

# Evaluation of Selected Coniferous and Deciduous Trees Species after Radiant Heat Loading by the Method of Mass Loss

## Hodnotenie vybraných ihličnatých a listnatých drevín po zaťažení sálavým tepelným zdrojom metódou hmotnostného úbytku

Elena Kmeťová <sup>1\*</sup>, Iveta Mitterová <sup>1</sup>, Danica Kačíková <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Technical University in Zvolen, Faculty of Wood Sciences and Technology, Department of Fire Protection, T. G. Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia; email: [xkmetovae@is.tuzvo.sk](mailto:xkmetovae@is.tuzvo.sk), [iveta.mitterova@tuzvo.sk](mailto:iveta.mitterova@tuzvo.sk), [kacikova@tuzvo.sk](mailto:kacikova@tuzvo.sk)

\* Corresponding author: [xkmetovae@is.tuzvo.sk](mailto:xkmetovae@is.tuzvo.sk)

*Original scientific paper*

*Received: September 18, 2020; Accepted: October 02, 2020; Published: December 31, 2020*

### Abstract

The article focuses on the comparison of thermal resistance of selected deciduous and coniferous tree species, specifically spruce (*Picea abies* (L.) Karst.), pine (*Pinus sylvestris* L.), fir (*Abies alba* Mill.) and oak (*Quercus petraea* (Matusch.) Liebl.). The samples were examined using a non-standard test method - a radiant heat source test which is used to determine the mass loss and ignition time of the tested samples. The experiments were performed under laboratory conditions on wood samples measuring 50 mm × 40 mm × 10 mm. Based on the results according to the mentioned test method, it can be stated that in the case of samples of selected coniferous trees there were no significant differences in terms of assessed evaluation criteria - mass loss, ignition time, burning rate. Significant differences were recorded by oak wood, which achieved significantly better results in all evaluation criteria. The prerequisite for achieving better results of oak wood was its higher density compared to the density of coniferous trees.

**Keywords:** spruce; pine; fir; oak; ignition time; burning rate; radiant heat

### 1 Introduction

Currently, the choice of building material is influenced by many factors. In addition to good physical and mechanical properties, the impact on environment is also a very important factor [1]. Wood is one of the most sustainable, aesthetically pleasing and environmentally friendly materials [2]. It is one of the most important natural materials, thanks to which it is used many areas, especially in the construction industry, in the manufacture of furniture, musical instruments and the like [3]. Wood is a material that is characterized by a relatively inhomogeneous anisotropic structure and consists of a complex of

### 1 Úvod

V súčasnosti ovplyvňuje výber stavebných materiálov veľa faktorov. Okrem dobrých fyzikálnych a mechanických vlastností je veľmi dôležitým faktorom aj vplyv na životné prostredie [1]. Drevo je jedným z najudržateľnejších, esteticky pôsobivých a ekologicky nezávadných materiálov [2]. Je jedným z najdôležitejších prírodných materiálov, vďaka čomu nachádza uplatnenie v mnohých oblastiach dnešného moderného sveta. Používa sa v mnohých oblastiach, predovšetkým v stavebnom priemysle, pri výrobe nábytku, hudobných nástrojov a podobne [3]. Drevo je materiál, ktorý sa

macromolecular substances (cellulose, hemicelluloses, lignin and extractives). It has sufficient strength, flexibility, good thermal insulation and acoustic properties [4]. Bergman [5] in his work provides a broader view of the structure of wood from an engineering and architectural point of view. The structure of different polymers can be significantly different. Conifers have a different structure compared to deciduous trees and also hard and soft trees. Hardwoods are deciduous trees and softwoods are conifers [2].

Spruce, pine, fir and oak wood is an important industrial raw material. Spruce wood has the widest use of all woods, it is soft, well split and light. It is our most important raw material for sawmill processing. Its most significant use is in the form of lumber, especially for above-ground buildings. It is used for the production of roof structures of residential, commercial, but also special buildings. It is a proven semi-finished product for the production of construction and carpentry products. Spruce lumber is used in the manufacture of furniture and is an important raw material for the production of structural veneers for the production of plywood and all kinds of agglomerated materials, such as particle board, including oriented strand board, fiberboard of various densities [6].

Fir wood has a similar use as spruce. It is durable under water and easily split. The higher occurrence of lumps in fir lumber partially limits its industrial use and increases its use in the form of construction lumber. Alternatively, fir wood can also be found in roof constructions and in construction and carpentry products. It is significantly used for the production of frame constructions, panels of wooden constructions and in the original cylindrical shape for the production of log wooden constructions. Quality fir planks characterized by a distinctive texture and a large proportion of healthy lumps can be found applied in rustic furniture [6].

Pine wood is used in construction, in the manufacture of auxiliary and final structures, in the production of frame structures of prefabricated wooden buildings. In the original cylindrical shape, demanding constructions of

vyznačuje relatívne nehomogénnou anizotropnou štruktúrou a pozostáva z komplexu makromolekulárnych látok (celulóza, hemicelulózy, lignín a extraktívne látky). Má dostatočnú pevnosť, pružnosť, dobré tepelnoizolačné a akustické vlastnosti [4]. Bergman [5] vo svojej práci poskytuje širší pohľad na štruktúru dreva z inžinierskeho a architektonického hľadiska. Štruktúra rôznych polymérov môže byť výrazne odlišná. Rozdielnu štruktúru majú ihličnaté dreviny v porovnaní s listnatými drevinami a taktiež tvrdé a mäkké dreviny. Tvrdé dreviny sú listnaté dreviny a mäkké dreviny sú ihličnaté dreviny [2].

Smrekové, borovicové, jedľové aj dubové drevo je významnou priemyselnou surovinou. Smrekové drevo má zo všetkých drevín najširšie uplatnenie, je mäkké, dobre štiepatel'né a ľahké. Je to naša najdôležitejšia surovina pre pilárske spracovanie. Jeho najvýznamnejšie využitie je vo forme stavebného reziva predovšetkým pre nadzemné stavby. Používa sa pre výrobu strešných konštrukcií obytných, hospodárskych, ale i špeciálnych budov. Je osvedčeným polotovarom pre výrobu produktov stavebno-stolárskej výroby. Smrekové rezivo sa používa na výrobu nábytku a je významnou surovinou pre výrobu konštrukčných dýh na výrobu preglejok a všetkých druhov aglomerovaných materiálov, ako sú drevotrieskové dosky, vrátane dosák z orientovaných triesok, drevovláknité dosky rôznej hustoty [6].

Jedľové drevo má podobné použitie ako smrekové. Je trvanlivé pod vodou a ľahko sa štiepa. Väčší výskyt hrč v jedľovom rezive limituje čiastočne jeho priemyselné využitie a zväčšuje jeho využitie formou stavebného reziva. Drevo z jedle alternatívne nachádzame aj v strešných konštrukciách a v stavebno-stolárskych výrobkoch. Významne sa používa na výrobu rámových konštrukcií, panelov drevostavieb a v pôvodnom valcovitom tvare na výrobu zrubových drevostavieb. Kvalitné jedľové prírezy vyznačujúce sa výraznou textúrou a veľkým podielom zdravých hrč nájdeme aplikované v rustikálnom nábytku [6].

Borovicové drevo je využívané v stavebníctve, pri zhotovovaní pomocných, ale i finálnych konštrukcií, pri výrobe rámových konštrukcií panelových drevostavieb.

log buildings are also created from this wood. It is a traditional interior material and it follows that in addition to construction veneers and subsequently plywood, decorative veneers are also used from it, which are applied in the production of interior tiles. Bluing of pine wood, as well as healthy lumps, are features sought after in furniture production in the production of seating, table, cabinet, but also bed furniture [6].

Oak wood is also an important raw material for the needs of the furniture industry, the production of large-area materials, expensive interior products such as stairs, railings and floors, and various other construction and carpentry products. Due to its hardness, toughness, strength and durability, oak wood can also be found in special building constructions, in sports products and in products for vehicles. Its special feature is its relationship to moisture and water and the resulting durability. Water-soaked oak wood hardens and darkens [6].

In addition to the mentioned positive properties, wood also has disadvantageous properties, of which we can mention low resistance to biotic and abiotic factors (fungi, molds, rot, flammability) [7]. The flammability of wood is one of the important facts that may hinder its wider applicability in areas prone to fire. The latter fact results mainly from the relatively easy ignition of wooden elements [8]. Heating causes thermal degradation and combustion of wood, which produces gases, vapors, tars and soot [2]. For a correct and complete understanding of fire protection of wood, it is important to know the mechanism of action of thermal energy (fire) on the surface of wood and the changes taking place in it, as well as the effects of combustion processes [7]. Wood burning is generally a very complex physico-chemical process in which the individual components of wood are thermally decomposed and its chemical composition is changed [9]. For this reason, in addition to mechanical [7], physical and structural changes [10], it is necessary to monitor the chemical changes that occur during the thermal loading of wood [11] and thus contribute to solving the issue of its protection. For this purpose, various

V pôvodnom valcovitom tvare sa z tohto dreva vytvárajú aj náročné konštrukcie zrubových stavieb. Je tradičným interiérovým materiálom a z toho vyplýva, že sa z neho vyrábajú okrem konštrukčných dýh a následne preglejok aj dyhy dekoračné, ktoré sa aplikujú pri výrobe interiérových obkladov. Zmodranie borovicového dreva, ako aj hrče zdravé, sú znaky vyhľadávané v nábytkárskej výrobe pri výrobe sedacieho, stolového, skrinkového, ale aj lôžkového nábytku [6].

Dubové drevo je taktiež významnou surovinou pre potreby nábytkárskeho priemyslu, výrobu veľkoplošných materiálov, drahých interiérových výrobkov, ako sú schodiská, zábradlia a podlahy a rôznych iných stavebno-stolárskych výrobkov. Drevo z duba práve kvôli jeho tvrdosti, húževnatosti, pevnosti a trvanlivosti nájdeme tiež v špeciálnych stavebných konštrukciách, v športových výrobkoch, vo výrobkoch pre dopravné prostriedky. Jeho osobitnou vlastnosťou je jeho vzťah k vlhkosti a k vode a z toho vyplývajúca trvanlivosť. Dubové drevo zmáčané vodou ešte stvrdne a stmavne [6].

Okrem spomínaných pozitívnych vlastností má drevo aj nevýhodné vlastnosti, z ktorým môžeme spomenúť malú odolnosť voči biotickým a abiotickým činiteľom (huby, plesne, hniloba, horľavosť) [7]. Horľavosť dreva je jedným z dôležitých faktov, ktorý môže brániť jeho širšej uplatniteľnosti. v oblastiach náchylných na požiar. Posledný uvedený fakt vyplýva predovšetkým z relatívne ľahkého zapálenia drevných prvkov [8]. Pri zahrievaní dochádza k tepelnej degradácii a spaľovaniu dreva, pri ktorom sa vytvárajú plyny, pary, dechty a sadze [2]. Pre správne a úplné pochopenie protipožiarnej ochrany dreva je dôležité poznať mechanizmus pôsobenia tepelnej energie (ohňa) na povrch dreva a zmeny v ňom prebiehajúce, ako aj vplyvy spaľovacích procesov [7]. Spaľovanie dreva je všeobecne veľmi zložitý fyzikálno-chemický proces, pri ktorom dochádza k tepelnému rozkladu jednotlivých zložiek dreva a k zmene jeho chemického zloženia [9]. Z tohto dôvodu je potrebné aby sa okrem mechanických [7], fyzikálnych a štruktúrnych zmien [10] sledovali aj chemické zmeny, ku ktorým dochádza pri tepelnom zaťažení dreva [11] a tak

test methods are used, for example methods of thermal analysis or other methods for evaluating the thermal resistance of wood. The results of such tests often depend very much on various parameters, including temperature, heating rate and sample size. The use of wood is therefore limited by various safety requirements and regulations regarding its flammability and fire propagation characteristics [2].

One of the important methods for evaluating thermal resistance is the method of mass loss. According to several authors [12, 13, 14], the mass loss under thermal loading depends on the type of wood, the environment, the temperature and the heating time. However, the published data are difficult to compare because different evaluation conditions were used in individual experiments (eg time, temperature, wood species, initial humidity, etc.) [15].

The evaluation of the thermal resistance of different types of wood by mass loss has been discussed by several authors [16, 17, 18], who also confirmed in their experiments that mass loss depends on the type of wood, its density, humidity, porosity and chemical composition. In their work, they stated that the higher the density of wood, the slower the burning, and thus the rate of mass loss is lower. Denser material consumes more energy for ignition and combustion.

The aim of the paper is an experimental comparison of the thermal resistance of selected coniferous and deciduous trees using a non-standard test method - tests by a radiant heat source. The evaluation criteria were mass loss, ignition time and relative burning rate of the tested wood.

## 2 Material and methods

For the experiment, carried out in laboratory conditions, we subjected samples of spruce and fir originating from a 120 year old stand at an altitude of 800 m above sea level, samples of oak and pine from a 110 year old stand growing at an altitude of 320 m above sea level. For the purposes of the experiment, the test samples were sawn from the trunk part of the tree to the dimensions 50 mm × 40 mm × 10 mm, the surface of the samples was treated with planing and samples without anatomical and other defects were selected for evaluation (Fig. 1). 5 test specimens were prepared from each tree.

prispievať k riešeniu otázky jeho ochrany. Za týmto účelom sa používajú rôzne testovacie metódy, napríklad metódy termickej analýzy, respektíve ďalšie metódy hodnotiace termickú odolnosť dreva. Výsledky takýchto testov často veľmi závisia od rôznych parametrov vrátane teploty, rýchlosti zahrievania a veľkosti tvaru vzorky. Používanie dreva je preto obmedzené rôznymi bezpečnostnými požiadavkami a predpismi týkajúcimi sa jeho horľavosti a charakteristik šírenia požiaru [2].

Jednou z významných metodík na hodnotenie termickej odolnosti je metóda hmotnostného úbytku. Podľa viacerých autorov [12, 13, 14] hmotnostný úbytok pri termickom zaťažení závisí od druhu dreveniny, prostredia, teploty a času ohrevu. Publikované údaje je však problematické porovnávať, pretože v jednotlivých experimentoch boli použité rôzne podmienky hodnotenia (napr. čas, teplota, druh dreveniny, počiatková vlhkosť ap.) [15].

Hodnotením termickej odolnosti rôznych druhov drevín prostredníctvom hmotnostného úbytku sa zaoberali viacerí autori [16, 17, 18], ktorí svojimi experimentami tiež potvrdili, že úbytok hmotnosti závisí od druhu dreva, jeho hustoty, vlhkosti, pórovitosti a chemického zloženia. Vo svojich prácach konštatovali, že čím je vyššia hustota dreva, tým odhorovanie prebieha pomalšie, a teda aj rýchlosť hmotnostného úbytku je nižšia. Hustejší materiál spotrebuje viac energie na zapálenie a horenie.

Cieľom príspevku je experimentálne porovnanie termickej odolnosti vybraných ihličnatých a listnatých drevín prostredníctvom nenormovej testovacej metódy – skúšky sálavým tepelným zdrojom. Hodnotiacimi kritériami boli úbytok hmotnosti, čas zapálenia a relatívna rýchlosť odhorovania testovaných drevín.

## 2 Materiál a metódy

Experimentu, realizovanému v laboratórnych podmienkach, sme podrobili vzorky smreka obyčajného a jedle bielej pochádzajúcich zo 120 ročného porastu v nadmorskej výške 800 m.n.m., vzorky dubu zimného a borovice lesnej zo 110 ročného porastu rastúceho v nadmorskej výške 320 m.n.m. Skúšobné vzorky boli pre potreby experimentu napílené z kmeňovej časti stromu na rozmery 50 mm × 40 mm × 10 mm, povrch

The humidity of the samples was determined by the gravimetric method, according to STN 49 0103: 1979 [19]. Density was determined as the ratio of weight and volume of wood at the same humidity on the basis of STN 49 0108: 1993 [20].

vzoriek bol upravený hobl'ovaním a pre hodnotenie boli vybraté vzorky bez anatomických a iných chýb (obr. 1). Z každej dreviny bolo pripravených 5 skúšobných telies. Vlhkosť vzoriek bola stanovená gravimetrickou metódou, podľa STN 49 0103: 1979 [19]. Hustota bola stanovená ako podiel hmotnosti a objemu dreva pri tej istej vlhkosti na základe STN 49 0108: 1993 [20].



**Fig 1.** Photodocumentation of samples for the radiant heat source test (BO – pine, SM – spruce, JE – fir, DB – oak)

**Obr. 1** Fotodokumentácia vzoriek pre skúšku sálavým tepelným zdrojom (BO – borovica, SM – smrek, JE – jedľa, DB – dub)

The radiant heat source test is a non-standard test method used in model combustion tests. Said method makes it possible to measure the mass loss of the material under radiant heat loading. The experiment consists in exposing the test specimens to the effect of a thermal infrared heater with different heat output for a certain time, at different distances from the surface of the radiating body and its evaluation criteria is relative mass loss, but also ignition time of samples and relative burning rate [21].

The ceramic infrared heater is of the F.T.E. (Full trough element), which produces long-wave infrared radiation, works at a temperature of 300 to 750 ° C. Its resistance spiral is encapsulated in a ceramic body, which is then glazed as protection against the ingress of moisture and also protects the radiator from atmospheric and corrosive influences.

For our experiment, we used a ceramic thermal infrared heater with a power of 1000 W, its duration of action was 600 seconds and the samples were 30 mm away from the surface of the radiating body. Using a Radwag PS 3500. R2 electronic scales, on which the samples were placed, the mass loss was recorded every 10 s (using the RLAB program) and any ignition of the samples was visually monitored,

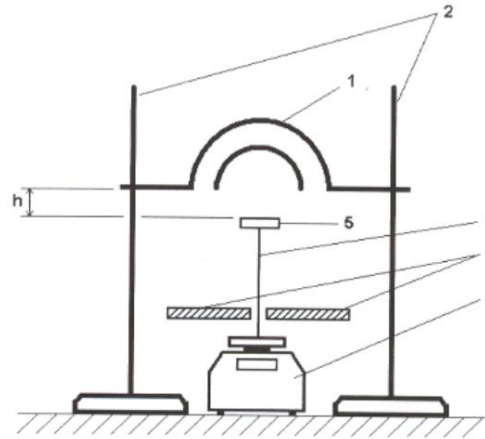
Skúška sálavým tepelným zdrojom je nenormová testovacia metóda, ktorá sa používa pri modelových testoch horenia. Uvedená metóda umožňuje merať hmotnostný úbytok materiálu pri zaťažení sálavým teplom. Experiment spočíva vo vystavení skúšobných telies účinku tepelného infražiariča s rôznym tepelným výkonom za určitý čas, v rôznej vzdialenosti od povrchu žiariaceho telesa a jeho hodnotiacim kritériom je relatívny úbytok hmotnosti, ale aj čas zapálenia vzoriek a relatívna rýchlosť odhorievania [21].

Keramický infražiarič je typu F.T.E. (Full trough element - plný zaoblený element), ktorý vytvára dlhovlnné infračervené žiarenie pracuje pri teplote od 300 do 750 °C. Jeho odporová špirála je zaliata do keramického tela, ktoré je následne glazované ako ochrana proti vniknutiu vlhkosti a tiež chráni žiarič pred atmosférickým a korozívnym vplyvom.

Pre náš experiment sme použili keramický tepelný infražiarič s výkonom 1000 W, doba jeho pôsobenia bola 600 sekúnd a vzorky boli od povrchu žiariaceho telesa vzdialené 30 mm. Prostredníctvom elektronických váh Radwag PS 3500. R2 od firmy Radwag, na ktorých boli vzorky položené, bol každých 10 s zaznamenávaný úbytok hmotnosti (pomocou programu RLAB) a vizuálne sa sledovalo prípadné vznietenie vzoriek, s vykonaním

with a time record if this phenomenon occurred. A schematic representation of the device is shown in fig. 2.

časového záznamu, ak uvedený jav nastal. Schematické znázornenie zariadenia je na obr. 2.



**Fig 2.** Testing apparatus for evaluation of mass loss [21]

(1 – infrared heater, 2 – metal stands, 3 – scales protection, 4 – electronic scales, 5 – tested sample, 6 – sample holder,  $h$  – distance of the sample from the surface of the emitter)

**Obr. 2** Testovacia aparátúra na hodnotenie hmotnostného úbytku [21]

(1 – infražiarica, 2 – kovové stojany, 3 – ochrana váh, 4 – elektronické váhy, 5 – skúšobná vzorka, 6 – držiak vzorky,  $h$  – vzdialenosť vzorky od povrchu žiarica)

From the measured values, we calculated the relative mass loss according to equation (1) and the relative burning rate according to equation (2) [22].

Z nameraných hodnôt sme podľa vzťahu (1) vypočítali relatívny úbytok hmotnosti a podľa vzťahu (2) relatívnu rýchlosť odhorievania [22].

$$\delta_m(\tau) = \frac{m(\tau_0) - m(\tau)}{m(\tau_0)} \cdot 100 \quad (\%) \quad (1)$$

$$v_r = \frac{\delta_m(\tau) - \delta_m(\tau + \Delta\tau)}{\Delta\tau} \cdot 100 \quad (\% \cdot s^{-1}) \quad (2)$$

**Where:**  $\delta_m(\tau)$  – relative mass loss over time ( $\tau$ ) (%);  $v_r$  – relative burning rate ( $\% \cdot s^{-1}$ );  $m(\tau_0)$  – sample original weight (g);  $m(\tau)$  – sample weight at time ( $\tau$ ) (g);  $\delta_m(\tau + \Delta\tau)$  – relative mass loss over time ( $\tau + \Delta\tau$ ) (%);  $\Delta\tau$  – the time interval at which weights are read (s).

**Kde:**  $\delta_m(\tau)$  – relatívny úbytok hmotnosti v čase ( $\tau$ ) (%);  $v_r$  – relatívna rýchlosť odhorievania ( $\% \cdot s^{-1}$ );  $m(\tau_0)$  – pôvodná hmotnosť vzorky (g);  $m(\tau)$  – hmotnosť vzorky v čase ( $\tau$ ) (g);  $\delta_m(\tau + \Delta\tau)$  – relatívny úbytok hmotnosti v čase ( $\tau + \Delta\tau$ ) (%);  $\Delta\tau$  – časový interval, v ktorom sa odčítavajú hmotnosti (s).

### 3 Results and discussion

As stated in the article, the mass loss of wood, as well as the ignition time and the rate of burning significantly affected its density and humidity. In order to be able to assess the influence of these factors on the resulting values of the evaluation criteria of our tested samples, the density of the samples at a given humidity

### 3 Výsledky a diskusia

Ako je v článku uvedené, úbytok hmotnosti dreva, ako aj čas zapálenia a rýchlosť odhorievania významnou mierou ovplyvňuje jeho hustota a vlhkosť. Aby sme vedeli posúdiť vplyv uvedených faktorov na výsledné hodnoty hodnotiacich kritérií našich testovaných vzoriek, pred začatím samotného experimentu

was calculated before the start of the experiment itself (tab. 1).

bola vypočítaná hustota vzoriek pri danej vlhkosti (tab. 1).

**Tab. 1** Selected physical characteristics

**Tab. 1** Vybrané fyzikálne charakteristiky

Wood/Drevina	Moisture/Vlhkosť (%)	Density/Hustota (kg·m <sup>-3</sup> )
SM	8,23±0,01	441,60±10,01
BO	8,02±0,09	428,00±17,57
JE	8,26± 0,07	454,40±9,00
DB	7,75± 0,06	687,50±34,33

Figure 3 shows the samples after the experiment. It is also clear from the above figure that DB samples with significantly higher density compared to coniferous wood samples were better able to withstand the effects of radiant heat and remained more compact even after the test. One of the evaluated characteristics was the ignition time of the tested samples. The evaluation is given in table 2, which shows the ignition times of individual samples of wood and their average values, from which it can be seen, that the JE and BO samples had approximately the same ignition time. JE samples reached the lowest ignition time and the longest they were able to withstand the influence of radiant heat DB samples, which we attribute to its higher density. Flame burning did not persist, in any of the samples, until the duration of the experiment jumped. The termination of flame combustion occurred at different times, their values are given for individual samples in table 3.

Na obrázku 3 sú znázornené vzorky po vykonaní experimentu. Aj z uvedeného obrázku je zrejmé, že vzorky DB s výrazne vyššou hustotou v porovnaní so vzorkami ihličnatých drevín dokázali lepšie odolávať účinkom sálavého tepla, a aj po skúške zostali kompaktnějšíe. Jednou z hodnotených charakteristík bol čas zapálenia testovaných vzoriek. Uvedené hodnotenie je v tabuľke 2, v ktorej sú uvádzané časy zapálenia jednotlivých vzoriek drevín a ich priemerné hodnoty, z nej možno vidieť, že približne rovnaký čas zapálenia mali vzorky JE a BO. Najnižší čas zapálenia dosiahli vzorky JE a najdlhšie dokázali vplyvu sálavého tepla odolávať DB vzorky, čo pripisujeme jeho vyššej hustote. Plameňové horenie nepretrvávalo, ani u jednej zo vzoriek až do skočenia trvania experimentu. K terminácii plameňového horenia došlo v rôznych časoch, ich hodnoty sú pre jednotlivé vzorky uvádzané v tabuľke 3.



**Fig. 3** Photo documentation of samples after the test by radiant heat source

**Obr. 3** Fotodokumentácia vzoriek po skúške sálavým tepelným zdrojom

**Tab. 2** Ignition time of tested trees (s)**Tab. 2** Čas zapálenia testovaných drevín (s)

WOOD/ DREVINA	sample no. 1/ vzorka č. 1	sample no. 2/ vzorka č. 2	sample no. 3/ vzorka č. 3	sample no. 4/ vzorka č. 4	sample no. 5/ vzorka č. 5	average/ priemer
SM	65,00	53,00	82,00	46,00	59,00	<b>63,00±17,68</b>
BO	54,00	63,00	56,00	57,00	59,00	<b>57,80±3,42</b>
JE	55,00	59,00	57,00	54,00	61,00	<b>57,20±2,86</b>
DB	110,00	75,00	98,00	90,00	94,00	<b>93,40±12,72</b>

**Tab. 3** Termination time of flame burning of tested trees (s)**Tab. 3** Čas terminácie plameňového horenia testovaných drevín (s)

WOOD/ DREVINA	sample no. 1/ vzorka č. 1	sample no. 2/ vzorka č. 2	sample no. 3/ vzorka č. 3	sample no. 4/ vzorka č. 4	sample no. 5/ vzorka č. 5	average/ priemer
SM	347,00	455,00	448,00	304,00	358,00	<b>382,40±66,27</b>
BO	363,00	330,00	365,00	333,00	441,00	<b>360,40±32,65</b>
JE	371,00	422,00	326,00	387,00	318,00	<b>364,80±43,30</b>
DB	402,00	388,00	390,00	375,00	400,00	<b>391,00±10,82</b>

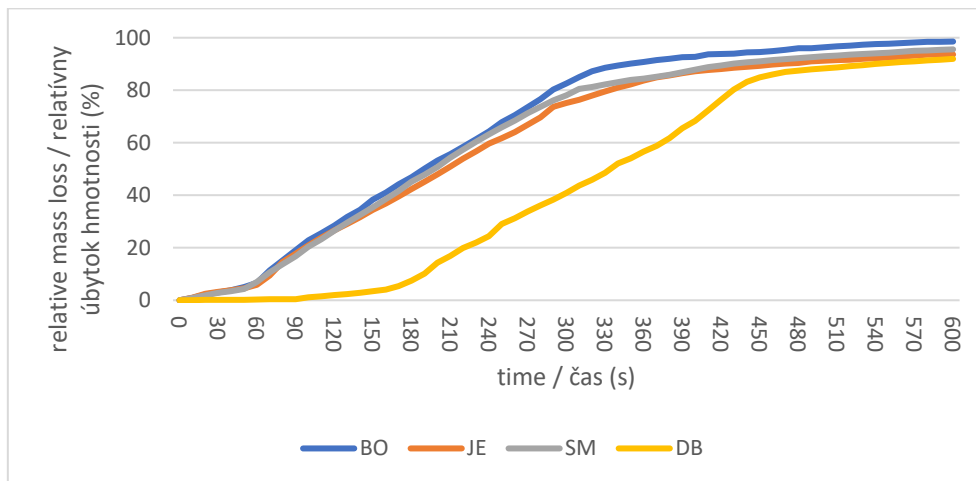
The following table 4 shows the mass loss results for individual tree species. These results are supplemented by figure 4, which is an expression of the graphical dependence of the mass loss of individual tree species on time.

V nasledujúcej tabuľke 4 uvádzame výsledky úbytku hmotnosti pre jednotlivé druhy drevín. Tieto výsledky sú doplnené obrázkom 4, ktorý je vyjadrením grafickej závislosti úbytku hmotnosti jednotlivých druhov drevín na čase.

**Tab. 4** Final values of mass loss of tested trees (%)**Tab. 4** Konečné hodnoty úbytku hmotnosti testovaných drevín (%)

WOOD/ DREVINA	sample no. 1/ vzorka č. 1	sample no. 2/ vzorka č. 2	sample no. 3/ vzorka č. 3	sample no. 4/ vzorka č. 4	sample no. 5/ vzorka č. 5	average/ priemer
SM	97,55	87,78	96,59	99,06	96,79	<b>95,55±4,45</b>
BO	100,00	100,00	99,89	99,77	93,01	<b>98,53±3,09</b>
JE	95,23	87,51	95,15	94,93	95,20	<b>93,61±3,41</b>
DB	92,48	93,49	91,41	92,38	89,94	<b>91,94±1,34</b>




**Fig. 4** Relative mass loss of tested trees

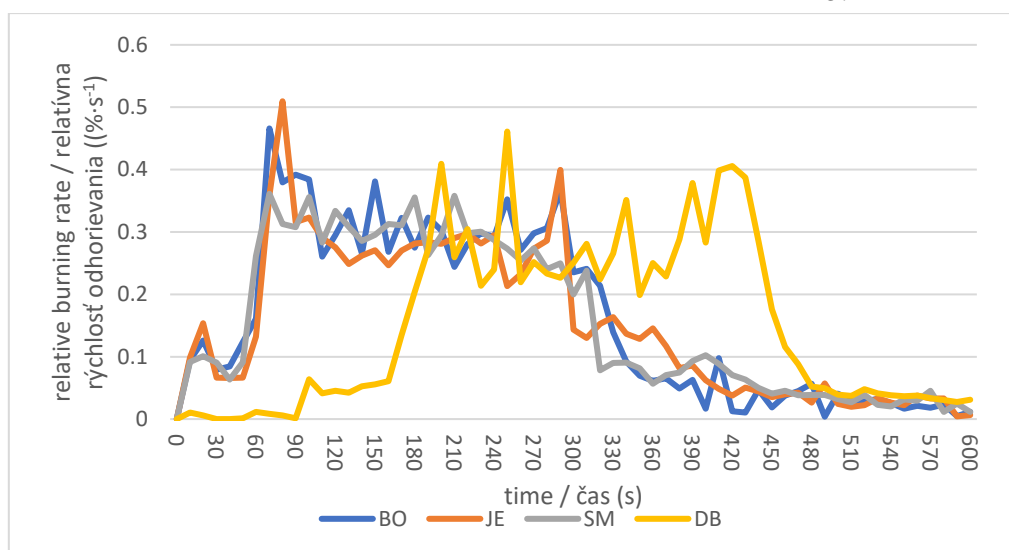
**Obr. 4** Relatívny úbytok hmotnosti testovaných drevín

Based on the summary of the results in table 4 and figure 4, we can state that the trend of relative mass loss was almost identical in the case of conifers (fig. 4). We noticed a more significant difference in DB samples, in which a more significant mass loss occurred significantly later, compared to conifers, which we consider to correspond to a later ignition time. At the same time, we can state that all wood have lost more than 90% of their original weight in 600 seconds. We recorded the worst results for BO samples, which lost up to 98,53%, which we also attribute to the high content of BO wood resins, as stated by the authors [23]. The humidity of the individual samples is very similar, the difference between the individual samples was not even one percent, so we do not consider the effect of humidity on the difference in results. As we assumed, in our case the influence of density on the thermal degradation of wood was significant. This statement was confirmed, as it is clear from the comparison of mass losses that wood from DB showed the lowest mass loss and is due to its density (tab. 1) more resistant to heat stress than coniferous wood. The DB test specimens, which had the highest density of the woods we tested, showed a lower mass loss of up to 6,59% compared to BO, which had the lowest density of the tested trees. If we compare wood species, we can rank them in the order from the best results to the worst as follows: DB, JE, SM and BO.

Na základe zhrnutia uvedených výsledkov v tabuľke 4 a na obrázku 4 môžeme konštatovať, že trend relatívneho úbytku hmotnosti bol takmer totožný v prípade ihličnatých drevín (obr. 4). Výraznejší rozdiel sme zaznamenali pri vzorkách DB, pri ktorom k výraznejšiemu úbytku hmotnosti dochádzalo podstatne neskôr, v porovnaní s ihličnatými drevinami, čo považujeme za korešpondujúce s neskorším časom zapálenia. Zároveň môžeme konštatovať, že všetky dreveniny za čas 600 sekúnd stratili viac ako 90% svojej pôvodnej hmotnosti. Najhoršie výsledky sme zaznamenali pre vzorky BO, ktoré stratili až 98,53%, čo pripisujeme aj vysokému obsahu živíc BO dreva, tak ako uvádzajú autori [23]. Vlhkosť jednotlivých vzoriek je veľmi podobná, rozdiel medzi jednotlivými vzorkami nebol ani jedno percento, takže neuvažujeme s vplyvom vlhkosti na rozdiel výsledkov. Tak ako sme predpokladali, aj v našom prípade sa výrazne prejavil vplyv hustoty na termickú degradáciu dreva. Toto tvrdenie sa potvrdilo, nakoľko z porovnania úbytkov hmotností je zrejmé, že drevo z DB vykazovalo najnižší úbytok hmotnosti a je vďaka svojej hustote (tab. 1) odolnejšie voči tepelnému zaťaženiu ako drevo ihličnatých drevín. Skúšobné telesá DB, ktorý mal spomedzi nami testovaných drevín najvyššiu hustotu, vykazovali nižší úbytok hmotnosti až o 6,59 % v porovnaní s BO, ktorá mala spomedzi testovaných drevín najnižšiu hustotu. Ak vzájomne porovnáme dreveniny, môžeme ich v rade od najlepších výsledkov po najhoršie zoradiť nasledovne: DB, JE, SM a BO.

The laboratory equipment allowed us to continuously measure mass loss and record it using computer technology. Based on such a measurement, it was possible to calculate the relative burning rate from the measured mass loss values according to equation (2). Burning rate is a property of materials that influences their fire behavior. We have shown its course in figure 5.

Laboratórne zariadenie nám umožňovalo merať kontinuálne úbytok na hmotnosti a zaznamenávať ho výpočtovou technikou. Na základe takéhoto merania, bolo z nameraných hodnôt úbytku hmotnosti možné vypočítať relatívnu rýchlosť odhorievania podľa uvedeného vzťahu (2). Rýchlosť odhorievania je vlastnosť materiálov, ktorá ovplyvňuje ich správanie sa pri požiari. Jej priebeh sme znázornili na obrázku 5.



**Fig. 5** Relative burning rate of tested trees

**Obr. 5** Relatívna rýchlosť odhorievania testovaných drevín

**Tab. 5** Values characterizing the maximum burning rate and the time to reach it

**Tab. 5** Hodnoty charakterizujúce maximálnu rýchlosť odhorievania a čas jej dosiahnutia

Value/ hodnota	SM	BO	JE	DB
$v_{max}$ - max. burning rate/max. rýchlosť odhorievania ( $\% \cdot s^{-1}$ )	0,36	0,47	0,51	0,46
$t_{max}$ - time to reach max. burning rate/ čas dosiahnutia max. rýchlosti odhorievania (s)	70	70	80	250
pomer/ ratio ( $v_{max}/t_{max}$ )	0,60	0,78	0,73	0,19

Looking at figure 5, significant increases in the relative burning rate for SM and BO were observed as early as the 70th second, when both test samples reached the maximum burning rate at the same time. Samples from JE recorded the most significant increase in the 80th second, when they also reached the maximum burning rate, but another significant increase also occurred in the 290th second, as well as in the case of SM. From the results we can further state that this evaluation showed that for

Keď sa pozrieme na obrázok 5, výrazné nárasty relatívnej rýchlosti odhorievania pri SM a BO sme zaznamenali už v 70. sekunde, kedy obe testované vzorky dosiahli maximálnu rýchlosť odhorievania v rovnakom čase. Vzorky z JE zaznamenali najvýraznejší nárast v 80. sekunde, kedy dosiahli aj maximálnu rýchlosť odhorievania, ale k ďalšiemu výraznejšiemu nárastu došlo ešte aj v 290. sekunde, rovnako môžeme ďalej konštatovať,

selected wood samples the better results were obtained by DB samples, which, during burning recorded the maximum burning rate in the 250th second of the test, despite the fact that the first higher increase in burning rate occurred in the 200th second. Good results in this evaluation were also shown by SM, where the time of reaching the maximum burning rate was already in the 70th second of the test, but the value of this maximum burning rate was the lowest of the mentioned wood. In conifers, the relative burning rate decreases after the 300th second. In the case of DB, however, fluctuations occurred during the experiment and the burning rate does not begin to decrease until the 430th second of the experiment. In this analysis of the results, we can express another statement that if we compare the rate of mass loss over time with the rate of burning, we can confirm the agreement of the results obtained.

Makovická-Osvaldová [24] states that the burning rate is a criterion that has a high informative value in terms of fire. This evaluation criterion can be considered more modern, applied in various test methods of modern test equipment. From a fire-fighting point of view, it has a higher informative value than mass loss. Material that achieves a higher burning rate is more hazardous from a fire protection point than material that has a lower burning rate. Material with a higher value of the burning rate, helps to create and rapid development of fire. If the experiment lasts for a certain time, it is important in which time interval the maximum burning rate is reached.

The authors [25] further state the evaluation criterion "ratio". It is the mathematical ratio of the relative burning rate and the time when the maximum value of the relative burning rate is reached. The numerical value of this evaluation criterion gives relevant information on the reaction of the material under the experimental conditions. If the maximum value of the relative burning rate is reached in a short time, this is a negative factor. If the maximum value is reached later, we can consider this as a more positive indicator. Even with this criterion in our case, the best results were obtained with DB samples (tab. 5).

že toto hodnotenie poukázalo na to, že pri vybraných vzorkách ako aj pri SM. Z výsledkov drevín lepšie výsledky dosiahli vzorky DB, ktoré pri odhorievaní zaznamenali maximálnu rýchlosť odhorievania až v 250. sekunde testu, aj napriek tomu, že prvý vyšší nárast rýchlosti odhorievania nastal už v 200. sekunde. Dobré výsledky v tomto hodnotení preukázal aj SM, kde bol síce čas dosiahnutia maximálnej rýchlosti odhorievania už v 70. sekunde testu, avšak hodnota tejto maximálnej rýchlosti odhorievania bola z uvedených drevín najnižšia. Pri ihličnatých drevinách relatívna rýchlosť odhorievania po 300. sekunde klesá. V prípade DB ale dochádzalo počas experimentu k výkyvom a rýchlosť odhorievania začína klesať až v 430. sekunde experimentu. V rámci tejto analýzy výsledkov môžeme vyjadriť ešte jedno konštatovanie, že ak porovnáme úbytku hmotnosti v čase s rýchlosťou odhorievania, môžeme potvrdiť korešpondujúce výsledky.

Makovická-Osvaldová [24], uvádza že rýchlosť odhorievania je kritérium, ktoré ma vysokú výpovednú hodnotu z hľadiska požiaru. Uvedené hodnotiace kritérium považuje za modernejšie, aplikované v rôznych testovacích metódach moderných testovacích zariadení. Z protipožiarneho hľadiska má vyššiu výpovednú hodnotu, ako úbytok na hmotnosti. Materiál, ktorý dosiahne vyššiu hodnotu rýchlosti odhorievania, je z protipožiarneho hľadiska rizikovejší, ako materiál, ktorý má nižšiu hodnotu rýchlosti odhorievania. Materiál s vyššou hodnotou rýchlosti odhorievania, napomáha k vzniku a rýchlemu rozvoju požiaru. Ak experiment trvá určitý čas je dôležité, v akom časovom intervale sa dosiahne maximálna rýchlosť odhorievania.

Makovická – Osvaldová a Osvald [25], ďalej uvádzajú hodnotiace kritérium „pomer“. Je matematickým podielom relatívnej rýchlosti odhorievania a času, kedy sa dosiahne maximálna hodnota relatívnej rýchlosti odhorievania. Číselná hodnota tohto hodnotiaceho kritéria dáva relevantnú informáciu o reakcii materiálu v podmienkach experimentu. Ak sa maximálna hodnota relatívnej rýchlosti odhorievania dosiahne v

#### 4 Conclusion

Wood is a material with versatile use, especially as a building material. As it is a flammable material, knowledge of its properties from a fire protection point of view is highly topical. The aim of the paper was to compare selected species of coniferous and deciduous trees in terms of their thermal resistance by the method of mass loss. The results show that the density of wood has a significant effect on the change in mass loss, ignition time and burning rate. The evaluated conifers, whose density ranged from  $428,00 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  to  $454,40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , recorded approximately the same values of mass loss, ignition time and similar relative burning rate. If we compare these results with the results of the evaluated deciduous tree, which has a much higher density ( $687,50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) compared to the evaluated coniferous trees, we can clearly state that this tree was able to withstand the effects of thermal radiation much better. The obtained original experimental results and their interpretation are a contribution to the creation of a database of fire technical and material characteristics of wood for the needs of modeling the spread of fire in terms of fire protection.

#### Acknowledgments

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract No. APVV-17-0005 (50%) and VEGA, project 1/0493/18 (50%).

#### References / Literatúra

- [1] Kadlicová P, Gašpercová S, Makovická Osvaldová L. 2017. Monitoring of Weight Loss of Fibreboard During Influence of Flame. *Procedia Engineering* 192: 393-398. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.068>.
- [2] Lowden L.A, Hull T.R. 2013. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. *Fire Science Reviews* 2: 4. <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-4>

krátkom čase, je to negatívny faktor. Ak sa maximálna hodnota dosiahne neskôr, môžeme to považovať za pozitívnejší ukazovateľ. Aj pri tomto kritériu v našom prípade najlepšie výsledky dosiahli vzorky DB (tab. 5).

#### 4 Záver

Drevo je materiál s všestranným použitím, predovšetkým ako stavebný materiál. Keďže sa jedná o horľavý materiál, poznanie jeho vlastností z protipožiarneho hľadiska je vysoko aktuálne. Cieľom príspevku bolo porovnať vybrané druhy ihličnatých a listnatých drevín z hľadiska ich termickej odolnosti metódou hmotnostného úbytku. Z výsledkov vyplýva, že na zmenu úbytku hmotnosti, času zapálenia a rýchlosť odhorievania má výrazný vplyv hustota dreva. Hodnotenú ihličnatú drevinu, ktorých hustota sa pohybovala v rozmedzí od  $428,00 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  do  $454,40 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , zaznamenali približne rovnaké hodnoty úbytku hmotnosti, času zapálenia a podobná bola aj ich relatívna rýchlosť odhorievania. Ak tieto výsledky porovnáme s výsledkami hodnotenej listnatej dreviny, ktorá má oveľa vyššiu hustotu ( $687,50 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) v porovnaní s hodnotenými ihličnatými drevinami, môžeme jednoznačne konštatovať, že táto drevina dokázala oveľa lepšie odolávať účinkom tepelného žiarenia. Získané originálne experimentálne výsledky a ich interpretácia sú príspevkom k tvorbe databázy požiarotechnických a materiálových charakteristík dreva pre potreby modelovania šírenia požiaru z hľadiska protipožiarnej ochrany.

#### Pod'akovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-17-0005 (50%) a agentúrou VEGA, projekt 1/0493/18 (50 %).

- [3] Wang X, Liu J, Chai Y. 2012. Thermal, mechanical, and moisture absorption properties of wood-TiO<sub>2</sub> composites prepared by a sol-gel process. *BioResources*. 7(1): 893-901.
- [4] Zachar M, Majlingová A, Mitterová I, Čabalová I. 2017. Influence of an age and damage of the oak wood on its fire risk. *Wood Research*. 62. 495-504
- [5] Bergman R, et al. 2010. Wood handbook-wood as an engineering material. Forest Products Laboratory.
- [6] Sarvaš M, et al. 2010. Základné charakteristiky lesných drevín: ekologické nároky, morfológia, lesné semenárstvo a škôlkárstvo, obhospodarovanie génových základní: spracovanie drevnej suroviny v odvetví spracovania dreva. Zvolen: Národné lesnícke centrum.
- [7] Krakovský A, Kráľ Š. 2004. Zmeny mechanických vlastností primárneho smrekového dreva (Changes in the mechanical properties of the primary spruce wood). *Vedecké štúdie 5/5004/B*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene.
- [8] Wadhvani R, et al. 2017. Kinetics of pyrolysis of litter materials from pine and eucalyptus forests. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 130:2035–2046.
- [9] Windeisen E, Wegener G. 2009. Chemical characterization and comparison of thermally treated beech and ash wood. *Materials Science Forum*. 599: 143–158.,
- [10] Korytárová O, Osvald A. 2000. Zmeny v štruktúre vybraných ihličnatých drevín spôsobené vysokými teplotami (Changes in the structure of selected coniferous trees caused by high temperatures). In *Vedecké štúdie 2/2000/B*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene.
- [11] Kačíková D, Netopilová M, Osvald A. 2006. Drevo a jeho termická degradácia (Wood and its thermal degradation). Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství v Ostravě.
- [12] White R, Dietsberg M. 2001. Wood products: Thermal degradation and fire. (10 November 2020; [www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2001/white01a.pdf](http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2001/white01a.pdf))
- [13] Kačíková D, Makovická-Osvaldová L. 2009. Rýchlosť odhorievania dreva z rôznych častí stromu vybraných ihličnatých drevín. *ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE*. 4 (1): 27-32. ISSN 1336–3824
- [14] Zachar M, Marková I. 2009. Sledovanie rozdielu v termickej degradácii vzoriek topoľa. *ACTA FACULTATIS XYLOLOGIAE*. 4 (1): 33-46. ISSN 1336–3824
- [15] Kačíková D, Kačík F. 2011. Chemické a mechanické zmeny dreva pri termickej úprave. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene.
- [16] Pauld'uro M, Kačíková D. 2014. Vplyv charakteristík vybraných druhov drevín na úbytok hmotnosti v podmienkach simulujúcich požiar. *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 8(16): 24-27. ISSN 1337-0863.
- [17] Mitterová I, Racsco R. 2019. Change in mass loss of thermally loaded spruce wood due to its flame retardant treatment. *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 13(1): 80–91.  
DOI: 10.17423/delta.2019.13.1.60
- [18] Mitterová I, Garaj J. 2019. Vplyv retardačnej úpravy na zmenu úbytku hmotnosti termicky zaťaženého smrekového dreva a OSB dosky. *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 13(2): 51–55. ISSN 1337-0863.
- [19] STN 49 0103: 1979: Drevo. Zisťovanie vlhkosti pri fyzikálnych a mechanických skúškach.
- [20] STN 49 0108: 1993: Drevo. Zisťovanie hustoty.
- [21] Mitterová I. 2011. Porovnanie účinnosti retadrérov horenia aplikovaných na smrekových a drevotriekových vzorkách vystavených pôsobeniu sálavého a plamenného zdroj/ The comparison of flame retardants efficiency applied on spruce and particle samples exposed to the radiant and flame source. *Delta: fire protection & safety scientific journal*. 5(10): 34–38. ISSN 1337-0863

- [22] Klein T, Bahýl V, Vacek V. 1999. Základy pravdepodobnosti a matematickej štatistiky / Introduction to probability and mathematical statistics. Zvolen : ES TU.
- [23] SARVAŠ M, et al. 2010. Základné charakteristiky lesných drevín: ekologické nároky, morfológia, lesné semenárstvo a škôlkárstvo, obhospodarovanie génových základní: spracovanie drevnej suroviny v odvetví spracovania dreva. Zvolen: Národné lesnícke centrum.
- [24] Makovická-Osvaldová L. 2015. Burning rate of chosen hardwood affected by emitted, flame and combined heat source. Sustainability – Environment – Safety, Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie. 78-96.
- [25] Makovická – Osvadlová L, Osvald A. 2015. Reakcia dreva vybraných listnatých drevín na sálavé teplo/ Reaction of wood of selective broadleaved tree species on radiant heat. TEPLO - OHĚŇ – MATERIÁLY, Recenzovaný zborník vedeckých príspevkov. 108-117.