

# 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<sup>1\*</sup>, Martin Lieskovský<sup>2</sup>, Andrea Majlingová<sup>1</sup>, Danica Kačíková<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 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](mailto:xvelasr@tuzvo.sk), [majlingova@tuzvo.sk](mailto:majlingova@tuzvo.sk), [kacikova@tuzvo.sk](mailto:kacikova@tuzvo.sk)

<sup>2</sup> 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](mailto:lieskovsky@tuzvo.sk)

\* Corresponding author: [xvelasr@tuzvo.sk](mailto: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<sup>-1</sup>), mix litter formed by leaves and needles (21,459 J·g<sup>-1</sup>) and pine branches with a diameter of 5 cm (21,053 J·g<sup>-1</sup>). The lowest values of gross calorific value were observed for oak dead leaves (litter) (17,086 J·g<sup>-1</sup>) and dead branches with a diameter of 5 cm (18,578 J·g<sup>-1</sup>). A relatively high value was also observed in the acorn sample (19,066 J·g<sup>-1</sup>). 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.

**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,

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.

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 <sup>1</sup> / 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 <sup>1</sup> / Vlhkosť paliva (%)	Fuel moisture / Vlhkosť paliva 0 %	Fuel moisture <sup>1</sup> / 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

<sup>1</sup>The 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 <sup>1</sup> / 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 <sup>1</sup> / Vlhkosť paliva (%)	Fuel moisture / Vlhkosť paliva 0 %	Fuel moisture <sup>1</sup> / 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

<sup>1</sup>The 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.