

POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ HNĚDÉHO UHLÍ A SUBSTITUČNÍCH PALIV NA BÁZI BIOMASY

Ondřej Hlaváček, Zdeněk Beňo

Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Ústav udržitelných paliv a zelené chemie,
Technická 5, 166 28 Praha 6, Ondrej.Hlavacek@vscht.cz

V důsledku politiky EU v oblasti změny klimatu zejména prostřednictvím obchodu s emisními povolenkami jsou provozovatelé tepláren nuceni ustoupit od spalování fosilních paliv. Část z nich vidí jako možné východisko změnu paliva za nové na bázi biomasy, na které se emisní povolenky nevztahují. Jako udržitelná cesta se jeví využití zbytků po těžbě dřeva ve formě dřevní štěpky nebo využití zemědělských zbytků, jako například zbytky slunečnic, řepky či slámy. Využití těchto typů paliv sebou přináší komplikace, které doposud při spalování uhlí nebylo zapotřebí řešit. Článek se zabývá porovnáním vlastností paliv na bázi hnědého uhlí, rostlinné zemědělské biomasy ve formě pelet a dřevní štěpky ze zbytků těžby, a to s cílem jejich možné substituce v současných teplárenských kotlích provozovaných na fosilní paliva.

Klíčová slova: hnědé uhlí, rostlinná biomasa, pelety, dřevní štěpka

Došlo 28. 02. 2024, přijato 27. 03. 2024

1. Úvod

Ceny emisních povolenek rostou. Během energetické krize stály až 100 EUR/t, zatímco před deseti lety v roce 2014 se cena pohybovala okolo 4,7 EUR/t [1]. Je to jeden z hlavních nástrojů, kterým jsou nuceni provozovatelé uhelných tepláren k přechodu na jiná paliva. Přitom paliva na bázi biomasy nejsou do EU ETS (Emission Trading System) zahrnuty vůbec [2,3], navíc je možné na většinu biomasových paliv čerpat podporu obnovitelných zdrojů energie [4,5]. Dle programového prohlášení vlády ČR je plánovaný odchod od uhlí již v roce 2033 [6]. Toto jsou skutečnosti, které již donutily některé provozy k ukončení provozu nebo ke stanovení strategie retrofitu, neboli přeorientování se na jiné palivo.

Část zejména menších tepláren zvolila pro záměnu zemní plyn. Pro tuto volbu existuje řada racionálních argumentů, zejména nižší investiční náklady či nižší náklady na údržbu. Nevýhodou takového řešení je ovšem vyšší pořizovací cena zemního plynu, což se ukázalo během ukrajinské krize, kdy byly omezeny doposud stabilní dodávky ruského plynu, což se projevilo i na ceně. Další nevýhodou je skutečnost, že zemní plyn je rovněž fosilní palivo a je zatíženo emisní povolenkou. EU má útlum zemního plynu plánovaný mezi roky 2040-2050 [7]. Dodávky biomethanu (methanu vzniklého v bioplynových stanicích) přitom nejsou a ani nebudou schopné zcela pokrýt spotřebu zemního plynu [7]. Možný substituent je spatřován ve vodíku, ovšem toto řešení není aktuálně ekonomicky rentabilní, pokud je vůbec možné. Mezi teplárny, které provedly retrofit na zemní plyn, patří např. teplárna Náchod [8].

Dalším možným řešením je retrofit na tuhá paliva na bázi biomasy. Těchto paliv je větší množství s různými vlastnostmi a vlivy na spalovací proces. Nejvíce dostupným palivem je dřevní štěpka, některé menší zdroje využívají biomasu ve formě pelet. Mezi teplárny již nyní spalující biomasu patří např. Hodonín, Štětí, Planá nad Lužnicí či Poříčí [9-12].

Část provozovatelů tepláren uvažuje nad změnou za palivo na bázi odpadu. V tomto případě se ale již nedá hovořit o retrofitu, nýbrž o výstavbě nového zdroje, respektive zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO). Mezi takovéto teplárny patří např. Opatovice nad Labem, Mělník či Komořany [13-15]. Možné řešení je i ve spalování TAP (tuhé alternativní palivo) respektive vytříděného a upraveného odpadu. Toto řešení je aplikováno např. na teplárně v Přerově [16].

V případě retrofitu na využití obnovitelných zdrojů energie či odpadu lze využít dotační podpory Státního fondu životního prostředí z Modernizačního fondu, konkrétně z programu 2: HEAT. V tomto případě může podpora dosahovat až do výše 60 % investice. Nevýhodou je její zpětné vyplácení či proces notifikace před Evropskou komisí [17].

Vlastnosti různých druhů biomasy se od sebe významně liší a vždy záleží na konkrétních dodavatelských vztazích a přesném původu materiálu. I zdroje z literatury se vzájemně liší či uvádějí poměrně velmi široké rozpětí hodnot. Například nejdostupnější dřevní štěpka může obsahovat 25-55 % vody a výhřevností 8-19 MJ/kg [18,19]. V případě pelet je obsah vody relativně stabilní, neboť před samotnou peletizací je materiál drcen a vysušen. Vlhkost se tak dle informací z literatury pohybuje v rozmezí 5-20 %. Velmi odlišný je obsah jednotlivých prvků a závislosti na vstupním materiálu, nejvíce diskutovaný rozdíl je v obsahu K a Cl, jehož je v zemědělských materiálech násobně více, než v materiálech dřevěných [20,21].

2. Experimentální část

Výběr vzorku byl zvolen tak, aby byla zastoupena současná fosilní paliva a jejich případné alternativy na bázi biomasy. Během experimentální části byly analyzovány vzorky hnědého uhlí z dolu Bílina, rostlinných peletek pocházejících ze zemědělských zbytků a vzorky dřevní štěpky ze zbytků po lesní těžbě. Všechny vzorky

byly odebrány z dodávek do komerčně provozované tepelnárny. Monitorovací období trvalo po dobu tří let, konkrétně od ledna 2021 do prosince 2023 včetně.

Z dodávek byly odebírány pravidelně odebírány vzorky, u kterých docházelo obratem ke stanovení obsahu vody, popela, spalného tepla a výhřevnosti. Takto bylo analyzováno 702 vzorků hnědého uhlí, 715 vzorků rostlinných pelet a 607 vzorků dřevní štěpky. Vzorkování a úprava vzorku probíhaly v souladu s platnými normami [22-27].

Pro účely stanovení prvkového složení byly z odebraných vzorů tvořeny sesypy dle příslušných norem [28]. Tyto rozbory byly prováděny s čtvrtletní četností, celkem tedy 12krát za sledované období. V následující části jsou blíže popsány jednotlivé metody stanovení.

2.1. Stanovení obsahu vody

V případě všech vzorků byl gravimetricky stanoven obsah hrubé a analytické vody sušením v sušárně při teplotě 105 °C. Následně byl vypočítán obsah celkové vody. Stanovení probíhalo v souladu s normami [29-32].

2.2. Stanovení obsahu popela

V případě uhlí bylo stanovení obsahu popela provedeno dle normy ČSN ISO 1171 [33]. Analytický vzorek byl zahříván v peci rychlostí 8 °C/min na 500 °C s prodlevou na dané hodnotě 30 minut a následně byla teplota pece zvyšována rychlostí 8 °C/min na 815 °C, kde vzorek setrval do konstantní hmotnosti.

Stanovení obsahu popela v případě dřevní štěpky a rostlinných pelet bylo provedeno dle normy ČSN EN ISO 18122 [34]. Analytický vzorek byl zahříván v peci rychlostí 6 °C/min na 250 °C s prodlevou na dané hodnotě 60 minut a následně byla teplota pece zvyšována rychlostí 10 °C/min na 550 °C, kde vzorek setrval do konstantní hmotnosti.

2.3. Stanovení hodnoty spalného tepla a výhřevnosti

Stanovení spalného tepla spočívalo ve spálení známého množství vzorku paliva v atmosféře čistého kyslíku o tlaku 3 MPa v kalorimetru. Na základě zjištěné hodnoty spalného tepla a obsahu vody a vodíku bylo následně možné vypočítat i výhřevnost analyzovaného paliva.

Stanovení probíhalo v souladu s normami [35,36].

2.4. Stanovení obsahu dusíku, vodíku, uhlíku, síry a chloru

Stanovení elementárního složení vzorků paliv, konkrétně obsahu dusíku, vodíku, uhlíku, síry a chloru, bylo realizováno spalovací metodou, při které byla známá navážka vzorku paliva spálena za vysoké teploty v proudu čistého kyslíku a množství vzniklých produktů spálení bylo následně určeno pomocí infračervené spektrometrie a tepelně vodivostního detektoru.

Stanovení probíhalo v souladu s normami [37-39].

2.5. Stanovení obsahu prvků pomocí ICP AES

Pro stanovení obsahu dalších prvků ve vzorcích paliv byla využita metoda atomové emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem ICP-AES. Proces analýzy spočíval nejprve v mineralizaci známého množství vzorku s následnou analýzou vzniklého roztoku metodou ICP-AES. Analýza proběhla v souladu s normou ČSN EN ISO 11885 [40].

3. Výsledky a diskuse

3.1. Obsah vody

Nejmenší obsah vody obsahují rostlinné pelety, což je způsobeno jejich technologií výroby, kde je vstupní materiál vysoušen. Kvůli konzistenci musí být pelety přepravovány a skladovány v suchých prostorech, takže oproti ostatním vzorkům je zde zamezeno vnašení dodatečné vlhkosti prostřednictvím povětrnostních vlivů.

Vzorky dřevní štěpky vykazují poměrně široký rozptyl hodnot. To má svůj původ v rozličnosti původního materiálu, neboť kromě zbytků dřeva po těžbě (větve apod.), dodávky obsahují kulinu z polomového dřeva či hrabanku (lesní půdu), která se do dodávky dostala při nakládání bagrem na nezpevněném materiálu. Vliv má také délka časového období mezi samotnou těžbou a přijetím materiálu do provozu, potažmo k analýze, neboť čerstvě sklizené dřevo obsahuje více vody.

U vzorků lze pozorovat drobný sezónní vliv, který je nejvíce patrný u dřevní štěpky. Naměřené výsledky jsou uvedeny v tab. 3.1 a na obr. 3.1, kde jsou do grafu vyneseny měsíční průměrné hodnoty.

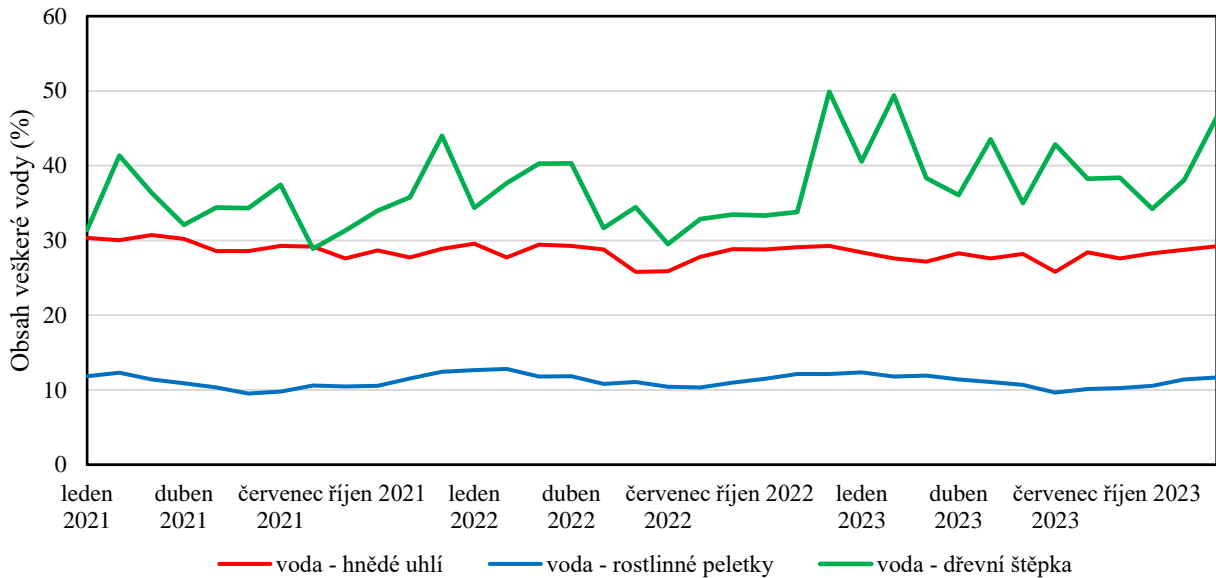
Tab. 3.1 Obsah vody (% hm.)

Tab. 3.1 Water content (% wt.)

Parametr	Hnědé uhlí	Rostlinné pelety	Dřevní štěpka
Průměr	28,63	11,35	36,34
Medián	28,79	11,45	34,43
Sm.odchylka	1,15	0,86	5,15
Min. hodnota	25,81	9,52	28,90
Max. hodnota	30,72	12,82	49,89

3.2. Obsah popela

Nejmenší hodnoty obsahu popela vykazují vzorky dřevní štěpky. Zejména v porovnání s rostlinnými peletami toto může být způsobeno menším obsahem vody u pelet, a tedy skutečností, že popeloviny zabírají větší podíl ve hmotě. Malý obsah popela u dřevní štěpky je ovlivněn i skutečností, že dodávky na začátku roku 2021 obsahovaly kůrovcové dřevo s vyšším podílem kulinu, což se projevilo do výrazně nižších hodnot obsahu popela. Naměřené výsledky jsou uvedeny v tab. 3.2 a na obr. 3.2, kde jsou do grafu vyneseny měsíční průměrné hodnoty



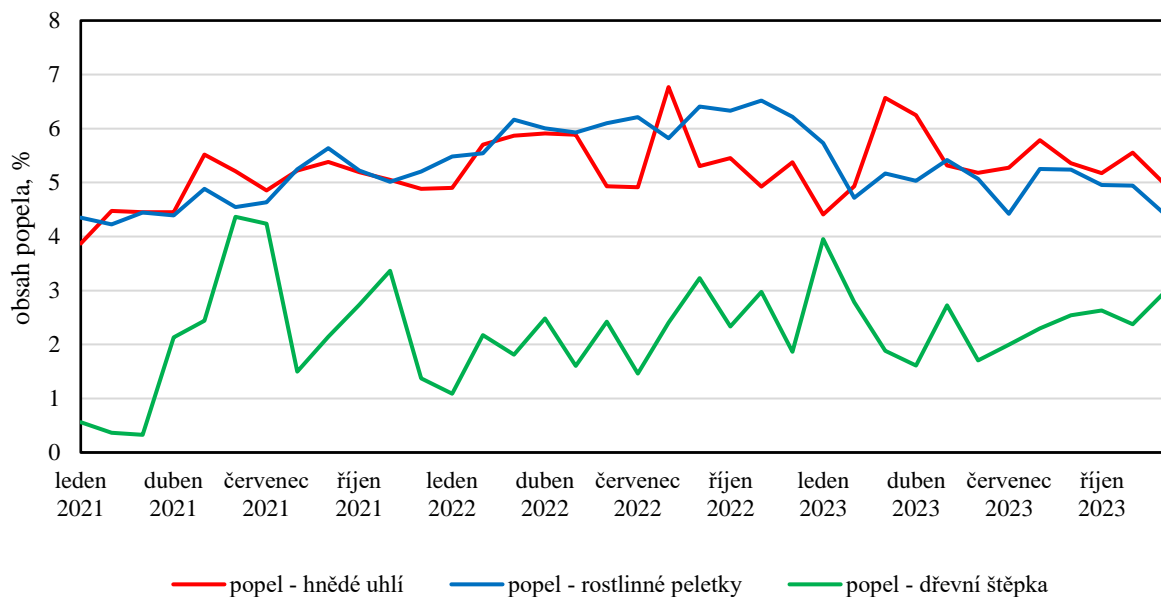
Obr. 3.1 Obsah vody v průběhu sledovaného období
Fig. 3.1 Water content during the monitoring period

Tab. 3.2 Obsah popela
Tab. 3.2 Ash content

Parametr	hnědé uhlí	rostlinné pelety	dřevní štěpka
Průměr	5,24	5,40	2,20
Medián	5,20	5,36	2,16
Sm.odchylka	0,65	0,69	1,02
Min. hodnota	3,87	4,23	0,33
Max. hodnota	6,77	6,52	4,37

3.3. Spalné teplo a výhřevnost

Zatímco u hnědého uhlí je patrná stálost kvality paliva daná technologií zpracování či kvalitou sloje, u dřevní štěpky dochází k častým výchytkám, do kterých se promítají i výchytky v obou výše popsaných parametrech. Tato skutečnost ovlivňuje i způsob provozu kotle, zejména jeho požadavky na rychlost změny výkonu. Naměřené výsledky jsou uvedeny v tab. 3.3 až tab. 3.4 a na obr. 3.3, kde jsou do grafu vyneseny měsíční průměrné hodnoty.



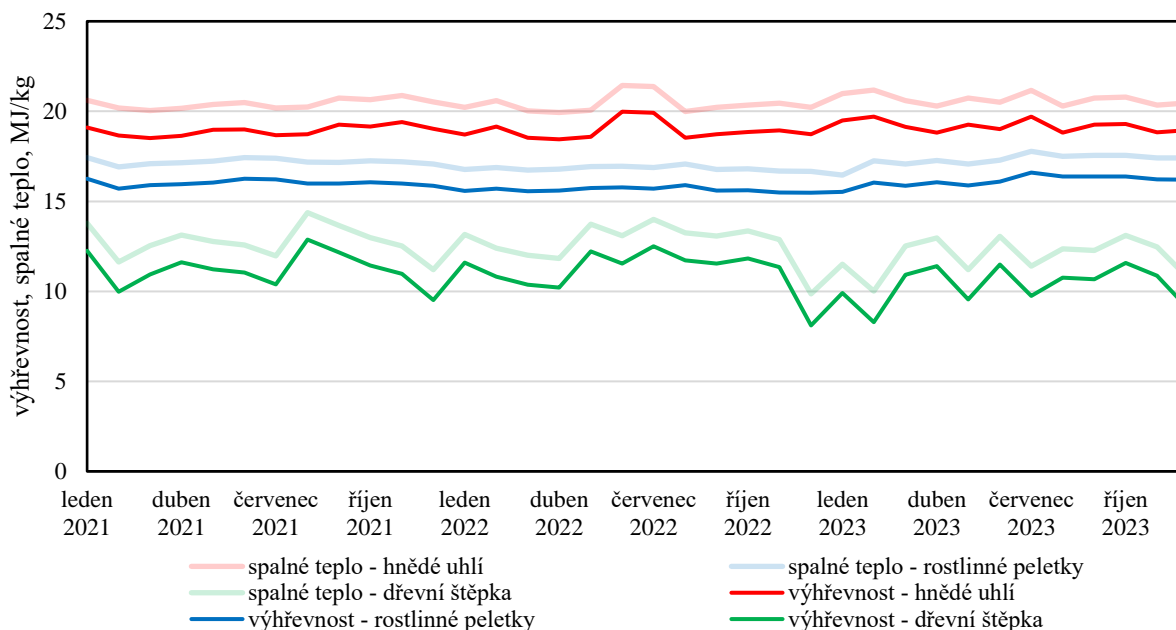
Obr. 3.2 Obsah popela v průběhu sledovaného období
Fig. 3.2 Ash content during the monitoring period

Tab. 3.3 Hodnoty spalného tepla
Tab. 3.3 HHV values

Parametr	hnědé uhlí	rostlinné pelety	dřevní štěpka
Průměr	20,46	17,02	12,60
Medián	20,36	17,07	12,82
Sm.odchylka	0,40	0,25	1,05
Min. hodnota	19,93	16,46	9,86
Max. hodnota	21,44	17,44	14,37

Tab. 3.4 Hodnoty výhřevnosti
Tab. 3.4 LHV values

Parametr	hnědé uhlí	rostlinné pelety	dřevní štěpka
Průměr	18,98	15,84	11,02
Medián	18,90	15,86	11,28
Sm.odchylka	0,41	0,23	1,12
Min. hodnota	18,44	15,48	8,11
Max. hodnota	19,98	16,26	12,87

**Obr. 3.3** Hodnoty spalného tepla a výhřevnosti v průběhu sledovaného období
Fig. 3.3 HHV and LHV values during the monitoring period

3.4. Prvkové složení

Odlíšnost materiálů je dobře pozorovatelná v případě obsahu hlavních prvků, kdy jediná hodnota, kterou mají paliva přibližně podobnou, je obsah vodíku. Původ paliva je dobře patrný na nižším obsahu kyslíku a vyšším obsahu uhlíku v případě uhlí, což je způsobeno nižším obsahem celulózy a hemicelulózy (tedy látek s vyšším obsahem kyslíku) oproti biomase.

Biomasa rovněž obsahuje menší množství síry, ovšem je nutné upozornit na vyšší obsah chloru v rostlinných peletách. To je způsobeno skutečností, že Cl se podílí na osmotických procesech buňky u živých pletiv, vyšší obsah Cl je tedy v rostlinách, kůře, listí či jehličí. Oproti tomu tyto procesy již takřka neprobíhají v kulatině dřeva. Vyšší obsah Cl se v provozu projeví intenzivnější chlorovou korozi. Při dlouhodobějším provozu je nutné uvažovat o aplikaci vhodných opatření, jako je například aplikace žáruvzdorných nástříků teplosměnných ploch či přímo o výměně za materiály odolné vůči působení sloučenin chloru. Pro snížení emisí HCl je možné řešení v instalaci systému DSI (Dry sorbent injection) spočívajícím

v dávkování sorbentu na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nebo NaHCO_3 do spalin nejlépe v kombinaci s tkaninovými filtry [41]. Rovněž je nutné podotknout, že tato koroze může být ještě intenzivnější po snížení obsahu síry v palivu (ukončení případného spoluspalování uhlí). Vzniklé alkalické chloridy obsažené v nánosech mají tendenci reagovat s železem v potrubí a vytvářejí tak korozní produkty FeCl_2 , které jsou následně oxidované kyslíkem na Fe_2O_3 . V atmosféře obsahující SO_2 alkalické chloridy s tímto plynem reagují přednostně a tvoří takřka inertní alkalický síran, což vede ke snížení intenzity koroze [42].

Aktuální limity dle BAT 1442/2017 (EU) [43] rovněž předepisují emisní limity pro Cl vyjádřené souhrnně jako HCl a při spalování tohoto typu paliva tak u velkých stacionárních zdrojů dochází v případě spalování vyššího podílu tohoto paliva k nutnosti instalace technologie zachytu těchto látek.

U všech paliv byl i z důvodu existence emisních limitů na HF sledován i obsah fluoru, který byl vždy u všech vzorků pod spodním limitem detekce 0,02 % (vztaženo na suchý stav). Průměrné výsledky z čtvrtletních hodnot sesypů jsou patrné v tab. 3.5.

Tab. 3.5 Obsah nekovových prvků (% hm.)*
Tab. 3.5 Non-metallic elements content (% wt.)*

	Hnědé uhlí	Rostlinné pelety	Dřevní štěpka
Cl	0,03	0,12	0,02
sm.odchylka	0,01	0,02	0,01
S	0,85	0,23	0,13
sm.odchylka	0,18	0,03	0,00
N	0,93	2,15	0,55
sm.odchylka	0,07	0,32	0,13
O	18,68	37,76	39,91
sm.odchylka	2,39	0,47	1,35
C	67,86	46,78	48,99
sm.odchylka	1,78	1,37	0,72
H	5,89	6,25	6,27
sm.odchylka	0,28	0,29	0,24

* Výsledky jsou vztaženy na suchý stav paliva

* The values refer to a dry state of fuel

Průměrné výsledky obsahu vybraných prvků z čtvrtletních hodnot sesypů jsou uvedeny v tab. 3.6. V případě uhlí je patrný vyšší obsah As, Ti, V, Sr, Li či Be, ale i běžnějších prvků jako je Na, Fe a Al. Biomasa oproti tomu obsahuje více biogenních prvků jako např. Ca, Zn, K a P. Tato skutečnost je relevantní zejména při zpětném aplikování popelu z biomasy do půdy.

Technologickou komplikací je zvýšený obsah alkalických kovů, zejména draslíku u biomasy. To způsobuje snížení teploty tavitelnosti popela, který následně formuje nálepy látky na bázi alkalického skla na teplosměnných plochách, a tím snižuje prostup tepla a účinnost spalování. Nejčastěji je tato komplikace řešena mikrodetonacemi a klade vyšší nároky na údržbu kotle. Dalším možným řešením je využití vodného roztoku síranu amonného v systému SNCR (selektivní nekatalytické redukce), kdy síranový anion na sebe navazuje alkálie a vytváří již inertní síran [44].

V rámci analýz byly sledovány i další kovy např. Hg, Cd či Tl, jejich obsah v palivu byl ale vždy pod spodním limitem detekce (0,2; 0,4; 0,5 mg/kg).

4. Závěr

V článku jsou uvedeny výsledky dlouhodobého tříletého sledování kvality paliv používaných pro komerčně provozovanou teplárnu. Jedná se o hnědé uhlí, peletizovanou rostlinnou biomasu ze zemědělských zbytků a dřevní štěpku z těžebních zbytků.

V případě obsahu vody v palivu byly nejnižší hodnoty dosaženy u rostlinných pelet (11,35 %), a to zejména z důvodu jejich předchozího sušení. Obsah vlhkosti u dřevní štěpky značně kolísal, průměrně dosahoval hodnot 36,34 %, v maximální výchylice až 49,9 %. Obsah vody v hnědém uhlí se průměrně pohyboval okolo 28,63 %. Při detailnějším rozboru dat je pozorovatelný sezónní vliv počasí.

Tab. 3.6 Obsah vybraných prvků* (mg/kg)
Tab. 3.6 Selected elements content* (mg/kg)

Prvek	Hnědé uhlí	Rostlinné pelety	Dřevní štěpka
Al	3 662,86	493,86	1 026,14
sm.odchylka	994,47	228,71	628,26
As	3,88	0,69	0,80
sm.odchylka	2,31	0,00	0,17
B	21,99	15,03	8,37
sm.odchylka	5,01	2,11	2,30
Ba	53,03	26,46	44,34
sm.odchylka	11,12	4,84	26,59
Be	4,30	0,02	0,04
sm.odchylka	2,90	0,01	0,02
Ca	3 438,57	7 301,43	5 032,86
sm.odchylka	717,80	1 472,19	2 056,87
Co	6,09	2,18	16,95
sm.odchylka	2,60	2,79	20,98
Cr	12,41	12,30	19,55
sm.odchylka	3,23	7,53	20,77
Cu	10,23	9,17	5,59
sm.odchylka	3,04	2,23	3,85
Fe	2 762,84	757,25	1 029,63
sm.odchylka	2 664,65	427,17	611,03
K	227,74	9 358,75	1 789,50
sm.odchylka	75,76	1 479,30	590,18
Li	4,34	1,23	1,84
sm.odchylka	1,89	0,12	1,20
Mg	887,57	1 864,29	659,57
sm.odchylka	200,75	277,38	302,23
Mn	56,41	84,24	454,38
sm.odchylka	11,43	19,97	255,39
Na	553,25	177,13	72,71
sm.odchylka	97,81	69,35	51,01
Ni	12,50	6,83	10,01
sm.odchylka	2,98	3,85	9,95
P	111,35	2 631,25	524,13
sm.odchylka	38,47	983,98	255,97
Pb	2,37	3,17	4,37
sm.odchylka	0,95	1,05	2,06
Si	448,00	334,86	431,71
sm.odchylka	145,86	55,40	86,66
Sr	44,83	22,54	17,74
sm.odchylka	12,66	3,64	4,56
Ti	283,86	16,30	40,28
sm.odchylka	100,48	8,26	28,16
V	28,88	1,03	2,04
sm.odchylka	8,82	0,94	1,27
Zn	11,78	53,78	50,96
sm.odchylka	7,95	13,46	26,62

* Výsledky jsou vztaženy na suchý stav paliva

* The values refer to a dry state of fuel

V případě popela jsou hodnoty hnědého uhlí a rostlinných pelet podobné (mírně přes 5 %), dřevní štěpka obsahuje popela méně (2,2 %). Výsledky u vzorků dřevní štěpky opět kolísaly, neboť byly měřeny jak dodávky skládající se ze štěpky z kulatiny (až 0,33 % popele), tak i vzorky s velkým podílem hrabanky (4,37 %).

Nejvyšších průměrných hodnot výhřevnosti bylo dosaženo u hnědého uhlí (18,98 MJ/kg), s malým odstupem následují rostlinné pelety (15,84 MJ/kg) a dřevní štěpka (11,02 MJ/kg). Na základě těchto hodnot lze odvodit, o kolik bude nutné navýšit dodávky biopaliv při případném retrofitu. V případě dřevní štěpky je rozdíl ovšem tak podstatný, že pro udržení výkonu teplárny bude zapotřebí výstavba nového kotle, neboť dávkování takového množství paliva do současných kotlů již nemusí být možné a dojde tak ke snížení jejich výkonu.

V případě obsahu nekovových prvků je patrný odlišný charakter biomasy spočívající ve vyšším obsahu kyslíku (38 % oproti 19 %) a nižším obsahu uhlíku (48 % oproti 68 %). Biomasa obsahuje rovněž méně síry, ovšem u vzorků rostlinných pelet je sledovaný vysoký obsah chlóru 0,12 % oproti 0,02 % ve dřevní štěpce. To má za následek intenzivní chlórovou korozi či překročení emisních limitů HCl, což vede k úvahám o aplikaci účinných opatření, jako jsou např. žáruvzdorné nástřiky či technologie DSI.

Hnědé uhlí má větší obsah Ti, V, Li, Sr, Be, Na, Fe a Al. Naopak biomasa obsahuje více biogenních prvků, zejména Ca, K, P a Zn, čehož může být využito při zpětné aplikaci popela do půdy. Pro spalovací proces má nepříznivý vliv výrazně vyšší obsah alkálií, které způsobují snížení teploty tání popela. V palivu byly sledovány obsahy Hg, Cd či Tl, které ovšem byly pod mezí detekce.

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_2024_004 a A2_FTOP_2024_001.

Literatura

1. Cena emisní povolenky (EUA), citováno online: <https://oenergetice.cz/energostat/ceny-aktualne/emisni-povolenka>, ze dne 18.2.2024
2. Zákon č.383/2012 Sb. o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů
3. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2023/959 kterou se mění směrnice 2003/87/ES o vytvoření systému pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů v Unii a rozhodnutí (EU) 2015/1814 o vytvoření a uplatňování rezervy tržní stability pro systém Unie pro obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů
4. AE Zákon č.165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů
5. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/2001 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů

6. Programové prohlášení vlády ČR ze dne 1.3.2023
7. Hanzlík V., Javůrek V., Smeets B., Svoboda D.: Klimaticky neutrální Česko, McKinsey & Company, Praha 2020
8. 14. změna integrovaného povolení: Teplárna Náchod ze dne 13.5.2022
9. 20. změna integrovaného povolení: Elektrárna Hodonín - fluidní kotle FK 1 a FK 2 ze dne 3.7.2023
10. 39. změna integrovaného povolení: Výroba sulfátové buničiny a papíru, parní kotel K10, parní kotel K11 a související činnosti ze dne 25.1.2024
11. 22. změna integrovaného povolení: C-Energy Planá nad Lužnicí ze dne 15.3.2022
12. 22. změna integrovaného povolení: Elektrárna Poříčí ze dne 31.1.2024
13. Závěr zjišťovacího řízení podle § 7 zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (EIA) „ZEVO Opatovice“ ze dne 1.8.2022
14. Zadávací dokumentace Výstavba ZEVO v elektrárenské lokalitě Mělník, smlouva uzavřena 26.9.2023
15. Závěr zjišťovacího řízení podle § 7 zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (EIA) „Energetické využití komunálních odpadů Most, Komořany“ ze dne 1.4.2010
16. 28. změna Integrovaného povolení: Teplárna Přerov - zařízení pro kogeneraci tepla a elektrické energie, ze dne 10.8.2023
17. Modernizační fond, program 2: HEAT - Modernizace soustav zásobování tepelnou energií, Statní fond životního prostředí
18. Pedišius N., Praspaliauskas M., Pedišius J., Dzenajavičiene E.F.: Analysis of Wood Chip Characteristics for Energy Production in Lithuania, *Energies* 14 (13), 3931-3944, 2021, doi: 10.3390/en14133931
19. Hlaváček O., Beňo Z.: Dlouhodobé sledování vlastností palivářské dřevní štěpky, *Paliva* 15 (3), 80-83, 2023, doi: 10.35933/paliva.2023.03.02
20. Liu Z., Quek A., Balasubramanian R.: Preparation and characterization of fuel pellets from woody biomass, agro-residues and their corresponding hydrochars, *Applied Energy* 113, 1315-1322, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2013.08.087
21. Khan A.A., de Jong W., Jansens P.J., Spliethoff H.: Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies, *Fuel Processing Technology* 90 (1), 21-50, 2009, doi: 10.1016/j.fuproc.2008.07.012
22. ČSN 44 1304: Tuhá paliva. Metody odběru a úpravy vzorků pro laboratorní zkoušení
23. ČSN ISO 13909-1: Uhlí a koks - Mechanické vzorkování - Část 1: Obecný úvod
24. ČSN ISO 13909-2: Uhlí a koks - Mechanické vzorkování - Část 2: Uhlí - Vzorkování z proudu
25. ČSN EN ISO 18135: Tuhá biopaliva – Vzorkování
26. ČSN EN ISO 14780: Tuhá biopaliva - Příprava vzorku

27. ČSN ISO 13909-4: Uhlí a koks - Mechanické vzorkování - Část 4: Uhlí - Úprava vzorků
28. ČSN 44 1307: Uhlí a koks - Postup přípravy sesypových vzorků
29. ČSN 44 1377: Tuhá paliva - Stanovení obsahu vody
30. ČSN EN ISO 18134-1: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Část 1: Referenční metoda
31. ČSN EN ISO 18134-2: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Metoda sušení v sušárně - Část 2: Celková voda - Zjednodušená metoda
32. ČSN EN ISO 18134-3: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu vody - Část 3: Obsah vody v analytickém vzorku pro obecný rozbor
33. ČSN ISO 1171: Tuhá paliva - Stanovení popela
34. ČSN EN ISO 18122: Tuhá biopaliva - Stanovení popela
35. ČSN ISO 1928: Uhlí a koks - Stanovení spalného tepla
36. ČSN EN ISO 18125: Tuhá biopaliva - Stanovení spalného tepla a výhřevnosti
37. ČSN ISO 29541: Tuhá paliva - Stanovení obsahu veškerého uhlíku, vodíku a dusíku - Instrumentální metoda
38. ČSN EN ISO 16948: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu celkového uhlíku, vodíku a dusíku
39. ČSN EN ISO 16994: Tuhá biopaliva - Stanovení obsahu celkové síry a celkového chloru
40. ČSN EN ISO 11885: Jakost vod - Stanovení 33 prvků atomovou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP AES)
41. Hlaváček O., Vagenknechtová A.: Porovnání sorbentů na bázi $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pro odstranění HCl ze spalin, *Paliva* 15 (3), 92-100, 2023, doi: 10.35933/paliva.2023.03.04
42. Król D., Motyl P., Poskrobko S.: Chlorine Corrosion in a Low-Power Boiler Fired with Agricultural Biomass, *Energies* 15(1), 382-401, 2022 doi: 10.3390/en15010382
43. Prováděcí rozhodnutí Komise (EU) 2017/1442 kterým se stanoví závěry o nejlepších dostupných technikách (BAT) podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/75/EU pro velká spalovací zařízení
44. Krum R.K., Jensen M., Li S., Norman T., Marshall P., Wu H., Glarborg P.: Selective Noncatalytic Reduction of NO_x Using Ammonium Sulfate, *Energy Fuels* 15(35), 12392–12402, 2021 doi: 10.1021/acs.energyfuels.1c01451

Summary

Comparison of properties of brown coal and biomass-based substitute fuels

Ondřej Hlaváček, Zdeněk Beňo

Due to the EU climate change strategy, there are many coal-fired heating plants looking for new fuel. One of the possibilities is biomass-based fuels. This term is

quite general because the final technology can be different because of properties of different types of biomasses. The sustainable solution can be the use of biomass residues. This article is about long-term monitoring of the properties of brown coal, agglomerated herbaceous biomass from agricultural residues, and wood chips from harvesting residues.

702 samples of brown coal, 715 samples of plant pellets and 607 samples of wood chips were analyzed, which were supplied to commercial heating plant between the years 2021-2023. The water and ash content, lower heating value (LHV) and higher heating value (HHV), were analyzed. The mineral composition of the fuels was determined quarterly from mixed samples.

In the case of water content, the lowest values were achieved for herbaceous pellets (11.35%), due to their previous drying. The moisture content of the wood chips fluctuated. The average was 36.34%, with a maximum deviation of up to 49.9%. The average water content in brown coal was around 28.63%. In detail, there is a seasonal influence of the weather.

In the case of ash content determination, the values for brown coal and herbaceous pellets are similar (slightly above 5%), wood chips contain less ash (2.2%). The results for the wood chip samples fluctuated again. There were samples consisting of chipped logs (0.33% ash) and samples with a large proportion of forest soil (4.37%).

The highest average HHV values were achieved for brown coal (18.98 MJ/kg), followed by herbaceous pellets (15.84 MJ/kg) and wood chips (11.02 MJ/kg). These differences may cause a decrease in steam output due to a limitation of space in the combustion chamber of the boiler after the retrofit.

In the case of the content of nonmetallic elements, a different character of the biomass is evident, consisting of a higher oxygen content (38% vs 19%) and a lower carbon content (48% vs 68%). Biomass also contains less sulfur, but the high chlorine content of 0.12% compared to 0.02% in wood chips was determined in herbaceous pellet samples. For a heating plant, this means intensive chlorine corrosion or exceeding the emission limits of HCl. The solution can be in DSI technology.

Brown coal contains more Ti, V, Li, Sr, Be, Na, Fe, and Al. The biomass contains more biogenic elements, especially Ca, K, P, and Zn, which allows the ash to be used for land application. For the combustion process, a significantly higher content of alkali has an adverse effect, causing a decrease of the melting temperature of ash, which can lead to technological problems, such as the formation of a material based on alkaline glass, which decreases heat transfer and combustion efficiency. Most often, this complication is solved by micro detonations and more frequent maintenance. The contents of Hg, Cd, and Tl in the samples were below the detection limit.