

Príprava nízkopopolnatých produktov zo slovenských lignitických uhlí – materiálová bilancia

Slavomír Hredzák¹, Silvia Čuvanová, Mária Skybová a Anton Zubrík

Preparation of low-ash products from Slovak lignitic coals – material balance

A preparation of low-ash coal products was performed with the aim to obtain suitable charge for the extraction following processes of organic substances. Thus, for this purpose, the coal feeds from two collieries, namely Záhorie and Nováky were washed in the water-only cyclone with a diameter of 150 mm. The vortex finder and apex diameters were 68 mm and 14.6 mm, respectively. The cone consisting of three angle sections 135°-75°-20° was applied. The products obtained on the overflow of the cyclone were decanted to remove the rests of slurries. In such a way, washed coals with the ash content in the dry matter of 5.44 was prepared from lignite of Záhorie. Similarly, as to coal from Nováky the ash content of 9.21 % was achieved.

Key words: lignitic coal, water-only cyclone, washing, low-ash.

Úvod

Uhlie patrí strategické energetické suroviny. V posledných rokoch sa však čoraz viac venuje pozornosť využitiu uhlia, predovšetkým hnedého, na nenergetické účely, hlavne v poľnohospodárstve a lesníctve pri remediácii pôd, ako aj pri získavaní chemických látok.

Príprava nízkopopolnatých produktov z energetických uhlí z Bane Záhorie a z Bane Nováky bola uskutočnená za účelom získania vsádzky, vhodnej pre ďalšie spracovanie, ktoré spočíva v extrakcii organických látok. V prípade extrakcie uhlia tu prichádzajú do úvahy: humínové kyseliny, polycyklické aromatické uhľovodíky (naftalén a jeho deriváty, fluorén, fenantrén a jeho metylderiváty, fluorantén, benzoantracén, chryzén), alkylové deriváty s nižšími obsahmi aromatických terpenoidných biomarkerov, heterocyklické zlúčeniny dusíka, fullerény a pod.

Samotná príprava nízkopopolnatých produktov bola uskutočnená v hydrocyklóne bez zaťažkávadla, v tzv. water-only cyklóne (WOC). Prvý hydrocyklón pracujúci bez ťažkej suspenzie vyvinuli odborníci Centrálného skúšobného laboratória Holandských štátnych baní v Treebeeku koncom 40-tych rokov minulého storočia (Suresh et al., 1990). Tento hydrocyklón si vytvára vlastné zahustenie prostredia akumuláciou častíc vo svojej kužeľovej časti a nie je pri ňom potrebné používať zaťažkávadlo. Od klasického hydrocyklónu sa odlišuje tupým uhlom kužeľovej časti, dlhšou valcovou časťou a dlhšou prepadovou rúrou.

Práce zaoberajúce sa WOC boli väčšinou zamerané na stanovenie ostrosti rozdrúžovania, hlavne vo vzťahu k zrnitosti vsádzky, ako aj v porovnaní s ťažkosuspenzným hydrocyklónom (Visman, 1962; Krijgsman a Leeman, 1963; Schlepp a Schmidt, 1988; Suresh et al., 1990). Oproti ťažkosuspenzným hydrocyklónom (TSHC), majú water-only cyklóny približne desaťkrát nižšiu ostrosť rozdrúžovania - pre TSHC $E_p = 0,03 \div 0,06$ (Kozák a Cagaš, 1965), pre WOC $E_p = 0,22 \div 0,40$ (Schlepp a Schmidt, 1988), resp. $E_p = 0,26 \div 0,50$ (Hredzák et al., 2000).

V uhoľnom úpravníctve sa z tohto dôvodu používajú pre rozdrúžovanie jemnozrnných frakcií, hlavne 0,25 – 2 mm, medziproduktov, ako aj v kontrolných uzloch rozdrúžovania, aby sa zabránilo stratám horľaviny v odpade. Napríklad na Bani Balmer, v Britskej Kolumbii (Kanada), s ročnou ťažbou 6 mil. ton sa v úpravni používajú WOC, ktoré spracovávajú 20 % vsádzky do úpravne, zrnitosti 0,25-0,6 mm. Celkove je tu osadených 62 WOC s priemerom 35,56 mm, ktoré upravujú uhlie pre metalurgický priemysel s obsahom popola 8,9 % (Kennedy, 1991).

Na Ústave geotechniky SAV v Košiciach sa započalo s výskumom uplatnenia hydrocyklónov pri úprave energetického uhlia z Hornonitrianskych baní, a.s. Prievidza v roku 1996 (Jakabský et al., 1997). V prvej fáze výskumu boli uskutočnené základné testy v ťažkosuspenznom cyklóne a vo WOC (Hredzák et al., 1998; Jakabský et al., 1998; Hredzák, 1999). V druhej fáze bola pozornosť zameraná na štúdium prevádzkového režimu WOC a jeho parametrov na kvalitu rozdrúžovaných produktov (Jakabský et al., 1999; Hredzák, 2000a; Hredzák, 2000b).

Bolo preukázané, že v prípade uhlia z Cígľa s obsahom 42–47 % popola v sušine vsádzky a pôvodnou výhrevnosťou 9–10 MJ.kg⁻¹ sa pri výnose 30–45 % získal ľahký produkt s obsahom popola v sušine

¹ Ing. Slavomír Hredzák, PhD., RNDr. Silvia Čuvanová, PhD., Ing. Mária Skybová, RNDr. Anton Zubrík, Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 043 53 Košice, hredzak@saske.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 15. 12. 2006)

11–13 %. Výhrevnosť v prepočte na obsah vody 40 % bola 11,9–12,6 MJ.kg⁻¹. Z uhlia z Handlovej s obsahom 40–48 % popola v sušine vsádzky a pôvodnou výhrevnosťou 10–11 MJ.kg⁻¹ bolo pri výnose 37–43 % získané upravené uhlie s obsahom popola v sušine 12–16 % s výhrevnosťou 12,4–13 MJ.kg⁻¹ pri 40 % vody v prepočte. Pri úprave uhlia z Novák s obsahom 25–28 % popola v sušine vsádzky a s pôvodnou výhrevnosťou 9,5–10,4 MJ.kg⁻¹ bol pri výnose 48–53 % získaný ľahký produkt s obsahom popola v sušine 11–17 % a výhrevnosťou 11,5–12,6 MJ.kg⁻¹ v prepočte na obsah vody 40 % (Hredzák, 2001).

Pracovný postup prípravy vzoriek

Príprava vsádzky do hydrocyklónu sa začala drvením na čeľuťovom drviči PS D-160 a vo vibračnom čeľuťovom mlynčeku VČM-3 a pokračovala triedením na sitách za sucha. Takto boli z pôvodného energetického uhlia z Novák a Záhoria o zrnitosti 0 – 20 mm pripravené vzorky pre rozdzružovanie v hydrocyklóne, s veľkosťou zrna 0 – 5 mm.

Rozdzružovanie bolo realizované vo WOC s priemerom valcovej časti 150 mm, ktorý bol osadený v hydrocyklónovej stanici (obr. 1, 2) pri pretlaku 100 kPa. Prepádová tryska mala priemer 68 mm, výtoková 14,5 mm. Kónická časť pozostávala z troch sekcií s uhlami 135°-75°-20°.

Produkty rozdzružovania boli na prepade a výtoku WOC zachytávané na sitách s okatosťou 0,5 mm. Jemnejšie zrná boli pri materiállovej bilancii zarátané do kalového produktu. Následne boli ľahké produkty, získané na prepade WOC premývané vodou kvôli odstráneniu zvyškov jemných popolonosných zŕn. Všetky produkty boli vysušené, bola stanovená ich hmotnosť, boli podrobené stanoveniu vybraných chemických zložiek a popola. Na základe hmotnostných výnosov a analýz boli vypočítané výťažnosti jednotlivých sledovaných zložiek do produktov rozdzružovania.

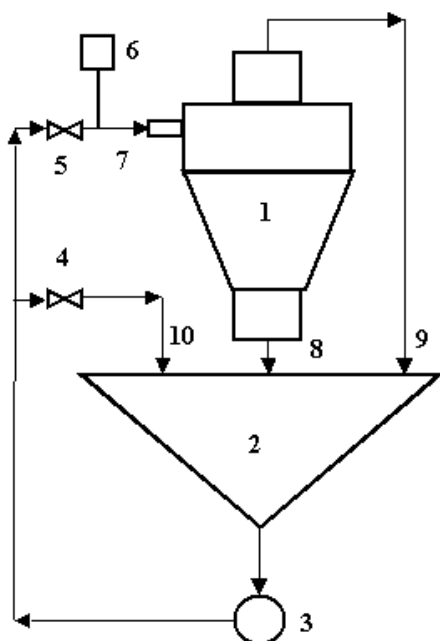
Pri hodnotení základných parametrov, t.j. obsahu popola a horľaviny boli východiskom nasledovné bilančné rovnice:

$$W^a + A^a + h^a = 100, \quad (1)$$

$$A^d + h^d = 100, \quad (2)$$

kde W - obsah vody, A – obsah popola, h – obsah horľaviny, index „a“ sa vzťahuje na analytický stav vzorky uhlia, index „d“ na bezvodý stav, resp. sušinu. Pre obsah popola v bezvodovej vzorke potom platí:

$$A^d = A^a \frac{100}{100 - W^a}. \quad (3)$$



Obr. 1. Schéma hydrocyklónovej stanice (Jakabský et al., 1997).

Fig. 1. Scheme of hydrocyclone station (Jakabský et al., 1997).

Popis k obr. 1.: 1 – hydrocyklón, 2 – miešacia nádrž, 3 – čerpadlo, 4 – ventil vratného okruhu, 5 – ventil regulácie tlaku na vstupe, 6 – tlakomer, 7 – podanie do hydrocyklónu, 8 – ťažký produkt – výtok, 9 – ľahký produkt – prepád, 10 – cirkulujúca vsádzka.

Description to Fig. 1.: 1 – hydrocyclone, 2 – agitating tank, 3 – pump, 4 – valve of reverse circuit, 5 – valve for regulation of input press, 6 – pressure gauge, 7 – hydrocyclone input, 8 – heavy product – underflow, 9 – light product – overflow, 10 – circulating charge.

Obr. 2. Hydrocyklón.

Fig. 2. Hydrocyclone.

Výsledky a diskusia

Výsledky rozdrúzovania sú uvedené v tabuľkách 1 – 3 pre uhlie z Bane Záhorie a 4 – 6 z Bane Nováky.

Tab. 1. Obsah a výťažnosť popola a horľaviny - Baňa Záhorie.

Tab. 1. Content and recovery of ash and combustible matter – Záhorie Colliery.

produkt	výnos [%]	obsah [%]				výťažnosť [%]	
		W ^a	A ^a	A ^d	h ^d	A ^d	h ^d
prepad	24,15	8,39	4,98	5,44	94,56	10,37	26,15
výtok	46,01	10,72	8,72	9,77	90,23	35,48	47,54
kal	29,84	5,49	21,74	23,00	77,00	54,15	26,31
podanie ¹	100,00	7,66	11,70	12,67	87,32	100,00	100,00
podanie ²	100,00	17,39	14,07	17,03	82,97	100,00	100,00

1 – vypočítané, 2 – stanovené

Tab. 2. Obsah vybraných chemických zložiek – Baňa Záhorie.

Tab. 2. Content of selected chemical components – Záhorie Colliery.

produkt	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Fe _{CELK} [%]	S _{CELK} [%]	S _{SULF} [%]
prepad	0,73	0,81	1,15	0,448	0,27	1,03	0,97
výtok	1,82	1,68	1,50	0,531	0,71	1,10	0,80
kal	8,44	4,80	2,18	0,597	1,80	1,02	0,90
podanie	3,53	2,40	1,62	0,531	0,93	1,06	0,87

Tab. 3. Výťažnosť vybraných chemických zložiek – Baňa Záhorie.

Tab. 3. Recovery of selected chemical components – Záhorie Colliery.

Produkt	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Fe _{CELK} [%]	S _{CELK} [%]	S _{SULF} [%]
prepad	4,99	8,17	17,14	20,39	7,02	23,49	26,90
Výtok	23,71	32,21	42,60	46,03	35,17	47,78	42,27
Kal	71,30	59,62	40,27	33,58	57,81	28,73	30,83
podanie	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tab. 4. Obsah a výťažnosť popola a horľaviny - Baňa Nováky.

Tab. 4. Content and recovery of ash and combustible matter – Nováky Colliery.

produkt	výnos [%]	obsah [%]				výťažnosť [%]	
		W ^a	A ^a	A ^d	h ^d	A ^d	h ^d
prepad	26,12	11,82	8,12	9,21	90,79	7,82	34,27
výtok	26,40	5,69	14,18	15,04	84,96	12,90	32,41
kal	47,47	9,02	46,77	51,41	48,59	79,28	33,32
podanie ¹	100,00	8,80	28,07	30,78	69,22	100,00	100,00
podanie ²	100,00	22,37	34,94	45,12	54,88	100,00	100,00

1 – vypočítané, 2 – stanovené

Tab. 5. Obsah vybraných chemických zložiek – Baňa Nováky.

Tab. 5. Content of selected chemical components – Nováky Colliery.

Produkt	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Fe _{CELK} [%]	S _{CELK} [%]	S _{SULF} [%]	As [ppm]
prepad	1,15	1,19	1,08	0,398	0,72	3,06	2,65	674,00
Výtok	5,51	2,10	1,11	0,415	1,11	3,23	2,49	777,00
Kal	26,08	10,77	1,08	0,730	2,73	2,10	1,70	836,00
podanie	14,14	5,11	1,09	0,564	1,30	2,65	2,16	778,00

Tab. 6. Výťažnosť vybraných chemických zložiek – Baňa Nováky.

Tab. 6. Recovery of selected chemical components – Nováky Colliery.

Produkt	SiO ₂ [%]	Al ₂ O ₃ [%]	CaO [%]	MgO [%]	Fe _{CELK} [%]	S _{CELK} [%]	S _{SULF} [%]	As [%]
prepad	2,13	5,20	25,95	18,57	10,58	30,34	32,10	22,63
Výtok	10,29	9,26	26,91	19,55	16,49	32,37	30,48	26,37
Kal	87,58	85,53	47,15	61,87	72,92	37,83	37,42	51,00
podanie	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,54	100,00	100,00

Z tabuľkových hodnôt vyplýva, že v oboch prípadoch sa podarilo na prepade WOC dosiahnuť obsah popola v sušine pod 10 %. Čo sa týka uhlia zo Záhoria bolo tomu tak aj na výtoku. Dané skutočnosti poukazujú na to, že popoloviny sa nachádzajú v najjemnejších zrnitostných triedach.

Výnosy do prepadu sú pri oboch vzorkách takmer rovnaké, významnejšie rozdiely sú pri výtokoch a kaloch. Tieto hodnoty následne ovplyvňujú aj výťažnosti popola a horľaviny do výtoku a kalu.

Parametre ďalších sledovaných zložiek SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO a Fe sú prakticky závislé, resp. odvíjajú sa od parametrov popola. Najvyššie výťažnosti dosahujú spravidla do kalového produktu.

Čo sa týka hlavnej škodliviny v uhlí – síry, oveľa vyšší obsah bol podľa očakávania stanovený vo vzorkách z Novák. Pri porovnaní obsahu horľaviny a sulfidickej síry v produktoch rozdrúžovania tu možno predpokladať väzbu sulfidov na organickú hmotu. Tradične je vysoký aj obsah arzénu.

Záver

Predložený príspevok popisuje možnosti prípravy nízkopopolnatých produktov v hydrocyklóne bez zaťažkávadla zo slovenských lignitických uhlí (hnedouhoľných hemitypov) Bane Záhorie a Bane Nováky.

Bolo preukázané, že na prepade hydrocyklónu je po dekantácii možné získať produkty s obsahom popola cca 5 – 6 % v sušine v prípade uhlia zo Záhoria a cca 9 – 10 % v prípade nováckeho uhlia. Výnosy do prepadu sa v oboch prípadoch pohybujú na úrovni 25 %. Výťažnosti popola do prepadu dosahujú cca 8 – 10 %, výťažnosti horľaviny cca 26 – 34 %.

Získané produkty s vyššie spomenutými charakteristikami sú vhodné pre ďalšie chemické spracovanie za účelom extrakcie vybraných organických látok.

Podakovanie: Práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-51- 035505.

Literatúra

- Hredzák, S., Jakabský, Š., Lovás, M., Mockovčiaková, A.: Preparation of Steam Coal from Cígel and Handlová Localities in Hydrocyclones. In: *Proc. of the 4th Conference on Environment and Mineral Processing*, (eds. Fečko, Bulawa, Holík) VŠB-TU Ostrava 1998, Part II., pp. 477-482.
- Hredzák, S.: Selected Results of Slovak Steam Coal Preparation in Hydrocyclones. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Tom 15/1999*, 221 – 228.
- Hredzák, S., Jakabský, Š., Lovás, M.: Vplyv priemeru výtokovej trysky hydrocyklónu na účinnosť rozdrúžovania energetického uhlia z bane Cígel. *Acta Montanistica Slovaca*, roč. 5 (2000a), 3, 251-254.
- Hredzák, S., Jakabský, Š., Lovás, M.: Vybrané výsledky aplikácie fyzikálnych postupov úpravy slovenského energetického uhlia. *UHLÍ – RUDY – GEOLOGICKÝ PRŮZKUM*, č. 3, 2000b, s. 31-38.
- Hredzák, S.: Aplikácia hydrocyklónu pri úprave slovenského energetického uhlia. Doktorandská dizertačná práca, Ústav geotechniky SAV, Košice, marec 2001, 175 s.
- Jakabský, Š., Hredzák, S., Lovás, M. a kol.: Komplexné využitie slovenského hnedého uhlia a ekologicky čistých technológií v energetike. ČÚ 01 k VTP č. 95-513-III-07 "Zvýšenie ekonomickej efektívnosti energetických premien" E 1.3. časť A. *Výročná správa ÚGt SAV Košice 1997*, 62 s.
- Jakabský, Š., Lovás, M., Hredzák, S., Turčániová, E.: Application of "Water-Only" Cyclone in Slovak Steam Coal Preparation". In: *Proceedings of the Fifteenth Annual International Pittsburgh Coal Conference (CD-nosič, recorded in USA)*, 1998.
- Jakabský, Š., Hredzák, S., Lovás, M.: Úprava hnedouhoľných kalov v hydrocyklóne. In: *Sb. konference "Recyklace odpadů III"*, VŠB-TU Ostrava (ed. P. Fečko), 1999, s. 21-26.
- Kennedy, A.: Balmer – 6 Mt Metallurgical Coal for World Markets. *Mining Magazine*, March 1991, pp. 142-149.
- Kozák J., Cagaš, Z.: Hodnocení upravitelnosti a způsobů úpravy nerostných surovin. *SNTL/SVTL, Praha, 1965*, 296 s.
- Krijgsman, C., Leeman JNJ.: Der Sortierzyklon im Stammbaum der Wäsche. *Štvrtý medzinárodný kongres o úprave uhlia v Harrogate*, 1962. In: Dinter, O.: *Hydrocyklóny a jejich použití*. SNTL Praha, 1963.
- Schlepp, D. D., Schmidt, M. P.: When to Use Water-Only Cyclones. *Industrial Practice of Fine Coal Cleaning*, KLIMPEL, R. R., LUCKIE P. T. Eds., SME Publication, 1988. In: Kural, O.: *COAL - Resources, Properties, Utilization, Pollution*. Mining Faculty, Istanbul Technical University, Istanbul 1994, 494 s.
- Suresh, N., Vannangamundi, M., Rao, TC.: "Water-Only" Cyclones. *Mining Magazine*, April 1990, pp. 266-268.
- Visman, J.: die Sortierung abriebempfindlicher Kohle im Hydrozyklon. *Štvrtý medzinárodný kongres o úprave uhlia v Harrogate*, 1962. In: Dinter, O.: *Hydrocyklóny a jejich použití*. SNTL Praha, 1963, 96 s., In: Nowak, Z.: *Hydrocyklony w przeróbce mechanicznej kopalin*. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1970, 141 s.