

9

ZWIĄZEK ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH Z SUBSTANCJĄ MINERALNĄ I ORGANICZNĄ W LITOTYPACH Z POKŁADU WĘGLA 308 (WARSTWY ORZESKIE) GZW

9.1 WPROWADZENIE

Węgiel kamienny stanowi podstawowy surowiec energetyczny Polski. Wobec stale zaostrzających się przepisów z zakresu ochrony środowiska, jego użytkowanie, głównie pod kątem spalania i zgazowania, powinno wiązać się z jak najmniejszą emisją do atmosfery pierwiastków szkodliwych. Niektóre emitowane pierwiastki (B, Br, C, Cl, F, Hg, I, N, S, Se) charakteryzują się dużą lotnością i podczas spalania łatwo przechodzą do atmosfery przyczyniając się do degradacji środowiska [12, 14, 27]. Inne pierwiastki po spaleniu węgla koncentrują się w jego popiele i podczas składowania bądź użytkowania popiołów węglowych mogą migrować do środowiska naturalnego [7, 11, 13, 16, 17, 25].

Określenie zawartości pierwiastków śladowych w węglu jest więc istotne w procesie użytkowania energetycznego oraz na etapie dokumentowania złoża i podczas bieżącej obsługi kopalni [2].

Węgiel kamienny zbudowany jest głównie z substancji organicznej i mineralnej w których skład wchodzi wiele różnych pierwiastków chemicznych [15, 23]. Za najbardziej szkodliwe uznaje się pierwiastki śladowe toksyczne w każdym stężeniu (Pb, Hg, Cd, Be, As), pierwiastki skoncentrowane w anomalnym stężeniu (Zn, Se, Ta, Sn, Cr, Sb, Ag, Bi, Cu, Mo, Br, Mn, Te, Ti, Co) oraz pierwiastki promieniotwórcze (U, Th, Ra) [24]. Pierwiastki te w różnym stopniu mogą być związane z substancją organiczną bądź mineralną w węglu.

Celem przeprowadzonych badań było określenie zależności pomiędzy zmiennością zawartości pierwiastków śladowych w litotypach węgla z pokładu 308 a ich zawartością w popiołach tych litotypów. Badania miały także na celu wskazanie konieczności stałej kontroli zawartości pierwiastków śladowych w popiołach węgla energetycznego z uwagi na ich dużą zmienność zależną od składu petrograficznego węgla.

9.2. PRZEDMIOT I ZAKRES BADAN

Badania zostały przeprowadzone na próbkach kawałkowych węgla, pobranych z 4 opróbowanych profili w pokładzie 308 w obszarze KWK Ziemowit. Kopalnia ta zlokalizowana jest w centralnej części niecki głównej GZW, w skrzydle zrzuconym uskoku Książęcego. W kopalni eksploatowane są pokłady węgla z warstw łaziskich i orzeskich, zawierające węgiel energetyczny, typu 31 i 32 [3].

Z pobranych próbek kawałkowych (38) wyseparowano ręcznie, czyste litotypy (węgiel: błyszczący, półbłyszczący i matowy). Starano się określić stopień czystości wyodrębnionych litotypów, oznaczając ich skład petrograficzny (zawartość macerałów i minerałów) oraz zawartość popiołu A^d.

Analizę składu petrograficznego w badanych próbkach przeprowadzono w mikroskopie do światła odbitego przy użyciu imersji na wypolerowanych szlifach ziarnowych. Zawartość popiołu A^d oznaczono zgodnie z PN-G-04512: 1980/Azl:2002.

W próbkach litotypów i ich popiołach, uzyskanych po spaleniu próbek w temperaturze ok. 800°C oznaczono zawartości pierwiastków stanowiących potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego: Pb, Hg, Cd, Be, As, Zn, Cu, Cr, Co, Mo i Mn. Badania wykonane zostały przez firmę Geoanaliza z wykorzystaniem instrumentalnej neutronowej analizy aktywacyjnej (INAA). Na podstawie uzyskanych wyników analiz wyliczono dla oznaczonych pierwiastków ich współczynniki wzbogacenia (*W*) w popiołach litotypów jako stosunek zawartości danego pierwiastka w popiele do jego zawartości w litotypie. Wartości obliczonych współczynników wzbogacenia posłużyły do wykazania związku zawartości pierwiastków w litotypach z substancją organiczną bądź mineralną węgla.

9.3. WYNIKI BADAŃ

9.3.1. Charakterystyka makro- i mikropetrograficzna

W badanych profilach pokładu 308 występują naprzemian warstwy litotypów węgla: błyszczącego, półbłyszczącego i matowego. Węgiel błyszczący i matowy charakteryzował się budową grubo i średniopasemkową, natomiast węgiel półbłyszczący posiadał strukturę drobno i średniopasemkową. Stwierdzono przeważający udział węgla pasemkowego półbłyszczącego (ok. 55,0%) w profilach tworzącego warstewki o miąższości od 0,10 m do ok. 0,30 m. Węgiel pasemkowy błyszczący występował w formie warstw o miąższości od 0,06 m do 0,10 m, co stanowi ok. 16% miąższości profilów. Węgiel pasemkowy matowy w profilach tworzył warstwy o miąższości od 0,04 m do 0,10 m i zajmował ok. 10% miąższości w profilu pokładu.

Próbki do dalszych badań stanowiły wyseparowane czyste litotypy i wykazały odpowiednio do ich rodzaju charakterystyczny udział macerałów (tab. 9.1). Węgiel błyszczący (7 próbek), charakteryzuje się przeważającym udziałem wityrynytu (76-87%), oraz stosunkowo niewielką zawartością inertynitu (6-11%) i liptynytu (3-7%). Na podstawie składu petrograficznego można przypuszczać, że litotyp ten

tworzył się w paleotorfowisku o dość stabilnych warunkach facjalnych. Obecność liptynitów i inertynitów może wskazywać jednak na okresy podwyższonego lub obniżonego poziomu wód, w których tworzyły się cienkie laminki węgla wzbogacone w te macerały. Udział substancji mineralnej jest stosunkowo mały a głównym jej składnikiem są siarczki (3-5%) przy nieznacznym udziale węglanów i minerałów ilastych.

Tabela 9.1 Udział macerałów i minerałów w próbkach litotypów z pokładu 308

Składniki [% obj.]	Węgiel błyszczący (7 próbek)	Węgiel półbłyszczący (21 próbek)	Węgiel Matowy (10 próbek)
	min.-max. średnia		
WITRYNIT	76-87 80	55- 70 67	37- 51 44
INERTYNIT	6-11 9	15-22 16	24-31 26
LIPTYNIT	3-7 5	10-14 12	12-19 17
SIARCZKI	3-5 4	4-6 5	6-10 8
WĘGLANY	1-2 1	1-3 2	2-4 3
MINERAŁY ILASTE	śl.	śl-1	śl-1

Węgiel półbłyszczący (21 próbek) wykazuje zawartość witrynitów od 55 do 70%, przy zawartości inertynitów (głównie semifuzynitów i fuzynitów) 15-22% i liptynitów 10-14%. Warunki facjalne w paleotorfowisku w stadium biochemicznym tworzenia się tego litotypu były charakterystyczne dla środowiska względnie suchego. Zawartość substancji mineralnej jest zróżnicowana od ilości śladowych do 6%, przy najwyższym udziale siarczków.

Węgiel matowy (10 próbek) charakteryzuje się zmiennym składem macerałów. Wykazuje zazwyczaj zawartość do 31% inertynitów i do 19% liptynitów oraz stosunkowo małą zawartość witrynitów (37-51%). Taki skład świadczy, że podczas tworzenia się tego litotypu panowało środowisko suche. Udział substancji mineralnej w tej odmianie węgla jest najwyższy (do 10%) i reprezentowany jest głównie przez siarczki a w mniejszej ilości przez węglany. We wszystkich badanych litotypach substancję nieorganiczną najliczniej reprezentują siarczki, które tworzą różne formy genetyczne. Najczęściej obserwowano formy rozproszone i w mniejszym stopniu framboidalne (syngenetyczne). Zdecydowanie rzadziej pojawiały się formy euhedralne, żyłowe i dendrytyczne (epigenetyczne).

9.3.2 Zawartość pierwiastków śladowych w litotypach węgla i ich popiołach

Analizy pierwiastków wytypowanych do badań wykazały ich zróżnicowaną zawartość w próbkach litotypów i ich popiołach. W węglu błyszczącym stwierdzono średnio mniej badanych pierwiastków w porównaniu do węgla półbłyszczącego i matowego (tab. 9.2). Wyjątek stanowiły Hg i Mo, których zawartość w litotypie błyszczącym była największa.

Tabela 9.2 Zawartość pierwiastków śladowych w litotypach (L) i ich popiołach (P) oraz współczynnik wzbogacenia (W) dla próbek z pokładu 308

Pierwiastek		Litotyp		
		Węgiel błyszczący	Węgiel półbłyszczący	Węgiel matowy
		Zakres/Średnia [ppm]		
As	L	0,9-1,2 1,0	1,0-1,5 1,2	1,7-2,3 2,1
	P	3,2-5,3 4,1	3,9-6,8 5,7	5,6-9,1 7,4
	W	3,6-4,4 4,0	3,5-5,2 4,8	3,2-4,0 3,5
Be	L	2,9-5,8 4,7	2,7-6,5 4,3	3,7-8,2 6,2
	P	13-38 29,6	15-38 25,5	16-43 30,1
	W	5,9-6,5 6,3	5,5-5,8 5,9	4,3-5,2 4,9
Cd	L	0,8-1,8 1,2	1,3-1,8 1,5	1,9-2,3 2,1
	P	2,9-5,2 3,7	3,3-4,8 3,9	4,5-6,0 5,1
	W	2,7-3,6 3,1	2,5-2,7 2,6	2,3-2,6 2,4
Co	L	6-11 7,3	8-16 11,8	7-14 9,8
	P	16-33 21,5	24-52 36,7	16-41 25,1
	W	2,7-3,0 2,9	3,0-3,3 3,1	2,3-2,9 2,6
Cu	L	15,2-25,4 20,1	17,6-34,1 28,9	38,9-45,2 41,6
	P	62,2-78,9 70,3	60,1-99,9 85,5	95,3-133,4 118,1
	W	3,1-4,1 3,5	2,7-3,4 3,0	2,4-3,1 2,8
Cr	L	5-10 7,1	7-13 10,5	6-11 9,4
	P	21-52 35,2	41-79 63,0	39-69 57,3
	W	4,2-5,2 4,9	5,7-6,0 5,9	6,0-6,2 6,1
Hg	L	0,1-0,4 0,3	0,05-0,3 0,17	0,01-0,1 0,06
	P	0,5-2,6 1,5	0,2-0,8 0,4	0,03-0,4 0,4
	W	5,0-6,5 5,0	2,0-2,7 2,4	3,0-4,0 3,5
Mo	L	0,3-0,5 0,4	0,2-0,3 0,2	0,1-0,3 0,2
	P	1,5-3,4 2,5	0,8-1,5 1,0	0,3-1,1 0,7
	W	5,0-6,8 6,2	4,0-5,3 5,0	3,0-3,7 3,5
Mn	L	52-89 75,3	77-119 109,5	88-128 118,2
	P	167-310 252,2	187-312 279,7	199-399 289,8
	W	3,2-3,5 3,3	2,4-2,6 2,5	2,3-3,1 2,5

Pb	L	<u>19,3-28,2</u> 23,0	<u>32,6-48,2</u> 39,1	<u>48,3-56,1</u> 51,7
	P	<u>80,3-99,7</u> 88,4	<u>138,9-175,2</u> 158,8	<u>168,7-198,3</u> 183,5
	W	<u>3,5-4,3</u> 3,9	<u>3,5-4,6</u> 4,1	<u>3,5-3,7</u> 3,6
Zn	L	<u>27,2-37,3</u> 31,9	<u>49,7-63,2</u> 56,1	<u>65,1-75,2</u> 70,5
	P	<u>128,8-141,3</u> 133,8	<u>187,3-231,6</u> 208,4	<u>191,3-279,2</u> 236,6
	W	<u>3,8-4,8</u> 4,3	<u>3,6-3,9</u> 3,7	<u>2,9-3,7</u> 3,3
Ad [m/m]		<u>6,2-7,8</u> 7,0	<u>8,1-10,5</u> 9,7	<u>12,5-14,7</u> 13,6

W literaturze wyróżnia się trzy źródła pochodzenia Hg w węglu tj.: biologiczne, wulkaniczne oraz procesy syngenetycznego i epigenetycznego przenikania minerałów [5, 29]. Rtęć łatwo ulega bioakumulacji w organizmach żywych, dlatego można przypuszczać, że emitowana do atmosfery w wyniku działalności wulkanicznej mogła być sorbowana zarówno przez rośliny jak i przez substancje humusowe zawarte w torfie w początkowym stadium tworzenia się węgla.

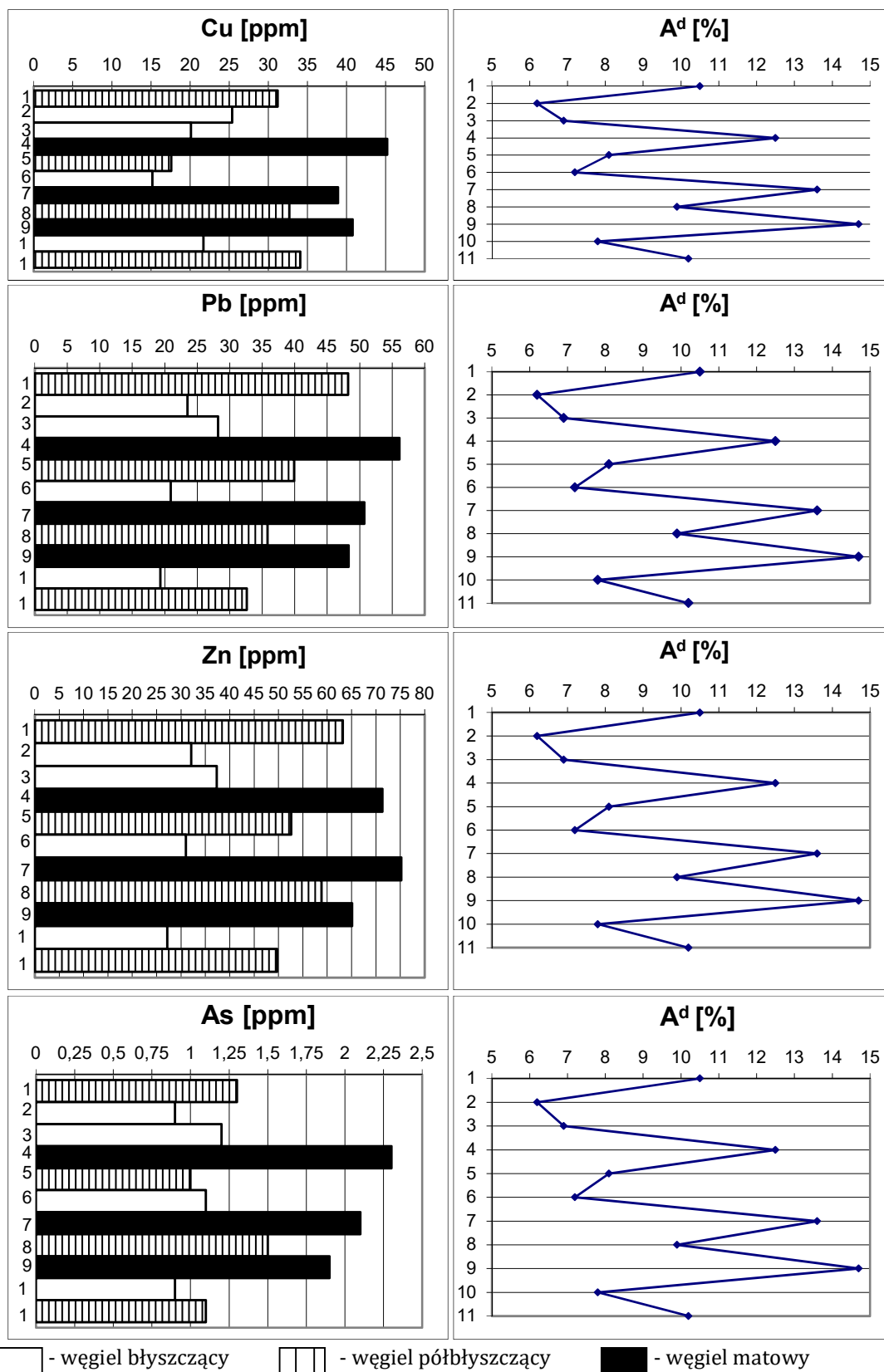
Mogła także dostać się do torfowiska razem z popiołem wulkanicznym lub w wyniku przenikania do substancji węglowej zmineralizowanych wód hydrotermalnych [29]. Różna geneza rtęci przyczynia się nie tylko do zróżnicowania jej zawartości w węglu z różnych złóż ale nawet do zmienności w obrębie tego samego pokładu [5]. Natomiast wg Xu et al. [28] zarówno Hg jak i Mo należy łączyć z substancją mineralną, głównie z siarczkami. Jednak w analizowanym przypadku udział substancji mineralnej w badanych litotypach błyszczących był najmniejszy.

Badane próbki węgla półbłyszczącego charakteryzowały się największą średnią zawartością kobaltu i chromu, natomiast pozostałe pierwiastki stwierdzono w zawartościach pośrednich w porównaniu do litotypu błyszczącego i matowego. Pierwiastki te kumulują się przeważnie w substancji mineralnej węgla (minerałach ilastych, siarczkach, węglanach) [28].

W węglu matowym obserwowano największe zawartości As, Be, Cd, Cu, Mn, Pb i Zn w porównaniu do pozostałych litotypów (tab. 9.2). Arsen najczęściej związany jest z minerałami ilastymi oraz siarczkami i fosforanami [28]. Pierwiastek ten jest także rozproszonym składnikiem funginitu i sekretynitu, które śladowo występowały w badanych próbkach litotypu matowego [13].

Beryl może wykazywać powinowactwo zarówno z substancją organiczną jak i nieorganiczną [1]. Winnicki [26] natomiast uważa, że pierwiastek ten należy wiązać głównie z substancją organiczną w węglu.

Kadm uznawany jest za składnik labilny związków organiczno-mineralnych [9, 21]. Parzentny [20] uważa, że Cd może być związany z minerałami ilastymi i siarczkami. Lewińska-Preis i in. [10] natomiast wiąże jego występowanie głównie z substancją organiczną.



Rys.9.1 Diagram zawartości wybranych pierwiastków śladowych w litotypach oraz zawartość popiołu (A^d) dla jednego z profili z pokładu 308

Według danych Xu [28] miedź, ołów i cynk wykazują powinowactwo do minerałów ilastych i siarczków. Judowicz i in. [6] uważa, że Zn i Pb genetycznie

wiążą się z substancją mineralną pochodzenia syngenetyczno-konkrecyjnego lub epigenetyczno-infiltracyjnego.

Xu et al. [28] sugeruje związek manganu z węglanami. Nie jest jednak wykluczone powinowactwo tego pierwiastka z substancją organiczną w węglu [4, 8]. Polański [22] twierdzi, że wysoka zawartość Mn występuje także w popiele kory i igłach sosny oraz paprociach i mchach.

Analizując opisaną zmienność zawartości pierwiastków śladowych w próbkach litotypów, można zauważyć większe zawartości większości badanych pierwiastków w węglu matowym, co przypuszczalnie wiąże się z największym udziałem w tych próbkach substancji mineralnej, głównie siarczków (tab. 9. 1).

Na kumulację analizowanych pierwiastków śladowych w substancji nieorganicznej wskazuje podobna zmienność ich zawartości i popiołu w litotypach (tab. 9.2, rys. 9.1).

Związek pierwiastków z substancją nieorganiczną można ocenić jako korzystny z ekologicznego punktu widzenia, gdyż znaczną ich część można usunąć z węgla wraz z substancją mineralną na drodze przeróbki mechanicznej. Natomiast nie ma takiej możliwości usunięcia z węgla pierwiastków związanych z substancją organiczną [18, 25].

Badane próbki popiołu wykazały wyraźnie większą zawartość pierwiastków śladowych, aniżeli litotypy z których je uzyskano (tab. 9.2). Wzrostowi zawartości pierwiastków śladowych w litotypie towarzyszy wzrost zawartości tych pierwiastków w popiele. W litotypach w których udział danego pierwiastka śladowego był największy, również ich popioły wykazywały jego maksymalną zawartość.

9.3.3 Charakterystyka stopnia koncentracji pierwiastków śladowych w popiołach litotypów

Stopień koncentracji pierwiastków śladowych w popiołach litotypów scharakteryzowano obliczając wartości tzw. współczynnika wzbogacenia W (tab. 9.2). Wyliczone wartości wskazują w uproszczony sposób w jakim stopniu pierwiastki zostaną związane z popiołem podczas spalania węgla.

Wartości współczynnika wzbogacenia (W) są tym większe, im większa jest zawartość pierwiastka związana z substancją organiczną węgla, a tym mniejsze, im jego zawartość w większym stopniu związana z substancją mineralną. Na wartość współczynnika wzbogacenia ma wpływ także zdolność niektórych pierwiastków do uwalniania się z produktami spalania do atmosfery. Współczynnik wzbogacenia wskazuje zatem na stopień związania pierwiastka z substancją organiczną bądź mineralną.

Na podstawie analizy uzyskanych wartości stwierdzono, że W wykazuje stosunkowo niskie wartości dla większości badanych próbek, co potwierdza znaczne powinowactwo oznaczonych pierwiastków do substancji mineralnej (tab. 9.2).

Wartości te wykazują jednak pewne zróżnicowanie zależnie od litotypu dla

którego je oznaczono.

W popiołach węgla błyszczącego, w porównaniu do popiołów węgla półbłyszczącego i matowego, największe wartości współczynnika wzbogacenia wykazano dla Hg i Mo. Dla pierwiastków takich jak: Be, Cd, Cu, Mn, i Zn wykazano największe średnie wartości współczynnika, choć ich udział w litotypie błyszczącym nie był największy.

W popiołach węgla półbłyszczącego, silną koncentrację, a zatem największe wartości współczynnika wzbogacenia wykazano dla Co.

W popiołach węgla matowego, prawie dla wszystkich pierwiastków wykazano najniższe wartości współczynnika wzbogacenia. Wyjątek stanowił chrom o największej wartości współczynnika wzbogacenia.

Należy podkreślić, że małe wartości współczynnika wzbogacenia (W) dla: As, Be, Cd, Co, Cu, Hg, Mo, Mn, Zn, i Pb w popiołach węgla matowego świadczą o ich znacznym powinowactwie do substancji mineralnej. Duże wartości współczynnika wzbogacenia (W) Mo, Be i Hg w popiołach węgla błyszczącego świadczą o znacznym powinowactwie tych pierwiastków do substancji organicznej.

Porównując wartości współczynnika wzbogacenia w popiołach litotypów z pokładu 308 (warstwy orzeskie) i z pokładu 620 i 630 (warstwy porębskie) stwierdzono, że te wartości są większe dla litotypów z pokładów warstw porębskich [4, 19]. Świadczy to o większym udziale pierwiastków śladowych związanych z substancją organiczną w popiołach litotypów z pokładów 620 i 630 aniżeli w popiołach węgla z pokładu 308.

9.4 PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Przeprowadzone badania zawartości pierwiastków śladowych w próbkach z pokładu 308 pozwoliły rozpoznać, choć w ograniczonym zakresie, zmienność ich udziału w litotypach jak i popiołach węgla.

Zwiększonej zawartości pierwiastków śladowych w próbkach litotypów towarzyszy znaczny i także zwiększony udział popiołu, co może wskazywać, że większość pierwiastków związana jest z substancją nieorganiczną węgla (głównie z siarczkami).

W wyniku przeprowadzonych badań zaobserwowano, że większość pierwiastków śladowych (As, Be, Cd, Co, Cu, Mn, Pb i Zn) wykazała duże powinowactwo do substancji mineralnej, przy małym współczynniku wzbogacenia w popiele. Ich zawartości maksymalne wykryto w litotypach silnie zmineralizowanych (węgiel matowy i czasami półbłyszczący).

Rtęć i molibden charakteryzują się natomiast dużym powinowactwem do substancji organicznej węgla, przy dużym współczynniku wzbogacenia w popiele i maksymalnej zawartości w węglu błyszczącym. W litotypach półbłyszczących stwierdzono, największą zawartość kobaltu przy dużym współczynniku wzbogacenia.

Przeprowadzone badania pozwalają wstępnie na sformułowanie wniosku, że

pierwiastki śladowe w węglach utworzonych w środowisku bardziej zawilgoconym (pokłady 620 i 630) wykazują większy stopień powiązania z częścią organiczną węgla. Natomiast litotypy utworzone w środowisku względnie suchym jak np. węgiel matowy i półbłyszczący, z pokładu 308, z wysoką zawartością inertynitu, wykazują większe powinowactwo do substancji mineralnej. Dowodzi tego wykazane wyraźne zróżnicowanie pomiędzy wartościami współczynników koncentracji pierwiastków śladowych w popiołach litotypów węgla z pokładu 308 i pokładów 620 i 630. Wniosek ten potwierdzają również badania prowadzone na próbkach litotypów z pokładu 405 (warstwy załęskie) [8]. W celu poparcia tego wniosku przewidywane są dalsze badania koncentracji pierwiastków śladowych w poszczególnych składnikach substancji mineralnej, o ile możliwe będzie ich wyseparowanie z węgla.

Przeprowadzane badania wskazują także na konieczność stałej kontroli zawartości pierwiastków śladowych w popiołach węgla energetycznego z uwagi na jej dużą zmienność zależną od składu petrograficznego węgla. Zmienność koncentracji pierwiastków śladowych, w większości szkodliwie oddziałujących na środowisko, może bowiem istotnie wpłynąć na kierunki utylizacji i użytkowania popiołów.

LITERATURA

- [1] D. Dolnickova, J. Drozdova, K. Ravlavsky, D. Juchelkova. „Geochemistry of trace elements in fly ashes from lignite fired power station”, *Journal of the Polish Mineral Engineering Society*, 2012, pp. 59-68.
- [2] K. Galos i A. Uliasz-Bocheńczyk. „Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce”, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 21, z. 1, 2005.
- [3] B. Hanak. „Zróżnicowanie petrograficzne i chemiczno-technologiczne węgla płomienno-tytu 31 z warstw łaziskich i libiąskich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego i jego znaczenie praktyczne”, *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej*, 1993.
- [4] B. Hanak, M. Kokowska-Pałowska. „Zmienność zawartości pierwiastków śladowych w litotypach węgla i ich popiołach na tle profilów pokładu 630 (GZW)”, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, tom 22, zeszyt 3, Kraków 2006 s. 68-77.
- [5] J.C. Hower, C.F. Eble, J.C. Quick. „Mercury in Eastern Kentucky coals: Geologic aspects and possible reduction strategies”, *International Journal of Coal Geology*, t. 62, 2005, pp. 223-236.
- [6] J.E. Judowicz, M.P. Ketris, A.W. Mierc. *Eliemienty – primiesti w iskopajemnyh ugljach* Wyd. 1. Izdat. Nauka. Leningrad 18, 1985.
- [7] Z., Junying, R. Deyi, Z. Yanming, C. Chen-Lin, Z. Rongshu, Z. Baoshan. „Mineral matter and potentially hazardous trace elements in coals from Qianxi Fault Depression Area in southwestern Guizhou, China”, *International Journal of Coal Geology* 57, 2004, pp. 49-61
- [8] M. Kokowska-Pawłowska. „Zależność pomiędzy zawartością pierwiastków szkodliwych w litotypach węgla i ich popiołach (pokład 405, GZW)”,

- Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, tom 30, zeszyt 2, Kraków 2014, pp. 51-66.
- [9] J. Lee. *Complexation analysis of fresh waters by equilibrium diafiltration*. *Water Res*, 1983.
- [10] L. Lewińska-Preis, M.J. Fabiańska, S. Cmiel, A. Kita. „Geochemical distribution of trace elements in Kaffoyra and Longyearbyen coals, Spitsbergen, Norway” *International Journal of Coal Geology* 80, 2009, pp. 211-223.
- [11] M. Marczak, H. Parzenty. „Geochemiczna i ekologiczna ocena węgla złoża Chełm o podwyższonych i wysokich koncentracjach ołowiu” *Przegląd Geologiczny* nr 3, 1985.
- [12] M. Mastalerz, J. Hower, A. Drobnik, S. Mardon, G. Lis. „From in-situ coal to fly ash: a study of coal mines and power plants from Indiana”, *International Journal of Coal Geology* 59, 2004, p. 171-192.
- [13] K. Matl, K. Twardowski. *Rozkład własności fizykochemicznych i technologicznych węgla brunatnego z uwzględnieniem domieszek szkodliwych dla środowiska południowo zachodniej części Niżu Polskiego (pokład łużycki II)*. Wyd. Centrum PPGSMiE. Kraków, 1996.
- [14] W. Mniszek. „Określenie emisji rtęci ze źródeł przemysłowych”, *Zeszyty Naukowe* nr 1305. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1995.
- [15] T. Olkusiński, K. Stala-Szlugaj. „Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska”, *Pierwiastki promieniotwórcze w węglu oraz w produktach odpadowych powstających podczas spalania*, t. 11, 2009.
- [16] H. Parzenty, L. Lewińska-Preis. „Występowanie ponadprzeciętnych zawartości pierwiastków śladowych w węglu i popiołach węgla wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego” *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego* nr 1644. Geologia T. 14, Katowice, 1977.
- [17] H. Parzenty. „Związek miedzi, kobaltu i niklu z organiczną i mineralną substancją węgla ze wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”, *Przegląd Górniczy*, nr 6, 1989, pp. 20-23.
- [18] H. Parzenty. „Geochemiczna i ekologiczna ocena rozkładu częstotliwości występowania cynku w węglach w profilu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”, *Ochrona Powietrza* vol.3, 1990 pp. 68-70.
- [19] H. Parzenty. „Prawidłowości występowania niektórych pierwiastków śladowych w węglu z pokładu 620 w północno-wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”, *Przegląd Górniczy*, nr 7-8, 1990, pp. 34-38.
- [20] H. Parzenty. „Wpływ nieorganicznej substancji mineralnej na zawartość niektórych pierwiastków śladowych w węglu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego”, *Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach* nr 1460, 1995, p. 7-89.
- [21] J. Pempkowiak. *Rozmieszczenie, pochodzenie i własności kwasów humusowych w morzu Bałtyckim*, Inst. Oceanol. PAN, Wyd. Ossolineum, Wrocław 1989.
- [22] A. Polański. *Podstawy Geochemii*. Wyd. Geol. Warszawa 1988.
- [23] K. Srogi. „Pierwiastki śladowe w węglu”, *Wiadomości Górnicze* s. 87-96, t. 2, 2007.
- [24] M. Wagner. „Oznaczanie pierwiastków toksycznych i szkodliwych w węglu i

- jego popiołach”, W: M. Stryzewski – *Eksploatacja selektywna węgla brunatnego jako metoda ograniczenia szkodliwego oddziaływania na środowisko pierwiastków obecnych w węglu i produktach jego spalania*, Wyd. Katedra Górnictwa Odkrywkowego AGH, Kraków 2001.
- [25] J. Widawska-Kuśmierska. „Występowanie pierwiastków śladowych w polskich węglach kamiennych”, *Przegląd Górniczy*, nr 7-8, 1981, s. 455-459.
- [26] J. Winnicki. „Występowanie i sposób związania niektórych pierwiastków rzadkich w krajowych węglach kamiennych”, *Prace Naukowe Instytutu Chemii Nieorganicznej i Metalurgii Pierwiastków Rzadkich*, Konferencje nr 8, 1973, s. 3-71.
- [27] K. Zarębska, K. Piernak-Miśko. „Zgazowanie węgla – perspektywa dla gospodarki wodorowej” , *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 23, z. 3, 2007.
- [28] R. Xu, R. Yan, C. Zheng, Y. Qiao. „Status of trace element emission in a coal combustion process: a review”, *Fuel Processing Technology* 85, 2003, p. 215-237.
- [29] Ya.E. Yudovich, M.P. Ketris. „Mercury in coal: a review – Part 1. Geochemistry”, *International Journal of Coal Geology* t. 62, 2005, p. 107–134.

ZWIĄZEK ZAWARTOŚCI PIERWIASTKÓW ŚLADOWYCH Z SUBSTANCJĄ MINERALNĄ I ORGANICZNĄ W LITOTYPACH Z POKŁADU WĘGLA 308 (WARSTWY ORZESKIE) GZW

Streszczenie: Zbadano zróżnicowanie zawartości wybranych pierwiastków śladowych (Hg, Cd, Be, As, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Mo, Mn) w próbkach litotypów węgla i ich popiołach pochodzących z pokładu 308 (warstwy orzeskie). Wyliczono współczynnik wzbogacenia (W) w popiołach litotypów, jako stosunek zawartości pierwiastka w popiele do zawartości w litotypie. Stwierdzono, że wartość współczynnika W jest tym większa im większa jest zawartość pierwiastka związana z substancją organiczną.

Słowa kluczowe: pierwiastki śladowe, litotypy węgla, popioły, współczynnik wzbogacenia

RELATIONSHIP OF THE TRACE ELEMENTS CONTENT WITH MINERALS AND ORGANIC MATTER OF THE LITHOTYPES FROM THE COAL SEAM 308 (ORZESZE BEDS) USC B

Abstract: Variability of the content of the selected trace elements (Hg, Cd, Be, As, Zn, Pb, Cu, Cr, Co, Mo, Mn) from the coal lithotypes and their ashes from 308 coal seam (Orzesze beds) were investigated. The enrichment coefficient value (W) have been calculated for the ashes of the lithotypes as a ratio of an element's content in the ash to its content in the lithotype. The assumption was that coefficient value W increase with increasing content of an element related to the organic matter of the coal.

Key words: trace elements, coal lithotypes, ashes, enrichment coefficient

dr inż. Magdalena Kokowska-Pawłowska
Politechnika Śląska,
Wydział Górnictwa i Geologii
Instytut Geologii Stosowanej
ul. Akademicka 2, 44-100 Gliwice
e-mail: magdalena.kokowska-pawlowska@polsl.pl

Data przesłania artykułu do Redakcji: 06.2016

Data akceptacji artykułu przez Redakcję: 09.2016