

Briketovanie koks-uhoľnej zmesi

Juraj Ďurove¹ a Jozef Lukáč²

Briquetting of Coke-Brown Coal Mixture

The paper presents the results of the research of briquetting a coke-brown coal composite. The operation consists of the feeding crushed coal and coke to moulds and pressing into briquettes which have been made in the Laboratories at the Mining Faculty of Technical University of Košice (Slovakia). In this research, all demands will be analyzed including the different aspects of the mechanical quality of briquettes, the proportion of fine pulverulent coal and coke in bricks, the requirements for briquetting the coke-brown coal materials.

Key words: briquetting, coke-coal mixture, laboratory tests.

Úvod

V predkladanom článku autori uvádzajú niektoré výsledky laboratórneho výskumu, ktoré dosiahli v rámci riešenia úlohy "Lisovanie koksového prachu, produktu DZ Koksovňa VSŽ" (Kmeť et al., 1995). Úlohou bolo preskúmať a stanoviť podmienky pre lisovanie (briketovanie) koksového prachu DZ Koksovňa VSŽ s cieľom jeho využitia pre malospotrebiteľov.

Briketovanie ako zušľachtujúci proces

Prvé informácie o briketovaní uhlia pochádzajú z prelomu 18. a 19. storočia, kedy bol použitý organický tuk ako pojivo prachového uhlia. Druhá polovica 19. storočia je charakterizovaná intenzívnym výskumom a vznikom rôznych teórií briketovania (bližšie pozri: Formánek, 1961; Krug a Naundorf, 1984), z ktorých najznámejšie sú:

1. Bitúmenová teória briketovania hnedého uhlia formulovaná Preisingom a Scheithauerom, podľa ktorej sa bitúmen obsiahnutý v uhlí pri stláčaní brikety zohrieva, mäkne a pôsobí ako pojivo zŕn uhlia.
2. Teória kapilarity a molekulárnych povrchových síl, sformulovaná Kegelom, Fritzschem a Pieningom, tvrdí, že účinkom kapilárnych síl vody a povrchových molekulárnych síl dochádza k spojovaniu zŕn uhoľnej zmesi.
3. Chemická teória, vyslovená Agdem a Schnerenbergom, sa prikláňa k názoru, že k spájaniu uhoľných zŕn v procese briketovania dochádza pod vplyvom voľných humínových kyselín v uhlí.
4. Teória vedľajších valencií (koloidná teória), vypracovaná Agdem, je založená na vzájomnom pôsobení molekulárnych príľnavých síl na povrchu uhoľných zŕn a kvapalnej fázy oddeľujúcej zrná. Interakčné fázy - tuhá a kvapalná - sú držané spolu adhéznymi Van der Waalsovými silami.

Pracovné postupy výskumu bezspojivového briketovania koksového prachu boli formulované do hypotéz teórie kapilarity a molekulárnych povrchových síl, podľa ktorej obsah vody v kapilárach uhlia a veľkosť lisovacieho tlaku sú determinujúcimi faktormi lisovacieho procesu.

Koksový prach, ktorý je odpadovým produktom pri výrobe koksu, vzniká oddelením frakcie pod 8, resp. 4 mm, prešiel termickou úpravou a neobsahuje žiadne chemické zložky, ktoré by bolo možné využiť pri jeho briketovaní. Ako surovina nie je briketovateľná ani pri použití vysokých lisovacích tlakov. Môže byť zušľachtený do tvaru pevných brikiet, ak sa k nemu pridá iná surovina, charakterizovaná veľmi dobrými briketovacími vlastnosťami, napríklad hnedé uhlie. Prípravu takýchto zmesí ďalej rozoberáme.

¹ Ing. Juraj Ďurove, CSc., Katedra dobývania ložísk a geotechniky, Fakulta BERG, TU v Košiciach, Park Komenského 19, 040 01 Košice, SR

² Doc. Ing. Jozef Lukáč, CSc., MINERALURGIJA, Výskumné stredisko, Plzeňská 3, 040 11 Košice, SR
(Recenzovaná a revidovaná verzia doručená 30.10.1998)

Experimentálne práce

Úlohou laboratórných experimentov bolo:

- Určiť optimálny pomer koksu a hnedého uhlia a namiešať takú lisovaciú zmes, ktorá zabezpečí výrobu brikiet zodpovedajúcich svojimi vlastnosťami príslušným normám pre maloobderateľov.
- Stanoviť a upresniť všetky technologické kritériá dôležité pre priemyselnú výrobu koks-uhoľných brikiet. Ide hlavne o určenie optimálnej vlhkosti uhlia a koksu, veľkosti lisovacieho tlaku, zrnitosti uhlia a koksu ako aj hmotnostného pomeru týchto zložiek v lisovacej zmesi a vplyvu teploty zmesi a matrice na kvalitu vyrobených brikiet.
- Na základe optimálnych činiteľov lisovacieho procesu otestovať kvalitu vyrobených koks-uhoľných brikiet so zreteľom na ich pevnosť v prostom tlaku, oteruvzdornosť, vodovzdornosť a proces horenia.

Koks-uhoľná lisovacia zmes bola na lisovanie pripravovaná z prachového koksu zrnitosti 0-2,5 mm, ku ktorému bolo pridávané v rôznom hmotnostnom pomere hnedé uhlie s rôznou vlhkosťou. Zložky takto vzniknutej zmesi boli skúmané z týchto lokalít:

- Hnědouhelné doly Březová, s.p., Sokolovský revír.
- Aleksandrijaugol', Kirovskaja obl., Ukrajina: razrez Morozovskij a razrez Konstantinovskij.
- Baňa Nováky.
- Koksový prach z VSŽ Košice.

Charakteristika hnedých uhlí a koksu v koks-uhoľnej zmesi

Skúmané vzorky hnedého uhlia a koksu možno charakterizovať týmito parametrami:

W_c^r = obsah celkovej vody v uhlí;

A^d = obsah popola v sušine;

Q_i^r = výhrevnosť ťaženého uhlia, resp. koksu;

S_t^d = obsah síry v sušine.

Hnedé uhlie Březová zo Sokolovského revíru patrí do kategórie mäkkých uhlí s veľmi dobrými briketovacími vlastnosťami. Obsahuje:

$W_c^r = 43,66\%$; $A^d = 17,90\%$; $Q_i^r = 12,54 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $S_t^d = 0,84\%$.

Hnedé uhlie Aleksandrija – razrez Konstantinovskij obsahuje:

$W_c^r = 52,27\%$; $A^d = 15,86\%$; $Q_i^r = 12,89 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $S_t^d = 3,85\%$.

Podobné vlastnosti má i uhlie z razrezu Morozovskij.

Novácke uhlie, ktoré patrí do kategórie tvrdých hnedých uhlí s nedostatočnými briketovacími vlastnosťami, obsahuje:

$W_c^r = 36,0\%$; $A^d = 29,0\%$; $Q_i^r = 10,1 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $S_t^d = 2,24\%$.

Čiernouhoľný koksový prach, produkt DZ Koksovňa VSŽ Košice, obsahuje:

$W_c^r = 27,73\%$; $A^d = 11,10\%$; $Q_i^r = 27,35 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ a $S_t^d = 0,56\%$.

Uvedené kvalitatívne parametre sú priemernými hodnotami skúmaného uhlia a koksu.

Metodika lisovania brikiet a ich skúšanie

Pre lisovanie zmesi koksového prachu a hnedého uhlia v laboratórných podmienkach boli použité dve ocelové matrice:

- Matrica tvaru valca, pre výrobu brikiet s hmotnosťou 60-100 g. Rozmery matrice: vnútorný priemer - 40 mm, výška - 100 mm, plocha vnútorného prierezu - 1256 mm^2 ,
- Matrica tvaru hranola, pre výrobu brikiet s hmotnosťou cca 160 g. Vnútorné rozmery matrice 90 x 45 x 29 mm.

Vsádzka pre lisovanie bola tvorená zmiešavaním koksového prachu a hnedého uhlia v určitých hmotnostných pomeroch a s upravenou vlhkosťou. Pre určité druhy skúšok boli hnedé uhlie a

koksový prach, resp. z nich vytvorená zmes ohrievané v elektrickej peci na požadovanú teplotu pred lisovaním. Podobne boli ohrievané aj matrice pre výrobu briekiet.

Lisovaná koks-uhoľná zmes bola v matrici obojstranne stláčaná s plynule sa zvyšujúcou silou. Doba kompresie briketovacej zmesi pri maximálnej hodnote stlačenia bola 10 sekúnd. Po uplynutí tohto času sa tlak postupne znížil až na nulovú hodnotu. Následne bola briкета vytlačená z matrice, čím bol proces jej výroby ukončený.

Pevnosť vyrobených briekiet v prostom tlaku bola určovaná pomocou mechanického lisu ZDM-5, odčítaním sily F [N] pôsobiacej kolmo na plochu prierezu briekety S [mm²]. V nadväznosti na pevnostné skúšky boli testované aj ďalšie kvalitatívne znaky briekiet: pevnosť briekiet v otere a odolnosť briekety proti účinkom vody (nasiakavosť, rozpadavosť).

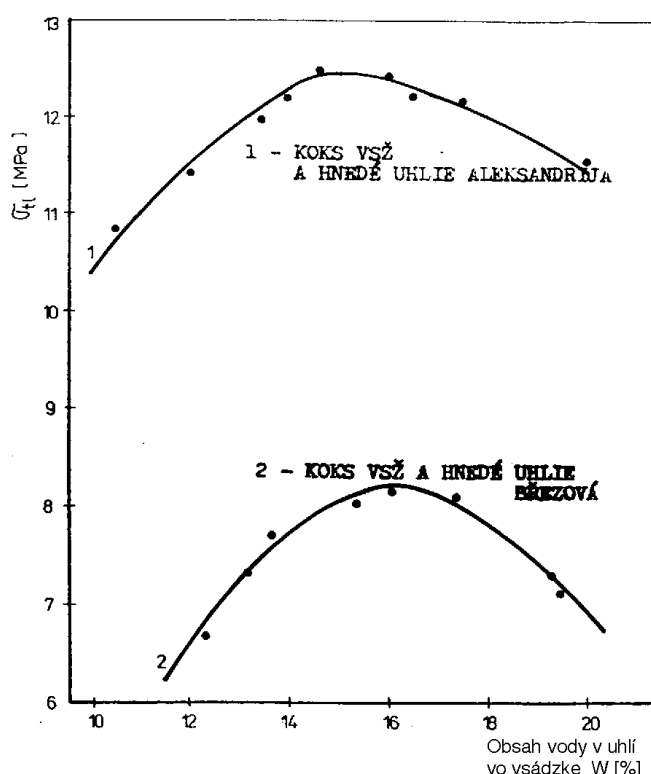
Osobitným kvalitatívnym testovaním boli skúšky horenia briekiet v muflónovej peci a v ohnisku, ktorými sa však v tomto článku nezaobráame.

Faktory vplývajúce na lisovanie koks-uhoľnej vsádzky

Pre dosiahnutie požadovanej pevnosti a kvality vyrobenej briekety bolo potrebné nájsť optimálnu kombináciu hodnôt obsahu vody, lisovacieho tlaku, zrnitosti a vzájomný pomer množstva čierneho-uhoľného koksového prachu a briketovateľného hnedého uhlia vo vsádzke. Výsledky skúmania a hodnotenia jednotlivých faktorov sú ďalej v stručnosti zhrnuté a dokumentované grafmi a tabuľkami.

Vplyv vlhkosti koks-uhoľnej zmesi

Prvé série briekiet boli vyrobené zo vsádzky obsahujúcej hmotnostne 50 % koksu a 50 % hnedého uhlia so zrnitosťami 0,0-1,5 mm. Lisovanie prebiehalo pri laboratórnej teplote uhlia, koksu a matrice. Lisovací tlak bol $P = 95$ MPa. Pevnostné skúšky vyrobených briekiet boli urobené po 24 hodinách od ich vylisovania.



Obr. 1: Pevnosť v tlaku koks-uhoľnej briekety v závislosti od obsahu vody vo vsádzke

Podmienky lisovania vsádzky: 50 % koks a 50 % hnedé uhlie; zrnitosť vsádzky $d = 0,0 \square 1,5$ mm; lisovací tlak $P = 95$ MPa.

Z priebehu kriviek na obr. 1 vyplýva, že pevnosť v prostom tlaku (σ_t) vyrobenej koks-uhoľnej briekety je ovplyvnená obsahom vody v uhlí. Maximum σ_t zodpovedá optimálnemu obsahu vody. Výsledky jednoznačne dokumentujú aj význam „briketovacej schopnosti“ použitého hnedého uhlia. Zo zmesi hnedého uhlia Aleksandrija a koksového prachu sa pri dodržaní optimálnych lisovacích podmienok dajú vyrobiť veľmi pevné briekety. Pevnosť briekety v prostom tlaku dosahuje hodnoty nad 12 MPa (požadovaná pevnosť je 8 MPa).

Výsledky experimentálnych prác potvrdzujú, že obsah vody v hnedom uhlí, a tým aj vlhkosť celej lisovanej vsádzky, je základným a určujúcim faktorom pre pevnosť briekety. Výsledky ďalej ukázali, že pri skúmaných komponentoch je nevyhovujúcou vlhkosť nad 16 %. Pri prekročení tejto hodnoty klesá nielen pevnosť briekiet, ale na ich povrchu vznikajú trhliny a vyrobené briekety majú veľkú nasiakavosť.

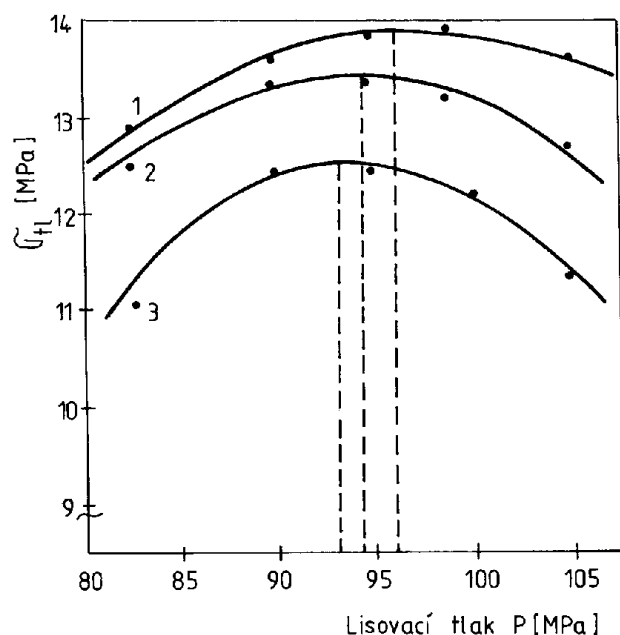
Vplyv lisovacieho tlaku na pevnosť brikety

Pre skúmanú koks-uhoľnú zmes sa ukázalo, že neexistuje priamuúmerná závislosť medzi pevnosťou brikety a veľkosťou lisovacieho tlaku. Experimenty naznačili, že optimálnu hodnotu lisovacieho tlaku je treba hľadať a upresniť v intervale od 90 do 110 MPa pre rôzne varianty vlhkosti vsádzky, zrnitosti a teploty matrice a koks-uhoľnej zmesi. Na ilustráciu tohto tvrdenia uvádzame výsledky experimentov v tabuľke 1.

Lisovací tlak P [MPa]	Sila pri porušení F [N]	Pevnosť brikety v prostom tlaku σ_{tt} [MPa]
90	10700	8,52
95	11250	8,96
100	11750	9,36
105	12100	9,63
110	13300	10,59
115	13400	10,67
120	13900	11,07
130	14197	11,30

Tab. 1: Vplyv lisovacieho tlaku na pevnosť brikety v prostom tlaku, vyrobenej z koksového prachu a hnedého uhlia Aleksandrija. Podmienky lisovania: hmotnosť vsádzky koksu a uhlia : 70 g; teplota lisovania (laboratórium) : 22 °C; zrnitosť uhlia : 0,0-2,8 mm; pomer hmotnosti koksu a uhlia : 1:1; vlhkosť uhlia : 17 %; vlhkosť koksu : 5 %.

Z teórie briketovania a aj z vykonaných experimentov (obr.2) vyplýva, že za tých istých podmienok lisovania sa dosahuje spravidla tým vyššia pevnosť brikety, čím jemnozrnejšia je vsádzka. Okrem toho sa s pribúdajúcou jemnosťou vsádzky posúvajú maximálna pevnosti brikiet do oblasti vyšších lisovacích tlakov. To znamená, že briketovanie jemnozrnných vsádzok si vyžaduje vyššie lisovacie tlaky pri nezmenených podmienkach ostatných parametrov.



Obr.2: Vplyv lisovacieho tlaku na pevnosť brikety vyrobenej iba z uhlia Aleksandrija rôznej zrnitosti. Krivka 1: $\Delta d = 0,0-0,5$ mm; krivka 2: $\Delta d = 0,0-1,5$ mm; krivka 3: $\Delta d = 0,0-6,3$ mm.

Vplyv zrnitosti uhlia

Zdrobňovanie a triedenie hnedého uhlia je prvou prípravnou operáciou pred briketovaním a vyžaduje si náležitú pozornosť, pretože ovplyvňuje kvalitu vyrobených brikiet.

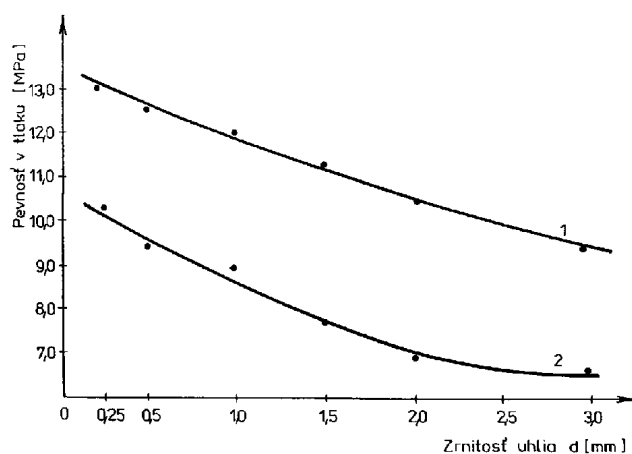
Keďže cieľom výskumu bolo vyrobiť palivo pre maloodberateľov, rozhodujúca bola nielen pevnosť brikiet, ale aj proces ich horenia. Proces a kvalita horenia

brikety závisí tiež od zhutnenia jej uhoľnej hmoty. Tu treba zdôrazniť, že najpriaznivejšia zrnitosť vsádzky je taká, keď sa v brikete nevyskytujú nezaplnené priestory a keď priestory medzi veľkými zrnami sú zaplnené menšími zrnami. Preto jednou z čiastkových úloh bolo sledovanie vplyvu zrnitosti uhlia pri konštantnej zrnitosti koksu na kvalitu brikety.

Pre túto sériu skúšok bolo použité hnedé uhlie rôznej zrnitosti (0-0,25 mm; 0-0,5 mm; 0-1,0 mm; 0-1,6 mm; 0-2,0 mm; 0-3,0 mm) a čiernouhoľný koksový prach zrnitosti od 0,0 do 2,5 mm. Hmotnostný pomer uhlia a koksu vo vsádzke bol 1:1. Výsledky dosiahnuté pri konštantnom lisovacom tlaku 95 MPa sú graficky znázornené na obr. 3.

Z priebehu kriviek na obr. 3 vyplýva, že pôsobením lisovacieho tlaku 95 MPa sa s klesajúcim priemerom zrn uhlia zvyšuje veľkosť povrchových síl, ktoré viažu ostatné zrná vsádzky. Čím jemnejšia je vsádzka, tým je vyššia pevnosť vyrobených brikiet, a tiež ich vodovzdornosť a súdržnosť v procese horenia brikety. Z tejto a ďalších analýz vykonaných experimentov vyplynulo, že pre pevnosť a kvalitu vyrobenej brikety je zrnitostná skladba vsádzky rovnako dôležitým parametrom ako jej vlhkosť.

Pre lisovanie zmesi hnedého uhlia (Březová a Aleksandrija) a čiernouhoľného koksového prachu sme zistili, že optimálna zrnitostná skladba vsádzky je taká, v ktorej sú zastúpené rovnomerne všetky zrnitosti. Tým sa vytvoria podmienky na to, aby boli zaplnené všetky medzizrnové priestory a aby nedochádzalo k zdrobňovaniu zrn koksu.



Obr.3. Závislosť pevnosti koks-uholnej brikety od zrnitosti uhlia vo vsádzke pri konštantnej zrnitosti koksu $d_k = 0,0 \square 2,5$ mm Krivka 1: koks VSŽ a hnedé uhlie Aleksandrija; krivka 2: koks VSŽ a hnedé uhlie Březová.

Vplyv optimálneho podielu koksu na kvalitu brikiet

Pri otázke optimálneho určenia pomeru koksu a uhlia vo vsádzke sme vychádzali zo skutočnosti, že sám koks je prakticky nelisovateľný, krehký a drobný, takže sa pre tieto vlastnosti musí limitovať

množstvo koksu vo vzťahu k hnedému uhlia vo vsádzke. Na ilustráciu uvádzame v tabuľke 2 zistené hodnoty pevnosti brikiet vyrobených zo zmesi koksu a uhlia Aleksandrija v závislosti od ich rôzneho hmotnostného pomeru v brikete.

Tab. 2: Vplyv percentuálneho pomeru koksového prachu a hnedého uhlia Aleksandrija na pevnosť brikety Podmienky lisovania: hnedé uhlie – zrnitosť 0,0-0,5 mm, vlhkosť 11,5 %; čiernouhoľný koksový prach – zrnitosť 0,0-1,6 mm, lisovací tlak 95 MPa konštantný pri výrobe všetkých brikiet.

Hmotnostný pomer koksu a uhlia [%]	Koeficient pomeru koks : uhlie	Sila pri porušení [N]	Pevnosť brikety [MPa]	Obsah vody v brikete [%]
60 : 40	1,50	12800	10,19	5,81
55 : 45	1,22	13400	10,67	6,10
50 : 50	1,00	14750	11,74	7,12
45 : 55	0,82	16500	13,14	7,53
40 : 60	0,67	16750	13,33	7,82
35 : 65	0,54	18300	14,57	8,40
30 : 70	0,43	19350	15,41	8,50

Vykonané série experimentálnych prác, zamerané na možnosť výroby brikiet zo skúmaného koksového prachu a jednotlivých druhov uhlia ukázali, že vhodná vsádzka, z aspektu pomeru jednotlivých zložiek, by mala obsahovať 40 % koksu a 60 % hnedého uhlia.

Záver

Výsledky laboratórneho výskumu, ktorý bol zameraný na overenie možnosti využitia čiernouhoľného koksového prachu z VSŽ pre výrobu hodnotného paliva briketovaním preukázali, že skúmaný prach je možné použiť ako jednu zo zložiek vsádzky pre výrobu kvalitných brikiet. Dosiahnuté výsledky umožňujú špecifikovať celkové zloženie vsádzky, pričom druhú zložku by malo tvoriť dobre briketovateľné hnedé uhlie. V prípadoch skúmania briketovateľnosti koksového prachu v zmesi s tvrdým hnedým uhlím (novácke uhlie) sa ukázalo, že pozitívny vplyv na kvalitu brikiet mala teplota vsádzky a matrice. Ohriatím zmesi na teplotu 40 °C a matrice až na 80 °C bolo možné vyrobiť brikety vyhovujúcich vlastností.

Literatúra

- Formánek, J.: Sušení a briketování uhlí. *SNTL Praha, 1961.*
 Kmeť, S., Lukáč, J., Ďurove, J.: Lisovanie koksového prachu, produktu DZ Koksovňa VSŽ. *Výskumná správa vypracovaná pre VSŽ Oceľ, spol. s r.o., Košice. Katedra úpravníctva a ochrany životného prostredia, F BERG TU v Košiciach, 1995.*
 Krug, H., Naundorf, W.: Braunkohlenbrikettierung. *Band 1 u.2, Leipzig 1984.*
 Schubert, H.: Aufbereitung fester mineralischen Rohstoffe. *Band III., Leipzig 1972.*
 Rozbory uhlia a brikiet podľa ČSN.