ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 245 Nr kol. 1479

Barbara TORA, Krzysztof KOGUT
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

METODA OZNACZANIA PODATNOŚCI PRZEMIAŁOWEJ WĘGLA KAMIENNEGO

Streszczenie. Przedstawiono nową metodę umożliwiającą ocenę podatności przemiałowej węgli kamiennych oraz ich mieszanek. Jako punkt wyjścia do jej opracowania przyjęto standardowy test Hardgrove'a. Istota metody polega na symulacji procesu mielenia w obiegu zamkniętym (młyn - odsiewacz) i oznaczeniu zużycia energii oraz ilości uzyskanego produktu w warunkach ustalonego przepływu węgla. Opisano skonstruowane urządzenie badawcze. Badania finansowane są ze środków KBN (projekt badawczy T12A 010 13).

THE METHOD OF EVALUATION OF HARD COAL GRINDABILITY

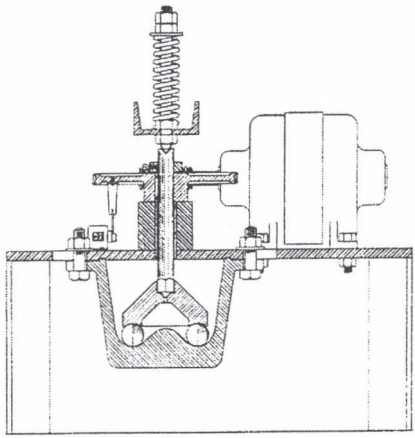
Summary. The new method of evaluation of grindability of hard coal and its blend is shown. Standard Hardgrove test is used as a base to work out this method. The essence of this method consist in simulation of milling process in close circuit (mill-classifier) and determination of energy consumption and quantity of product under the constant feed flow. The research equipment designed specially for this project is described.

W artykule przedstawiono wyniki badań nad podatnością na mielenie węgli kamiennych. Badania zostały przeprowadzone w młynku laboratoryjnym. W ramach projektu badawczego T12A 010 13 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych opracowano i skonstruowano prototyp nowego młynka kulowo–pierścieniowego, eliminującego niektóre wady młynka Hardgrove'a. Zwrócono przy tym szczególną uwagę na:

- możliwość zmiany obciążenia elementów mielących młynka;
- zwiększenie ilości oraz uziarnienia jednorazowo mielonej próbki węgla;
- możliwość wyznaczenia zużycia energii poprzez pomiar momentu obrotowego;
- zachowanie warunków podobieństwa prowadzenia procesu mielenia (zbliżony nacisk jednostkowy, możliwość symulacji procesu w obiegu zamkniętym) do warunków przemysłowych.

Młynek doświadczalny J-AGH jest kopią młynku Hardgrove'a, w którym dwukrotnie zwiększono wymiary układu mielącego. Również tutaj jako elementy mielące wykorzystane są kule. Zwiększone rozmiary misy mielniczej oraz kul pozwalają na jednorazowe mielenie próbki węgla o masie do 400 g i o maksymalnym uziarnieniu do 6 mm. Elementem napędzanym jest jednak misa mielnicza, podobnie jak w konstrukcjach przemysłowych, a nie górny pierścień dociskowy, jak jest to rozwiązane w „oryginalnym" młynku Hardgrove'a. Dodatkowo można prowadzić badania procesu mielenia zastępując kule rolkami zbliżonymi do stosowanych w młynach misowo–rolkowych, np. typu MPS firmy Babcock. Możliwe jest również zamocowanie elementów mielniczych identycznych geometrycznie z zastosowanymi w młynku Hardgrove'a. Pozwala to na oznaczenie indeksu podatności przemiałowej Hardgrove'a.

Na rysunku 1 przedstawiono ogólny widok doświadczalnego młynka J-AGH.



Rys. 1. Młyn laboratoryjny
Fig. 1. Laboratory scale mill

W trakcie prowadzenia pomiaru mierzone są równocześnie trzy wielkości charakterystyczne dla procesu mielenia - moment obrotowy, siła nacisku oraz czas mielenia.

Zbieranie sygnałów pomiarowych przebiega automatycznie za pomocą układu sterowanego komputerem, składającego się z:

- miernika siły nacisku oraz miernika momentu obrotowego firmy Hottinger Baldwin Messtechnik / Darmstatd,
- układu wzmacniającego oraz przetwornika analogowo-cyfrowego „Spider 8" firmy Hottingerr Baldwin Messtechnik / Darmstatd,

jednostki komputerowej PC 486.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki porównania metody oznaczania podatności przemiałowej węgli opracowywanej przez AGH z metodą przyjętą w naszym kraju za metodę odniesienia.

Badania porównawcze

Oznaczenie podatności przemiałowej metodą Hardgrove'a zostało przeprowadzone w laboratorium badawczym Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach. W celu porównania obu metod oznaczania podatności przemiałowej węgli badaniu poddano cztery węgle, które według wartości katalogowych reprezentowały cały zakres podatności przemiałowej Hardgrove'a dla węgli, które są wykorzystywane w krajowej energetyce. Badane węgle oraz katalogowe wartości podatności przemiałowej Hardgrove'a zostały zamieszczone w tabeli 1.

Tabela 1

Badane węgle i katalogowe wartości podatności przemiałowej [7]

Węgiel z kopalni	Podatność przemiałowa
	GrH
Jan Kanty	41
Staszic	48
Ziemowit	68
Gliwice	90

Oznaczenie podatności przemiałowej badanych węgli metodą Hardgrove'a przeprowadzono zgodnie z Polską Normą. Dla każdego badanego węgla przeprowadzono dwa oznaczenia.

W tabeli 2 przedstawiono wyniki przeprowadzanego oznaczenia.

Tabela 2

Wyniki badań podatności przemiałowej węgli metodą Hardgrove'a

Węgiel z kopalni	Pozostałość na sicie 0,075 mm	Podatność Przemiałowa	Wartość średnia	Wartość końcowa
		GrH	GrH	GrH
Jan Kanty	41,10	74,7	73,7	74
	41,38	72,7		
Staszic	44,38	51,9	51,7	52
	44,45	51,5		
Ziemowit	44,00	54,6	53,9	54
	44,20	53,2		
Gliwice	40,40	79,5	79,2	79
	40,50	78,8		

Wartość podatności przemiałowej obliczono na podstawie następującego wzoru [4]:

$$GrH = 13 + 6{,}93 * (50 - m) \tag{1}$$

gdzie: m – masa klasy ziarnowej powyżej 0,075 mm (odsiewu).

Wyniki zestawione w tabeli 2, dotyczące podatności przemiałowej badanych węgli, znacznie odbiegają od wartości katalogowych. Jedynie dla węgla z kopalni „Staszic" uzyskano wartość podatności przemiałowej zbliżoną do wartości katalogowej. Różnice te mogą być spowodowane faktem, że katalog [7], z którego zaczerpnięto wartości indeksu podatności przemiałowej, został sporządzony w roku 1995 i w tym czasie zmienił się skład eksploatowanego węgla. Pewien wpływ może mieć również przeróbka, jakiej jest poddawany węgiel zanim zostanie skierowany do sprzedaży. Natomiast do przeprowadzanych badań kopalnie dostarczyły, zgodnie z naszym życzeniem, węgiel surowy, który nie był jeszcze poddawany żadnym procesom przeróbczym.

Dla wyżej wymienionych węgli zostały przeprowadzone pomiary doświadczalne na młynku laboratoryjnym J-AGH.

Pomiary przeprowadzono przy następujących wartościach wielkości charakterystycznych dla młynka:

1. siła docisku górnego elementu mielącego – 2660 N,
2. prędkość obrotowa dolnego elementu mielącego – 5 $\frac{\text{obr}}{\text{min}}$,
3. ilość węgla poddawanego mieleniu – 200,00 g,
4. klasa ziarnowa węgla poddawanego mieleniu – 0 ÷ 2,8 mm,
5. czas mielenia – 60 s,
6. sito podziałowe – 90 μm.

Dla każdego węgla pomiar został wykonany dwukrotnie.

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono ilości uzyskanego produktu w trakcie poszczególnych pomiarów oraz jednostkowy nakład energii na rozdrobnienie odniesiony do jednostki uzyskanego produktu.

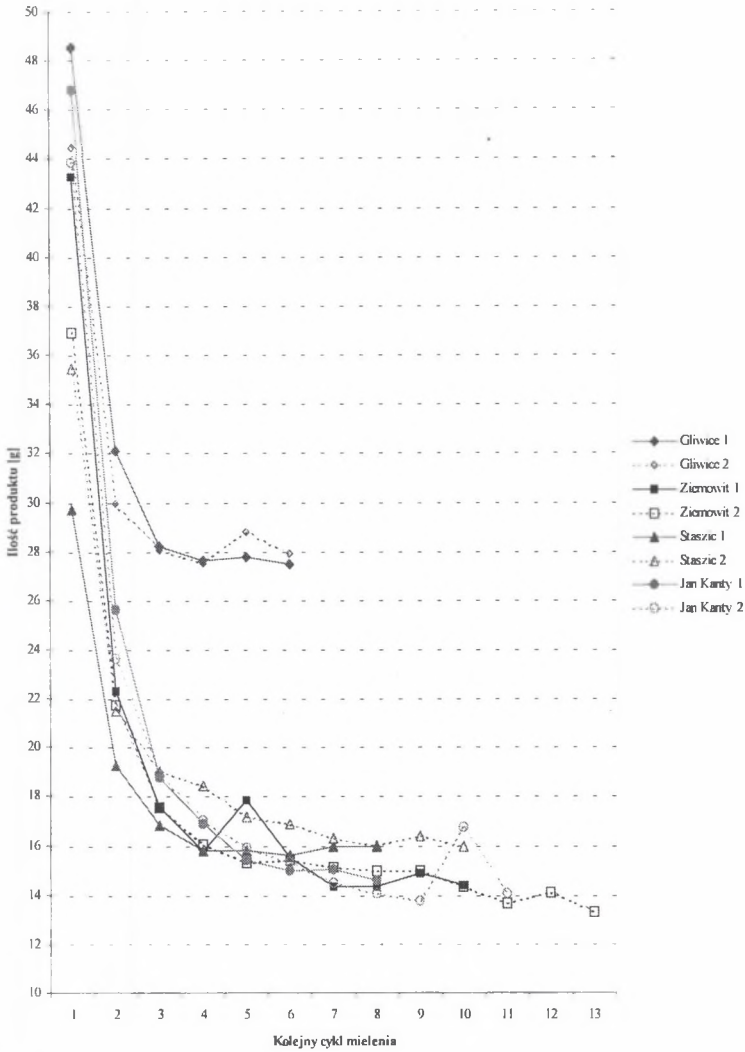
Na rysunku 2 można zauważyć, że ilości uzyskanych produktów dla węgli z kopalni: „Ziemowit", „Staszic" oraz „Jan Kanty" różnią się w niewielkim stopniu, natomiast obliczone i przedstawione na rysunku 3 wartości jednostkowego nakładu energii na rozdrobnienie różnią się w znacznie większym stopniu. Tylko w przypadku węgla z kopalni „Gliwice" widać wyraźną różnicę zarówno w dużo większej ilości uzyskanego produktu oraz znacznie niższym jednostkowym nakładzie energii na rozdrobnienie. Związane to może być ze znacznie wyższą niż dla pozostałych węgli wartością indeksu podatności przemiałowej Hardgrove'a.

Natomiast w tabeli 3 zestawiono wartości jakie zostały przyjęte za graniczne jednostkowe nakłady energii na rozdrobnienie badanego węgla. Wartości te zostały oszacowane na podstawie aproksymacji uzyskanych punktów odpowiednią krzywą. Była to albo krzywa logarytmiczna, albo krzywa wielomianu stopnia 3.

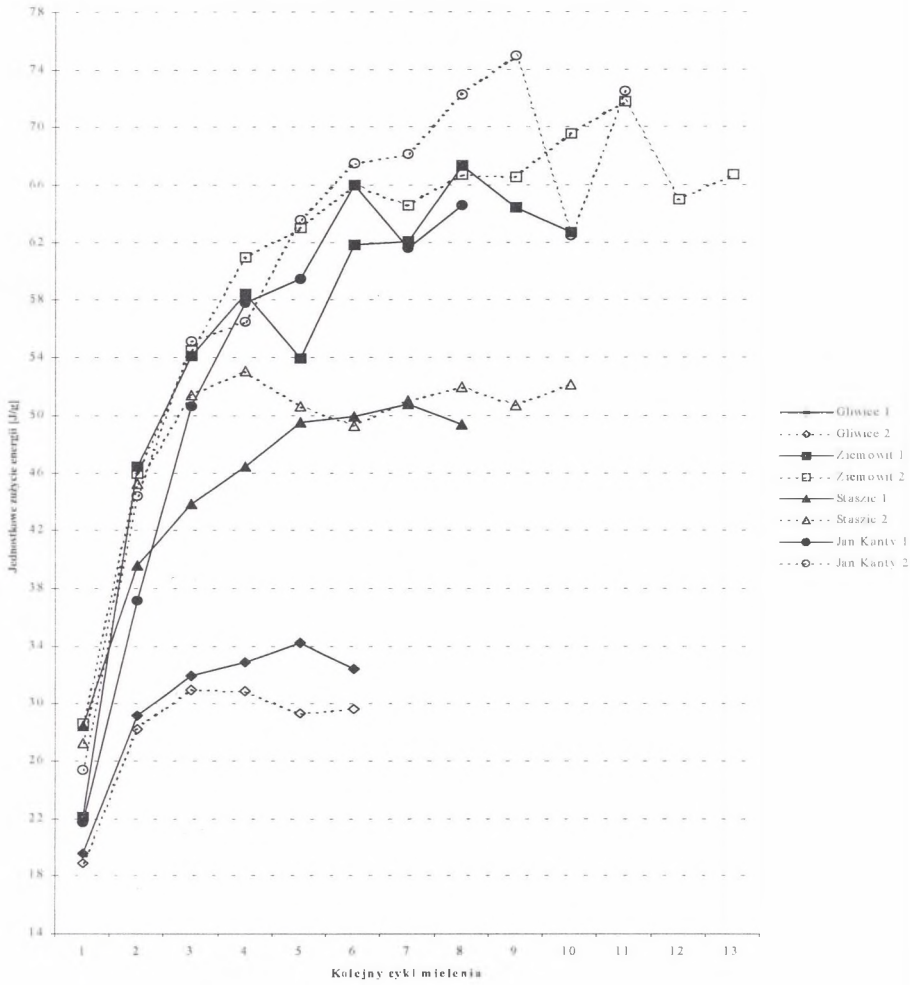
Na podstawie przeprowadzonych badań nie uzyskano zależności łączących indeks podatności przemiałowej z jednostkowym nakładem energii na rozdrobnienie. Dlatego też w tabelach 4 i 5 przedstawiono wartości odpowiednich wielkości, podatności przemiałowej i jednostkowego nakładu energii na rozdrobnienie dla badanych węgli z poszczególnych kopalni oraz przeliczenie tych wartości na wartości procentowe, gdzie przyjęto, że wartości największej odpowiada 100 %.

Można stwierdzić, że nie ma związku pomiędzy wartością indeksu podatności przemiałowej Hardgrove'a a jednostkowym nakładem energii na rozdrobnienie węgla.

Potwierdzony został jeden z wniosków Hardgrove'a, że wartość indeksu mielności równa GrH = 100 nie oznacza, że do zmielenia zużyto dwa razy więcej energii niż w przypadku węgla o indeksie mielności równym GrH = 50.



Rys. 2. Ilość produktu uzyskana w poszczególnych cyklach mielenia dla badanych węgli
Fig. 2. Amount of obtained product in each cycle



Rys. 3. Jednostkowy nakład energii na rozdrobnienie badanych węgli
Fig 3. Energy consumption for crushing of unit of examined coals

Tabela 3

Wartości jednostkowego nakładu energii na rozdrobnienie dla badanych węgli

Badany węgiel	Jednostkowy nakład energii $\left[\frac{J}{g}\right]$	
	Wartość	Wartość średnia
Jan Kanty	62,4	68,8
	75,3	
Staszic	54,8	54,9
	55,0	
Ziemowit	68,6	70,6
	72,7	
Gliwice	35,2	33,6
	32,0	

Tabela 4

Jednostkowy nakład energii na rozdrobnienie badanych węgli

Węgiel z kopalni	Jednostkowy nakład energii	
	Wartość	%
Jan Kanty	68,8	97,4
Staszic	54,9	77,7
Ziemowit	70,6	100,0
Gliwice	33,6	47,5

Tabela 5

Podatność przemiałowa badanych węgli

Węgiel z kopalni	Podatność przemiałowa	
	Wartość	%
Jan Kanty	74	93,7
Staszic	52	65,8
Ziemowit	54	68,4
Gliwice	79	100,0

Wnioski

Nowa metoda oznaczania podatności przemiałowej uzupełnia standardową metodę Hardgrove'a niwelując jej wady:

- odpowiednio duża próbka badanego węgla powinna reprezentować właściwości całej partii węgla, gdyż całkowita masa powinna przekraczć 2 kg oraz posiadać stosunkowo szerokie spektrum ziarnowe;
- symulacja procesu mielenia w obiegu zamkniętym powinna odzwierciedlać przebieg procesu mielenia w warunkach przemysłowych. Pozwoli to na lepsze poznanie zachowania się poszczególnych komponentów mieszanek węglowych w trakcie procesu;
- w celu lepszej charakteryzacji procesu mielenia uwzględniona jest zmiana całego spektrum ziarnowego badanej próbki w odniesieniu do zmierzonego wydatku energetycznego na mielenie.

Efektem prowadzonych dotychczas badań [6, 7] jest propozycja metody badawczej pozwalającej na prowadzenie pomiarów przemiałowości węgli z uwzględnieniem wielkości nakładów energetycznych w trakcie mielenia. Uzyskane tą drogą wyniki uzupełnią dotychczas stosowaną standardową metodę Hardgrove'a i pozwolą na lepsze scharakteryzowanie i rozróżnienie węgli energetycznych. W ramach realizowanego projektu badawczego prowadzone są również badania procesu mielenia w skali półtechnicznej. Mają one na celu weryfikację opracowywanej metody. Równolegle opracowywany jest model matematyczny procesu mielenia [8], który będzie służyć do prognozowania zachowań się rozdrabnianych węgli w warunkach przemysłowych na podstawie danych uzyskanych w laboratorium.

LITERATURA

1. Woyciechowski W.: Untersuchen zum Mahlverhalten von Kohlen und Kohlenmischungen, Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktor Ingenieurs, Verlag A & E, Kraków 1995.
2. PN – 80/G – 04502: Polska Norma, Węgiel kamienny i brunatny, Próbki produkcyjne, Pobieranie, przygotowanie i sprawdzanie dokładności.
3. PN – 56/G – 04505: Polska Norma, Węgiel kamienny, Pobieranie próbek do celów przeróbki mechanicznej.
4. PN – 78/G – 04530: Polska Norma, Węgiel kamienny, Oznaczanie podatności przemiałowej metodą Hardgrove'a.
5. PN – 88/M – 94000: Polska Norma, Sita i siatki, Sita tkane o oczkach kwadratowych ogólnego przeznaczenia.
6. PN – 86/M – 94001: Polska Norma, Sita tkane kontrolne o oczkach kwadratowych.
7. Katalog produkcji węgla kamiennego w 1996 roku. Państwowa Agencja Węgla Kamiennego S.A. w Katowicach, Katowice 1995.
8. Godziszewski J., Mania R., Pampuch R.: Zasady planowania doświadczeń i opracowywania wyników pomiarowych. Skrypty Uczelniane nr 1093, Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydawnictwo Akademii Górniczo-Hutniczej, Kraków 1987.
9. Żelkowski J., Woyciechowski W., Strugała A.: Oznaczanie podatności przemiałowej metodą Hardgrove'a - przegląd doświadczeń. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, ser. Górnictwo z. 231. Gliwice 1996.

10. Woyciechowski W.: Analiza procesu mielenia węgli kamiennych w młynie kulowo-pierścieniowym. Referat zgłoszony na III Konferencję Naukowo-Techniczną "Budowa i eksploatacja młynów do przemiału węgla i innych minerałów" Ustroń - Zawodzie, 10 - 11 grudnia 1998.
11. Woyciechowski W.: Ocena podatności przemiałowej węgli energetycznych, VIII Konferencja „Aktualne problemy budowy i eksploatacji kotłów", Szczyrk 24-26 listopada 1998.
12. Kogut K.: Praca magisterska. Wydział Paliw i Energii AGH, Kraków 1999.
13. Tora B.: Sprawozdanie końcowe z realizacji grantu KBN nr T12A 010 13, Kraków 2000.
14. Tora B., Kogut K.: The Method of Evaluation of Hard Coal Grindability, III Int. Conference *New Trends in Mineral Processing*, Czechy 1999.

Recenzent: Dr inż. Lucjusz Anders

Abstract

The new method of evaluation of grindability is complementary to the Hardgrove test,
- bigger sample should represents properties of the whole type of coal, as it consists of all types of grains,
- symulation of the milling proces in close circuit should better correspond to the industrial conditions,
- the changes of all grain composition are taken into the consideration.

The effect of our work [13] is a proposition of a new method used to measure grindability of coal. This method takes into the consideration energy consumption for milling. Obtained results are complementary to the Hardgrove test and allows better characterisation of energetic coals. The authors are also carring some examinations to verify the new method in industrial scale. Mathematical model of the milling process is being elaborated. It will be used to predict behaviour of coal in the industry conditions using data obtained in the laboratory.