

Stanisław CIERPISZ, Joachim PIELOT

Politechnika Śląska, Gliwice

ANALIZA ODPADÓW Z PROCESÓW PRZERÓBK MECHANICZNEJ WĘGLA Z ZASTOSOWANIEM SYMULACJI KOMPUTEROWEJ

Streszczenie. Analiza ilości i jakości sortymentów handlowych oraz odpadów bardziej skomplikowanych struktur technologiczno - maszynowych zakładów przeróbki mechanicznej węgla (ZPMW) jest trudna i pracochłonna. Wygodnym narzędziem do takiej analizy są komputerowe modele symulacyjne, pozwalające na szybką ocenę efektywności danej struktury przy stałych i zmiennych parametrach rozdziału podstawowych operacji przerobczych. Autorzy referatu wykorzystali komputerowy program symulacyjny procesów przeróbki mechanicznej węgla - SYPROM, zawierający symulację podstawowych operacji przerobczych: przesiewania, wzbogacania grawitacyjnego, mieszania i rozdzielania strumieni węgla, dzięki czemu możliwe jest utworzenie symulacyjnego schematu technologicznego ZPMW o dowolnej strukturze.

Przedstawiony został wpływ zmian parametrów rozdziału maszyn przerobczych przykładowej struktury technologicznej na wychód powstających w procesie wzbogacania odpadów powęglowych oraz wielkość strat węgla w odpadach. Podano podobne analizy po dokonaniu doboru optymalnych wartości parametrów rozdziału z uwagi na maksymalną produkcję o zadanej jakości.

APPLICATION OF COMPUTER SIMULATION TO THE ANALYSIS OF WASTES IN COAL PREPARATION PROCESSES

Summary. The analysis of complex technological schemes of coal preparation plants is difficult and time consuming especially when quantity and quality of streams of material is to be calculated. Computer simulation is a convenient tool for a such analysis as it enables fast evaluation of process effectiveness at variable parameters of machines. In this paper the SYPROM computer simulation model is presented which contains models of basic unit processes of coal washing, screening, blending and stream splitting. Due to this structure it is possible to analyse complex coal preparation schemes.

Application of computer simulation to the analysis of wastes in coal preparation processes has been presented in this paper. The influence of changes of machinery separation parameters on quantity and coal losses in wastes has been tested. This analysis has been done for the optimal choice of separation (partition) parameters for a given technological scheme. The effect of automatic control of a heavy media process on wastes parameters has been also demonstrated.

1. Wstęp

W rezultacie eksploatacji, a następnie przeróbki mechanicznej kopaliny użytecznej powstają najczęściej trzy rodzaje produktów wzbogacania: koncentrat, produkt pośredni i odpady. Powaznym problemem ekologicznym jest składowanie odpadów powęglowych będące obciążeniem środowiska naturalnego. Warunki ekonomiczne skłaniają do wydobywania węgla ze złóż charakteryzujących się coraz trudniejszymi warunkami górniczo - geologicznymi, co wiąże się z coraz większym zanieczyszczeniem węgla surowego, a jednocześnie zarysowuje się tendencja poprawy jakości węgla wzbogacanego. Wobec tego nasuwają się dwa przeciwstawne wnioski dotyczące ilości odpadów powęglowych:

- względna ilość odpadów wzrośnie wskutek poprawy jakości wzbogacanego węgla,
- względna ilość odpadów zmaleje wskutek rozwoju metod wzbogacania oraz zwiększenia zakresu odzysku węgla z odpadów [6], [14].

Wychód odpadów i ich parametry jakościowe zależą więc generalnie od dwóch czynników: warunków górniczo - geologicznych oraz głębokości wzbogacania węgla [1]. Niniejszy referat jest próbą przedstawienia możliwości prognoz symulacyjnych produkcji zakładu przeróbki mechanicznej węgla (ZPMW) z uwzględnieniem zmian głębokości wzbogacania węgla.

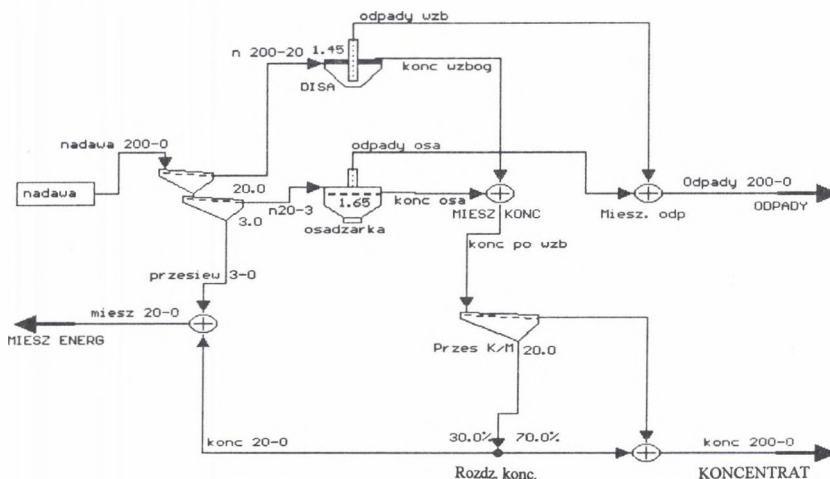
Analiza wychodów i parametrów jakościowych sortymentów handlowych oraz odpadów bardziej skomplikowanych struktur technologiczno - maszynowych zakładów przeróbki mechanicznej węgla (ZPMW) jest trudna i pracochłonna. Wygodnym narzędziem do takiej analizy są komputerowe modele symulacyjne, pozwalające na szybką ocenę efektywności danej struktury przy stałych i zmiennych parametrach rozdziału podstawowych operacji przerobczych. Autorzy referatu wykorzystali komputerowy program symulacyjny procesów przeróbki mechanicznej węgla - SYPROM, zawierający symulację podstawowych operacji przerobczych: przesiewania, wzbogacania grawitacyjnego, mieszania i rozdzielania strumieni węgla [2], [12], dzięki czemu możliwe jest utworzenie symulacyjnego schematu technologicznego ZPMW o dowolnej strukturze.

2. Schemat przykładowej struktury technologicznej ZPMW

Na rys.1 przedstawiony jest schemat przykładowej struktury technologicznej; zawiera on symbole: nadawy, trójproduktowego przesiewacza klasyfikacji wstępnej o wymiarach oczek sit

20 i 3 mm, wzbogacalnika zawiesinowego *DISA* i osadzarki o gęstościach rozdziału odpowiednio: 1,45 i 1,65 g/cm³, przesiewacza koncentratu o wymiarze oczka sita 20 mm, rozdzielacza koncentratu o współczynniku rozdziału 30 i 70%, mieszalników strumieni węgla i odpadów oraz symbole sortymentów handlowych i odpadów.

Nadawa doprowadzana jest do przesiewacza klasyfikacji wstępnej. Ziarna wymiarowo największe wzbogacane są we wzbogacalniku zawiesinowym, a ziarna pośrednie w osadzarce. Koncentraty obydwu maszyn wzbogacających są łączone i przesiewane w przesiewaczu *przes K/M*, którego odsiew i większa część przesiewu tworzy sortyment handlowy *koncentrat*, natomiast pozostała część przesiewu oraz najdrobniejsze niewzbogacane ziarna nadawy tworzą sortyment handlowy *miesz energ*. Odpady maszyn wzbogacających też są łączone ze sobą i tworzą strumień odpadów kamiennych (*odpady*). Obliczenia symulacyjne prognozujące wielkości wychodów i parametrów jakościowych wszystkich strumieni struktury technologicznej zostały przeprowadzone we wszystkich poniższych przykładach dla nadawy sklasyfikowanej w 8 klasach ziarnowych i 10 frakcjach gęstościowych; analiza sitowa i analiza densymetryczna przedstawione są w tablicach 1 i 2, natomiast rys. 2 przedstawia krzywe wzbogalności Henry'ego - Reinharda.



Rys. 1. Schemat przykładowej struktury technologicznej
Fig. 1. Example of the technological layout

Tablica 1

Analiza sitowa nadawy

Numer klasy ziarnowej	Wymiary klasy ziarnowej mm	Wychód klasy ziarnowej %
1	200 - 80	7,49
2	80 - 50	3,95
3	50 - 30	11,49
4	30 - 10	10,30
5	30 - 20	15,52
6	10 - 4	16,05
7	4 - 1	24,40
8	1 - 0	10,79

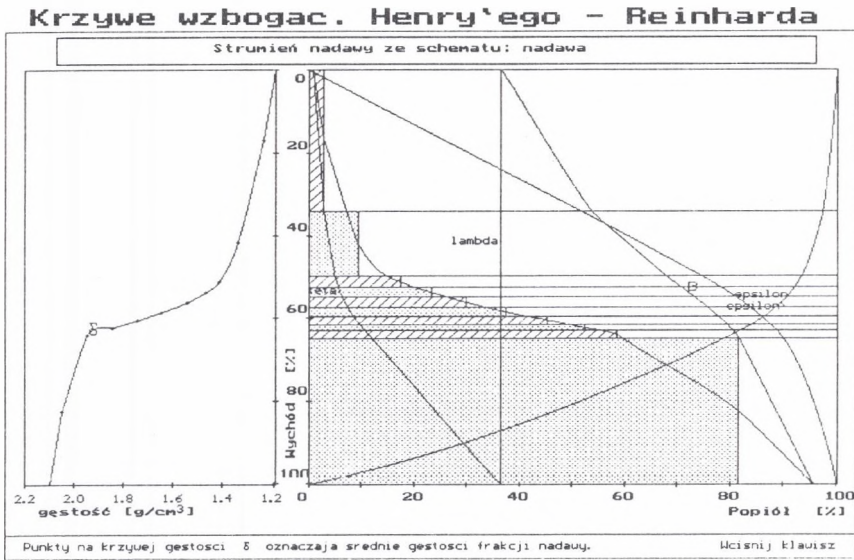
Tablica 2

Analiza densymetryczna nadawy

Numer frakcji gęstościowej	Gęstości frakcji g/cm ³	Wychód frakcji %	Zawartość popiołu %	Zawartość siarki całkowitej %	Wartość opałowa kJ/kg
1	1,20 - 1,30	33,72	2,87	0,69	31 774
2	1,30 - 1,40	16,04	9,22	1,17	29 077
3	1,40 - 1,45	2,87	17,50	1,37	25 841
4	1,45 - 1,50	2,11	23,13	1,54	23 935
5	1,50 - 1,60	2,64	29,69	1,66	21 514
6	1,60 - 1,70	2,08	37,31	1,65	16 682
7	1,70 - 1,80	1,96	45,27	1,70	15 723
8	1,80 - 1,90	1,57	52,16	1,57	13 183
9	1,90 - 2,00	1,76	58,39	1,52	10 868
10	2,00 - 2,10	35,25	81,43	1,57	2 383

3. Analiza struktury technologicznej ZPMW przy stałych parametrach rozdziału

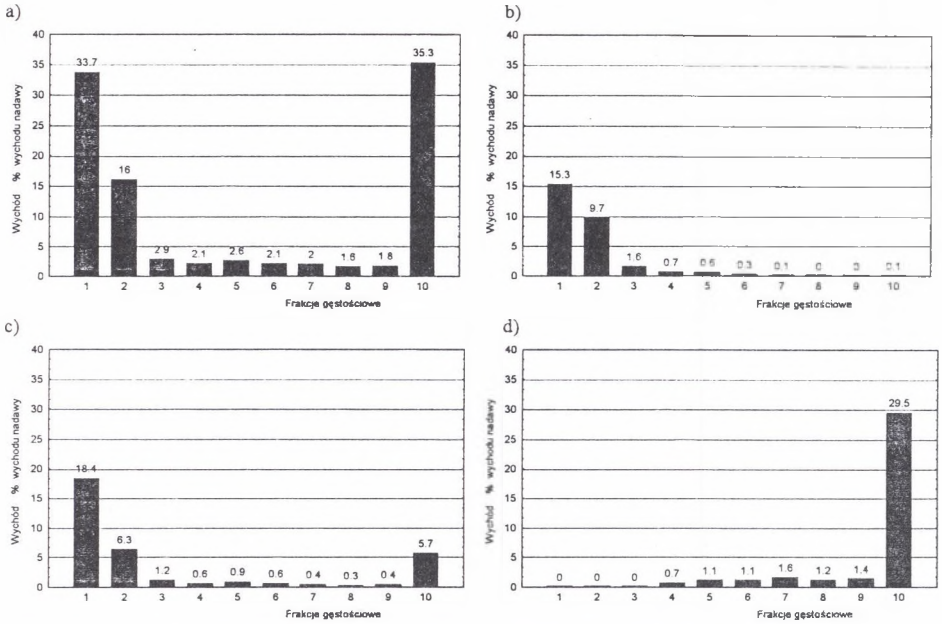
Wychody dyskretne poszczególnych frakcji gęstościowych nadawy pokazane są na rys. 3a. Na rys. 3b-d są natomiast zamieszczone prognozy wychodów dyskretnych dla strumieni sortymentów handlowych i odpadów. Całkowite wartości wychodów i parametrów jakościowych tych strumieni przedstawia rys. 4.



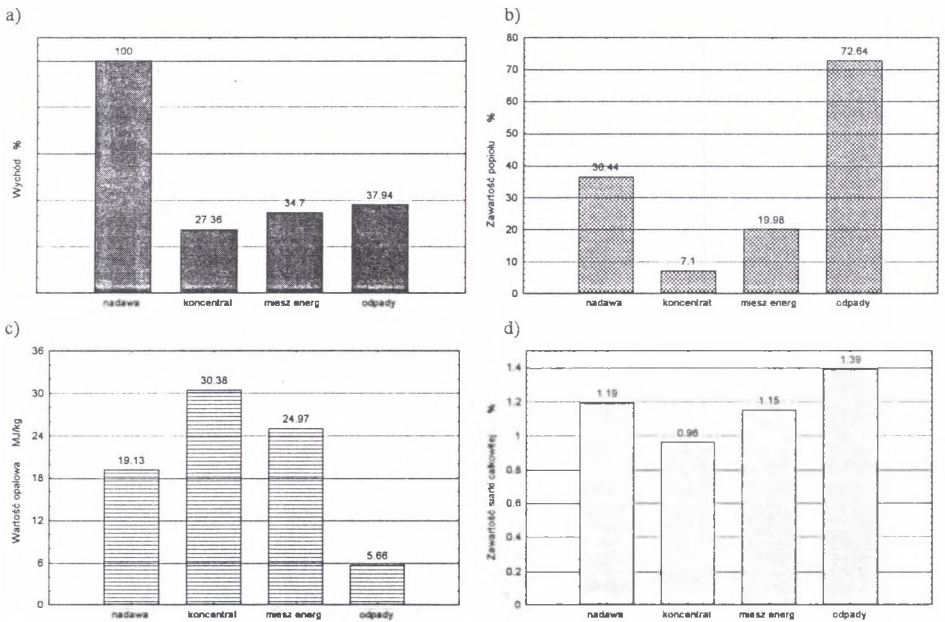
Rys 2. Krzywe wzbogalności Henry'ego - Reinharda strumienia węgla surowego - nadawy
 Fig.2. Henry's washability curves

4. Analiza struktury technologicznej ZPMW przy zmiennych parametrach rozdziału

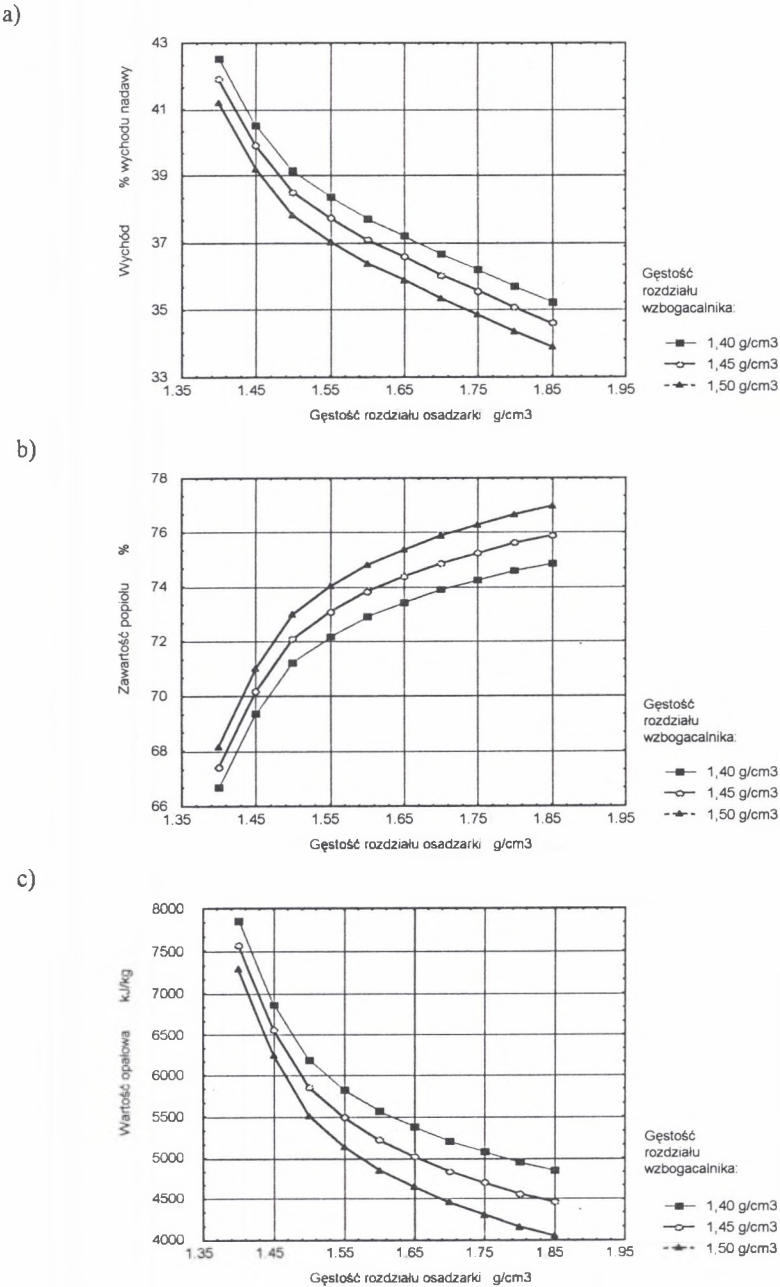
Wyniki obliczeń symulacyjnych przedstawione na rysunkach 3 i 4 dotyczą sytuacji, gdy wszystkie parametry rozdziału mają wartości stałe - takie jak na schemacie z rys.1. Zmiana wartości jakiegokolwiek parametru rozdziału prowadzi oczywiście do otrzymania innych wyników obliczeń. Program symulacyjny umożliwia badanie wpływu zmian wartości dowolnych parametrów rozdziału na wartości wychodów i parametrów jakościowych wszystkich strumieni badanej struktury technologicznej, co przedstawione zostało w [3], [5], [6], [8], [11], [13]. Przykładowo pokazano na rys.5 wpływ zmian wartości gęstości rozdziału osadzarki w zakresie 1.40 - 1.85 g/cm³ (przy trzech wartościach gęstości rozdziału wzbogacalnika zawieszinowego) na wielkość wychodu, zawartość popiołu i wartość opałową odpadów kamiennych. Na rysunku tym widoczny jest duży wpływ zmian gęstości rozdziału na wartości wychodu i parametrów jakościowych tego strumienia.



Rys. 3. Analiza densymetryczna strumieni: a) nadawy, b) sortymentu handlowego *koncentrat*, c) sortymentu handlowego *miesz energ*, d) odpadów kamiennych *odpady*
 Fig. 3. Densitometric analysis of streams: a) feed, b) concentrate, c) blend, d) wastes



Rys. 4. Wartości wychodów (a), zawartości popiołu (b), wartości opałowej (c) i zawartości siarki całkowitej nadawy, sortymentów handlowych i odpadów
 Fig. 4. Yields (a), ash contents (b), calorific values, and sulphur contents in the feed, saleable products and wastes



Rys. 5. Zmiany wychodu (a), zawartości popiołu (b) i wartości opalowej (c) strumienia *odpady* przy zmianach gęstości rozdzielacza maszyn wzbogacających
 Fig. 5. Changes of yields (a), ash contents (b) and calorific values (c) in wastes caused by changes of separation parameters of machines

4.1. Optymalny dobór parametrów rozdziału

Zagadnieniami stosunkowo nowymi w przypadku zastosowań praktycznych są zagadnienia optymalnego doboru parametrów rozdziału maszyn przeróbczych, nabierają one jednak coraz większego znaczenia dla optymalnego wykorzystania wzbogacanego węgla surowego. Omawiany model symulacyjny zawiera algorytmy optymalnego symulacyjnego doboru wartości parametrów rozdziału maszyn przeróbczych. Jako kryterium optymalizacji przyjęto tu uzyskanie maksymalnej produkcji o zadanej zawartości wybranego parametru jakościowego dowolnego strumienia schematu struktury technologicznej. Algorytm ten uwzględnia dobór od 1 do 8 parametrów rozdziału o wartościach zawierających się w żądanych dopuszczalnych przedziałach. Tak samo uwzględnia on określony przedział wartości zadanej zawartości wybranego parametru jakościowego. Wartość produkcji jest obliczana dla dowolnie wybranych strumieni sortymentów handlowych i odpadów [9], [11].

W celu ograniczenia strat części palnych węgla w odpadach przyjęto tu, że maksymalna wartość opałowa strumienia *odpady* nie powinna przekraczać wartości 5 000 kJ/kg, jak to ma miejsce w przypadku takich wartości parametrów rozdziału jak na rys. 1. W tabelicy 3 zamieszczone są wartości parametrów rozdziału z rys. 1 oraz wartości po obliczeniach optymalizacyjnych. Dla tak dobranych parametrów rozdziału wartość opałowa strumienia *odpady* ma wartość 3 419 kJ/kg, a względny przyrost wartości produkcji całego ZPMW (w stosunku do wartości produkcji przy parametrach rozdziału jak na rys. 1) wynosi 7.5%.

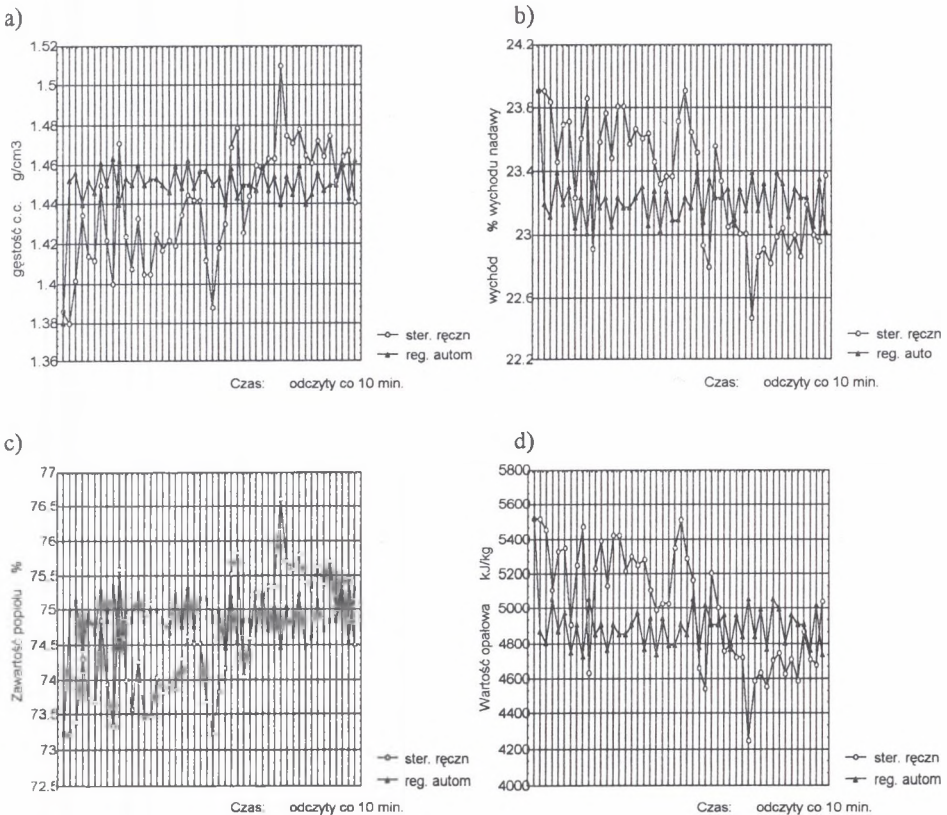
Tabela 3

Optymalne wartości parametrów rozdziału

Parametr rozdziału		Wartość z rys. 1	Wartość optymalna
Wymiar oczka pierwszego sita przesiewacza	mm	20,0	21,0
Wymiar oczka drugiego sita przesiewacza	mm	3,0	2,7
Gęstość rozdziału wzbogacalnika	g/cm ³	1,45	1,79
Gęstość rozdziału osadzarki	g/cm ³	1,65	1,84

4.2. Zmiany wartości gęstości cieczy ciężkiej [4], [7], [10]

W procesie grawitacyjnego wzbogacania węgla wartości gęstości cieczy ciężkiej (c.c.) ulegają niepożądanym zmianom. Rys.6a przedstawia przykładowe zmiany gęstości cieczy ciężkiej wzbogacalnika zawiesinowego przy sterowaniu ręcznym oraz automatycznej regulacji gęstości c.c., zarejestrowane podczas jednej zmiany roboczej. Rys. 6b-d obrazują zmiany wychodu, zawartości popiołu i wartości opalowej odpadów wzbogacalnika zawiesinowego, prognozowane na podstawie przeprowadzonych obliczeń symulacyjnych. W tabelicy 4 są przedstawione natomiast uśrednione (za okres całej zmiany roboczej) wartości wychodu i parametrów jakościowych odpadów wzbogacalnika *DISA*, przy obydwu rodzajach sterowania. Z obliczeń symulacyjnych wynika stosunkowo nieznaczne zmniejszenie wychodu odpadów, a tym samym zwiększenie wartości produkcji przy zastosowaniu regulacji automatycznej.



Rys.6. Zmiany gęstości cieczy ciężkiej (a) oraz prognozowane wartości wychodu (b), zawartości popiołu (c) i wartości opalowej (d) strumienia odpadów wzbogacalnika

Fig.6. Changes of the heavy media density (a) and expected yields (b), ash contents (c) and calorific values in wastes

W pracy [10] przedstawione są inne, bardziej spektakularne efekty ekonomiczne wprowadzenia regulacji automatycznej. Efekty te ściśle zależą od charakterystyki wzbogacalności nadawy - im jest ona trudniej wzbogacalna, tym efekty ekonomiczne są większe.

Stabilizacja gęstości c.c. (uzyskana poprzez zastosowanie układów automatycznej regulacji) wpływa na dokładniejszy przebieg procesu wzbogacania, a przez to możliwa jest produkcja koncentratów o wartościach parametrów jakościowych zbliżonych do wartości granicznych odpowiednich klas cennikowych węgla energetycznego lub koksującego, a tym samym uzyskuje się mniejszy wychód odpadów o mniejszych stratach części palnych węgla surowego.

Tablica 4

Średnie wartości wychodu parametrów jakościowych odpadów wzbogalnika

Rodzaj sterowania	Wychód odpadów <i>DISA</i> t/zmianę	Zawartość popiołu odpadów <i>DISA</i> %	Wartość opałowa odpadów <i>DISA</i> kJ/kg
Ręczne	1120,6	74,55	5022
Automatyczne	1114,5	74,87	4902

5. Podsumowanie

Zaprezentowano zastosowanie programu symulacyjnego procesów przerobczych do prognozowania wychodów i parametrów jakościowych odpadów ZPMW przy stałych i zmiennych wartościach parametrów rozdziału. Program pozwala na szybkie i dogodne przeprowadzenie takich analiz dla projektowanych i modernizowanych zakładów przerobczych w celu znalezienia odpowiedniej struktury zakładu. Dla zakładów będących w ruchu można natomiast wyznaczyć optymalne wartości parametrów rozdziału według kryterium maksymalnej produkcji o zadanej jakości, uwzględniające ilość odpadów powęglowych i koszty ich składowania, co jest istotne z punktu widzenia gospodarki odpadami.

LITERATURA

1. Blaschke W., Lorenz U., Grudziński Z.: Przeróbka mechaniczna węgla a ekologia. *Wiadomości Górnicze* 1995, nr 5, s.199-204.
2. Cierpisz S., Cieślak W., Pielot J.: Komputerowy model symulacyjny procesów przeróbki mechanicznej węgla. *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa* 1994, nr 12 (294), s.8-11.
3. Cierpisz S., Cieślak W., Pielot J.: Analiza układów technologicznych zakładów przeróbki węgla z zastosowaniem komputerowego modelu symulacyjnego. *Materiały I Międzynarodowej Konferencji Przeróbki Kopalni, Zakopane, 14-17 listopada 1995*, s.245-249.
4. Cierpisz S., Cieślak W., Pielot J.: Analiza symulacyjna efektów wzbogacania w układach stabilizacji gęstości cieczy ciężkiej. *Mechanizacja i Automatyizacja Górnictwa* 1996, nr 8 (313), s.16-21.
5. Cierpisz S., Pielot J.: Symulacyjne badania procesów wzbogacania węgla w warunkach zmienności parametrów nadawy. *Materiały XII Międzynarodowej Konferencji Automatyizacji Górnictwa (ICAMC), Gliwice, 13-15 września 1995*, s.285-290.
6. Cierpisz S., Pielot J.: Analiza odpadów w procesach przeróbki mechanicznej węgla z zastosowaniem symulacji komputerowej. *Materiały I Międzynarodowej Konferencji: „Przeróbka Kopalni i Gospodarka Odpadami w Aspekcie Ochrony Środowiska”, 23-25 października 1995*, ref. nr XX.
7. Cierpisz S., Pielot J.: Określenie efektów ekonomicznych układów sterowania w cieczach ciężkich. *Prace Katedry Elektryfikacji i Automatyizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej (BK - 253/RG1/95/I d, nie publikowana), Gliwice 1995*.
8. Cierpisz S., Pielot J.: Wpływ parametrów rozdziału na produkcję mieszanki węgla. *Materiały II Konferencji: „Automatyizacja Procesów Przeróbki Mechanicznej Węgla” (Min - TECH), Szczyrk, 26-28 czerwca 1996*, s.101-106.
9. Cierpisz S., Pielot J.: Optymalizacja procesów przeróbki węgla z zastosowaniem symulacji komputerowej. *Materiały II Międzynarodowej Konferencji Przeróbki Kopalni, Ustroń, 5-8 listopada 1996*, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Górnictwo*, z. 231, Gliwice 1996, s.47-58.
10. Cierpisz S., Pielot J.: Wpływ charakterystyk węgla surowego na efekty ekonomiczne układów sterowania w cieczach ciężkich. *Prace Katedry Elektryfikacji i Automatyizacji Górnictwa Politechniki Śląskiej (BK - 253/RG1/95/I d, w 1996 roku, nie publikowana), Gliwice 1996*.

11. Cierpisz S., Pielot J.: Analiza procesów przeróbki mechanicznej węgla z zastosowaniem symulacji komputerowej. *Mechanizacja i Automatykacja Górnictwa* 1996, nr 12 (317), s.24-32.
12. Goodman F., McCreery J.: *Coal Preparation Computer Model. Vol.I. U.S. Environmental Protection Agency, Washigton* 1980.
13. Pielot J.: Symulacja wpływu zmienności parametrów roboczych maszyn przerobczych na efekty wzbogacania. *Prace Katedry Elektryfikacji i Automatykacji Górnictwa Politechniki Śląskiej (BW - 450/RG - 1/95/6, nie publikowana), Gliwice* 1995.
14. Węglarczyk J., Szydłowska-Bojda G.: Stan zagospodarowania odpadów powęglowych w Polsce. *Przegląd Górniczy* 1994, nr 11, s.29-33.

Recenzent: Dr hab.inż. Andrzej Ślącza

Wpłynęło do Redakcji 5.06.1997 r.

Abstract

The analysis of complex technological schemes of coal preparation plants is difficult and time consuming especially when quantity and quality of streams of material is to be calculated. Computer simulation is a convenient tool for a such analysis as it enables fast evaluation of process effectiveness at variable parameters of machines. In this paper the SYPROM computer simulation model is presented which contains models of basic unit processes of coal washing, screening, blending and stream splitting. Due to this structure it is possible to analyse complex coal preparation schemes (Fig.1).

Application of computer simulation to the analysis of wastes in coal preparation processes has been presented in this paper. The influence of changes of machinery separation parameters on quantity and coal losses in wastes has been tested (Fig.5). This analysis has been done for the optimal choice of separation (partition) parameters for a given technological scheme (Tab.3). The effect of automatic control of a heavy media process on wastes parameters has been also demonstrated (Fig.6, Tab.4).