2. Dominik Špilák, Eva Mračková, Andrea Majlingová:
Simulation of distraction of spruce dust particles by CFD analysis for the purpose of explosion protection 14
3. Anton Osvald, Ludmila Tereňová, Jaroslava Štefková:
The Impact of Radiant Heat on Flexural Strength and Impact Toughness in OSB Panel 26
4. Emília Orémusová, Mária Šmidriaková, Vladimír Mozer, Eduard Ivan:
The Effect of Radiant Heat on Upholstery Fabrics Covering Polyurethane Foam 36
5. Ivana Tureková, Jozef Harangozó:
The Factors the School Environment during the Teaching Process 54

Determination of Gross Calorific Value and Net Calorific Value of Fine Forest Fuel Sampled in Selected Forest Stands

Stanovenie spaľovacieho tepla a výhrevnosti jemného lesného paliva odobratého vo vybraných lesných porastoch

Rastislav Veľas^{1*}, Martin Lieskovský², Andrea Majlingová¹, Danica Kačíková¹

¹ Department of Fire Protection, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, Zvolen, Slovak Republic; email: xvelasr@tuzvo.sk, majlingova@tuzvo.sk, kacikova@tuzvo.sk

² Department of Forest Harvesting, Logistics and Ameliorations, Faculty of Forestry, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, Zvolen, Slovak Republic; email: lieskovsky@tuzvo.sk

* Corresponding author: xvelasr@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: November 18, 2020; Accepted: December 02, 2020; Published: December 2020

Abstract

Fine forest fuel is one of the key indicators for assessing the danger of forest fires. This group of fuels can include thinner branches, leaves, needles, bark, and tree fruits. These types of fuel are among the most critical in the first phase of fire development, where more energy is released for fire development. The paper deals with the comparison of gross calorific value and net calorific value of fine fuels determined calorimetrically according to the standard STN ISO 1928. For this purpose, we used the IKA C200 calorimeter. Net caloric values were calculated using the real data on the fuel moisture content measured directly during the field survey. This study is focusing samples of surface fine fuel sampled in a forest stand formed by tree *Quercus petraea* L. and a mixed stand formed by tree species of pine *Pinus sylvestris* L., oak *Quercus cerris* L., and hornbeam *Carpinus betulus* L. For testing, there were used the fine fuel samples with a moisture content of 0%. The highest values of gross calorific value were shown for pine needles (21,860 J·g⁻¹), mix litter formed by leaves and needles (21,459 J·g⁻¹) and pine branches with a diameter of 5 cm (21,053 J·g⁻¹). The lowest values of gross calorific value were observed for oak dead leaves (litter) (17,086 J·g⁻¹) and dead branches with a diameter of 5 cm (18,578 J·g⁻¹). A relatively high value was also observed in the acorn sample (19,066 J·g⁻¹). These results showed that the fuel in the mixed stand has a higher gross and net calorific values, which also means higher fire vulnerability and higher probability of severe forest fire occurrence.

Keywords: ash content; fine fuels; forest fires; gross calorific value; net calorific value

1 Introduction

The acreage of forests in Slovakia is approximately 2,006,939 ha, which represents 40.9% of the total area. Due to the excessive use of wood as raw material, so-called logging residues accumulate in forests, where we can include the top parts of trees, branches, leaves, needles, bark, and tree fruits. This type of fuel, called fine fuel, is an important element in the potential behaviour of forest fires. It is one of the most important factors in determining the intensity of a fire, the speed of spread of the fire front, as well as the probability of spot fires. The

1 Úvod

Výmera lesov na Slovensku je približne 2 006 939 ha, čo predstavuje 40,9 % z celkovej rozlohy územia. V dôsledku nadmerného využívania dreva ako suroviny, sa v lesoch vytvárajú takzvané zvyšky po ťažbe, kde môžeme zaradiť vrcholové časti stromov, konáre, lístie, ihličie, kôru a plody stromov. Tento druh paliva nazývané ako jemné palivo tvorí významný prvok pri potenciálnom správaní sa lesných požiarov. Patrí k najdôležitejším faktorom pri určovaní intenzity požiaru, rýchlosti šírenia čela požiaru

intensity and frequency of forest fires vary across countries, mainly due to the impact of vegetation, climate, and initiation methods [1]. In many areas, current fire regimes are mainly affected by people, which often increases the number of ignitions and the frequency of fires. Such deviations from natural regimes threaten not only biodiversity and ecosystem dynamics but also human life [2].

Currently, research domain is focused on systems for assessing the danger of the occurrence and spread of forest fires. The majority of these systems take into account the influence of fuel moisture content and meteorological conditions such as air temperature, wind speed, relative air humidity and total precipitation. Núñez-Regueira [3] and his research group TERBIPROMAT have proposed a method for determining the fire risk index in various forests in Spain as part of research into the use of biomass for energy purposes. One of the main parameters for calculating fire risk indices is the calorific value of the fuel. They included the use of these indices to create maps of fire danger indices in forests. Maps are also useful for fire prevention and the fight against forest fires.

It is necessary to distinguish two types of calorific value:

Gross calorific value is the amount of energy released by the complete combustion of a unit mass of sample at a constant volume in an oxygen atmosphere, provided that the final products of combustion consisting of O_2 , CO_2 , SO_2 and N_2 are in the gas phase together with the water contained in the sample in a liquid state [4].

Net calorific value can be calculated assuming that the water in the fuel remains in the form of vapour. The knowledge of net calorific value is also helpful in evaluating forest resources and in selecting the most proper time for their rational energetic using. The obtained values of gross calorific value and net calorific value are useful for predicting the behaviour of fire in individual forest stands, as well as for preventing and effectively fighting the fire. For different forest types, these values depend on the region and season [5].

Since most studies about forest fires focus on forests dominated by coniferous wood, a comparison of fire results concerning the type of forest stand shows that in the period

ako aj pravdepodobnosť vzniku bodových požiarov. Intenzita a frekvencia lesných požiarov sa líši naprieč krajinami, najmä v dôsledku vplyvu vegetácie, podnebia a spôsobov iniciácie [1]. Súčasný režim požiaru sú v mnohých oblastiach ovplyvnené najmä ľuďmi, čo často zvyšuje počet zapálení a frekvenciu požiarov. Takéto odchýlky od prírodných režimov ohrozujú nielen biodiverzitu a dynamiku ekosystémov, ale aj ľudský život [2].

V súčasnosti je oblasť výskumu zameraná na systémy hodnotenia nebezpečenstva vzniku a šírenia lesných požiarov. Prevažná časť týchto systémov zohľadňuje vplyv vlhkosti paliva a meteorologických podmienok ako sú teplota vzduchu, rýchlosť vetra, relatívna vlhkosť vzduchu a úhrn zrážok. Núñez-Regueira [3] a jeho výskumná skupina TERBIPROMAT navrhli metódu na stanovenie indexu rizika požiaru v rôznych lesných porastoch na území Španielska v rámci výskumu využívania biomasy na energetické účely. Jedným z hlavných parametrov pre výpočet indexov rizika požiaru je hodnota výhrevnosti paliva. Použitie týchto indexov zahrnuje na vytvorenie máp indexov požiarneho nebezpečenstva v lesoch. Mapy sú zároveň užitočné na požiarnu prevenciu a v boji proti lesným požiarom.

Je nevyhnutné rozlišovať dva typy výhrevnosti:

Spaľovacie teplo je množstvo energie uvoľnenej úplným spálením hmotnostnej jednotky vzorky pri konštantnom objeme v kyslíkovej atmosfére za predpokladu, že konečné produkty spaľovania pozostávajúce z O_2 , CO_2 , SO_2 a N_2 sú v plynnej fáze spolu s vodou, ktorá je obsiahnutá vo vzorke v kvapalnom stave [4].

Výhrevnosť možno vypočítať za predpokladu, že voda v palive zostáva vo forme pary. Znalosti o výhrevnosti sú tiež veľmi užitočné pri hodnotení lesných zdrojov a pri výbere najvhodnejšieho okamihu na ich racionálne energetické využitie. Získané hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti sú užitočné na predpovedanie správania sa požiaru v jednotlivých lesných porastoch, a taktiež na prevenciu a účinné zdolávanie požiaru. Pre rôzne druhy lesov tieto hodnoty závisia od oblasti a ročného obdobia [5].

Keďže väčšina štúdií o lesných požiaroch sa zameriava na lesy s dominantou ihličnatého

2010 – 2019 in Slovakia, the largest number of fires occurred in mixed forest stand (798), in forest coniferous (613) and the smallest number in deciduous (330) [6,7].

The aim of this paper is to determine the gross calorific value and net calorific value of surface fine fuel taken from the forest stand formed by tree *Quercus petraea* L. and the mixed stand formed by trees *Pinus sylvestris* L., *Quercus ceris* L., *Carpinus betulus* L.

2 Material and Methods

For the experimental area for the collection of surface fine fuel was selected the territory of the University Forestry Enterprise of the Technical University in Zvolen. Two forest stands with the designations 365a and 366b were selected. Selected stands belong to category B - forests with a medium degree of fire risk. Table 1 shows the basic forest management data for the selected stands.

dreva, pri porovnaní výsledkov požiarovosti vzhľadom na druh lesného porastu vyplýva, že v období 2010 – 2019 na území Slovenska, najväčší počet požiarov vznikol v lesnom poraste zmiešanom (798), v lesnom poraste ihličnatom (613) a najmenší počet v listnatom poraste (330) [6,7].

Cieľom tohto príspevku je stanoviť spaľovacie teplo a výhrevnosť povrchového jemného paliva odobratého z lesného porastu tvorený drevinou *Quercus petraea* L. a zmiešaného porastu tvorený drevinami *Pinus sylvestris* L., *Quercus ceris* L., *Carpinus betulus* L.

2 Materiál a metódy

Za experimentálne územie pre odber povrchového jemného paliva bolo vybrané územie Vysokoškolského lesníckeho podniku Technickej univerzity vo Zvolene. Boli vybrané dva lesné porasty s označením 365a a 366b. Vybrané porasty patria do kategórie B – lesy so stredným stupňom ohrozenia požiarom. V tabuľke 1 uvádzame základné lesohospodárske údaje pre vybrané porasty.

Tab. 1 Basic data about forest stands [8]

Tab. 1 Základné údaje o lesných porastoch [8]

Forest stand / Lesný porast	366b	365a
Wood composition of the forest / Drevinové zloženie (%)	<i>Pinus sylvestris</i> L. – 90 <i>Carpinus betulus</i> L. – 7 <i>Quercus cerris</i> L. – 3	<i>Quercus petraea</i> L. – 100
Age of stand (years)/ Vek porastu (rokov)	135	110
Age class (years) / Veková trieda (rokov)	81 +	81 +
Density of stocking / Zakmenenie	0.60	0.80
Aspect / Expozícia	Eastern / východná	Northern / severná
Slope / Sklon (%)	10	30
Altitude / Nadmorská výška (m n. m.)	325 - 360	320 - 380

Fuel sampling took place in the summer at the turn of July - August. These are among the months with the highest air temperature and low total precipitation, which has an effect on higher values of gross calorific value and net calorific value. It also points to a clear trend towards longer fires compared to previous years,

Odber vzoriek paliva sa uskutočnil v letnom období na prelome mesiacov júl – august. Tie patria medzi mesiace s najvyššou teplotou vzduchu a nízkymi úhrnmi zrážok, čo má vplyv na vyššie hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti. Taktiež podľa výročnej správy Európskej komisie o lesných požiaroch

according to the European Commission's annual report on forest fires in Europe, the Middle East and North Africa, as fires occur not only in the dry and hot summer months (July to September), but in 2017, the most critical months were June and October.

The following types of fuel samples were taken:

- In the forest stand 365a - dead leaves (litter), dead branches with a diameter of 0.5 cm and 5 cm, beech husks and acorns.
- In the forest stand 366b - mixed litter (leaves + needles), litter formed by needles, dead bark (*Pinus sylvestris* L.), dead branches (*Pinus sylvestris* L.) with a diameter of 0.5 and 5 cm and pine cones. The reason for inclusion in these classes is the fact that each type of surface fuel has different values of gross calorific value and net calorific value, which is evidenced by different fire behaviour.

During sampling, the individual types of fuels were placed in polythene bags to prevent moisture loss and thus transported to the laboratory, where the moisture content of the fuel was determined. The moisture content of a fuel is defined as the amount of water contained in the fuel expressed as a percentage of the dried fuel. We determined the moisture content of the fuel on the basis of data on weight loss during drying of fuel in the drying-plant at a temperature in the range of 103 °C - 105 °C in accordance with STN EN ISO 18134-3: Solid biofuels. Determination of moisture content. Oven drying method. Part 3: Moisture in the analytical sample for general analysis [10].

Gross calorific value was determined calorimetrically according to the standard STN ISO 1928: Solid mineral fuels. Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method, and calculation of net calorific value [11]. For this purpose, we used the IKA C200 calorimeter. For each sample type, three measurements were performed at 0% sample moisture (samples dried in drying plant). We determined the net calorific value of the fuel based on a conversion from the values of gross calorific value. The net calorific values for the individual fuel types were then calculated to the

v Európe, na Blízkom východe a v severnej Afrike [9] poukazuje na jasný trend smerujúci k dlhším obdobiam požiarov v porovnaní s predchádzajúcimi rokmi, keďže k požiarom dochádza nielen v suchých a horúcich letných mesiacoch (júl až september), ale v roku 2017 boli najkritickejšími mesiacmi jún a október.

Boli odobraté nasledovné typy vzoriek paliva:

- V lesnom poraste 365a – odumreté listie (opad), odumreté konáre s priemerom 0,5 cm a 5 cm, plevy z bukvíc a žalude.
- V lesnom poraste 366b – zmiešaný opad (listie + ihličie), opad tvorený ihličím, odumretá kôra (*Pinus sylvestris* L.), odumreté konáre (*Pinus sylvestris* L.) s priemerom 0,5 cm a 5 cm a šišky. Dôvodom na zaradenie do týchto tried je skutočnosť, že každý typ povrchového paliva má odlišné hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti, čo sa preukazuje rozdielnym správaním sa požiaru.

Pri odbere vzoriek sa jednotlivé typy palív vložili do polyetylénových vriec, aby sa zabránilo strate vlhkosti a takto boli prepravované do laboratória, kde bol zisťovaný obsah vlhkosti v palive. Obsah vlhkosti v palive je definovaný ako množstvo vody obsiahnutej v palive vyjadrenej v percentách vysušeného paliva. Vlhkosť paliva sme stanovili na základe údajov o úbytku na hmotnosti pri sušení paliva v sušiarňi pri teplote v rozmedzí 103 – 105 °C v zmysle STN EN ISO 18134-3: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Metóda sušením v sušiarňi. Časť 3: Vlhkosť v analytickej vzorke na všeobecný rozbor [10].

Spaľovacie teplo bolo stanovené kalorimetricky podľa normy STN ISO 1928: Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti [11]. Na tento účel sme využili kalorimeter IKA C200. Pre každý typ vzorky sa uskutočnili tri merania pri vlhkosti vzoriek 0 % (vzorky sušené v sušiarňi). Výhrevnosť paliva sme stanovili na základe prepočtu z hodnôt spaľovacieho tepla. Hodnoty výhrevnosti pre jednotlivé typy palív boli následne prepočítané na relatívnu vlhkosť, ktoré

relative moisture that the fuel contained in the field. The last characteristic determined was the ash content.

3 Results and Discussion

Tables 2 and 3 show the average values of gross calorific ($J \cdot g^{-1}$), net calorific value ($J \cdot g^{-1}$), the relative moisture of the fuel sample (%) and ash content (% by weight) for the fine fuels. Gross calorific value and net calorific value were tested at a moisture content of 0% and subsequently converted to the relative moisture that fuel contains in the terrain according to the relevant technical standards. The moisture content of the fuel samples was low due to fuel sampling on hot summer days without total precipitation. Since the values of gross calorific and net calorific depend significantly on the moisture content in the sample, we will interpret the individual results for the moisture content of 0%.

obsahovalo palivo v teréne. Poslednou stanovenou charakteristikou bol obsah popola.

3 Výsledky a diskusia

V tabuľkách 2 a 3 uvádzame priemerné hodnoty spaľovacieho tepla ($J \cdot g^{-1}$), výhrevnosti ($J \cdot g^{-1}$), relatívnej vlhkosti vzorky paliva (%) a obsahu popola v hmotnostných % pre jemné palivá. Spaľovacie teplo a výhrevnosť boli testované pri obsahu vlhkosti 0 % a následne podľa príslušných technických noriem prepočítané na relatívnu vlhkosť, ktoré palivo obsahovalo v teréne. Obsah vlhkosti vo vzorkách paliva bol pomerne nízky vzhľadom na odber vzoriek realizovaných počas horúcich letných dní bez úhrnu zrážok. Keďže hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti značne závisia od obsahu vlhkosti vo vzorke, jednotlivé výsledky budeme interpretovať pre obsah vlhkosti 0 %.

Tab. 2 Values of gross calorific value, net calorific value and ash content for individual fuel types from oak stand

Tab. 2 Hodnoty spaľovacieho tepla, výhrevnosti a obsahu popola pre jednotlivé palivové typy z dubového porastu

Fuel typ / Palivový typ	Fuel moisture ¹ / Vlhkosť paliva (%)	Gross calorific value / Spaľovacie teplo ($J \cdot g^{-1}$)		Net calorific value / Výhrevnosť ($J \cdot g^{-1}$)		Ash / Popol (%)
		Fuel moisture / Vlhkosť paliva 0 %	Fuel moisture ¹ / Vlhkosť paliva (%)	Fuel moisture / Vlhkosť paliva 0 %	Fuel moisture ¹ / Vlhkosť paliva (%)	
Litter – dead leaves / Lístie – opad	11.07	17,086	15,194	15,850	13,840	11.66
Dead branches / Konáre Ø 0,5 cm	11.64	19,486	17,217	18,250	15,858	3.80
Dead branches / Konáre Ø 5 cm	17.15	18,578	15,392	17,342	13,973	2.71
Acorns / Žalude	13.26	19,066	16,538	17,830	15,161	2.62
Beech husks / Plevy z bukvíc	9.77	19,024	17,166	17,788	15,825	4.95

¹The moisture content of fuel in a forest stand. / Obsah vlhkosti paliva v lesnom poraste.

From the values given in Tables 2 and 3, coarser fuels (branches with a diameter of 5 cm) have a higher moisture content compared to thinner (finer) fuels. This is due to the fact that

Z hodnôt uvedených v tabuľkách 2 a 3 je zrejmé, že hrubšie palivá (konáre s priemerom 5 cm) majú vyšší obsah vlhkosti oproti tenším (jemnejším) palivám. Je to spôsobené tým, že

thinner fuel is more prone to changes in moisture content than coarser fuels. For coarser fuels, the process of water adsorption and desorption takes longer than for fine fuels.

It is clear from Table 2 that thin branches have higher values of gross calorific than coarser ones by an average of $908 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (4.66%). This feature is especially important in the first phase of fire development, where more energy is released for the subsequent development of the fire. We can also observe relatively high values of gross calorific for acorns ($19,066 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$) as well as beech husk ($19,024 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$), which were remnants of previous forest management.

tenšie palivo je náchylnejšie na zmenu obsahu vlhkosti oproti hrubším palivám. Pri hrubších palivách proces adsorpcie a desorpcie vody prebieha dlhší čas oproti jemným palivám.

Z tabuľky 2 je zrejmé, že tenké konáre majú vyššie hodnoty spaľovacieho tepla ako hrubšie v priemere o $908 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (4,66 %). Táto vlastnosť je dôležitá najmä v prvej fáze rozvoja požiaru, kde sa uvoľní väčšie množstvo energie potrebnej pre rozvoj požiaru. Taktiež môžeme pozorovať pomerne vysoké hodnoty spaľovacieho tepla pre žalude ($19\,066 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$) a taktiež plevy z bukvic ($19\,024 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$), ktoré boli pozostatkami predošlého obhospodarovania lesa.

Tab. 3 Values of gross calorific value, net calorific value and ash content for individual fuel types from pine stand (samples of pine tree)

Tab. 3 Hodnoty spaľovacieho tepla, výhrevnosti a obsahu popola pre jednotlivé palivové typy z borovicového porastu (vzorky borovice)

Fuel typ / Palivový typ	Fuel moisture ¹ / Vlhkosť paliva (%)	Gross calorific value / Spaľovacie teplo ($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$)		Net calorific value / Výhrevnosť ($\text{J}\cdot\text{g}^{-1}$)		Ash / Popol (%)
		Fuel moisture / Vlhkosť paliva 0 %	Fuel moisture ¹ / Vlhkosť paliva (%)	Fuel moisture / Vlhkosť paliva 0 %	Fuel moisture ¹ / Vlhkosť paliva (%)	
Litter (leaves + needles) / Opadanka (lístie + ihličie)	8.40	21,459	19,656	20,223	18,331	3.06
Needles / Ihličie	9.59	21,860	19,763	20,624	18,425	4.72
Bark (Pinus) / Kôra (Borovica)	10.55	20,672	18,491	19,436	17,143	2.05
Dead branches (Pinus) / Odumreté konáre (Borovica) Ø 0,5 cm	10.81	20,342	18,143	19,106	16,792	3.27
Dead branches (Pinus) / Odumreté konáre (Borovica) Ø 5 cm	16.68	21,053	17,541	19,817	16,128	0.63
Pine cones / Šišky	10.39	19,086	17,103	17,850	15,757	3.40

¹The moisture content of fuel in a forest stand. / Obsah vlhkosti paliva v lesnom poraste.

The comparison shows higher values of gross calorific and net calorific for fuels in mixed forest stand. For pine needles, we recorded an increase in the value of gross calorific by $4,774 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (21.84%) compared to the dead leaves from the oak stand. In the case of pine branches with a diameter of 0.5 cm, the value is higher by $856 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (4.21%), with a diameter of 5 cm by $2,475 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (11.76%). We can also observe a higher value of gross calorific by $4,373 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (23.38%) in the mixed litter (leaves + needles) compared to litter formed by leaves. These differences are mainly due to different chemical composition.

The higher value of gross calorific in the case of pine is mainly due to the resin channels present, which are found in the bark, in the bast and in the wood. These resin channels contain flammable resin and organic compounds such as terpenes, which by their properties contribute to the higher flammability of these types of fuel. According to Núñez-Regueira et al. [4] due to the higher production of essential oils resins contained in the pine.

According to Núñez-Regueira et al. [12], the prevention of forest fires is the rational use of the energy resources contained in forest biomass. One of the solutions is to create maps that contain key information about forest resources for their energy use. These maps are based on information on the net calorific value of diverse types of forest fuel. The collection, cleaning, and disposal of these residues after harvesting make it possible to prevent or partially limit the spread of forest fires. On the other hand, these residues stand for a suitable source of renewable energy. They also point out that conifers and hardwoods present a higher risk of fire in the summer months, while other types of fuel (forest litter) and shrubs have a higher risk value during the autumn months.

4 Conclusions

The aim of the paper was to compare the values of gross calorific and net calorific of surface fuel (fine fuel) occurring in a deciduous and mixed stand. This type of fuel is one of the most critical in the first phase of fire development, where more energy is released for the development of fire. Based on the achieved results, we concluded that the mixed stand will be more dynamic in case of fire due to the higher values of gross calorific compared to

Zo vzájomného porovnania sú zrejme vyššie hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti pre palivá v zmiešanom lesnom poraste. U ihličia sme zaznamenali nárast hodnoty spaľovacieho tepla o $4774 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (21,84%) oproti odumretému lístiu z dubového porastu. V prípade konárikov z borovice s priemerom 0,5 cm je vyššia hodnota o $856 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (4,21 %), s priemerom 5 cm o $2475 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (11,76 %). Taktiež môžeme pozorovať u zmiešanom opade (lístie + ihličie) vyššie hodnoty spaľovacieho tepla o $4373 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ (23,38 %) oproti opadu tvoreného lístím. Tieto rozdiely sú spôsobené najmä odlišným chemickým zložením.

K vyššej hodnote spaľovacieho tepla v prípade borovice prispievajú najmä prítomné živicové kanáliky, ktoré sa nachádzajú v kôre, v lyku, a v dreve. Tieto živicové kanáliky obsahujú horľavú živicu a organické zlúčeniny ako terpény, ktoré svojimi vlastnosťami prispievajú k vyššej horľavosti týchto typov paliva. Podľa Núñez-Regueira et al. [4] taktiež v dôsledku vyššej produkcie éterických olejov v borovici.

Podľa Núñez-Regueira et al. [12] prevenciou proti lesným požiarom je racionálne využívanie zdrojov energie obsiahnutej v lesnej biomase. Jedným z riešení je vytvorenie máp, ktoré obsahujú kľúčové informácie o lesných zdrojov pre ich energetické využitie. Tieto mapy sú založené na informáciách o výhrevnosti rôznych druhov lesného paliva. Zber, čistenie a odstraňovanie týchto zvyškov po ťažbe umožňuje zabrániť alebo čiastočne obmedziť šírenie lesných požiarov. Na druhej strane tieto zvyšky predstavujú vhodný zdroj obnoviteľnej energie. Taktiež poukazujú, že ihličnaté a tvrdé dreviny predstavujú vyššie riziko požiaru v letných mesiacoch, zatiaľ čo ostatné typy paliva (lesný opad) a kríky majú vyššiu hodnotu rizika počas jesenných mesiacov.

4 Záver

Cieľom príspevku bolo porovnať hodnoty spaľovacieho tepla a výhrevnosti povrchového paliva (jemného paliva) nachádzajúce sa v listnatom a v zmiešanom poraste. Tento druh paliva patrí k najkritickejšim v prvej fáze rozvoja požiaru, kde sa uvoľní väčšie množstvo energie potrebnej pre rozvoj požiaru. Na základe dosiahnutých výsledkov sme dospeli k záveru, že zmiešaný porast bude prebiehať pri

deciduous stands. Also, this type of fuel can find a use for energy purposes in the form of biomass or as already mentioned, they can contribute to large-scale forest fires. The use of post-mining residues therefore offers several beneficial possibilities. As well as the economic benefit in the form of biomass, so is the environmental benefit, because the removal of forest fuel residues reduces the risk of forest fires.

Acknowledgments

This publication is the result of the projects implementation: Progressive research of performance properties of wood-based materials and products (LignoPro), ITMS 313011T720 (25%), and Automated system for fire danger assessment (FDAAS), ITMS 313012Q879 (25%), both supported by the Operational Programme Integrated Infrastructure (OPII) funded by the ERDF. This research was also supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract no. APVV-17-0005 (25%) and by the Research Grant Agency of the Ministry of Education of the Slovak Republic under the project VEGA 1/0493/18 (25%).

References / Literatúra

- [1] Trauernicht C. 2019: Vegetation – Rainfall interactions reveal how climate variability and climate change alter spatial patterns of wildland fire probability on Big Island, Hawaii. *Science of the total environment* 650: 459-469.
- [2] Argañaraz JP, Landi MA, Scavuzzo CM, Bellis LM. 2018: Determining fuel moisture thresholds to assess wildfire hazard: A contribution to an operational early warning system. *PloS one* 13: 19.
- [3] Rodríguez-Añón JA, Proupín-Castiñeiras J, Villanueva-López M, Mouriño-Carballido B. 2007: Development of an experimental procedure for energy evaluation of forest communities by calorimetry and thermal analysis. *Thermochimica acta* 458: 5-10.
- [4] Núñez-Regueira L, Rodríguez-Añón J, Proupín J, Romero-García A. 2003: Energy evaluation of forest residues originated from pine in Galicia. *Bioresource technology* 88: 121-130.
- [5] Núñez-Regueira L, Rodríguez-Añón JA, Proupín-Castiñeiras J, Vilanova-Diz A, Montero-Santoveña N. 2001: Determination of calorific values of forest waste biomass by static bomb calorimetry. *Thermochimica Acta* 371: 23-31.
- [6] Orémusová E, Osvaldová LM, Osvald A. 2012. Gross calorific value of leaves, bark, and branches of selected deciduous trees. *Safety Engineering Series* 7. (7 December 2020); <https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/95048/fbi-2012-01-06.pdf?sequence=2>.
- [7] Ministerstvo Vnútra Slovenskej Republiky. 2020. Vyžiadaná štatistika požiarovosti v prírodnom

požiaroch dynamickejšie vzhľadom na vyššie hodnoty spaľovacieho tepla oproti listnatým porastom. Takisto tento druh paliva môže nájsť využitie na energetické účely vo forme biomasy, alebo ako už bolo spomínané, môžu napomáhať k rozsiahlym lesným požiarom. Využívanie zvyškov po ťažbe prináša teda viacero prospešných možností. Rovnako ako ekonomický prínos vo forme biomasy, takisto aj ekologický prínos, pretože odstraňovanie zvyškov lesného paliva znižuje riziko vzniku a šírenia lesných požiarov.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Progresívny výskum úžitkových vlastností materiálov a výrobkov na báze dreva (LignoPro), Kód ITMS: 313011T720 (25 %), v rámci operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt „FDAAS – automatizovaný systém pre vyhodnocovanie nebezpečenstva vzniku požiaru“ (FDAAS), kód ITMS+: 313012Q879 (25 %), spolufinancovaných zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja, ako aj podpore Agentúry pre podporu vedy a výskumu pre projekty APVV-17-0005 (25 %) a grantovou agentúrou MŠVVaŠ VEGA č. projektu 1/0493/18 (25 %).

prostredí. Bratislava : Požiarnotechnický a expertízny ústav.

[8] Národné lesnícke centrum. Lesnícky geografický informačný systém [online]. Zvolen: Národné lesnícke centrum, 2020 [cit. 2020-12-7]. Dostupné na internete: <<http://gis.nlcsk.org/lgis/>>.

[9] SAN-MIGUEL-AYANZ J. et al. 2019. Forest fires in Europe, Middle East and North Africa 2018. Ispra:Joint Research Centre. 164 p.

[10] STN EN ISO 18134-3: Tuhé biopalivá. Stanovenie obsahu vlhkosti. Metóda sušením v sušiarňi. Časť 3: Vlhkosť v analytickej vzorke na všeobecný rozbor.

[11] STN ISO 1928: Tuhé palivá. Stanovenie spaľovacieho tepla kalorimetrickou metódou v tlakovej nádobe a výpočet výhrevnosti.

[12] Núñez-Regueira L, Proupín-Castiñeiras J, Rodríguez-Añón J.A. 2000: Design of risk index maps as a tool to prevent forest fires in the hill-side zone of Galicia (NW Spain). Bioresource technology 73: 123-131.

Simulation of Distraction of Spruce Dust Particles by CFD Analysis for the Purpose of Explosion Protection

Simulácia rozptýlenia častíc smrekového prachu analýzou CFD pre účel ochrany pred výbuchom

Dominik Špilák¹, Eva Mračková^{*1}, Andrea Majlingová¹

¹ Department of Fire Protection, Faculty of Wood Sciences and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, Zvolen, Slovak Republic; e-mail: xspilakd@is.tuzvo.sk, mrackova@tuzvo.sk, majlingova@tuzvo.sk

* Corresponding author: mrackova@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: November 23, 2020; Accepted: December 04, 2020; Published: December 31, 2020

Abstract

The article investigates the simulation of the dispersion of spruce dust particles by CFD (computational fluid dynamics) simulations for the purpose of explosion protection. Measurements of the maximum explosion parameters of Norway spruce wood dust were performed in the VA-20 autoclave device. The obtained explosion parameters depend on the quality of the homogeneous concentration of dispersed dust in the autoclave. To determine the quality of the homogeneous environment created in the autoclave, CFD analysis by Ansys software was used. The results of the simulations from CFD analysis showed the formation of eddy currents, which push the dust particles to the walls of the autoclave and to the point of initiation, where the concentration is approximately 2.5% higher than predicted by calculations for homogeneous environments and for which explosion parameters are determined. Based on the simulation it is possible to adjust the method of dust dispersion in the autoclave by changing the shape of the dust spreader or by delaying the initiation time which clarifies the obtained explosion parameters of explosive dusts.

Keywords: Norway spruce; dust particle size; maximum explosion parameters; Computational fluid dynamics (CFD) analysis

1. Introduction

Explosions of flammable dusts cause serious risks and losses in the production process. Detailed investigations of accidents and incidents are valuable sources of information for proposing measures to prevent them. The issue of explosion protection, the implementation of methods and tools to support effective management to ensure sustainable development in the field of explosion protection, therefore plays an important role.

Flammable dusts are a fuel for an exothermic reaction, often of an organic nature (wood dust, food dust, medicines). By mixing flammable dust particles in the air, a concentration is

1 Úvod

Výbuchy horľavých prachov spôsobujú vážne riziká a straty vo výrobnom procese. Podrobné vyšetrovania ich nehôd a havárií predstavujú cenné zdroje informácií pre návrhy opatrení na ich zamedzenie. Problematika ochrany pred výbuchom, implementácia metód a nástrojov podporujúcich efektívne riadenie s cieľom zabezpečiť trvalo udržateľný rozvoj v oblasti ochrany pred výbuchom, zohráva preto dôležitú úlohu.

Horľavé prachy sú palivom pre exotermickú reakciu, často organického charakteru (drevný prach, potravinárske prachy, liečivá). Premiešaním horľavých prachových častíc vo

created, which, upon initiation, leads to the rapid spread of the flame, the explosion. [1, 2] The dust-air mixture is a mechanical suspension, formed by a system of dispersed fine particles in the environment, it is not formed by molecular motion (colloidal suspension). In practice, this means that the particle flow is essentially turbulent. The dynamics of these turbulent structures create local concentration gradients. Most dust samples have a relatively wide particle size distribution, and particles of different sizes respond differently to changes in the flow field. The results of Siwek et al., Van Wingerden et al. Klippel et al. Show that the dispersibility of dust has a significant effect on the risk of explosion [3, 4, 5, 6].

Measurement of dust concentration during silo filling and CFD modeling of filling processes with respect to exceeding the lower explosion limit was investigated by a team of authors with Klippel et al. [7] The experiments were performed with corn starch. The measured concentrations were compared with those simulated using CFD simulation in ANSYS CFX R14 using the Euler/Lagrange approach. The following were modeled: tensile force, turbulent dispersion force, particle size distribution, particle surface area, and particle/particle interaction. General agreement of measurement and simulation was achieved. The stated measurement results could improve safety and explosion protection. Explosion protection is ensured by preventing the classification of an explosive atmosphere in zone 22 according to ATEX 99/92/EC [8] and equipment and protective systems will be in the category by the explosion zone according to ATEX 2014/34/EU [9] The effect of size distribution and concentration on wood dust explosion was published by Calle et al. [10], who showed that measurement and numerical simulation of local dust concentrations over time in a vessel can only be performed with some uncertainty due to the complexity of dust/air behavior. The dust concentration was measured in a 50 m³ vessel and compared with a CFD simulation.

The aim of the study is to simulate the dispersion of Norway spruce dust particles by CFD analysis based on the measurements of the maximum explosion parameters in the VA 20 autoclave.

vzduchu vzniká koncentrácia, ktorá iniciáciou vedie k rýchlemu šíreniu plameňa, výbuchu. [1, 2] Prachovzduchová zmes je mechanická suspenzia, vytvorená systémom rozptýlených jemných častíc v prostredí, nie je tvorená molekulárnym pohybom (koloidná suspenzia). V praxi to znamená, že tok častíc je vo svojej podstate turbulentný. Dynamika týchto turbulentných štruktúr vytvára miestne koncentračné gradienty. Väčšina vzoriek prachu má relatívne širokú distribúciu veľkosti častíc a častice rôznej veľkosti reagujú odlišne na zmeny v prietokovom poli. Výsledky autorov Siwek a kol., van Wingerden a kol. Klippel a kol., dokazujú, že dispergovateľnosť prachu má významný vplyv na nebezpečenstvo výbuchu [3, 4, 5, 6].

Meranie koncentrácie prachu pri plnení sila a CFD modelovanie procesov plnenia s ohľadom na prekročenie dolnej medze výbušnosti spracoval kolektív autorov s Klippelom a kol. [7] Experimenty uskutočňovali s kukuričným škrobom. Namerané koncentrácie sa porovnali so simulovanými pomocou simulácie CFD v programe ANSYS CFX R14 s použitím Euler/Lagrangeovho prístupu. Boli modelované: ťahová sila, turbulentná disperzná sila, distribúcia veľkosti častíc, povrchová plocha častíc a interakcia častica/častica. Dosiahla sa všeobecná zhoda merania a simulácie. Uvedené výsledky meraní by mohli zlepšiť bezpečnosť a ochranu pred výbuchom. Ochrana pred výbuchom zaistíme prevenciou, že výbušný priestor zaradíme do zóny 22 podľa ATEX 99/92/EC [8] a zariadenia a ochranné systémy budú v kategórii príslušnej v zóne výbušnosti podľa ATEX 2014/34/EÚ [9] Vplyv distribúcie veľkosti a koncentrácie na výbuch dreveného prachu publikoval autor Calle a kol. [10], ktorí dokázali, že meranie a numerickú simuláciu lokálnych koncentrácií prachu v čase v nádobe je možné vykonať iba s určitou neistotou z dôvodu zložitosti správania sa zmesi prach/vzduch. Koncentrácia prachu bola meraná v nádobe o objeme 50 m³ a porovnaná so simuláciou CFD.

Cieľom štúdie je simulácia rozptýlenia častíc smrekového prachu analýzou CFD na základe vykonaných meraní maximálnych výbuchových parametrov v autokláve VA 20.

2 Material and methods

Measurements of the maximum explosion parameters of wood dust were performed for the wood Norway spruce (*Picea abies*). In forests in Slovakia, the current proportion of spruce is 25.597%. It belongs to the basic tree species and therefore it is necessary to pay maximum attention for that. [11, 12, 13]

Norway spruce wood dust is created as a residual material in the technology of grinding in woodworking with specific properties. It forms a dispersion system, which is formed by the dispersion of spruce particles in a continuous phase of the dispersing medium. Spruce dust particles with a lower fraction react more brisantly with air after initiation than particles with a higher fraction. The properties of spruce wood dust determine the fire technical characteristics, which are indicators of the assessment of the risk of fire and explosion. All combustible organic dusts, including spruce wood dust, are heterogeneous materials, which differ significantly in processing in technology, depending on the production machine and the machining tool. Determination of maximum explosion parameters are included among the leading characteristics and properties of Norway spruce wood dust.

2.1 Methodologies for determining the maximum explosion parameters

Norway spruce dust samples were taken from wood sanding technology, directly from the source. The weight of the samples was determined with laboratory scales with a weight determination accuracy of ± 0.01 g. Moisture analyzer was used to determine the moisture content of the tested wood dust accordance to the methodology EN ISO 1666: 2000 Starch. Determination of the amount of moisture. [12] Using a sieve analysis the required fraction of wood dust was separated ($10 \mu\text{m} - 500 \mu\text{m}$) for further analyzes performed in an explosive autoclave VA-20.

Determination of maximum explosion parameters was performed based on EN 14034-2 + A1: 2012 Determination of properties of swirling dust during explosion. Part 2: Determination of the maximum pressure rise rate $(dp/dt)_{\text{max}}$ in the explosion of vortex dust in an explosive autoclave VA 20. [13]

2 Materiál a metódy

Merania maximálnych výbuchových parametrov dreveného prachu boli vykonané pre drevinu Smrek obyčajný (*Picea abies*). V lesoch na Slovensku je súčasne zastúpenie smreka 25,597 %. Patrí k základným hospodárskym drevinám, a preto je potrebné venovať jej maximálnu pozornosť. [11, 12, 13]

Smrekový drevený prach vzniká ako zvyškový materiál v technológii brúsenia v drevárskej prevádzke so špecifickými vlastnosťami. Vytvára disperznú sústavu, ktorá vzniká rozptýlením smrekových častíc v súvislej fáze dispergujúceho prostredia. Častice smrekového prachu s nižšou frakciou reagujú so vzduchom po iniciovaní brizantnejšie ako častice s vyššou frakciou. Vlastnosti smrekového dreveného prachu určujú požiarotechnické charakteristiky, ktoré sú ukazovateľmi posudzovania rizika vzniku požiaru a výbuchu. Všetky horľavé organické prachy, ku ktorým patrí aj smrekový drevený prach, sú heterogénne materiály, ktoré sa významne líšia spracovaním v technológii, závisia od výrobného stroja a nástroja opracovania. Stanovenie maximálnych výbuchových parametrov patrí medzi popredné charakteristiky a vlastností smrekového dreveného prachu.

2.1 Metodiky stanovenia maximálnych výbuchových parametrov

Vzorky smrekového prachu boli odobraté z technológie brúsenia dreva, priamo zo zdroja vzniku. Hmotnosť vzoriek bola stanovovaná laboratórnymi váhami s presnosťou stanovenia hmotnosti $\pm 0,01$ g. Pre stanovenie vlhkosti testovaného dreveného prachu bol použitý analyzátor vlhkosti v zmysle metodiky EN ISO 1666: 2000 Škrob. Stanovenie množstva vlhkosti. [12] Pomocou sitovej analýzy bola separovaná požadovaná frakcia dreveného prachu ($10 \mu\text{m} - 500 \mu\text{m}$) pre ďalšie analýzy vykonávané vo výbuchovom autokláve VA-20.

Stanovenie maximálnych výbuchových parametrov bolo vykonané na základe EN 14034-2+A1: 2012 Stanovenie vlastností zvířeného prachu pri výbuchu. Časť 2: Stanovenie maximálnej rýchlosti nárastu tlaku $(dp/dt)_{\text{max}}$ pri výbuchu zvířeného prachu vo výbuchovom autokláve VA 20. [13]

2.2 Methodologies of computer simulations

When investigating explosive concentrations in VA-20, the creation of a homogeneous environment of the dispersion system is an important prerequisite. This is achieved by using a source of compressed air, which agitates the test substance and delays initiation. The delay of initiation is intended to provide time to form a homogeneous system and it is different for substances. In our case, the delay between the start of dust agitation and the activation of the initiation source is 0.06 s. Whether this time is sufficient to form a homogeneous mixture can be provided by the simulation results. [14, 15]

2.2.1 Computer model

The software for creating a computer model is ANSYS 19.7. Each simulation in Ansys is performed using the Ansys Workbench software environment. The three-dimensional model was created in the SpaceClaim environment, which is part of Ansys and represents a simplified form of typical CAD systems.

2.2.2 Model geometry

The geometry of the proposed computer model is dimensionally identical to the VA-20. For simulating the turbulence of dust in the autoclave only internal space is important. Therefore, the resulting computer model does not include elements such as the outer walls of the autoclave, the stand, measuring devices, etc., which simplifies the simulation and speeds up the calculation (Fig. 1).

2.2 Metodiky počítačových simulácií

Pri skúmaní výbuchovej koncentrácie vo VA-20 je dôležitým predpokladom vytvorenie homogénneho prostredia disperznej sústavy. Dosahuje sa to pomocou zdroja stlačeného vzduchu, ktorý rozvíri skúmanú látku a oddialením iniciácie. Oddialenie iniciácie má poskytnúť čas pre vznik homogénnej sústavy a je rozdielny pre rôzne látky. V našom prípade oneskorenie medzi začiatkom rozvírovania prachu a aktiváciou iniciáčného zdroja je 60 ms. Či je tento čas dostatočný pre vytvorenie homogénnej zmesi nám vedia poskytnúť výsledky simulácie. [14, 15]

2.2.1 Počítačový model

Software na vytvorenie počítačového modelu je ANSYS 19.7. Každá simulácia v Ansys je vykonaná pomocou programového prostredia Ansys Workbench. Trojrozmerný model bol vytvorený v prostredí SpaceClaim, ktorý je súčasťou Ansysu a predstavuje zjednodušenú formu typických CAD systémov.

2.2.2 Geometria modelu

Geometria navrhnutého počítačového modelu je po rozmerovej stránke totožná s VA-20. Pre potreby simulovania rozvírenia prachu v autokláve je dôležitý len jej vnútorný priestor. Preto výsledný počítačový model nezahŕňa prvky ako sú vonkajšie steny autoklávu, stojan, meracia zariadenia a.i., čo zjednodušuje simuláciu a zrýchľuje výpočet (Obr. 1).

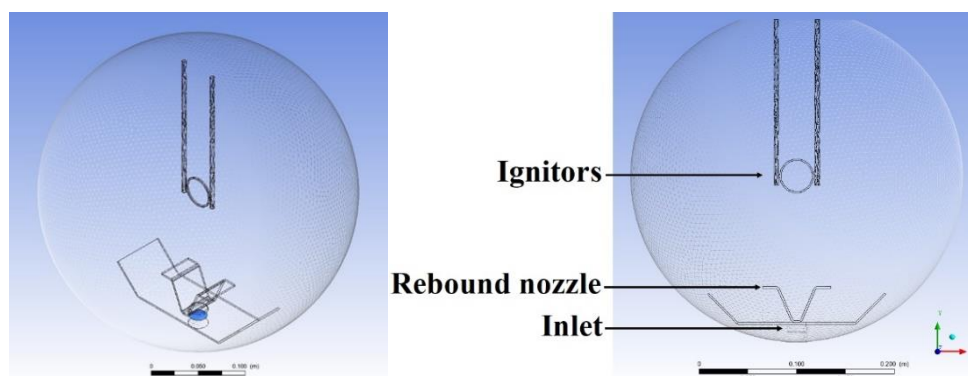


Fig. 1 Computer model of VA-20

Obr. 1 Počítačový model VA-20

All simulations consist of a basic Fluid Flow (Fluent) analysis for investigate fluid movement

Všetky simulácie pozostávajú zo základnej analýzy tekutín umožňujúcej skúmanie pohybu a

and behavior. This type of analysis is one of the typical CFD analysis. The model consists of time-averaged Navier-Stokes equations (Euler's approach) written in polar coordinates. These equations are used to define the physical properties of fluids.

2.2.3 Discretization of the model

After creating the model in the SpaceClaim workbench with the specified properties, the model is meshed to the finite element model (Fig. 2). Due to the irregular shapes, the tetrahedron method is used for meshing. With the help of the Body Sizing and Face Sizing functions a denser mesh is purposefully created in the vicinity of the initiating device. In these places the diameter of the elements is 1 mm.

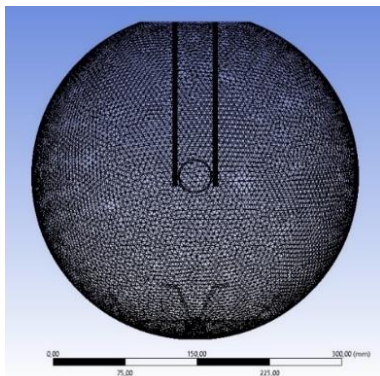
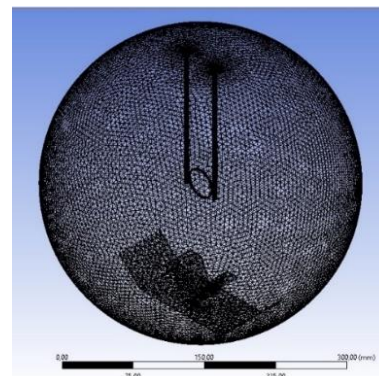


Fig. 2 Finite elements mesh



Obr. 2 Sieť konečných prvkov

The final number of nodes is 213,427 and the number of elements is 1,212,553.

2.2.4 Simulation solution method

Numerical simulation of turbulence is performed using a standard k- ϵ model [16] enhanced by improved particle-wall interaction. The motion of the solid phase (wood dust) in the air is solved by the Lagrang approach using the discrete phase model. The input of the discrete phase is solved as a surface type. It is assumed that the dust particles do not react with the air. The particle size distribution of wood dust is solved by Rosin-Rammler [17], because in the real test the particle size was in the range from 10 μm to 500 μm . The interaction between the gas phase and the solid particles is assumed to be bidirectional because, according to Elghobashi's [18] classification, the operating conditions (particle volume fraction, particle density and

správania sa tekutín. Tento typ analýzy sa radí medzi typické CFD analýzy. Model pozostáva z časovo spriemerovaných Navier-Stokesových rovníc (Eulerov prístup) napísaných v polárnych súradniciach. Tieto rovnice sa používajú na definovanie fyzikálnych vlastností tekutín.

2.2.3 Diskretizácia modelu

Po vytvorení modelu v prostredí SpaceClaim so zadanými vlastnosťami je model nasieťovaný na model konečných prvkov (Obr. 2). V dôsledku nepravidelných tvarov je na nasieťovanie využitá metóda štvorstena. Pomocou funkcie Body Sizing a Face Sizing je cielene vytvorená hustejšia sieť v okolí iniciačného zariadenia. Veľkosť elementov je v týchto miestach 1 mm.

Finálny počet uzlov predstavuje 213 427 a počet elementov 1 212 553.

2.2.4 Spôsob riešenia simulácie

Numerická simulácia turbulencie je uskutočnená použitím štandardného modelu k- ϵ [16] vylepšenej o zdokonalenú interakciu častíc so stenami. Pohyb tuhej fázy (drevného prachu) vo vzduchu je vyriešený Lagrangovským prístupom pomocou modelu diskkrétnej fázy. Vstup diskkrétnej fázy je riešený ako typ povrch. Predpokladá sa, že častice prachu so vzduchom nereagujú. Distribúcia veľkosti častíc drevného prachu je riešená podľa Rosin-Rammlera [17], pretože v reálnom teste bola veľkosť častíc v rozmedzí od 10 μm do 500 μm . Interakcia medzi plynnou fázou a pevnými časticami je predpokladaná ako obojsmerná, pretože podľa klasifikácie Elghobashiho [18], prevádzkové podmienky (frakcia objemu častíc, hustota častíc

particle concentration) indicate that fluid flow affects particle motion and vice versa.

The calculation is standard initialized. The size of the time steps is set to a constant value of 5 ms. The total number of steps is set to 12, which allows us to display the dispersion of particles in the autoclave up to the time of explosion at 60 ms. To ensure the best possible ratio of the accuracy of the calculations with respect to the time of the calculations, the number of iterations per time step is set to 50.

2.2.5 Computer model validation

The proposed computer model is validated using a verified model according to Di Benedetto et al. [14]. The model simulated the dispersion of dust particles in an explosive autoclave and was validated according to standard measurements of the pressure increase in the autoclave by the data obtained from the experiments. Di Sarlia et al. [15] used this model to investigate the effect of dust particle size on their dispersion in autoclave. The results confirmed the correctness of the created model. The difference compared to the model of Di Benedetto et al. [14] is the improved of the finite element mesh by increase the number of elements.

3 Results and discussion

The humidity of the analyzed wood dust was in the range of $8.42 \pm 0.45\%$. The required fraction of wood dust was separated by the analytical sieve AS 200. j. $10 \mu\text{m} - 500 \mu\text{m}$, for further analyzes aimed at determining the maximum explosion parameters, carried out in an explosive autoclave VA-20. Using an explosive autoclave VA-20, we found the maximum explosion parameters of Norway spruce wood dust (Tab. 1).

Tab. 1 Maximum explosion parameters of Norway spruce dust [19]

Tab. 1 Maximálne výbuchové parametre dreveného prachu smreka obyčajného [19]

Maximum explosion pressure/Maximálny výbuchový tlak	p_{max}	0,7 MPa	$\pm 10 \%$
Maximum pressure increase/Maximálny nárast tlaku	$(dp/dt)_{\text{max}}$	19,9 MPa.s ⁻¹	$\pm 20 \%$
Cubic constant/Kubická konštanta	K_{max}	5,4 m.MPa.s ⁻¹	$\pm 20 \%$
Low explosion limit/Dolná medza výbušnosti	LEL	70 g.m ⁻³	$\pm 10 \%$

The outputs from the simulation are processed using directional vectors of dust

a koncentrácia častíc) naznačujú, že tok tekutiny ovplyvňuje pohyb častíc a naopak.

Výpočet je štandardne inicializovaný. Veľkosť časových krokov je nastavená na konštantnú hodnotu 5 ms. Celkový počet krokov je nastavený na 12, čo nám umožní zobrazit' rozptýlenie častíc v autokláve až do času výbuchu v čase 60 ms. Pre zabezpečenie čo najlepšieho pomeru presnosti výpočtov s ohľadom na čas výpočtov je nastavený počet iterácií na jeden časový krok na 50.

2.2.5 Validácia počítačového modelu

Navrhnutý počítačový model je validovaný pomocou overeného modelu podľa Di Benedetto a kol. [14]. Model simuloval rozvírenie prachových častíc vo výbuchovej autokláve a bol validovaný podľa štandardných meraní nárastu tlaku v autokláve na základe získaných údajov z experimentov. Di Sarlia a kol. [15] použili tento model na skúmanie vplyvu veľkosti častíc prachu na ich rozptyl v autokláve. Výsledky potvrdili správnosť vytvoreného modelu. Odlišnosťou oproti modelu Di Benedetto a kol. [14] je skvalitnenie siete konečných prvkov vďaka zvýšeniu počtu elementov.

3 Výsledky a diskusia

Vlhkosť analyzovaného dreveného prachu sa pohybovala v rozmedzí $8,42 \pm 0,45 \%$. Analytickým sitovacím prístrojom AS 200 bola separovaná požadovaná frakcia dreveného prachu t. j. $10 \mu\text{m} - 500 \mu\text{m}$, pre ďalšie analýzy zamerané na stanovenie maximálnych výbuchových parametrov, realizované vo výbuchovom autokláve VA-20. Za pomoci výbuchového autoklávu VA-20 sme zistili maximálne výbuchové parametre dreveného prachu smreka (Tab. 1).

Výstupy zo simulácie sú spracované pomocou smerových vektorov častíc prachu

particles coloured according to their velocity (Fig. 3-5). The simulation is performed for three different concentrations of dust in the air, namely 80, 1000 and 2000 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. The particle dimensions were 10 μm to 500 μm .

zafarbených podľa ich rýchlosti (Obr. 3-5). Simulácia je prevedená pre tri rozdielne koncentrácie prachu vo vzduchu, konkrétne 80, 1000 a 2000 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Rozmery častíc boli 10 μm až 500 μm .

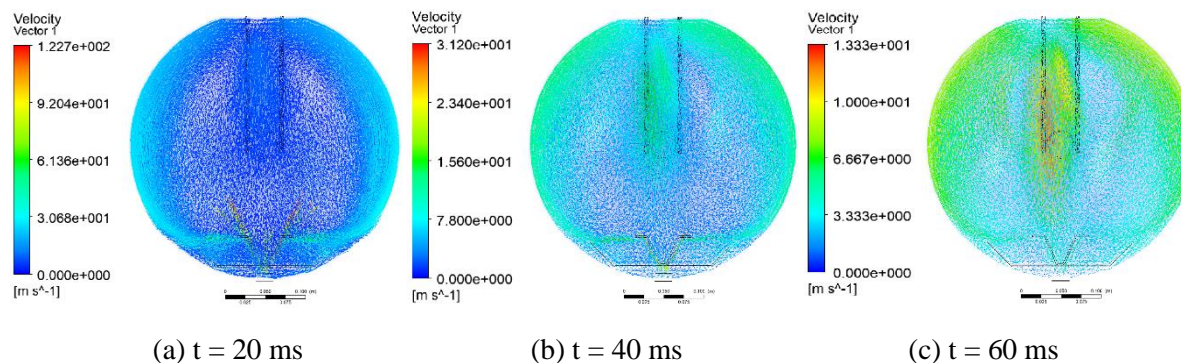


Fig. 3 Time sequence of directional vectors of dust particles coloured by their velocity at a concentration of 80 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Obr. 3 Časová sekvencia smerových vektorov častíc prachu zafarbených podľa ich rýchlosti pri koncentrácii 80 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

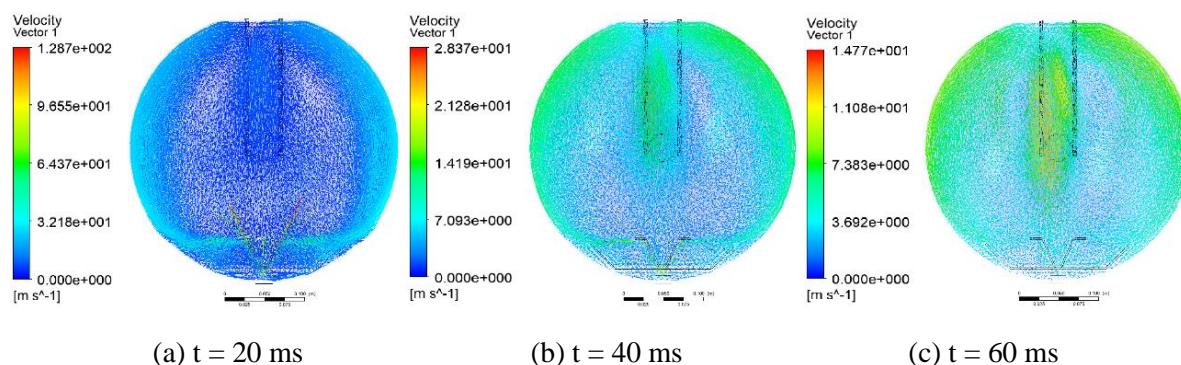


Fig. 4 Time sequence of directional vectors of dust particles coloured by their velocity at a concentration of 1000 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Obr. 4 Časová sekvencia smerových vektorov častíc prachu zafarbených podľa ich rýchlosti pri koncentrácii 1000 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

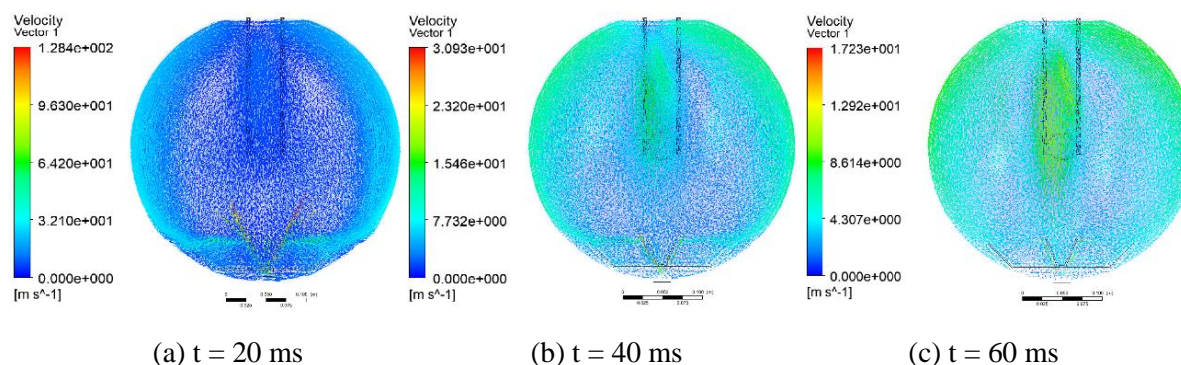


Fig. 5 Time sequence of directional vectors of dust particles coloured by their velocity at a concentration of 2000 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Obr. 5 Časová sekvencia smerových vektorov častíc prachu zafarbených podľa ich rýchlosti pri koncentrácii 2000 $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

When comparing the results from different concentrations of wood dust particles, no significant difference is visible. In all three cases, the distribution of particles is almost identical, differing only in the density and number of particle vectors in each space. There are also slight differences in the results of the maximum particle velocity, for better clarity they are given in table 2.

Pri porovnaní výsledkov z rozdielnych koncentrácií častíc dreveného prachu, nie je viditeľný signifikantný rozdiel. Vo všetkých troch prípadoch je rozloženie častíc takmer totožné, líši sa len v hustote a počte vektorov častíc v danom priestore. Mierne rozdiely sú aj vo výsledkoch maximálnej rýchlosti častíc, pre lepšiu názornosť sú uvedené v tabuľke 2.

Tab. 2 Maximum velocity of wood dust particles in the explosive autoclave

Tab. 2 Maximálna rýchlosť častíc dreveného prachu vo výbuchovej autokláve

Time/Čas (ms)	Max. velocity of particles at a concentration of 80 g.m^{-3} / Max. rýchlosť častíc pri koncentrácii 80 g.m^{-3} (m.s^{-1})	Max. velocity of particles at a concentration 1000 g.m^{-3} / Max. rýchlosť častíc pri koncentrácii 1000 g.m^{-3} (m.s^{-1})	Max. velocity of particles at a concentration 2000 g.m^{-3} / Max. rýchlosť častíc pri koncentrácii 2000 g.m^{-3} (m.s^{-1})
	20	122,7	128,7
40	31,2	28,3	30,9
60	13,3	14,7	17,2

Based on the above, the amount of wood dust in the autoclave does not have a significant effect on the distribution of particles in space. In all cases, eddy currents have occurred which push the dust particles toward the walls of the autoclave, preventing the homogeneous environment required for explosive concentration tests. The position of the eddy currents at a given moment is clearly visible by displaying the streamlines of the dust particles colored by velocity (Fig. 6-8).

Na základe vyššie uvedeného, množstvo dreveného prachu v autokláve nemá významný vplyv na rozloženie častíc v priestore. Vo všetkých prípadoch došlo k vzniku vírivých prúdov, ktoré tlačia prachové častice k stenám autoklávy, čo bráni vzniku homogénneho prostredia požadovaného pre testy výbušných koncentrácií. Poloha vírivých prúdov v danom okamihu je dobre viditeľná pomocou zobrazenia trás prachových častíc zafarbených podľa ich rýchlosti (Obr. 6-8).

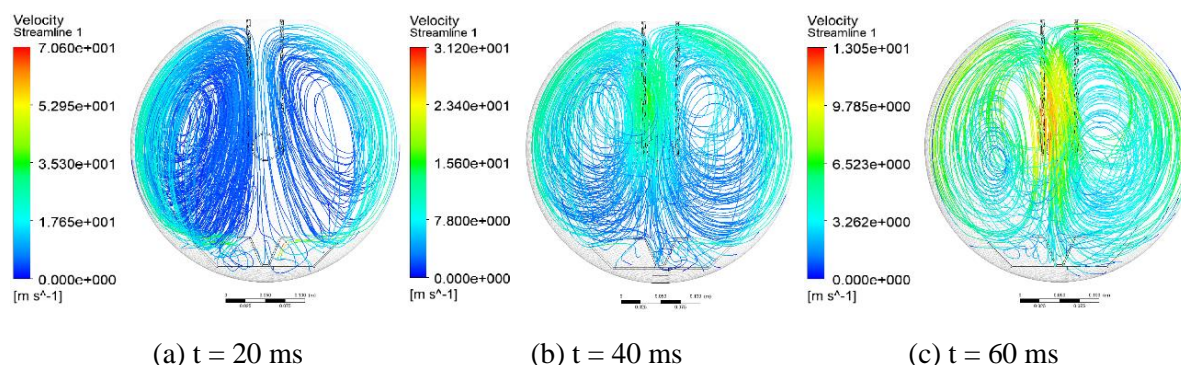


Fig. 6 Time sequence of dust particle streamlines coloured by velocity at a concentration of 80 g.m^{-3}

Obr. 6 Časová sekvencia trás častíc prachu zafarbených podľa rýchlosti pri koncentrácii 80 g.m^{-3}

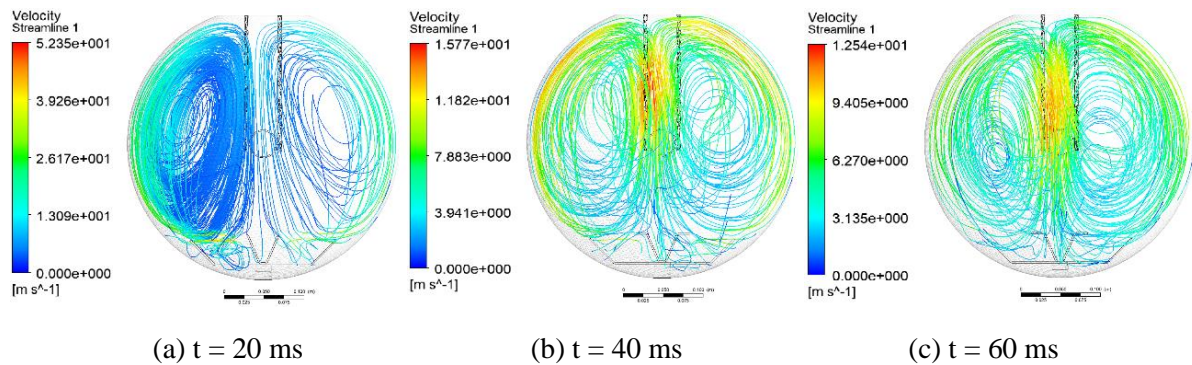


Fig. 7 Time sequence of dust particle streamlines by velocity at a concentration of 1000 g.m^{-3}

Obr. 7 Časová sekvencia trás častíc prachu zafarbených podľa rýchlosti pri koncentrácii 1000 g.m^{-3}

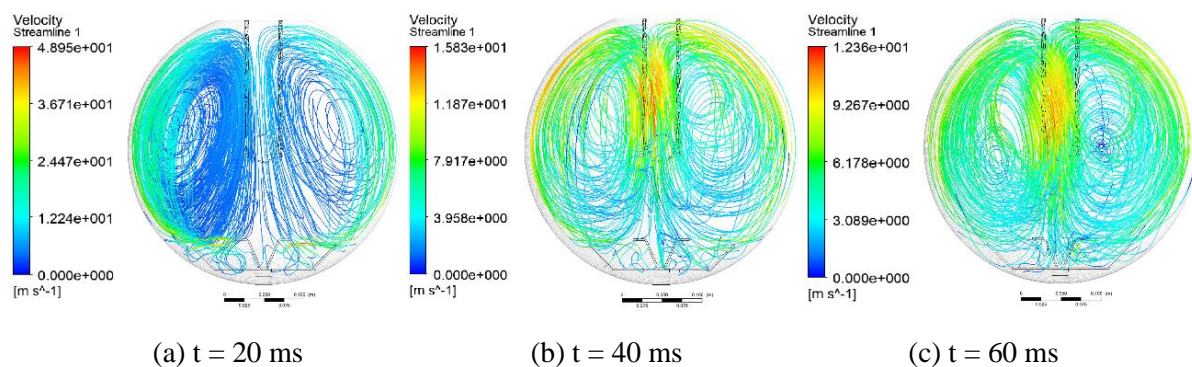


Fig. 8 Time sequence of dust particle streamlines coloured by velocity at a concentration of 2000 g.m^{-3}

Obr. 8 Časová sekvencia trás častíc prachu zafarbených podľa rýchlosti pri koncentrácii 2000 g.m^{-3}

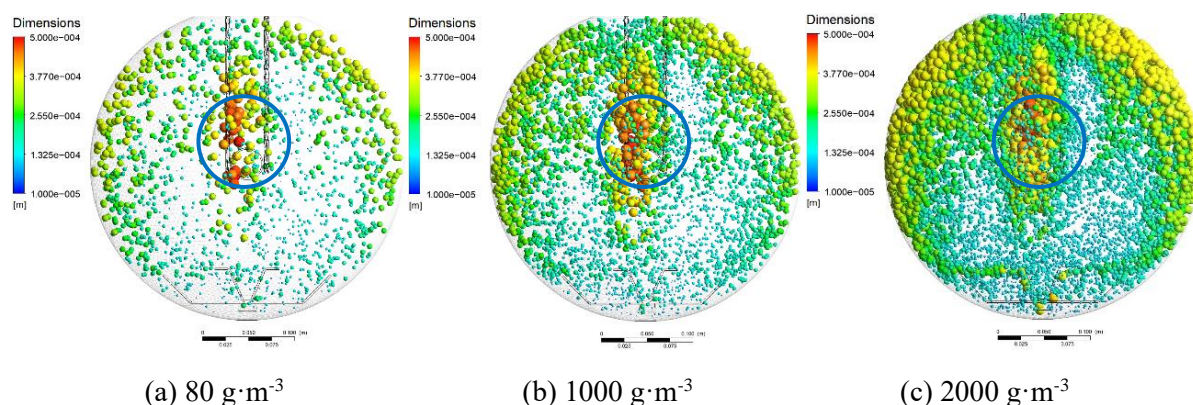
According to the time sequences, there are two eddy currents inside the autoclave, which cause a higher concentration of dust on the walls of the vessel and in the vicinity of the initiation device and the initiation electrodes. The influence of particle size on the formation of crops was shown by the results of the research of Di Benedetto et al. [14] and Di Sarli et al. [15]. They proved that at low values of dust diameter ($d = 10 \mu\text{m}$) the dust is partly entrained by the air, which fills the outer area and partly also the inner zones. As the diameter of the dust particles increases ($d = 100 \mu\text{m}$ and $d = 250 \mu\text{m}$), the flow of dust and air is independent, the dust concentrating mainly on the walls of the vessel. Ray et al. [20] in their work showed that a time of 60 ms is a suitable time to ignite a coal dust, because the turbulence is uniform throughout this volume. It is therefore advisable to check the initiation time for other types of dust as well. Di Benedetto et al. [14] and Di Sarli et al. [15] presented the necessary to develop another way of dispersing dust. The obtained results are relevant to the practice of dust explosion testing and the interpretation of test results and, then,

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 a elektród iniciácie. Vplyv veľkosti častíc na vznik výrov ukázali výsledky výskumu Di Benedetto a kol. [14] a Di Sarli a kol. [15]. Dokázali, že pri nízkych hodnotách priemeru prachu ($d = 10 \mu\text{m}$) je prach čiastočne strhávaný vzduchom, ktorý naplna vonkajšiu oblasť a čiastočne aj vnútorné zóny. Pri zvyšovaní priemeru častíček prachu ($d = 100 \mu\text{m}$ a $d = 250 \mu\text{m}$) sú tok prachu a vzduchu nezávislé pričom sa prach koncentruje hlavne na stenách nádoby. Ray a kol. [20] vo svojej práci ukázali, že čas 60 ms je vhodný čas na zapálenie uholného prachu, pretože turbulencia je v tomto čase rovnomerná v celom objeme. Čas iniciácie je preto vhodné preveriť aj na ďalšie typy prachov. Di Benedetto a kol. [14] a Di Sarli a kol. [15] poukázali na potrebu vyvinúť iný spôsob rozptyľovania prachu. Získané výsledky sú relevantné pre prax skúšania výbuchu prachu a interpretáciu výsledkov skúšok, pričom by sa mali brať ako referencia na zlepšenie podmienok pre štandardné skúšky.

they should be taken as reference to improve the conditions for standard tests.

The distribution of dust particles of different diameters is clearly visible by means of a particle display, where the particles are colored according to their size (Fig. 9). For better clarity, the particle size of the particles is increased. It is also clear from the figures that particles with a larger diameter are concentrated on the walls of the vessel and at the site of initiation.

Rozdielnosť koncentrácií a rozmiestnenie častíc prachu s rozdielnym priemerom je dobre viditeľný pomocou zobrazenia častíc, kde sú častice zafarbené podľa ich veľkosti (Obr. 9). Pre lepšiu názornosť je veľkosť zobrazenia častíc zväčšená. Z obrázkov je zrejmé aj to, že častice s väčším priemerom sa koncentrujú na stenách nádoby a v mieste iniciácie.



(a) $80 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (b) $1000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$ (c) $2000 \text{ g}\cdot\text{m}^{-3}$

Fig. 9 Position of dust particles at 60 ms coloured according to their size

Obr. 9 Poloha častíc prachu v čase 60 ms zafarbených podľa ich veľkosti

By creating a volume register in the shape of a sphere with a diameter of 100 mm (in the picture shown in blue) in the vicinity of the initiation device, we can determine the partial concentrations using the mass imbalance function (Tab. 3).

Pomocou vytvorenia objemového registra v tvare gule o priemere 100 mm (na obrázku znázornený modrou farbou) v okolí iniciačného zariadenia vieme s využitím funkcie objemovej nerovnováhy (mass disbalance) stanoviť čiastkové koncentrácie (Tab. 3).

Tab. 3 Comparison of concentrations of dispersed dust in the autoclave

Tab. 3 Porovnanie koncentrácií rozptýleného prachu v autokláve

Concentration at the initiation site assuming a homogeneous environment/Koncentrácia v mieste iniciácie za predpokladu homogénneho prostredia ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	80	1000	2000
Concentration at the initiation site according to the results of the CFD simulation/Koncentrácia v mieste iniciácie podľa výsledkov simulácie CFD ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	82,5	1027	2042
Percentage difference of values/Percentuálny rozdiel hodnôt (%)	3,125	2,7	2,1

From the simulation results, we state that the maximum explosion parameters obtained from the experiments in the V-20 autoclave correspond to the concentrations of dispersed dust in the autoclave approximately 2.5% higher than expected from the calculations. This

Z výsledkov simulácie konštatujeme, že maximálne výbuchové parametre uvedené v tabuľke 1 získané z experimentov v autokláve V-20, zodpovedajú koncentrácií rozptýleného prachu v autokláve približne o 2,5% vyššej, než s akou predpokladáme na základe výpočtov.

deviation was found by comparing the concentrations at the initiation site in Table 3.

In the future, it is appropriate to process the simulation of a dispersion of beech wood dust because beech wood classified as deciduous trees is the most processed in Slovakia and the subsequent comparison of deciduous trees with conifers trees.

4 Conclusion

Based on the previous results, we can state the following conclusions:

- we confirmed the need to reconsider the method of scattering dust of Norway spruce wood dust to measure the explosive concentration. Changes in the shape of the dust agitator or delays in the initiation time may be considered.
- the parameters obtained from the tests in the V-20 autoclave correspond to the concentrations of dispersed dust in the autoclave approximately 2.5% higher than what we expect from the calculations.

Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-17-0005 (80%) and VEGA, project 1/0717/19 (20%).

References / Literatúra

- [1] Skjold T., Eckhoff R., 2016, Výbuchy prachu v priemyselných odvetviach: výskum v 21. storočí, *Chemické látky Engineering Transactions*, 48, 337-342 DOI: 10,3303 / CET1648057.
- [2] Eckhoff, R.K., 2015, Scaling of dust explosion violence from laboratory scale to full industrial scale – A challenging case history from the past, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 36, 273-282, Doi: 10.1016/j.jlp.2014.12.020
- [3] Siwek, R., van Wingerden, K., Hansen, O.R., Sutter, G., Schwartzbach, Chr., Ginger, G., Meili, R. 2004. Dusa explosion venting and suppression of sonvention spray diers. Eleventh International Symposium on Loss Prevention. Prague, 31. May – 3 June 2004
- [4] van Wingerden, K., Skjold, T., Siwek, R. 2009. Simulation von Staubexplosionen in Sprühtrocken, *Technische Überwachung*, 50. 18-22
- [5] Klippel, A., Scheid, M., Krause, U. 2013a. Investigations into the influence of dustiness on dust explosions. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 26 1616-1626. Doi: 10.1016/j.jlp.2013.07.016
- [6] Klippel, A., Scheid, M., Koperski, J., Wappler, M., Krause, U. 2013b. Infuance od dustiness on small-scale vented dust explosions, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*. 26 1433-1441. Doi: 10.1016/j.jlp.2013.09.006

Uvedená odchýlka bola zistená z porovnania koncentrácií v mieste iniciácie z tabuľky 3.

Do budúcnosti je vhodné spracovanie simulácii rozvírenia bukového drevného prachu z dôvodu, že bukové drevo zaradené medzi listnaté dreviny, je najviac spracovávané na Slovensku a následné porovnanie listnatých drevín s ihličnatými drevinami.

4 Záver

Na základe predchádzajúcich výsledkov, môžeme vyvodiť nasledovné závery:

- potvrdili sme potrebu prehodnotiť metódu rozptyľovania prachu smrekového drevného prachu na meranie výbušnej koncentrácie. Do úvahy pripadajú zmeny tvaru rozvírovača prachu, poprípade oddialenie času iniciácie;
- parametre získané zo skúšok v autokláve V-20, zodpovedajú koncentrácií rozptýleného prachu v autokláve približne o 2,5% vyššej, než s akou predpokladáme na základe výpočtov.

PodĎakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0005 (80%) a agentúrou VEGA, projekt 1/0717/19 (20%).

- [7] Klippel, A., Schmidt, M., Muecke, O., Krause, U., 2014, Dust concentration measurements during filling of a silo and CFD modeling of filling processes regarding exceeding the lower explosion limit, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 29, 122-137, Doi: 10.1016/j.jlp.2014.02.006
- [8] Directive ATEX 99/92/EC - risks from explosive atmospheres on the minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres)
- [9] Directive ATEX 2014/34/EU - atmosphere to equipment and protective systems intended for use in potentially explosive atmospheres.
- [10] Calle, S., Klabá, L., Thomas, D., Perrin, L., Dufaud, O.: Influence of the size distribution and concentration on wood dust explosion: Experiments and reaction modelling, *Powder Technology*, 2005, Volume: 157 Issue: 1-3 Pages: 144-148 DOI: 10.1016/j.powtec.2005.05.021
- [11] Sarvaš, M., Bruchánik, R., Hoffman, J., Chválová, K., Ježovič, V. 2015 Základné charakteristiky lesných drevín. Národné lesnícke centrum. 82 s. ISBN 978-80-8093-112-4
- [12] EN ISO 1666: 2000 Starch. Determination of moisture content. Oven-drying method.
- [13] EN 14034-2+A1: 2012 Determination of explosion characteristics of dust clouds. Part 2: Determination of the maximum rate of explosion pressure rise (dp/dt) max of dust clouds
- [14] Di Benedetto A., Russo P., Sanchirico R., Di Sarli V. CFD simulations of turbulent fluid flow and dust dispersion in the 20 liter explosion vessel 2012 *AIChE J*, in press.
- [15] Di Sarlia, V., Russob, P., Sanchiricoa, R., Di Benedetto, A. 2013. CFD Simulations of the Effect of Dust Diameter on the Dispersion in the 20 L Bomb 2013 *Chemical engineering transactions*.
- [16] Launder, B.,E, Spalding, D., B. 1972. *Lectures in Mathematical Models of Turbulence*. Academic Press, London, United Kindom.
- [17] Vesilind P. Aarne 1980 The Rosin-Rammler particle size distribution In: *Resource Recovery and Conservation 1980*
- [18] Elghobashi S. On predicting particle-laden turbulent flows. *Applied Scientific Research*. 1994; 52: 309- 329
- [19] Mračková E., Palugová, M. 2019. Dependency between the Dust Particle Size of Norway SpruceWood and Its Maximum Explosion Parameters. *DELTA, Fire Protection & Safety, Scientific Journal*, 2019, Vol. 13, Iss.2, pp. 56-65 ISSN (print) 1337-0863. ISSN (online) 2585-9730
- [20] Ray, S.K., Mohalik, N.K., Khan, A.M., Mishra, D., Varma, N.K., Pandey, J.K., Singh, P.K. CFD modeling to study the effect of particle size on dispersion in 20l explosion chamber: An overview *International Journal of Mining Science and Technology*, Volume 30, Issue 3, May 2020

The Impact of Radiant Heat on Flexural Strength and Impact Toughness in OSB Panels

Vplyv sálavého tepelného zdroja na pevnosť v ohybe a rázovú húževnatosť v ohybe OSB dosiek

Anton Osvald¹, Ľudmila Tereňová^{2,*}, Jaroslava Štefková³

¹ Zvolen, Slovak Republic; email: anton.osvald@hotmail.com

² Department of Fire Protection, Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic; email: ludmila.terenova@tuzvo.sk

³ Institute of Foreign Languages, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovak Republic; email: jaroslava.stefkova@tuzvo.sk

* Corresponding author: ludmila.terenova@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: November 09, 2020; Accepted: November 26, 2020; Published: December 31, 2020

Abstract

Thermal degradation influences the wood in a complex way; i.e. it causes the alteration of its properties (weight, volume, shape, and color), as well as the changes of mechanical properties. The research aimed to examine the changes of strength in bending and impact strength in bending of OSB panels. OSB SUPERFINISH ECO boards 15 mm thick were chosen for the experiment. These are multi-purpose boards produced by a unique technology of gluing of oriented strands in three layers. The density of the samples was 650± 10 kg/m³. The samples were exposed to the influence of radiant heat of S1 source with 1000 W and S2 source of 2000 W outputs. The position of the sample towards the heat source was 50 mm distance. The mass loss measured as the difference of weights before and after the test expressed in percent was an additional evaluation criterion. The results confirm that radiant heat influences the measured parameters. The effect of the 1000 W radiant heat source in the 20th minute resulted in 2 % decrease in mass loss, and for 2000 W output it was 12 %. Even the strength values performed similarly for the outputs of 1000 W and 2000 W, there was recorded a decrease from 6 MPa to 2.5 MPa, respectively, and for the impact toughness from 4.7 J/cm² to 0.32 J/cm². The laboratory testing can not substitute fire resistance tests, neither large-scale tests, but can point out at the fire-affected locations of the construction.

Keywords: OSB panels; thermal load; flexural strength; impact strength in bending

1 Introduction

Wood and wood-based materials are subject to ignition and burning. In the case of fire, they demonstrate considerably good strength properties given by fire resistance, criterion R. By reaction to fire methods or other standardized methods for determining fire technical properties of wood and wood-based materials concerning fire do not include

1 Úvod

Drevo a materiály na báze dreva podliehajú zapáleniu a horeniu. Pri požiari vykazujú pomerne dobré pevnostné vlastnosti dané požiarnou odolnosťou, kritérium R. Metódami reakcie na oheň, alebo inými normalizovanými metódami na stanovenie požiarnotechnických vlastností dreva a materiálov na báze dreva vo vzťahu k požiaru, ako hodnotiace kritérium

strength parameters of wood and wood-based materials. This statement is confirmed by [3, 12, 13, 20], which deal exclusively with the assessment of physical and thermal – technical properties of OSB boards and not with their strength (mechanical) properties during fire. This experiment aimed to verify how the radiant source affects the physical as well as the mechanical properties of OSB boards. These were, in particular, flexural strength and impact flexural strength. These properties were chosen intentionally, the flexural strength is construction, it especially concerns the dry construction of residential houses, wooden construction, it especially concerns the dry construction of residential houses, wooden normatively declared for the use of materials in construction, impact strength in our case indicates the behavior of the material in the collapse of the structure, such as a fire. The radiant source was also chosen deliberately because according to the data of the Fire Engineering and Expertise Institute it is a relatively common cause of the fire.

As for the OSB boards, they were chosen for the experiments because they are used in a great number of wooden structures in practice. OSB boards are not subjected only to compulsory testing within the certification, but they are the subject of the research in large-scale tests [1, 6, 8, 11, 14, 15, 16, 17].

They are multi-purpose boards produced by a unique technology of gluing oriented wood strands in three layers. In the outer layers, they are oriented in the longitudinal direction, in the middle layer they are oriented in the transverse direction. The dimensions, shape, and directional orientation of the chips in the individual layers make maximum use of the natural properties of wood to achieve the best mechanical and physical parameters of the boards. The boards do not contain natural defects of raw wood (knots, cracks, etc.). The size of the strands in the surface layer allows the natural structure, color, and rusticity of natural wood to stand out and thus brings new possibilities in interior design [10].

OSB SUPERFINISH ECO boards are made of softwood. The dominant wood is spruce, pine is also partially used. Only a polyurethane resin-based binder not containing any formaldehyde SUPERFINISH ECO is thus becoming a versatile material with excellent mechanical

nevystupujú žiadne pevnostné parametre dreva a materiálov na báze dreva. Toto konštatovanie potvrdzujú aj práce [3, 12, 13, 20], ktoré sa zaoberajú výlučne hodnotením zmeny fyzikálnych a tepelnotechnických vlastností OSB dosiek a nie ich pevnostných (mechanických) vlastností pri požiari. Cieľom tohto experimentu bolo overiť, ako pôsobí sálavý zdroj na fyzikálne ale aj na mechanické vlastnosti OSB dosiek. Jednalo sa konkrétne o pevnosť v ohybe a rázovú húževnosť v ohybe. Tieto vlastnosti boli vybrané zámerne, pevnosť v ohybe je normatívne deklarovaná pre používanie materiálov v stavebníctve, rázová húževnosť v našom prípade poukazuje na správanie sa materiálu pri kolapse konštrukcie, napríklad požiarom. Sálavý zdroj bol vybraný zámerne, lebo podľa údajov Požiarnotechnického a expertízneho ústavu (PTEÚ) je pomerne častou príčinou vzniku požiaru.

Z materiálov pre drevostavby sme vybrali OSB dosky, nakoľko sú reálne používané vo veľkom počte drevostavieb. OSB dosky podliehajú nie len povinnému testovaniu v rámci certifikácie, ale sú aj predmetom výskumu pri veľkorozmerových testoch [1, 6, 8, 11, 14, 15, 16, 17].

Sú to viacúčelové dosky vyrábané unikátnou technológiou lepenia orientovaných drevených triesok v troch vrstvách. Vo vrchných vrstvách sú orientované pozdĺžnym smerom, v strednej vrstve sú orientované priečnym smerom. Rozmery, tvar a smerová orientácia triesok v jednotlivých vrstvách maximálne využívajú prirodzené vlastnosti dreva k dosiahnutiu tých najlepších mechanicko-fyzikálnych parametrov dosiek. Dosky neobsahujú prirodzené vady rastúceho dreva (hrče, praskliny a pod.). Veľkosť triesok v povrchovej vrstve umožňuje vyniknúť prirodzenej štruktúre, farbe a rustikálnosti prírodného dreva a prináša tak nové možnosti v interiérovom dizajne [10].

Dosky OSB SUPERFINISH ECO sa vyrábajú z ihličnatého dreva. Prevažujúcou drevinou je smrek, čiastočne sa využíva aj borovica. Pri výrobe OSB dosiek sa používa výhradne spojivo na báze polyuretánových živíc, ktoré neobsahuje žiadny formaldehyd.

properties, in particular, excellent values in flexural, compressive, and tensile strength, which is suitable for all applications in interiors and the furniture industry [10].

The properties of OSB SUPERFINISH ECO predetermine the boards for the widest use in exterior and interior. As their popularity grows, so does the knowledge of their exceptional properties, and the range of suitable applications is constantly expanding. In construction, it especially concerns the dry construction of residential houses, wooden is used in the production of OSB boards. The content of this substance is thus reduced to its level contained in wood mass and OSB buildings, low-energy, passive, and environmentally friendly buildings. They are also suitable for residential superstructures, farm buildings, and reconstruction work of all kinds. These reasons made us choose this material for the experiment [10].

2 Experiment

The experiment procedure consisted of the selection of material, the design of a laboratory testing method and laboratory test equipment, the selection of evaluation criteria, and the overall evaluation procedure [4]. OSB SUPERFINISH ECO boards 15 mm thick were chosen for the experiment. Their density is $650 \pm 10 \text{ kg/m}^3$.

2.1 Laboratory set up and the experiment

The laboratory equipment of our design consisted of a frame in which a replaceable radiant source with two individually operating heating tubes (S1) and (S2) was placed. Each source produced the output of 1000 W i.e., the total power of the tubes was 2000 W. The frame also incorporated a sliding adjustable holder for the test specimen in the prescribed distance, in our case of 50 mm. The change in mechanical properties was observed at the test machine VEB TIW Rauenstein, DMW 100 kn Nr. 859.50-5150 and the impact test device Werkstoff Prüffmachime Leipzig Nr. 2063/55/22.

Obsah tejto látky sa tak redukuje na jeho úroveň obsiahnutú v drevnej hmote v prírode a OSB SUPERFINISH ECO sa tak stáva plnohodnotným materiálom vhodným aj pre všetky aplikácie v interiéroch a nábytkárskom priemysle. Ide o všestranný stavebno-konštrukčný materiál s výbornými mechanickými vlastnosťami, má najmä vynikajúce hodnoty pevnosti v ohybe, tlaku a v ťahu [10].

Vlastnosti OSB SUPERFINISH ECO predurčujú dosky k najširšiemu použitiu v exteriéri aj interiéri. S ich rastúcou popularitou rastie aj poznanie ich výnimočných vlastností a počet vhodných aplikácií sa stále rozširuje. V stavebníctve najmä pri suchej výstavbe obytných domov, drevostavieb, nízkoenergetických, pasívnych a ekologicky ohľaduplných budov. Vhodné sú rovnako pre bytové nadstavby, hospodárske objekty a rekonštrukčné práce všetkého druhu. Z uvedených dôvodov sme si pre experiment vybrali práve tento materiál [10].

2 Experiment

Experiment pozostával z výberu materiálu, návrhu laboratórnej testovacej metódy a laboratórneho testovacieho zariadenia, výberu hodnotiacich kritérií a celkového postupu hodnotenia [4]. Pre experiment boli vybrané dosky OSB SUPERFINISH ECO hrúbky 15 mm o hustote vzoriek $650 \pm 10 \text{ kg/m}^3$.

2.1 Laboratórne zariadenie a postup experimentu

Laboratórne zariadenie vlastnej konštrukcie pozostávalo z rámu, v ktorom bol umiestnený vymeniteľný sálavý zdroj s jednou trubicou ohrevu 1000 W (S1) a dvomi trubicami ohrevu 2 krát 1000 W (čiže celkový výkon zdroja 2000 W – S2). Súčasťou rámu bol aj posuvný držiak na uchytenie skúšobnej vzorky v predpísanej polohe, v našom prípade 50 mm. Zmena mechanických vlastností bola sledovaná na trhácom stroji VEB TIW Rauenstein, DMW 100 kn Nr. 859.50-5150 a na prerážacom kladive Werkstoff Prüffmachime Leipzig Nr. 2063/55/22.

Najskôr bolo vykonané tepelné zaťaženie, po 48 hod. vymanipulovanie skúšobných teliesok zo vzoriek, a následne (2-4 dni) boli vykonané mechanické skúšky mechanických vlastností.

Firstly, the thermal loading was carried out, then after 48 hours specimens were cut out, and consequently (2-4 days), the tests of mechanical properties were executed. The radiant heat source was heated to maximal output, and then a sample was inserted into the frame in the prescribed position of the holder. The dimensions of the sample were 350x200x15 mm. The samples had a standard humidity of $10 \pm 1 \%$ [4]. Before the experiment, the density of the cut samples was checked to be within a certain value limit. Test specimens, 3 from one sample, were chosen from a large sample. A total of 8 samples were tested for the auxiliary weight loss criterion. From them, 12 test specimens were cut, measuring 15x50x335 mm, 12 for flexural strength, and 12 for impact strength. In this work, we present the average values from the measurements. The scheme of the sample and test specimens is shown in Fig. 1. Thermal load operated for 2, 5, 10, 15, and 20 min for each power of the source.

Sálavý zdroj tepla sa nechal rozohriať na plný výkon, a potom sa do rámu v predpísanej polohe držiaka vložila vzorka. Rozmery vzorky boli 350x200x15 mm. Vzorky mali štandardnú vlhkosť $10 \pm 1 \%$ [4]. Pred experimentom bola skontrolovaná hustota narezaných vzoriek, aby bola v určitom hodnotovom limite. Z veľkej vzorky sa vymanipulovali skúšobné telieska, 3 ks z jednej vzorky. Celkove bolo testovaných 8 vzoriek pre pomocné kritérium úbytok na hmotnosti. Z nich bolo vyrezaných 12 skúšobných teliesok, o rozmeroch 15x50x335 mm, 12 pre pevnosť v ohybe a 12 pre rázovú húževnatosť v ohybe. V práci uvádzame priemerné hodnoty z meraní. Schéma vzorky a skúšobných teliesok je na obr. 1. Tepelný ohrev pri každom výkone zdroja pôsobil 2, 5, 10, 15 a 20 min.

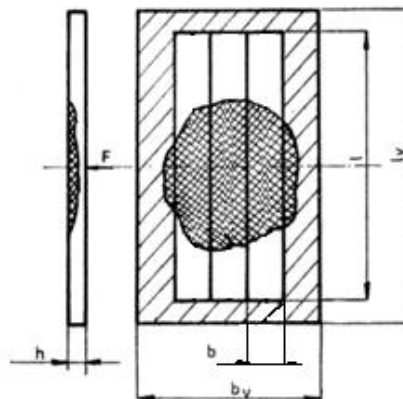


Fig. 1 Sample's scheme and the way of specimen's cut

l_v -sample length, l -specimen length, b_v -sample width, b -specimen width, h - thickness of the specimen

Obr. 1 Schéma vzorky a spôsob rezania skúšobných teliesok

l_v -dĺžka vzorky, l -dĺžka skúšobného telieska, b_v -šírka vzorky, b -šírka skúšobného telieska, h -hrúbka skúšobného telieska

2.2 Evaluation criteria

An auxiliary evaluation criterion was a mass loss. This criterion is additional because at higher distances and shorter exposure times, the heat source did not cause a decrease in the weight of the specimens; they were not further measured or evaluated, as the influence of the heat source was not recorded on them. The mass loss was calculated according to formula (1):

2.2 Hodnotiace kritériá

Pomocným hodnotiacim kritériom bol úbytok na hmotnosti. Pomocným kritériom je preto, že ak pri vyšších vzdialenostiach a kratších časoch pôsobenia tepelného zdroja nebol zaznamenaný úbytok na hmotnosti vzorky sa ďalej nerezali ani nevyhodnocovali, lebo nebol na nich zaznamenaný vplyv

tepelného zdroja. Úbytok na hmotnosti sa vypočítal podľa vzorca (1):

$$\Delta m = \frac{m_1 - m_2}{m_1} (\%) \quad (1)$$

Where:

Δm – mass loss (%),

m_1 – specimen's weight before the test (g),

m_2 – specimen's weight after the test (g).

Kde:

Δm – úbytok na hmotnosti (%),

m_1 – hmotnosť vzorky pred skúškou (g),

m_2 – hmotnosť vzorky po skúške (g).

Flexural strength was one of the main evaluation criteria [7, 9]. The essence of the test is to determine the maximum stress before the failure of the test specimen. The stress acts at the place on the opposite side from the greatest damage of the body by the heat source. The flexural strength was calculated according to formula (2):

$$\sigma_{oh} = \frac{3 \cdot F \cdot l_0}{2 \cdot b \cdot h^2} \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Where:

σ_{oh} – flexural strength (MPa),

F – stressing force (N),

b – test specimen's width (mm),

h – test specimen's height (mm),

l_0 – span distance between the supports (mm) (240 mm).

Kde:

σ_{oh} – medza pevnosti v statickom ohybe (MPa),

F – zaťažovacia sila (N),

b – šírka skúšobného telieska (mm),

h – výška skúšobného telieska (mm),

l_0 – vzdialenosť podpier (mm) (240 mm).

Impact toughness in bending is based on the determination of the toughness of the body in transverse bending under the action of dynamic loading. The test device is a pendulum hammer. The work performed to break the test piece is measured with an accuracy of 0.01 J. It is calculated according to formula (3):

$$A = \frac{W}{b \cdot h} \text{ (J/cm}^2\text{)} \quad (3)$$

Where:

A – impact toughness in bending (J/cm²)

W – impact energy (J)

b – test specimen's width (cm)

h – test specimen's height (cm).

Kde:

A – rázová húževnatosť v ohybe (J/cm²)

W – práca spotrebovaná na prerazenie telesa (J)

b – šírka skúšobného telieska (cm)

h – výška skúšobného telieska (cm).

3 Results and Discussion

The choice of auxiliary evaluation criteria proved to be appropriate. As can be seen from Fig. 2 at a distance of 50 mm from the source S1, the mass loss increases linearly, which is finally confirmed by the evaluation shown in

Medza pevnosti v statickom ohybe bolo jedno z hlavných hodnotiacich kritérií [7, 9]. Podstatou skúšky je zistenie maximálneho zaťaženia pri porušení skúšobného telieska. Zaťaženie pôsobí v mieste najväčšieho porušenia telieska tepelným zdrojom, z odvrátenej strany od porušenia. Medza pevnosti v statickom ohybe sa vypočítala podľa vzorca (2):

Rázová húževnatosť v ohybe je založená na zistení húževnatosti telesa v priečnom ohybe pri pôsobení dynamického zaťaženia. Skúšobným zariadením je kyvadlové kladivo. S presnosťou 0,01 J sa meria práca vynaložená na porušenie skúšobného telieska. Vypočíta sa podľa vzorca (3):

3 Výsledky a diskusia

Výber pomocného hodnotiaceho kritéria sa ukázal ako vhodný. Ako je vidieť z obr. 2, pri vzdialenosti 50 mm a zdroji S1 úbytky narastajú lineárne, čo napokon potvrdilo aj vyhodnotenie, ktoré je zobrazené na obr. 5. Pri zdroji S2 sú

Fig. 5. Regarding the source S2, these changes in mass loss over time are stepwise and more significant. The power of 2000 W source in the longest time period of thermal load increased the mass loss by 10 % under the same experimental conditions. Fig. 5 indicates the quadratic course of mass loss.

The influence of the heat radiant source was also reflected in flexural strength and impact toughness in bending. A decrease in flexural strength (see Fig. 3) as well as in impact toughness (see Fig. 4) can be seen at Source S1 and significantly at Source S2. In the figures, the changes are recorded in percentages compared to the values of unheated material.

tieto zmeny v úbytku na hmotnosti v závislosti na čase skokové a podstatne výraznejšie. Výkon zdroja 2000 W v najdlhšom časovom intervale tepelného zaťažovania zvýšil úbytok hmotnosti o 10 % za rovnakých podmienok experimentu. Obr. 5 naznačuje kvadratický priebeh nárastu úbytku hmotnosti.

Vplyv tepelného sálavého zdroja, jeho výkon sa prejavil aj v pevnosti v ohybe a rázovej húževnatosti v ohybe. Pri Zdroji S1 a výrazne pri zdroji S2 je vidieť pokles v pevnosti v ohybe (pozri obr. 3), ako aj v rázovej húževnatosti v ohybe (pozri obr. 4). Na uvedených obr. sú zmeny zaznamenané v % oproti hodnotám tepelne nezaťažovaného materiálu.

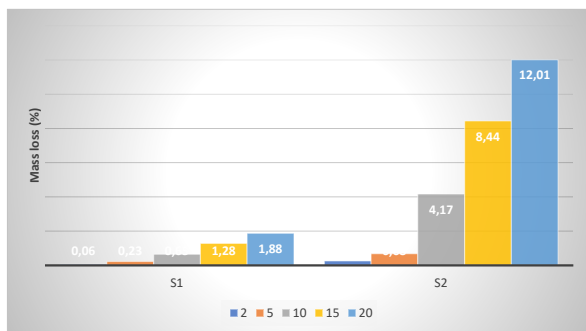


Fig. 2 Mass loss depending on the time of exposure and the output of the heat source

Obr. 2 Úbytok na hmotnosti v závislosti od času pôsobenia tepelného zdroja a jeho výkonu

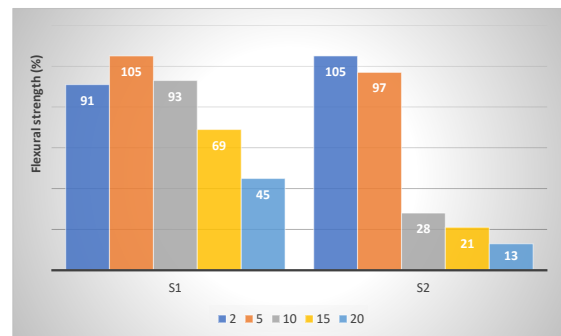


Fig. 3 Moment of yield in bending depending on the time and power of the heat source exposure

Obr. 3 Medza pevnosti v statickom ohybe v závislosti od času pôsobenia tepelného zdroja a jeho výkonu

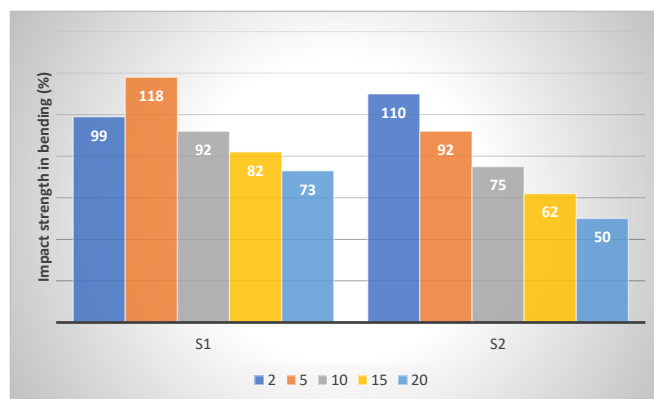


Fig. 4 Impact toughness depending on the time and power of the heat source exposure and its distance from the specimen

Obr. 4 Rázová húževnatosť v ohybe v závislosti od času pôsobenia tepelného zdroja, jeho výkonu a vzdialenosti od vzorky

It is interesting to observe the increase in both strength properties after thermal loading with a heat radiant source of 1000 W in the fifth minute of the experiment. This behavior is discussed in the work of [2, 5, 7, 18, 19]. When the radiant heat source is emitting, there is a partial plasticization of lignin and a kind of "toughening" after cooling. The radiant source at this power cannot significantly degrade the surface of the material, the material does not carbon and does not change the thickness. This effect was manifested (which has also been assumed) when testing spruce wood. Wood also in the form of OSB board has retained this effect as it concerns relatively compact constituent in the OSB structure. The influence of the binding element (glue and other additives) on the behavior is not expected. Long-lasting radiation from both sources leads to a decrease in strength properties. Surprisingly, a relatively high decrease in flexural strength at 20 minutes of a heat source with a power of 2000 W. The increase in strength in the second minute of heating at 2000 W can be caused by two factors, firstly by the change in lignin mentioned before, as well as by the difference in input values of the observed strengths expressed in percentages.

At the distance we selected, all measured values (at both power outputs) have their informative value. The measured values with a brief statistical evaluation are shown in Fig. 5-7. Fig. 5 shows the progress of mass loss values as a function of the time and power of the heat source. Fig. 6 shows the progress of static flexural strength values as a function of the time and power of the heat source. Fig. 7 shows the development of values of impact toughness in bending as a function of the time and power of a heat source.

Zaujímavé je pozorovanie nárastu pevnostných vlastností (oboch sledovaných) po tepelnom zaťažovaní tepelným sálavým zdrojom 1000 W v piatej minúte experimentu. Túto skutočnosť diskutujú vo svojich prácach [2, 5, 7, 18, 19]. Pri sálavom tepelnom zdroji dochádza k čiastočnej plastifikácii lignínu a k akémusi „spevneniu“ po vychladnutí. Sálavý zdroj pri tomto výkone ešte nedokáže významnejšie degradovať povrch materiálu, materiál neuhľnatie a ani nemení hrúbku. Tento efekt sa prejavil (čo sme aj predpokladali) pri testovaní smrekového dreva. Drevo aj vo forme OSB dosky si tento efekt zachovalo, nakoľko sa jedná o pomerne kompaktný prvok v štruktúre OSB dosky. Vplyv spojovacieho materiálu (lepidla ako aj ostatných aditív) na tento efekt nepredpokladáme. Časovo dlhším pôsobením oboch zdrojov dochádza k poklesu pevnostných vlastností. Prekvapil pomerne vysoký pokles pevnosti v ohybe pri 20 min. pôsobení tepelného zdroja o výkone 2000 W. Nárast pevnosti pri 2 min. ohreve pri zdroji 2000 W môže byť spôsobený dvomi faktormi, spomínanou zmenou v kvalite lignínu, ale aj rozdielom vstupných hodnôt sledovaných pevností pri percentuálnom vyjadrení.

Pri nami zvolenej vzdialenosti všetky namerané hodnoty (pri oboch výkonoch zdroja) majú svoju výpovednú hodnotu. Ich priebeh so stručných štatistickým vyhodnotením je na obr. 5-7. Na obr. 5 je priebeh hodnôt úbytku na hmotnosti v závislosti od času a výkonu tepelného zdroja. Na obr. 6 je priebeh hodnôt medze pevnosti v statickom ohybe v závislosti od času a výkonu tepelného zdroja. Na obr. 7 je priebeh hodnôt rázovej húževnatosti ohybe v závislosti od času a výkonu tepelného zdroja.

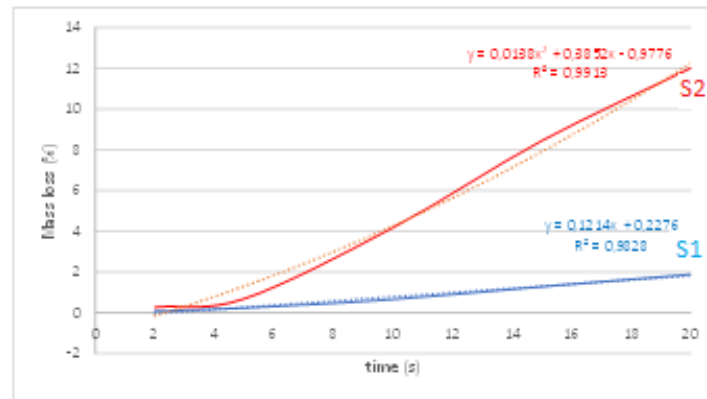


Fig. 5 The progress of mass loss values depending on the exposure time and the output of the heat source

Obr. 5 Priebeh hodnôt úbytku na hmotnosti v závislosti od času a výkonu tepelného zdroja

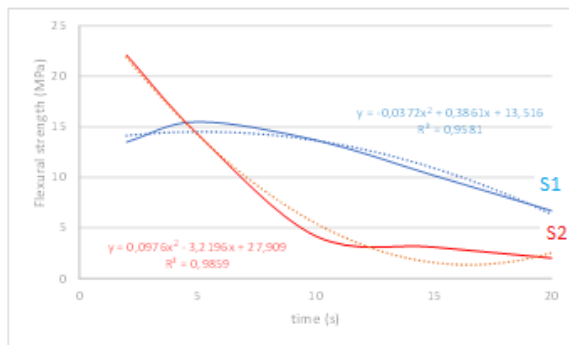


Fig. 6 The progress of moment-of-yield values depending on the exposure time and the output of the heat source

Obr. 6 Priebeh hodnôt medze pevnosti v statickom ohybe v závislosti od času a výkonu tepelného zdroja

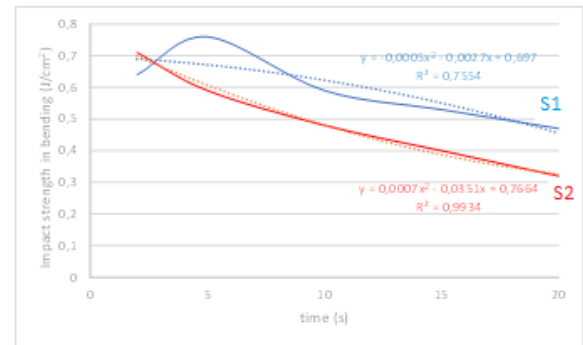


Fig. 7 The progress of impact toughness values depending on the exposure time and the output of the heat source

Obr. 7 Priebeh hodnôt rázovej húževnatosti v ohybe v závislosti od času a výkonu tepelného zdroja

An interesting finding can be stated from the curves. If the mass loss at the source S1 has a linear character, the strength properties have a polynomial quadratic character of the development in time.

4 Conclusion

In conclusion, it can be stated that the monitored quantities have their informative value concerning the burning and ignition of wood, in our case OSB boards. Changes in mechanical properties can be important information about the behavior of wood, therefore, adding more wood species and wood-

Z priebehov kriviek je možné konštatovať zaujímavé zistenie. Pokiaľ pri zdroji S1 úbytok na hmotnosti má lineárny charakter, pevnostné vlastnosti majú polynomicke kvadraticke charakter priebehu sledovanej závislosti na čase.

4 Záver

Záverom je možné konštatovať, že sledované veličiny majú svoju výpovednú hodnotu vo vzťahu k horeniu a zapáleniu dreva, v našom prípade konkrétne OSB dosiek. Zmena mechanických vlastností môže byť dôležitou informáciou o chovaní sa dreva, preto odporúčame experiment doplniť o ďalšie

based building materials which are currently used in wooden structures, as well as retardation treatment is recommended. Other aspects worth further consideration are thicknesses of OSB boards, and other large-area wood-based materials. Regarding the evaluation of the experiment results, adding the measurement of the charred layer depth and testing other mechanical properties, e.g., those which affect the strength of joints, to the criteria mentioned within this article would be beneficial. The aims of the experiment to find out the effect of the specific measurable behavior of a heat source on the performance of strength properties of OSB boards was achieved. Considering mechanical properties, there were chosen two of them: flexural strength, which all structural members of wooden buildings are tested for, and impact toughness which is important at structural collapse at fire. The laboratory testing can not substitute fire resistance tests, neither large-scale tests, but can point out at the fire-affected locations of the construction.

Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-17-0005.

References / Literatúra

- [1] FIC, E., (2014): Fire properties of wood-based panels. Fire Research Department of Building Research Institute Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology № 86, 2014:109-113 (Ann. WULS - SGGW, For. and Wood Technol. 86, 2014).
- [2] HARADA, T.(1996): Effects of Density on Charring and Mass Loss Rate in Wood Specimens. In: Wood&Fire Safety, 3rd Int. Scientific Conference., 1996, Slovak Republic, pp 149-156.
- [3] HIRLE, S., BALOG, K. (2017) The effect of the heat flux on the self ignition of oriented strand board. Research papers. Faculty of material sciences and technology in Trnava, Slovak university of technology Bratislava 2017, pp. 123-129.
- [4] CHOVANEC, D., OSVALD, A.(1992): Spruce Wood Structure Changes Caused by Flame and Radiant Source. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 1992. 62 s. ISBN 80-228-0182-8.
- [5] IRVINE, G. M.(1984): The glass transitions of lignin and hemicellulose and their measurement by differential thermal analysis. Tappi J., 67, 1984, č.5, s. 118-121. ISSN 22 815.
- [6] KASYMOV, D., AGAFONTSEV, M., PERMINOV, V., MARTYNOV, P., REYNO, V., LOBODA, E. (2020): Experimental Investigation of the Effect of Heat Flux on the Fire Behavior of Engineered Wood Samples Fire 2020, 3(4), 61; <https://doi.org/10.3390/fire3040061> Fire 2020, 3(4), 61; <https://doi.org/10.3390/fire3040061>.
- [7] KITAHARA, R. N., MATSUMOTO, T.(1974): Temperature dependence of dynamic mechanical loss of wood. J. Jap. Wood Res. Soc. 20 (8), 1974, s. 349-354, ISSN 1435-0211.

dreviny, rôzne retardačné úpravy a rovnako odporúčame venovať pozornosť iným hrúbkam OSB dosiek, ako aj iným veľkoplošným materiálom na báze dreva, ktoré sa v drevostavbách používajú. Hodnotiace kritérium odporúčame doplniť o meranie hĺbky zuhoľnatej vrstvy a odporúčame testovanie aj iných mechanických vlastností, napr. tých, ktoré majú vplyv na pevnosť spojov. Ciele experimentu, zistiť vplyv konkrétneho laboratórne merateľného výkonu tepelného zdroja na zmenu vybraných pevnostných vlastností OSB dosiek bol naplnený. Z mechanických vlastností boli vybrané len dve, pevnosť v ohybe, na ktorú sa kontrolujú všetky konštrukčné prvky drevostavby, a rázová húževnatosť v ohybe, vlastnosť, ktorá je dôležitá pri kolapse konštrukcii po požiari. Úroveň laboratórneho testovania nenahradí skúšky na požiaru odolnosť, ani veľkorozmerové testy, ale detailnejšie odhalí požiarom oslabené miesta konštrukcie.

Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0005.

- [8] KOLBRECKI, A., PERZYNA, K. (2010) „Wooden houses and fire safety rules”, Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology No 72 Warsaw 2010.
- [9] KRAKOVSKÝ, A., KRÁL, Š.(2004): Zmeny mechanických vlastností primárneho smrekového dreva pri mechanickom a tepelnom zaťažení. Vedecké štúdie 5/2004/B. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2004, 99 s. ISBN 80-228-1383-4.
- [10] KRONOSPAN [online]. [cit. 2018-11-13]. Dostupné na internete: <https://www.mo-dos.sk/krono-span-osb3-doska-12-mm-rovna-hrana.html>.
- [11] KUKLÍK P., CHARVÁTOVÁ M. (2015): The behaviour of special OSB boards under fire conditions The influence of OSB board’s fire coating on the fire resistance of light timber frame assemblies 2015: Proceedings of the International Conference in Dubrovnik, 15 - 16 October, 2015 DOI: <https://doi.org/10.14311/asfe.2015.044>, ISBN 978-80-01-06194-7 (online : pdf), ISSN 2336-7318 (Print) ISSN 2570-8074 (Online), Publisher: Czech Technical University in Prague First edition Published in 2017.
- [12] MITTEROVÁ, I., GARAJ, J. (2019): The Effect of the Retardation Treatment on the Mass Loss of the Thermally Loaded Spruce Wood and OSB Board FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal 13(2):51–55, 2019 DOI: 10.17423/delta.2019.13.2.68, pp 51-55
- [13] RANTUCH, P., HLADOVÁ, M., MARTINKA, J., KOBETIČOVÁ, H.(2019): Comparison of Ignition Parameters of Oven-Dried and Non-Dried OSB FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal 13(1): 63–79, 2019 DOI: 10.17423/delta.2019.13.1.59, pp. 63-79
- [14] STROUP, D. V., BRYNER, N. P., LEE, J., MCELROY, J., ROADARMEL, G., TWILLEY, W. H.(2004): Structural Collapse Fire Tests: Single Story, Wood Frame Structures. Fire Research Division Building and Fire Research Laboratory. National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899-8661 March 2004.
- [15] SULIK P. (2007): Odporność ogniowa konstrukcji drewnianych, „Ochrona Przeciwpożarowa” 2007, nr 4/07, s. 12-13.
- [16] SULIK P.(2008): Odporność ogniowa konstrukcji drewnianych, „Ochrona Przeciwpożarowa” 2008, nr 1/08, s. 2-5.
- [17] TAKEDA, H. Fire Resistance of Wood-Framed Exterior Walls: The Effect of An External Air Cavity and External Insulation FARINTEC 6148 Voyageur Dr. Orleans, Ontario, K1C 2W3, Canada Copyright © International Association for Fire Safety Science.
- [18] WHITE, R. H., NORDHEIM, E. V. (1992): Charring Rate of Wood for ASTM E 119 Exposure. Fire Technology, (28), 1, 1992, s. 5-30, ISSN: 0015-2684.
- [19] WHITE, R. H., SCHAFFER, E. L. 1981): Transient moisture gradient in fire-exposed wood Slab. Wood and Fiber, 13, 1981, s. 17-38, ISSN: 07356161.
- [20] WHITE, R. H., WINANDY J . E. (2006): Fire performance of oriented strandboard In. Proceedings of the Conference on Recent Advances in Flame Retardancy of Polymeric Materials : volume XVII, Applications, Research and Industrial Development Markets. Norwalk, CT : BCC Research, c2006: ISBN: 1596232218: 9781596232211: pages 297-309. Publication Series: Miscellaneous Publication.
- [21] STN EN 13501-1 + A1: 2010 Klasifikácia požiarňých charakteristík stavebných výrobkov a prvkov stavieb. Časť 1: Klasifikácia využívajúca údaje zo skúšok reakcie na oheň (Konsolidovaný text) – STN EN 13501-1+A1/O1: 2012, STN EN 13501-1+A1/Z1: 2017

The Effect of Radiant Heat on Upholstery Fabrics Covering Polyurethane Foam

Vplyv sálavého tepla na pot'ahové textilie v skladbe s PUR penou

Emília Orémusová^{1,*}, Mária Šmidriaková², Vladimír Mozer³, Eduard Ivan¹

¹ Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; email: emilia.oremusova@tuzvo.sk; xivan@is.tuzvo.sk

² Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Furniture and Wood Products T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovak Republic; email: smidriakova@tuzvo.sk

³ Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, Department of Building Constructions, Thakurova 2077/7, 166 29 Praha 6, Czech Republic; email: Vladimir.Mozer@cvut.cz

* Corresponding author: emilia.oremusova@tuzvo.sk

Original scientific paper

Received: December 07, 2020; Accepted: December 21, 2020; Published: December 31, 2020

Abstract

The paper deals with the evaluation of the effect of radiant heat on upholstery fabrics covering polyurethane (PUR) foam, which are used in production of various upholstery products. The upholstery fabrics based on natural and synthetic fibres were tested; two fabrics contained a fire retardant. The fabrics were covering two types of PUR foam, Special and Nawapur. The samples were tested according to the proposed non-standard method; the source of radiant heat was an electric radiator. The measurements were taken at 15 cm and 10 cm distance of the radiator from the surface. Due to radiant heat, the samples were thermally degraded by smouldering and heating. The maximum temperatures measured on the surface of samples at the testing distance of 15 cm ranged from 186.45 °C for the mixed fabric PES/Ba to 246.65 °C for the PES FR; both fabrics combined with PUR S. Reducing the distance of radiator to 10 cm significantly increased the maximum temperatures. These ranged from 267.25 °C for the PES FR fabric with PUR NW to 357.95 °C for the cotton-based fabric with PUR S. The results obtained by this method could suitably complement the results from the standardized test methods of smouldering cigarette and match flame equivalent.

Keywords: upholstered furniture; upholstery fabrics; PUR foams; radiant heat; flammability; relative mass loss

1 Introduction

Upholstered furniture represents a risk in terms of fire protection and safety because, in the event of a fire, it is not only an abundant source of fuel influencing further spreading of the fire but also a source of many toxic combustion products [1]. Toxicity of combustion products is the most significant negative impact of fire [2]. The authors [3,4] state in their scientific works that the combustion products are the cause of most fire death.

1 Úvod

Čalúnený nábytok predstavuje riziko z hľadiska protipožiarnej ochrany a bezpečnosti, pretože v prípade požiaru je nielen výdatným zdrojom paliva, vplývajúcim na ďalšie šírenie požiaru, ale tiež zdrojom množstva toxických spodín horenia [1]. Toxicita produktov horenia je najvýznamnejším negatívnym dopadom požiaru [2]. Autori [3,4] uvádzajú vo svojich vedeckých prácach, že

Many statistics show that a significant number of deaths occur during fires in flats, in the buildings where upholstered furniture is commonly used and can be exposed to accidental contact with ignition sources. Foreign reports state that at present firefighters are fighting interior fires that are larger and faster than ever before. Upholstery materials, especially upholstery fabrics and PUR foam fillings, contribute to this. When burning, they produce large number of various toxic fumes. According to NFPA statistics, upholstered furniture, either as the first material ignited by an initiation source, or as the main material contributing to the spread of a fire, has played a role in almost a quarter of all household fire deaths in recent years [5].

According to Thomas and Gandi [6], if a fire breaks out in a living spaces, there are only a few objects that have the potential to create unsustainable fire conditions as quickly as upholstered furniture. Residents of the house are threatened not only by heat, but also by toxic combustion products. In addition to the total number of fires, the individual ignition scenarios are also interesting when assessing the dangers associated with upholstered furniture and the fires on mattresses and bed linen. Research has shown that the fire hazard at upholstered furniture, mattresses and bed linen is a function of ignition source.

The Federation of the European Union Fire Officer Associations (FEU) entrusted a working group to carry out the research and draft an opinion on test methods for upholstered furniture (sofas and chairs) and mattresses. The results of research are the urgent recommendations of European fire services (associated in FEU) to manufacturers, suppliers, governments, and standardization bodies to ensure that only upholstered furniture and mattresses complying with the test methods mentioned in their report are in domestic areas. In the European Union, every year, around 5,000 people die of the consequences of fire. One way how to increase fire safety of upholstered furniture and mattresses is using fire barriers between the fabric and PUR foam [7].

An integral part of upholstered furniture [8] is the upholstery fabric, which is most often

produkty horenia sú príčinou väčšiny obetí požiaru.

Mnohé štatistiky dokladujú, že značné množstvo úmrtí je pri požiaroch v bytoch, budovách, kde sa čalúnený nábytok bežne používa a môže byť vystavený náhodnému kontaktu so zápalnými zdrojmi. Zahraničné zdroje uvádzajú, že v súčasnosti hasiči bojujú v interiéroch s požiarimi, ktoré sú väčšie a rýchlejšie ako kedykoľvek predtým. K tomuto prispievajú práve čalúnické materiály a to predovšetkým poťahové textílie a výplň vo forme PUR peny, ktoré pri horení vyprodukujú veľké množstvo rôznorodých toxických spodín. Podľa štatistík americkej agentúry NFPA práve čalúnený nábytok, buď ako prvý materiál, ktorý iniciačný zdroj zapálil, alebo ako hlavný materiál, prispievajúci k šíreniu požiaru, hral úlohu takmer v štvrtine všetkých úmrtí pri požiaroch v domácnostiach v posledných rokoch [5].

Podľa Thomasa a Gandiho [6], ak v obytných priestoroch dôjde k požiaru, existuje len málo predmetov, ktoré majú potenciál vytvoriť neudržateľné podmienky požiaru tak rýchlo, ako čalúnený nábytok. Obyvateľov neohrozuje iba teplo, ale aj produkované toxické spodiny horenia. Okrem celkového počtu požiarov sú pri posudzovaní nebezpečenstva spojeného s čalúneným nábytkom a požiarimi na matracoch a posteľnej bielizni zaujímavé aj jednotlivé scenáre zapalovania. Výskum ukázal, že nebezpečenstvo požiaru čalúneného nábytku, matracov a posteľnej bielizne je funkciou zdroja vznietenia.

Federácia združenia hasičov Európskej únie (FEU) poverila pracovnú skupinu, aby uskutočnila výskum a vypracovala stanovisko k súboru skúšobných metód čalúneného nábytku (pohovky a stoličky) a matracov. Výsledkom tohto výskumu sú naliehavé odporúčania európskych hasičov (združené v FEU) výrobcom, dodávateľom, vládám a normalizačným orgánom, aby zabezpečili, že v obydliach je umiestnený iba čalúnený nábytok a matrace, ktoré vyhovujú testovacím metódam uvedeným v ich správe. V súčasnosti každoročne zomiera okolo 5 000 ľudí na následky požiaru domu v Európskej únii.

Možnosťou ako zvýšiť požiaru bezpečnosť čalúneného nábytku a matracov, je použitie

used material. (A variant is leather and imitation leather.) Because it is visible, it is crucial for most customers. It contributes greatly to the aesthetic appearance of the product. In addition to the aesthetic point of view, other parameters which add the value to the given fabric are also important: strength, stain resistance, cleanability, thickness, properties in contact with human body, etc. The decorative fabrics used for upholstered furniture is a common offense. According to the author, these are totally unsuitable for these purposes.

However, the safety of the upholstery fabric is also important in terms of its fire safety. From the point of view of overall safety, flammability testing is an important area of testing of upholstered products. According to [9], the essence of the tests is always to define the ignition source, which simulates the potential danger in using of the product. Most often it is evaluated whether the material ignited, smouldered, or melted dripped. From a safety point of view, the melt is almost as dangerous as burning with a flame. An important parameter is the speed of flame spreading, which is important for a person to put out a fire or escape in time.

Hafez and Hawas [10] investigated the effect of some construction elements, including weave structure, hair length, and hair materials on the flammability of chenille fabrics used in upholstered furniture to improve its properties. This research shows that there is a direct relationship between the weight of the fabric, the thickness, the length of carbonized material and the fire resistance of the fabric.

Makovická Osvaldová et al. [11] investigated the selected upholstery materials using flammability tests for upholstered furniture with ignition source of a smouldering cigarette and match flame equivalent. They noticed significant differences in length of degradation among the samples. They also indicated the need to research the issue in a larger aspect.

In the Slovak Republic, the ignitability of upholstered furniture is assessed according to the standard STN EN 1021: Part 1: Ignition source smouldering cigarette and Part 2: Ignition source match flame equivalent. The analogy is the STN EN 597 standard for assessment of mattresses. However, there is no

protipožiarnych zábran medzi textíliou a PUR penou [7].

Neodmysliteľnou súčasťou čalúneného nábytku [8] je poťahová textília, ktorá sa najčastejšie používa v čalúnených výrobkoch (variantou je koža a koženka). Pretože je viditeľná, má pre väčšinu zákazníkov rozhodujúcu dôležitosť. Veľkou mierou sa podieľa na estetickom vzhľade výrobku. Okrem estetického hľadiska sú dôležité aj ďalšie parametre, ktoré danej textílii pridávajú na hodnotu napr. pevnosť, odolnosť voči špineniu, čistiteľnosť, hrúbka, pocit pri kontakte s ľudským telom atď. Častým prehreškom býva používanie dekoračných textílií na čalúnenom nábytku. Tie sú podľa autora absolútne nevhodné na tieto účely.

Dôležitá je však aj bezpečnosť poťahovej textílie z hľadiska jej protipožiarnej ochrany. Z pohľadu celkovej bezpečnosti dôležitou oblasťou skúšobníctva čalúnených výrobkov je skúšanie horľavosti. Podľa [9] podstatou skúšok je vždy predovšetkým definovanie zdroja zapálenia, ktorý simuluje potenciálne nebezpečenstvo pri používaní výrobku. Najčastejšie sa vyhodnocuje, či sa materiál zapálil, tlel alebo z neho odkvapkávala tavenina. Tá je z hľadiska bezpečnosti skoro rovnako nebezpečná ako horenie plameňom. Významným parametrom je rýchlosť šírenia plameňa, ktorá je dôležitá preto, aby mal človek šancu oheň uhasiť alebo včas uniknúť.

Hafez a Hawas [10] sa zaoberali skúmaním účinku niektorých konštrukčných faktorov, vrátane štruktúry väzby, dĺžky vlasu a vlasových materiálov na schopnosť spomaľovať horenie žienilkových tkanín, ktoré sa používajú pri aplikácii čalúneného nábytku, na zlepšenie jeho vlastností tak, aby vyhovovali funkčnému účelu, pre ktorý sa vyrába. Tento výskum ukazuje, že existuje priamy vzťah medzi hmotnosťou tkaniny, hrúbkou, dĺžkou zuhoľnateného materiálu a odolnosťou proti ohňu vyrobených textílií.

Makovická Osvaldová et al. [11] sa zaoberali výskumom vybraných poťahových materiálov skúškami horľavosti pre čalúnený nábytok so zdrojom zapálenia tlejúcou cigaretou a zápalkou. Dospeli k záveru, že medzi vzorkami boli pozorované významné rozdiely v dĺžke degradácie. Tiež uvádzajú, že výsledky ich prezentovaného výskumu

standard where the ignition source is radiant heat.

The aim of the paper is to evaluate the flammability of upholstery fabrics using an initiation source – an electric radiator – and to determine the effect of radiant heat on upholstery fabrics. The priority was to verify the suitability of the proposed procedure of non-standard method. Upholstery fabrics based on natural and synthetic fibres were tested. During measurements, the fabrics were placed on two types of PUR foams.

2 Materials and Methods

In the research, we focused on testing of upholstery fabrics based on natural and synthetic fibres covering PUR foam. During testing, the samples of fabrics, which were the primary subject of the research, were placed on a PUR foam substrate. Basic data on tested samples are given in table 1 and 2.

naznačujú potrebu pokračovať vo výskume v širšom aspekte.

V Slovenskej republike sa pre hodnotenie horľavosti čalúneného nábytku používajú metódy podľa normy STN EN 1021, kde v 1. časti je zdroj zapálenia tlejúca cigareta a v jej 2. časti je zdrojom zapálenia ekvivalent plameňa zápalky. Analógiou je norma STN EN 597 pre matrace. Neexistuje však norma, kde zdrojom zapálenia je sálavé teplo.

Cieľom príspevku je hodnotenie horľavosti poťahových textílií pomocou iniciačného zdroja - elektrického žiaríča a zistiť vplyv sálavého tepla na poťahové textílie. Prioritným zámerom bolo overenie vhodnosti navrhnutého postupu nenormovanej metódy. Testovali sa poťahové textílie na báze prírodných aj syntetických vlákien, ktoré boli pri meraniach umiestnené na dva druhy PUR pien.

2 Materiál a metodika

Vo výskume sme sa zamerali na testovanie poťahových čalúnnických textílií na báze prírodných aj syntetických vlákien v skladbe s PUR penou. Vzorky textílií, ktoré boli primárnym predmetom výskumu boli pri testovaní umiestnené na podklad z PUR peny. Základné údaje o testovaných vzorkách sú uvedené v tab. 1 a 2. Textílie sú znázornené na obr. 1. V tab. 2 sú uvedené základné údaje o PUR penách.

Tab. 1 Upholstery fabrics
Tab. 1 Poťahové textílie

Sample Designation/ Označenie vzorky	Composition/ Zloženie	Area Weight (g/m ²)/ Plošná hmotnosť (g/m ²)	Note/ Poznámka
V1	61 % PES, 39 % Ba	186	
V2	100 % Ba	202	
V3	100 % PA	334	
V4	60 % Vs, 40 % V1	358	
V5	50 % PES, 50 % PP	158	FR
V6	100 % PES	198	FR

Notes: PES - polyester, Ba - cotton, PA - polyamide, Vs - viscose, V1 - wool, PP - polypropylene, FR - with fire retardant

Legenda: PES - polyester, Ba - bavlna, PA - polyamid, Vs - viskóza, V1 - vlna, PP – polypropylén, FR - s retardačnou úpravou

The fabrics are in Fig. 1.

Table 2 shows the basic data on PUR foams.

Polyurethane foams are in Fig. 2.

Textílie sú znázornené na obr. 1.

V tab. 2 sú uvedené základné údaje o PUR penách.

PUR peny sú znázornené na obr. 2.

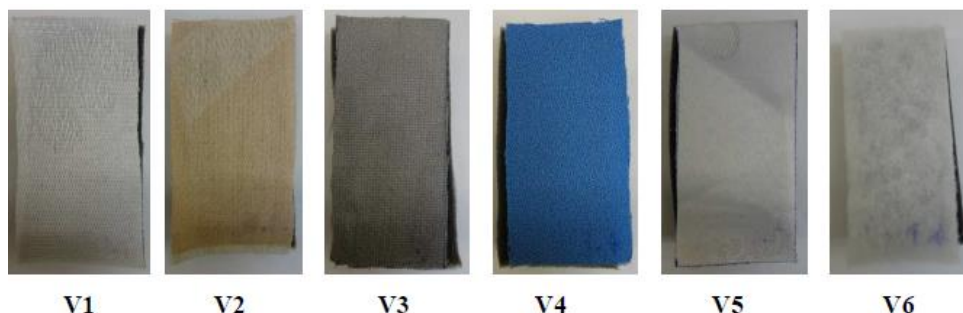


Fig. 1 Upholstery fabrics tested

Obr.1 Testované poťahové textílie

Tab. 2 Polyurethane foams

Tab. 2 PUR peny

Sample Designation/ Označenie vzorky	Type of PUR/ Typ PUR peny	Density (kg/m ³)/ Hustota (kg/m ³)	Hardness at 40%compression (kPa)/Tvrdosť pri 40% stlačení (kPa)	Note/Poznámka
S	Special (S 2832)	28	3.2	FR
NW	Nawapur wellness (4835)	48	3.5	polyols nahradené ricínovým olejom/ polyols replaced by castor oil



Fig. 2 Polyurethane foams (PUR) – Nawapur wellnes left, Special right

Obr. 2 PUR peny – Nawapur wellnes vľavo, Special vpravo

The tested samples consisted of:

- upholstery fabric (V1 to V6) + PUR foam Special 2832 (PUR S),
- upholstery fabric (V1 to V6) + PUR foam Nawapur wellness 4835 (PUR NW).

Testované vzorky pozostávali zo skladby:

- poťahová textília (postupne V1 až V6) + PUR pena Special 2832 (ďalej PUR S),
- poťahová textília (postupne V1 až V6) + PUR pena Nawapur wellness 4835 (ďalej PUR NW).

The samples were exposed to radiant heat according to the proposed non-standardized method. An infrared radiator was used as a source of radiant heat. The parameters of the radiator were: power input 1000 W, surface temperature of the heating elements 579.4 °C. The radiator was heated up for 15 minutes. It was placed in a metal holder in the distance of 15 cm from the surface of the sample (or in the distance of 10 cm). Exposition time was 300 seconds.

Given the temperature and dimensions of the heater, the approximate radiant heat flux from its surface is $I = 25 \text{ kW/m}^2$. The emitting surface was approximated as a rectangle and the radiative heat flux I calculated through the Stefan-Boltzman law using Equation (1):

$$I = A \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

Where:

I – radiative heat flux (kW/m^2),
 A – area of radiating surface (m^2),
 ε – surface emissivity (–),
 σ – Stefan-Boltzman constant $5.670373 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$,
 T – temperature of radiating surface (K).

The above calculated heat flux imposes an incident heat flux of approximately:

- 6.25 kW/m^2 when the sample is 10 cm away from the heater, and;
- 3.5 kW/m^2 when the sample is 15 cm away from the heater.

For all tests, samples with dimensions of 100 x 50 x 10 mm were used. After heating the radiator, the individual composite samples of fabrics (V1-V6) and PUR S were inserted into the stand. Then the same procedure was done with the fabrics and PUR NW. Before testing each sample was weighed. A NiCr-Ni thermocouple was attached to the surface of the sample (fabric) and the temperature throughout the test was recorded using an Almemo device. Each sample was placed in a rack on a grid with Al-foil. The measured values were evaluated using a PC. After testing and cooling, the samples were weighed again. For each sample, 3 measurements were performed. The testing device is shown in Figure 3.

Vzorky sme vystavili sálavému teplu podľa navrhutej nenormovanej metódy. Ako zdroj sálavého tepla sme použili infračervený žiarič, ktorého parametre boli: príkon 1000 W, povrchová teplota vyhrievacích telies 579,4 °C. Žiarič sme nechali zohriať po dobu 15 minút. Umiestnený bol v kovovom držiaku vo vzdialenosti najskôr 15 cm a potom 10 cm od povrchu vzorky, na ktorú pôsobil 300 sekúnd.

Pri danej teplote a rozmeroch žiariča je približná hustota vyžarovaného tepelného toku na úrovni jeho povrchu $I = 25 \text{ kW/m}^2$. Vyžarujúci povrch bol zjednodušene reprezentovaný ako obdĺžnik a hustota tepelného toku bola vypočítaná Stefan-Boltzmanovým zákonom podľa rovnice (1):

Kde:

I – hustota sálavého tepelného toku (kW/m^2),
 A – plocha sálajúceho povrchu (m^2),
 ε – emisivita sálajúceho povrchu (–),
 σ – Stefan-Boltzmanova konštanta $5,670373 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$,
 T – teplota sálajúceho povrchu (K).

Vyššie uvedený sálavý tepelný tok pôsobí na exponované strany vzoriek:

- $6,25 \text{ kW/m}^2$ pri vzdialenosti vzorky od žiariča 10 cm, a;
- $3,5 \text{ kW/m}^2$ pri vzdialenosti vzorky od žiariča 15 cm.

Pri všetkých skúškach sme použili vzorky o rozmere 100 x 50 x 10 mm. Po zohriatí žiariča sme do stojana postupne vkladali jednotlivé vzorky textílií (V1 – V6) v kombinácii s PUR S a v druhom prípade s PUR NW. Každú skúšobnú vzorku sme pred samotným testom odvážili. Na povrch vzorky (textílie) sme pripevnili termočlánok NiCr-Ni, ktorý v priebehu celej skúšky zaznamenával teplotu prístrojom Almemo. Každá vzorka bola v stojane umiestnená na mriežke s alobalom. Namerané výsledky sme vyhodnotili pomocou PC. Po skončení merania a vychladnutí vzoriek sme každú vzorku opätovne odvážili. Pre každú vzorku sme vykonali 3 merania. Schéma zariadenia je znázornená na obr. 3.

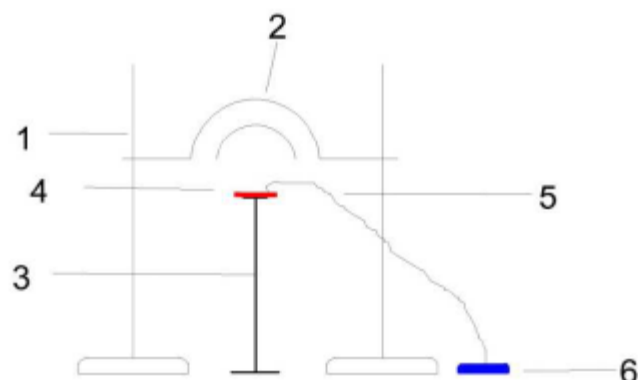


Fig. 3 The testing device

1. metal frame, 2. infrared radiator, 3. metal stand, 4. test sample, 5. thermocouple
6. measuring device Almemo 2290 – 8

Obr.3 Schéma testovacieho zariadenia

1. kovový rám, 2. infražiarič, 3. kovový stojan, 4. skúšobná vzorka, 5. termočlánok
6. meracie zariadenie Almemo 2290 – 8

Before testing, the samples were conditioned in a laboratory with a temperature of $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and a humidity of 65 % for one month. Under the same conditions they were tested.

The characteristics examined were: the surface temperature of the sample and the percentage relative weight loss of the sample calculated according to equation (2):

$$m_u = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 \quad (2)$$

Where:

- m_u – relative mass loss (%)
- m_1 – weight before testing (g)
- m_2 – weight after testing (g)

Vzorky boli pred meraním kondicionované jeden mesiac v laboratóriu s teplotou $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ a vlhkosťou 65 %. Pri týchto podmienkach sa aj testovali.

Skúmanými charakteristikami boli teplota na povrchu vzorky, percentuálny relatívny úbytok hmotnosti vzorky vypočítaný podľa vzťahu (2):

Kde:

- m_u – relatívny úbytok hmotnosti (%)
- m_1 – hmotnosť pred meraním (g)
- m_2 – hmotnosť po meraní (g)

3 Results and Discussion

The samples were exposed to the radiant heat in the distance of 15 cm from heat source; there were 2 sets of test samples – one set with a PUR type S layer and the second set with PUR type NW. Figures 4 a 5 show the samples after testing; they are arranged from left to right, from sample V1 to sample V6.

3 Výsledky a diskusia

Vzorky sme podrobili najskôr vplyvu sálavého zdroja vo vzdialenosti 15 cm postupne s podkladovou vrstvou PUR typu S a nasledovne s PUR typu NW. Na obr. 4 a 5 sú zobrazené vzorky po testovaní, ktoré sú na jednotlivých obrázkoch vždy usporiadané zľava doprava od vzorky V1 až po vzorku V6.

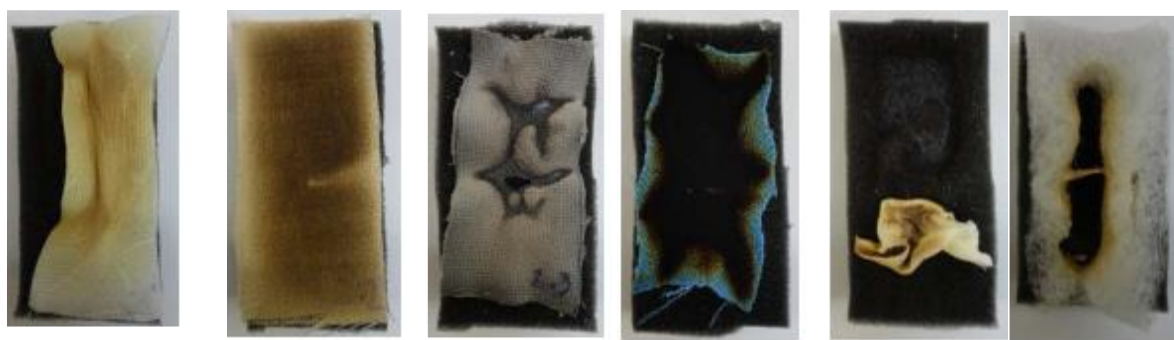


Fig. 4 Thermal degradation of samples (V1–V6 left to right) + PUR S – 15 cm

Obr. 4 Degradácia vzoriek (V1 –V6 sprava doľava) + PUR S – 15 cm



Fig. 5 Thermal degradation of samples (V1 –V6 left to right) + PUR NW – 15 cm

Obr. 5 Degradácia vzoriek (V1 –V6 sprava doľava) + PUR NW – 15 cm

Due to radiant heat, the samples began to degrade and smoke, the colour changed from light brown to dark brown. These characteristics varied depending on material composition of the fabrics. No sample was burning with flame neither was heating. All samples degraded by smouldering. Thermal degradation is the chemical decomposition under the action of heat, which can occur during both flame and flameless combustion – heating or smouldering [12].

The courses of the temperature on the surface of upholstery fabrics in the distance of 15 cm are shown in Figures 6 and 7. The temperature profile of each sample is averaged from three measurements.

Vplyvom sálavého tepla začali vzorky degradovať, dymiť, farba vzoriek sa zmenila od svetlohnedej až po tmavohnedú. Tieto charakteristiky sa líšili v závislosti od materiálového zloženia textílií. Ani jedna vzorka nehorela plameňom ani nežeravela. Všetky vzorky degradovali tlením. Termická degradácia je chemický rozklad látky za pôsobenia tepla, ku ktorej môže dôjsť pri plameňovom aj bezplameňovom horení – žeravení alebo tlení [12].

Priebeh vzostupu teplôt na povrchu poťahových textílií pri vzdialenosti 15 cm je zobrazený na obr. 6 a 7. Priebeh teplôt každej vzorky je spriemerovaný z troch meraní.

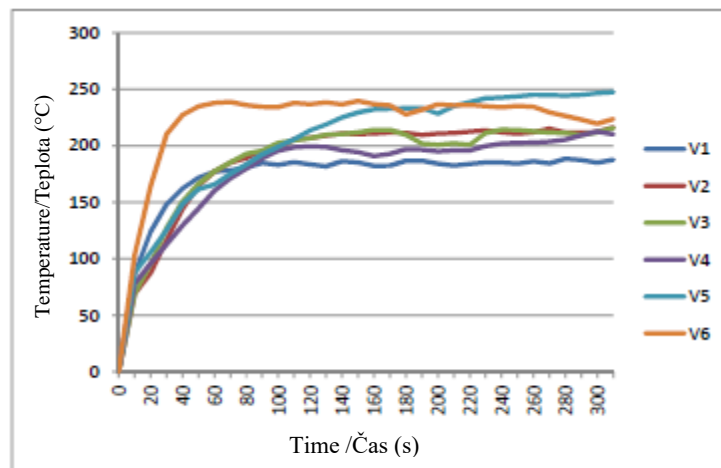


Fig. 6 Temperature on the surface of samples (V + S) – 15 cm

Obr. 6 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + S) – 15 cm

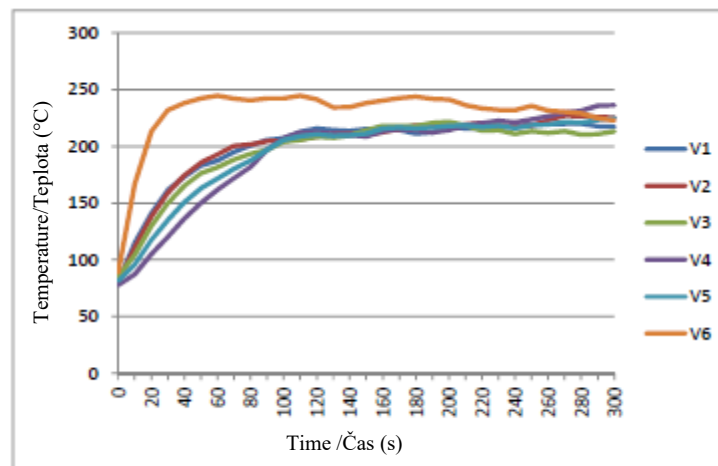


Fig. 7 Temperature on the surface of samples (V + NW) – 15 cm

Obr. 7 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + NW) – 15 cm

Significantly different course of temperature was in sample V6, both for the PUR foam S and the PUR foam NW; a rapid increase in temperature is seen at the beginning of the test in time up to 60 sec when the temperature reached its highest value about 180 °C and then it stabilized in a slight decrease. Other samples (with PUR S) showed a similar course of temperature up to about 80 sec and only then they began to differentiate with the upward trend. In the case of PUR NW, the courses of temperature were interesting as if they stabilized evenly at time of 95 sec and then at time of 210 sec, they began to show bigger temperature differences.

Výrazne odlišný priebeh teplôt bol pri vzorke V6 a to pri oboch PUR penách S aj NW, kde je možné vidieť rýchly nárast teploty na začiatku skúšky v čase do 60. s., kedy teplota dosiahla najvyššiu hodnotu, približne 180 °C a potom sa ustálila s miernym klesaním. Ostatné vzorky približne do 80 s. mali podobný priebeh a až následne sa začali diferencovať s trendom stúpania. Pri podklade s PUR NW je zaujímavý priebeh teplôt, ktoré pri čase 95 s. akoby sa rovnomerne ustálili a následne sa začali prejavovať väčšie rozdiely teplôt v 210 s.

Na konci merania tj. v 300. sekunde je rozdiel medzi najnižšou a najvyššou

At the end of the measurement, in time of 300 seconds, the difference between the lowest and the highest temperature on samples with PUR S was 59.85 °C (V1 - 187.65 °C; V5 - 247.45 °C). At the samples with PUR NW, the difference between the lowest and the highest temperature was smaller – 23.2 °C (V3 - 213.10 °C; V4 - 236.30 °C).

Figures 8 and 9 show the samples after testing in the distance of 10 cm from heat source, the exposure time was the same – 300 seconds (samples in the picture are arranged from left to right: from V1 to V6).

dosiahnutou teplotou vzoriek s PUR S 59,85 °C (V1 – 187,65 °C, V5 – 247,45 °C) u vzoriek s PUR NW je menší rozptyl hodnôt, rozdiel je 23,2 °C (V3 - 213,10 °C, V4 – 236,30 °C).

Na obr. 8 a 9 sú znázornené vzorky po testovaní vo vzdialenosti 10 cm, čas ostal rovnaký 300 sekúnd (vzorky opäť usporiadané zľava doprava od V1 až po V6).



Fig. 8 Thermal degradation of samples (V1 –V6) + PUR S – 10 cm

Obr.8 Degradácia vzoriek (V1 –V6) + PUR S – 10 cm

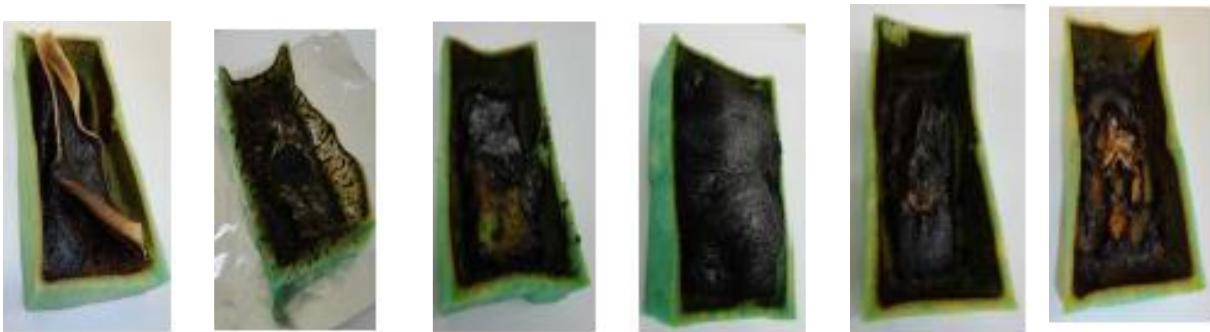


Fig. 9 Thermal degradation of samples (V1 –V6) + PUR NW – 10 cm

Obr. 9 Degradácia vzoriek (V1 –V6) + PUR NW – 10 cm

Reducing the distance of the radiator from the surface of samples to 10 cm, there were significant changes in degradation of the samples if compared to previous measurements. In this case, all samples released more intense and denser smoke after 2-3 seconds. The samples were not burning with flame, most of them smouldered and the samples V3 + PUR S

Znížením vzdialenosti žiariča od povrchu vzoriek na 10 cm, nastali výrazné zmeny v degradáciách vzoriek oproti predchádzajúcim meraniam. U všetkých vzoriek sa v tomto prípade prejavil intenzívnejší a hustejší dym už po 2-3 sekundách. Vzorky nehořeli plameňom, väčšina tlela, vzorky V3+PUR S a V2+PUR

and V2 + PUR NW heated. Only carbon residues remained of all the upholstery fabrics, which was a significant difference from the results of testing in the distance of 15 cm. When tested in the distance of 15 cm, the fabrics did not degrade completely, unburned residues remained. When tested in the distance of 10 cm, also the PUR foams significantly degraded, they began to melt, formed a viscid mass, and the degradation was significant also on the underside of the PUR foams. In the distance of 15 cm, the degradation on the underside did not occur.

The courses of temperature measured on the surface of upholstery fabrics are shown in Figures 10 and 11.

NW žeraveli. Zo všetkých potáhových textílií zostali len uhlíkové zvyšky, čo predstavuje podstatný rozdiel od meraní vo vzdialenosti 15 cm, kde textílie nedegradovali celé, ale zostali aj nezhořené zvyšky. Výrazne degradovali v tomto prípade aj PUR peny, ktoré sa začali topiť, vytvárali mazľavú hmotu a degradácia bola výrazná aj na spodnej strane PUR pien, čo sa pri vzdialenosti 15 cm neprejavilo.

Priebeh vzostupu teplôt na povrchu potáhových textílií je zobrazený na obr. 10 a 11.

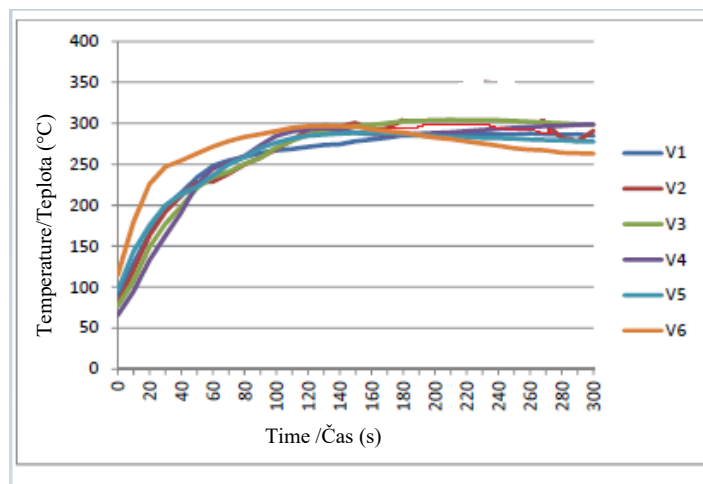


Fig. 10 Temperature on the surface of samples (V + S) – 10 cm

Obr. 10 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + S) – 10 cm

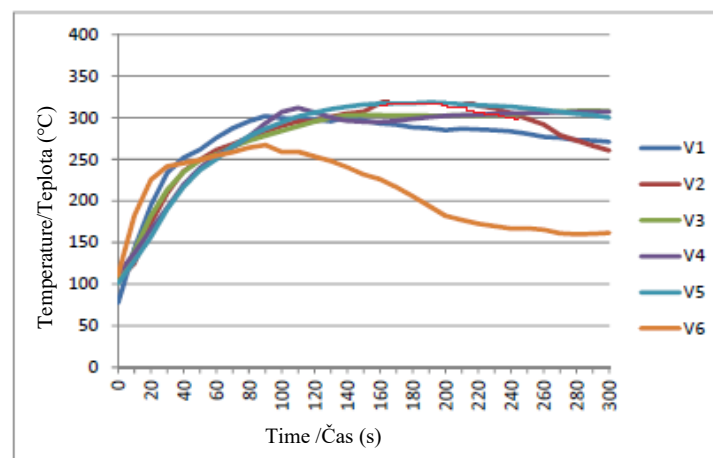


Fig. 11 Temperature on the surface of samples (V + NW) – 10 cm

Obr. 11 Priebeh teplôt na povrchu vzoriek textílií (V + NW) – 10 cm

At the end of the measurement, at time of 300 seconds, the difference between the lowest and the highest temperature on the samples with PUR S was 35.95 °C (V6 - 263.05 °C; V4 - 299.0 °C). For samples with PUR NW, the difference was 146.35 °C (V6 - 161.60 °C; V3 - 307.95 °C). A significant difference in course of temperature was again manifested at the sample V6, especially on PUR NW. If the "outlier" value of sample V6 was excluded from the comparison, the difference between the temperatures at the end of measurement would be 47.25 °C (V2 - 260.70 °C, V3 - 307.95 °C). The sample (V6+PURNW) was not tested 3 times as with the other samples, but 4 times. The course of temperature was always confirmed, so all values were kept in the evaluation.

The achieved maximum temperature for the individual samples are shown in Figures 12 and 13.

Výrazný rozdiel v priebehu teplôt sa znovu prejavil hlavne pri vzorke V6 predovšetkým na podklade NW. Na konci merania tj. v 300. sekunde je rozdiel medzi najnižšou a najvyššou dosiahnutou teplotou vzoriek s PUR S 35,95 °C (V6 – 263,05 °C, V4 – 299,0 °C). U vzoriek s PUR NW je rozdiel 146,35 °C (V6 – 161,60 °C, V3 – 307,95 °C). Ak by sme z porovnania vyňali „odľahlú“ hodnotu vzorky V6, rozdiel v teplotách na konci merania by bol 47,25 °C (V2 – 260,70 °C, V3 – 307,95 °C). Túto vzorku sme podrobili nie 3 meraniam ako pri ostatných vzorkách, ale 4 meraniam a vždy sa priebeh teplôt potvrdil, preto ponechávame pri hodnotení všetky hodnoty.

Najvyššie dosiahnuté maximá teplôt jednotlivých vzoriek sú zobrazené na obr. 12 a 13.

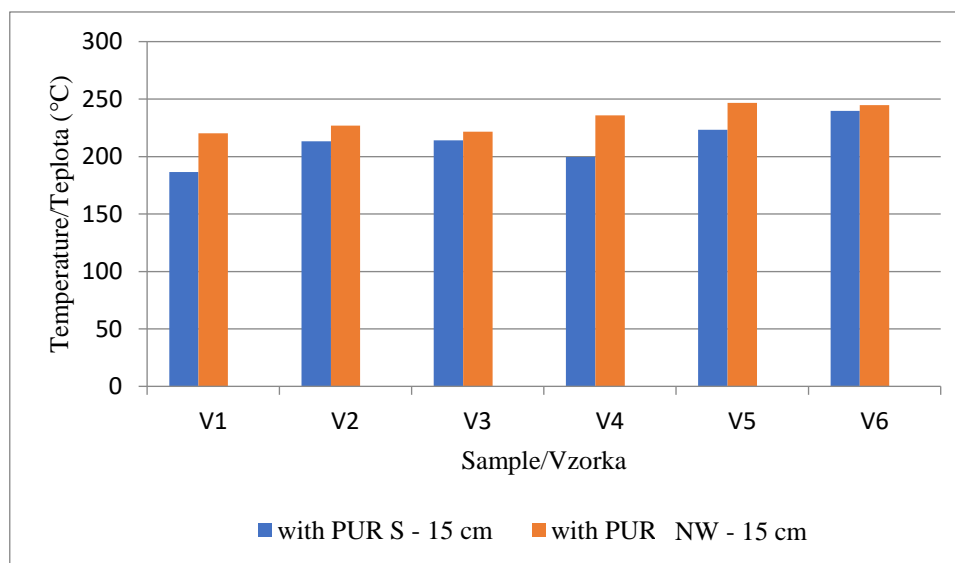


Fig. 12 Maximum temperature on the surface of samples tested in the distance of 15 cm

Obr. 12 Maximálne teploty vzoriek – 15 cm

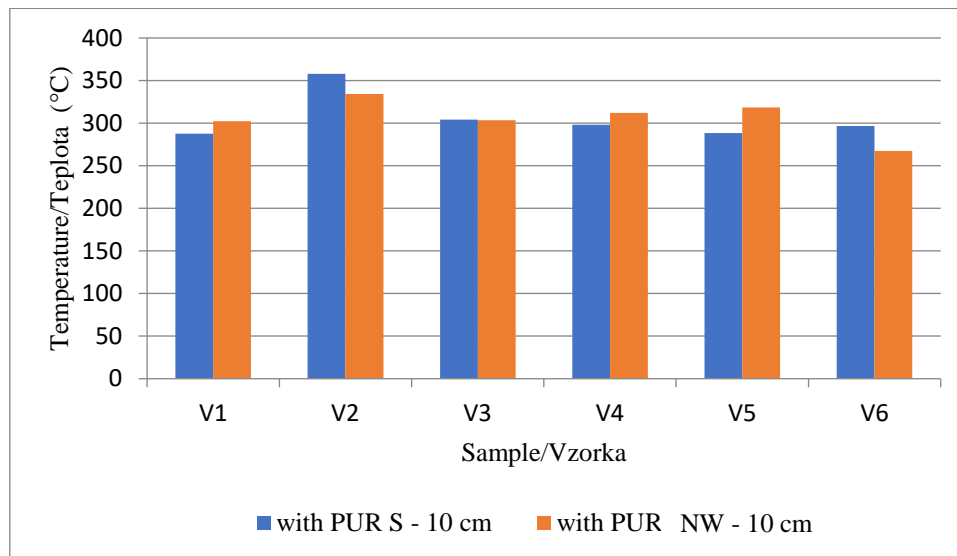


Fig. 13 Maximum temperature on the surface of samples tested in the distance of 10 cm

Obr. 13 Maximálne teploty vzoriek – 10 cm

When measured in the distance of 15 cm, higher values of maximum temperature were measured on samples with upholstery fabrics on the foam PUR NW. For both PUR foams, the highest temperatures were measured on samples V5 and V6. Maximum temperature ranged from 186.45 °C (V1+PUR S) to 246.65 °C (V6+PUR S).

When measured in the distance of 10 cm, the results were more differentiated. In this case, the temperatures on the samples with PUR NW were not significantly higher if compared to the samples with PUR S. The maximum temperatures were significantly higher, ranging from 267.25 °C (V6+PUR NW) to 357.95 °C (V2+PUR S). The increase in maximum temperature measured in the distance of 10 cm (if compared to the 15 cm) represented 43.34 % at the lowest values of maximum temperature and 45.13 % at the highest values of maximum temperature.

It is also important to note that the individual samples reached the maximum temperature at different time. For instance, in the distance of 15 cm, on the PUR NW substrate, the samples V5 and V6 reached similar value of maximum temperature. But sample V5 reached the highest temperature in time of 290 sec while the sample V6 reached it already at time of 110 seconds.

When evaluating the results of measurements in the distance of 15 cm, the relative mass loss for samples of the upholstery fabrics themselves

Vyššie hodnoty maximálnych teplôt pri vzdialenosti 15 cm dosiahli vzorky s poťahovými textíliami na podklade PUR peny NW. Pri oboch PUR penách dosiahli najvyššie teploty vzorky V5 a V6. Maximálne teploty sa pohybovali v rozmedzí od 186,45 °C (V1+PUR S) do 246,65 °C (V6+PUR S).

Pri vzdialenosti 10 cm boli výsledky diferencovanejšie. V tomto prípade neboli tak jednoznačne vyššie teploty vzoriek s PUR NW v porovnaní so vzorkami s PUR S ako pri 15 cm vzdialenosti. Hodnoty maximálnych teplôt boli podstatne vyššie, pohybovali sa v rozmedzí od 267,25 °C (V6+PUR NW) do 357,95 °C (V2+PUR S). Tento nárast maximálnych teplôt pri vzdialenosti 10 cm predstavoval 43,34 % pri najnižších hodnotách maxím teplôt a 45,13 % pri najvyšších hodnotách maxím teplôt.

Dôležitý je tiež poznatok, že maximálne teploty dosiahli jednotlivé vzorky v rôznych časoch. Napr. pri vzdialenosti 15 cm na podklade NW dosiahli vzorky V5 a V6 porovnateľné maximálne teploty, avšak vzorka V5 dosiahla najvyššiu teplotu v 290. s, zatiaľ čo vzorka V6 už v 110 s.

Pri hodnotení výsledkov meraní vo vzdialenosti 15 cm sme získali hodnoty relatívnych úbytkov hmotností vzoriek samotných poťahových textílií bez podkladov PUR pien S a NW (viď obr. 14).

(without PUR foams S nor NW) were calculated (see Fig. 14).

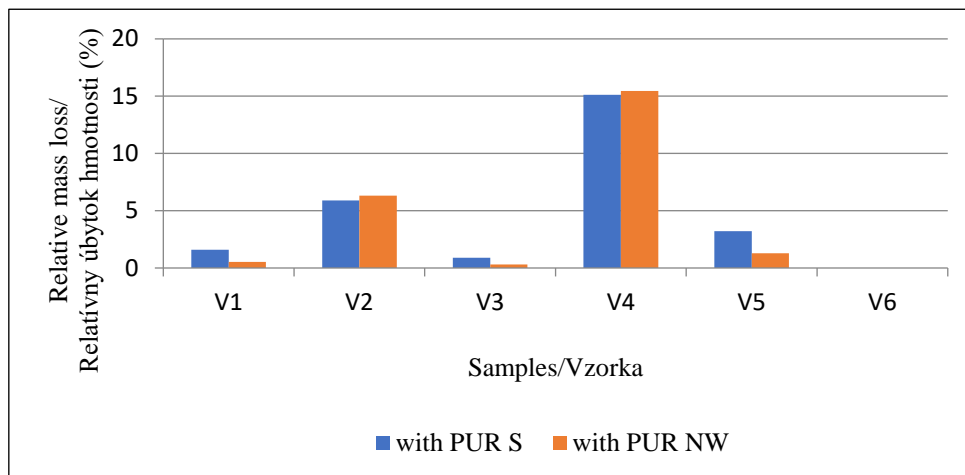


Fig. 14 Relative mass loss of upholstery fabrics tested in the distance of 15 cm
 Obr. 14 Relatívny úbytok hmotnosti poťahových textílií – 15 cm

Relative mass loss also showed significant differences. The largest percentage of relative mass loss of the upholstery fabric alone was measured for the sample V4 on both substrates; the difference between the substrates was minimal. No measurable relative mass loss was recorded for the upholstery fabric alone on the sample V6 – PES fabric. This may be attributed to melting and subsequent solidification of the fabric without much evaporation or pyrolysis.

When tested in the distance of 10 cm, it was not possible to determine the relative mass loss for the fabrics alone. Exposed to heat, the fabrics and PUR foams melted together and formed a greasy substance. Fig. 15 shows the weight loss of the whole assembly (fabric + PUR foam) tested at the distances of 15 cm and 10 cm.

Aj pri tomto parametri sa prejavili značné rozdiely. Najväčší percentuálny relatívny úbytok hmotnosti bol u vzorky samotnej poťahovej textílie V4 a to pri oboch podkladoch, pri ktorých navzájom boli rozdiely len minimálne. Pri samotnej vzorke poťahovej textílie V6 nebol zaznamenaný žiadny merateľný relatívny úbytok hmotnosti. Uvedené správanie môže byť dôsledkom roztavenia a následného vytvrdenia poťahovej textílie bez významného odparovania či pyrolýzy.

Pri meraniach vo vzdialenosti 10 cm sa nedali stanoviť relatívne úbytky hmotnosti samostatne u textílií, pretože PUR peny s textíliami sa vplyvom tepla roztavili a vytvorili zatavenú mazľavú hmotu. Na obr. 15 sú uvedené hodnoty relatívnych úbytkov hmotností celej skladby (textília + PUR pena) vo vzdialenosti 15 cm aj 10 cm.

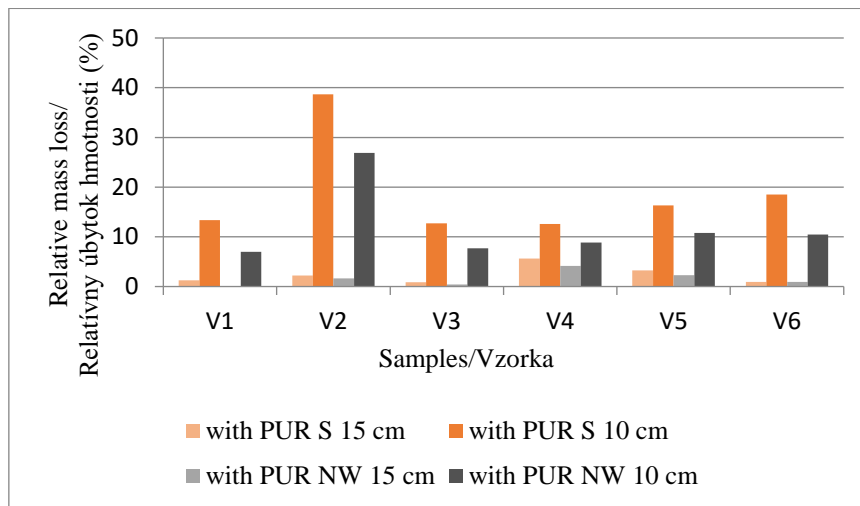


Fig. 15 Relative mass loss of upholstery composites (V+PUR)

Obr. 15 Relatívny úbytok hmotností skladieb

If tested in the distance of 15 cm, the highest percentage of relative mass loss was measured for the upholstery composites V4 with PUR S and NW. If tested in the distance of 10 cm, the highest values of relative mass loss were measured for sample V2, also with both PUR foams. For the sample V2, in both variants (PUR S and NW), the biggest difference between the values of relative mass loss was measured when the sample was tested in the distance of 10 cm. It was the biggest difference in relative mass loss between the two measurements (15 cm and 10 cm).

In the overall evaluation, it can be stated that the obtained results were influenced by the material composition of the fabrics and the PUR foams as a base. We expected better results for the fabrics with fire retardant and the foam PUR S, which was not clearly confirmed. The distance of the radiator from the surface of the samples showed a significant effect on the degradation of samples, which may be attributed to the decrease of incident heat flux by approximately 45 % (6.25 kW/m² at 10 cm to 3.5 kW/m² at 15 cm). In the distance of 15 cm, lower values of maximum temperature on the surface of samples were measured for the samples with PUR S. In the testing distance of 10 cm, it was not so clear; lower temperature maxima were reached by three samples with PUR S (V1, V4, and V5). When evaluating the relative mass loss of the fabrics themselves, (obtained only at testing in the distance of 15 cm) there were no significant differences in

Najvyššie percentuálne relatívne úbytky hmotnosti pri vzdialenosti 15 cm dosiahla skladba vzorky V4 s PUR S aj NW. Pri meraniach vo vzdialenosti 10 cm to boli najvyššie hodnoty u vzorky V2, taktiež aj v tomto prípade s PUR penou S aj NW. Pri tejto vzorke V2 sa v oboch variáciách s PUR S aj NW, prejavil najvyšší nárast relatívneho úbytku hmotností pri 10 cm vzdialenosti. Bol to najväčší rozdiel hodnôt relatívnych úbytkov hmotností medzi meraniami pri 15 cm a 10 cm.

Pri celkovom hodnotení je možné konštatovať, že na dosiahnuté výsledky vzoriek malo vplyv materiálové zloženie textílií aj PUR peny ako podklad. Predpokladali sme lepšie výsledky pri textíliách s retardačnou úpravou a PUR S, čo sa jednoznačne nepotvrdilo. Výrazný vplyv na degradáciu vzoriek mala vzdialenosť žiariča od povrchu vzoriek, čo môže byť pripísané redukcii hustoty dopadajúceho sálavého tepla na povrch vzorky o cca. 45 % (6,25 kW/m² pri 10 cm na 3,5 kW/m² pri 15 cm). Pri vzdialenosti 15 cm maximá teplôt na povrchu vzoriek dosiahli nižšie hodnoty vzorky s PUR S. Pri 10 cm to nebolo tak jednoznačné, nižšie maximá teplôt s PUR S dosiahli tri vzorky V1, V4, V5. Pri hodnotení relatívneho úbytku samotných textílií, ktorý sme získali len meraním vo vzdialenosti 15 cm, neboli výrazné rozdiely hodnôt medzi vzorkami s PUR S a vzorkami s PUR NW. Zrejmy rozdiel však bol pri hodnotení relatívneho úbytku hmotnosti celej skladby (textília + PUR). Znížením vzdialenosti

values between the samples with PUR S and the samples with PUR NW. However, the obvious difference was seen when evaluating the relative mass loss of the whole composition (fabric + PUR). Reducing the testing distance to 10 cm, the relative mass loss of all the samples was significantly higher. At both testing distances, the samples with PUR NW showed lower relative mass loss if compared to the samples with PUR S, which may be attributed to the higher initial weight of PUR NW sample substrates when compared to PUR S due to their different densities.

Based on comparison of the results by the method of sorting the fabrics themselves according to the best results in terms of flammability (lowest maximum temperature, lowest relative mass loss of fabrics), the following order of fabrics can be made: V1 (61 % PES, 39 % Ba), V3 (100 % PA), V6 (FR 100 % PES), V4 (60 % VS, 40 % V1), V5 (FR 50 % PES, 50 % PP), V2 (100 % Ba). In most parameters, a fabric based on 100% cotton showed the worst results. Wanna [13] pointed out the flammability of cotton and emphasized the need to treat it by a fire retardant, for example by using suitable salts.

These results are difficult to compare with results of other authors. There is a great variability in the composition of upholstery materials; we have not found a similar evaluation from the available sources, both in terms of methodology and in terms of the material composition of the samples. An analogy with our results can be seen in Šuleková and Kačíková [14], who researched the influence of radiant heat on selected types of PUR foams (testing distances 15 cm and 10 cm, exposure time 300 seconds). They concluded similarly that the samples did not ignite, degraded considerably, especially in the distance of 10 cm when they turned into a greasy substance. Surface temperature of the samples reached 250 - 300 °C, which is below the 350 °C at which the autoignition behaviour selected polymeric materials of this type (artificial fibres and foams) begins to manifest [15].

Conclusion

Several interesting results were obtained from the research. The results need to be analysed more deeply and be supported by the

merania na 10 cm sa výrazne zvýšil relatívny úbytok hmotností všetkých vzoriek. Vzorky s PUR NW dosiahli nižšie hodnoty relatívnych úbytkov v porovnaní so vzorkami s PUR S a to pri oboch vzdialenostiach merania, čo môže byť pripísané vyššej hmotnosti PUR NW vzoriek v porovnaní s PUR S z dôvodu rozdielnosti ich hustôt.

Na základe porovnania výsledkov metódou zoradenia vzoriek samotných textílií od najlepších dosiahnutých hodnôt z pohľadu horľavosti (najnižšia hodnota maximálnych teplôt, najnižší relatívny úbytok hmotností textílií) možno určiť nasledovné poradie vzoriek: V1 (61 % PES, 39 % Ba), V3 (100 % PA), V6 (FR 100 % PES), V4 (60 % VS, 40 % V1), V5 (FR 50 % PES, 50 % PP), V2 (100 % Ba). Vo väčšine parametrov dosiahla najhoršie výsledky textília na báze 100 % bavlny. Na horľavosť bavlny poukazuje Wanna [13], ktorý zdôrazňuje potrebu jej retardačnej úpravy, napríklad použitím vhodných solí.

Uvedené dosiahnuté výsledky je náročné porovnať s výsledkami iných autorov. V zložení čalúnnických materiálov je veľká variabilita, nenašli sme z dostupných zdrojov podobné hodnotenie, jednak čo sa týka metodiky, ale tiež materiálového zloženia vzoriek. Analógiu s našimi výsledkami vidíme u autoriek Šuleková a Kačíková [14], ktoré porovnávali vplyv sálavého zdroja tepla na vybrané druhy PUR pien vo vzdialenosti 15 cm a 10 cm po dobu 300 s. ako v našom výskume. Podobne dospeli k záveru, že vzorky sa nezapálili, ale značne degradovali predovšetkým pri vzdialenosti 10 cm, kedy sa menili na mazľavú hmotu. Teploty na povrchu vzoriek dosahovali 250 - 300 °C, čo je pod teplotou 350 °C, ktorá je spodnou hranicou, pri ktorej sa začína prejavovať samovznietenie vybraných polymérických materiálov tohoto typu (umelé tkaniny a peny) [15].

Záver

Uvedeným výskumom sme získali viacero zaujímavých výsledkov, ktoré bude potrebné ešte hlbšie analyzovať, podložiť tiež štatistickým vyhodnotením, zamerať sa na rozbor vplyvu sálavého tepla na textílie rôzneho materiálového zloženia. Cieľom tohto výskumu bolo však prioritne overiť vhodnosť navrhutej metodiky.

statistical evaluation. The effect of radiant heat on fabrics of various material composition can also be analysed. However, the priority aim of this research was to verify a suitability of the proposed methodology.

We can state that the methodology is suitable for testing of the effect of radiant heat on upholstery materials; it offered number of important findings. However, the procedure still needs to be innovated, improved, such as: to wrap the PUR foams with fabric also on sides, to use thermocouples with a flat end, to place them on the bottom side – away from the source of radiant heat, to increase the time of exposition to heat, etc. In future, we will test not only the fabrics, but entire assemblies – upholstery cover fabric, separating material, PUR foam. We want to point out the importance and need to test the flammability of upholstery materials also from the point of view of the method, where the initiating source is radiant heat. The results obtained by this method could suitably complement the results from the standardized test method of smouldering cigarette and the match flame equivalent.

Acknowledgements

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-17-0005 (50%) and Agency VEGA projekt č. V-1/0454/20 (50%).

References / Literatúra

- [1] Orémusová, E. 2016. Termická analýza vybraných čalúnnických materiálov. 1. vyd. - Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2016. - 79 s. [4,78 AH]. ISBN 978-80-228-2857-4
- [2] Martinka, J., Rantuch, P., Balog, K., Benko, D., Sulová, J. 2018. Toxicity of Combustion Products of Electrical Cables. Delta. FIRE PROTECTION & SAFETY Scientific Journal 12(1): 5–16, 2018. DOI:10.17423/delta.2018.12.1.34
- [3] Gann, RG, Bryner, NP. 2008. Combustion products and their effects on life safety. Pages 749-772 in Cote AE, ed. Fire Protection Handbook. 20th ed. National Fire Protection Association.
- [4] Purser, DA. 2016. Toxicity assessment of combustion products. Pages 300-388 in DiNenno PJ, ed. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers.
- [5] Durso, F. 2013. Furniture flammability and home fire losses, 2013. NFPA Journal. Official magazine of the National Fire Protection Association.
- [6] Fabian, Thomas, Z., Gandhi, P. D. 2013. Upholstered furniture flammability: Full-scale furniture and flashover experiments. Conference: Fire & Materials 2013. At: San Francisco, CA.
- [7] Hagen et al. 2017. Fire safety of upholstered furniture and mattresses in the domestic area European fire services recommendations on test methods. 2017. Available on <https://www.ifv.nl/kennisplein/Documents/20170501-FEU-Fire-safety-of-upholstered->

Môžeme konštatovať, že metodika je vhodná na testovanie vplyvu sálavého tepla na čalúnnické materiály, ponúkla nám množstvo významných poznatkov. Avšak postup je ešte potrebné inovovať, vylepšiť, ako napr. PUR peny obaliť textíliou aj z bočných strán, termočlánky použiť s plošným ukončením, umiestniť ich aj zo spodnej strany – odvrátenej od zdroja sálavého tepla, zvýšiť čas pôsobenia zdroja a pod. Postupne budeme testovať nielen textílie, ale celé skladby – poťah, separačný materiál, PUR peny. Príspevkom chceme poukázať na dôležitosť a potrebu testovania horľavosti čalúnnických materiálov aj z pohľadu metódy, kde iniciálnym zdrojom je sálavé teplo. Výsledky získané touto metódou, by mohli vhodne dopĺňať výsledky z normovaných metód cigaretového testu a ekvivalentu plameňa zápalky.

Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0005 (50%) a agentúrou VEGA projekt č. V-1/0454/20 (50%).

[furniture-and-mattresses-in-the-domestic-area.pdf](#)

[8] Navrátil, V. 2014. Upholstery is a science. 2014. Available online:

<http://www.calunnictvo.info/2014/03/calunenie-veda.html>

[9] Flammability of upholstered furniture. Textile Testing Institute. Brno. Available online:

<http://tzu.cz/horlavost-odevu-a-bytoveho-textilu-CZ12419>

[10] Hafez S. Hawas. Effect of Some Construction Elements on the Flammability of Upholstery Fabrics. Helwan University. Egypt. DOI: [10.12816/0044478](https://doi.org/10.12816/0044478)

[11] Makovická Osvaldová, L., Marková, I., Vandlíčková, M., Gašpercová, S., Titko, M. 2020. Fire Characteristics of Upholstery Materials in Seats. Int. J. Environ. Res. Public Health 2020, 17, 3341; doi:10.3390/ijerph17093341

[12] Pitts, V. M. 2014. Applied Heat Flux Distribution and Time Response Effects on Cone Calorimeter Characterization of a Commercial Flexible Polyurethane Foam. In *Fire technology in Springer US*. ISSN 1572-8099, 2014, vol. 50 issue 3 p. 635-672.

[13] Wanna, J.T. Polo, A.; Schettino, D. The smoldering potential of used upholstery fabrics: Unsoiled vs soiled. J. Fire Sci. 1996, 14, 144–158. [CrossRef]

[14] Šuleková, M., Kačíková, D. 2016. Influence of radiant heat source on selected types of polyurethane foams. 5th International Scientific Conference Advances in Fire & Safety Engineering Fakulta bezpečnostného inžinierstva ŽU, Žilina 2016.

[15] Appendix 3. 2016. Fuel Properties and Combustion Data – Table A.36. Pages 3456-3458 in DiNenno PJ, ed. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. 5th ed. Society of Fire Protection Engineers.

The Factors the School Environment during the Teaching Process

Objektivizácia faktorov školského prostredia počas vyučovacieho procesu

Ivana Tureková^{1,*}, Jozef Harangozó¹

¹ Constantine the Philosopher University in Nitra, Faculty of Education, Department of Technology and Information technologies, Tr. A. Hlinku 1, 949 01 Nitra, Slovak Republic; email: iturekova@ukf.sk, harangozo@ukf.sk

* Corresponding author: iturekova@ukf.sk

Case Study

Received: December 10, 2020; Accepted: December 22, 2020; Published: December 31, 2020

Abstract

The internal climate of buildings is also partly maintaining the physical and mental health of students. The article deals with investigating an internal environment – the factors that affect creative work demanding concentration. There are microclimatic conditions, illumination during visually demanding work, noise, or chemical factors. Standardized research methods for measuring temperature, humidity, airflow, and illumination using the relevant device base were used to characterise these factors during the selected university classroom lessons. The results were compared with the limit values published in standards and legislation. The complex of these "external" factors influences psychological wellbeing, and might burden activities requiring information admittance, processing, concentrating and creativity. The psychological burden was assessed by a subjective method, such as a standardized questionnaire and its evaluation. The obtained results showed that there was a correlation between the external factors of the environment and the psychological well-being of the students. If the teacher knows the factors that affect his/her health and the health of students, he/she can predict their negative impact on performance and take preventive measures such that the factors of the internal environment are within the recommended limits. In practical life, this can mean achieving higher performance by managing environmental factors.

Keywords: indoor environment quality; lighting; microclimate; carbon dioxide; questionnaire

1 Introduction

People spend on average 80-95 % of their time indoors in different buildings; 62% at home, 25 % at work, at school, in administrative and purpose buildings and around 8% in vehicles [1], [2]. The basic user parameter of each building designed for long-term residence of people is the quality of the inner microclimate, which is defined as "thermal, light, acoustic comfort" [3]. These indoor building factors are described by physical or chemical variables. Their maintenance within

1 Úvod

Priemerne človek trávi 80 – 95 % svojho času vo vnútorných priestoroch rôznych budov; 62 % doma, 25 % v práci, v škole, v administratívnych a účelových budovách a približne 8 % v dopravných prostriedkoch [1], [2]. Základný užívateľský parameter každej stavby, určenej pre dlhodobý pobyt ľudí, je kvalita vnútornej mikroklimy, ktorá je definovaná ako „tepelná, svetelná, akustická pohoda“ [3]. Tieto faktory vnútorného prostredia budov sa popisujú fyzikálnymi alebo chemickými veličinami. Ich udržanie

the defined limits is a condition of the functionality of the buildings and the creation of a healthy environment for the human being, as well as for the technological process [4], [5]. The improvement of the quality of emerging and new buildings and thus contributing to disease prevention, health improvement, and satisfaction of target groups, requires an internal environment control system focusing on the factors most affected by the physiological effect (Fig.1) [6].

School buildings can have a significant impact on students and teachers' health and performance through their internal environment such as noise level, indoor temperature, air quality and light [7]. According to Heath et al. (2000), there has always been concern regarding the indoor environment of schools due to shortage of funding for school buildings, because poor environments have a greater impact on children than on adults [8], [9], [10].

v definovaných limitoch (medziach) je podmienkou funkčnosti budov a vytvorenie zdravého prostredia pre človeka, prípadne aj pre technologický proces [4], [5]. Zlepšiť kvalitu existujúcich a nových budov a prispieť tak k prevencii ochorení, zlepšenia zdravia a spokojnosti cieľových skupín si vyžaduje vytvoriť systém kontroly vnútorného prostredia so zameraním na faktory, ktoré najviac ovplyvňujú fyziologický efekt (Obrázok.1) [6].

Školské budovy môžu mať významný vplyv na zdravie a výkonnosť študentov a učiteľov prostredníctvom ich vnútorného prostredia, ako je napríklad hladina hluku, vnútorná teplota, kvalita vzduchu a svetlo [7]. Podľa Heath et al. (2000), vždy existovali úvahy týkajúce sa kvality vnútorného prostredia škôl z dôvodu nedostatku financií, pretože nevhodné vnútorné prostredie má väčší vplyv na deti ako na dospelých [8], [9], [10].

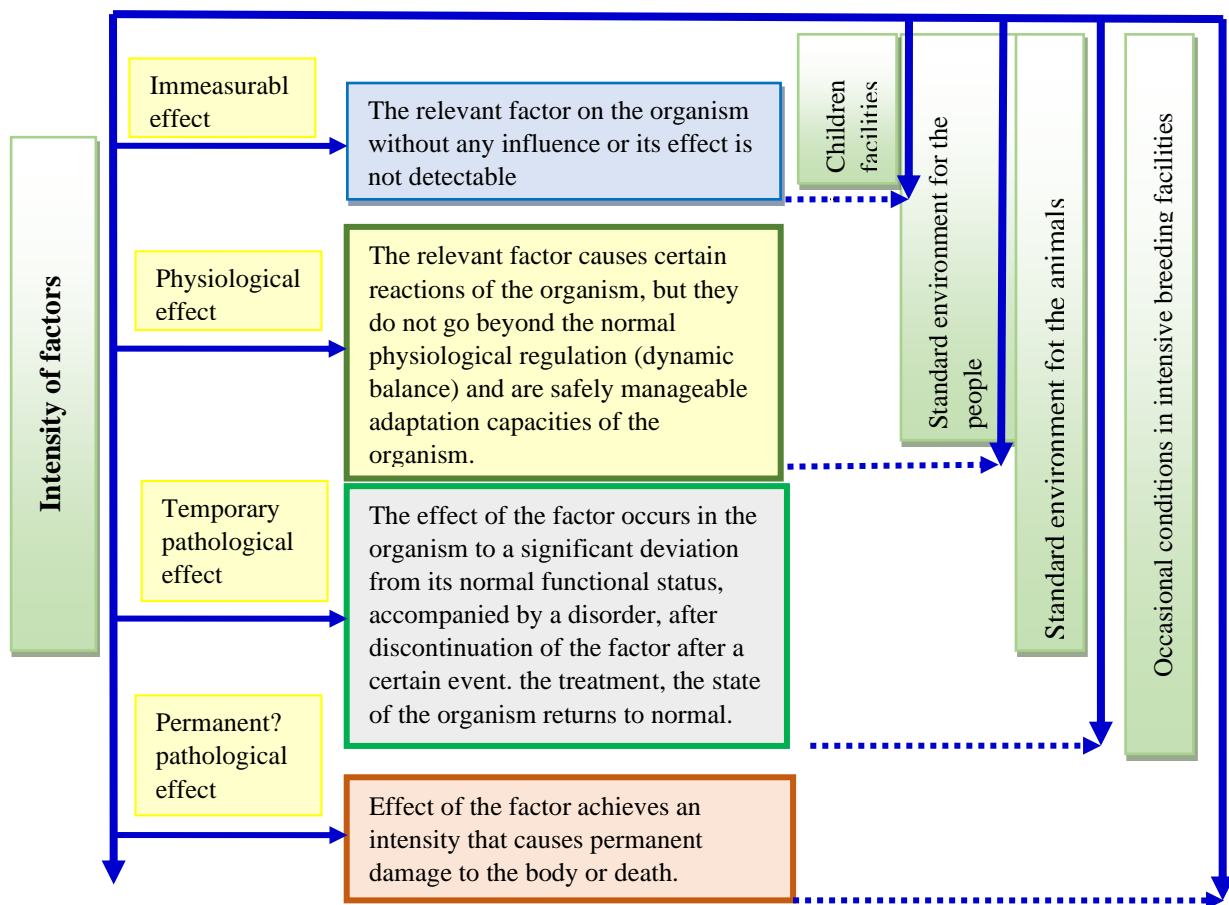
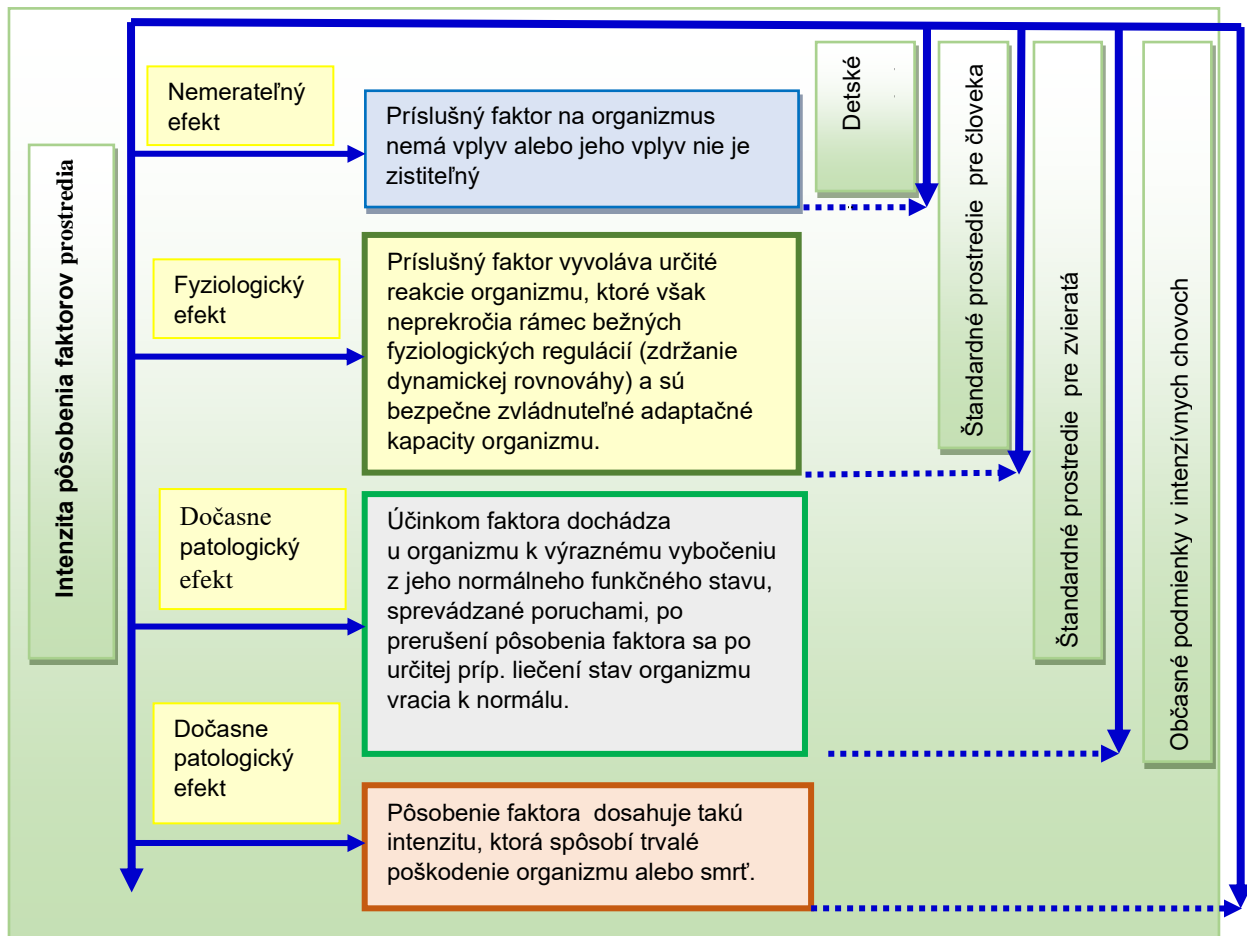


Fig. 1 Effects of environmental factors and their impact on human health [6]



Obr. 1 Pôsobenie faktorov prostredia a ich vplyv na zdravie človeka [6]

The SINPHONIE project was a pilot research project on health and the environment that monitored an indoor air in schools. 114 elementary schools from 23 European countries, including Slovakia, were involved in this project. The SINPHONIE project results analysis has confirmed that indoor air quality (IAQ) in schools is a very important issue and has an impact on children's health, including respiratory problems such as asthma and allergies, as well as attendance and performance. It has been found that indoor air pollution in schools is complex and variable and it can be of different origin (exterior, interior) and character (physical, chemical and biological). It can be caused by many sources (such as combustion processes, building materials or components, and consumer products). Air pollutants were found in classes in concentrations that in some cases exceeded WHO recommended values and which were detrimental to the health of schoolchildren [11], [12].

SINPHONIE projekt bol pilotný výskumný projekt v oblasti zdravia a životného prostredia, ktorý sledoval vnútorné ovzdušie v školách. Do tohto projektu bolo zapojených 114 základných škôl v 23 európskych krajinách vrátane Slovenska. Analýza výsledkov projektu SINPHONIE potvrdila, že (indoor air quality) IAQ v školách je veľmi dôležitou otázkou a má vplyv na zdravie detí vrátane dýchacích problémov ako sú napríklad astma a alergie, ako aj na školskú dochádzku a výkonnosť detí. Bolo zistené, že znečistenie vnútorného ovzdušia v školách je komplexné a premenlivé a môže byť rôzneho pôvodu (exteriér, interiér) a charakteru (fyzikálne, chemické a biologické). Môže byť spôsobené mnohými zdrojmi (ako sú spaľovacie procesy, materiály budov alebo komponenty a spotrebné produkty). Látky znečisťujúce ovzdušie boli zistené v triedach v koncentráciách, ktoré v niekoľkých prípadoch presiahli odporúčané hodnoty WHO, a ktorých koncentrácie boli škodlivé pre zdravie školákov [11], [12].

1.1 Physical and chemical factors in the school environment

Microclimatic or thermal-humidity conditions of an indoor building environment are determined by three basic physical factors:

- relative humidity,
- temperature a
- air flow [13], [14], [15].

An important role plays, depending on the difficulty of the work and the need for mental focusing, the lighting in the place of visual performance and noise. Other factors are physical factors such as the concentration of pollutants in the class (carbon dioxide, formaldehyde, benzene, volumes of organic compounds (VOC) and 2,5 µm dust particles, referred to as PM_{2.5}) and biological factors. The proportions of these factors determine the quality of the inner environment, the subjective feeling of well-being or the discomfort of a person [16], [17].

One of the basic conditions for a healthy environment in schools is adequate ventilation of the indoor environment. In schools, mostly fresh air gets into the building mostly in an unregulated way, through window and door joints or through joints in packaging constructions. During cold days it is necessary to provide natural ventilation by opening windows. To deal with the problem of air exchange in school buildings, the hygienic limits for the necessary amounts of air according to the season are applicable (Table 1).

1.1 Fyzikálne a chemické faktory v školskom prostredí

Mikroklimatické alebo inak nazvané tepelno-vlhkostné podmienky vnútorného prostredia budov sú určené tromi základnými fyzikálnymi faktormi:

- relatívnou vlhkosťou vzduchu,
- teplotou a
- prúdením vzduchu [13], [14], [15].

Významnú úlohu zohráva v závislosti od náročnosti práce a potreby psychického sústredenia aj osvetlenosť v mieste výkonu zrakovej úlohy a rovnako aj hlučnosť. Ďalším faktorom sú chemické faktory, ku ktorým patrí napríklad koncentrácia škodlivín v triede (oxid uhličitý, formaldehyd, benzén, VOC (Volatilaile organic compounds) a prachové častice o veľkosti 2,5 µm označované ako PM_{2.5} a biologické faktory. Pomerom týchto faktorov sa určuje kvalita vnútorného prostredia, subjektívny pocit pohody alebo nepohody človeka [16], [17].

Jednou zo základných podmienok zdravého prostredia v školách je dostatočné vetranie vnútorného prostredia. V školách sa väčšinou čerstvý vzduch dostáva do objektu zväčša neregulovaným spôsobom a to cez škáry okien a dverí alebo cez škáry v obalových konštrukciách. Počas chladných dní je potrebné zabezpečiť prirodzené vetranie otváraním okien. Pri riešení problému výmeny vzduchu v školských budovách platia hygienické limity pre nevyhnutné množstvá vzduchu podľa ročného obdobia (Tabuľka 1).

Tab. 1 Air exchange in the rooms of school buildings in the winter [18]

Tab. 1 Výmena vzduchu v priestoroch školských budov v zimnom období [18]

The purpose of the rooms / Účel priestoru	Temperature in winter / Teplota v zime (°C)	Air exchange / Výmena vzduchu		Type of ventilation / Druh vetrania
		(l.h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹)	
Universal and vocational classrooms, classrooms for arts and music education / Univerzálne a odborné učebne, pracovne výtvarnej a hudobnej prípravy	20	3- 8	15 - 40	Natural – summer / Prirodzené - leto Forced suction – winter / Nútené odsávanie - zima
Offices / Kabinety	20	-	-	Natural / Prirodzené

Tab. 1 continue

Tab. 1 pokračovanie

The purpose of the rooms / Účel priestoru	Temperature in winter / Teplota v zime (°C)	Air exchange / Výmena vzduchu		Type of ventilation / Druh vetrania
		(l.h ⁻¹)	(m ³ .h ⁻¹)	
Universal and vocational classrooms, classrooms for arts and music education / Univerzálne a odborné učebne, pracovne výtvarnej a hudobnej prípravy	20	3- 8	15 - 40	Natural – summer / Prirodzené - leto Forced suction – winter / Nútené odsávanie - zima
Offices / Kabinety	20	-	-	Natural / Prirodzené
Professional workshops, laboratories / Odborné pracovne, laboratóriá	20	5 - 10	15 - 40	Forced / Nútené
Reading rooms and clubs / Čítárne a klubovne	20	3 - 5	20 - 30	Natural / Prirodzené
Toilets for students / WC pre žiakov	15	10	-	Natural / Prirodzené
Halls for stays and rests / Chodby pre pobyt a odpočinok	15	3 - 5	-	Natural / Prirodzené

The objectification of microclimatic conditions by physical factors in the school environment is carried out by measurements using thermometers, anemometers, psychrometers or moisture meters [19]. The values obtained are then compared with the limit values given in the legislation. Due to the heat and workload of an employee in the work environment, we can assess the physical load of the body through the following evaluations:

- physiological, based on the response of the body to the working environment, such as the heart rate, the amount of sweat excreted, the body temperature,
- technical-hygienic (predictive) when we predict the impact of microclimatic conditions in the work environment through individual indicators (e.g. air temperature) on the burden of the employee [20].

Objektivizácia mikroklimatických podmienok pomocou fyzikálnych faktorov v školskom prostredí sa realizuje meraním pomocou teplomerov, anemometrov, psychrometrov alebo vlhkomerov [19]. Získané hodnoty sa potom porovnávajú s limitnými hodnotami uvedené v legislatívnych predpisoch. Vzhľadom na tepelnú a pracovnú záťaž človeka v pracovnom prostredí môžeme posúdiť fyzické zaťaženie organizmu prostredníctvom nasledovných hodnotení:

- fyziologického, pri ktorom vychádzame z reakcie telesných ukazovateľov (napr. srdcová frekvencia, množstvo vylúčeného potu, telesná teplota) organizmu na pracovné prostredie,
- technicko-hygienického (predikčného), kedy predpovedáme prostredníctvom jednotlivých ukazovateľov (napr. teplota vzduchu) vplyv mikroklimatických podmienok v pracovnom prostredí na zaťaženie zamestnanca [20].

2 Methods

The aim of the assessment of the internal environment in a representative university classroom was to measure factors that significantly influence the quality of the teaching process. The factors were as follows:

- a) lighting,
- b) relative air humidity,
- c) the temperature,
- d) the concentration of carbon dioxide.

Measurement was performed by a light meter Testo 545 (Figure 2a). It was an extremely accurate measurement since the permissible deviation defined by the manufacturer was $\pm 2\%$ (according to DIN 5032, part 6).

The machine EXTECH® Anemometer AN 340 was used to objectify the temperature and relative humidity (Figure 2b). The concentration of carbon dioxide in the classroom was objectified with TESTO 315-3 CO / CO₂ (Figure 2c).

The measurement object was a classroom for exercise. Its location was in the reconstructed building of the Faculty of Education of the Constantine the Philosopher University in Nitra on the ground floor of a separate building. The basic characteristics of the representative classroom are shown in Table 2 and the internal layout is in Fig. 3.

Tab. 2 Parameters of classroom

Tab. 2 Základné parametre objektivizovanej učebne

Room / Označenie miestnosti	DRD00080
Dimensions / Rozmery	6,45 x 5,34 m x 3,19 m
Characteristic / Charakteristika	Classroom for Classical Exercise / Učebňa pre klasické cvičenie
Orientation / Orientácia	North / Sever
Locality / Lokalita	Side tract on the ground floor, in the middle of the building / Bočný trakt na prízemí, stred budovy
Number of windows and dimensions / Počet okien a rozmery	2 windows (1,75 x 2,07 m ²) / 2 okná (1,75 x 2,07 m ²)
Number of heaters and dimensions / Počet vykurovacích zariadení a rozmery	2 heaters (1,80 – 60,5 m ²) / 2 radiátory (1,80 – 60,5 m ²)
Number of light sources / Počet svetelných zdrojov	6 light sources / 6 svetidiel

2 Metódy

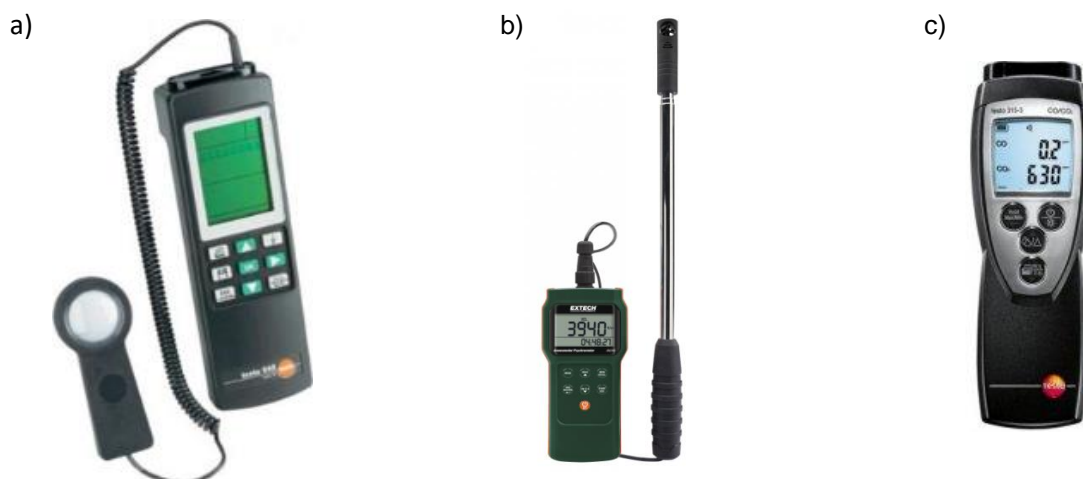
Cieľom posúdenia vnútorného prostredia v reprezentatívnej vysokoškolskej učebni bolo zmerať faktory, ktoré významnou mierou vplyvajú na kvalitu vyučovacieho procesu. Boli objektivizované tieto faktory:

- a) osvetlenosť,
- b) relatívna vlhkosť vzduchu,
- c) teplota,
- d) koncentrácia oxidu uhličitého.

Konkrétne meranie osvetlenosti bolo uskutočnené prístrojom Testo 545 (Obrázok 2a). Prípustná odchýlka definovaná výrobcom prístroja je $\pm 8\%$ (podľa DIN 5032, časť 6).

Merací prístroj EXTECH® - Anemometer AN 340 bol použitý na objektivizáciu teploty a relatívnej vlhkosti bol použitý (Obrázok 2b). Koncentrácia oxidu uhličitého v učebni bola objektivizovaná prístrojom TESTO 315 – 3 CO / CO₂ (Obrázok 2c).

Objektom meraní bola učebňa slúžiaca na cvičenie. Jej lokalizácia je v rekonštruovanej budove Pedagogickej fakulty Univerzity Konštantína Filozofa v Nitre na prízemí samostatného traktu. Základné charakteristiky reprezentatívnej učebne sú uvedené v Tabuľke 2 a vnútorné usporiadanie je na Obrázku 3.

**Fig. 2** The devices used for measurementsa) Luxmeter Testo 545, b) Anemometer AN 340, c) The measuring device CO/CO₂**Obr. 2** Prístroje použité na meraniea) Luxmeter Testo 545, b) Anemometer AN 340, c) Prístroj na meranie CO/CO₂**Fig. 3** Spatial layout of the classroom**Obr. 3** Priestorové usporiadanie učebne

3. Results

3.1 The measurements of the daylight

The subject of the measurement was the total illuminance on the horizontal comparison plane at a height of 0,85 m above the floor. Illumination measurements were performed in March between 8,00 - 15,00. Throughout the room (total illumination), the illuminance was measured on a horizontal reference plane in a regular square or rectangular network of measuring points. The points were arranged in

3. Výsledky

3.1 Meranie denného svetla

Predmetom merania bola celková osvetlenosť na vodorovnej porovnávacej rovine vo výške 0,85 m nad podlahou. Meranie osvetlenosti bolo uskutočnené v marci 2019 medzi 8,00 – 15,00 hod. podľa STN EN 12464-1: 2012. V celej miestnosti (meranie celkového osvetlenia) sa merala osvetlenosť na vodorovnej porovnávacej rovine v pravidelnej

a floor plan so that the distance of the end points from the wall or boundary of the defined part represents half the distance between the points. In rooms with a floor area of less than 2 m², at least 2 measuring points are measured in the middle of the room (one measuring point), in rooms with an area of 2 to 6 m², at least 2 measuring points, from 6 to 10 m², at least 4 measuring points over 10 m². The distance of the measuring points from the walls or from obstacles exceeding the reference plane must not be less than 0,5 m. In our case, we established a network with 20 checkpoints [21]. The average daylight illuminance values are shown in Figure 4. At 11 o'clock, the illuminance reached its maximum value (507.4 lx). In the morning and afternoon the values were significantly lower (100 - 200 lx).

štvorcovej alebo obdĺžnikovej sieti meracích bodov, rozložených v pôdoryse tak, aby vzdialenosť krajných bodov od steny alebo hranice vymedzenej časti predstavovali polovicou vzdialenosti medzi bodmi. V miestnostiach s pôdorysnou plochou menej ako 2 m² sa stanovuje merací bod v strede miestnosti (jeden merací bod), v miestnostiach s plochou od 2 do 6 m² najmenej 2 meracie body, od 6 do 10 m² 3 meracie body, nad 10 m² najmenej 4 meracie body. Vzdialenosť meracích bodov od stien alebo od prekážok prevyšujúcich porovnávaciu rovinu nemá byť menšia ako 0,5 m. V našom prípade sme stanovili sieť s 20-timi kontrolnými bodmi [21]. Priemerné hodnoty osvetlenia pri dennom svetle sú uvedené na Obrázku 4. O 11,00 hodine dosahovala osvetlenie maximálne hodnoty (507,4 lx). Ráno a popoludní boli hodnoty podstatne nižšie (100 - 200 lx). Meranie v každom bode bolo vykonané trikrát, zaznamenaný bol priemer týchto meraní.

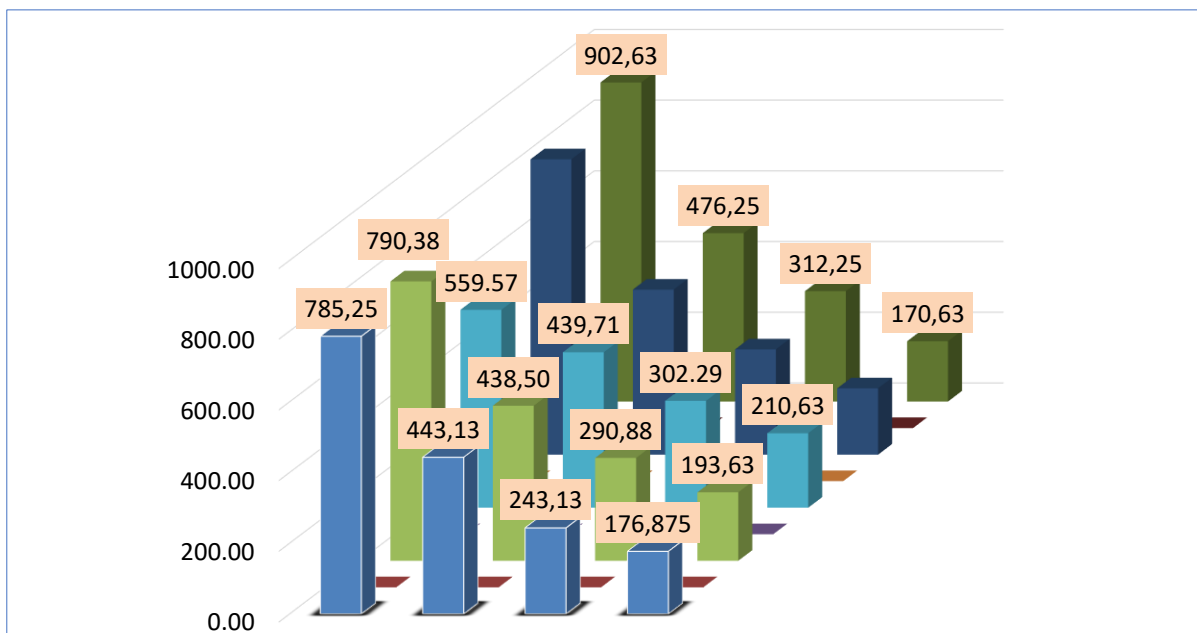


Fig. 4 Average daylight values in the classroom from 8 am to 3 pm in lx (STN EN 2464-1: Light and Illumination)

Obr. 4 Priemerné hodnoty dennej osvetlenia v učebni medzi 8:00 a 15:00 hodinou v lx (STN EN 12464-1:2012 Svetlo a osvetlenie)

Tab. 3 Average illuminance values (\bar{E}), measurement uncertainty (U) and standard requirements

Tab. 3 Priemerné hodnoty osvetlenosti (\bar{E}), neistota merania (U) a požiadavky normy

\bar{E} (lx)	U (%)	$\bar{E} - U$ (lx)	$\bar{E} + U$ (lx)	Illumination requirements by / Požiadavky na osvetlenie podľa STN EN 12464-1
426,13	34,09	392,04	460,22	500 lx

The results showed the discrepancy of the illumination in the room with limit values. Therefore, it is necessary to use artificial light sources during the lessons.

3.2 Measurement of carbon dioxide, humidity and temperature

Measurements of carbon dioxide concentration, relative humidity and temperature were performed discontinuously in twenty-minute intervals during a 90-minute exercise when there were 19 people in the classroom. Windows and doors were closed to indicate an increase of carbon dioxide concentration. The first measurement took place before the lecture began in an empty classroom. The instrument recorded the minimum and maximum carbon dioxide values in ppm units (Table 4).

Tab. 4 Measurement results of concentration CO₂.

Tab. 4 Výsledky merania koncentrácie CO₂

Time of measurement / Čas merania	Minimal value CO ₂ / Minimálna hodnota CO ₂ (ppm)	Maximal value CO ₂ / Maximálna hodnota CO ₂ (ppm)	Mean value CO ₂ / Priemerná hodnota CO ₂ (ppm)	Temperature / Teplota (°C)	Relative humidity / Relatívna vlhkosť (-)
09:00	930	1050	990	24,4	42,5
09:20	1850	2030	1940	25,0	41,3
09:40	2080	2350	2215	25,7	42,9
10:00	3360	3750	3555	26,3	47,6
10:20	3680	3680	3680	26,8	49,8
10:40	4170	4250	4210	27,0	51,7

Výsledky poukazujú na nesúlad osvetlenosti v miestnosti s limitnými hodnotami. Preto je potrebné počas výučby používať umelé zdroje osvetlenia.

3.2 Meranie oxidu uhličitého, vlhkosti a teploty

Measurements of carbon dioxide concentration, relative humidity and temperature were performed discontinuously in twenty-minute intervals during a 90-minute exercise when there were 19 people in the classroom. Windows and doors were closed to indicate an increase of carbon dioxide concentration. The first measurement took place before the lecture began in an empty classroom. The instrument recorded the minimum and maximum carbon dioxide values in ppm units (Table 4).

Carbon dioxide greatly influences students' concentration and comfort. Table 5 shows the relationship between the CO₂ concentration and the organism's response for a given concentration.

Oxid uhličitý významnou mierou vplýva na sústredenosť a komfort študentov. Tabuľka 5 uvádza vzťah medzi koncentráciou CO₂ a odozvou organizmu pre danú koncentráciu.

Tab. 5 Effects of CO₂ on the organism depending on its concentration in the air

Tab. 5 Účinky CO₂ na organizmus v závislosti od jeho koncentrácie v ovzduší

CO ₂ in the air / CO ₂ vo vzduchu		Described effect on organism / Popis účinkov na organizmus
(ppm)	% (obj.)	
350 - 450	0,035 - 0,045	fresh air / čerstvý vzduch
600 - 1200	0,06 - 1,2	indoor air / izbový vzduch
>1000	> 0,1	fatigue and disturbance of concentration / únava a poruchy koncentrácie
1 200 - 2 000	1,2 – 2,0	feeling sleepy and tired / pocit ospalosti a únavy
3000	0,3	fatigue, drowsiness, deep breathing, hearing impairment and headache, increased blood pressure and pulse rate / únava, ospalosť, prehĺbené dýchanie, zhoršenie sluchu a bolesť hlavy, zvýšenie krvného tlaku a zrýchlenie pulzovej frekvencie
5 000	0,5	maximum average permissible exposure limit in working atmosphere / najvyššie prípustný expozičný limit priemerný v pracovnom ovzduší
10 000	1	accelerated breathing, hypoxia / zrýchlené dýchanie, hypoxia
40 000 – 50 000	4-5	respiratory rate is accelerating approximately four times, symptoms of poisoning and feeling of suffocation, acute hypercapnia / frekvencia dýchania je zrýchlená asi štvornásobne, príznaky otravy a pocit dusenia, akútna hyperkapnia
60 000 – 100 000	6 - 10	nausea, unconsciousness, death within a few minutes / nevoľnosť, bezvedomie, smrť v priebehu päť minút

Concentrations of about 0,1 % CO₂ in the air are found, for example, in a crowded lecture room with insufficient ventilation and causing drowsiness. Concentrations of more than 2 % may already show signs of chest pain, and breathing is getting worse. At a concentration of more than 5 %, CO₂ is directly toxic. The results highlighted the need for ventilation during teaching as well as the need to optimize the number of students relative to the classroom dimensions.

Measured temperature and relative air humidity values were compared with the optimum permissible microclimate conditions for the cold season and activity class (included

Koncentrácie okolo 0,1 % CO₂ vo vzduchu sú napríklad v zaplnenej prednáškovej miestnosti s nedostatočným vetraním a spôsobujú ospalosť. Pri koncentrácii viac ako 2 % sa môžu už vyskytnúť príznaky ako je ťažoba na hrudníku a začína sa prehlbovať dýchanie. Frekvencia dýchania sa zdvojnásobí pri koncentrácii 3 % a je štvornásobná pri koncentrácii CO₂ 5 %. Koncentrácie CO₂ okolo 5 % spôsobuje za 30 minút akútnu hyperkapniu, t.j. priamu intoxikáciu. Výsledky poukázali na potrebu vetrania aj počas výučby, ale aj na potrebu optimalizovať počet študentov vzhľadom na rozmery učebne.

in 1a) according to the Decree of the Ministry of Health of the Slovak Republic no. 544/2007 Coll. on details of the protection of health against heat and cold at work. The minimum room temperature measured during the classroom was 24,4 °C, i.e. it was within the permissible temperature range (18 – 26 °C). The maximum measured value during the lesson was 27 °C, that was higher than the maximum allowable temperature. The measurement showed that room temperatures did not meet the optimal temperature requirements for the cold season (20 – 24 °C) [23].

The minimum measured relative humidity in the classroom was 41.3 % and the maximum measured relative humidity in the classroom was 51.7%. Both measured values fall within the allowable relative humidity range for a cold period of the year.

3. 3 Questionnaire survey

A subjective method of evaluating the perception of the internal environment – questionnaire, was used. Respondents group included 15 students who had been taught and filled the questionnaire at the end of lesson. The questionnaire had 15 questions that clarify several areas of climate well-being in space during teaching and one open question. Respondents answered to individual questions according to the extent to which they agreed or disagreed on a 5-point Likert scale from yes, more yes, maybe, no more, no to no. The questionnaire was anonymous. The return rate of the completed questionnaires was 100%.

The aim was to determine the subjective attitude of students to the quality of the environment and to compare the perception of environmental factors with real values. The results of the questionnaire are in Table 6.

Namerané hodnoty teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu boli porovnané s optimálnymi prípustnými podmienkami mikroklimy pre chladné obdobie roka a triedy činnosti (zaradené do 1a) podľa Vyhlášky MZ SR č. 544/2007 Z. z. o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci. Minimálna nameraná teplota v miestnosti počas priebehu vyučovania bola 24,4 °C, t.j. nachádza sa v rozsahu prípustnej povolenej teploty (18 - 26 °C). Maximálna nameraná hodnota počas vyučovania bola 27 °C, táto hodnota prevyšuje najvyššiu prípustnú hodnotu povolenej teploty. Meranie preukázalo, že hodnoty teploty v učebni nespĺňajú optimálne požiadavky na teplotu pre chladné obdobie roka (20 – 24 °C) [23].

Minimálna nameraná hodnota relatívnej vlhkosti vzduchu v učebni bola 41,3 % a maximálna nameraná hodnota relatívnej vlhkosti vzduchu v učebni boli 51,7 %. Obe namerané hodnoty sú v rozsahu prípustnej relatívnej vlhkosti vzduchu pre chladné obdobie roka.

3. 3 Dotazníkový prieskum

Bola použitá aj subjektívna metóda hodnotenia vnímania vnútorného prostredia - dotazník. Respondentmi bolo 15 študentov, ktorí absolvovali výučbu. Dotazník im bol rozdáný na konci vyučovacej hodiny. Obsahoval 15 otázok, ktoré objasňujú viacero oblastí klimatickej pohody v priestore počas výučby a jednu otvorenú otázku. Respondenti odpovedali na jednotlivé otázky podľa toho, do akej miery s nimi súhlasili alebo nesúhlasili na 5 bodovej Likertovej stupnici od stupňa áno, viac áno, možno, viac nie, až po nie. Dotazník bol anonymný. Návratnosť vyplnených dotazníkov bola 100 %.

Cieľom bolo zistiť subjektívny postoj študentov na kvalitu prostredia a komparáciu vnímania faktorov prostredia s reálnymi hodnotami. Výsledky dotazníka sú v Tabuľke 6.

Tab. 6 Results of the questionnaire survey

Tab. 6 Výsledky dotazníkového prieskumu

Gender / Pohlavie		Women / Ženy	5	Men / Muži	10	
	Yes / Áno	More yes / Viac áno	Maybe / Možno	More no / Viac nie	No / Nie	
1.	Are you satisfied with the intensity of lighting in the classroom? / Vyhovuje Vám intenzita osvetlenia v učebni?	7	6	2	0	0
2.	Do you think the value of 500 lux is sufficient to teaching? / Myslíte si, že hodnota 500 lx je dostatočná na vyučovanie?	4	2	9	0	0
3.	Do you think that ventilation in this room is necessary before teaching? / Je podľa Vás vetranie pred výučbou v tejto miestnosti potrebné?	10	5	0	0	0
4.	Does ventilation hinder you during class? / Prekáža Vám vetranie počas vyučovania?	3	2	0	3	7
5.	Does background noise affect your concentration? / Má okolitý hluk vplyv na Vašu sústredenosť?	9	1	3	0	2
6.	In your opinion, is a noise value of 40 dB permissible for teaching? / Je podľa Vás hodnota 40 dB prípustná pre vyučovanie?	4	4	6	1	0
7.	Does high classroom temperature affect your concentration during the lesson? / Má vysoká teplota v učebni vplyv na Vašu sústredenosť počas vyučovacej hodiny?	12	3	0	0	0
8.	In your opinion, is the heating of classrooms during the winter period sufficient? / Je podľa Vás vykurovanie učebni počas zimného obdobia dostatočné?	10	1	1	1	2
9.	Do you think that humidity affects your breathing? / Myslíte si, že vlhkosť vzduchu vplýva na Vaše dýchanie?	11	2	1	1	0
10.	Does the classroom environment be dusty? / Považujete prostredie učebne za prašné?	1	3	2	5	4

Tab. 6 continue

Tab. 6 pokračovanie

Gender / Pohlavie		Women / Ženy	5	Men / Muži	10	
	Yes / Áno	More yes / Viac áno	Maybe / Možno	More no / Viac nie	No / Nie	
11.	Does dust in your classroom cause breathing difficulties? / Spôsobuje u Vás prach v učebni ťažkosti s dýchaním?	3	0	4	4	4
12.	Do you think that higher CO ₂ values affect your study results, e.g. in handwriting? / Myslíte si, že vyššie hodnoty CO ₂ vplývajú na Vaše študijné výsledky napr. pri písomkách?	5	2	6	0	2
13.	Do you think that high CO ₂ values cause fatigue? / Myslíte si, že vysoké hodnoty CO ₂ spôsobujú únavu?	11	2	2	0	0
14.	In your opinion, does the value of CO ₂ increase with the number of students in the classroom? / Zvyšuje sa podľa Vás hodnota CO ₂ s počtom študentov v učebni?	10	2	3	0	0
15.	In your opinion, does the value of 2000 ppm (CO ₂) have a negative impact on concentration? / Má podľa Vás hodnota 2000 ppm (CO ₂) negatívny dopad na sústredenosť?	6	1	8	0	0
16.	Suggest measures to increase student comfort during lessons / Navrhните opatrenia na zvýšenie komfortu študentov počas výučby					

Results obtained from the output of measuring instruments and calculations from the questionnaire, we found that students mostly attribute significant factors to environmental factors, but do not know the possibilities of improving the indoor environment, because the open question was recommended measures such as more frequent opening windows and doors.. Only two responses were directed to the installation of the building's recuperation system.

13,3% of students answered "maybe" to the importance of lighting in the teaching process. however, even in answer to a control question about the knowledge of lighting in the

Spracovaním výsledkov získaných výstupom z meracích prístrojov a výpočtov z dotazníka sme zistili, že študenti zväčša faktorom prostredia pripisujú významnú mieru, avšak nepoznajú možnosti zlepšenia vnútorného prostredia, pretože v otvorenej otázke boli odporúčacie opatrenia, ako napríklad častejšie vetranie oknami a dverami. Iba dve odpovede boli smerované k inštalácii rekuperačného systému budovy.

13,3 % študentov odpovedalo „možno“ na významnosť osvetlenia pri výučbovom procese. Rovnako aj v odpovedi na kontrolnú otázku o znalosti osvetlenosti na pracovnom mieste pri

workplace in visually demanding work, up to 60 % of students expressed themselves vaguely on the set limit.

53,3% of respondents could not comment on the value of 2000 ppm and the relationship between CO₂ concentration and psychological work. The Slovak legislation does not exhaustively determine the CO₂ limit value for the living environment of buildings. Therefore, the limit value for the concentration of carbon dioxide of 1000 ppm, introduced by Max Joseph von Pettenkofer, a pioneer of modern hygiene and the environment, is used in the interior [22]. From this value, the maximum amount of ventilated air of 25 m³ · h⁻¹ per person in the interior was derived [24]. CO₂ is not toxic, but it has been experimentally shown that even without a decrease in oxygen concentration, CO₂ has a systemic toxic effect. Hemoglobin transports oxygen and CO₂ at the same time, but by different mechanisms. CO₂ is a mediator of autoregulation of blood supply in tissues, its increase causes vasodilation, improves perfusion in tissues [25].

4. Conclusions

The measurement results showed that, except of the relative air humidity, none of the parameters met the required values for optimal or permissible values. Improvement of the lighting can be reached by using artificial lighting, regular cleaning of illumination holes and cleaning of lighting systems. The problem is that the classroom is situated on the northern side and in a close distance of about 5 meters to the next building, so the room is shaded.

The most critical value was the carbon dioxide concentration (the maximum value was 4250 ppm), as the windows and the door were closed during the classroom and the classroom was not equipped with any artificial ventilation system. In CO₂ surveys in California and Texas schoolrooms [26], average CO₂ concentrations above 1000 ppm were measured, many exceeded 2000 ppm, and in 21 % of Texas classes the maximum CO₂ concentration was over 3000 ppm. Such high CO₂ values could have a particularly adverse effect on the concentration.

In general, if many people gather in the room, CO₂ is rapidly increasing and contributes to poor air quality and pollution, in conference

zrakovo náročných prácach až 60 % študentov sa vyjadrilo neurčito na stanovený limit.

Až 53,3 % respondentov sa nevedelo vyjadriť k hodnote 2000 ppm CO₂ a vzťahu koncentrácie CO₂ na psychickú prácu. V slovenskej legislatíve nie je taxatívne určená limitná hodnota CO₂ pre obytné prostredie budov. V interiéri používa limitná hodnota koncentrácie oxidu uhličitého 1 000 ppm, zavedená Max Josephom von Pettenkoferom, priekopníkom modernej hygieny a environmentu [22]. Z tejto hodnoty bolo odvodené maximálne množstvo vetraného vzduchu 25 m³ · hod⁻¹ na osobu v interiéri [24]. CO₂ nie je toxický, ale experimentálne bolo dokázané, že aj bez poklesu koncentrácie kyslíka má CO₂ systémový toxický efekt. Hemoglobín prenáša kyslík aj CO₂ zároveň, ale rôznymi mechanizmami. CO₂ je mediátor autoregulácie krvného zásobenia v tkanivách, jeho zvýšenie spôsobí vazodilatáciu, zlepši perúziu v tkanivách [25].

4. Záver

Výsledky meraní preukázali, že okrem relatívnej vlhkosti vzduchu ani jeden z parametrov nespĺňali požadované hodnoty určené pre optimálne alebo prípustné hodnoty. Zlepšiť osvetlenie je možné použitím umelého osvetlenia, pravidelným čistením osvetľovacích otvorov a čistením osvetľovacích sústav. Problémom je, že učebňa je situovaná oknami na severnú stranu a v blízkej vzdialenosti cca 5 metrov ju tieni ďalšia budova.

Najkritickejšou hodnotou bola koncentrácia oxidu uhličitého (maximálna hodnota dosiahla 4250 ppm), pretože počas výučby boli zatvorené okná aj dvere a učebňa nie je vybavená žiadnym umelým vetracím systémom. V prieskumoch o koncentráciách CO₂ v školských učebniach v Kalifornii a Texase [26] boli namerané priemerné koncentrácie CO₂ vyššie ako 1000 ppm, mnohé prekročili 2000 ppm a v 21 % texaských tried bola maximálna koncentrácia CO₂ vyššia ako 3000 ppm. Takéto vysoké hodnoty CO₂ by mohli mať obzvlášť nepriaznivý vplyv na koncentráciu žiakov.

Všeobecne platí, že ak sa zhromaždí veľký počet ľudí v miestnosti, CO₂ sa rýchlo zvýši a prispieva k zlej kvalite ovzdušia a k jeho

rooms where more staff are in a longer time in confined spaces. Other places like gyms, shopping centers, cafes, bars, libraries are increasingly recognized as an indoor environment with higher CO₂ that would be suitable to monitor by detectors. A recommended recovery system would be implemented in the reconstructed classroom to ensure a sufficient air supply and maintenance of a lower concentration of carbon dioxide, including sensors, for early detection of dangerous concentrations. At present, the recommendation is to regularly ventilate the room during the lessons.

Classroom temperature has risen and exceeded the acceptable values for the cold period of the year for a particular class of work (1a). Improvement would be to install a thermoregulation on the heaters in the classroom to avoid overheating.

The subjective views and attitudes that emerged from the questionnaire proved only partial consistency with the results achieved. Respondents' susceptibility to adverse effects is significant, whilst the real results as well as the questionnaires answers confirmed that the alarming factor is air quality in a non-ventilated room. However, it can be stated that the questionnaire has shown that students do not know the limit values of the environment parameters in which they work.

Acknowledgements

The article was supported by the Grant Agency Ministry of Education SR KEGA – project No. 014UKF-4/2016 Innovative educational e-modules of work safety in dual education and project No. 012UKF-4/2020 Electronic educational modules for measuring work environment factors.

znečisteniu, napr. v zasadacích miestnostiach, kde sa stretáva viac zamestnancov na dlhší čas v obmedzených priestoroch. Aj ostatné miesta, ako sú telocvične, nákupné centrá, kaviarne, bary, knižnice sa čoraz častejšie uznávajú ako vnútorné prostredie s vyšším CO₂, ktoré by bolo vhodné monitorovať detektormi. Odporúčajúcim záverom je v rámci rekonštrukcie učebne namontovať vhodný rekuperačný systém zabezpečujúci jednak dostatočný prísun vzduchu a udržanie nižšej koncentrácie oxidu uhličitého vrátane senzorov na včasné rozpoznanie nebezpečnej koncentrácie. V súčasnosti je odporúčaním návrhom pravidelné vetranie miestnosti aj počas výučby.

Teplota v učebni narastala a presiahla prípustné hodnoty pre chladné obdobie roka pre príslušnú triedu práce. Zlepšením by bola inštalácia termoregulácie na vykurovacie telesá v učebni, aby sa predišlo k nadmernému prehrievaniu priestorov.

Subjektívne názory a postoje, ktoré nám vyplynuli z dotazníka dokázali čiastočnú zhodu s dosiahnutými výsledkami. Vnímavosť respondentov na nepriaznivo pôsobiace faktory je značná, pričom rovnako ako reálne výsledky aj dotazníkom bolo potvrdené, že alarmujúcim faktorom je kvalita ovzdušia v nevetranej miestnosti. Možno však konštatovať, že dotazníkom bolo preukázané, že študenti nepoznajú limitné hodnoty parametrov prostredia, v ktorom pracujú.

Pod'akovanie

Článok vznikol z podpory projektov KEGA MŠVVaŠ SR č. 014UKF-4/2016 Inovatívne vzdelávacie e-moduly bezpečnosti práce v duálnom vzdelávaní a projektu č. 012UKF-4/2020 Elektronické vzdelávacie moduly pre meranie faktorov pracovného prostredia.

References / Literatúra

- [1] Sessa, R., Di, P. M., Schiavoni, G., Santino, I., Altieri, A., Pinelli, S., & Del, P. M. "Microbiological indoor air quality in healthy buildings". *The new microbiologica*, 25(1), 51-56.
- [2] Heath, G. A., & Mendell, M. J. "Do indoor environments in schools influence student performance? " A review of the literature. In *A Compilation of Papers for the Indoor Air 2002 Conference In Memory of Joan M. Daisey* (Vol. 20).
- [3] Köster, H. "*Dynamika denního osvětlení*". Grada Publishing as.2010.
- [4] Popovičová, A. "Látky nežiaduce vo vnútornom prostredí. Zdroje a faktory ovplyvňujúce ich množstvo a zloženie". *Chem. Listy* 92, pp. 799-806. 1998.
- [5] ASHRAE: "Handbook – Fundamentals". Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. Chapter 9, p. 14. 2009.
- [6] Frič, L., Sýkorová, I., Velísková, E., & Rubinová, O. "Quantitative Microbiological Aspects of the Indoor Environment". *Applied Mechanics and Materials*, 824, p. 251. 2016.
- [7] Bettinger, E. P. "The effect of charter schools on charter students and public schools". *Economics of Education Review*, 24(2), 133-147. A.A. Author, "Journal/Conference Article Title," Periodical Title, vol. Volume, no. Issue, pp.-pp., Publication Year. 2005.
- [8] Reijula, K., & Sundman-Digert, C. "Assessment of indoor air problems at work with a questionnaire". *Occupational and environmental medicine*, 61(1), 33-38. 2004.
- [9] World Health Organisation. "*Indoor air quality research*". EURO reports and studies, no. 103. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 1986.
- [10] Záhorec, J., Hašková, A. Bílek, M. "Impact of multimedia assisted teaching on student attitudes to science subjects". *JOURNAL OF BALTIC SCIENCE EDUCATION*. Vol. 13, no. 3, p. 361-380. 2014.
- [11] Csobod, E. et al. SINPHONIE: "*Schools Indoor Pollution & Health Observatory Network in Europe. Final Report*". Luxembourg: Publications Office of the European Union (<http://www.sinphonie.eu/sites/default/files/ExecutiveSummary/lbna26738enn.pdf>, accessed 23 March 2015).
- [12] Pollution, S. I. "Health-SINPHONIE project". 2012.
- [13] Tureková, I. et al. "Evaluation of Microclimate Conditions in Classroom during Learning Process". SGEM 2016. STEF92 Technology, p. 491-498. 2016.
- [14] Tureková, I., Lukáčová, D., Bánesz, G. "*Monitoring of lighting in a school classroom*". WOS 2017. Prague, pp. 339-344, 2017.
- [15] Hroncová, E.: "Small Particles in the Air Pose High Health Risks". *Životné prostredie*, , 51 (3), pp. 131 – 137, 2017.
- [16] Dennekamp, M., Mehenni, O., Cherrie, J. W., Seaton, A. "Exposure to Ultrafine Particles and PM2.5 in Different Micro-Environments". *Annals of Occupational Hygiene*, 46, Supplement 1, pp. 412 – 414. 2002.
- [17] MARKOVÁ, I., OČKAJOVÁ, A. "*Hodnotenie rizika drevných prachov v pracovnom a životnom prostredí*". Belianum, UMB Banská Bystrica, 124 p. 2018.
- [18] STN EN 16798 – 3. "Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems". 2017.
- [19] Lumnitzer, E. et al. "*Implementation of simulation procedures for calculating the spread of solid particles into the teaching process*". ICETA 2014 : 12th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications. pp. 295-297. 2014.
- [20] Lumnitzer, E. et al. Hodnotenie vplyvov fyzikálnych faktorov na zdravie človeka. Košice, 159 p. 2014.

- [21] STN EN 12464-1. "Light and lighting. Lighting of work places". Part 1: Indoor work places. 2012.
- [22] Fanger PO. What is IAQ?. *Indoor Air*. 16:328-34. 2006.
- [23] Vyhláška MZ SR č. 544/2007 Z. z. o podrobnostiach o ochrane zdravia pred záťažou teplom a chladom pri práci
- [24] Jones, B. Metrics of Health Risks from Indoor Air. *The REHVA European HVAC Journal*, 54, 39-44. 2017.
- [25] Allab, Y. et al. Energy and comfort assessment in educational building: Case study in a French university campus. *Energy and Buildings*, 143, pp. 202-219. 2017.
- [26] Corsi, R.L., Torres, V.M., Sanders, M. and Kinney, K.L. "Carbon dioxide levels and dynamics in elementary schools: results of the TESIAs Study". In: *Proceedings of Indoor Air '02: Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*, Vol. 2, pp. 74-79. 2004.

Guide to Authors

The Authors guarantee that the paper is original and fully in correspondence with the scope of the *ΔDelta* journal. They are also responsible for the language, terminological and metrological consistency of their papers. Both American and British usage is accepted, but not a mixture of these.

The **Corresponding author** must be familiar with the *ΔDelta* journal's publication ethics. He is solely responsible for communication with the journal and managing communication between the co-authors.

The scientific papers are reviewed by a minimum of two reviewers.

All papers are subject to proof-reading. The editors will require authors to modify the text in the light of the recommendations made by reviewers and they reserve the right to suggest text improvements.

Paper submitting

The Authors should upload their submission directly to the *ΔDelta* journal editorial system website. To submit your paper, use the following link: <http://194.160.170.33/index.php/delta>

Paper text formatting

The papers submitted shall consist of no more than 10 A4 sheets including both language mutation of the paper, tables and figures. To write your paper, use the Delta journal paper template. Longer papers should be separated to two or more parts.

Proof-reading process

Before publishing, the paper will be sent to the author for revisions accepting all the reviewer's requirements and recommendations. The revised paper, together with the list of corrections made and the subscribed form for the transfer of copyrights from the author to the publisher, should be sent back to the Editor's Office in specified time.

Offprints

Corresponding author will receive 1 print copy of the journal on request. The electronic form of the journal is published at the journal website.

Pokyny pre autorov

Autori zodpovedajú za originalnosť článku a jeho súlad so zameraním časopisu *ΔDelta*. Autori sú zodpovední aj za jazykovú, terminologickú a metrologickú konzistenciu svojich článkov. Akceptovaná je britská aj americká angličtina, avšak nie ich kombinácia..

Korešpondujúci autor je povinný oboznámiť sa s etikou publikovania časopisu u *ΔDelta*. Je výhradne zodpovedný za komunikáciu s časopisom a so spoluautormi.

Vedecké články sú recenzované minimálne dvomi recenzentmi.

Všetky články podliehajú dodatočným úpravám. Redakcia od autorov vyžaduje, aby upravili text na základe odporúčaní recenzentov a vyhradzuje si právo navrhovať vylepšenie textu.

Podanie článku

Autori nahrávajú svoje príspevky priamo na webovú stránku redakčného systému časopisu *ΔDelta*. Pre podanie článku použite nasledovný link: <http://194.160.170.33/index.php/delta>.

Formátovanie textu článku

Rozsah článku je najviac 10 strán, a to vrátane oboch jazykových mutácií článku (anglický jazyk a materinský jazyk prvého autora), tabuliek a obrázkov. Pre písanie článku použite šablónu pre písanie príspevkov časopisu *ΔDelta*. Dlhšie príspevky je potrebné rozdeliť na dve alebo viac pokračujúcich častí.

Ďalšie úpravy článku

Príspevok bude pred zverejnením zaslaný autorovi na kontrolu a opravu v zmysle požiadaviek recenzentov. Opravený príspevok, spolu so zoznamom (popisom) vykonaných opráv a vyplneným a podpísaným formulárom obsahujúcim súhlas s prevodom autorských práv od autora na vydavateľa, je potrebné poslať späť do redakcie v stanovenom termíne.

Autorské výtlačky

Korešpondujúci autor obdrží na požiadanie jednu tlačenú kópiu časopisu. Elektronická forma časopisu je zverejnená na webovej stránke časopisu.

