

LEOKADIA RÓG

Główny Instytut Górnictwa, Katowice

OCENA WPŁYWU ZMIENNOŚCI SKŁADU PETROGRAFICZNEGO NA WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNO-FIZYCZNE FRAKCJI O RÓŻNEJ GĘSTOŚCI WYDZIELONYCH Z WĘGLI TYPÓW: 31.1, 32.2, 33, 34.2, 35.1 i 36

Streszczenie. Badania petrograficzne dostarczają licznych danych dotyczących budowy i jej wpływu na właściwości węgla kamiennych. Węgiel jest substancją niejednorodną. Poznanie właściwości i struktury składników petrograficznych pozwala określić sposób zachowania się węgla w procesach przerobczych oraz wyznaczyć dla każdego z jego typów najodpowiedniejszy sposób wykorzystania. Istotnym kierunkiem badań zmian budowy i właściwości węgla w procesie uwęglenia jest badanie frakcji gęstościowych. Podstawą tej metody jest zróżnicowanie gęstości składników petrograficznych węgla. Celem podjętych badań było poznanie właściwości fizykochemicznych i technologicznych frakcji gęstościowych wydzielonych z węgla kamiennych ze szczególnym uwzględnieniem zmian składu i właściwości składników w miarę wzrostu gęstości frakcji oraz sposobu występowania substancji mineralnej. Badania objęły sześć typów węgla, od płomiennoego typu 31.1 do metakoksowego typu 36 z Górnosląskiego Zagłębia Węglowego. Zastosowano następujące metody badawcze: oznaczanie zawartości macerałów i substancji mineralnej, mikrolitotypów, karbominerytu i skały plonnej oraz określanie parametrów analizy chemiczno-fizycznej.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CHANGEABILITY PETROGRAPHIC CONSTITUTION ON PHYSIKO-CHEMICAL PROPERTIES OF THE DIFFERENT DENSITY FRACTIONS FROM COALS TYPE: 31.1, 32.2, 33, 34.2, 35.1 AND 36

Summary. Petrographic tests supply numerous details concerning the structure of hard coals. Coal is a heterogenous substance. The basic components of its structure are macerals. The differences between macerals result from the diversity of the vegetal material, from which it originated as well as from the diversity of conditions, time and temperature, to which this material was exposed, both in the biochemical and geochemical phase. The cognition of properties and structure of petrographic components allow to determine the manner of coal's behaviour in preparation processes and to determine for each of its types the most suitable manner of utilization. An essential direction of testing of changes of the structure and properties of coals in the carbonification process is testing of density fractions. The aim of undertaken investigation was the cognizance of physicochemical and technological density fractions separated from hard coals, the analysis of changes of structure and properties of components according to the increase of the density of fraction as well as determination of possibilities of utilization of obtained results in mechanical preparation and chemical processes of coal processing. Investigation comprised 6 types of coals, from the flame coal, type 31.1 to the metha-coking coal, type 36 from the Upper Silesian Coal Basin. The following testing methods have been used: determination of macerals content and mineral substance, microlitotypes, carbominerite and waste rock, determination of parameters of technical and elementary analysis as well as coking properties.

1. Wprowadzenie

Postęp naukowy i techniczny w procesach urabiania, przetwórstwa i utylizacji węgla stawia coraz większe wymagania dotyczące rozpoznania zależności między strukturą i właściwościami węgla. Ciągłe zapotrzebowanie na węgle o wysokiej jakości i czystości, przy równoczesnej eksploatacji węgla o parametrach często odbiegających od wymaganych, stwarza konieczność opracowania nowych technologii ich wzbogacania. Podstawą doboru metod przetwórstwa węgla powinna być wnikliwa analiza jego budowy petrograficznej i właściwości fizykochemicznych. Poznanie właściwości i struktury podstawowych składników mikroskopowych pozwala na określenie sposobu zachowania się węgla w procesach przeróbczych oraz wyznaczenie dla każdego z jego typów najodpowiedniejszego sposobu wykorzystania; pozwala również na określenie, jakim procesem przeróbczym należy węgiel poddać, aby otrzymać produkt odpowiedni do racjonalnego wykorzystania w określonych procesach technologicznych.

W literaturze wiele uwagi poświęcono badaniom wpływu składu petrograficznego węgla na ich wzbogacalność w cieczach ciężkich [3, 6, 9, 13, 15, 16, 17, 19]. Wydzielanie frakcji w cieczach ciężkich oraz badanie ich właściwości pozwala na określenie sposobu zachowania się składników petrograficznych w procesie wzbogacania. Metoda ta wykorzystywana jest zarówno w celach poznawczych, jak i technologicznych do usuwania z węgla zanieczyszczeń mineralnych oraz do otrzymywania węgla o ściśle określonych właściwościach. Podstawą tej metody jest dokładna znajomość właściwości składników petrograficznych oraz zależności składu petrograficznego węgla od jego gęstości.

Wymagania stawiane przez ochronę środowiska i przemysł zmuszają do wzbogacania węgla silnie rozdrobnionych, gdyż tylko wtedy macerały są uwolnione i oddzielona jest od nich znaczna część substancji mineralnej, co umożliwia wydzielanie frakcji o ściśle określonym składzie petrograficznym i właściwościach. Zagadnieniem tym zajmowali się między innymi: *A.I. Kamnieva* [14], *G.P. Alaiev* [1], *G.R. Dyrkacz* [10, 11, 12], *J.C. Crelling* [7, 8], *B. Hanak* [13], *I.I. Ammosov* [2, 3, 4, 5], *O. Simmersbach* [18].

2. Przedmiot, zakres i metody badań

Przedmiotem badań były próbki pokładowe (bruzdowe) węgla kamiennych z kopalń Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (tab. 1). Z każdej próbki bruzdowej, po zmieleniu do ziarn poniżej 0,2 mm, wydzielono metodą rozdzielania w cieczach ciężkich (mieszanie ksyłenu - 0,879 g/cm³ i czterochlorku węgla - 1,574 g/cm³) dwanaście frakcji o gęstości od poniżej 1,26 g/cm³ do powyżej 1,46 g/cm³, w przedziałach co 0,02 g/cm³. Schemat przeprowadzonych badań przedstawia rysunek 1. Badania petrograficzne obejmowały analizę zawartości macerałów i substancji mineralnej oraz mikrolitotypów, karbominerytów i skały płonnej. Analizy wykonano w świetle odbitym, niespolaryzowanym w imersji olejowej. Podczas analizy zawartości mikrolitotypów, karbominerytów i skały płonnej dokonano oceny sposobu występowania substancji mineralnej. Badania z zakresu analizy technicznej wykonano zgodnie z obowiązującymi polskimi normami. Oznaczono: zawartość wilgoci W^a , popiołu A^a , siarki całkowitej S_r^a oraz ciepło spalania Q_s^a . Na podstawie wyników analizy petrograficznej pogrupowano frakcje o zbliżonej budowie petrograficznej i dla nich przeprowadzono ocenę uzyskanych wyników.

Tabela 1

Pochodzenie próbek pokładowych badanych węgla

Kopalnia	Pokład	Typ wg PN-82/G-97002
Porąbka-Klimontów	510	węgiel płomienny typ 31.1
Wujek	501	węgiel gazowo-płomienny typ 32.2
Makoszowy	510	węgiel gazowy typ 33
Pokój	510	węgiel gazowo-koksowy typ 34.2
1 Maja	614	węgiel ortokoksowy typ 35.1
Gliwice	845	węgiel metakoksowy typ 36

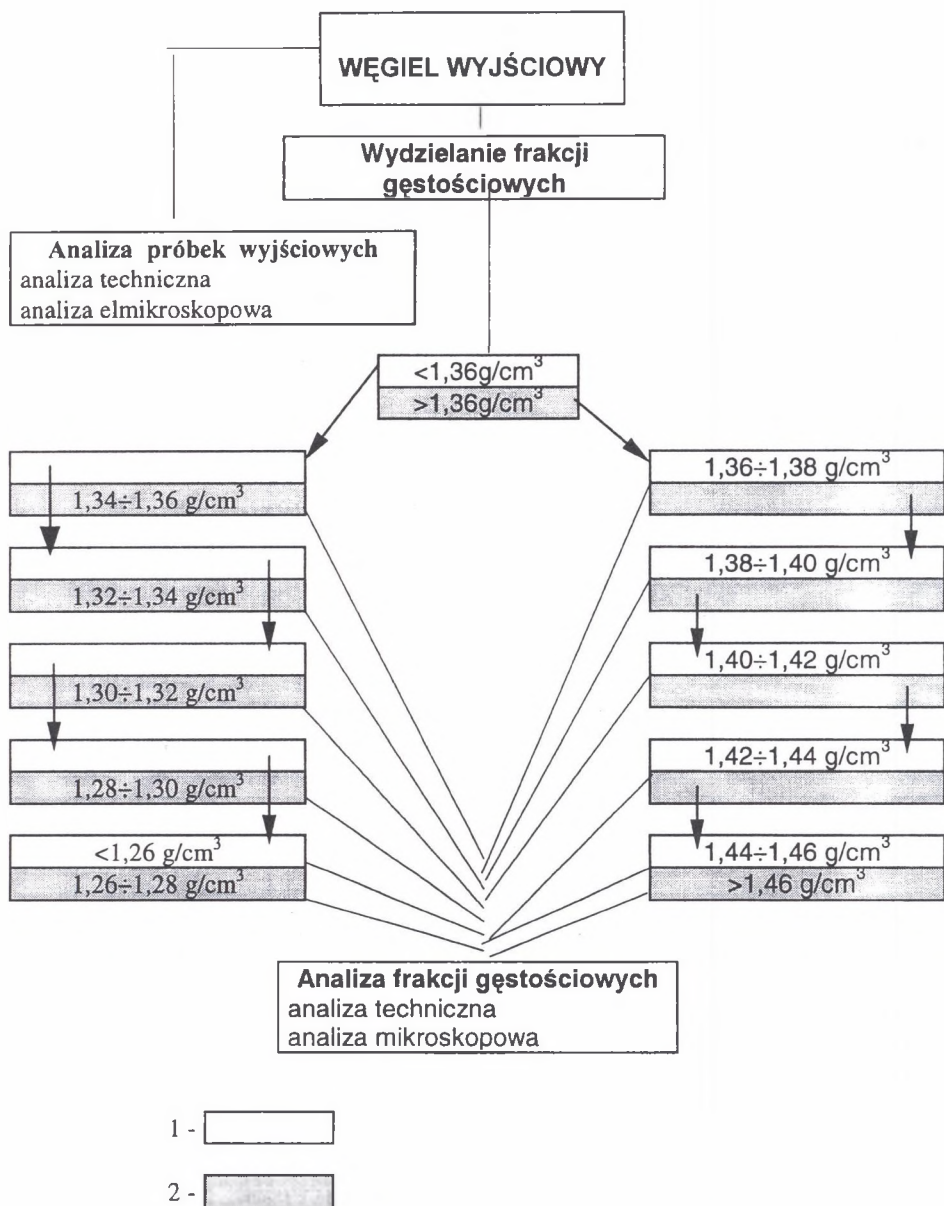
3. Wyniki badań

3.1. Charakterystyka badanych węgla

Podstawowym składnikiem badanych węgla jest wityrynit. Wityrynit najczęściej występuje w postaci kolinitu (według nomenklatury z 1996 roku kolinitowi odpowiadają dwa macerały: kolotelinit i kolodetrynit). Jego zawartość waha się od 48% obj. w węglu płomiennym typ 31.1 do 82% obj. w węglu metakoksowym. Domieszki mineralne stanowią w badanych węglach 1÷9% obj. Najczęściej są to minerały ilaste występujące w postaci oddzielnych ziarn, wypełnień jamek komórkowych telinitu, semifuzynitu i fuzynitu lub w postaci wtrąceń w kolinicie. Siarczki spotykane są maksymalnie w ilości do 2% obj. Występują najczęściej w postaci wypełnień przestrzeni komórkowych lub inkrustacji ścianek w semifuzynicie i fuzynicie oraz w formie wtrąceń w kolinicie. Węglany oraz minerały kwarcu występują w niewielkich ilościach. Są to najczęściej oddzielne ziarna lub wypełnienia komórek semifuzynitu i fuzynitu. Większość badanych węgla charakteryzuje się wysoką zawartością mikrolitotypów, w budowie których przeważają macerały grupy wityrynit i liptynit. Węgle płomienny typu 31.1 oraz gazowy typ 33 wykazują, w porównaniu do pozostałych, najwyższą zawartość mikrolitotypów z przewagą macerałów grupy inertynitu. Największą zawartość popiołu, powyżej 10%, wykazuje węgiel typu 36 z KWK Gliwice. W pozostałych próbkach zawartość popiołu jest niska i mieści się w przedziale od 3,09 % do 5,77%. Ciepło spalania, najniższe dla węgla płomiennego $Q_s^{daf} = 30,5$ MJ/kg, zwiększa się w kierunku węgla wyżej uwęglonych, osiągając maksimum $Q_s^{daf} = 35,9$ MJ/kg dla węgla ortokoksowego (tab. 2-7).

3.2. Wpływ budowy petrograficznej na wzbogacalność badanych węgla

Opierając się na wynikach badań I.I. Ammosova [2,3,4,5], z punktu widzenia wzbogacalności węgla, można wyróżnić trzy grupy składników petrograficznych: czyste ziarna węglowe (mikrolitotypy), ziarna zrostów organicznej substancji węglowej z mineralną (karbomineryt), ziarna substancji mineralnej (skała płonna).



Rys. 1. Schemat przeprowadzonych badań: 1 - frakcja pływająca, 2 - frakcja opadająca w mieszaninie cieczy ciężkich

Fig. 1. Scheme of the test conducted: 1 - floating fraction, 2 - settling fraction in the mixture of heavy liquids

Tabela 2

Stopień wzbogacenia frakcji gęstościowych wydzielonych z węgla płomiennego typ 31.1

Frakcja g/cm ³	Wyda- ność %	Czyste ziarna węglowe, % obj.				Zrosty substancji mineralnej , % obj.				Skala płonna % obj.	Parametry fizykochemiczne		
		Grupa I Przewaga L	Grupa II Przewaga Vt	Grupa III Przewaga I	Suma	z liptyni- tem	z witryni- tem	z inertyni- tem	Suma		A ^d %	Q _s ^{daf} MJ/kg	S _t ^d %
poniżej 1,28	2	71 (58)	27 (12)	0 (0)	98	1	1	0	2	0	1,62	35,55	0,24
1,28÷1,42	75	8 (śl)	84 (61)	4 (0,5)	96	1	3	0	4	śl	1,43	30,97	0,34
1,42÷1,46	6	1 (0)	32 (13)	63 (53)	96	śl	3	1	4	0	2,40	30,90	0,45
powyżej 1,46	17	0 (0)	21 (6)	50 (45)	71	0	10	12	22	7	10,80	27,74	1,55
Węgiel wyjściowy		18 (3)	47 (21)	27 (6)	92	1	3	2	6	2	3,08	30,51	0,55

Objaśnienia: Grupa I - liptyt, duryt liptynitowy, 1/2 klarytu, witrynertoliptyt.

Grupa II - witryt, 1/2 klarytu, witrynertyt witrynitowy, duroklaryt.

Grupa III - inertyt, duryt inertynitowy, witrynertyt inertynitowy, klaroduryt.

() - zawartość liptytu, witrytu i inertytu.

Biorąc pod uwagę wpływ zawartości macerałów na właściwości węgla (frakcji), mikrolitotypy podzielono na trzy grupy różniące się wyraźnie budową wewnętrzną:

- mikrolitotypy zbudowane w przeważającej części z liptynitów, do których zaliczono liptyt, duryt liptynitowy, 1/2 klarytu i witynertolityt (I grupa),
- mikrolitotypy, w budowie których przeważają macerały grupy witynitów: wityt, 1/2 klarytu, witynertyt witynitowy oraz duroklaryt (II grupa),
- mikrolitotypy, w których przeważają macerały grupy inertynitów: inertyt, duryt inertynitowy, witynertyt inertynitowy oraz klaroduryt (III grupa).

Drugim rodzajem składników petrograficznych są zrosty organicznej substancji węglowej z mineralną. Ich gęstość zależy od procentowej zawartości domieszek mineralnych. Wyróżnia się tu: karbopiryty (5+20 % obj. siarczków), karbargilit (20+60 % obj. minerałów ilastych), karbankeryt (20+60 % obj. węglanów), karbosilicyt (20+60 % obj. minerałów kwarcu) oraz karbopolimineryt (20+60 % obj. różnych minerałów). Przy ocenie stopnia wzbogacalności istotny jest również rodzaj substancji organicznej związanej w karbominerycie. Z tego powodu wyróżniono trzy rodzaje zrostów, w których substancję organiczną stanowią macerały grupy liptynitów, witynitów lub inertynitów. Ziarna zawierające więcej substancji mineralnej niż wyżej zdefiniowane karbomineryty uważa się za ziarna skały płonnej (według PN-93/G-04564). Na podstawie składu mikrolitotypów wytypowano frakcje o zbliżonej budowie petrograficznej. Oceniono stopień usunięcia z nich substancji mineralnej, sposób występowania siarki (głównie siarczków obserwowanych w badaniach mikroskopowych), stopień wzbogacenia w poszczególne składniki petrograficzne oraz wpływ tych czynników na niektóre parametry. Przy obliczaniu średnich wartości poszczególnych parametrów uwzględniono procentowy udział frakcji w budowie węgla (średnie ważone).

Węgiel płomienny typ 31.1

W budowie frakcji o gęstości poniżej $1,28 \text{ g/cm}^3$ przeważają mikrolitotypy grupy I (tab. 2), natomiast we frakcji o gęstości $1,28+1,42 \text{ g/cm}^3$ przeważają mikrolitotypy grupy II. W obu przypadkach zawartość popiołu jest niższa w porównaniu do węgla wyjściowego (1,62 % we frakcjach o gęstości poniżej $1,28 \text{ g/cm}^3$ oraz 1,43 % we frakcjach o gęstości $1,28+1,42 \text{ g/cm}^3$). Analiza mikroskopowa wykazała w nich obecność trudnych do usunięcia zrostów substancji mineralnej z witynitem i liptynitem, w których siarka i substancja ilasta występują głównie w postaci wtrąceń, najczęściej drobnodispersyjnych. Korzystny skład petrograficzny i niska zawartość popiołu we frakcjach o gęstości poniżej $1,42 \text{ g/cm}^3$ wpływają na wzrost ciepła spalania. Frakcje o gęstości $1,42+1,46 \text{ g/cm}^3$ wykazują 63 % obj. mikrolitotypów grupy III. Wyższa zawartość popiołu ($A^d = 2,40 \%$) spowodowana jest występowaniem zrostów substancji mineralnej z macerałami grupy inertynitów. Wpływa to również na podwyższenie zawartości siarki do 0,45 %. Wychód najcięższej frakcji jest znaczny, co spowodowane jest znacznym udziałem w jej budowie zmineralizowanych mikrolitotypów, a zwłaszcza impregnowanego substancją ilastą i siarczkami inertynitów. Wraz ze zmineralizowanym witynitem oraz skałą płonną mikrolitotypy te wpływają na znaczne podwyższenie zawartości popiołu ($A^d = 10,80 \%$) oraz siarki ($S_r^d = 1,55 \%$), a co za tym idzie - na znaczne obniżenie wartości ciepła spalania.

Tabela 3

Stopień wzbogacenia frakcji gęstościowych wydzielonych z węgla gazowo-płomiennego typ 32.2

Frakcja g/cm ³	Wydaj- ność %	Czyste ziarna węglowe, % obj.				Zrosty substancji mineralnej, % obj.				Skala płonna % obj.	Parametry fizykochemiczne		
		Grupa I Przewaga L	Grupa II Przewaga Vt	Grupa III Przewaga I	Suma	z liptyni- tem	z witryni- tem	z inertyni- tem	Suma		A ^d %	Q _s ^{daf} MJ/kg	S _i ^d %
poniżej 1,26	2	70 (46)	25 (2)	0 (0)	95	4	1	0	5	0	0,31	34,07	0,34
1,26÷1,34	69	10 (3)	82 (68)	5 (2)	97	1	2	śl	3	0	0,42	34,19	0,23
1,34÷1,44	13	1 (0)	35 (20)	59 (56)	95	0	3	2	5	0	2,08	34,17	0,20
powyżej 1,44	16	0 (0)	12 (5)	58 (47)	70	0	12	14	26	4	31,86	(29,92) ₁ *	0,36
Węgiel wyjściowy		12 (2)	58 (37)	13 (5)	83	2	6	1	9	8	5,67	33,49	0,25

Objaśnienia: ()^{*} - wynik obarczony błędem wynikającym z przeliczenia na stan suchy bezpopiołowy
Pozostałe objaśnienia jak w tabeli 2

Węgiel gazowo-plotnienny typ 32.2

Fracja o gęstości poniżej $1,26 \text{ g/cm}^3$ wykazuje 70 % obj. mikrolitotypów grupy I (tab. 3). Mała zawartość popiołu ($A^d = 0,31 \%$) jest wynikiem występowania drobnodispersyjnej substancji ilastej tworzącej wtrącenia w witrynie, a zawartość siarki, wyższa niż w węglu wyjściowym, jest spowodowana występowaniem zmineralizowanego, trudnego do usunięcia sporynitu, którego zawartość w węglu wyjściowym wynosi 2 % obj., a we frakcji o gęstości poniżej $1,26 \text{ g/cm}^3$ wzrasta do 4% obj. We frakcjach o gęstości $1,26+1,34 \text{ g/cm}^3$ zawartość mikrolitotypów grupy II dochodzi do 82 % obj. Wśród mikrolitotypów zmineralizowanych stwierdzono niewielkie ilości wtrzytu z rozproszoną substancją ilastą. Zawartość popiołu wynosi 0,42%, a siarki obniża się do 0,23%, co wynika z obniżenia zawartości zmineralizowanego liptynitu. Frakcje o gęstości $1,34+1,44 \text{ g/cm}^3$ zbudowane są w 59 % obj. z mikrolitotypów III grupy. Wzrasta w nich zawartość popiołu ($A^d = 2,08\%$), co wynika ze wzrostu zawartości zmineralizowanego głównie węglanami inertynitu. Obniża się zawartość siarki do 0,20 %. Wydajność frakcji o gęstości powyżej $1,44 \text{ g/cm}^3$ dochodzi do 16 %. W ich budowie przeważają mikrolitotypy grupy III. Wzrasta zawartość zmineralizowanego witrynu do 12% obj. oraz inertynitu do 14 % obj. Powoduje to znaczny wzrost zawartości popiołu oraz obniżenie ciepła spalania.

Węgiel gazowy typ 33

We frakcji gęstościowej poniżej $1,26 \text{ g/cm}^3$, której znaczenie technologiczne, ze względu na niską wydajność (1% obj.), jest znikome, nastąpiło skupienie prawie całości mikrolitotypów grupy I (tab. 4). Zawartość ich wynosi 76 % obj., z czego 65 % obj. to czyste ziarna liptytu. Niska zawartość popiołu, wynosząca 0,58 % oraz niska zawartość siarki 0,32 % wynikają z obecności jedynie zrostów drobnodispersyjnej substancji ilastej i pirytu z macerałami grupy liptynitu i witrynu. Udział frakcji o gęstości $1,26+1,32 \text{ g/cm}^3$ wynosi 66 % obj. Przeważają w niej mikrolitotypy grupy II. Zawartość popiołu i siarki niższa niż w węglu wyjściowym jest wynikiem obecności jedynie drobnych wtrąceń substancji ilastej i siarczków, głównie w witrynie i liptynicie. Gorsze właściwości wykazują frakcje o gęstości $1,32+1,44 \text{ g/cm}^3$. Wzrasta w nich udział mikrolitotypów grupy III, który wynosi 58 % obj. Wśród zrostów organicznej substancji węglowej z substancją mineralną oprócz wtrąceń mineralnych w witrynie, obserwuje się siarczki i substancję ilastą wypełniającą komórki macerałów grupy inertynitu. Powoduje to wzrost zawartości popiołu do 2,30 % oraz zawartości siarki do 0,49% oraz pociąga za sobą obniżenie ciepła spalania. We frakcjach o gęstości powyżej $1,44 \text{ g/cm}^3$ wzrasta zawartość zmineralizowanych mikrolitotypów i skały płonnej. W sumie stanowią one 45 % obj. Powoduje to wzrost zawartości popiołu do 34,17 % i siarki do 0,73 %.

Węgiel gazowo-koksowy typ 34.2

Wydajność frakcji o gęstości poniżej $1,26 \text{ g/cm}^3$ wynosi 8 %. Przeważają w niej mikrolitotypy I grupy (tab. 5). Wśród mikrolitotypów zmineralizowanych stwierdzono jedynie liptyt (sporynit z substancją ilastą i pirytem). Sprawia to, że zawartość popiołu i siarki w tej frakcji jest mniejsza niż w węglu wyjściowym, a ciepło spalania wyższe. Wydajność frakcji o gęstości $1,26+1,32 \text{ g/cm}^3$ jest niższa niż w poprzednich węglach. Wynosi 59 %. Przeważają w nich mikrolitotypy grupy II, a wśród zrostów witrynu

Tabela 4

Stopień wzbogacenia frakcji gęstościowych wydzielonych z węgla gazowego typ 33

Frakcja g/cm ³	Wy- daj- ność %	Czyste ziarna węglowe, % obj.				Zrosty substancji mineralnej, % obj.				Skala płonna % obj.	Parametry fizykochemiczne		
		Grupa I Przewaga L	Grupa II Przewaga Vt	Grupa III Przewaga I	Suma	z liptyni- tem	z witryni- tem	z inertyni- tem	Suma		A ^d %	Q _s ^{daf} MJ/kg	S _r ^d %
poniżej 1,26	1	76 (65)	19 (8)	0 (0)	95	3	2	0	5	0	0,58	36,33	0,32
1,26+1,32	66	7 (1)	81 (65)	8 (śl)	96	1	3	0	4	0	0,62	35,32	0,40
1,32+1,44	23	śl (0)	38 (13)	58 (37)	96	śl	2	2	4	śl	2,30	34,52	0,49
powyżej 1,44	10	0 (0)	9 (3)	46 (37)	55	3	18	10	31	14	34,17	(27,90) ₁ *	0,73
Węgiel wyjściowy		13 (4)	40 (25)	25 (8)	78	3	14	2	19	3	4,38	34,41	0,45

Objaśnienia: jak w tabelach 2 i 3

Tabela 5

Stopień wzbogacenia frakcji gęstościowych wydzielonych z węgla gazowo-koksowego typ 34.2

Fracja g/cm ³	Wy- daj- ność %	Czyste ziarna węglowe, % obj.				Zrosta substancji mineralnej, % obj.				Skala płonna % obj.	Parametry fizykochemiczne		
		Grupa I Przewaga L	Grupa II Przewaga Vt	Grupa III Przewaga I	Suma	z liptyni- tem	z witryni- tem	z inertyni- tem	Suma		A ^d %	Q _s ^{daf} MJ/kg	S _t ^d %
poniżej 1,26	8	79 (64)	15 (4)	2 (0)	96	4	0	0	4	0	0,53	36,27	0,47
1,26+1,32	59	6 (1)	85 (72)	5 (1)	96	śl	4	0	4	0	0,79	36,18	0,40
1,32+1,44	22	śl (0)	24 (9)	68 (54)	92	3	5	0	8	0	2,80	35,29	0,41
powyżej 1,44	11	0 (0)	8 (3)	39 (32)	47	13	24	4	41	12	39,97	(30,46) ₁ *	2,16
Węgiel wyjściowy		13 (2)	48 (28)	20 (3)	81	1	6	1	8	11	5,51	35,36	0,61

Objaśnienia: jak w tabelach 2 i 3

z wtrąceniami substancji ilastej i siarczków. Zawartość popiołu wzrasta do 0,79 %, a zawartość siarki obniża się do 0,40 %. We frakcjach o gęstości 1,32+1,44 g/cm³, których wydajność wynosi 22 %, przeważają mikrolitotypy grupy III. Wzrasta zawartość mikrolitotypów zmineralizowanych (głównie wityrynytu z wtrąceniami substancji ilastej i siarczków). Jest to przyczyną wzrostu zawartości popiołu do 2,80 %. Zawartość siarki utrzymuje się na poziomie 0,41 %. Ciepło spalania obniża się do poziomu węgla wyjściowego. We frakcjach najcięższych o gęstości powyżej 1,44 g/cm³ wzrasta zawartość zrostów organicznej substancji węglowej z substancją mineralną, głównie wityrynytu z substancją ilastą i siarczkami, których zawartość dochodzi do 24 % obj. oraz skały płonnej. Stwierdzono również ziarna inertynytu, którego komórki wypełnione są węglanami, oraz znaczne ilości skały płonnej. Powoduje to podwyższenie zawartości popiołu do 39,97 % i siarki do 2,16 %, a co za tym idzie - obniżenie ciepła spalania.

Węgiel ortokoksowy typ 35.1

Wydajność frakcji o gęstości poniżej 1,26 g/cm³ wynosi 10 %. W jej budowie przeważają mikrolitotypy grupy I i II (tab.6). Wśród zrostów organicznej substancji węglowej z substancją mineralną stwierdzono jedynie macerały grupy liptynytu i wityrynytu z drobnodispersyjną substancją ilastą. Zawartość popiołu jest niska ($A^d = 0,47$ %). Zawartość siarki wynosi 0,68 %. Frakcje o gęstości 1,26+1,36 g/cm³ wykazują wydajność 75 %. Zawartość mikrolitotypów II grupy dochodzi w nich do 82 % obj. Ilość karbominerytu jest niska. Nieznacznie wzrasta zawartość popiołu do 0,80 % oraz siarki do 0,74 %. Frakcje cięższe o gęstości 1,36+1,46 g/cm³, których wydajność wynosi 8 %, charakteryzują się wysoką zawartością mikrolitotypów grupy III. Wśród zrostów substancji organicznej z mineralną obserwuje się najczęściej macerały grupy wityrynytu z wtrąceniami substancji ilastej oraz inertynit z komórkami wypełnionymi węglanami. Powoduje to wzrost zawartości popiołu do 3,02 %. Zawartość siarki jest niższa niż w poprzednich frakcjach, wynosi 0,60 %. We frakcji najcięższej przeważają karbomineryty i skała płonna, a wśród nich wityrynit z wtrąceniami substancji ilastej oraz inertynit, z którym związane są wszystkie rodzaje substancji mineralnej. Wzrasta zawartość popiołu do 8,33 % oraz siarki całkowitej do 3,52 %.

Węgiel metakoksowy typ 36

W budowie frakcji o gęstości poniżej 1,26 g/cm³ przeważający udział mają mikrolitotypy grup I i II (tab. 7). Z mikrolitotypów zmineralizowanych występuje jedynie liptyt, w którym substancja mineralna (substancja ilasta i piryty) występuje jedynie w postaci trudnych do usunięcia wtrąceń w sporynicie. Wysoką wydajność wykazują frakcje o gęstości 1,26+1,42 g/cm³. Wynosi ona 74 %. W ich budowie przeważają mikrolitotypy grupy II. Zawartość popiołu wynosi 3,30 %, a siarki 0,66 %. Wynika to z obecności domieszek mineralnych w wityrynicie i inertynicie, którymi są najczęściej: substancja ilasta i siarczki. Frakcje o gęstości 1,42+1,46 g/cm³ mają niewielki udział w budowie węgla metakoksowego. W ich składzie petrograficznym przeważają mikrolitotypy grupy II i III. Podwyższona zawartość popiołu, wynosząca 9 %, wynika z obecności zmineralizowanego wityrynytu, inertynytu oraz skały płonnej. Wydajność frakcji o gęstości powyżej 1,46 g/cm³ wynosi 21 %. Frakcja ta zbudowana jest w przeważającej części z karbominerytów i skały płonnej.

Tabela 6

Stożenie wzbogacenia frakcji gęstościowych wydzielonych z węgla ortokoksowego typ 35.1

Frakcja g/cm ³	Wy- daj- ność %	Czyste ziarna węglowe, % obj.				Zrośty substancji mineralnej, % obj.				Skala płonna % obj.	Parametry fizykochemiczne		
		Grupa I Przewaga L	Grupa II Przewaga Vt	Grupa III Przewaga I	Suma	z liptyni- tem	z witryni- tem	z inertyni- tem	Suma		A ^d %	Q _r ^{daf} MJ/kg	S _r ^d %
poniżej 1,26	10	33 (6)	57 (25)	4 (0)	94	3	3	0	6	0	0,47	37,00	0,68
1,26 +1,36	75	8 (2)	82 (69)	8 (5)	98	1	1	śl	2	0	0,80	36,30	0,74
1,36 +1,46	8	śl (0)	13 (6)	83 (69)	96	śl	2	2	4	śl	3,02	35,93	0,60
powyżej 1,46	7	0 (0)	5 (1)	40 (27)	45	3	18	16	37	18	38,33	(28,24) [*] ₁	3,52
Węgiel wyjściowy		14 (3)	68 (41)	6 (1)	88	3	3	2	8	4	3,47	35,92	0,91

Objaśnienia: jak w tabelach 2 i 3

Tabela 7

Stopień wzbogacenia frakcji gęstościowych wydzielonych z węgla metakoksowego typ 36

Frakcja g/cm ³	Wy- daj- ność %	Czyste ziarna węglowe, % obj.				Zrosty substancji mineralnej, % obj.				Skala płonna % obj.	Parametry fizykochemiczne		
		Grupa I Przewaga L	Grupa II Przewaga Vt	Grupa III Przewaga I	Suma	z liptyni- tem	z witryni- tem	z inertyni- tem	Suma		A ^d %	Q _s ^{daf} MJ/kg	S _t ^d %
poniżej 1,26	1	38 (0)	59 (18)	0 (0)	97	3	0	0	3	0	0,64	36,85	0,62
1,26 ÷ 1,42	74	2 (0)	78 (71)	17 (8)	97	śl	2	1	3	0	3,30	36,73	0,66
1,42 ÷ 1,46	4	0 (0)	55 (49)	37 (26)	92	0	3	4	7	1	9,00	35,66	0,76
powyżej 1,46	21	0 (0)	19 (15)	39 (26)	58	2	14	17	33	9	60,92	(35,13) ₁ [*]	4,13
Węgiel wyjściowy		9 (śl)	71 (39)	4 (2)	84	3	7	0	10	6	15,59	35,76	1,39

Objaśnienia: jak w tabelach 2 i 3

4. Możliwości wykorzystania wyników badań

Niejednorodna budowa substancji organicznej węgla oraz występowanie zanieczyszczeń mineralnych mają istotny wpływ na procesy przeróbki mechanicznej i racjonalne wykorzystanie węgla w różnych procesach technologicznych. Wydzielenie z węgla, o różnym stopniu uwęglenia, frakcji gęstościowych oraz badanie ich budowy i własności, pozwala na ocenę przebiegu procesów technologicznych oraz określenie możliwości racjonalnego wykorzystania węgla. Uzyskane wyniki przedstawiają efekty wzbogacania w cieczach ciężkich, silnie rozdrobnionych węgla (poniżej 0,2 mm), gdyż tylko wtedy można uzyskać frakcje o określonym składzie petrograficznym i właściwościach. Metoda ta może się stać w przyszłości ważna przy określaniu możliwości uzyskiwania tzw. „węgli czystych”, spełniających specjalne wymagania. Przedstawione wyniki mogą być wskazówką przy doborze węgla do różnych procesów technologicznych, m.in. do celów energetycznych, do produkcji paliw bezdymnych i formowanych, w procesach odgazowania, koksowania i zgazowania oraz jako surowiec w procesie upłynniania.

5. Podsumowanie

1. Wyniki badań uzyskane dla frakcji o gęstości od poniżej 1,26 g/cm³ do powyżej 1,46 g/cm³ w przedziałach co 0,02 g/cm³, wydzielonych metodą rozdziału w cieczach ciężkich (mieszanie tlenu i czterochlorku węgla) z węgla od płomiennych do metakoksowych, wskazują na istnienie wyraźnej zależności pomiędzy budową petrograficzną, sposobem występowania substancji mineralnej i właściwościami technologicznymi frakcji a jej gęstością.
2. Zmienność budowy petrograficznej frakcji w miarę wzrostu ich gęstości potwierdzają wyniki analizy mikrolitotypów. We frakcjach o niskiej gęstości przeważają mikrolitotypy, w budowie których znaczny udział mają macerały grupy liptynitów i wityrinitów. Należą do nich: liptyt, wityr, klaryt, duryt liptynitowy, wityrnyrt wityrnytowy, duroklaryt i wityrnyrtliptyt. W miarę wzrostu gęstości frakcji w budowie mikrolitotypów zaczynają przeważać macerały grupy inertynitów. Mikrolitotypy te to: inertyt, duryt inertynitowy, wityrnyrt inertynitowy i klaroduryt. We frakcjach najcięższych zawartość karbominerytu i skały płonnej jest największa.
3. Zawartość popiołu we frakcjach o gęstości poniżej 1,38 g/cm³ jest niższa niż w węglu wyjściowym. Substancja mineralna występuje w nich przede wszystkim w postaci drobnodispersyjnych wtrąceń, najczęściej w wityrnicie i liptynicie. Przy wzroście gęstości frakcji zawartość popiołu jest coraz wyższa, co jest spowodowane wzrostem zawartości substancji mineralnej występującej w postaci wypełnień komórek macerałów grupy inertynitów, a we frakcjach najcięższych pojawieniem się znacznych ilości skały płonnej.
4. Ciepło spalania pozostaje w ścisłym związku ze składem petrograficznym frakcji. Najwyższe ciepło spalania wykazują frakcje o gęstości poniżej 1,26 g/cm³, co w węglach kamiennych płomiennych i gazowo-płomiennych związane jest z przewagą w ich budowie liptynitów, a w węglach kamiennych: gazowych, gazowo-koksowych, ortokoksowych, i metakoksowych z obecnością wysokiej zawartości wityrinitów. W miarę wzrostu gęstości frakcji Q_s^{daf} maleje, co wynika ze wzrostu zawartości inertynitów i substancji mineralnej.

5. Proces rozdzielania w cieczach ciężkich umożliwia wydzielenie frakcji gęstościowych różniących się znacznie budową petrograficzną od węgli wyjściowych i wykazujących w porównaniu do nich lepsze właściwości fizykochemiczne i koksownicze. Rozpoznanie zależności pomiędzy składem petrograficznym i właściwościami fizykochemicznymi frakcji pozwala ocenić ich wzbogacalność i przydatność w procesach chemicznego przetwórstwa.

Literatura

1. Alajjew G.P.: Rozdzielenije uogolnego wieszczestwa na mikrokomponenty mietodom centrobieźnoju separacii. *Chimia i Technologija Topliw i Masel* 1962 nr 3, s. 31-36.
2. Ammosow I.I.: Rozdzielenije w tiazolych zidkostiach kak mietod charakteristiki kaczestwa iskopajemych uglej. Izdatielstwo AN-SSSR 1953.
3. Ammosow I.I., Prianisznikow W.K.: Ocenka obogatimosti uglej po petrografitczeskim osobiennostiach. *Razwitie i ochr. nedr.* 1960 nr 10.
4. Ammosow I.I. i inni: Petrograficzeskije osobiennosti i swoistwa uglej. Izdatielstwo AN-SSSR 1963.
5. Ammosow I.I. i inni: Promyslennogeneticzeskaja klasyfikacija uglej SSSR. Izdatielstwo AN-SSSR 1964.
6. Battaglia A., Konecki M.: Z badań nad związkiem pomiędzy ciężarem właściwym a składem petrograficznym i niektórymi własnościami węgla. *Przegląd Górniczy* 1947 nr 6, s. 398-413.
7. Crelling J.C.: Review of some recent research on the combustion properties of coal macerals. *American Chemical Society*, 1994 Vol. 39, s. 13-17.
8. Crelling J.C.: Targenting single coal macerals with density gradient centrifugation experiments. *American Chemical Society* 1994 nr 39, s. 209-214.
9. Doktorowicz-Hrebnicki S.: Posiedzenia Naukowe Państwowego Instytutu Górniczego 1931 nr 30.
10. Dyrkacz G. R., Horwitz E. P.: Separation of coal macerals. *Fuel* 1982 Vol. 61, s. 3-12.
11. Dyrkacz G.R., Blomquist C.A.A., Ruscic L.: High resolution density separation of coal macerals. *Fuel* 1984 Vol. 63, s. 1367-1373.
12. Dyrkacz G.R., Crary R., Blomquist C.A.A.: Chemical variations in coal macerals separated by density gradient centrifugation. *Fuel* 1984 Vol. 63, s. 1166-1173.
13. Hanak B.: Charakterystyka petrograficzna węgla koksowych z kopalni Moszczenica dla określenia ich wzbogacalności. *Prace Geologiczne PAN* 1983 nr 127.
14. Kamniewa A.I., Ammosowa J.A., Miesslerle P.E.: Opyt primienienija supercentrifugi dla frakcionirowanija uglej. *Ugol* 1964 nr 5, s. 62-63.
15. Korol D.: Przyczynek do badania wzbogacalności węgla. *Biuletyn Instytutu Naukowo-Badawczego Przemysłu Węglowego* 1947 nr 1.
16. Mielecki T.: Zmiana niektórych własności chemicznych węgla i popiołu węglowego wraz ze zmianą ciężaru właściwego węgla przy rozdziale w cieczach ciężkich. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej* 1962 nr 71, *Górnictwo* z. 5, s. 15-21.
17. Roga B.: Z badań fizykochemicznych nad różnymi typami węgla koksujących się. 1931, nr 16.

18. Simmersbach O.: Die Trenbarkeit der organischen Gemengteile einer Steinkohle nach dem spezifischen Gewicht. Glückauf 1921, nr 46/47, s. 3-14.
19. Świętosławski W., Chorąży M., Roga B.: Przemysł Chemiczny 1932 nr 16.

Recenzent: Dr hab.inż. Bronisława Hanak