

RNDr. Ing. Josef Valeš, Jaroslav Kusý, Ing. Lukáš Anděl, Ing. Stanislav Maček, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí a.s., Most; Ing. Tomáš Sezima, Ph.D., Výzkumný ústav vodohospodářský T.G. Masaryka v.v.i., Praha pobočka Ostrava

Využití energetického obsahu papírenských kalů ve směsi s méně kvalitní uhelnou hmotou

Přijato: 24. 10. 2008, recenzováno: 24. 10. 2008

Využití energetického obsahu papírenských kalů ve směsi s méně kvalitní uhelnou hmotou

Byly studovány vlastnosti papírenských kalů, tzn. jejich chemické vlastnosti, obsahy stopových prvků a znečišťujících látek, včetně možností využití jejich energetického obsahu pro přípravu směsných paliv. Smyslem bylo posouzení jejich uplatnění ve směsi s méně kvalitním hnědým uhlím se zvýšeným obsahem síry a predikce očekávaných změn vlastností nově připravených palivových směsí s ohledem na emisní zátěž životního prostředí při jejich spalování v tepelných spotřebičích malých a středních výkonů. Nově navržené palivové směsi splňují avizovaná legislativní kritéria novelizované vyhlášky MŽP č. 357/2002 o ochraně ovzduší.

The use of paper pulp energy content in the mixture with less quality coal

The features of paper pulps, that is their chemical features, content of trace elements and pollutants were studied including the use potential of their energy content for the preparation of mixed fuel. The target was to assess their application in the mixture with less quality brown coal with higher content of sulphur and a prediction of expected feature changes of the newly prepared fuel mixtures with respect to the environmental emission load during combustion in the heat appliances of small and medium outputs. The newly designed fuel mixtures meet the notified legal criteria from the amended regulation of the Ministry of Environment No. 357/2002 to regulate air protection.

Nutzung des Energiegehaltes der Papierschlämme im Gemisch mit weniger wertvoller Kohlemasse

Eigenschaften von Papierschlämmen, d.h. deren chemischen Eigenschaften, Gehalte an Spurelementen und verunreinigenden Stoffen wurden untersucht, einschl. der Nutzungsmöglichkeiten deren Energiegehaltes für die Aufbereitung von Mischbrennstoffen. Der Zweck war deren Anwendung im Gemisch mit weniger wertvoller Kohle mit höherem Schwefelgehalt zu beurteilen und die zu erwartenden Änderungen deren Eigenschaften mit Rücksicht auf Emissionsbelastung der Umwelt bei deren Verbrennung in Wärmeverbrauchern mit kleiner und mittleren Leistung zu predizieren. Die neu entworfenen Brennstoffgemische entsprechen den avisierten rechtlichen Kriterien der Verordnungsnovelle des Umweltministeriums ČR über Immissionsschutz Nr. 357/2002.

Úvod

Rozvoj lidské společnosti je doprovázen trendem zvyšující se životní úrovně populace. V souladu s tím narůstá i produkce odpadních hmot, dochází k nadměrnému čerpání primárních surovinových a energetických zdrojů, které jsou co do množství limitovány, a ve většině případů je jejich exploatace doprovázena snižováním jejich kvality. Nárůst produkce odpadů ve světě, ale i v ČR představuje společensky vysoce závažný problém, na který je zaměřována pozornost vědy a výzkumu. Jsou hledány efektivní cesty k nalezení vhodných způsobů a postupů k nakládání s odpadními látkami (novela rámcové směrnice o odpadech č. 75/442/EEC upravuje hierarchii nakládání s odpady).

Preferováno je předcházení jejich vzniku, opětovné využití, recyklace a další způsoby jejich využití, kam je řazeno i využití jejich energetického obsahu. Význam využívání energetického obsahu vhodných druhů odpadů v rámci EU roste. Jedním z cílů je snaha zcela omezit skládkování neupravených odpadů na minimální možnou míru na straně jedné a na straně druhé zvýšit podíl vhodných druhů odpadních látek k energetickému využití s tím, že se projeví řada pozitivních synergických efektů (objemová změna, hygienizace, energetický obsah). Využití energetického obsahu, tj. především spalitelného uhlíku obsaženého ve vhodných odpadních hmotách, které současně vykazují příznivý obsah znečišťujících látek, vede k tvorbě tzv. směsných paliv. Směsné palivo je uměle

připravená směs dvou nebo více látek vyznačujících se významným obsahem spalitelného uhlíku, která bude splňovat legislativní podmínky přípustných obsahů stopových prvků uvolňovaných spaliny do ovzduší. Jednou z možností přípravy směsného paliva je využití vhodné kombinace složek, tj. vybraných druhů méně kvalitní uhelné hmoty s jinými energeticky významnými látkami odpadního charakteru, které vykazují příznivou kvalitativní skladbu stopových prvků s předpokladem nárůstu výhřevnosti výsledného produktu.

Legislativní rámec

Řešená problematika respektuje platný legislativní rámec, kterým jsou řešení determinována. Jedná se zejména o platné zákony č. 185/2001 Sb., o odpadech, ve znění zákona č. 477/2001 Sb., a zákona č. 472/2005 Sb., o ovzduší. V řadě ustanovení zákonných norem chybí provázanost a věcně působí proti sobě. Na konferenci stran Kjótského protokolu (Bali – 2007/ COP 13/MOP 3) byly nově deklarovány a odsouhlaseny globální priority, kterými jsou hospodářský a sociální rozvoj a vymýcení chudoby. Problematika omezování klimatických změn by měla být do budoucna poměřována z těchto hledisek, při respektování ekonomických a sociálních možností národních podmínek. Současně byla v Evropském Parlamentu (EP) přijata novela rámcové směrnice o odpadech č. 75/442/EEC. V prvním kole schválený dokument zahrnuje energetické využívání odpadů ve spalovnách mezi technologie *využívání odpadů*. Současně bylo zamítnuto, aby energetickému využití odpadů povinně předcházelo jejich předzpracování např. mechanicko-biologickou úpravou (MBÚ).

Významným legislativním nástrojem, jehož dík se promítá do řešení dané problematiky, je vyhláška č. 357/2002 Sb., která měla být v roce 2007 novelizována. Označení a pojem *směsné palivo* není dosud v žádné legislativě používán a vyjadřuje charakteristiku materiálově technologickou. Směsné palivo je tuhé, uměle vytvořené (syntetické) palivo ze složek s významným energetickým obsahem a legislativně přípustným obsahem znečišťujících látek. Složky mohou být přírodního původu – uhelná hmota, biomasa nebo látky spadající do jurisdikce zákona o odpadech. Nově zpracováváný a připomínkový návrh vyhlášky MŽP o stanovení požadavků na kvalitu paliv

z hlediska ochrany ovzduší v sobě zahrnuje příslušné směrnice ES (Směrnice rady 1999/32/ES) a stanoví požadavky na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší, lhůty k jejich dosažení, požadavky na odběr vzorků paliv, ověřování a osvědčování kvality paliv a způsob a termín ohlašování údajů o obsahu síry

V připravované novele vyhlášky jsou v §3 specifikovány požadavky na kvalitu tuhých paliv pro malé a střední zdroje. Základní veličinou pro hodnocení paliva je měrná sirnatost, tj. celkový obsah síry v původním stavu, vztažený k výhřevnosti spalovaného paliva v původním stavu, vyjádřený v g síry na MJ⁻¹.

Měrná sirnatost S_m^T černého uhlí, určeného ke spalování v malých a středních stacionárních zdrojích nesmí překročit 0,50 g . MJ⁻¹. Měrná sirnatost hnědého uhlí, určeného ke spalování v malých a středních zdrojích, nesmí překročit 1,07 g . MJ⁻¹. Od 1. 1. 2010 nesmí překročit hodnotu 0,95 g . MJ⁻¹ a od 1. 1. 2014 nesmí překročit 0,50 g . MJ⁻¹. Měrná sirnatost uhelných briket, určených ke spalování v malých a středních stacionárních zdrojích, nesmí překročit 0,50 g . MJ⁻¹.

Z návrhu novelizované vyhlášky vyplývá, že připravovaná právní úprava již nedělí paliva podle druhů, ale stanovuje obecně *minimální požadavky na jejich kvalitu*. Vyhláška již neobsahuje taxativní výčet paliv, který by nemusel být nikdy konečný, ale stanovuje seznam obecných požadavků na kvalitu tuhých paliv.

V průběhu přípravy novelizace vyhlášky a připomínkových řízení všech úrovní byla vnesena celá řada závažných a věcných připomínek ze strany připomínkových organizací a institucí. Do novelizace vyhlášky byla nově zařazena chybějící definice paliva: „*Palivem je spalitelný materiál v pevném, kapalném nebo plyném skupenství určený ke spalování ve stacionárních zdrojích za účelem uvolnění jeho energetického obsahu; za palivo podle této vyhlášky není považován odpad podle zvláštního právního předpisu.*“. Z připomínkového řízení vyplývá, že do novelizace bude vložen nový odstavec upravující požadavky na výhřevnost tuhých paliv v bezvodém stavu pro malé zdroje (12 MJ . kg⁻¹) a střední zdroje (10 MJ . kg⁻¹). Limitní hodnoty měrné sirnatosti se budou vztahovat pouze na paliva pro malé a střední zdroje. Na rostlou biomasu určenou pro malé a

střední zdroje se budou vztahovat stejně požadavky jako na jiná paliva. Energetické využívání odpadů je nadále možné, ale pouze ve spalovnách a zařízeních povolených ke spalování odpadů a za podmínek stanovených v NV č. 354/2002 Sb. Návrh novelizované vyhlášky jednoznačně nedeklaruje postavení paliva, které vznikne smíšením uhelného podílu (limitovaný měrnou sirnatostí S^r_m) a podílu biomasy upravené fyzikálními postupy, na kterou se nevztahují žádná limitní omezení. Směsné palivo vzniká z hmotnostních podílů (komponent), u kterých nelze jejich kvalitu běžnými procesy ovlivnit. Podílem plastifikátoru (CaO , Ca(OH)_2 , CaCO_3) lze naopak zvyšovat samoodsiřovací efekt směsného paliva. Jednotlivé komponenty směsi, tj. uhlí a biomasy, novelizace umožňuje samostatně spalovat s uvedeným omezením (měrná sirnatost). Lze tedy reálně předpokládat (není zatím známo konečné znění novelizované vyhlášky ani její výklad), že výroba směsných paliv by neměla mít legislativní překážky. Je nutné vyčkat jakým způsobem budou deklarovány přípustné obsahy nežádoucích látek v pevných palivech.

Složky směsného paliva

Směsné palivo je vytvořeno kombinací dvou nebo více různých materiálových složek a jejich optimalizovaných hmotnostních podílů. Vhodný výběr a skladba komponent umožňuje dosažení potřebných kvalitativních parametrů při dodržení předepsaných limitních parametrů znečišťujících látek, požadované výhřevnosti při současném využití energetického obsahu všech vhodných podílů.

První složkou je hnědé uhlí nižší kvality z produkce hnědouhelných společností. Další složkou je biomasa z výroby celulózy a papíru označovaná jako bílý papírenský kal. Papírenské kaly jsou odpadní látkou vznikající při výrobě

celulózy a papíru. Většina papírů je dnes vyráběna ze dřeva, resp. dřevěných vláken. Chemicky je složení dřeva značně složité - kromě celulózy se v něm nachází také hemicelulózy, lignin, pryskyřice a mnoho dalších sloučenin.

Moderní způsob výroby papíru lze charakterizovat dvěma základními technologickými kroky - výroba vláken (celulózy, buničiny) s následnou výrobou papíru v papírenském stroji. Vsázkové dřevo použité k výrobě je nejprve převedeno do celulózy, koncentrované směsi vláken rozptýlených v kapalině. K získání celulózy jsou používány dva základní technologické postupy - mechanický a chemický. Chemická celulóza - vlákna jsou získávána ze dřeva chemickou cestou. Proces má nižší výnos, celulóza je pevná, vlákna delší, výroba je energeticky soběstačná s možností použití všech druhů dřeva, ale produkce odpadů je vyšší.

Kvalitativní charakteristiky palivových složek - uhlí a papírenský kal

Pro vybrané palivové složky byly provedeny vstupní základní technologické rozborů kvality. Analyzovány byly dva vzorky uhelné hmoty a dva vzorky papírenských kalů. Na základě rozborů bylo rozhodnuto dále pracovat se vzorkem ps3 a papírenským kalem z nové výroby. Dále byly v součinnosti s vyhláškou č. 357/2002 Sb. a s připravovanými normativními dokumenty provedeny rozborů obsahu těžkých kovů. Výsledky těchto rozborů jsou uvedeny v tab. 1 až 5.

K přípravě směsného paliva bylo použito uhlí ps3 z produkce MU a.s., lokalita Hrabák. Uhelný vzorek byl odebrán v prostoru nakládacího zásobníku z expedičního zauhlovacího vagonového pásu. Vzorek ps2 byl odebrán z produkce Úpravny uhlí Komořany.

Tab. 1 - Výsledky základního technologického rozboru uhlí ps2 a ps3

Označení, číslo vzorku	W^a %	A^d %	Q_s^d MJ/kg	Q_i^d MJ/kg	S^d %	H^d %	CaO celk. %	chlor %(palivo)	chlor %(popel)
ps2 - 52 545	3,05	32,71	20,45	19,52	1,30	4,27	4,70	$0,0998 \pm 0,0100$	$0,0629 \pm 0,0063$
ps3 - 52 546	4,17	45,00	14,95	14,1	1,23	3,67	5,35	$0,0135 \pm 0,0014$	$0,0228 \pm 0,0023$

Tab. 2 - Základní technologické rozborů papírenských kalů z nové a staré výroby

Označení a číslo vzorku	W^a %	W_t^r %	A^r %	A^d %	Q_s^d MJ/kg	Q_s^{daf} MJ/kg	Q_i^r MJ/kg	Q_i^d MJ/kg	Q_i^{daf} MJ/kg	S^d %	Cl %
PKN - 53 266	7,30	50,76	14,09	28,62	11,44	16,03	3,95	10,60	14,85	0,15	$0,0189 \pm 0,0019$
PKS - 53 267	13,1	61,30	11,16	28,84	11,72	16,48	2,68	10,88	15,28	0,16	$0,1072 \pm 0,0107$

PKN - papírenské kaly nová výroba, PKS - papírenské kaly stará výroba

Tab. 4 – Rozbory obsahu stopových prvků v uhelné hmotě, dle vyhlášky 357/2002 Sb.

Označení a číslo vzorku uhlí	As (mg/kg suš.)	Pb (mg/kg suš.)	Cd (mg/kg suš.)	Cr (mg/kg suš.)
ps3 - 52 546 (palivo)	7,3 ± 1,1	27,1 ± 5,4	0,493 ± 0,066	66 ± 7
ps3 - 52 546 (popel)	25,1 ± 3,6	61 ± 12	< 0,1	194 ± 22
Označení a číslo vzorku	Cu (mg/kg suš.)	Ni (mg/kg suš.)	Hg (mg/kg suš.)	Zn (mg/kg suš.)
ps3 - 52 546 (palivo)	39,9 ± 8,3	33,4 ± 6,1	0,314 ± 0,023	95 ± 9
ps3 - 52 546 (popel)	101 ± 21	85 ± 15	0,0005 ± 0,0001	240 ± 20

Tab. 5 – Stopové prvky v papírenských kalech, dle vyhlášky 357/2002 Sb

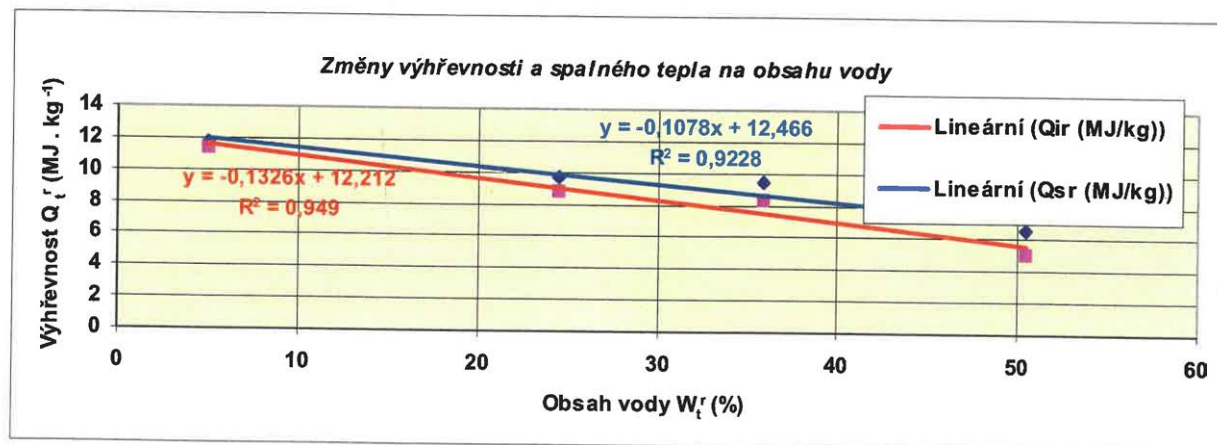
Označení a číslo vzorku	As mg/kg suš.	Pb mg/kg suš.	Cd mg/kg suš.	Cr celk. mg/kg suš.	Cu mg/kg suš.	Hg mg/kg suš.	Zn mg/kg suš.
PKN - 53 266	0,65 ± 0,09	16,6 ± 3,3	0,091 ± 0,012	36,1 ± 4,0	40,8 ± 8,5	0,030 ± 0,004	65 ± 6
PKS - 53 267	1,12 ± 0,16	172 ± 34	0,258 ± 0,034	105 ± 12	75 ± 15	0,031 ± 0,004	35,2 ± 3,4

Vysvětlivky:

 W^a voda analytická W_t^r voda veškerá Q_i^r výhřevnost v původním stavu S^d síra v bezvodém stavu A^d popel v bezvodém stavu A^r popel v původním stavu Q_s^r spalné teplo v původním stavu Q_s^{daf} spalné teplo v hořlavině Q_s^d spalné teplo v bezvodém stavu Q_i^r výhřevnost v původním stavu Q_i^d výhřevnost v bezvodém stavu Q_i^{daf} výhřevnost v hořlavině H^{daf} vodík v hořlavině C^{daf} uhlík v hořlavině N^{daf} dusík v hořlavině O^{daf} kyslík v hořlavině S^{daf} síra v hořlavině

Vzorek papírenských kalů byl odebrán v papírně Plattling, Německo. Papírenské kaly v původním stavu, tak jak jsou odvodněny v papírně, ještě obsahují vysoký podíl vody. Obsah vody je kolísavý podle použitého technologického způsobu odvodnění (odstředivky, kalolisy) a následného způsobu uskladnění před expedicí (volně ložené haldy, přístřešky proti dešti). Laboratorními testy byly zkoumány závislosti změny výhřevnosti na obsahu vody. Výsledky experimentů znázorňuje graf 1.

Graf 1 – Závislost výhřevnosti na obsahu vody papírenského kalu z nové výroby



Veškerá voda v původním stavu při dodání vzorků byla v rozpětí 50 – 67 %, tomu odpovídá Q_i^r pod 0,01 MJ · kg⁻¹. Po devíti dením kontrolovaném sušení se obsah vody veškeré W_t^r ve vzorcích pohyboval v rozmezí 4 – 5 % a Q_i^r , výhřevnost v původním stavu dosáhla hodnot přes 10 MJ · kg⁻¹. Pro porovnání uvádíme, že Q_i^r pelet lisovaných z odpadního kancelářského papíru (přídavek optimálního množství

technologické vody pro lisování je 20 %) při konečném obsahu vody cca 10 % dosahuje 11 MJ · kg⁻¹ (ustavená rovnováha odpovídající prostředí skladování). Hodnoty výhřevnosti papírenských kalů a odpadního papíru jsou si velice blízké a v dobré shodě. S poklesem obsahu vody v papírenských kalech dochází k nárůstu jejich výhřevnosti. Pokles obsahu vody papírenského kalu z výroby o 1 % vede ke

zvýšení výhřevnosti Q_i^r o cca $0,132 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (platí pro lineární závislost a interval vlhkosti od 5 do 50 %).

Dále byly provedeny laboratorní spalovací testy za standardních podmínek (850°C v proudu O_2) u vsázkového hnědého uhlí ps3 a byly analyzovány obsahy znečišťujících látek dle vyhlášky MŽP č. 357 Sb., v palivu a ve vzniklé popelovině. Získané výsledky jsou

uvedeny v tab. 6. Znečišťující látky se koncentrují v popelovině ve větším či menším množství. Suma stanovených rozdílů představuje pravděpodobný podíl jednotlivých stopových prvků, které odcházejí ve spalinách nebo jsou vázány na prachové částice M10, či ulpívají na teplosměnných plochách spalovacích zařízení. Ve spalinách odchází téměř veškerá rtuť a kadmium.

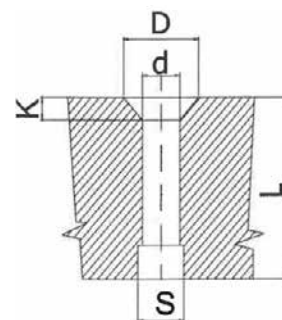
Tab. 6: Obsahy znečišťujících látek v ps3 uhlí a popelu

Označení vzorku: uhlí ps3, popel A ^d = 45 %				
Parametr	Koncentrace v uhlí (stanovená) [mg .kg ⁻¹ sušiny]	Koncentrace v popelu (stanovená) [mg .kg ⁻¹ sušiny]	Koncentrace v uhlí (přepočtená) [mg .kg ⁻¹ sušiny]	Rozdíl [mg .kg ⁻¹ sušiny]
Prvky znečišťujících látek dle vyhlášky MŽP č. 357/2002 Sb.,				
As	7,3	25,1	11,3	4
Pb	27,1	61,12	27,45	0,35
Cd	0,493	≤0,1	0,045	-0,448
Cr	66,7	194	87,3	20,6
Cu	39,9	101	45,45	5,55
Ni	33,4	85	38,25	4,85
Hg	0,314	0,0005	0,000225	-0,3137
Zn	95	240	108	13

Ověření možnosti výroby směsného paliva s podílem papírenských kalů

Pro potřeby výroby směsného paliva je nutno dodržet technologicky ověřený, úzký rozsah vstupní zrnitosti jeho jednotlivých složek. Uhlí složka směsného paliva byla ze zrnitosti 0 – 40 mm nadrcena a vytříděna na požadovanou zrnitostní frakci 0 - 5 mm, která byla následně používána. Pro experimentální přípravu vzorků směsných paliv byl zvolen laboratorní peletizační lis s plochou, pevnou lisovací maticí Kahl 14 - 175, který umožňuje

vyrábět pelety v požadovaném zrnitostním rozsahu vhodném pro malé a střední tepelné spotřebiče. Při výrobě pelet ze směsného paliva byly postupně ověřovány různé typy lisovacích matic. Jednalo se o lisovací matice s označením č. 4, 7 a 10 o průměru $d = 10 \text{ mm}$. Vzájemně se lišily pouze délkou lisovacího kanálku a lisovacím poměrem. Jako nejvhodnější se osvědčila matice č. 4, která umožnila důkladné slisování peletizační směsi a také chod peletizačního lisu byl plynulý. Raznice a průřez lisovacího kanálu je na obr. 1.



Obr. 1 - Vzhled matice č. 4 a profil jejího kanálku

Parametry kanálku matrice č. 4

D [mm]	d [mm]	L [mm]	K [mm]	Lisovací poměr
15	10	45	4	1:4,2

V první fázi bylo ověřováno zpracování samotných, surových papírenských kalů lisováním bez předchozího sušení vsázky, tj. v surovém dodaném stavu. Následně byly ověřovány možnosti lisovat směsi tvořené hnědým uhlím ps3 a proměnlivými podíly papírenských kalů. Byl ověřován technicky a kvalitativně přípustný podíl papírenských kalů v peletizační směsi s uhlím v hmotnostních podílech 10, 15 a 20 % papírenských kalů.

S přihlédnutím k vysoké vlhkosti složky papírenských kalů nebylo do vytvořených peletizačních směsí nutno přidávat žádnou další vodu ani pojivo. Papírenský kal obsahuje zbytkové podíly ligninu, celulózy a hemicelulózy, které jsou lepidivé. Pro testování bylo použito raznice o $\varnothing$ kanálu 10 mm. Hmotnostní poměry složek peletizačních směsí jsou uvedeny v následující tabulce.

Hmotnostní poměry složek peletizačních směsí

Hmotnostní složení lisovacích směsí			
Složky	[% hm.]		
Receptura č.	1	2	3
Hnědé uhlí – ps3	90	85	80
Papírenský kal o původní vlhkosti 50 %	10	15	20
Přídavná voda	0	0	0

Zhodnocení provedených testů

Provedené zkoušky prokázaly, že papírenský kal v dodaném stavu lze peletovat jen obtížně. Je to způsobeno jeho vysokou vstupní vlhkostí v rozmezí 50 - 60%. Vznikající pelety jsou křehké, rozpadavé, mokré. Snížením vlhkosti sušením papírenského kalu se kvalita pelet zlepšuje. Bylo ověřeno, že pokud je papírenský kal smíchán ve vhodném poměru s hnědým uhlím ps3 o zrnitosti do 5 mm, je možno peletizační směsi o hmotnostním podílu 80 až 90 % uhlí a papírenského kalu o

hmotnostním podílu 10 až 20 % získat technicky použitelné, hutné pelety dobré kvality o vhodné zrnitosti. Tvoří-li jednu složku palivové směsi papírenský kal, který obsahuje zbytky celulózy, hemicelulózy a ligninu, uplatňují se při lisování jeho „lepidivé“ vlastnosti, které po usušení pelet mají vliv na jejich mechanickou pevnost. Využití biomasy prezentované papírenskými kaly ve směsi s uhelnou hmotou k výrobě směsných, více složkových paliv, je technicky bezproblémové a schůdné. Obr. 2 ukazuje pelety vyrobené dle receptury č. 1.



Obr. 2 - Pelety dle receptury č.1 – 90 % HU a 10 % papírenských kalů

Tabulka č. 7: Obsahy stopových prvků dle vyhlášky MŽP č. 357/2002 ve složkách palivových směsí a výsledných produktech

Označení a číslo vzorku	As [mg/kg suš.]	Pb [mg/kg suš.]	Cd [mg/kg suš.]	Cr [mg/kg suš.]	Cu [mg/kg suš.]	Ni [mg/kg suš.]	Hg [mg/kg suš.]	Zn [mg/kg suš.]
Vsázkové suroviny								
Papírenský kal nová výroba	0,65 ± 0,09	16,6 ± 3,3	0,091 ± 0,012	36,1 ± 4,0	40,8 ± 8,5	-	0,030 ± 0,004	65 ± 6
Papírenský kal stará výroba	1,12 ± 0,16	172 ± 34	0,258 ± 0,034	105 ± 12	75 ± 15	-	0,031 ± 0,004	35,2 ± 3,4
Hnědé uhlí – ps3	7,3 ± 1,1	27,1 ± 5,4	0,493 ± 0,066	66 ± 7	39,9 ± 8,3	33,4 ± 6,1	0,314 ± 0,023	95 ± 9
Produkty								
Směs HU:PK (90:10)	5,8 ± 0,8	30,9 ± 6,1	0,76 ± 0,10	75 ± 8	37,2 ± 7,7	30,8 ± 5,6	0,280 ± 0,020	76 ± 7
Směs HU:PK (85:15)	5,5 ± 0,8	33,3 ± 6,6	0,70 ± 0,09	69 ± 8	36,3 ± 7,5	30,3 ± 5,5	0,275 ± 0,020	70 ± 7
Směs HU:PK (80:20)	5,2 ± 0,8	35,6 ± 7,1	0,68 ± 0,09	68 ± 8	36,3 ± 7,5	29,3 ± 5,4	0,271 ± 0,020	70 ± 7

Tabulka č. 8: Měrné sirnatosti směsných paliv a jejich složek

Označení a číslo vzorku	W_F^I [%]	S^I [%]	S^R [%]	S_m^R [g/MJ]	A^I [%]	Q_s^I [MJ/kg]	$Q_s^{I,R}$ [MJ/kg]	Q_R^R [MJ/kg]	Q_R^I [MJ/kg]	$Q_R^{I,R}$ [MJ/kg]
Vsázkové suroviny										
Papírenský kal nová výroba	50,76	0,15	0,0739	0,1869	28,62	11,44	16,03	3,95	10,60	14,85
Papírenský kal stará výroba	61,30	0,16	0,0619	0,2310	28,84	11,72	16,48	2,68	10,88	15,28
Hnědé uhlí – ps3	28,20	1,23	0,8831	0,8726	32,71	20,45	-	10,12	14,10	-
Produkty										
Směs HU:PK (90:10)	25,89	1,20	0,8893	0,9309	44,00	14,41	25,72	9,47	13,66	24,39
Směs HU:PK (85:15)	30,03	1,13	0,7906	0,8864	42,75	14,54	25,41	8,92	13,82	24,15
Směs HU:PK (80:20)	32,71	1,12	0,7536	0,8856	42,41	14,59	25,33	8,51	13,87	24,08

U výsledných produktů byly provedeny základní technologické rozbory, které charakterizují použité suroviny z palivářského hlediska. Výhřevnost v sušině složek použitých pro výrobu směsných paliv se pohybovala v rozmezí $10,6 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ u papírenských kalů z nové výroby a $14,10 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ u uhlí. Složky směsných paliv se výrazně odlišují v obsahu veškeré vody. Obsah vody v původním stavu u papírenského kalu dosahuje hodnoty 51 % a 28,20 % u hnědého uhlí. Obsahy síry v sušině jsou u jednotlivých složek značně rozdílné. Papírenský kal obsahuje 0,15 % S^d, hnědouhelná hmota 1,23 % S^d. Rozhodným kritériem pro posuzování vhodnosti a velikosti hmotnostních podílů palivových složek ve směsi z hlediska ochrany ovzduší je vypočtená a stanovená hodnota měrné sirnatosti S_m^r v gS · MJ⁻¹. Přehledné výsledky rozborů složek směsných paliv a produktů jsou uvedeny v tab. 7 a 8.

Směsná paliva vytvořená z méně kvalitního hnědého uhlí a biomasy papírenských kalů dle navržených receptur 1, 2 a 3 by vyhověla pravděpodobné dikci novelizované vyhlášky v hodnotách výhřevnosti Q_i^d v rozsahu hmotnostních přídavek biomasy 10 – 20 %. Dosažené výhřevnosti přesahují $13 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Měrná sirnatost nově vytvořených paliv se pohybuje v rozmezí 0,931 až $0,886 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$. Tato směsná paliva by vyhovovala dle měrné sirnatosti v období let 2010 až 2013, kdy je navrhována pro měrnou sirnatost limitní hodnota $0,95 \text{ g} \cdot \text{MJ}^{-1}$.

Z výsledků provedených analýz plyne, že biomasa, tj. papírenský kal z nové výroby vykazuje, díky modernější technologii zpracování dřeva na celulózu, výrazně nižší obsahy pro většinu stopových prvků v porovnání se starou výrobou. U směsných paliv je s narůstajícím hmotnostním podílem papírenského kalu ve směsi patrný pokles obsahu stopových prvků v nově vytvořeném palivu. Výjimku tvoří jediné obsah olova, které vykazuje opačný trend, jeho obsah mírně narůstá.

Závěr

Díleč výsledky z řešení projektu VaV SP /2f2/98/07 „Výzkum v oblasti odpadů jako náhrady primárních surovinových zdrojů“ prokazují, že využívání odpadních látek s významným energetickým obsahem a nízkým podílem znečišťujících látek pro energetické účely je technicky možné a schůdné. Vhodnou

kombinací složek směsných paliv lze připravit výslednou palivovou směs, která bude vyhovovat legislativním požadavkům kladeným na odpady i ochranu ovzduší.

Poděkování MŽP ČR. Tento výzkum je prováděn v rámci řešení projektu VaV SP/2f2/98/07 „Výzkum v oblasti odpadů jako náhrady primárních surovinových zdrojů“ a díky finanční podpoře MŽP ČR.

Literatura:

- [1] Zbořil J.: *Konference stran Kjótského protokolu na Bali – začátek příklonu k zákonům fyziky?*, All for Power, č.1/2008, str. 16 – 18, Vydavatelství Publisher Ostrava, ISSN 1802 – 8535
- [2] Hyžík J.: *Význam energetického využívání odpadu roste – 1*, All for Power, č.1/2008, příloha: Úprava surovin, využívání odpadů, str. II –XI, Vydavatelství Publisher Ostrava, ISSN 1802 - 8535
- [3] Martínek, T., Sedláček, P., Fečko, P., Valeš, J., Čablík, V.: *Ověření možnosti výroby ekologických hnědouhelných pelet lisováním s přídávkem biomasy a biomateriálů*, Sborník: Mineral raw materials and mining activity of 21st century, VŠB-TU Ostrava 25-27.11.2003, s.525-529, ISBN80-248-0492-1
- [4] Sedláček P., Valeš J., Maček, S.: *Výroba nového typu paliva z uhelné hmoty a odpadních produktů vzniklých při zpracování autovraků*, Publikace.: Zpravodaj Hnědé Uhlí 3/2004, s.17-20, ISSN 1213-1660
- [5] Sedláček P., Valeš J., Šafářová, M., Riedlová, S.: *Potential production of ecological pellets with biomass or wastes*, 5. European Conference Coal Research and its Applications, 6th - 8th September 2004, Edinburgh, Skotsko
- [6] Sedláček P., Valeš J., Šafářová M.: *Possibilities of combustion high sulphur content coal with biomass contribution*, 21st International Pittsburgh Coal Conference 11-18.9.2004, Osaka, Japonsko.