



Marta KASPRZYK\*, Iwona JELONEK\*\*, Zbigniew JELONEK\*\*\*

## **Charakterystyka petrograficzna oraz oznaczenie rtęci w węglu z pokładu 207 (Górnośląskie Zagłębie Węglowe)**

Streszczenie: W artykule przedstawiono wybrane metody petrograficzne: analizę macerałową, analizę mikrolitotypów, obserwacje we fluorescencji oraz pomiary refleksyjności. Scharakteryzowano materię mineralną występującą w profilu pokładu 207. Oznaczono zawartość rtęci w pokładzie. Na podstawie wykazanych korelacji pomiędzy zawartością rtęci w węglu a zawartością materii mineralnej i materii organicznej można stwierdzić, że wyższa koncentracja rtęci występuje w próbkach zasobnych w materię mineralną.

Słowa kluczowe: węgiel kamienny, macerały, mikrolitotypy, rtęć w węglu, materia mineralna

## **Petrographic characterization and mercury content of coal seam No. 207 (Upper Silesian Coal Basin)**

Abstract: The article presents selected methods: maceral analyses, microlithotype analyses and observation in fluorescence light and reflectance measurements. The mineral matter occurring in coal seam 207 was characterized. The content of mercury in the coal seam was determined. A significant correlation was established between mercury in coal and the content of mineral matter in coal on the basis of the demonstrated correlation coefficient and it can be ascertained that a higher concentration of mercury occurs in samples abundant in mineral matter.

Keywords: hard coal, macerals, microlithotypes, mercury in coals, mineral matter

### **Wprowadzenie**

Niniejsza praca oparta jest na kompleksowych wynikach badań petrograficznych w tym: ilościowej analizie mikrolitotypów, macerałów uzupełnionych analizą ilościową i jakościową

\* Mgr, \*\* Dr, Uniwersytet Śląski, Wydział Nauk o Ziemi, Sosnowiec; e-mail: marta.kasprzyk@us.edu.pl, iwona.jelonek@us.edu.pl

\*\*\* MCKIS, Jaworzno; e-mail: zjelon@icloud.com

wą we fluorescencji oraz pomiarami refleksyjności popartymi badaniami: fizykochemicznymi i mineralogicznymi węgla z pozyskanej próbki słupowej od spągu do stropu pokładu. Badania te są interesujące z uwagi na poznanie warunków panujących w strefie przejściowej pomiędzy węglami brunatnymi twardymi błyszczącymi a węglami *sensu stricte* kamiennymi, a także z punktu technologicznego związanego z uchwyceniem zawartości rtęci w pokładzie, która ma wpływ w procesach takich jak przeróbka i spalanie węgla (Dubieński i in. 2005; Dyrektywa 2010/75/EU).

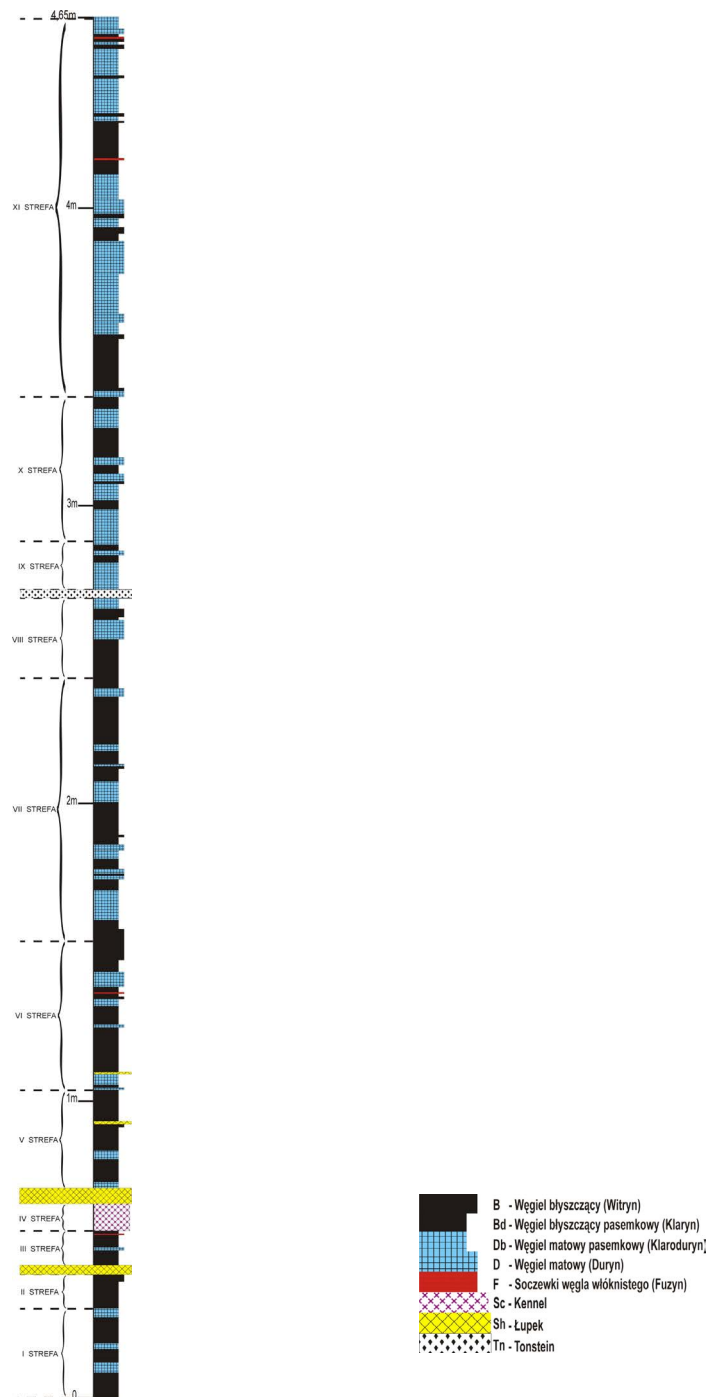
Celem podjętych badań jest wyjaśnienie sposobu występowania rtęci Hg w węglach i wykazanie korelacji między zawartością rtęci a składem petrograficznym. Rtęć jest jednym z pierwiastków występujących w sposób naturalny w pokładach węgla, a jej zawartość zmienia się w szerokich granicach, dla węgla GZW od 29 do 302,6 ppb, natomiast średnio 73,9 ppb (Klojzy-Karczmarczyk i Mazurek 2013; Bojakowska i Sokołowska 2001). Średnie zawartości dla węgla kamiennych GZW podawane przez innych autorów są rozbieżne i mieszczą się w granicach od 50 do 150 ppb (Lorenz i Grudziński 2007; Smoliński 2007). W węglach rtęć może występować w połączeniu z różnymi fazami i związkami, dlatego wyróżnia się trzy typy rtęci: rtęć związana z minerałami ilastymi, materią organiczną oraz siarczkami (Mastalerz i in. 2006). Rola nieorganicznej substancji mineralnej w kumulowaniu Hg w węglach nie jest dostatecznie poznana, a korelację dla rtęci i innych pierwiastków mierzonych w węglach, a także dla analiz technicznych nie zawsze są istotne statystycznie (Bojarska i Bzowski 2015; Michalska i Białecka 2012). Nowatorska w projekcie hipoteza wskazuje na możliwość różnicowania się zawartości rtęci w zależności od submacerału, w którym występuje. Każdy z submacerałów węgla może zawierać różne formy Hg, obecne zarówno w formie związanej z substancją mineralną typową dla danego submacerału, jak również formy związane z samą materią organiczną typową dla danej grupy macerałów (Kokowska-Pawłowska 2014). Według naszej wiedzy, występowanie rtęci w polskich węglach kamiennych obszaru GZW nie było badane pod tym kątem, stąd brak silnej korelacji, obserwowanej przez badaczy w publikacjach może być wynikiem różnych zawartości poszczególnych macerałów czy mikrolitotypów w węglach badanych całościowo.

Do badań wybrano pokład 207 warstw łaziskich, należący do krakowskiej serii piaskowcowej karbonu produktywnego w GZW (Westfal C). Obszar górniczy KWK Jaworzno położony jest we wschodniej części Górnśląskiego Zagłębia Węglowego. Pokłady warstw łaziskich występujące w rejonie Jaworzna mają unikalną pozycję w litostratygrafii (GZW) z uwagi na swój niski stopień uwęglenia oraz charakterystyczne cechy petrograficzne, jak występowanie durytów (Jelonek i in. 2007).

## 1. Przedmiot, zakres i zastosowana metodyka badań

Próbki pokładowe, w tym próbkę słupową, pobrano z pokładu 207 dzięki uprzejmości pracowników z Działu Mierniczo-Geologicznego zgodnie z obowiązującą normą PN-G- 04501:1998.

Uzyskaną próbkę słupową z pełnego profilu pokładu (rys. 1), o wymiarach 30x30 cm podzielono prostopadle do uławicenia od stropu do spągu pokładu na dwie równe części. Jedną część przeznaczono na analizy fizykochemicznej, drugą część pocięto na zglądy (próbki cząstkowe) o grubości około 2,5 cm i szerokości około 3 cm, uzyskując ostatecznie z próbki słupowej 194 preparaty mikroskopowe przeznaczone do analiz petrograficznych.



Rys. 1. Profil makroskopowy pokładu 207 (Jelonek i in., Int. J. of Coal Geology, 2007)

Fig. 1. The macroscopic profile of coal seam No. 207 (acc. to Jelonek et al. Int. J. of Coal Geology, 2007)

### 1.1. Analizy petrograficzne

Badania budowy petrograficznej obejmowały:

- analizę macerałów i substancji mineralnej w świetle białym odbitym z zastosowaniem obiektywu immersyjnego,
- analizę mikrolitotypów przeprowadzono w świetle białym odbitym z zastosowaniem obiektywu immersyjnego,
- obserwacje liptynitów wykonano w świetle fluorescencyjnym odbitym stosując obiektyw immersyjny.

Oznaczenie zawartości macerałów i substancji mineralnej wykonano według polskiej normy PN-ISO 7404-3:2001 oraz ICCP (2001), a mikrolitotypów według polskiej normy PN 93/G-04564 i ICCP (*International Committee for Coal and Organic Petrology*) 1998b. Przeprowadzono analizę jakościową i ilościową w świetle odbitym w imersji olejowej przy powiększeniu obiektywu 50 razy i okularu o powiększeniu 10 razy. Badania oraz dokumentację fotograficzną macerałów wykonano na mikroskopie AXIOPLAN 2 firmy ZEISS z dostawianym stolikiem integracyjnym marki SWIFT.

### 1.2. Analiza stopnia uwęglenia

Oznaczono wskaźnik refleksyjności dla:

- stopnia uwęglenia na podstawie zdolności odbicia światła wityrynitów.

Pomiary współczynnika stopnia uwęglenia wykonano zgodnie z polską normą PN – ISO 74045: 2002. Dokonywano pomiarów średniej refleksyjności w świetle niespolaryzowanym dla macerałów z grupy wityrynitów (kolotelinitów). Analizy zdolności odbicia światła na wityrynicie wykonano przy użyciu mikroskopu AXIOPLAN 2 firmy ZEISS, który wyposażono w obiektyw immersyjny o powiększeniu 50 razy.

### 1.3. Analiza fizykochemiczna węgla

Badania w zakresie analizy technicznej i elementarnej wykonano w Laboratorium Chemii Analitycznej w Ośrodku Badawczo-Rozwojowym Gospodarki Energetycznej w Katowicach. Próbki węgla do badań przygotowano zgodnie z polską normą PN-90/G-04502.

Wykonano następujące analizy zgodnie z obowiązującymi normami:

W zakresie analizy technicznej wykonano:

- zawartość wilgoci PN-80/G-04511,
- zawartość popiołu PN-80/G-04512/Az 1:2002,
- zawartość części lotnych PN-G-04516:1998,
- wartość ciepła spalania PN-81/G-04513.

W analizie elementarnej oznaczano zawartości następujących pierwiastków:

- węgla i wodoru PN-90/G-04525,
- siarki całkowitej PN-77/G-04514.08.

#### 1.4. Analiza składu mineralnego oraz rtęci w badanych węglach

Analizy metodą skaningowej mikroskopii elektronowej wykonano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego HITACHI S-4700 z systemem mikroanalizy Noran Vantage, w Pracowni Mikroskopii Skaningowej Uniwersytetu Jagiellońskiego. Napięcie wynosiło 20 kV przy natężeniu wiązki 20 nA.

Pomiar zawartości rtęci całkowitej dla badanych węgli wykonano na analizatorze DMA-80 firmy Milestone. Próbkę w pierwszej kolejności zostały zmielone do ziarna 0,5 mm, następnie wysuszone w piecu w strumieniu tlenu O<sub>2</sub> w temp. 200°C, następnie próbki mineralizowano (dekompozycja, spalanie, rozkład) w temp. 650°C. W procesie tym z próbki uwalniane były związki rtęci Hg; jednocześnie powstały uboczne produkty gazowe, takie jak tlenki azotu NO<sub>x</sub>, tlenki siarki SO<sub>x</sub> i halogenki. Uwolnione związki rtęci Hg oraz gazowe produkty uboczne powędrowały do tuby katalitycznej (tlenki kobaltu i manganu) za pomocą medium, którym był tlen O<sub>2</sub>, gdzie uboczne produkty gazowe powodujące referencję zostały zlikwidowane. Następnie lotne związki rtęci Hg zostały przeniesione do tzw. złotej pułapki Au czyli do amalgamatora, w którym nastąpiło selektywne wyłapanie rtęci. Powstał amalgamat Au – Hg w temp. około 170°C, kolejno piec amalgamatora osiągnął temp. 850°C i rtęć atomowa Hg została uwolniona do amalgamatu. Pozostała część produktów spalania skierowała się za pomocą gazu nośnego jakim jest tlen O<sub>2</sub> do wylotu aparatu. Rtęć, która została uwolniona, przeszła do układu dwóch kuwet (cel, komór) pomiarowych. Kuwety te ustawiono w osi optycznej aparatu. Tak zastosowana konfiguracja pozwala na pomiar rtęci Hg metodą absorbcyjną spektrometrii atomowej. Lampa rtęciowa jest źródłem promieniowania i to ona wysyła promieniowanie o długości fali  $\lambda = 253,65$  nm, wysyłając wiązkę do układu cel pomiarowych. Znajdujące się w kuwetach pomiarowych atomy rtęci są w stanie podstawowym, gdzie pochłaniają promieniowanie przychodząc tym samym w stan wzbudzony. Promieniowanie, które nie zostało pochłonięte przez atomy rtęci przechodzi do dekodera pomiarowego (krzemowa dioda UV) i jest mierzona absorbancją ABS tzn. logarytm dziesiętny ze stosunku natężenia promieniowania wchodzącego do cel pomiarowych I<sub>0</sub> do natężenia promieniowania wychodzącego (niepochłoniętego) z celi pomiarowej I. Kolejno z otrzymanej absorbancji program przeliczył bezwzględną ilość rtęci Hg w próbce [ng] oraz wyliczył stężenie przyjmując jednostkę np. [μg/kg].

Limit detekcji zastosowanego analizatora rtęci DMA-80 wynosi 0,005 ng Hg.

## 2. Wyniki badań

### 2.1. Ocena stopnia uwęglenia

Stopień uwęglenia oceniono na podstawie pomiarów refleksyjności wityrynytu, a dokładnie kolotelinitu oraz wyników chemicznych. Na podstawie badań współczynnika zdolności odbicia światła R<sub>0</sub>, który zmienia się w zakresie od 0,34% (próbka nr 1-28-106) do 0,48% (próbka nr 1-33-150); analizy fizykochemicznej w tym: wilgoć w stanie analitycznym występująca w ilości od 5,26% do 17,56%, a wartość średnia wynosi 9,97% i ciepła spalania występującego w przedziale od 24MJ/kg do 26MJ/kg, wartość średnia wynosi 25MJ/kg –

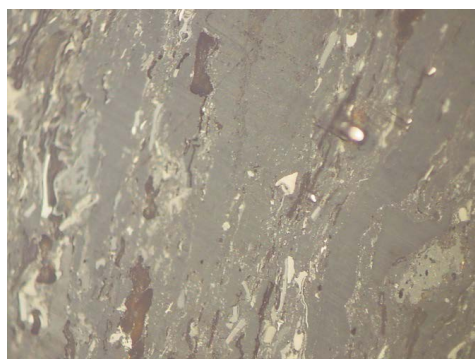
sklasyfikowano badany węgiel do poszczególnej kategorii, która odpowiada w klasyfikacji polskiej węglom brunatnym twardym błyszczącym.

## 2.2. Analizy petrograficzne

### 2.2.1. Analiza macerałowa i materii mineralnej

W niniejszej pracy stosowano klasyfikację zalecaną przez ICCP (2001). Wydzielono 20 macerałów, które opisano szczegółowo zwracając uwagę na barwę, zdolność refleksyjną, morfologię, relief oraz stopień zachowania.

GRUPA WITRYNITU występuje w ilości od 25 (próbka nr 1-25) do 67,1% (próbka nr 1-21) w przeliczeniu na 100% materii węglowej (rys. 2–3). Uwzględniając materię mineralną zawartość wityrynytu zmienia się w zakresie od 24 (próbka nr 1-25) do 65,3% (próbka nr 1-21). Macerały występujące w tej grupie to: telinit, kolotelinit, wirodetrynit, kolodetrynit, korpożelinit, żelinit.



Rys. 2. Kolodetrynit, światło białe odbite, pow. 500x w immersji olejowej

Fig. 2. Kolodetrinite, white reflected light, oil immersion, 500x



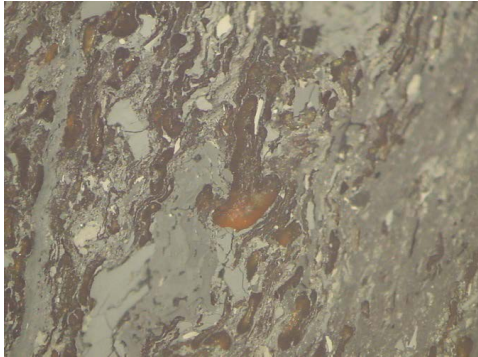
Rys. 3. Telinit, światło białe odbite, pow. 500x w immersji olejowej

Fig. 3. Telinite, white reflected light, oil immersion, 500x

GRUPA LIPTYNITU występuje w ilości od 4,5 do 36,3% w przeliczeniu na 100% materii węglowej (rys. 4–5). Uwzględniając materię mineralną zawartość liptynytu zmienia się w zakresie od 4,4 do 35,5%. Macerały występujące w tej grupie to: sporynit, kutynit, rezynit, eksudatynit, fluorynit, bituminit, alginit liptodetrynit.

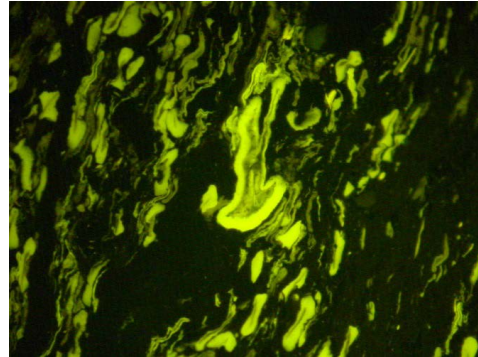
GRUPA INERTYNITU występuje w ilości od 22,6 do 53,3% w przeliczeniu na 100% materii węglowej (rys. 6–7). Uwzględniając materię mineralną zawartość inertynytytu zmienia się w zakresie od 20,2 do 51,8%. Macerały występujące w tej grupie to: fuzynit, semifuzynit, mikrynit, makrynit, sklerotynit, inertodetrynit.

MATERIA MINERALNA w badanych węglach występuje w ilości od 0,7 do 13,6%. Podwyższona koncentracja materii mineralnej związana jest najprawdopodobniej z obecnością przerostów, w tym tonsteinu oraz łupków ilastych. Średnia wartość materii mineralnej w całym profilu pokładu wynosi 3,5%.



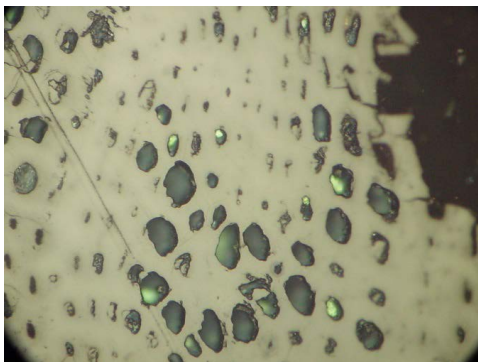
Rys. 4. Sporynit, światło białe odbite, pow. 500x w immersji olejowej

Fig. 4. Sporinite, white reflected light, oil immersion, 500x



Rys. 5. Ten sam obraz jak na rys. 4

Fig. 5. The same image as in Fig. 4 UV light



Rys. 6. Semifuzynit, światło białe odbite, pow. 500x w immersji olejowej

Fig. 6. Semifusinite, white reflected light, oil immersion, 500x



Rys. 7. Fuzynit, światło białe odbite, pow. 500x w immersji olejowej

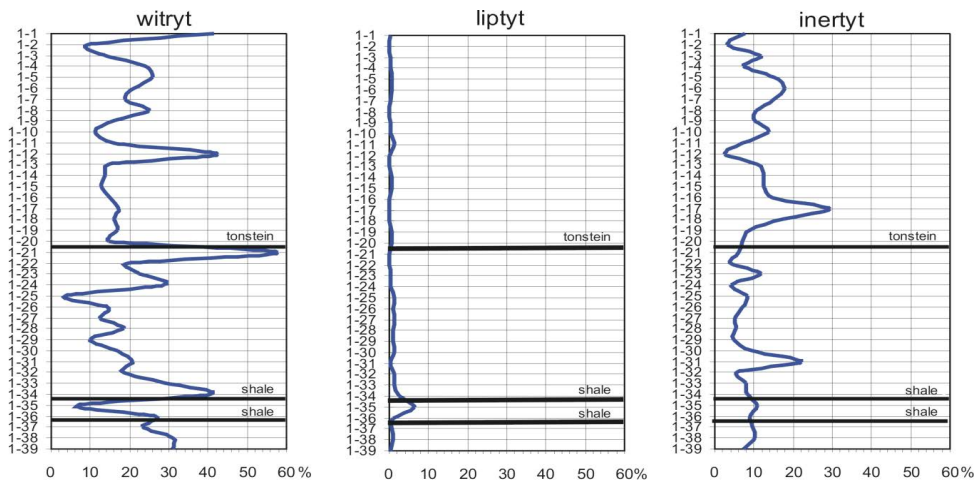
Fig. 7. Fusinite, white reflected light, oil immersion, 500x

### 2.2.2. Analiza mikrolitotypów

Mikrolitotypy podzielono na trzy grupy: monomaceralne, bimaceralne i trimaceralne, które wyróżniono pod mikroskopem w immersji olejowej stosując światło białe odbite. Mikrolitotypy to warstewki i soczewki węgla o grubości równej lub większej niż 50  $\mu\text{m}$ .

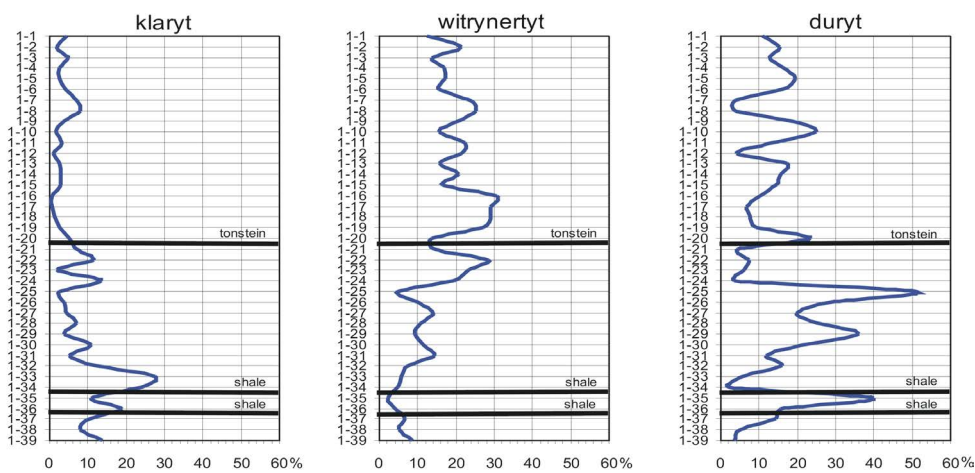
Mikrolitotypy monomaceralne zbudowane są z jednego macerału, co oznacza, że co najmniej 95% mierzonego pola przypada na jeden macerał. Wyróżniono w tej grupie: wityt, liptyt, inertyt. Proporcje udziału tej grupy w całym profilu pokładu 207 przedstawiono na rysunku 8.

Mikrolitotypy bimaceralne zbudowane są z dwóch macerałów, gdzie ich suma mierzona w polu pomiaru nie była mniejsza niż 95%. Wyróżniono w tej grupie: klaryt, witynertyt, duryt. Proporcje udziału tej grupy w całym profilu pokładu 207 przedstawiono na rysunku 9.



Rys. 8. Proporcje występowania mikrolitotypów monomaceralnych w pokładzie

Fig. 8. The proportions of occurrence microlithotypes mono-macerals in coal seam

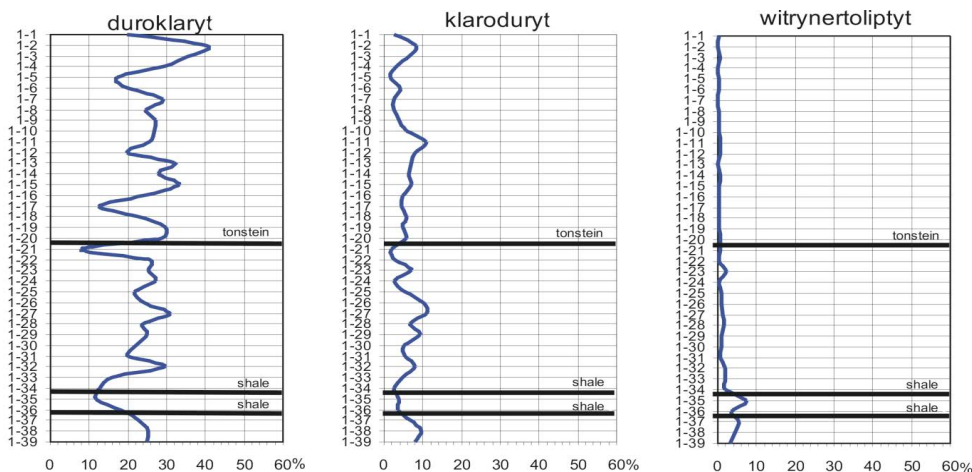


Rys. 9. Proporcje występowania mikrolitotypów bimaceralnych w pokładzie

Fig. 9. The proportions of occurrence microlithotypes bi-macerals in coal seam

Mikrolitotypy trimaceralne obejmują wszystkie trzy grupy macerałów występujących w różnych proporcjach, co wiąże się z wydzieleniem trzech trimacerytów: duroklaryt, kladururyt, witynertolipytyt. Proporcje udziału tej grupy w całym profilu pokładu 207 przedstawiono na rysunku 10.





Rys. 10. Proporcje występowania mikrolitotypów trimaceralnych w pokładzie

Fig. 10. The proportions of occurrence microlithotypes tri-macerals in coal seam

### 2.2.3. Obserwacje we fluorescencji macerałów z grupy liptynit

Analizę wykonano stosując klasyfikację zalecaną przez ICCP (2001).

Wydzielono dziewięć macerałów z grupy liptynit oraz ekspulsje bituminów do olejka immersyjnego. Analizę wykonano w imersji olejowej z zastosowaniem lampy fluorescencyjnej. Obserwacje mikroskopowe przebadanych 194 preparatów mikroskopowych z pokładu 207 (śledząc pokład od spągu) wykazują: dominację sporynit, w tym bardzo duże ławice megaspor o zróżnicowanej fluorescencji widoczne nawet makroskopowo oraz podwyższoną zawartość liptodetrynit. Charakterystyczna jest także obecność bituminów (w tym eksudatynit) oraz występowanie fluorynit, trudnych do zidentyfikowania w świetle białym. Na uwagę zasługują zmiany ilościowej zawartości macerałów z grupy liptynit pomiędzy przerostami łupku ilastego, a także ilościowe i jakościowe zmiany występowania liptynit powyżej tonsteinu. Uwagę zwraca próbka nr 1-35, w której liptynit występuje w ilości 45,02% (głównie sporynit) w przeliczeniu na 100% materii organicznej i 35,5% z uwzględnieniem materii mineralnej oraz wysoką koncentrację lamalginitu, co wskazuje, że jest to węgiel sapropelowy typu boghed.

### 2.3. Skład mineralny badanych węgli

Wykonane badania składu mineralnego węgla pozwoliły na identyfikację faz mineralnych oraz określenie zawartości metali ciężkich. Głównym składnikiem jest piryt, który występuje najczęściej w postaci dużych agregatów o szkieletowej budowie. Wielkość piritowych agregatów wynosi od 300  $\mu\text{m}$  do 500  $\mu\text{m}$ , a najwięcej oznaczono ich w próbce 1-34. Ponadto piryt występuje w formie pojedynczych, wydłużonych listewek, których długość nie przekracza 15  $\mu\text{m}$ .

Do głównych składników należy także galena, która występuje w formach o regularnych kształtach i wielkości od 2  $\mu\text{m}$  do 10  $\mu\text{m}$ . Ponadto oznaczono siarczki Mn, Ni, Cu i Zn, których wielkość nie przekracza 8  $\mu\text{m}$ . Zawartości metali ciężkich w badanych węglach są niższe w próbkach od 1-1 do 1-18, a ich średnie wartości wynoszą dla Mn – 17 ppm, Ni – 6 ppm, Cu – 8 ppm, Pb – 37 ppm i Zn – 26 ppm. W pozostałych próbkach wartości te są o kilka ppm wyższe, a dla Zn średnią zawartość oznaczono na poziomie 585 ppm.

Oznaczone w badanych węglach fosforany ziem rzadkich to głównie monocyty cerowe, które zawierają zmienne ilości Ce, La, Nd i Th. Monocyty występują najczęściej w postaci drobnych cząstek o nieregularnych kształtach, których wielkość nie przekracza 3  $\mu\text{m}$ . Ponadto identyfikowano cząstki o składzie monocytu, których wielkość przekracza 10  $\mu\text{m}$ , i które noszą ślady rozpuszczania. W próbkach 1-16 i 1-17 oraz 1-35, 1-37 i 1-39 identyfikowano fosforany ciężkich ziem rzadkich, takich jak Gd, Dy i Yb.

Z pozostałych faz mineralnych, które zostały oznaczone wymienić należy baryt, gips oraz w ilościach śladowych halit, kaolinit, illit i kwarc.

#### 2.4. Oznaczenie rtęci

Do dalszych badań na zawartość rtęci z całego profilu pokładu wydzielono w sumie 39 próbek węgla. Przeprowadzone badania wykazały pewne zróżnicowanie zawartości rtęci Hg w poszczególnych macerałach węgla oraz dobrą korelację z zawartością materii mineralnej obserwowanej w świetle białym odbitym. Na podstawie otrzymanych wartości współczynnik korelacji wyniósł 0,79% i wykazał, że najlepiej rtęć koresponduje z materią mineralną, a skład macerałowy nieznacznie wpływa na jego koncentrację. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

Największe wartości rtęci odnotowano w próbkach 1-36, 1-34, 1-33, 1-32, 1-31, znajdujących się pomiędzy tonsteinem a pierwszym łupkiem ilastym idąc od stropu pokładu. W próbkach tych materia mineralna osiągnęła największe wartości przy jednoczesnym spadku macerałów z grupy inertynitu.

#### Podsumowanie i wnioski

W prezentowanym artykule przedstawiono charakterystykę petrograficzną węgla oraz jak zmienia się zawartość rtęci w pokładzie 207, który należy do warstw łaziskich (Krakowska Seria Piaskowcowa) występujący w obszarze górniczym ZG Sobieski. Na podstawie szczegółowych badań zaobserwowano następujące zależności:

- Na podstawie stopnia uwęglenia mierzonego od powierzchni wityrynytu (kolotelinitu) badany węgiel w międzynarodowej klasyfikacji Europejskiej Komisji Gospodarczej (ECE-UN, 1998) odpowiada słabo uwęglonym węglom (subbitumicznym) w przedziale A.
- Analizy przeprowadzone we fluorescencji wykazały wyższą zawartość liptynytu, a w szczególności liptodetrynytu w porównaniu z wynikami analiz wykonanych w świetle białym.
- Wspomniana powyżej wysoka średnia zawartość liptynytu (głównie sporynytu i liptodetrynytu), mogła mieć wpływ na podwyższoną wartość ciepła spalania w stosunku

TABELA 1. Zawartość macerałów, materii mineralnej oraz średnia Hg w pokładzie

TABLE 1. The content of macerals and mineral matter and average Hg in coal seam

Numer próbki	Liptynit [%]	Witrynit [%]	Inertynit [%]	Materia mineralna [%]	Średnia zawartość Hg [µg/g](ppm)
1-1	9,8	55,3	31,8	3,1	0,065
1-2	14,0	57,3	28,7	0,0	0,004
1-3	16,7	47,3	35,3	0,7	0,016
1-4	10,9	49,7	36,7	0,7	0,008
1-5	19,3	48,0	32,0	0,7	0,006
1-6	10,3	46,9	41,5	1,3	0,031
1-7	14,7	49,3	35,3	0,7	0,067
1-8	13,4	45,4	41,2	0,0	0,006
1-9	13,8	47,2	37,4	1,6	0,112
1-10	15,4	44,0	39,5	1,1	0,076
1-11	12,1	51,3	35,9	0,7	0,007
1-12	8,0	56,7	33,3	2,0	0,138
1-13	13,3	46,0	40,0	0,7	0,007
1-14	14,4	46,5	36,8	2,3	0,176
1-15	15,1	47,7	35,3	1,9	0,012
1-16	11,7	41,3	44,7	2,3	0,026
1-17	4,4	40,9	51,8	2,9	0,033
1-18	8,7	44,4	45,4	1,5	0,021
1-19	9,9	47,5	40,8	1,8	0,012
1-20	17,6	43,5	35,6	3,3	0,215
Tonstein					
1-21	6,6	65,3	25,4	2,7	0,012
1-22	18,4	52,6	27,3	1,7	0,005
1-23	12,0	50,4	33,6	4,0	0,097
1-24	15,5	59,0	23,1	2,4	0,009
1-25	28,1	24,0	43,9	4,0	0,028
1-26	20,5	38,5	37,2	3,8	0,012
1-27	18,6	43,2	34,6	3,6	0,015
1-28	16,7	45,2	35,2	2,9	0,015
1-29	21,6	35,3	39,1	4,0	0,025
1-30	18,3	45,2	34,2	2,3	0,027
1-31	12,8	41,8	42,3	3,6	0,219
1-32	18,9	46,6	30,4	4,1	0,254
1-33	21,4	48,3	20,2	10,1	0,328
1-34	16,1	49,6	20,7	13,6	0,759
Łupek ilasty					
1-35	35,5	27,4	35,5	1,6	0,064
1-36	23,7	42,6	27,5	6,2	0,264
Łupek ilasty					
1-37	20,3	46,2	30,5	3,0	0,019
1-38	18,3	50,4	28,6	2,7	0,023
1-39	14,2	49,3	33,4	3,1	0,016
<b>min</b>	<b>4,4</b>	<b>24,0</b>	<b>20,2</b>	<b>0,7</b>	<b>0,004</b>
<b>max</b>	<b>35,5</b>	<b>65,3</b>	<b>51,8</b>	<b>13,6</b>	<b>0,759</b>
<b>średnia</b>	<b>16,2</b>	<b>45,7</b>	<b>34,6</b>	<b>3,5</b>	<b>0,083</b>

do pozostałych parametrów, jak refleksyjność wityrynytu, i parametrów geochemicznych.

- Na podstawie szczegółowego profilu makroskopowego oraz kompleksowych analiz petrograficznych w tym mikrolitotypów zostało wydzielonych jedenaście stref facjalnych w całym profilu pokładu.
- Średnia zawartość rtęci w 39 próbkach węgla wynosi 0,083  $\mu\text{g/g}$  (ppm). Wartość minimalna wynosi 0,004  $\mu\text{g/g}$  (ppm), a wartość maksymalna osiągnęła 0,759  $\mu\text{g/g}$  (ppm).
- Większe koncentracje rtęci zaobserwowano w próbkach, w których wzrasta zawartość materii mineralnej, a spada zawartość inertynitu.
- Zmienna zawartość macerałów z grupy wityrynytu, inertynitu i liptynytu w poszczególnych interwałach pokładu nie wpłynęła znacząco na koncentrację rtęci.
- Minerale ilaste występują w postaci oddzielnych ziaren, tworząc soczewki lub nieregularne skupienia w wityrycie, klarycie i trimacerycie, a także w formie rozproszonej, wypełniając komórki telinitu, semifuzynitu i fuzynitu.
- Minerale węglanowe mają charakter epigenetyczny i wypełniają szczeliny i spękania nieciągłości lub komórki semifuzynitu i fuzynitu.
- Siarczki najczęściej impregnują komórki w semifuzynicie i fuzynicie (epigeneza), a także występują w formie pojedynczych syngenetycznych ziaren lub kongrecji oraz wypełniają szczeliny i spękania tworząc duże nieregularne epigenetyczne formy. Zaobserwowano piryty w postaci pseudomorfozy po fuzynicie.
- Kwarc występuje w formie pojedynczych ziaren.

W celu zweryfikowania czy zachodzą i potwierdzają się dalsze korelacje pomiędzy materią mineralną i materią organiczną a koncentracją rtęci autorzy planują przeprowadzić kolejne badania, biorąc pod uwagę całe profile pokładów między innymi z KWK Bolesław Śmiały oraz KWK Budryk. W sumie dzięki uprzejmości działów geologicznych na dzień dzisiejszy jest już pobranych sześć pokładów węgla.

## Literatura

- Aleksa i in. 2007 – Aleksa, H., Dyduch, F. i Wierchowski, K. 2007. *Chlor i rtęć w węglu i możliwości ich obniżenia metodami przeróbki mechanicznej*. R. 31, z. 3/1, s. 35–48.
- Bojakowska, I. i Sokołowska, G. 2001. Rtęć w kopalniach w Polsce jako potencjalne źródło zanieczyszczenia środowiska. *Biuletyn PIG* 394, s. 5–54.
- Bojarska, K. i Bzowski, Z. 2015. Ocena zawartości rtęci w węglu kamiennym polskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Wiadomości Górnicze* 12, s. 657–662.
- Dubiński i in. 2005 – Dubiński, J., Turek, M. i Aleksa, H. 2005. Węgiel kamienny dla energetyki zawodowej w aspekcie wymogów ekologicznych. *Prace Naukowe GIG. Górnictwo i Środowisko* 2, s. 5–21.
- Dyrektywa, 2010 – Dyrektywa 2010/75/EU w sprawie emisji przemysłowych. Wymóg prowadzenia pomiarów emisji całkowitej rtęci w źródłach opalanych węglem.
- UN–ECE, 1998 – International al classification of in-seam coals. ENERGY/1998/19. United Nations, Geneva and New York, 1998 (EUCORES 56).
- ICCP (International Committee for Coal and Organic Petrology), 1998a. The new vitrinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 77, s. 349–358.
- ICCP (International Committee for Coal and Organic Petrology), 2001. The new inertinite classification (ICCP System 1994). *Fuel* 80, s. 459–471.
- ICCP (International Committee for Coal and Organic Petrology), 1998b. Microlithotype. 4th and last draft, September 1998, 18 s.

- Jelonek i in. 2007 – Jelonek, I., Kruszewska, K.J. i Filipiak, P. 2007. Liptinite as an indicator of environmental changes during formation of Coal seam No. 207 (Upper Silesia, Poland). *International Journal of Coal Geology* 71, s. 471–487.
- Klojzy-Karczmarczyk, B. i Mazurek, J. 2013. Studies of mercury content in selected coal seams of the Upper Silesian Coal Basin. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 29, z. 4, s. 95–106.
- Kokowska-Pawłowska M., 2014 – Zależność pomiędzy zawartością pierwiastków szkodliwych w litotypach węgla i ich popiołach (pokład 405, GZW). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* t. 30, z. 2, s. 51–66.
- Lorenz, U. i Grudziński, Z. 2007. Zawartość rtęci jako potencjalny czynnik ograniczający wartość użytkową węgla kamiennego i brunatnego. *Górnictwo i Geoinżynieria* R. 31, z. 3/1, s. 335–349.
- Mastalerz i in. 2006 – Mastalerz, M., Drobnik, A. i Filippelli, G. 2006. *Mercury Content of Indiana Coals*. Research of Indiana Geological Survey, Indiana University.
- Michalska, A. i Białecka, B. 2012. Zawartość rtęci w węglu i odpadach górnictwa. *Prace Naukowe GIG Górnictwo i Środowisko* 3, s. 73–87.
- PN-G-04501: 1998. Węgiel kamienny i antracyt. Pobieranie próbek pokładowych bruzdowych.
- PN-90/G-04502. Węgiel kamienny i brunatny. Metoda pobierania i przygotowania próbek do badań laboratoryjnych.
- PN-80/G-04511. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości wilgoci.
- PN-80/G-04512/Az 1: 2002. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości popiołu metodą wagową (Zmiana Az 1).
- PN-G-04516: 1998. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości części lotnych metodą wagową.
- PN-81/G-04513. Paliwa stałe. Oznaczanie ciepła spalania i obliczanie wartości opałowej.
- PN-90/G-04525. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości węgla i wodoru.
- PN-77/G-04514.08. Paliwa stałe. Oznaczanie zawartości siarki. Obliczanie zawartości siarki palnej.
- PN-ISO 7404-2: 2005. Metody analizy petrograficznej węgla kamiennego (bitumicznego) i antracytu. Część 2: Metoda przygotowania próbek węgla.
- PN-ISO 7404-3: 2001. Metody analizy petrograficznej węgla kamiennego (bitumicznego) i antracytu. Część 2: Metoda oznaczania składu grup macerałów.
- PN 93/G - 04564. Węgiel kamienny. Analiza petrograficzna. Oznaczanie zawartości mikrolitotypów, karbominerytu i skały płonej.
- PN-ISO 74045: 2002. Metody analizy petrograficznej węgla kamiennego (bitumicznego) i antracytu. Część 5: Metoda mikroskopowa oznaczania refleksyjności wityrynytu.
- Smoliński, A. 2007. Energetyczne wykorzystanie węgla źródłem emisji rtęci – porównanie zawartości tego pierwiastka w węglach. *Ochrona powietrza i problemy odpadów* 2, 238, s. 45–53.

