

Bronisława HANAK<sup>1</sup>, Magdalena KOKOWSKA-PAWŁOWSKA<sup>1</sup>,  
Elwira ZAJUSZ-ZUBEK<sup>2</sup>  
Politechnika Śląska, Gliwice

## ZMIENNOŚĆ ZAWARTOŚCI PIERWIĄTKÓW ŚLADOWYCH I PODRZĘDNYCH W LITOTYPACH WĘGLA I ICH POPIOŁACH Z WYBRANYCH POKŁADÓW WARSTW PORĘBSKICH

**Streszczenie.** Zbadano zróżnicowanie zawartości wybranych pierwiastków śladowych (B, Ba, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Ga) i podrzędnych (Cl, Na, K, Mg, Ca) w próbkach litotypów i ich popiołach pochodzących z pokładów 610 i 620. Wykazano znaczną zmienność zawartości pierwiastków w badanych próbkach, zależną częściowo od rodzaju litotypu, jak i od ich położenia w profilu pokładu. Zauważono, że im wyższa zawartość pierwiastków w próbkach litotypu węgla, tym zazwyczaj wyższa była także ich zawartość w popiele tego samego litotypu.

## VARIABILITY OF THE CONTENT OF THE TRACE ELEMENTS IN THE COAL LITHOTYPES AND THEIR ASHES FROM THE SELECTED COAL SEAMS OF THE PORUBA BEDS

**Summary.** Variability of the content of the selected trace elements (B, Ba, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Ga, Cl, Na, K, Mg, Ca) from the coal lithotypes and their ashes from the 610 and 620 coal seams were investigated. The significant variability of the content of the trace elements from the examined samples depends partly on the type of lithotype and its position in the coal seams profile. The higher is the trace elements content in the coal lithotype, the higher is it in the ash of this lithotype.

### 1. Wprowadzenie

Badania geochemiczne węgla prowadzone w Polsce odnoszą się najczęściej do określenia przeciętnych zawartości pierwiastków oraz do ustalenia ogólnych i lokalnych prawidłowości

<sup>1</sup> Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Geologii Stosowanej,

<sup>2</sup> Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Ochrony Powietrza

zmienności ich zawartości w pokładach węgla [4,6].

Z danych literaturowych wynika, że zmienna koncentracja pierwiastków śladowych i podrzędnych w pokładach węgla zależy przede wszystkim od ich genezy oraz zróżnicowanego powinowactwa geochemicznego z substancją organiczną i mineralną węgla [1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11].

W prowadzonych dotychczas badaniach geochemicznych w mniejszym stopniu zwracano uwagę na związki występujące pomiędzy zawartością pierwiastków a składem petrograficznym węgla. Badania te dotyczyły zmienności zawartości pierwiastków w niektórych macerałach i wykazały, że liczne pierwiastki (np. Zn, Pb, Cd) wykazują podwyższoną koncentrację w wityrnicie i inertynicie [5]. Nie stwierdzono natomiast w węglu z tego samego profilu pokładu wyraźnej zależności pierwiastków z odmianą petrograficzną węgla [10].

Przedstawione opracowanie zawiera wyniki badań, których celem było określenie zmienności koncentracji pierwiastków śladowych w litotypach wyseparowanych z węgla i w ich popiołach oraz wskazanie przyczyn zmienności tej koncentracji.

Założono, że na zawartości pierwiastków śladowych mogą mieć wpływ odmienne warunki facjalne, odpowiadające tworzeniu się głównych litotypów węgla. Odmienność warunków facjalnych przejawia się zróżnicowanym składem macerałów, a także zmienną zawartością substancji mineralnej i popielnością wyróżnionych w pokładach litotypów.

Podczas badań zwracano uwagę na położenie litotypu w profilu pokładu, gdyż warunkuje ono dostęp do warstwy zmineralizowanych wód zewnętrznych.

Badania przeprowadzono na próbkach kawałkowych węgla, z profili pokładów 610 i 620, pobranych w obszarach KWK Sośnica i KWK Rydułtowy (rys. 1 i 2). Łącznie przebadano 20 próbek litotypów. Z próbek tych wyseparowano ręcznie, w miarę czyste litotypy (węgiel: błyszczący, półbłyszczący i matowy). W próbkach litotypów określono ich skład petrograficzny (zawartość macerałów i minerałów) oraz zawartość popiołu  $A^d$ .

Badania geochemiczne przeprowadzono za pomocą spektrometru emisyjnego AES z plazmą wzbudzoną indukcyjnie (ICP), typu JY 2000. Oznaczono zawartość takich pierwiastków, jak: B, Ba, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn, Ga, Cl, Na, K, Mg, Ca. Oznaczenia wykonano także na próbkach popiołów uzyskanych ze spalenia badanych litotypów w temperaturze około 800 °C.

## 2. Wyniki badań

### 2.1. Charakterystyka petrograficzna

W badanych pokładach (610 i 620) występują naprzemian warstwy litotypów węgla: błyszczącego, półbłyszczącego i matowego o strukturze drobno- i średniopasemkowej. W obu profilach (I i II) stwierdzono przeważający udział węgla półbłyszczącego (szczególnie w profilu II) oraz zróżnicowany i często znaczny udział węgla błyszczącego i matowego (rys. 1 i 2).

Badane próbki litotypów, wykazują, odpowiednio do ich rodzaju, charakterystyczny i w pewnym zakresie zmienny skład macerałów.

Węgiel błyszczący (próbki nr: 1, 5, 8 – profil I; 12, 18 – profil II), wykazuje wyraźnie przeważający udział wityrynytu (88–94 %), oraz stosunkowo niską zawartość inertynitu (2–6 %) i liptynytu (3–5 %). Skład ten wskazuje (w uproszczeniu) na dość stabilne warunki facjalne w paleotorfowisku. Mogły też występować okresy podwyższonego lub obniżonego poziomu wód, w których tworzyły się cienkie laminki węgla wzbogacone w liptynit lub inertynit. Udział substancji mineralnej jest niski.

Węgiel półbłyszczący (próbki nr: 2, 4, 6, 9 – profil I; 10, 11, 14, 16, 17 i 20 – profil II), wykazuje niższe zawartości wityrynytu (59 do 66 %), przy wyższej zawartości inertynitu i liptynytu niż w węglu błyszczącym. Zawartość inertynitu (głównie fuzynitu i semifuzynitu), w tym litotypie jest charakterystycznie zróżnicowana, tj. niska (10–14 %) w pokładzie 610, a wysoka w pokładzie 620 (ponad 20 %). Wskazuje to, że w obszarze paleotorfowiska pokładu 620 występowało bardziej suche środowisko facjalne niż w pokładzie 610. Wiąże się z tym także zróżnicowana zawartość liptynytu wyższa, w pokładzie 610 (17–20 %) i niższa w pokładzie 620 (13–16 %).

W próbkach węgla półbłyszczącego stwierdzono stosunkowo niską zawartość substancji mineralnej (maks. do 8 %). Najwyższy udział wykazały siarczki, mniejszy węglany i najmniejszy minerały ilaste.

Węgiel matowy (próbki nr: 3 i 7 – profil I; 13, 15, 19 – profil II) charakteryzuje się zmiennym składem macerałów. W porównaniu z półbłyszczącym, wykazuje wysoką zawartość liptynytu (do 46 % w pokładzie 610 i do 22 % w pokładzie 620) i inertynitu (do 24 % w pokładzie 610 i do 38 % w pokładzie 620) oraz niską zawartość wityrynytu (od 27 do 44 %).

Zróznicowany skład węgla matowego również wskazuje na występowanie w obszarze paleotorfowiska pokładu 610 wyższego poziomu wód niż w paleotorfowisku pokładu 620 [9].

Stosunkowo niski, jak na węgiel matowy jest udział substancji mineralnej (maks. do 4 %).

## **2.2. Zmienność udziału pierwiastków śladowych i podrzędnych w litotypach i ich popiołach oraz profilach pokładów**

W węglu błyszczącym, najwyższy udział we wszystkich próbkach wykazały takie pierwiastki, jak: Pb, Zn, Mn w porównaniu do węgla półbłyszczącego i matowego (tabl. 1 i 3). W pokładzie 610 oprócz wymienionych pierwiastków najwyższy średni udział wykazały również: B, Ba, Ni, a także Ga, natomiast w pokładzie 620—Cu.

W węglu półbłyszczącym pierwiastki śladowe i podrzędne, tj.: Cu, Pb, Zn, Mn i Ga oraz Na i K wykazały przeważnie niższe zawartości lub oscylujące wokół minimalnej zawartości w węglu błyszczącym. W litotypie tym w pokładzie 610 wszystkie pierwiastki wykazały zawartości niższe niż w węglu błyszczącym, natomiast w pokładzie 620 stwierdzono najwyższy średni udział pierwiastków B i Ba.

Niektóre pierwiastki (Ba, Ni, Cu, Pb, Zn oraz Cl, K, Na) w węglu półbłyszczącym wykazały zmienną koncentrację, podobną do zmienności w nim zawartości popiołu, co wyraźnie widać w pokładzie 620 (rys. 1 i 2; tabl. 1–4).

Węgiel matowy wykazał zbliżone zawartości pierwiastków śladowych i podrzędnych do ich udziału w węglu półbłyszczącym lub niższe, jak w przypadku: B, Ba, Pb, Zn, Mn i Ga oraz Cl, K, Na i Ca. W litotypie węgla matowego w pokładzie 610 najwyższy udział wykazała jedynie Cu, a w pokładzie 620, Ni i Mg (tabl. 1–4).

Opisana zmienność zawartości pierwiastków śladowych w litotypach, charakteryzuje się podwyższonym udziałem licznych pierwiastków w węglu błyszczącym. Można to tłumaczyć wyższą absorpcją tych pierwiastków przez kwasy huminowe, tworzące się w największych ilościach w paleotorfowisku podczas rozkładu tkanki roślinnej, głównego składnika materiału wyjściowego dla litotypu węgla błyszczącego.

Zwraca uwagę, że te same pierwiastki śladowe i podrzędne, z nielicznymi wyjątkami (Mg, Ca), w pokładzie 610 wykazują wyższe zawartości niż w pokładzie 620 (tabl. 1–4). Wskazuje to, że na zawartość pierwiastków miał także wpływ zmienny poziom wód w paleotorfowiskach, o czym świadczą wyniki badań składu macerałów w litotypach, jak to opisano w podrozdziale 2.1. Z wyższym poziomem wód w paleotorfowiskach wiąże się podwyższony udział substancji mineralnej i z nią związanych pierwiastków śladowych.

Potwierdza to obserwowana w badanych litotypach prawidłowość pomiędzy zmiennością zawartości części pierwiastków śladowych (np. Ba, Ni, Cu, Pb i Zn) a zawartością popiołu.

Zauważonej wyższej koncentracji pierwiastków śladowych w pokładzie 610 odpowiadał też bardziej słony charakter wód w paleotorfowisku, na który wskazują podwyższone w nim zawartości Cl, Na, K i obniżone – Ca, Mg, w porównaniu z próbkami pokładu 620 (tabl. 2 i 4).

Liczne pierwiastki (np.: B, Ba, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn i Ga, a także Cl, Na, K i Mg) wykazują w tym samym litotypie podwyższoną koncentrację w warstwach położonych najbliżej stropu w profilu pokładu (rys. 1 i 2).

W pokładzie 610 można także zauważyć wzrost udziału pierwiastków, jak np. Mn, Ni, K i Mg w próbkach znajdujących się nad spągami pokładu (rys. 1).

Wskazuje to, że na koncentrację pierwiastków miała także wpływ późniejsza, dia- i epigenetyczna mineralizacja przez wody zewnętrzne [7]. Z uwagi na lepszą dostępność wód do warstw przystropowych i przyspągowych, warstwy te są silniej zmineralizowane i wykazują podwyższoną zawartość pierwiastków śladowych. Świadczy o tym podwyższona popielność próbek pochodzących z tych warstw oraz zmienna zawartość pierwiastków w popiołach wykazująca w licznych przypadkach te same tendencje (tabl. 2 i 4, rys. 1 i 2).

Wyższą zawartość (choć w mniejszym zakresie) niektórych pierwiastków śladowych w węglu z warstw przystropowych wykazał też H. Parzętą [2, 4].

Podwyższony udział pierwiastków stwierdzano dość często w próbkach węgla, występującego w okolicy przerostów skały w pokładzie. W tym jednak przypadku, wzrostowi udziału pierwiastków śladowych, nie zawsze towarzyszy wzrost zawartości popiołu w węglu, co pozwala przypuszczać, że podwyższenie tego udziału nastąpiło głównie w wyniku sorpcji pierwiastków przez materię organiczną.

### 3. Podsumowanie wyników badań i wnioski

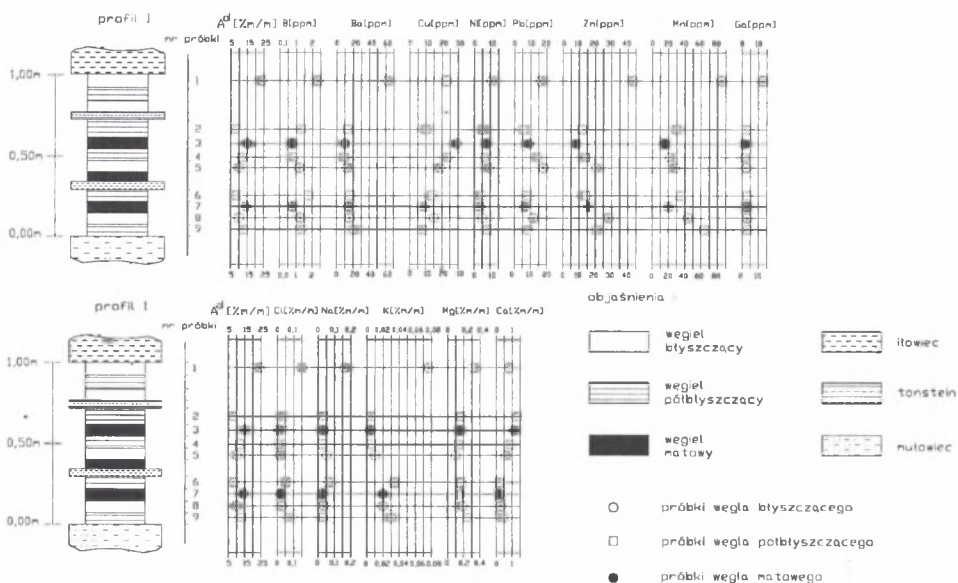
Przeprowadzone badania pozwoliły wykazać zróżnicowaną zmienność zawartości pierwiastków śladowych i podrzędnych w wyróżnionych litotypach, jak i ich popiołach w pokładach 610 i 620.

Na zróżnicowanie tej zmienności mogły mieć wpływ:

- zróżnicowany charakter wyjściowego materiału organicznego, głównie udział w nim tkanki roślinnej i powstających przez jej rozkład, kwasów huminowych,

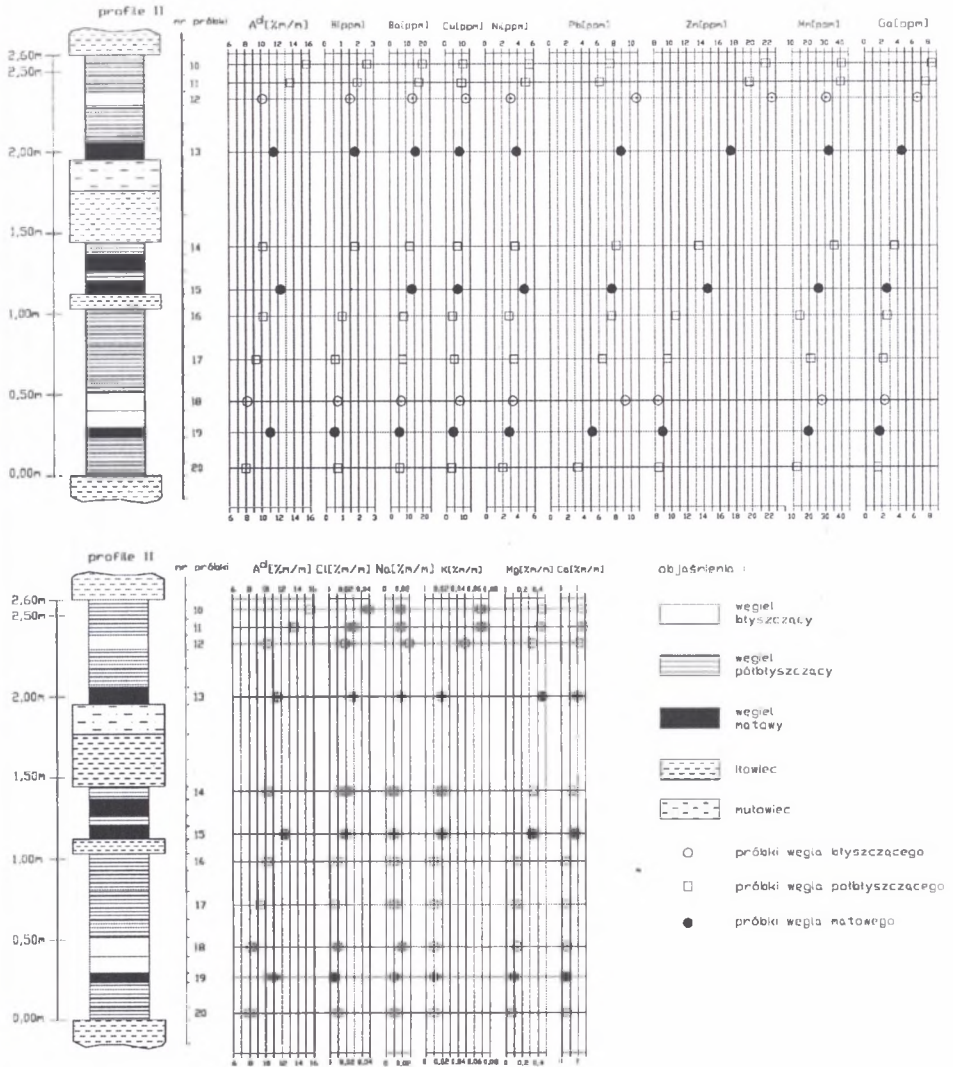
- zróżnicowane warunki geochemiczne pomiędzy paleotorfowiskami, przejawiające się występowaniem przeważnie wyższego poziomu wód, o bardziej słonym charakterze w obszarze pokładu 610 niż w obszarze pokładu 620, co spowodowało podwyższenie koncentracji wielu pierwiastków w pokładzie 610,
- podwyższona mineralizacja warstw węgla, położonych w pobliżu stropu (rzadziej spągu) pokładu, spowodowana przenikaniem wód zewnętrznych, z których wytracała się substancja mineralna – nośnik pierwiastków śladowych.

Z przedstawionych zależności wynika, że skład litotypów w pokładzie węgla ma wpływ na zawartość w nich pierwiastków śladowych i podrzędnych, chociaż należy także mieć na uwadze wyżej wymienione czynniki, także decydujące o zawartości tych pierwiastków.



Rys. 1. Zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych i podrzędnych oraz popiołu w litotypach węgla z pokładu 610 (KWK Sośnica)

Fig. 1. Variability of the trace elements contents and ash in lithotypes of coal from the 610 coal seam (Sośnica Coal Mine)



Rys. 2. Zróżnicowanie zawartości pierwiastków śladowych i podrzędnych oraz popiołu w litotypach węgla z pokładu 620 (KWK Rydułtowy)

Fig. 2. Variability of the trace elements contents and ash in lithotypes of coal from the 620 coal seam (Rydułtowy Coal Mine)

Tablica 1

Udział pierwiastków śladowych w wybranych litotypach i ich popiołach z pokładu 610  
(KWK Sośnica, poz. 950 m)

Litotyp	od-do	B	Ba	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Ga
	śr.	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Węgiel blyszczy	litotyp	<u>1.2 - 2.3</u> 1,6	<u>12.8-62.8</u> 30,7	<u>15.1-22.3</u> 18,9	<u>5.2-10.1</u> 8,2	<u>12.1-17.9</u> 15,6	<u>20.6-40.3</u> 29,4	<u>27.6-88.4</u> 53,4	<u>2.5-12.5</u> 6,0
	popiół	<u>17.2-29.6</u> 21,6	<u>173-256</u> 205,3	<u>72-84</u> 78,3	<u>40-69</u> 55,0	<u>73-89</u> 82,7	<u>161-198</u> 179,3	<u>296-580</u> 424,3	<u>22-51</u> 34,7
Węgiel półblyszczy	litotyp	<u>0.9-1.8</u> 1,4	<u>9.2-20.1</u> 15,2	<u>9.0-23.2</u> 14,2	<u>4.4-7.7</u> 6,0	<u>5.9-14.6</u> 9,3	<u>11.0-21.9</u> 15,4	<u>22.3-63.5</u> 37,9	<u>1.9-3.7</u> 2,9
	popiół	<u>15.8-19.3</u> 17,8	<u>152-194</u> 177	<u>66-83</u> 73,8	<u>43-59</u> 50,4	<u>49-79</u> 64,3	<u>142-167</u> 151,5	<u>281-412</u> 350,8	<u>17-33</u> 26,5
Węgiel matowy	litotyp	<u>0.7-0.8</u> 0,75	<u>10.1-13.1</u> 11,6	<u>9.7-29.9</u> 19,8	<u>4.1-7.5</u> 5,8	<u>6.5-9.3</u> 7,9	<u>9.3-16.1</u> 12,7	<u>15.2-20.4</u> 17,8	<u>1.3-2.9</u> 2,1
	popiół	<u>15-15.6</u> 15,3	<u>151-162</u> 156,5	<u>61-86</u> 73,5	<u>37-56</u> 46,5	<u>58-73</u> 65,5	<u>131-154</u> 142,5	<u>262-275</u> 268,5	<u>15-25</u> 20,0

Tablica 2

Udział pierwiastków podrzędnych w wybranych litotypach i ich popiołach  
z pokładu 610 (KWK Sośnica, poz. 950 m)

Litotyp	od-do	Cl	Na	K	Mg	Ca	A <sup>d</sup>
	śr.	[% m/m]	[% m/m]	[% m/m]	[% m/m]	[% m/m]	[%m/m]
Węgiel blyszczy	litotyp	<u>0.02-0.15</u> 0,07	<u>0.04-0.16</u> 0,08	<u>0.010-0.076</u> 0,037	<u>0.10-0.36</u> 0,22	<u>0.29-0.82</u> 0,58	<u>10.15-24.55</u> 15,17
	popiół	<u>0.21-0.62</u> 0,36	<u>0.37-0.67</u> 0,49	<u>0.10-0.31</u> 0,20	<u>1.54-2.48</u> 2,04	<u>1.73-3.35</u> 2,54	
Węgiel półblyszczy	litotyp	<u>0.01-0.06</u> 0,04	<u>0.02-0.06</u> 0,04	<u>0.005-0.032</u> 0,020	<u>0.12-0.24</u> 0,18	<u>0.25-1.39</u> 0,76	<u>7.73-13.12</u> 10,56
	popiół	<u>0.18-0.34</u> 0,28	<u>0.22-0.47</u> 0,34	<u>0.09-0.24</u> 0,14	<u>1.62-2.31</u> 2,02	<u>1.68-5.42</u> 3,00	
Węgiel matowy	litotyp	<u>0.01-0.02</u> 0,015	<u>0.03</u> 0,03	<u>0.003-0.020</u> 0,012	<u>0.15</u> 0,15	<u>0.21-1.10</u> 0,66	<u>14.80-15.32</u> 15,06
	popiół	<u>0.12-0.25</u> 0,19	<u>0.31-0.35</u> 0,33	<u>0.07-0.19</u> 0,13	<u>1.87-1.97</u> 1,92	<u>1.46-4.53</u> 3,00	



Tablica 3

Udział pierwiastków śladowych w wybranych litotypach i ich popiołach z pokładu 620  
(KWK Rydułtowy, poz. 800 m)

Litotyp	od-do	B	Ba	Cu	Ni	Pb	Zn	Mn	Ga
	śr.	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]	[ppm]
Węgiel blyszczący	litotyp	<u>0.7-1.6</u> 1,2	<u>6.9-14.3</u> 10,6	<u>8.3-12.6</u> 10,5	<u>3.1-3.2</u> 3,15	<u>9.2-10.4</u> 9,8	<u>8.2-22.5</u> 15,4	<u>27.5-30.1</u> 28,8	<u>2.3-6.3</u> 4,3
	popiół	<u>5.8-10.2</u> 8,0	<u>93-120</u> 106,5	<u>67-81</u> 74	<u>29-31</u> 30	<u>63-64</u> 63,5	<u>94-143</u> 118,5	<u>220-235</u> 227,5	<u>28-47</u> 37,5
Węgiel półblyszczący	litotyp	<u>0.6-2.6</u> 1,5	<u>5.2-21.2</u> 12,1	<u>3.2-11.3</u> 6,9	<u>2.0-5.3</u> 3,7	<u>3.3-8.1</u> 41-57	<u>8.3-21.8</u> 13,9	<u>12.1-41.0</u> 27,3	<u>1.7-8.2</u> 4,4
	popiół	<u>5.4-18.5</u> 10,9	<u>82-135</u> 108,8	<u>51-76</u> 63,8	<u>21-45</u> 31,7	<u>41-57</u> 49,2	<u>96-139</u> 111,7	<u>192-261</u> 223,8	<u>23-53</u> 36,3
Węgiel matowy	litotyp	<u>0.5-1.8</u> 1,3	<u>5.7-16.2</u> 12,0	<u>4.6-8.2</u> 6,6	<u>2.9-4.8</u> 3,9	<u>5.1-8.9</u> 7,2	<u>9.7-17.4</u> 13,8	<u>19.1-32.1</u> 26,0	<u>1.9-4.6</u> 3,1
	popiół	<u>5.3-13.5</u> 9,4	<u>84-119</u> 106,0	<u>61-65</u> 62,3	<u>26-37</u> 32,0	<u>45-59</u> 50,7	<u>118-128</u> 122,3	<u>201-235</u> 216,3	<u>26-36</u> 31,0

Tablica 4

Udział pierwiastków podrzędnych w wybranych litotypach i ich popiołach  
z pokładu 620 (KWK Rydułtowy, poz. 800 m)

Litotyp	od-do	Cl	Na	K	Mg	Ca	A <sup>d</sup>
	śr.	[% m/m]	[% m/m]	[% m/m]	[% m/m]	[% m/m]	[%m/m]
Węgiel blyszczący	litotyp	<u>0.01-0.02</u> 0,015	<u>0.00-0.03</u> 0,025	<u>0.013-0.053</u> 0,033	<u>0.13-0.32</u> 0,23	<u>0.42-1.15</u> 0,79	<u>8.13-10.21</u> 9,17
	popiół	<u>0.09-0.20</u> 0,15	<u>0.10-0.16</u> 0,13	<u>0.28-0.41</u> 0,35	<u>1.54-2.50</u> 2,02	<u>1.63-4.13</u> 2,88	
Węgiel półblyszczący	litotyp	<u>0.007-0.05</u> 0,02	<u>0.01-0.02</u> 0,013	<u>0.009-0.071</u> 0,031	<u>0.09-0.47</u> 0,27	<u>0.35-1.41</u> 0,75	<u>8.00-15.71</u> 11,16
	popiół	<u>0.05-0.30</u> 0,18	<u>0.06-0.13</u> 0,09	<u>0.11-0.45</u> 0,28	<u>1.44-3.00</u> 2,14	<u>1.17-5.97</u> 2,91	
Węgiel matowy	litotyp	<u>0.006-0.03</u> 0,019	<u>0.01-0.02</u> 0,013	<u>0.008-0.017</u> 0,015	<u>0.10-0.47</u> 0,30	<u>0.30-1.03</u> 0,74	<u>11.00-13.62</u> 12,28
	popiół	<u>0.05-0.20</u> 0,15	<u>0.07-0.10</u> 0,08	<u>0.11-0.37</u> 0,28	<u>1.52-3.46</u> 2,36	<u>1.22-3.16</u> 2,16	

## LITERATURA

1. Kuhl J.: Substancja mineralna w węglu. Przegląd Górniczy, nr 2, 1980, s. 61-66.
2. Parzenty H.: Różnice w zawartości i sposobie związania niektórych pierwiastków w węglu Górnośląskiego Zagłębia Węglowego w profilu pojedynczego pokładu. Przegląd Górniczy, nr 4, 1989, s. 17-21.
3. Parzenty H.: Związek miedzi, kobaltu i niklu z organiczną i mineralną substancją węgla ze wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przegląd Górniczy, nr 6, 1989, s. 20-23.
4. Parzenty H.: Prawidłowości występowania niektórych pierwiastków śladowych w węglu z pokładu 620 w północno-wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przegląd Górniczy, nr 7-8, 1990, s. 34-38.
5. Parzenty H.: Rola substancji mineralnej w kształtowaniu zawartości cynku, ołowiu i kadmu w węglu ze wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przegląd Górniczy, nr 3, 1990, s. 16-19.
6. Parzenty H.: Zróżnicowanie zawartości ołowiu w węglach i łupkach węglowych z facji limnicznej po rozciągłości Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Przegląd Górniczy, nr 6, 1991, s. 33-36.
7. Riczanow I. V., Judowicz J. E.: K diffuzionnoj teorii riedkometalnogo obogaszczeniya kontaktnych zon ugolnych plastow. Litologija i poleznyje i iskopajemyje, nr 4, 1974, s. 64.
8. Rózkowska A., Ptak B.: Pierwiastki podrzędne i śladowe w górnośląskich węglach kamiennych. Przegląd Geologiczny, vol. 43, nr 6, 1995, s. 478-481.
9. Stach E., Mackowsky M. TH., Teichmüller M., Taylor G. H., Chandra D., Teichmüller R.: Textbook of Coal Petrology. Gebrüder Borntraeger, Berlin – Stuttgart, 1982.
10. Widawska-Kuśmierska J.: Występowanie pierwiastków śladowych w polskich węglach kamiennych. Przegląd Górniczy, nr 7-8, 1981, s. 455-459.
11. Winnicki J.: 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.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki