

VLIV PRŮMĚRNÝCH MĚSÍČNÍCH TEPLŮT A ÚHRNNÝCH SRÁŽEK NA VLHKOST, VÝHŘEVNOST A POPELOVINU ENERGETICKÉ ŠTĚPKY VYROBENÉ Z TĚŽEBNÍCH ZBYTKŮ

THE INFLUENCE OF THE AVERAGE MONTHLY TEMPERATURE AND PRECIPITATION ON CUMULATIVE MOISTURE, CALORIFIC VALUE AND ASH OF ENERGY CHIPS MADE FROM LOGGING RESIDUES

TOMÁŠ BADAL^{1,2)} - JIŘÍ KŠICA^{1,2)} - VLASTIMIL VALA²⁾ - VÁCLAV KUPČÁK³⁾

¹⁾Vojenské lesy a statky ČR, s. p., Pod Juliskou 1621/5, CZ - 160 00 Praha 6 - Dejvice

²⁾Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Zemědělská 3, CZ - 613 00 Brno

³⁾Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta lesnická a dřevařská, Kamýcká 129, CZ - 165 21 Praha 6 - Suchbátka

✉ e-mail: tomas.badal@vls.cz

ABSTRACT

The paper aims at analysing the influence of progress of weather (temperature and precipitation) in 2012 as the reference year on the quality of energy wood chips made entirely from logging residues. The quality data represents the logging volume totalling 44,971 cubic metres; the logging residues were gathered on a total area of 108.36 hectares. The production data was provided by forest enterprises and trade companies producing energy wood chips and represented 258 business cases. The climate data was drawn from the database of the Czech Hydrometeorological Institute, as aggregated data, the effort being to eliminate local climatic fluctuations. It can be summarised based on the results of the work that the average monthly temperature and monthly precipitation in 2012 have a very weak influence on the moisture and the calorific value of wood chips produced from logging residues. For the ash content, the dependence can be fully eliminated. In the case of dependent variables of moisture and calorific value, the statistical analysis results were slightly better: the correlation between moisture & calorific value and precipitation was moderately significant; the same applied to the data when correlated with temperature.

Klíčová slova: energetická štěpka, klimatická data, relativní vlhkost, jakost

Key words: energy wood chips, logging residues, climate data, relative moisture, quality

ÚVOD

Energetické využívání dřevní biomasy (dendromasy) z těžebních zbytků je spojeno s poměrně vysokým kolísáním kvality výsledné suroviny – zelené štěpky. Z ekonomického a energetického hlediska je klíčová zejména vlhkost štěpky (W) (KRISTENSEN, KOFMAN 2000; PAULRUD, NILSSON 2004; CUTSHALL et al. 2013; GREENE et al. 2014) a s ní spojená výhřevnost (Q), a dále popelovina (A), která je mimo jiné ovlivněna čistotou těžebních zbytků a použitou technologií sběru těžebních zbytků.

Cílem příspěvku je zaměřit se na dva faktory ovlivňující jakost energetické suroviny, a to na průměrnou měsíční teplotu (t) a úhrnné měsíční srážky (s) v referenčním roce 2012. Výzkum je prostorově lokalizován na území, které lze definovat: (1) dle normalizované klasifikace územních celků v České republice jako CZ – NUTS 3 (kraje: Olomoucký CZ 071, Vysočina CZ 063, Jihomoravský CZ 064), nebo (2) dle přírodních lesních oblastí (PLO) jako PLO 16, 30, 31, 33–36 (PRŮŠA 2001), viz obr. 1 a 2.

Množstevní podíly těžebních zbytků dle jednotlivých přispěvatelů dat do analyzované databáze (výrobců energetické štěpky) dle jednotlivých PLO je následující:

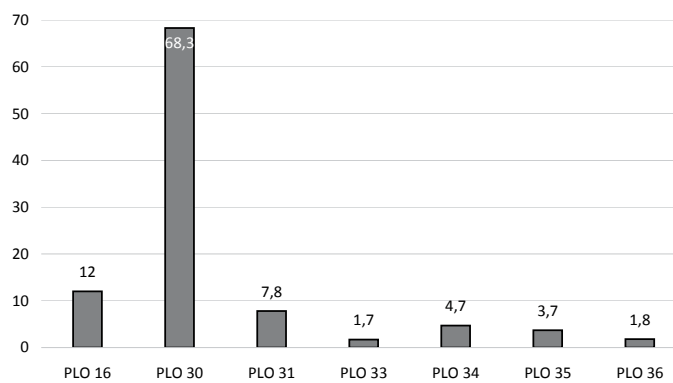
- 16 Českomoravská vrchovina – 12 % těžby (5 400 m³ b. k.),
- 30 Dražanská vrchovina – 68,3 % těžby (30 700 m³ b. k.)
- 31 Českomoravské středohoří – 7,8 % těžby (3 515 m³ b. k.)
- 33 Předhoří Českomoravské vrchoviny – 1,7 % těžby (780 m³ b. k.)
- 34 Hornomoravský úval – 4,7 % těžby (2096 m³ b. k.)
- 35 Jihomoravský úval – 3,7 % těžby (1680 m³ b. k.)
- 36 Středomoravské Karpaty – 1,8 % těžby (800 m³ b. k.)

Cílem příspěvku je dát do kontextu výše uvedené jakostní charakteristiky zelené štěpky vyrobené výhradně z těžebních zbytků s průběhem počasí (teploty, srážky) v roce 2012 a analyzovat, jakým způsobem ovlivňuje průběh počasí jakostní charakteristiky výsledného produktu, a tím i výsledné zpeněžení energetické suroviny. Před započítáním analýzy lze tedy vyslovit hypotézu (H_0): Průběh průměrných měsíčních teplot a srážkových úhrnů nemá vliv na výslednou jakost energetické suroviny vyrobené z těžebních zbytků ($H_0: \Delta x_{ts} \neq y_{W;Q;A}$). Alternativní hypotézou (H_1) tedy bude: Průběh průměrných měsíčních teplot a srážkových úhrnů ovlivňuje výslednou jakost energetické suroviny vyrobené z těžebních zbytků ($H_1: \Delta x_{ts} = y_{W;Q;A}$).

MATERIÁL A METODIKA

Zdrojem dat pro analýzu byla data Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a databáze shromážděná autory, evidující výrobní a obchodní data výroby a prodeje energetické štěpky dle jednotlivých měsíců v roce 2012. Příspěvateli výrobních dat byly lesní podniky a obchodní společnosti provozující svoji výrobní činnost na zájmovém území. Těžba byla rozmístěna na poměrně velkém území (obr. 2), proto lze využít agregovaných klimatických dat poskytnutých ČHMÚ a eliminovat tak lokální klimatické výkyvy.

Výroba energetické štěpky probíhala v lesních porostech po provedení mýtných úmyslných těžbách z těžebních zbytků. Věk lesních porostů se pohyboval v intervalu 80–120 let, průměrná těžební hmotnost 0,82 m³ b. k. Průměrné zastoupení dřevin: smrk 75 %, borovice a modřín 20 %, ostatní listnaté 5 %. Energetická štěpka byla vyrobena z celkového objemu těžby 44 971 m³. Sběr těžebních zbytků byl proveden na ploše 108,36 ha, což odpovídá průměrné hektarové zásobě v porostech 415 m³.ha⁻¹. Celkem bylo laboratorně vyhodno-



Obr. 1.

Grafické znázornění množství podílu (%) vytěženého hroubí dle jednotlivých PLO

Fig. 1.

Percentage of harvested timber according in the natural forest areas (PLO)



Obr. 2.

Mapa přírodních lesních oblastí v ČR se zakreslením lokalit zdrojové báze energetické štěpky – lesní porosty s poskytnutými zdrojovými daty za období let 2011–2012

Fig. 2.

Natural forest areas in the Czech Republic; locations of the energy chips source are marked with the red circle

Zdroj/Source: www.cs-pop.cz

cováno 258 dodávek (obchodních případů, zásilek) energetické štěpky. Hmotnost zásilky byla zjištěna přímým měřením na silniční váze jako rozdíl hmotnosti nákladu včetně dopravního prostředku (brutto) a hmotnost samotného dopravního prostředku (tara). Před vyložením každé zásilky bylo namátkově odebráno šest vzorků k určení jakosti. Vzorky štěpek byly řádně uloženy a promíchány v plastovém kbelíku (zaděláno víkem s přiložením vážního lístku), dále bylo odsypáno do misky (odvažovačky) cca 100–200 g a odváženo na laboratorních váhách s přesností 0,01 g. Takto odvážený vzorek byl vložen na 8 hodin do sušárny, kde probíhal vysoušecí proces při teplotě $t = 103 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Po vysušení byl vzorek opětovně vážen s přesností 0,01 g. Poté byl vzorek dále sušen. Jakmile se přestala měnit hodnota mezi jednotlivými váženími, byl materiál zcela suchý. Celý proces trval 12–24 hodin.

Obsah sušiny ve vzorku byl stanoven s přesností na dvě desetinná místa dle vzorce:

$$T = \frac{m_o}{m_w} \times 100 \text{ (%)}$$
 [1]

kde T je obsah sušiny [%]; m_w je hmotnost vzorku před vysušením v gramech; m_o je hmotnost vzorku po vysušení v gramech.

Hmotnost sušiny v zásilce byla zjištěna podle vzorce:

$$M_o = \frac{T}{100} \times M_w \text{ (%)}$$
 [2]

kde M_o je hledaná hmotnost sušiny [kg]; M_w je hmotnost zásilky v surovém stavu v kilogramech (netto); T je sušina vzorku štěpky v procentech zjištěná laboratorní cestou.

Sledována byla vlhkost W_i' (obsah vody v původním dodaném vzorku) [%], výhřevnost Q_i' (výhřevnost energetické suroviny při aktuální vlhkosti) [MJ. kg⁻¹] a popelovina A' [%] stanovená dle kvantitativní (ČSN P CEN/TS 14778-1) a kvalitativní (ČSN P CEN/TS 14778-2) přejímky ATRO. Podmínkou byla i délka výrobního cyklu, kdy doba od provedení těžby, následného soustředění, skladování, desintegrace a dopravy k odběrateli (a tedy i k laboratornímu rozboru) nesměla přesáhnout 20 dnů, což lze z provozního hlediska považovat za velmi krátkou výrobní dobu. Nejvíce obchodních případů bylo realizováno v měsíci červnu (65), dále v měsíci lednu (15), únoru (21), březnu (7), dubnu (29), květnu (5), červenci (24), srpnu (18), září (5), říjnu (23), listopadu (34) a prosinci (12).

VÝSLEDKY

Klimatologická data

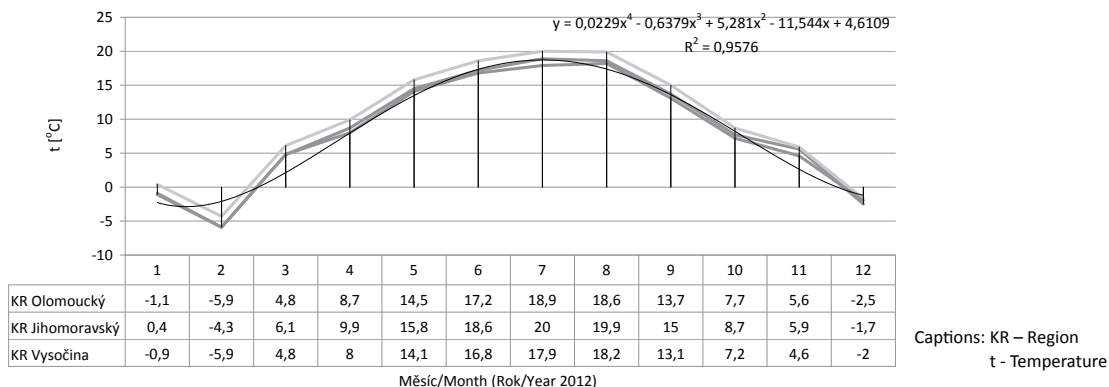
Rok 2012 byl teplotně i srážkově podobný roku 2011. Největší odchylkou roku 2012 byl mimořádně vlhký leden s rekordním úhrnem srážek od roku 1920 (110 mm). Další významnou odchylkou byla tropická teplota ($T_{\max} > 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$) koncem dubna a rekordní teploty v srpnu. Rok 2012 byl jako celek teplotně nadprůměrný (+1,0 °C nad dlouhodobým průměrem 1961–1990). V devíti měsících byla teplota nad dlouhodobým průměrem, pouze měsíce únor (-4,0 °C), říjen (-0,5 °C) a prosinec (-0,4 °C) byly chladnější, ale ani výrazně studený únor roční průměrnou teplotu příliš neovlivnil. Srážkově byl rok jako celek normální (3 % nad dlouhodobým průměrem). Výrazně nadnormální byly měsíce leden (200 %) a červenec (144 %) a výrazně podnormální měsíce březen (37 %) a květen (65 %). Průběh počasí pro zájmové území Kraje Olomouckého, Jihomoravského a Vysočiny je vyjádřen obr. 3 a 4 (ČHMÚ).

Výsledky přejímek ATRO

V tabulárním přehledu (tab. 1) a grafech (obr. 5–9) jsou vyneseny hodnoty charakterizující jak vstupní surovinu (těžební zbytky), tak i ener-

getickou štěpku dle jednotlivých měsíců roku 2012. Polynomy jsou daty proloženy pouze pro účel grafické interpretace dat a nemají prediktivní charakter. V záhlaví tab. 1 jsou označeni jednotliví přispěvatelé dat (s ohledem na anonymitu) do databáze (A-I) a příslušné PLO dle místa vzniku těžebních zbytků.

Z obr. 8 je patrné, že v souborech dat t , s a A^r se vyskytují odlehle a extrémní hodnoty. Na tento fakt lze usuzovat jak z grafického vyždření, tak z významné odlišnosti hodnot průměru a mediánu. V případě W_i^r a Q_i^r se hodnoty průměru a mediánu příliš neliší, což znamená, že v základním souboru nejsou žádné extrémní hodnoty a hodnotu



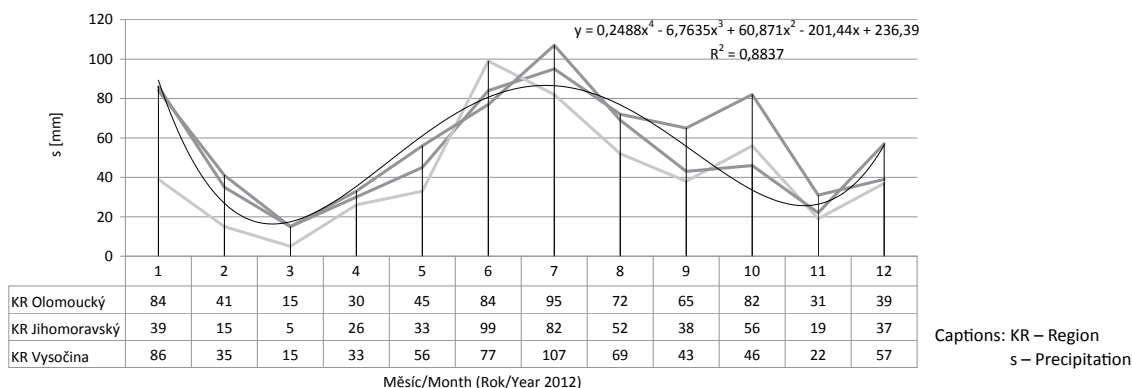
Obr. 3.

Průměrné územní teploty zájmových krajů

Fig. 3.

Average temperature in the regions of interest

Zdroj/ Source: ČHMÚ/Czech Hydrometeorological Institute



Obr. 4.

Průměrné měsíční srážky zájmových krajů

Fig. 4.

Average monthly precipitation in the regions of interest

Zdroj/Source: ČHMÚ/Czech Hydrometeorological Institute

Tab. 1.

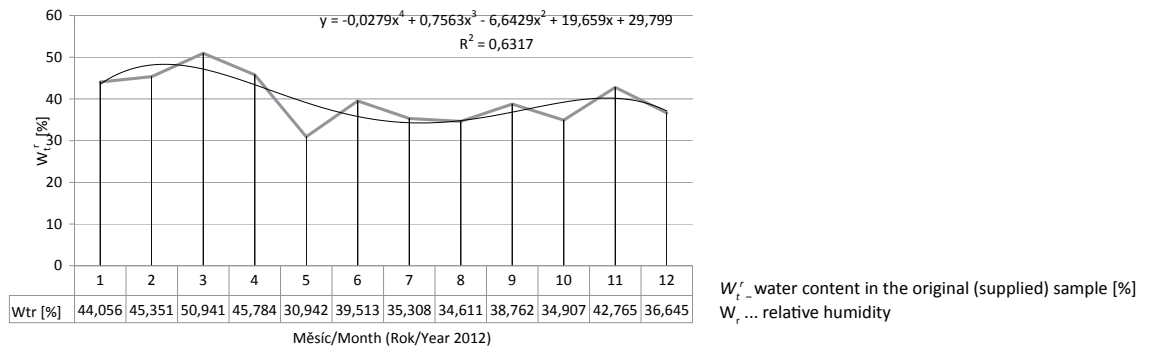
Agregovaná data vstupní databáze charakterizující výsledný produkt na základě přejímek ATRO – energetickou štěpku

Aggregated data of the input database characterizing the resulting product based on ATRO acceptances – wood chips for energy use

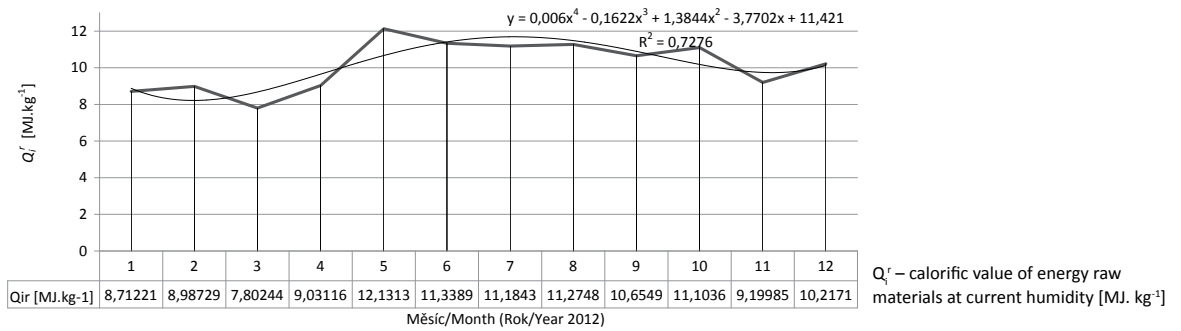
VL/PS	A 36	B 33	C 30	D 35	E 16	F 31	G 30	H 30	I 34	Σ
Energie v palivu/Fuel energy content [GJ]	2 015	1 484	2 084	3 203	8 180	5 327	24 441	15 060	2 119	63 919
Hmotnost okamžitá/Actual weight [t]	172	139	197	307	800	522	2 451	1 820	263	6 671
Hmotnost ATRO/ATRO weight [At]	140	103	144	222	576	370	1 689	1 024	145	4 415
Σ m ³ vytěženého hrubí b. k. [m ³]/ Σ m ³ of logged timber i.b. [m ³] (TM _{ib})	800	780	1 070	1 680	5 400	3 515	16 423	13 207	2 096	44 971
%	1,78	1,73	2,38	3,74	12,01	7,82	36,52	29,37	4,66	100

VL/PS – výrobní lokalita XX (A-I) evidenční označení, XX příslušné PLO

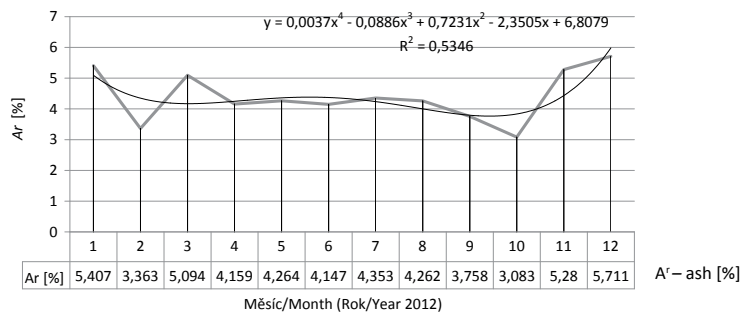
PS – Production site; TM_{ib} – The amount of extracted and recorded timber in cubic metres without bark (measured with bark, the resulting amount excludes bark). It involves produced timber assortments, top diameter to 7 cm.



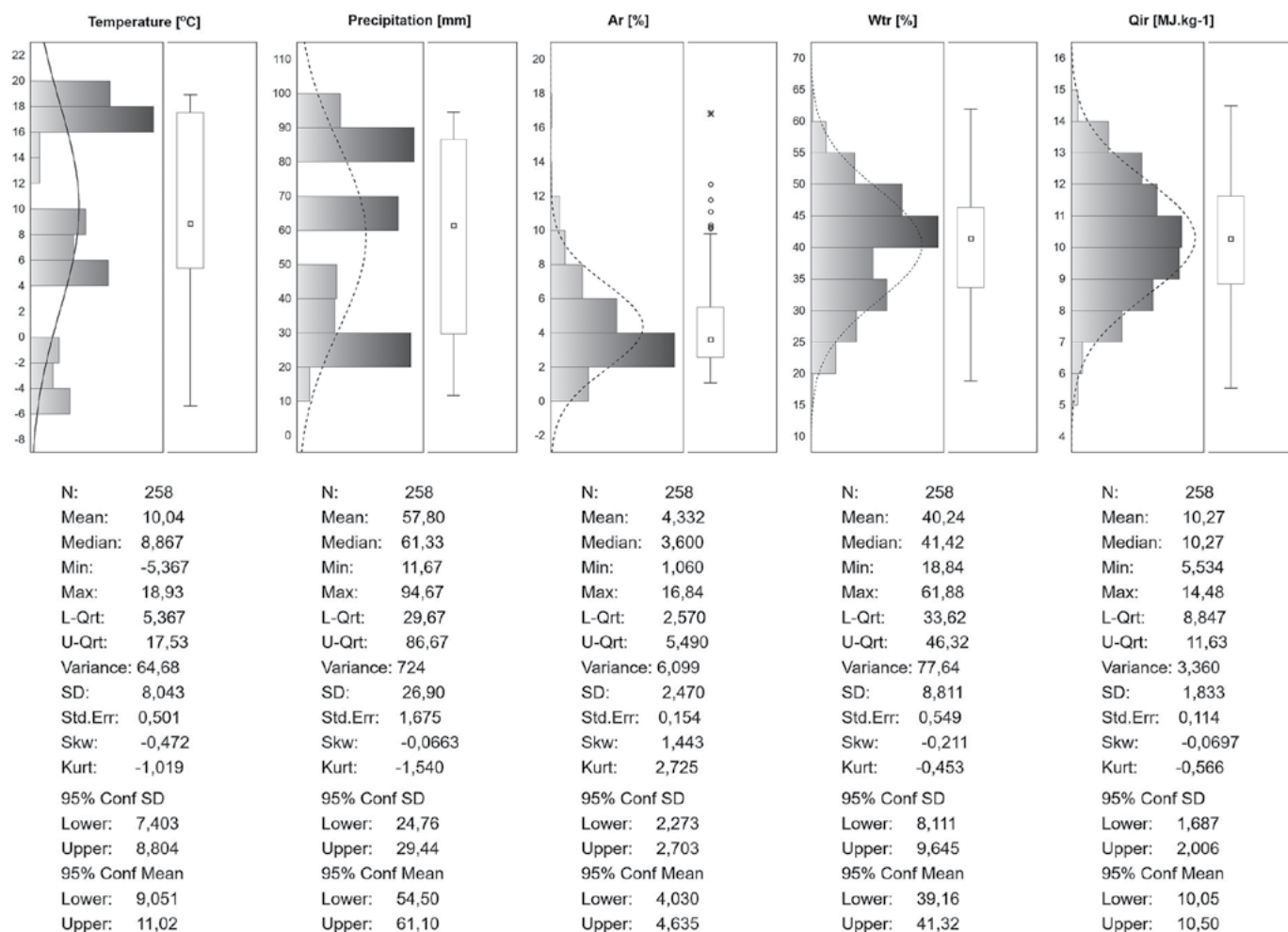
Obr. 5.
 Přehled naměřených hodnot vlhkosti proložený polygonem 4. řádu (max R^2)
Fig. 5.
 Overview of the moisture values, with the polygon of the fourth order (max R^2)



Obr. 6.
 Přehled naměřených hodnot výhřevnosti proložený polygonem 4. řádu (max. R^2)
Fig. 6.
 Overview of the calorific values, with the polygon of the fourth order (max. R^2)



Obr. 7.
 Přehled naměřených hodnot popeloviny proložený polygonem 4. řádu (max. R^2)
Fig. 7.
 Overview of the values of ash, interleaved with the polygon of the fourth procedure (max. R^2)



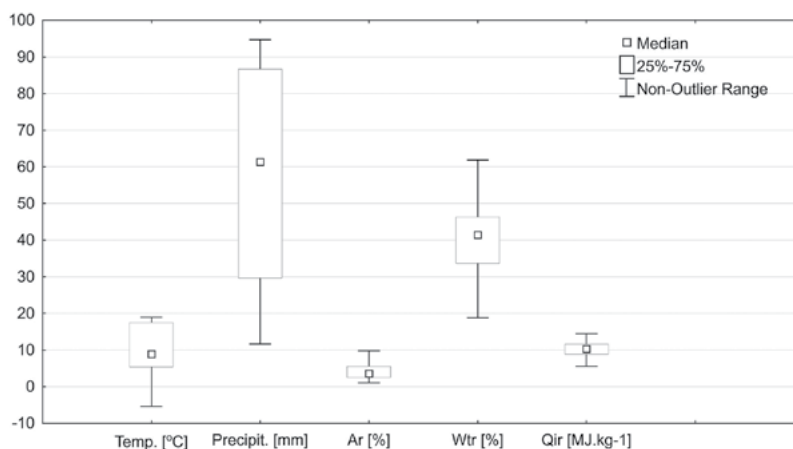
Obr. 8.

Statistické charakteristiky analyzovaných dat

Fig. 8.

Statistical characteristics of the analysed data

Zdroj/Source: ČSÚ, vlastní zpracování pomocí SW Statistica 10/Czech Statistical Office, own processing using SW Statistica 10



Obr. 9.

Krabicový graf s vyjádřením statistických charakteristik souborů analyzovaných dat

Fig. 9.

Box plots of the statistical characteristics of the analyzed data files

Zdroj/Source: ČSÚ, vlastní zpracování pomocí SW Statistica 10/ database/Czech Statistical Office, own processing using SW Statistica 10

průměru lze považovat za spolehlivou. Variační koeficienty: t 80,07 %, s 46,54 %, A^r 57,04 %, W_t^r 21,89 % a Q_t^r 17,82 %. Největší variabilitu má soubor dat t , dále A^r a s , nejnižší variabilitu má soubor dat W_t^r a Q_t^r . Dle koeficientu špičatosti se jedná (mimo A^r – špičatá) o data plochá, dle koeficientu šikmosti se jedná (mimo A^r – pravostranná) o data mírně levostranná. Data s , t , W_t^r a Q_t^r můžeme označit jako data souměrná. V případě dat A^r se jedná o data nesouměrná s výskytem extrémní hodnoty. Krabicové grafy (obr. 9) graficky znázorňují výše popsané charakteristiky základních souborů analyzovaných dat.

Statistická analýza

Výsledky statistické analýzy a koeficienty modelů jsou uvedeny v tab. 2 a 3.

Z výsledků lineární regrese pro jednotlivé proměnné souhrnně sestavené v tab. 2 je možné stanovit následující závěry:

- Závisle proměnná hodnota A^r je dle statistické analýzy nezávislá na nezávisle proměnných x_t a x_s – hodnota korelačního koeficientu a koeficientu determinace jsou velmi malé, regresní model nevysvětluje vztah mezi proměnnými.
- Závisle proměnné W_t^r a Q_t^r jsou středně závislé na nezávisle proměnných x_t a x_s . Korelační koeficienty mezi vysvětlovanou proměnnou a vysvětlující proměnnou dosahují hodnot 0,27–0,50, což

svědčí o střední až výrazné korelaci mezi proměnnými (DALES, URY 1978; ARMSTRONG 2007).

- Hodnoty koeficientu determinace se pohybují v intervalu 0,07–0,25, což znamená, že model vysvětluje 7–25 % rozptylu závisle proměnných, a to je poměrně nízká hodnota.
- V případě hodnot W_t^r a Q_t^r je model jako celek na zvolené hladině významnosti statisticky významný.

Z výsledků lineární regrese pro jednotlivé proměnné souhrnně sestavené v tab. 3 je možné stanovit následující závěry:

- Závisle proměnná hodnota A^r je dle statistické analýzy nezávislá na nezávisle proměnné $x_{t,s}$ – hodnoty korelačního koeficientu a koeficientu determinace jsou velmi malé, regresní model nevysvětluje vztah mezi proměnnými.
- Závisle proměnné W_t^r a Q_t^r jsou středně závislé na nezávisle proměnných $x_{t,s}$. Korelační koeficienty mezi vysvětlovanou proměnnou a vysvětlující proměnnou dosahují hodnot 0,32 a 0,54, což svědčí o střední až podstatné korelaci.
- Hodnoty koeficientu determinace 0,10 a 0,29 znamenají, že regresní model vysvětluje 10 % a 29 % hodnot rozptylu závisle proměnných, což je střední hodnota.
- V případě hodnot W_t^r a Q_t^r je model jako celek na zvolené hladině významnosti statisticky významný.

Tab. 2.

Výsledky lineárních regresí nezávisle proměnné se závisle proměnnou
Results of linear regression of the independent variables with the dependent variable

	x_t		x_s			
	Y_{Wtr}	Y_{Qir}	Y_{Ar}	Y_{Wtr}	Y_{Qir}	Y_{Ar}
r_{xy}	0,273	0,490	0,054	0,307	0,504	0,063
R^2	0,075	0,240	0,003	0,094	0,254	0,004
$R^2_{adj.}$	0,071	0,237	-0,001	0,091	0,251	0,000
S_R	8,493	1,601	2,471	8,401	1,586	2,470
n	258	258	258	258	258	258
F	20,639	80,872	0,744	26,682	87,280	1,018
P-hodnota/ P-value ($\alpha = 0,95$)	0,000	0,000	0,389	0,000	0,000	0,314
b_0	-0,299	0,112	-0,017	-0,101	0,034	-0,006
b_1	43,242	9,149	4,498	46,055	8,284	4,666
Výsledný model/ Resulting model	$y = b_0x + b_1$					

Vysvětlivky/Captions:

x_t	nezávislá proměnná – teplota/the independent variable – temperature
x_s	nezávislá proměnná – srážky/the independent variable – rainfall
Y_{Wtr}	závislá proměnná – vlhkost/dependent variables – humidity
Y_{Qir}	závislá proměnná – výhřevnost/dependent variable – heating
Y_{Ar}	závislá proměnná – popelovina/dependent variable – ash
r_{xy}	korelační koeficient/correlation coefficient
R^2	koeficient determinace/determination coefficient
$R^2_{adj.}$	upravený koef. determinace/adjusted coefficient of determination
S_R	směrodatná chyba odhadu/standard error
n	počet pozorování/number of sightings
F	testové krit. celkového F-testu/test criterion overall F-test
P-hodnota	stat. významnost závislosti/statistical significance based
b_0	směrnice přímky – koef. funkce/the slope – coefficient function
b_1	parametr koeficientu funkce/parameter coefficient function
$\alpha = 0,95$	5% hladina významnosti/5% significance level

Tab. 3.

Výsledky lineárních regresí nezávisle proměnných t a s se závisle proměnnou Wtr , Qir a Ar
Results of linear regression of independent variables t and s with the dependent variable Wtr , Qir , and Ar

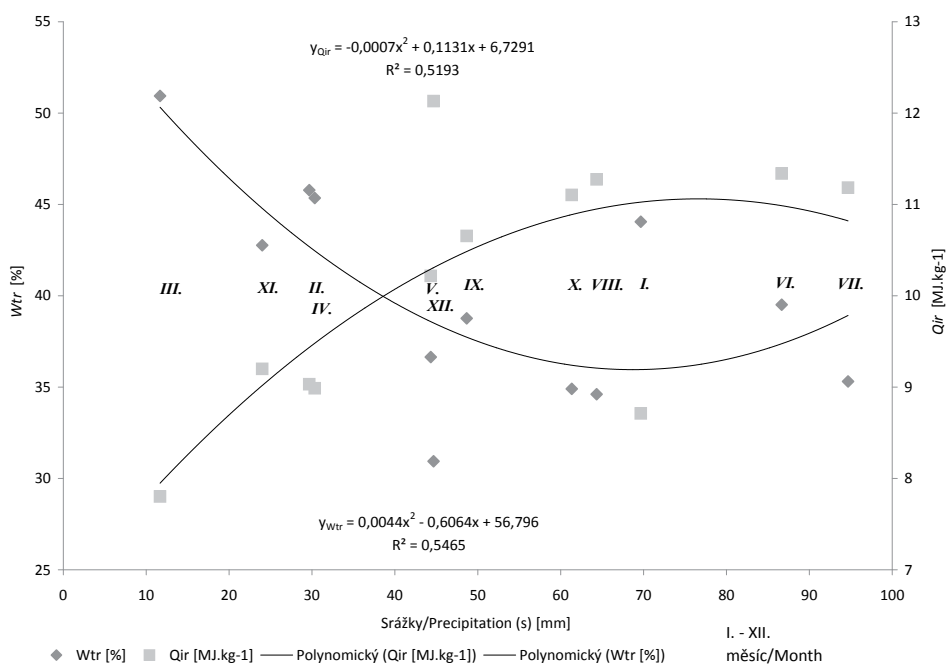
	$x_{t,s}$		$x_{t,s}$
	Y_{Wtr}	Y_{Qir}	
r_{xy}	0,317	0,539	0,064
R^2	0,101	0,290	0,004
$R^2_{adj.}$	0,094	0,285	-0,004
S_R	8,388	1,550	2,474
n	258	258	258
F	14,292	52,170	0,530
P-hodnota/ P-value ($\alpha = 0,95$)	0,000	0,000	0,589
β_0	45,792	8,414	4,654
β_1	-0,123	0,061	-0,006
β_2	-0,075	0,022	-0,005
Model:	$y = \beta_0 + \beta_1t + \beta_2s + \varepsilon$		
Statisticky významná závislost/ Statistically significant correlation	YES (P-value \leq 0,05)	YES (P-value \leq 0,05)	NO (P-value \geq 0,05)
$H_0: \Delta x_{t,s} \neq \Delta y$	rejected	rejected	not rejected
$H_1: \Delta x_{t,s} = \Delta y$	accepted	accepted	rejected

Vysvětlivky/Captions:

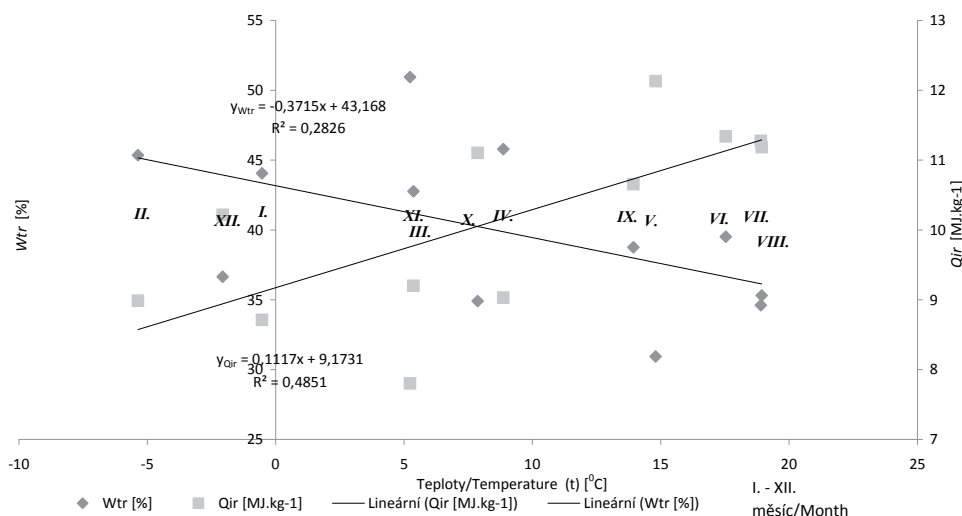
$x_{t,s}$	nezávislá prom. – teplota, srážky/with the independent variable - temperature, rainfall
β_0	absolutní člen/absolute term
b_1	člen proměnné teplota/member variable temperature
β_2	člen proměnné srážky/member variable rainfall

Na obr. 10 jsou graficky vyjádřeny průměrné hodnoty agregovaných dat z databáze a proloženy polynomem druhého řádu, kdy koeficienty determinace dosahují hodnot cca 54 %. Z takto proložených dat polynomickou funkcí lze sledovat závislost vlhkosti na výsledné výhřevnosti ad hoc modelu (model polynomu nemá prediktivní schopnost). Z průběhu polynomické funkce ve vztahu k nezávisle proměnné srážky je patrné, že měsíční srážkové úhrny neovlivňují výslednou vlhkost, a tedy ani výhřevnost energetické štěpky. Římskými číslicemi jsou v grafech označeny jednotlivé měsíce měřených dat.

Na obr. 11 jsou graficky vyjádřeny průměrné hodnoty agregovaných dat z databáze a proloženy regresní přímkou, kdy koeficient determinace dosahuje hodnoty 49 % a 28 %. Z takto proložených dat regresní přímkou lze sledovat závislost vlhkosti na výsledné výhřevnosti. Z průběhu regresní funkce ve vztahu k nezávisle proměnné teplota je patrné, že měsíční průměrné teploty ovlivňují výslednou vlhkost, a tedy i výhřevnost energetické štěpky. Rozdílné statistické výsledky mezi tab. 2 a obr. 11 jsou způsobeny agregací dat a jejich zprůměrováním. Tedy, v tab. 2 jsou data původní kompletní databáze, zatímco



Obr. 10. Grafické znázornění průběhu průměrných měsíčních hodnot W_t^r a Q_t^r ve vztahu k nezávisle proměnné – srážky
Fig. 10. Course of monthly average values in relation to the independent variable – precipitations

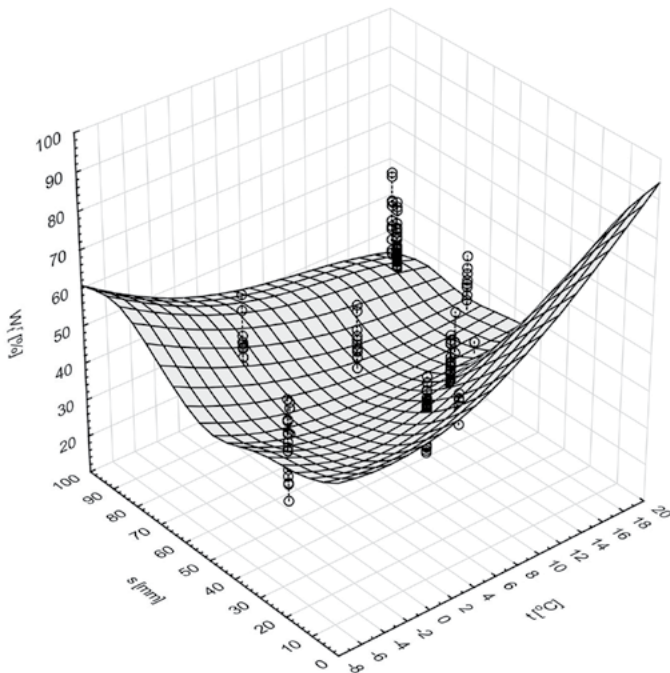


Obr. 11. Grafické znázornění průběhu průměrných měsíčních hodnot W_t^r a Q_t^r ve vztahu k nezávisle proměnné – teplota
Fig. 11. Course of monthly average values in relation to the independent variable – temperature

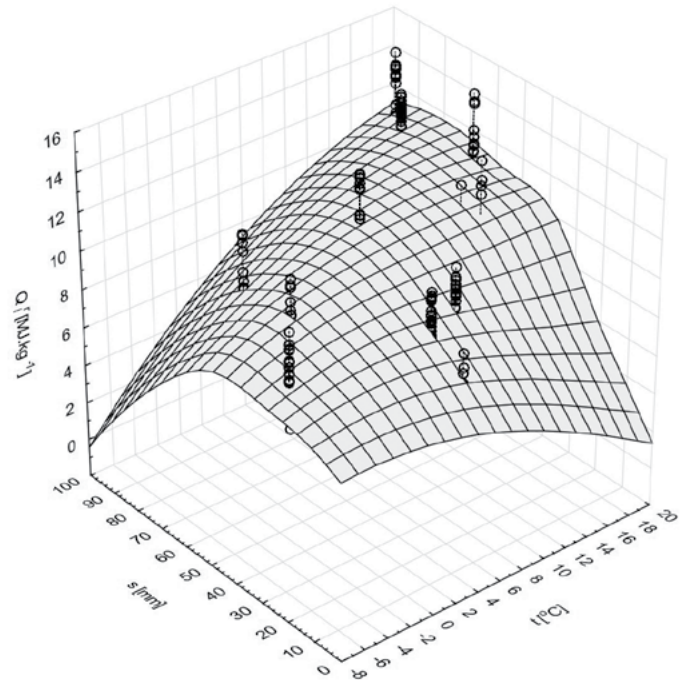
na obr. 11 jsou data průměrná, agregovaná dle jednotlivých měsíců roku 2012. Římskými číslicemi jsou v grafech označeny jednotlivé měsíce měřených dat.

Grafické vyjádření vztahu sledovaných závislých a nezávislých proměnných pomocí 3D grafů (aproximací dat rovinou) je znázorněn

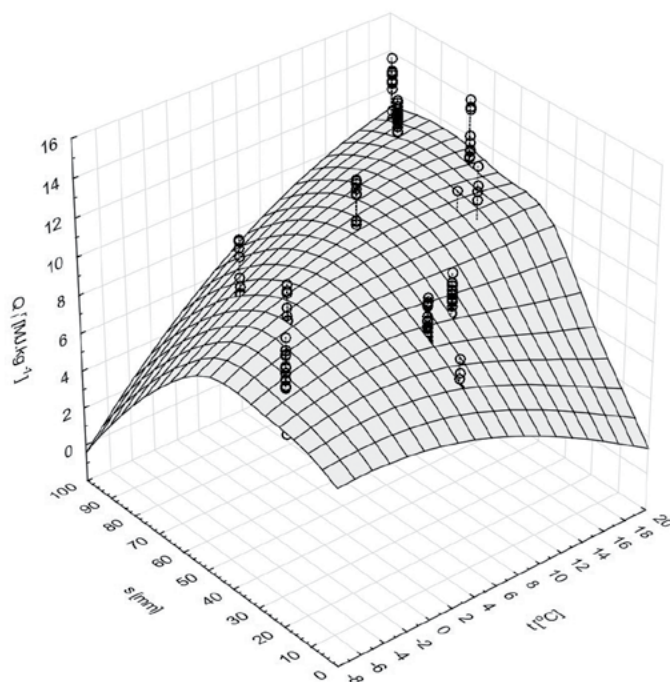
pomocí SW Statistika 10 na obr. 12–15. V grafech jsou zobrazena jednotlivá data z důvodu vizualizace kvality proložení. Na grafech je vidět, jak se závislá proměnná (osa Z) mění ve vztahu k nezávislým proměnným (osa X a Y). Jde o proložení dat, tedy určité zjednodušení skutečnosti, proto rovina nepokrývá všechny body.



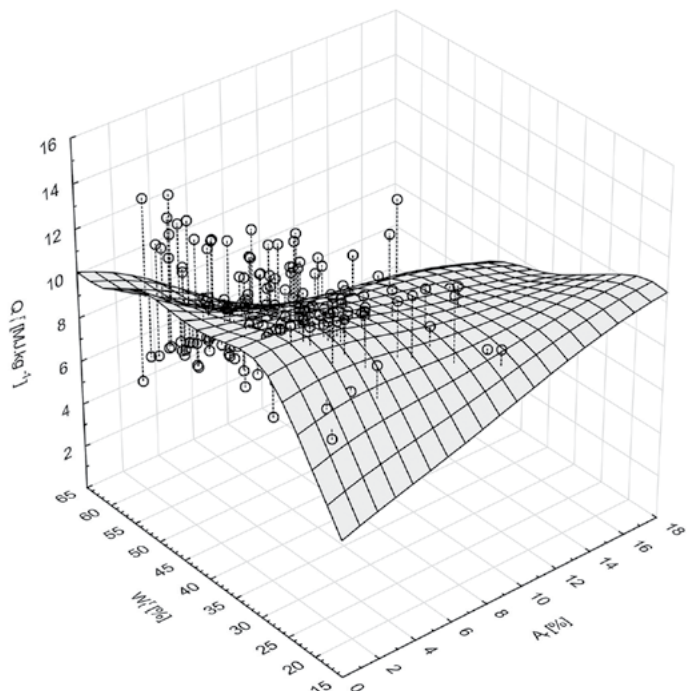
Obr. 12.
Vícerozměrná polynomická regrese aproximující proměnné t , s , W_t^r
Fig. 12.
3D Surface Plot of W_t^r [%] against t [°C] and s [mm], W_t^r [%] = Distance Weighted Least Squares



Obr. 13.
Vícerozměrná polynomická regrese aproximující proměnné t , s , Q_t^r
Fig. 13.
3D Surface Plot of Q_t^r [MJ.kg⁻¹] against t [°C] and s [mm], Q_t^r [MJ.kg⁻¹] = Distance Weighted Least Squares



Obr. 14.
Vícerozměrná polynomická regrese aproximující proměnné t , s , A_r
Fig. 14.
3D Surface Plot of A_r [%] against t [°C] and s [mm], A_r [%] = Distance Weighted Least Squares



Obr. 15.
Vícerozměrná polynomická regrese aproximující závislé proměnné A_r , W_t^r a Q_t^r
Fig. 15.
3D Surface Plot of Q_t^r [MJ.kg⁻¹] against A_r [%] and W_t^r [%], Q_t^r [MJ.kg⁻¹] = Distance Weighted Least Squares

DISKUSE

Z výsledků práce lze souhrnně konstatovat, že průměrné měsíční teploty a měsíční úhrny srážek v roce 2012 velmi slabě ovlivňují vlhkost a výhřevnost vyrobené štěpky z těžebních zbytků. Regresní modely vysvětlují slabou závislost mezi proměnnými. Výsledné modely sice slabou závislost ukazují, ale z věcného hlediska nelze konstatovat, že průběh počasí zásadně ovlivňuje výslednou jakost energetické štěpky vyrobené z těžebních zbytků. V případě obsahu popeloviny lze závislost zcela vyloučit. Model nevysvětloval ani 1 % rozptylu dat; data popeloviny měla velmi vysokou variabilitu a z toho lze spíše usuzovat na různou míru defoliace a přítomnosti asimilačního aparátu zpracovávaných těžebních zbytků. Na tento fakt upozornili ve své studii PETERSSON, NORDFJELL (2007). K obdobným výsledkům dospěli i další autoři (DAS et al. 2011; SPINELLI et al. 2011; PICCHIO et al. 2012). Podobnou problematikou se zabýval například LIN, PAN (2013) v americkém státě Michigan v roce 2011. Jímí provedená regresní analýza sice prokázala vliv vlhkosti vzduchu na vlhkost biomasy, ale teplota vzduchu a úhrnné srážky mají dle jejich regresních modelů jen zanedbatelný vliv na vlhkost biomasy, která dle uvedené studie přirozeně prosychá v čase během skladování. Ke stejným výsledkům došli i BEDANE et al. (2011), kteří při sledování různých variant skladování biomasy došli k názoru, že teplota okolního vzduchu nemá zásadní vliv na vlhkost biomasy (dřevní štěpky) během skladování. Vlhkost biomasy při skladování ovlivňuje zejména délka skladování a chemické reakce, které je nutno dále zkoumat. PETERSSON, NORDFJELL (2007) uvádějí jako další vlivy na jakost biomasy věk těžebních porostů, jejich strukturu a hmotnost. Při výzkumu průběhu sušení energetického klestu definovali průběh snižování obsahu vody ve dřevě v čase jako exponenciální, tedy že mokré dřevo prosychá rychleji než dřevo proschlé. Poukazují také na problematiku reprezentativnosti každých takových výsledků zejména v případě lesní štěpky, kdy nelze obsáhnout veškerou škálu reálných možností. PETERSSON, NORDFJELL (2007) prováděli výzkum ve Švédsku na dřevině smrk a bříza a došli k závěru, že vlhkost dřeva bezprostředně po těžbě klesá během tří týdnů z počátečních 50 % na 28,6 %, což je z hlediska energetického využití ideální stav. Také konstatují, že tři týdny není doba, která by narušila návaznost prací v lesním porostu (zalesňování) a ochranu lesa. Došli k závěru, že sušení probíhá hlavně transpirační přes asimilační aparát, a nazývají tento proces transpiračním sušením. Je logické, že stav asimilačních orgánů jak dle dřevin, tak dle stanoviště a ročních období se mění, čímž dochází i ke změnám v intenzitě transpiračního sušení. BRAND et al. (2011) ve své práci uvádějí, že nejlepší období pro výrobu energetické biomasy, a tedy i pro těžbu (sklizeň), je jaro a léto. Tyto závěry lze podpořit i výsledky provedené analýzy, kdy vlhkost štěpky v dubnu klesá, minima dosahuje v květnu a v srpnu začíná pozvolný růst. V případě výhřevnosti byl průběh podobný, tedy největší výhřevnost byla v měsíci květnu, počala růst v dubnu a pokles nastal v srpnu. Na tomto místě je zajímavé upozornit na nesoulad dosahování maximální jakosti energetické štěpky a s ní spojené zpeněžení s množstevními požadavky odběratelů, spadající zejména do zimního období, tedy mimo tento ideální interval.

ZÁVĚR

Jednou z úvah autorů, která byla podrobena analýze, byl vliv klimatických dat na výsledný obsah popeloviny (A_r) v energetické štěpce. Předpoklad autorů byl, že průběh klimatických dat má vliv i na obsah popeloviny, tj. že podíl nečistot obsažených v soustředěných těžebních zbytcích bude vyšší při vlhkém a chladném počasí. Tuto závislost se nepodařilo prokázat a z výsledků je patrné, že obsah popeloviny v energetické štěpce nekoreluje s klimatickými daty, z čehož lze usuzovat spíše na různou míru defoliace a přítomnost asimilačního aparátu (NARODOSLAWSKY, OBERNBERGER 1996; PETERSSON, NORDFJELL 2007; GREENE et al. 2014).

V případě závislých proměnných vlhkost a výhřevnost byly výsledky statistické analýzy o něco lepší, tedy konkrétně: korelace dat s proměnnou srážky byla středně významná a stejně tomu bylo i u dat korelovaných s teplotou.

Závisle proměnné vlhkost a výhřevnost jsou v kontextu společného působení klimatických dat (teplota, srážky) závislé. Korelační koeficienty mezi vysvětlovanou proměnnou a vysvětlující proměnnou dosahují hodnot 0,32 a 0,54, což je střední až podstatná závislost (SCHNEIDER 2013). Hodnoty koeficientu determinace 0,10 a 0,29 znamenají, že regresní model vysvětluje 10 % a 29 % hodnot rozptylu závisle proměnných. V případě hodnot W_t^r a Q_t^r je model jako celek na zvolené hladině významnosti statisticky významný.

Závěrem analýzy lze souhrnně konstatovat, že nulovou hypotézu zamítáme pouze v případě závisle proměnných vlhkosti a výhřevnosti, v případě popeloviny hypotézu nezamítáme. V případě parametrů vlhkosti a výhřevnosti lze přijmout alternativní hypotézu, a to, že průběh průměrných měsíčních teplot a srážkových úhrnů ovlivňuje výslednou jakost energetické suroviny vyrobené z těžebních zbytků ($H_1: \Delta x_{ts} = y_{w,q}$). Na základě provedené statistické analýzy lze odvodit platnost dvou modelů:

$$Y_{Wtr} = 45,79 - 0,123t - 0,075s + \varepsilon$$

$$Y_{Qtr} = 8,41 + 0,06t + 0,02s + \varepsilon$$

Poděkování:

Tento článek vznikl s podporou projektu NAZV č. QJ1220313 „Diferenciace intenzit a postupů hospodaření ve vztahu k zajištění biodiverzity lesa a ekonomické životaschopnosti lesního hospodářství“.

LITERATURA

- ARMSTRONG J. 2007. Statistical significance tests are unnecessary even when properly done and properly interpreted [online]. *International Journal of Forecasting*, 23 (2): 335–336. [cit. 2013-08-20]. Dostupné na/Available on: [www: http://linkinghub.elsevier.com](http://linkinghub.elsevier.com).
- BEDANE A., AFZAL M., SOKHANSANJ S. 2011. Simulation of temperature and moisture changes during storage of woody biomass owing to weather variability [online]. *Biomass and Bioenergy*, 35 (7): 3147–3151. [cit. 2013-10-20]. Dostupné na/Available on: [www: http://linkinghub.elsevier.com](http://linkinghub.elsevier.com).
- BRAND M., BOLZON DE MUÑIZ G., QUIRINO W., BRITO J. 2011. Storage as a tool to improve wood fuel quality [online]. *Biomass and Bioenergy*, 35: 2581–2588. [cit. 2013-10-10]. Dostupné na/Available on: [www: http://linkinghub.elsevier.com](http://linkinghub.elsevier.com).
- CUTSHALL J. B., GREENE W. D., BAKER S. A. 2013. Transpirational drying effects on energy and ash content from whole-tree southern pine plantation chipping operations [online]. *Southern Journal of Applied Forestry*, 37: 133–139. [cit. 2013-10-10]. Dostupné na/Available on: [www: http://linkinghub.elsevier.com](http://linkinghub.elsevier.com).
- ČSN P CEN/TS 14778-1. Tuhá biopaliva – Vzorkování. Část 1. Metody přípravy vzorku.
- ČSN P CEN/TS 14778-2. Tuhá biopaliva – Vzorkování. Část 2: Metody vzorkování sypkého materiálu přepravovaného nákladními auty.
- DALES L., URY H. 1978. An improper use of statistical significance testing in studying covariables. *International Journal of Epidemiology*, 7: 373–376. DOI:10.1093/ije/7.4.373
- DAS K.C., SINGH K., BIBENS B., HILTEN R. et al. 2011. Pyrolysis characteristics of forest residues obtained from different harvesting methods. *Applied Engineering in Agriculture*, 27 (1): 107–113. DOI:10.13031/2013.36215
- GREENE W.D., CUTSHALL J.B., DUKES C.C., BAKER S.A. 2014. Improving woody biomass feedstock logistics by reducing ash and moisture content. *BioEnergy Research*, 7: 816–823.

- KRISTENSEN E.F., KOFMAN P.D. 2000. Pressure resistance to air flow during ventilation of different types of wood fuel chip. *Biomass and Bioenergy*, 18 (3): 175–180.
- LIN Y., PAN F. 2013. Effect of in-woods storage of unprocessed logging residue on biomass feedstock quality. *Forest Products Journal*, 63 (3-4): 119–124.
- NARODOSLAWSKY M., OBERNBERGER I. 1996. From waste to raw material – the route from biomass to wood ash for cadmium and other heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*, 50: 157–168.
- PAULRUD S., NILSSON C. 2004. The effects of particle characteristics on emissions from burning wood fuel powder. *Fuel*, 83: 813–821.
- PETERSSON M., NORDFJELL T. 2007. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. *Biomass and Bioenergy*, 31: 782–792. DOI: 10.1016/j.biombioe.2007.01.009
- PICCHIO R., SPINA R., SIRNA A. et al. 2012. Characterization of wood-chips for energy from forestry and agroforestry production. *Energies*, 5: 3803–3816. DOI:10.3390/en5103803
- SCHNEIDER J. 2013. Caveats for using statistical significance tests in research assessments. *Journal of Informetrics*, 7: 50–62. DOI: 10.1016/j.joi.2012.08.005
- SPINELLI R., NATI C., SOZZI L. et al. 2011. Physical characterization of commercial woodchips on the Italian energy market. *Fuel*, 90: 2198–2202. DOI: 10.1016/j.fuel.2011.02.011

THE INFLUENCE OF THE AVERAGE MONTHLY TEMPERATURE AND PRECIPITATION ON CUMULATIVE MOISTURE, CALORIFIC VALUE AND ASH OF ENERGY CHIPS MADE FROM LOGGING RESIDUES

SUMMARY

The use of wood biomass/dendromass derived from logging residues for energy generation is associated with relatively high fluctuation of quality of the resulting feedstock, i.e. green wood chips. Crucial from an economic and energy perspective is chiefly the moisture of the chips along with the associated calorific value and ash content. The paper aims at analysing the influence of weather conditions (i.e. temperature and precipitation) in 2012 as the reference year on the quality of energy wood chips made entirely from logging residues. The data on quality represents the logging volume totalling 44,971 cubic metres (Tab. 1); the logging residues were gathered on a total area of 108.36 hectares. The production data was provided by forest enterprises and trade companies producing energy wood chips, and represented 258 business cases. The climate data was drawn from the database of the Czech Hydrometeorological Institute, as aggregated data, the effort being to eliminate local climatic fluctuations (Fig. 3 and 4). Fig. 2 shows the spatial localisation of the territories of the Czech Republic where the collection of data for analysis took place. The tabular survey (Tab. 1) and the graphs (Figs. 5 to 9) contain plotted values characterising both the feedstock (i.e. logging residues) and energy wood chips by each month of 2012. Polynomials are interspersed with the data only for the purpose of graphical interpretation of data and have no predictive nature. The header of Tab. 1 identifies the entities contributing the data into the database (A to I) while keeping their privacy, and the sites of production of logging residues (Fig. 2). The results of statistical analysis are compiled, in a tabular manner, under Tab. 2 and 3. It can be summarised based on the results of the work that the average monthly temperature and monthly precipitation in 2012 have a very weak influence on the moisture and the calorific value of wood chips produced from logging residues. For the ash content, the dependence can be fully eliminated. In the case of dependent variables of moisture and calorific value, the statistical analysis results were slightly better: the correlation between moisture & calorific value and precipitation (Fig. 10) was moderately significant; the same applied to the data when correlated with temperature (Fig. 11). Relationships of the dependent and independent variables monitored are shown in Figs. 12 to 15 using 3D graphs. The graphically rendered data illustrates how the dependent variable (Z-axis) varies in relation to the independent variables (X-axis and Y-axis). It can be concluded that the progress of average monthly temperatures and precipitations amounts influences the resulting quality of the energy feedstock produced from logging residues. Based on the results of statistical analysis, this dependency is expressed using two mathematical models, one for moisture, i.e. $Y_{\text{Wtr}} = 45.79 - 0.123t - 0.075s + \varepsilon$, and one for calorific value, i.e. $Y_{\text{Qtr}} = 8.41 + 0.06t + 0.02s + \varepsilon$.