

SPALNÉ TEPLA ZÁKLADNÝCH FRAKCIÍ NADZEMNEJ BIOMASY SMREKA (*PICEA ABIES* L. KARST.)

CALORIFIC VALUE OF BASIC FRACTIONS OF ABOVE-GROUND BIOMASS FOR NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* L. KARST.)

RUDOLF PETRÁŠ¹ ✉ - JULIAN MECKO¹ - JÁN KUKLA² - MARGITA KUKLOVÁ²

¹Národné lesnícke centrum - Lesnícky výskumný ústav, Masarykova 22, 960 01 Zvolen, Slovak Republic

²Slovenská akadémia vied, Ústav ekológie lesa, Ľudovíta Štúra 1774/2, 960 01 Zvolen, Slovak Republic

✉ e-mail: petras@nlcsk.org

ABSTRACT

The calorific value ($J g^{-1}$) of the dry matter of the Norway spruce *Picea abies* (L.) H. Karst. trees was evaluated. Experimental material was taken from five trees situated in Slovakia. Wood and bark samples were obtained from the discs, which were cut off from three locations, namely from the trunk, branches of tree crowns and needles. Calorific value ($J g^{-1}$) of the dry matter of each sample was then determined. The impact of statistically significant factors on the calorific value capacity was determined by means of analysis of variance. The average values of the individual fractions are approximately in the range of 20,200–21,500 $J g^{-1}$. Dry matter of wood and bark has the lowest calorific value, and then follows the dry matter of branches and twigs with needles. Calorific value variability is relatively low with its coefficient of variations of 0.7–2.9%. Calorific value of spruce is only 2–5% lower than calorific value of pine. Compared to deciduous trees, it is higher due to the presence of resin.

For more information see Summary at the end of the article.

Kľúčové slová: spálne teplo; smrek; drevo; kôra; konáre; ihličie

Key words: calorific value; spruce; wood; bark; branches; needles

ÚVOD

Slnecná energia je základným prvkom pri fotosyntetickej asimilácii. Jej účinkom sa transformujú abiotické látky na biotické so špecifickou štruktúrou a vlastnosťami, medzi ktoré patrí aj obsah spálneho tepla. Pri energetickom využívaní biomasy stromov je potrebné poznať obsah spálneho tepla celých stromov, ale aj ich častí. Množstvo akumulovanej energie v biomase stromov je veľmi variabilné. Závisí od množstva, ale aj štruktúry biomasy, ktorú konkrétny strom za určité obdobie vytvorí. V lesníctve sa tvorba biomasy vyjadruje väčšinou v objemových jednotkách. Príkladom tu môžu byť najmä všeobecne známe objemové tabuľky stromov, ktoré udávajú objem biomasy v závislosti od hrúbky a výšky stromov. Tabuľky v tvare spojených matematických modelov (PETRÁŠ, PAJTIK 1991) simulujú objem biomasy celých stromov (m^3), ale osobitne aj ich hlavných častí, ako sú napr. objem dreva, kôry a konárov. Takéto delenie biomasy stromov je obvyklé hlavne pre účely jej priemyselného spracovania. Pri energetickom využívaní bio-

masy je potrebné poznať jej energetický ekvivalent. Najjednoduchším spôsobom pre takéto vyjadrenie je prepočet objemu biomasy na jej hmotnosť a následne aj kapacitu spálneho tepla. K tomu je potrebné poznať hustotu biomasy ($kg \cdot m^{-3}$) jednotlivých frakcií, ale aj ich spálne teplo ($J \cdot g^{-1}$).

Najčastejšie sú k dispozícii údaje o hustote dreva. Pre viacero drevín ich uvádza POŽGAJ et al. (1997), ale najmä NIEMZ, SONDEREGGER (2003), ktorí zverejnili údaje o hustote dreva 103 drevín. MATOVIČ, ŠLEZINGEROVÁ (1992), PETRÁŠ et al. (2010, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b) a PASTOR et al. (2017) odvodili hustotu aj pre kôru a konáre stromov. Hustotu dreva plantážnický pestovaných rýchlorastúcich drevín uvádza BANSKI, DZURENDA (2014). Známe sú aj hodnoty spálneho tepla jednotlivých frakcií biomasy. PRETZSCH (2009) uvádza približne 20,4–20,8 MJ na 1 kg sušiny smrekového dreva a 20,3–21,14 MJ na 1 kg sušiny pre konáre a korene s kôrou. Pre sušinu bukového dreva uvádza 19,7–20,1 MJ $\cdot kg^{-1}$ a pre konáre alebo korene s kôrou

20,7–23,1 MJ.kg⁻¹ sušiny. KLAŠNJA, KOPITOVIC (1999), DZURENDA et al. (2010) udávajú pre drevo vrby spálne teplo 16,4–23,2 MJ.kg⁻¹ a pre agát 21,9–24,2 MJ.kg⁻¹ sušiny. Hodnoty spálneho tepla agátovej kôry sú podľa nich o 1,5–5,5 MJ.kg⁻¹ nižšie. OSZLÁNYI, BISKUPSKÝ (1979) stanovili spálne teplo pre drevo, kôru a listy hrabu, javora poľného, duba zimného a duba cerového v širšom rozpätí 18,1–20,6 GJ.kg⁻¹. Spálne teplo lístia listnatých drevín v rozpätí hodnôt 16 046–20 247 kJ.kg⁻¹ uvádza PŇAKOVIČ, DZURENDA (2015). PETRÁŠ et al. (2013a, 2013b) odvodili pre topoľové klony priemerné hodnoty spálneho tepla dreva 18,43 kJ.g⁻¹, tenkej kôry 18,03 kJ.g⁻¹ a hrubej kôry (borky) 17,38 kJ.g⁻¹. BUGALA et al (2015) odvodil produkčný potenciál a energetické vlastnosti prirodzených porastov jelše lepkavej v lokalite Kremnických vrchov. LARCHER (2003) konštatuje, že dreviny sú bohatšie na energiu ako bylinné druhy a všeobecne platí, že energetický obsah závisí priamoúmerne od obsahu uhlíka v substancii. Z rastlinných substancií majú najväčší obsah energie lignín (26,4), lipidy (38,9) a terpeny (až 46,9 kJ.g⁻¹).

Na domáci výskum spálneho tepla topoľových klonov (DZURENDA, ZOLIAK 2011; DZURENDA et al. 2012; PETRÁŠ et al. 2013a, 2013b; JAMNICKÁ et al. 2014; LIESKOVSKÝ 2015) nadväzuje v súčasnosti výskum zameraný na ďalších 11 hospodársky významných drevín. Začína stanovením hustoty základných frakcií nadzemnej dendromasy stromov (PETRÁŠ et al. 2018a, 2019a), pokračuje stanovením ich spálneho tepla (PETRÁŠ et al. 2018b, 2019b) a v záverečnej fáze sa ukončí stanovením množstva spálneho tepla celých stromov a porastov.

Cieľom predkladanej práce je zistiť obsah spálneho tepla v základných frakciách (drevo, kôra, konáre a ihličie) stromov smreka obyčajného (*Picea abies* L. Karst.).

MATERIÁL A METODIKA

Experimentálny materiál sa získal z 5 stromov (tab. 1), ktoré sa zrúbali v oblasti Zvolena (Stráž), Slovenského rudohoria (Beňuš), Slovenského raja (Stratená), Slovenských Beskyd (Oravská lesná) a Nízkykh Tatier (Šumiac). Vybrané stromy najlepšie charakterizuje ich hrúbka v rozpätí 25–62 cm, výška 20–38 m a vek 35–108 rokov. Podľa týchto hodnôt môžeme konštatovať, že takmer všetky majú parametre dospelých stromov. Vyrúbali sa v porastoch stredných až najvyšších bonít s nadmorskou výškou 435–1070 m.

Z kmeňa každého stromu sa odrezali 3 kotúče dreva s kôrou. Prvý bol z päty kmeňa, druhý z prostrednej (približne pod korunou stromu) a tretí z korunovej časti kmeňa. Všetky tri vzorky z kmeňa sa rozdelili na drevo a kôru. Pre reprezentatívnejšie zastúpenie vzoriek kôry sa

okolo miest na kmeni, kde sa pilili kotúče, nalúpalo väčšie množstvo kôry. Ďalšie vzorky sa zobrali z korún stromov. Štvrtá je z konárov s kôrou, piata z tenkých konárikov, ktoré bývajú obrastené ihličím a šiesta reprezentuje čisté ihličie. Pre každý strom bolo k dispozícii spolu 9 vzoriek. Z kmeňa 3 pre drevo, 3 pre kôru a po 1 vzorke pre konáre s kôrou, tenké konáriky a ihličie. Zo všetkých 5 stromov sa odobralo spolu 45 vzoriek.

Veľké kmeňové kotúče sa pred sušením rozsekali radiálnym smerom na menšie trojuholníkové časti. Tak, aby sa zachoval úmerný podiel beľového a jadrového dreva. Všetky vzorky sa vysušili pri teplote 103 ± 2 °C a v guľovom mlyne pomleli na prach. Hmotnosť suchých vzoriek bola približne v rozsahu 355–600 g pre drevo, 255–595 g pre kôru, 480–675 g pre konáre s kôrou, 120–455 g pre tenké konáriky a 370–550 g pre ihličie. Spálne teplo vzoriek sa stanovilo na kalorimetri IKA C-4000 (program C-402, norma DIN 51900). Z každej vzorky sa urobili 2 stanovenia a z nich sa vypočítala priemerná hodnota spálneho tepla (J.g⁻¹). Analýzou variancie ANOVA (KUPKA 2013) sa preskúmala variabilita a stanovili najdôležitejšie faktory, od ktorých závisí hodnota spálneho tepla. ANOVA vychádza z princípu sčítania rozptylov (variance) známych príčin (faktorov) σ_i^2 a neznámych (náhodných) $\sigma_{residual}^2$ príčin do celkového rozptylu σ_{total}^2 :

$$\sigma_{total}^2 = \sum \sigma_i^2 + \sigma_{residual}^2 \quad (1)$$

Dvojfaktorovou analýzou sa preskúmal vplyv frakcie biomasy (drevo, kôra) a polohy na kmeni (územok, stredná a korunová časť). Jednofaktorovou analýzou sa preskúmal spoločný vplyv všetkých 5 frakcií biomasy (drevo, kôra, tenčina, tenké konáriky a ihličie) na obsah spálneho tepla.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Dvojfaktorová ANOVA (tab. 2) nepotvrdila štatisticky významný vplyv frakcií biomasy, dreva a kôry a ich troch polôh na kmeni na obsah spálneho tepla. Potvrdzuje to F-kritérium, ktoré je pre každý prediktor menšie ako kritický kvantil, ale aj p-hodnota, ktorá je väčšia ako zvolená hladina významnosti (p = 0,05).

Napriek výsledkom analýzy rozptylu môžeme konštatovať, že najnižšie hodnoty spálneho tepla má kôra a drevo v strede kmeňa a najvyššie sú v prízemkovej časti kmeňa (obr. 1). Ich rozpätie je 20 053–20 505 J.g⁻¹. Variabilita hodnôt je pomerne nízka. Pri dreve je variačný koeficient v rozpätí 0,5–0,8 % a pri kôre 1,4–3,4 %. V oboch prípadoch je najvyšší na prízemku kmeňov.

Tab. 1.

Charakteristiky zrúbaných stromov podľa hrúbok, výšok, veku stromov, bonity, nadmorskej výšky a lokality porastov
Characteristics of cut trees by diameter, height, age of trees, site index, altitude, and stand location

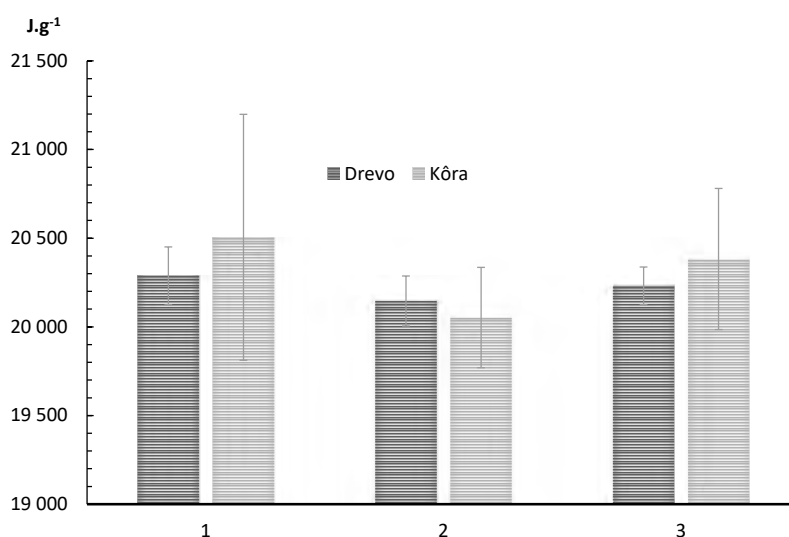
Číslo stromu/ Tree number	d _{1,3} / dbh (cm)	h/ height (m)	Vek/ Age	Bonita/ Site index	Nadm. výška/ Altitude (m)	Lokalita/ Locality
4	25	20	35	42	435	Zvolen
39	40	36	69	40	600	Beňuš
61	37	23	100	28	950	Stratená
73	62	38	108	36	950	Oravská Lesná
85	45	30	82	28	1070	Šumiac
Spolu/in total	25–62	20–38	35–108	28–42	435–1070	

Z výsledkov jednofaktorovej analýzy variancie (tab. 3) je zrejme, že frakcie biomasy štatisticky významne ovplyvňujú obsah spalného tepla. Hodnota F-kritéria je väčšia ako kritický kvantil, ale aj p-hodnota je menšia ako zvolená hladina významnosti ($p = 0,05$). Ich priemerné hodnoty (obr. 2) sú v rozpätí približne 20 200–21 500 J.g⁻¹ a variačný koeficient je 0,7–2,9 %.

Scheffeho metódou sa otestovali rozdiely medzi dvojicami priemerov všetkých 5 frakcií stromovej biomasy. Štatisticky nevýznamné sa ukázali rozdiely hodnôt spalného tepla troch (drevo, kôra, tenčina) a dvoch frakcií biomasy (konáriky, ihličie). Okrem týchto sa ukázal ako štatisticky nevýznamný aj rozdiel medzi spalným teplom tenčiny a ihličia (obr. 2).

Na základe tohto výsledku sa frakcie, ktorých hodnoty spalného tepla sa štatisticky významne neodlišovali, zlúčili do troch homogénnejších frakcií. Pri zlučovaní sa prihliadalo aj na vlastný obsah frakcie. Vznikla tak samostatná frakcia pre drevo s kôrou, pre tenčinu a pre tenké konáriky s ihličím (obr. 3). Priemerné hodnoty sa zachovali v rozpätí približne 20 300–21 300 J.g⁻¹, ale ich variabilita sa mierne zvýšila a čínila 1,0–3,0 %.

Podľa predbežných výsledkov (PETRÁŠ et al. 2018b) majú aj ostatné hospodársky významné dreviny podobný, avšak o niečo nižší obsah spalného tepla. Smrekové a jedľové ihličie v rozpätí približne 20 000–21 600 J.g⁻¹ a ostatné frakcie 20 000–20 300 J.g⁻¹. Tvrdé listnaté dreviny ako dub, buk a hrab majú spalné teplo dreva a konárov v rozpätí 19 200–19 800 J.g⁻¹, ale kôra len 17 700–18 700 J.g⁻¹. Tvrdé listnaté dreviny majú nižší obsah spalného tepla ako ihličnaté i napriek tomu, že majú vyššiu hustotu dreva. Ešte nižšie hodnoty, približne 18 400–17 800 J.g⁻¹ majú frakcie dreva a kôry topoľových klonov (PETRÁŠ et al. 2013a). PETRÁŠ et al. (2019b) spresnil obsah spalného tepla pre borovicu a v porovnaní so smrekom (obr. 4) sa môže konštatovať, že smreková biomasa má pri všetkých frakciách nižšie priemerné hodnoty. Pri ihličí približne o 5 % a pri ostatných frakciách len o 2 %. Hodnota spalného tepla biomasy teda závisí aj od obsahu iných nedrevných látok, ako sú napr. terpény a živice. Vyplýva to aj z práce DEMKU (1996), ktorý stanovil spalné teplo živice smreka a borovice v priemernom rozsahu približne 38,5–38,9 kJ.g⁻¹. Živičných látok má biomasa smreka a borovice v porovnaní s ostatnými, najmä listnatými, drevinami najviac. Aj LARCHER (2003) udáva, že z rastlinných substancií majú najväčší obsah energie lignín 26,4, lipidy 38,9 a terpény až 46,9 kJ.g⁻¹.

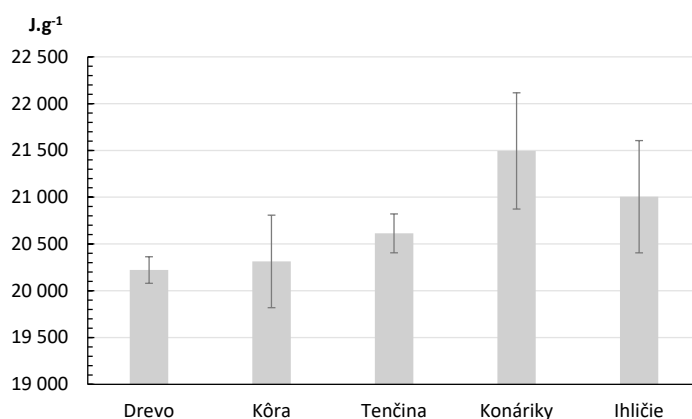


Obr. 1. Obsah spalného tepla dreva a kôry v troch polohách na kmeni (1 – územok, 2 – stred kmeňa, 3 – koruna)

Fig. 1. Calorific value of wood (drevo) and bark (kôra) in three positions on the trunk (1 – the bottom of the trunk, 2 – the middle of the trunk, 3 – crown)

Tab. 2. Výsledky dvojfaktorovej analýzy rozptylu
Results of two-factor analysis of variance

Zdroj variability/ Source of the variability	Súčet štvorcov/ Sum of squares	Priemerný štvorec/ Mean square	Stupne voľnosti/ Degrees of freedom	F-kritérium/ F-statistic	Kritický kvantil/ Critical quantile	p-hodnota/ p-value
Frakcia biomasy/ Biomass fraction	63 342	63 342	1	0,49	4,26	0,45
Poloha na kmeni/ Location on the tree	464 835	232 418	2	1,80	3,40	0,19
Interakcia/Interaction	134 099	67 050	2	0,52	3,40	0,57
Rezidua/Residual variability	3 107 120	129 463	24			
Celkom/Total variability	3 769 397	129 979	29			


Obr. 2.

Priemerné hodnoty a smerodajné odchýlky spalného tepla pre základné frakcie biomasy

Fig. 2.

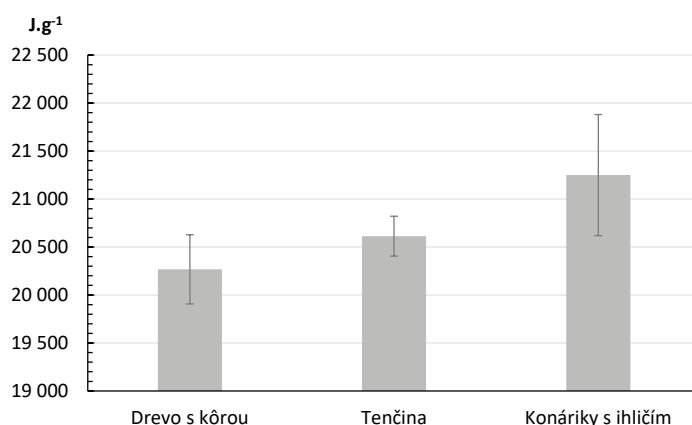
Average values and standard deviations of the calorific value for basic biomass fractions (Drevo = Wood, Kôra = Bark, Tenčina = Small-wood, Konáriky = Twigs, Ihličie = Needles)

Tab. 3.

Výsledky jednofaktorovej analýzy rozptylu

Results of one-factor analysis of variance

Zdroj variability/ Source of the variability	Súčet štvorcov/ Sum of squares	Priemerný štvorec/ Mean square	Stupne voľnosti/ Degrees of freedom	F-kritérium/ F-statistic	Kritický kvantil/ Critical quantile	p-hodnota/ p-value
Frakcia biomasy/ Biomass fraction	9 842 571	2 460 643	4	14,34	2,61	2,39E-07
Rezidua/ Residual variability	6 862 351	171 559	40			
Celkom/Total variability	16 704 922	379 657	44			


Obr. 3.

Priemerné hodnoty a smerodajné odchýlky spalného tepla pre zlúčené frakcie biomasy

Fig. 3.

Average values and standard deviations of the calorific value for combined biomass fractions (Drevo s kôrou = Wood with bark, Tenčina = Small-wood, Konáriky s ihličím = Twigs with needles)

Zároveň konštatuje, že dreviny sú bohatšie na energiu ako bylinné druhy a všeobecne platí, že energetický obsah závisí priamoúmerne od obsahu uhlíka v substancii.

Hodnoty spalného tepla stanovené pre biomasu smreka zapadajú aj do rámca publikovaných výsledkov, ako ich uvádzajú PRETZSCH (2009) pre smrek a buk, KLAŠNJA, KOPITOVICH (1999) pre vrbu a agát alebo OSZLÁNYI, BISKUPSKÝ (1979) pre niektoré tvrdé listnaté dreviny.

ZÁVER

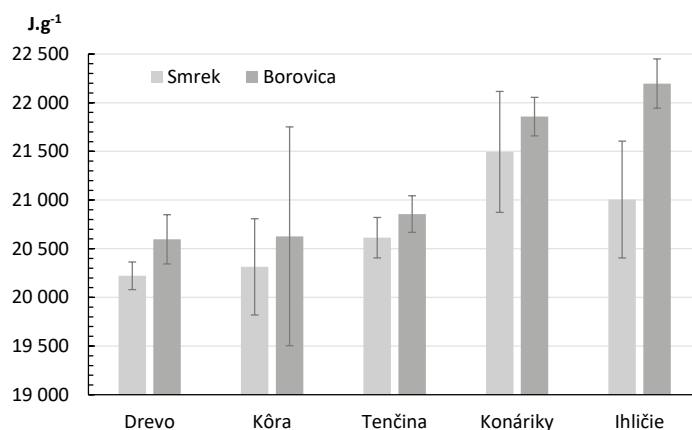
Experimentálny materiál sa získal z 5 stromov smreka obyčajného, rastúcich v lesných porastoch Slovenska. Z každého stromu sa odobralo 9 vzoriek biomasy (dreva a kôry), a to z dolnej, strednej a hornej časti kmeňa. Z korún stromov sa odobrali vzorky konárov s kôrou a tenkých konárikov obrastených ihličím, ktoré sa v laboratóriu manuálne separovali na ihličie a konáriky. V kalorimetri sa potom stanovil obsah spalného tepla v 1 g sušiny. Analýza rozptylu potvrdila štatisticky významné rozdiely v obsahu spalného tepla základných frakcií biomasy. Priemerné hodnoty spalného tepla biomasy smreka sa pohybujú približne v rozpätí 20 200–21 500 J.g⁻¹ a ich variačný koeficient je 0,7–2,9 %. Po zlúčení frakcií biomasy, ktorých hodnoty spalného tepla sa štatisticky významne neodlišovali, má drevo s kôrou približne 20 300 J.g⁻¹, tenčina 20 600 J.g⁻¹ a konáriky s ihličím 21 300 J.g⁻¹. Variabilita hodnôt spalného tepla je v rozsahu 1,0–3,0 %. Obsah spalného tepla smreka je oproti borovici nižší len o 2–5 %. V porovnaní s listnatými drevinami je vyšší pravdepodobne v dôsledku prítomnej živice, vyššieho obsahu uhlíka, nižšieho obsahu dusíka a nižšieho podielu popolovín vyskytujúcich sa vo všetkých frakciách biomasy.

Podakovanie:

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-16-0344.

LITERATÚRA

- BANSKI A., DZURENDA L. 2014. Hustota a sypná hmotnosť energetickej štiepky z dendromasy plantážnicky pestovaných porastov rýchlorastúcich drevín. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 56: 17–26.
- BUGALA M., DZURENDA L., PŇAKOVIČ E. 2015. Produkčný potenciál a energetické vlastnosti prirodzených porastov jelše lepkavej (*Alnus glutinosa* L.Gaertn.) z oblasti Kremnických vrchov. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 57: 15–25.
- DEMKO J. 1996. Spalné teplo živice ihličnatých drevín. *Acta Facultatis Forestalis*, 38: 261–267.
- DZURENDA L., GEFFERTOVA J., HECL V. 2010. Energy characteristics of wood-chips produced from *Salix viminalis* – clone ULV. *Drvna industrija*, 61: 27–31.
- DZURENDA L., ZOLIAK M. 2011. Chemické zloženie horľaviny energetickej štiepky z dendromasy plantažnicky pestovanej dreviny *Populus klon Max 5*. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 53: 87–92.
- DZURENDA L., BARTKO M., RIDZIK L. 2012. Energetic characteristics green chips made of branches of wood species *Populus × Euroamericana* clone Koltay grown on plantations. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 54: 115–122.
- JAMNICKÁ G., PETRÁŠOVÁ V., PETRÁŠ R., MECKO J., OSZLÁNYI J. 2014. Energy production of poplar clones and their energy use efficiency. *iForest*, 14: 150–155. DOI: 10.3832/ifer0978-007
- KLAŠNJA B., KOPITOVICH Š. 1999. Quality of wood of some willow and *Robinia* clones as fuelwood. *Drevársky výskum*, 44 (2): 9–18.
- KUPKA K. 2013. QC.Expert 3.1. Uživatelský manuál. Pardubice, TryloByte: 266 s.
- LARCHER W. 2003. *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. New York, Springer: 513 s.



Obr. 4.

Porovnanie obsahu spalného tepla smreka a borovice pre základné frakcie biomasy

Fig. 4.

Comparison of the calorific values of spruce and pine for the basic fractions of biomass

(Smrek = Spruce, Borovica = Pine; Drevo = Wood, Kôra = Bark, Tenčina = Small-wood, Konáriky = Twigs, Ihličie = Needles)

- LIESKOVSKÝ M. 2015. Vybrané produkčné a energetické vlastnosti topoľa *Populus x Euroamericana* klon Max 4. *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 57: 127–133.
- MATOVÍČ A., ŠLEZINGEROVÁ J. 1992. Konvenční hustota dřeva větví smrku obecného (*Picea abies* Karst.). In: Zborník medzinárodnej vedeckej konferencie Les, drevo, ekológia. Sekcia 4. Štruktúra a vlastnosti dreva v technologickom využití. Zvolen, TU vo Zvolene: 53–59.
- NIEMZ P., SONDEREGGER W. 2003. Untersuchungen zur Korrelation ausgewählter Holzeigenschaften untereinander und mit der Rohdichte unter Verwendung von 103 Holzarten. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 154: 489–493.
- OSZLÁNYI J., BISKUPSKÝ V. 1979. Energetická hodnota nadzemnej biomasy drevín v dubovo-hrabovom lese. *Acta Ecologica*, 20: 59–105.
- PASTOR M., DZURENDA L., BANSKI A., SLOBODNÍK B., BENCAT T. 2017. Energetic characteristics of the dendromass of branches in the sweet chestnut (*Castanea Sativa* Mill.). *Acta Facultatis Xylogiae Zvolen*, 59: 127–135.
- PETRÁŠ R., PAJTÍK J. 1991. Sústava česko-slovenských objemových tabuliek drevín. *Lesnícky časopis*, 37: 49–56.
- PETRÁŠ R., MECKO J., NEUSCHLOVÁ E. 2010. Density of basic components of above-ground biomass of poplar clones. *Wood Research (Bratislava)*, 55: 113–122.
- PETRÁŠ R., MECKO J., OSZLÁNYI J., PETRÁŠOVÁ V., JAMNICKÁ G. 2013a. Landscape of Danube inland-delta and its potential of poplar bioenergy production. *Biomass and Bioenergy*, 55: 68–72. DOI: 10.1016/j.biombioe.2012.05.022
- PETRÁŠ R., MECKO J., PETRÁŠOVÁ V. 2013b. Energy potential in production of fast-growing poplar clones in Slovak regions. *Acta Regionalia et Environmentalica*, 10: 53–56.
- PETRÁŠ R., MECKO J., KRUPOVÁ D., SLAMKA M. 2018a. Predbežné výsledky výskumu hustoty nadzemnej dendromasy hospodársky významných druhov drevín. In: Baláš, M. et al. (eds.): Pěstování lesů ve střední Evropě. Sborník vědeckých prací... Doksy, 4.–5. 9. 2018. Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze: 94–101. *Proceedings of Central European Silviculture*, vol 8.
- PETRÁŠ R., MECKO J., KUKLOVÁ M., KUKLA J. 2018b. Výskum kapacity spalného tepla lesných drevín. In: Gálik, B., Zelinková, G. (ed.): Recenzovaný zborník vedeckých prác Slovenskej spoločnosti pre poľnohospodárske, lesnícke, potravinárske a veterinárske vedy pri Slovenskej akadémii vied, pobočka Nitra. Nitra, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre: 277–284.
- PETRÁŠ R., MECKO J., KRUPOVÁ D., SLAMKA M., PAŽITNÝ A. 2019a. Aboveground biomass basic density of softwoods tree species. *Wood Research (Bratislava)*, 64: 205–2012.
- PETRÁŠ R., MECKO J., KUKLA J., KUKLOVÁ M. 2019b. Calorific value of basic fractions of above-ground biomass for Scots pine. *Acta Regionalia et Environmentalica*, (v tlači/in press).
- PŇAKOVIČ L., DZURENDA L. 2015. Combustion characteristics of fallen fall leaves from ornamental trees in city and forest parks. *BioResources*, 10: 5563–5572.
- POŽGAJ A., CHOVANEC D., KURJATKO S., BABIAK M. 1997. Štruktúra a vlastnosti dreva. Bratislava, *Príroda*: 485 s.
- PRETZSCH H. 2009. Forest dynamics, growth and yield. Berlin, Springer: 664 s.

CALORIFIC VALUE OF BASIC FRACTIONS OF ABOVE-GROUND BIOMASS FOR NORWAY SPRUCE (*PICEA ABIES* L. KARST.)

SUMMARY

When using tree biomass for energy efficiently, it is necessary to know the calorific value not only of the whole trees but also of their parts. The amount of energy accumulated in tree biomass is very variable. It depends on the volume and the structure of biomass that a particular tree creates over a period of time. In Slovakia, research of the calorific values of poplar clones (PETRÁŠ et al. 2013a, 2013b; JAMNICKÁ et al. 2014) has been enriched with other 11 economically important tree species (PETRÁŠ et al. 2019a, 2019b) lately. Research begins with the determination of density of the above-ground dendromass basic fractions (PETRÁŠ et al. 2018a, 2019a), continues with determination of their calorific value (PETRÁŠ et al. 2018b, 2019b), and concludes by determining the calorific value production of whole trees and stands. Thus, the aim of this work was to determine the calorific value content of above-ground biomass of spruce trees (*Picea abies* L. Karst.), according to its basic fractions (wood, bark, branches, and needles).

The experimental material was taken from five spruce trees located in the forest stands of Slovakia (Table 1). Wood and bark samples were obtained from the discs that were cut off from three locations from the stem, tree branches and needles. Large trunk discs were cut radially to smaller triangular parts prior to drying to maintain proportional parts of sapwood and heartwood. All samples were dried at 103 ± 2 °C and pulverised into powder. The weight of dry samples was approximately 355–600 g for wood, 255–595 g for bark, 480–675 g for branches outside bark, 120–455 g for twigs and 370–550 g for needles. The calorific value of samples was determined by using an IKA C-4000 calorimeter (the software C-402, the DIN 51900 standard). Two determinations were made from each sample and the average value (J g^{-1}) was calculated from those obtained determinations.

The two-factor ANOVA analysis (Table 2) showed that the difference in the calorific values of two biomass fractions (wood and bark), which were removed from three positions on the trunk, was not statistically significant. The bark and wood in the middle of the trunk have the lowest calorific values, and the highest values have in the bottom of the trunk (Fig. 1). These range from 20,053 J g^{-1} to 20,505 J g^{-1} . In wood, the coefficient of variation is 0.5–0.8% and then 1.4–3.4% for the bark, and in both cases with a maximum found on the trunk bottom. The one-factor analysis of variance (Table 3) confirmed that the calorific value content of the individual spruce fractions differs significantly. The average values (Fig. 2) are in the range of approximately 20,200–21,500 J g^{-1} , and the coefficient of variation is 0.7–2.9%.

The significance of differences among average calorific values of all five biomass fractions was tested by the Scheffe's method. The fractions, the calorific values of which did not differ significantly, were then combined into three more homogeneous fractions. This resulted in a creation of a separate fraction for wood outside bark, for small-wood and for twigs with needles (Fig. 3). Their average values are in the range of approximately 20,300–21,300 J g^{-1} , and the variability is 1.0–3.0%. PETRÁŠ et al. (2019b) also determined the calorific value content for pine (Fig. 4). Spruce has lower average calorific values compared to pine for all fractions. It is about 5% for needles and 2% for other fractions. Spruce and pine trees have higher calorific value content compared with other species, especially deciduous tree species, because they contain resin.

Zasláno/Received: 12. 06. 2019

Přijato do tisku/Accepted: 27. 09. 2019