

DLOUHODOBÉ SLEDOVÁNÍ VLASTNOSTÍ PALIVÁŘSKÉ DŘEVNÍ ŠTĚPKY

Ondřej Hlaváček, Zdeněk Beňo

Ústav plynných a pevných paliv a ochrany ovzduší, Vysoká škola chemicko-technologická v Praze,
Technická 5, 166 28 Praha 6, Ondrej.Hlavacek@vscht.cz

V kontextu politiky Evropské unie směřující k omezení využívání fosilních paliv k výrobě elektrické energie a tepla roste nejen v České republice zájem o hledání vhodné náhrady. Toto se týká především provozovatelů uhelných tepláren a elektráren, kteří za rok 2022 tvořili takřka 47,5 % českého energetického mixu [1]. Jednou z možných náhrad je substituce uhlí dřevní štěpkou. Parametry této dřevní štěpky značně kolísají nejen v závislosti na kvalitě vstupního materiálu. V článku jsou uvedeny výsledky analýz 403 vzorků reprezentujících dodávky dřevní štěpky o celkové hmotnosti 17 473 t po dobu dvou let. Byly sledovány podstatné parametry materiálu určeného k energetickému využití, zejména obsah veškeré vody, popela a rovněž byly stanoveny hodnoty spalného tepla a výhřevnosti.

Klíčová slova: dřevní štěpka, biomasa, výhřevnost, vlhkost, popel

Došlo 30. 07. 2023, přijato 31. 08. 2023

1. Úvod

V současnosti je v energetickém sektoru z biopaliv pro produkci elektrické energie a tepla využívána především dřevní štěpka, která nahrazuje uhlí jakožto majoritní palivo. Proces přechodu na biopaliva a jejich zdroje je nicméně spojen s množstvím výzev jak z hledisek technologických, tak například i logistických a hlavně ekonomických. Tato skutečnost je dána odlišnostmi obou skupin paliv. Jednotlivá paliva se od sebe odlišují prvkovým složením, energetickým obsahem, hodnotami obsahu anorganických příměsí a také chováním při samotném spalovacím procesu.

Významný rozdíl také spočívá v odlišné distribuci zdrojů jednotlivých paliv. Velké energetické celky obvykle dlouhodobě spalovaly uhlí s relativně konstantními vlastnostmi z jednoho ložiska, což se pozitivně projevilo na logistice. Oproti tomu zdroje dostupné a potenciálně využitelné biomasy jsou rozprostřeny do nesrovnatelně širší oblasti, což značně komplikuje logistiku potřebného množství biomasy. Navíc v průběhu roku dochází ke kolísání kvality v závislosti na ročním období, kdy dodávky v zimních měsících mají nižší hodnoty výhřevnosti [2,3,4].

Zdroje s tepelným výkonem nad 20 MW nemohou pobírat podporu OZE [5] na dřevní štěpku z kulatiny a musí tak využívat zbytky po lesní těžbě, které jsou méně kvalitní a vykazují vysokou heterogenitu. V praxi se jedná o nadrcené větve, kořeny, jehličí a hrabanku (lesní půdu). Vlastnosti dřevní štěpky, mezi které patří z palivářského hlediska především obsah vody, obsah popela a hodnota spalného tepla a výhřevnosti, se mohou výrazně měnit v závislosti na původu paliva, délce jeho uskladnění a například i ročním období, během kterého byl materiál vytěžen. Znalost výše zmíněných parametrů je důležitá jak z hlediska technologického, tak z hlediska dodavatelsko-odběratelských vztahů, neboť na základě znalosti výhřevnosti a množství dodaného paliva probíhá i stanovení finální platby za energii dodanou v palivu.

2. Experimentální část

V rámci experimentální části byly sledovány základní palivářské parametry, které mají přímé využití pro provoz teplárny, zejména obsah veškeré vody a popela v původním vzorku a hodnoty spalného tepla a výhřevnosti. Zároveň byla zaznamenávána hmotnost dodaného množství štěpky.

Jako vzorková základna sloužily dodávky dřevní štěpky do teplárny průmyslového partnera. Palivo bylo dováženo pomocí automobilové dopravy, každý kamion byl zvážen před a po složení paliva. Palivo bylo skladováno na otevřené skládce a bylo na sebe hromaděno maximálně do výšky 4 metrů. Palivo nebylo nijak stlačováno. Po vykládce byl z každého kamionu odebrán vzorek podle normy ČSN EN ISO 18135, který byl dále zpracován. Standardně byl vyhodnocován denní sesyp dodávek. Pouze v případech větší kvantity a při podezření na porušení dodavatelské kázně bylo provedeno více paralelních stanovení. Takto byly sledovány dodávky dřevní štěpky během let 2021 a 2022. Důležité je zmínit, že teplárna během roku 2021 teprve začínala s postupným spalováním biomasy a dodávky postupně narůstaly.

V následující části jsou popsány postupy, kterými byly cílové parametry laboratorně stanoveny.

2.1 Stanovení obsahu veškeré vody

Laboratorní vzorek byl zvážen a vložen do sušárny vyhřáté na 105 °C. Po třech hodinách byl zvážen a vrácen do sušárny. K opětovnému převážení došlo po 30 minutách. Tento proces byl opakován, dokud dvě po sobě jdoucí měření nezaznamenaly změny hmotnosti s přesností na dvě desetinná místa. Hodnota obsahu veškeré vody M_{ad} je udávána v procentech a vypočtena dle vzorce (2.1), kde m_1 je hmotnost prázdné váženky a víčka v g, m_2 je hmotnost váženky a víčka se zkušebním vzorkem před sušením v g a m_3 je hmotnost váženky se zkušebním vzorkem a víčka po sušení v g. Tento postup odpovídá

normě ČSN EN 18134-3 [6]. Prakticky trvala doba stanovení jednoho vzorku 5 až 8 hodin.

$$M_{ad} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (2.1)$$

2.2 Stanovení obsahu popela

Obsahem popela se rozumí hmotnost anorganických zbytků po spálení paliva za přesně stanovených podmínek. Po vysušení byl vzorek upraven na dvojici mlýnů tak, aby výsledná frakce neobsahovala částice přesahující rozměr 2 mm. Z upraveného vzorku byl do porcelánového kelímku odvážen přibližně 1 g vzorku, který byl následně vložen do muflové pece. V peci byl vzorek zahříván dle teplotního programu, konkrétně nejprve rychlostí $6 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ do teploty $250 \text{ }^\circ\text{C}$, při které vzorek setrval 60 minut. Následně byl zahříván rychlostí $10 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ do teploty $550 \text{ }^\circ\text{C}$, na které vzorek setrval do konstantní hmotnosti, nejméně však dvě hodiny. Po vyjmutí z pece setrvá vzorek do vychladnutí na laboratorní teplotu v exikátoru a následně je zváženo. Výsledná hodnota obsahu popela v suchém stavu A_d se vypočte dle rovnice (2.2), kde m_1 je hmotnost prázdného kelímku v g, m_2 hmotnost kelímku se zkušebním podílem v g, m_3 hmotnost kelímku s popelem v g a M_{ad} obsah vody ve zkušebním podílu. Následně došlo k přepočtu obsahu popela na původní vzorek. Stanovení je dle normy ČSN EN ISO 18122 [7].

$$A_d = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{ad}} \quad (2.2)$$

$$q_I = \{q_S - 212,2 \cdot w(H)_d - 0,8 \cdot [w(O)_d + w(N)_d]\} \cdot (1 - 0,01 \cdot M) - 24,43M \quad (2.5)$$

kde q_S je spalné teplo vzorku, M je hmotnostní zlomek vody v palivu vyjádřený v procentech a $w(H, N, O)_d$ jsou hmotnostní zlomky obsahu vodíku, dusíku a kyslíku v suchém stavu vyjádřeny v procentech. Tento postup je popsán normou ČSN EN ISO 18125 [8].

3. Výsledky a diskuze

Během dvou let byly provedeny analýzy u 403 vzorků (155 v roce 2021, 248 v roce 2022), které reprezentují dodávky dřevní štěpky o celkové hmotnosti 17 473 t. Rovněž je důležité zmínit, že některé dodávky paliva byly vráceny dodavatelům na základě prvotní vizuální kontroly pro zjevné nesplnění kvalitativních parametrů, a tudíž nejsou tyto dodávky ve výsledcích zahrnuty. Důvodem pro odřeknutí dodávek bylo například neúměrné množství nadrozměrných částic či vysoký obsah anorganického podílu (kameny, zemina). V některých dodávkách byly objeveny i kusy panelů a asfaltu, které měly původ pravděpodobně z nekvalitního podkladu deponie, a které se do paliva dostaly při nakládce kolovým nakladačem. V Tab. 3.1 jsou vypsány průměrné, maximální a minimální naměřené hodnoty pro sledované parametry

2.3 Stanovení spalného tepla a výhřevnosti

Stanovení spalného tepla a výhřevnosti proběhlo na isoperibolickém kalorimetru IKA C6000. Z namletého vzorku byla vylisována peleta, která byla vložena do tlakové nádoby a po uzavření natlakována kyslíkem na hodnotu přetlaku 3 MPa. Po vložení do kalorimetru bylo spuštěno měření, které sledovalo teplotu vody v lázni, ve které byla rozkladná nádoba se vzorkem ponořena. Po ustálení došlo k iniciaci a zahoření vzorku, přičemž byl sledován nárůst teploty vody v kalorimetru. Hodnota spalného tepla q_S byla vypočtena automaticky dle rovnice (2.3), kde $\varepsilon_{(n)}$ je střední hodnota efektivní tepelné kapacity kalorimetru stanovená při kalibracích v J/K, θ je opravený teplotní vzestup, Q_{fuse} je podíl tepla ze spálení zapalovacího prostředku v J, Q_{ign} je podíl tepla z oxidace zapalovacího drátku v J, Q_N je podíl tepla uvolněného vznikem kyseliny dusičné v J, Q_S je oprava na síru z vodného roztoku kyseliny sírové na plynný oxid siřičitý a m_1 je hmotnost vzorku paliva v g.

$$q_S = \frac{\varepsilon_{(n)} \cdot \theta - Q_{fuse} - Q_{ign} - Q_N}{m_1} - \frac{Q_S}{m_1} \quad (2.3)$$

Opravený teplotní vzestup se vypočte dle vzorce (2.4), kde t_f je teplota na konci hlavního úseku, t_i je teplota na počátku vzestupného úseku a Δt_{ex} je tzv. oprava na únik tepla, která v sobě zahrnuje i přírůstky z výměny tepla mezi kalorimetrem a termostatem a z výkonu míchání.

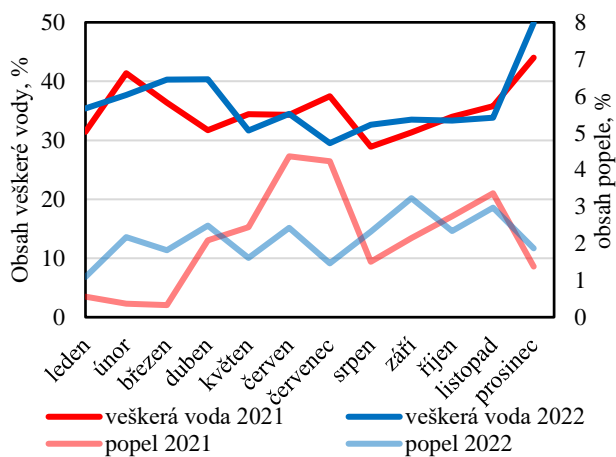
$$\theta = (t_f t_i) - \Delta t_{ex} \quad (2.4)$$

Výhřevnost q_I se vypočte dle rovnice (2.5):

Tab. 3.1 Průměrné a maximální naměřené hodnoty
Tab. 3.1 Average and maximum measured values

	W ^(ar)	A ^(ar)	q _S	q _I
	%	%	MJ·kg ⁻¹	MJ·kg ⁻¹
průměr	36,02	2,28	12,66	11,10
sm.odchylka	8,88	1,95	1,91	2,02
průměr 2021	35,29	2,52	12,68	11,13
sm.odchylka	9,67	2,32	2,09	2,21
průměr 2022	36,52	2,12	12,65	11,08
sm.odchylka	8,32	1,65	1,79	1,90
výhřevnost a spalné teplo				
max	35,63	2,47	19,28	18,12
min	73,58	0,29	5,43	3,34
obsah popela				
max	49,91	18,35	7,07	5,49
min	44,34	0,16	10,97	9,26
obsah veškeré vody				
max	73,58	0,29	5,43	3,34
min	15,44	0,6	16,51	15,17

Obsah veškeré vody se u jednotlivých vzorků velmi lišil, ve většině případů se pohyboval okolo 36 %. V dlouhodobém měřítku můžeme pozorovat mírný trend, kdy v letních měsících jsou dodávány vzorky sušší, kdežto v zimních naopak. U nejméně kvalitního vzorku byla naměřena hodnota obsahu vody 73,58 %, čemuž odpovídala i velmi nízká hodnota spalného tepla ($5,43 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$). V tomto případě vznikly pochybnosti o kvalitě vzorku již na základě vizuální kontroly, kdy bylo patrné, že materiál je velmi promáčený a obsahuje především hrabanku a minimum dřevní hmoty. Nejnižší naměřená hodnota vlhkosti činila 15,44 %. Tato dodávka byla také vizuálně nestandardní a bylo zjevné, že se jedná o sušený nebo dlouhodobě v suchu skladovaný materiál např. z pily. Původ materiálu ovšem nebylo možné jakkoliv ověřit. Naměřené průměrné měsíční hodnoty jsou zobrazeny na Obr. 3.1.



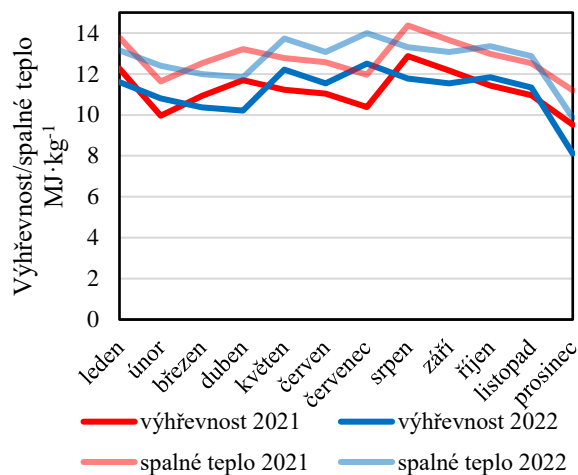
Obr. 3.1 Hodnoty obsahu veškeré vody a popela v původním vzorku

Obr. 3.1 The values of the content of all water and ash in the original sample

V případě obsahu popela se průměrná hodnota pohybuje okolo 2,3 % a obsah popela je v průběhu roku víceméně stálý. Za zmínku stojí nízké hodnoty z prvního kvartálu roku 2021, kdy provoz začínal se spalováním biomasy, a proto byly upřednostňovány dodávky polomového dřeva, které kvalitou odpovídá dřevní štěpce z kulatiny. Nejnižší hodnoty 0,16 % bylo dosaženo právě v případě těchto dodávek polomového dřeva. Nejvyšší hodnoty 18,35 % bylo dosaženo u vzorku viditelně složeného především z hrabanky a čerstvého jehličí s minimálním obsahem dřevní hmoty, což dokládá i nízká hodnota spalného tepla $7,07 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Naměřené průměrné měsíční hodnoty jsou zobrazeny na Obr. 3.2.

Průměrné hodnoty spalného tepla dosahují $12,67 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ a výhřevnosti $11,1 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. Dlouhodobě lze vysledovat mírný trend vyšších hodnot v letních měsících, a naopak nižších hodnot v měsících zimních. Z hodnot spalného tepla je možné si učinit úsudek o kvalitě dodávané dřevní štěpky. Vzorky obsahující větší množství hrabanky mají nižší hodnoty spalného tepla i za předpokladu, že vzorek byl dodán relativně suchý. To je

dáno vyšším podílem anorganických příměsí. Naměřené průměrné měsíční hodnoty jsou zobrazeny na Obr. 3.2. Na Obr. 4.1 je graficky znázorněna spotřeba dřevní štěpky s rozdělením do jednotlivých kategorií dle technického rozboru. Výchytky ve spotřebě v měsících července a srpna jsou způsobeny plánovanými odstávkami teplárny.



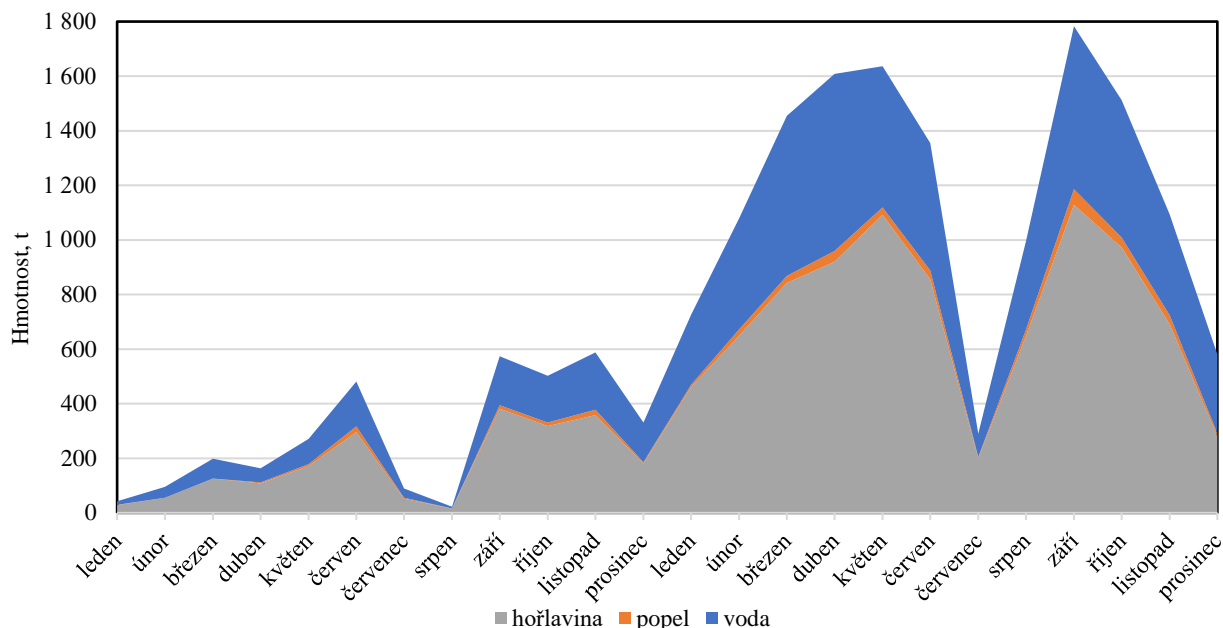
Obr. 3.2 Hodnoty spalného tepla a výhřevnosti
Obr. 3.2 The values of the HHV and LHV

4. Závěr

Byly sledovány a v článku popsány kvalitativní parametry dřevní štěpky ze zbytků po lesní těžbě dodávané do teplárny k energetickému využití. Sledovací období včetně náběhu je dlouhé dva roky, přičemž sledovány byly parametry obsahu veškeré vody a popela v původním vzorku a hodnoty spalného tepla a výhřevnosti. Dohromady bylo odebráno a zanalyzováno 403 vzorků, odpovídají dodávce 17 473 t tohoto paliva. Relativně dlouhá doba, po kterou byla kvalita paliva sledována umožňuje učinění několika závěrů.

Z výsledků lze určit průměrné hodnoty jednotlivých parametrů dodaného biopaliva (viz Tab. 3.1), přestože rozpětí hodnot je poměrně široké. Vysoká nehomogenita a proměnlivá kvalita materiálu klade podstatně vyšší nároky na zaměstnance teplárny zodpovědné za příjem paliva, kteří na základě vizuální kontroly rozhodují o přijetí, či nepřijetí dodávky biopaliva. Často se vyskytují případy, kdy je společně s palivem dodáno větší množství nežádoucích látek, které mohou poničit technologii teplárny. Zejména se jedná o kusy kamení, asfaltu, železa či nadrozměrných (nedrcených) částí dřeva.

Hodnoty výhřevnosti, jakožto klíčového parametru pro provoz teplárny, jsou závislé převážně na zodpovědnosti dodavatelů a jejich nakládání s materiálem, které mohou výslednou výhřevnost značně ovlivnit. Vliv má také původ této štěpky, zejména obsah hrabanky či zastoupení polomové kulatiny. Je možné vysledovat sezónní charakter hodnot výhřevnosti dodávaných paliv, kdy je během letních měsíců dodáváno biopalivo o mírně vyšší výhřevnosti.



Obr. 4.1 Spotřeba dřevní štěpky
Obr. 4.1 Consumption of wooden residues

Poděkování

Článek vznikl ve spolupráci se společností ŠKO-ENERGO, s.r.o. v Mladé Boleslavi v rámci projektu Specifického vysokoškolského výzkumu, projekt č. A1_FTOP_2023_003 a A2_FTOP_2023_001.

Literatura

1. OTE,a.s. Národní energetický mix, <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>, staženo 30.7.2023.
2. Gendek A., Nurek T, Zychowicz W., Moskalik T., Effects of Intentional Reduction in Moisture Content of Forest Wood Chips during Transport on Truckload Price, *BIORESOURCES*, 4310-4322 (2018), doi: 10.15376/biores.13.2.4310-4322.
3. Afzal M.T., Bedane A.H., Sokhansanj S., Mahmood W., Storage of comminuted and uncomminuted forest biomass and its effect on fuel quality, *BIORESOURCES*, 55-69 (2010).
4. Pedisius N., Praspaliauskas M., Pedisius J., Dzenajaviene E.F., Analysis of Wood Chip Characteristics for Energy Production in Lithuania, *ENERGIES*, (2021), doi: 10.3390/en14133931.
5. Zákon č. 382/2021 Sb., kterým se mění zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony.
6. ČSN EN 18134-3: Tuhá biopaliva – Celková voda - Metoda sušení v sušárně - Část 3: Voda v analytickém vzorku pro obecný rozbor.
7. ČSN EN ISO 18122: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu popela.
8. ČSN EN ISO 18125: Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti.

Summary

Long-term monitoring of the parameters of fuel wooden residues

Ondřej Hlaváček, Zdeněk Beňo

Due to European Union's policy aimed at limiting the use of fossil fuels for the production of electricity and heat, there are many of producers looking for suitable substitutes. In 2022 in the Czech Republic coal-fired heating and power plants were almost 47.5% of the energy mix. One of the possibilities is the replacement of coal with wood chips or wood residues from the forest harvesting. But parameters of this material are fluctuating.

The article presents the results of the analysis of 403 samples representing deliveries of wood residues with a total weight of 17,473 t over a period of two years. Monitored parameters were moisture and ash content, LHV and HHV.

The average values were 36.02 % of moisture content, 2.28 % of ash content, 11.1 MJ·kg⁻¹ LHV and 12.66 MJ·kg⁻¹ HHV. There is an influence of the year period when the wood residues with better LHV were supplied during the summer months. There are some correlations between a moisture content and LHV as well as ash content and HHV. The sample with the highest moisture content (73.58%) had the lowest LHV (3.34 MJ·kg⁻¹). The sample with the highest ash content (18.35%) had the lowest HHV (7.07 MJ·kg⁻¹). In a few of supply were higher content of stones, asphalt or uncrushed parts of the tree which caused problems on heating plant technology.