

# Wpływ zawartości grup macerałów na wybrane parametry sorpcyjne w średnio uwęglonych próbkach węgla z południowej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

KATARZYNA GODYŃ, BARBARA DUTKA

*Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków*

## Streszczenie

Analizom poddano siedem próbek węgla cechujących się niemal identycznym stopniem uwęglenia (węgle średnio uwęglone o  $R_0 = \sim 1.1\%$ ). Próbki pochodziły z pokładów zlokalizowanych w rejonie Zofiówki. Przeprowadzono mikroskopowe analizy petrograficzne, z uwzględnieniem punktowej analizy ilościowej oraz badania sorpcyjne metodą grawimetryczną przy użyciu analizatora sorpcji IGA-001. Określono pojemność sorpcyjną węgla pod ciśnieniem metanu 1 bar w czterech temperaturach: 25°C, 35°C, 45°C oraz 55°C. Na podstawie wykonanych analiz przedstawiono wpływ składu macerałowego na pojemność sorpcyjną węgla. Widoczna jest wyraźna korelacja pomiędzy tymi parametrami. Wykazano, że w analizowanych próbkach wzrost zawartości witrinitu wpływa na redukcję pojemności sorpcyjnej węgla, natomiast zwiększenie zawartości inertynitu powoduje wzrost tego parametru. Zauważono również, że otrzymane zależności są silniejsze, gdy pomiar sorpcji przeprowadzony jest w wyższej temperaturze.

**Słowa kluczowe:** węgiel kamienny, metan, pojemność sorpcyjna, macerały

## 1. Wstęp

Metan znajdujący się w węglu występuje w dwóch odmiennych formach. Ponad 95% jego całkowitej zawartości zdeponowane jest w porach o wymiarach molekularnych, czyli mikroporach i submikroporach węgla [Gray, 1987]. Gaz ten, zgromadzony w postaci zasorbowanej na ściankach porów, określa pojemność magazynową pokładów [Moore, 2012]. Stanowi ponadto największą część metanu, jaką można pozyskać z węgla drogą naturalną, poprzez uwolnienie w procesie desorpcji [Żyła (red.), 2000]. Drugą z form występowania jest metan wolny, który stanowi integralny składnik układu makroporów, pęknięć i szczelin węgla.

Parametrem, który w sposób ilościowy określa zdolność węgla do akumulacji gazu jest pojemność (chłonność) sorpcyjna  $a$ , wyznaczana w stanie równowagi sorpcyjnej układu węgiel-gaz. Wyznaczenie tego parametru wymaga izotermicznego pomiaru sorpcji metodą objętościową lub grawimetryczną [Zhang et al., 2013]. Najważniejszymi czynnikami mającymi wpływ na pojemność sorpcyjną węgla są: ciśnienie, temperatura, stopień metamorfizmu substancji węglowej, zawartość wilgoci oraz obciążenie. Wedle dotychczasowej wiedzy związanej z opisem układu węgiel-gaz, znaczący wpływ na strukturę porowatą węgla oraz jego pojemność sorpcyjną ma skład petrograficzny. Węgiel kamienny wykazuje niejednorodną budowę [Bukowska et al., 2016], która wynika ze zróżnicowanej prasubstancji roślinnej tworzącej pokłady węgla oraz z procesów uwęglenia: diagenety i metamorfizmu [Czapliński, 1994]. Analizując właściwości węgla kamiennych jako specyficznych kolektorów gazów, trudno nie uwzględnić wpływu składu petrograficznego na zdolność węgla do zdeponowania gazów.

Rozpoznawalne makroskopowo składniki petrograficzne, występujące w węglu to tzw. litotypy. Różne litotypy posiadają odmiennie właściwości sorpcyjne, ponieważ zostały utworzone ze zróżnicowanego materiału roślinnego. Litotypy węgla kamiennego zbudowane są z mniejszych składników – macerałów, możliwych do identyfikacji jedynie w skali mikro. Macerały dzielą się na trzy zasadnicze grupy: grupę

witrynit, inertynit i liptynit. Poszczególne grupy macerałów charakteryzują się różną porowatością oraz odmienną strukturą porów, a cechy te mają zasadniczy wpływ na pojemność sorpcyjną węgla.

Badania dotyczące wpływu składu macerałowego na pojemność sorpcyjną węgla dają zróżnicowane wyniki. Wielu autorów potwierdziło, że przy tym samym stopniu uwęglenia węgle błyszczące (bogate w witrynit) mają większą pojemność sorpcyjną niż węgle matowe (o przewadze inertynitu) [Crosdale et al., 1998; Chalmers i Bustin, 2007; Dutta et al., 2011; Pan et al., 2012; Weishauptová et al., 2015]. Pomimo, iż witrynit jest z natury mniej porowaty od inertynitu, to charakteryzuje się wyższym udziałem mikroporów [Walker et al., 2001]. Część badań pokazuje jednak, że również węgle inertynitowe mogą charakteryzować się zwiększoną pojemnością sorpcyjną [Hemza et al., 2009].

Laxminarayana i Crosdale (1999) stwierdzili, że wpływ składu macerałowego na pojemność sorpcyjną węgla zależy od stopnia uwęglenia. Chalmers i Bustin [2007] sugerowali, że skład macerałów ma większy wpływ na procesy sorpcyjne w przypadku węgla o wyższym stopniu uwęglenia, ze względu na znaczną ich mikroporowatość. Laxminarayana i Crosdale [1999], przeciwnie do Chalmersa i Bustina [2007] wykazali, że skład macerałowy australijskich węgla z Zagłębia Bowen ma większy wpływ na pojemność sorpcyjną węgla słabiej zmetamorfizowanych. Według Jureczka et al. [2005], w południowo-zachodniej części GZW występują przede wszystkim węgle wyżej zmetamorfizowane o niskiej zawartości popiołu, dlatego wpływ składu macerałowego na pojemność sorpcyjną nie może być jednoznacznie określony. Podobnie autorzy prac [Laxminarayana i Crosdale, 1999, 2002; Mastalerz et al., 2004; Faiz et al., 2007; Weniger et al., 2012] nie znaleźli związku pomiędzy zdolnością sorpcyjną i składem macerałowym. Przyczyną braku obserwowanego wpływu udziału macerałów na pojemność sorpcyjną mogą być różne zdolności sorpcyjne macerałów w obrębie grupy inertynitu (znacznie większa mikroporowatość semifuzynitu w porównaniu do fuzynitu).

Interesujące wnioski pochodzą z pracy Hemzy et al. [2009], którzy badali węgle z czeskiej części GZW. Wykazali oni, że wzrost zawartości inertynitu w węglach posiadających od 0 do 50% macerałów tej grupy wpływa na redukcję pojemności sorpcyjnej węgla względem metanu, natomiast w węglach o większej zawartości inertynitu (>50%), wpływa na zwiększenie pojemności sorpcyjnej.

Celem pracy jest ocena wpływu zawartości poszczególnych grup macerałów na pojemność sorpcyjną węgla przy podwyższonym ciśnieniu metanu, zmierzoną w różnych temperaturach.

## 2. Obszar badań

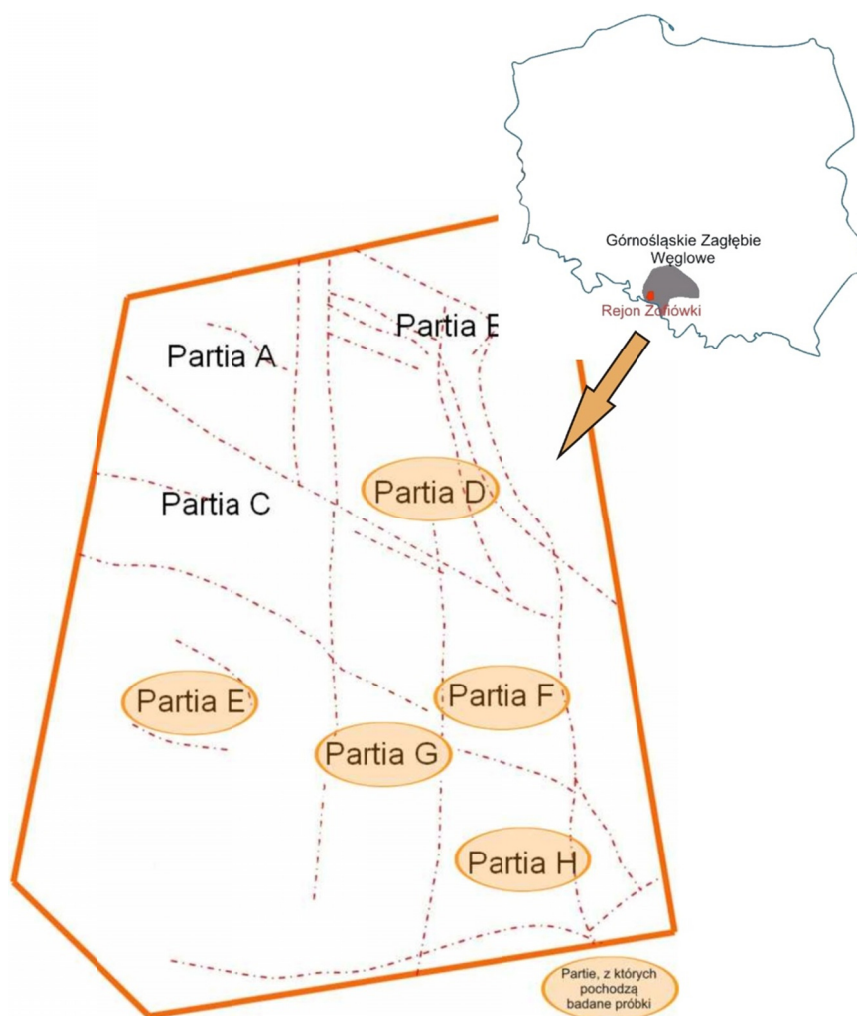
Obszar badań zlokalizowany jest w obrębie Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. Formacja ta została utworzona podczas orogenezy waryscyjskiej, głównie w fazie asturyjskiej [Gabzdyl, 1994]. Jest to zapadlisko przedgórskie wykształcone w postaci synklinarnej niecki, wypełnione węglonośnymi utworami karbonu górnego [Osika, 1987; Gabzdyl, 1994].

Obszar Zagłębia podzielono na trzy strefy różniące się stylem tektoniki. Jest to strefa fałdowa, fałdowo-blokowa oraz dysjunktywna [Kotas 1972]. Strefa tektoniki dysjunktywnej (blokowej), obejmuje przeważającą część GZW. Geneza tego obszaru wiąże się z blokową budową podłoża GZW, a głównym elementem strukturalnym są tam uskoki. Istotny wpływ na budowę tej strefy i całego Zagłębia miała również orogeneza alpejska. Duża liczba uskoków powstałych podczas orogenezy waryscyjskiej uległa w tym czasie odmłodzeniu a także zwiększyły się ich amplitudy.

Materiał do badań został w całości pobrany z pokładów węgla należących do obszaru Górniczego Ruchu Zofiówka kopalni „Borynia-Zofiówka-Jastrzębie”. Ruch Zofiówka położony jest w tzw. monoklinie Zofiówki [Probierz et al., 2012], którą w całości obejmuje oddziaływanie tektoniki dysjunktywnej. Przecinające karbońskie pokłady węgla uskoki podzieliły ten obszar na poszczególne partie (Rys. 1). Ruchy tektoniczne spowodowały, że poszczególne bloki obszarów objętych wpływem tektoniki dysjunktywnej, a co za tym idzie poszczególne pokłady, zostały przedzielone uskokami i zalegają obecnie na różnych głębokościach.

Ruch Zofiówka został podzielony jest na siedem partii oznaczonych literami od B do H (Rys. 1). Badania opisane w pracy przeprowadzone zostały na siedmiu próbkach węgla pobranych z pokładów zalegających na obszarze górniczym tej kopalni. Próbkę została pobrana z partii złoża D, E, G, F oraz H.

Analizy petrograficzne analizowanych węgla oraz badania sorpcyjne wykonano w laboratorium stereologicznym oraz Układu Węgiel-Metan Instytutu Mechaniki Górotworu PAN w Krakowie, natomiast pomiar współczynnika refleksyjności witrynit wykonano w Instytucie Geoniki Czeskiej Akademii Nauk w Ostrawie, w ramach współpracy międzynarodowej.



Rys. 1. Obszar górnicy Ruchu Zofiówka z naniesionymi partiami złoża (materiały uzyskane dzięki JSW)

### 3. Metodyka badań

#### 3.1. Analizy mikroskopowe

W ramach pracy przeprowadzono analizy petrograficzne próbek węgla. Polegały one na ocenie cech petrograficznych osadów oraz wykonaniu punktowej analizy ilościowej, obejmujące główne grupy macerałów (witrynit, inertynit i liptynit) oraz substancji mineralnej. Do oceny stopnia uwęglenia wykonano pomiary refleksyjności witrynit  $R_0$ . Analizy zrealizowano zgodnie z zaleceniami Międzynarodowego Komitetu Węgla i Petrologii Organicznej (ICCP), dotyczącymi analizy petrograficznej węgla kamiennego i antracytu [PN-ISO 7404-2:2005, PN-ISO 7404-3:2001 oraz PN-ISO 7404-5:2002]. Badania obejmujące ocenę cech petrograficznych oraz analizy ilościowe przeprowadzono na mikroskopie polaryzacyjnym Axioplan firmy Zeiss ze sterowanym komputerowo mechanicznym stolikiem XYZ. Zgłady analizowano w świetle białym odbitym, w immersji olejowej, przy powiększeniu 500 razy.

Punktowe analizy ilościowe wykonano na 1500 punktach pomiarowych, leżących w siatce kwadratowej, pokrywającej większą część powierzchni zgładu. Analizę ilościową przeprowadzono w oparciu o zasadę Cavalieri-Hacqueta, wg której „procentowa zawartość danej fazy w objętości stopu (tu: skały), na płaszczyźnie szlifu i długość prostej jest taka sama [Ryś, 1995].

Pomiary, mające na celu określenie stopnia uwęglenia badanych utworów, zostały wykonane dla każdej próbki węgla. Przeprowadzono pomiar refleksyjności średniej  $R_0$ , na pozbawionych zanieczyszczeń i wtrąceń fragmentach macerału z grupy witrynit – kolotelinitu. Do pomiarów wykorzystano mikroskop polaryzacyjny Olympus BX50, stosując powiększenie 400 razy. Zgłady analizowano w świetle monochromatycznym, odbitym od powierzchni macerału, przy zastosowaniu immersji. Wyniki opracowano w oparciu o system analizy obrazu „LUCIA Vitrinite” [Klika, 2014].

### 3.2. Badania sorpcyjne

Badania sorpcyjne polegały na pomiarze pojemności sorpcyjnej węgla pod ciśnieniem metanu 1 bar ( $a_{1\text{bar}}$ ) w czterech temperaturach: 25°C, 35°C, 45°C oraz 55°C. Do badań przeznaczono próbki węgla o klasie ziarnowej 0.125 mm÷0.160 mm, w stanie powietrzno-suchym. Pomiary sorpcyjne przeprowadzono metodą grawimetryczną, przy zastosowaniu, będącego na wyposażeniu Pracowni Mikromerytyki IMG PAN, analizatora sorpcji IGA-001 (*Intelligent Gravimetric Analyser*) firmy Hiden Isochema. Jest to narzędzie badawcze o szerokim spektrum możliwości, wykorzystywane przez jednostki naukowe do badań właściwości sorpcyjno-dyfuzyjnych węgla kamiennych. Zasada grawimetrycznego pomiaru sorpcji polega na bezpośrednim pomiarze zmian masy próbki do chwili osiągnięcia przez układ stanu równowagi sorpcyjnej. Przed każdym pomiarem następowało odgazowanie próbki węgla w temperaturze 80°C do ciśnienia około  $10^{-6}$  mbar. Wyniki przeliczono na warunki standardowe (STP) i czystą substancją węglową.

## 4. Wyniki badań

### 4.1. Petrografia węgla

Analizowane próbki węgla pobrano z pokładów zlokalizowanych w wąskim obszarze (rejon Zofiówki). Węgłe te należą do warstw rudzkich, budujących górną część górnośląskiej serii piaskowcowej [Gabzdyl, 1994]. Próbki posiadają niemal identyczny stopień uwęglenia. Pomiar refleksyjności wityryny ( $R_0$ ) wykazał, że wartość ta zmienia się w zakresie 1.07÷1.12% (Tab. 1) Według standardów międzynarodowych, jest to wartość refleksyjności charakterystyczna dla węgla o średnim stopniu uwęglenia (*medium rank*) typ B [UN-ECE, 1998].

Tab. 1. Skład petrograficzny węgla, refleksyjność wityryny oraz pojemność sorpcyjna w różnych temperaturach

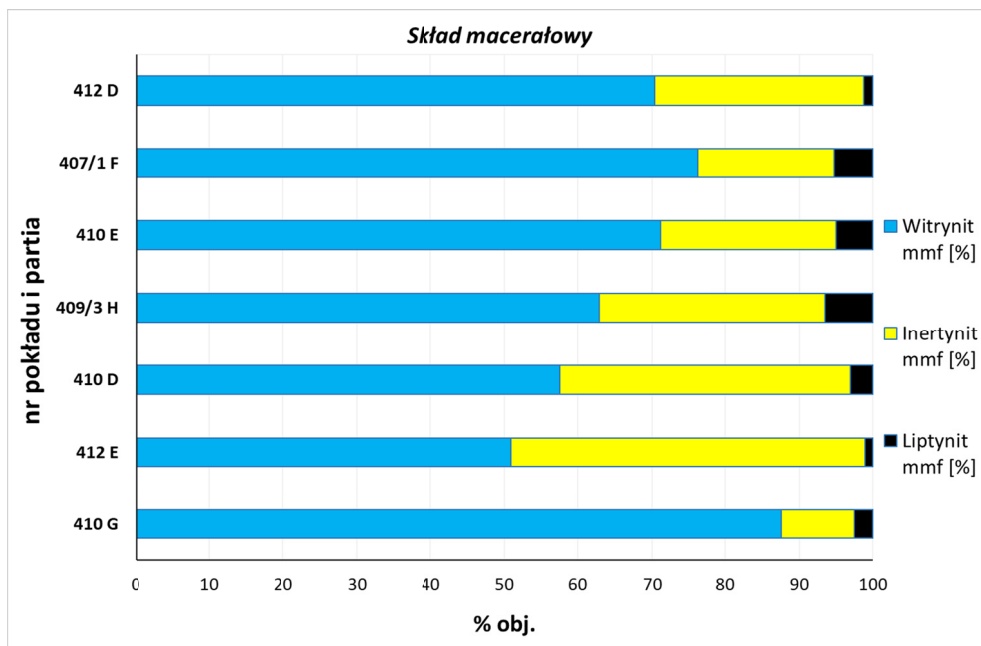
Próbka (pokład oraz partia)	Wityrynit mmf* [%]	Inertynit mmf [%]	Liptynit mmf [%]	Substancja mineralna [%]	Refleksyjność wityryny $R_0$ [%]	$a_{1\text{bar}}$ 25°C [cm <sup>3</sup> /g]	$a_{1\text{bar}}$ 35°C [cm <sup>3</sup> /g]	$a_{1\text{bar}}$ 45°C [cm <sup>3</sup> /g]	$a_{1\text{bar}}$ 55°C [cm <sup>3</sup> /g]
410 G	87,55	9,78	2,67	3,43	1,07	2,51	2,15	1,77	1,33
412 E	50,89	48,07	1,04	9,53	1,07	2,88	2,46	2,06	1,64
410 D	57,49	39,37	3,14	1,97	1,09	2,97	2,51	2,06	1,61
409/3 H	62,9	30,55	6,55	1,44	1,09	2,9	2,39	1,97	1,51
410 E	71,09	23,8	5,11	2,56	1,10	3,06	2,54	2,03	1,52
407/1 F	76,12	18,5	5,38	0,39	1,11	2,43	2,08	1,75	1,45
412 D	70,33	28,44	1,23	17,97	1,12	2,64	2,25	1,92	1,51

\* mmf (ang.) – zawartość poszczególnych grup macerałów przeliczona na stan wolny od substancji mineralnej.

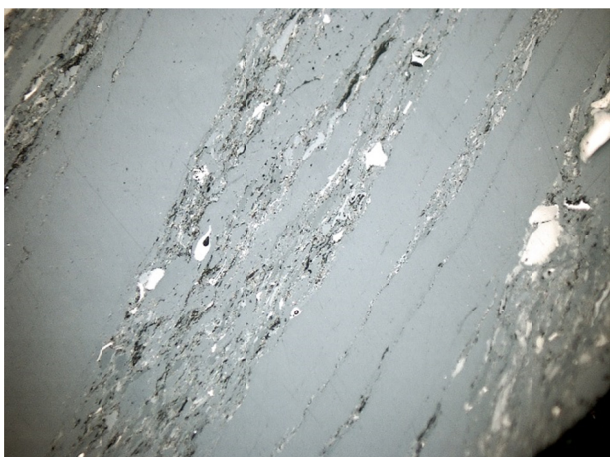
Wszystkie analizowane próbki należą do węgla błyszczących, z dominującą zawartością wityryny (od 51 do 88% obj.) (Tab. 1, Rys. 2). Głównym składnikiem budującym grupę wityryny (Fot. 1, 2, 5) jest kolotelinit, lecz pojawia się także telinit, korpożelinit czy żelinit. Jedynie w próbce z pokładu 410, z partii D macerałów grupy wityryny jest niemal tyle samo co inertynytu (Tab. 1). W grupie macerałów inertynitowych, których zawartość w próbkach kształtuje się między 10 a 48% (Tab. 1, Rys. 2), dominuje semifuzynit, fuzynit, inertodetrynit, rzadziej funginit i in. (Fot. 2-4). Zawartość macerałów z grupy liptynytu jest niewielka (od 1.0 do 6.5% obj.). Macerały tej grupy są reprezentowane przede wszystkim przez sporynit, czasem kutynit (Fot. 4). Wszystkie węgle wykazują budowę pasemkową, podkreśloną niekiedy przez smugi substancji mineralnej, prawdopodobnie ilastej (Fot. 1). Analizowane próbki cechują się zbliżoną budową i składem macerałowym, różnią się niekiedy składem i zawartością substancji mineralnej. Zawartość tego składnika waha się od 0.5 aż do 18% obj. (Tab. 1, Rys. 2). Dominującą rolę w tych osadach odgrywa substancja ilasta bądź węglanowa, obserwowano także piryty typu framboidalnego (Fot. 1, 5, 6).

### 4.2. Pojemność sorpcyjna węgla w różnych temperaturach

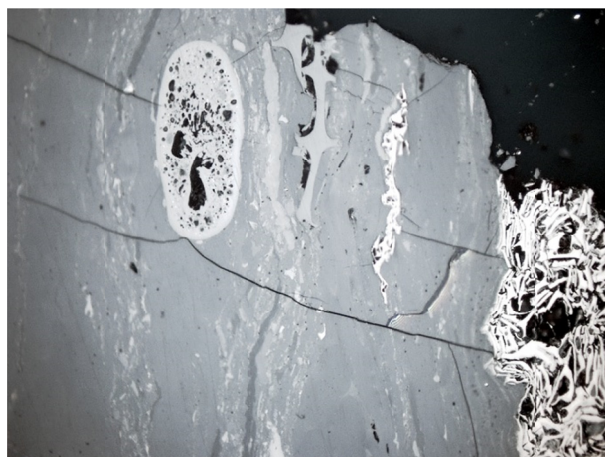
W tabeli 1 przedstawiono wyniki grawimetrycznych badań sorpcyjnych dla 7 próbek węgla. Zestawienie obejmuje wartości pojemności sorpcyjnej  $a_{1\text{bar}}$  zmierzonych w temperaturze 25°C, 35°C, 45°C oraz 55°C. Analiza uzyskanych wyników pokazuje, że pojemność sorpcyjna wszystkich badanych węgla



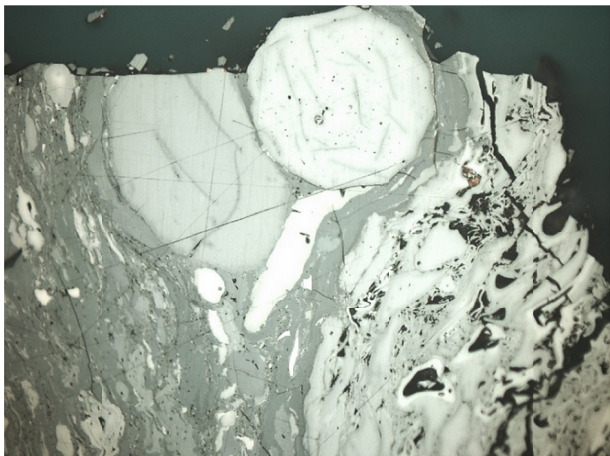
Rys. 2. Zawartość głównych grup macerałów w analizowanych próbkach



Fot. 1. Pr. 410 D. Witrynit z widocznymi smugami substancji mineralnej oraz drobnymi fragmentami inertodetrynitów.  
Pow. 500×, imersja



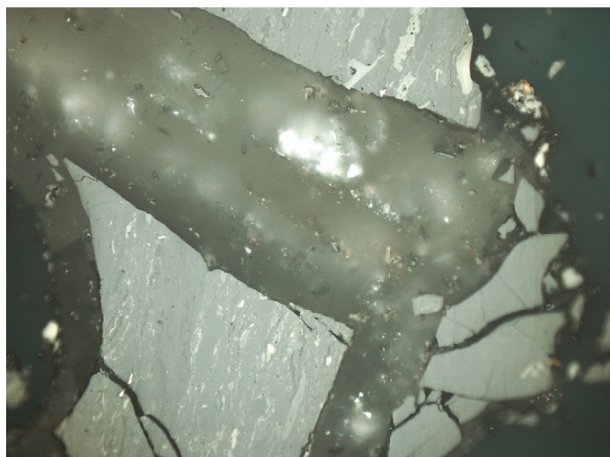
Fot. 2. Pr. 409/3 H Lekko spękany węgiel zbudowany głównie z macerałów grupy witrynitów oraz inertynitów.  
Pow. 500×, imersja



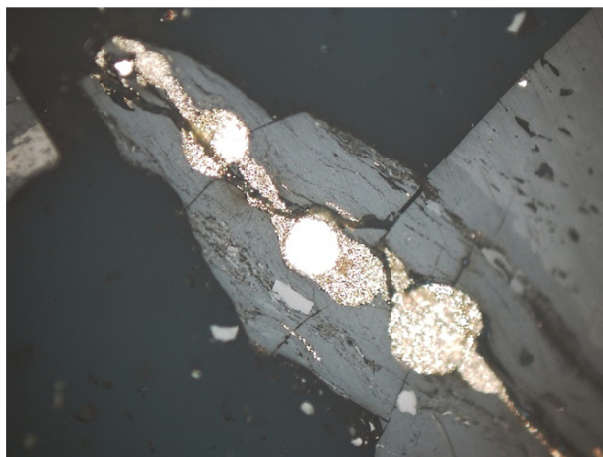
Fot. 3. Pr. 410 E Macerały grupy inertynitów.  
Pow. 500×, imersja



Fot. 4. Pr. 412 E pow. Fragment węgla zbudowany z macerałów grup witrynitów, inertynitów oraz liptynitów (makrospora – w centrum zdjęcia). Pow. 500×, imersja



Fot. 5. Pr. 410 E Witrynitowy fragment węgla z dużą domieszką substancji mineralnej. Pow. 500×, imersja



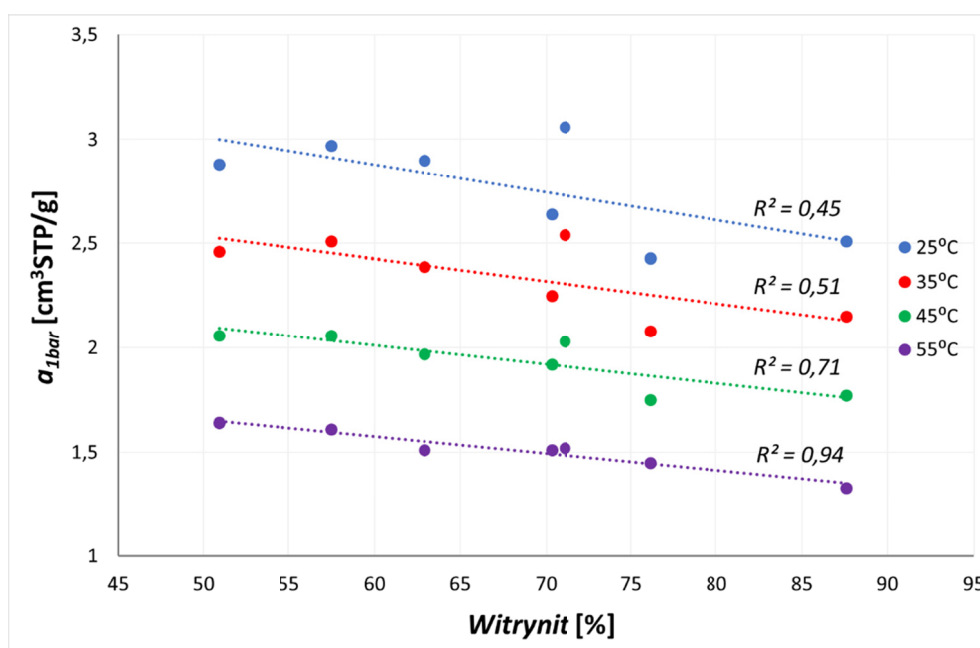
Fot. 6. Pr. 412 E Piryt framboidalny. Pow. 500×, imersja

względem metanu maleje ze wzrostem temperatury. Zjawisko zmniejszania pojemności sorpcyjnej ze wzrostem temperatury układu węgiel-metan zostało potwierdzone doświadczalnie w szerokim zakresie temperatur powyżej 273 K [Levy et al., 1997; Wierzbicki i Dutka, 2010; Weniger et al., 2012; Wierzbicki, 2013], jak również w temperaturach poniżej 273 K [Wang et al., 2015]. Efekt ten, opisany szeroko w literaturze, wynika z faktu, iż sorpcja cząsteczek gazu (również metanu) jest procesem egzotermicznym [Sircar, 1992]. Zauważyć należy, że najbliższa rzeczywistej temperaturze złożowej badanych pokładów jest temperatura 35°C, więc wartości sorpcyjne uzyskane w tym zakresie są zbliżone do warunków *in situ*.

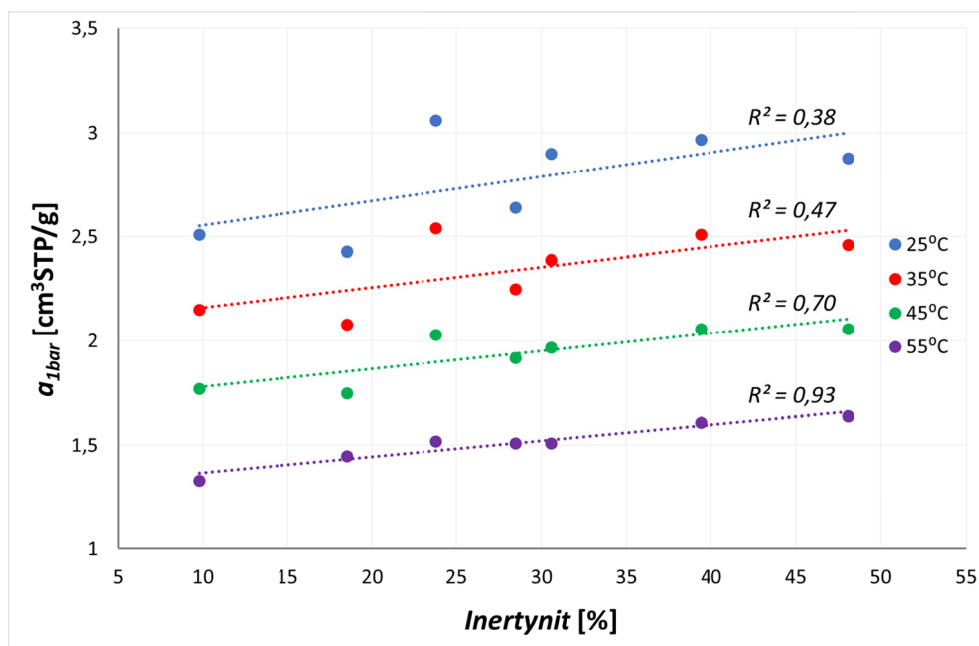
### 4.3. Wpływ składu macerałowego na pojemność sorpcyjną węgla

Na podstawie uzyskanych wyników badań mikroskopowych oraz sorpcyjnych przeanalizowano wpływ zawartości poszczególnych grup macerałów na pojemność sorpcyjną węgla pod ciśnieniem 1 bar, w różnych temperaturach. Otrzymano zależności przedstawione na wykresach (Rys. 3-5).

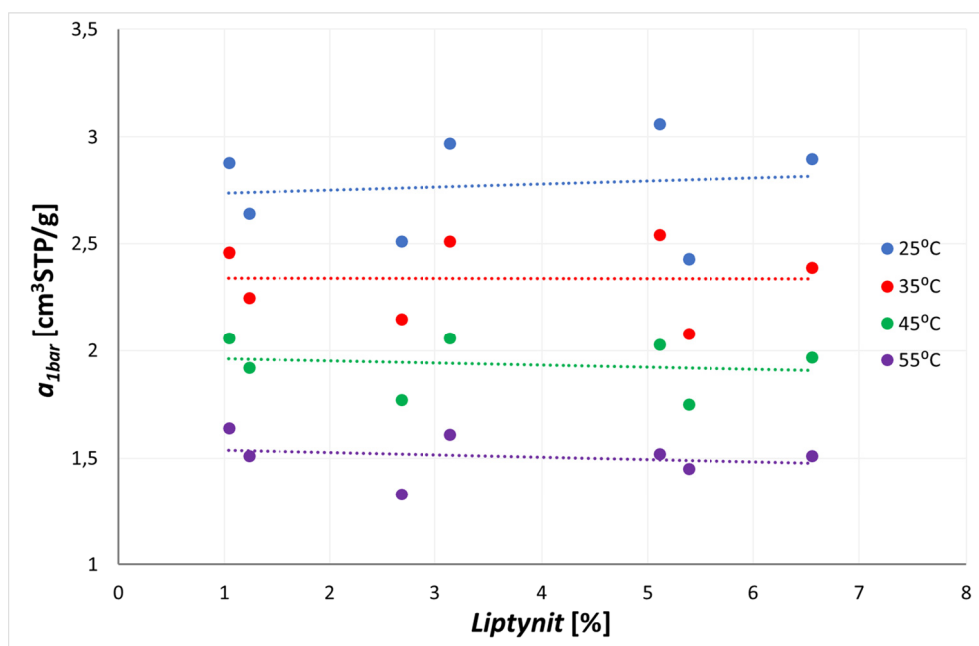
W analizowanych próbkach węgla widoczna jest korelacja pomiędzy pojemnością sorpcyjną węgla  $a_{1\text{bar}}$  i składem macerałowym. We wszystkich analizowanych temperaturach zwiększenie udziału



Rys. 3. Zależność pomiędzy pojemnością sorpcyjną węgla i zawartością witrinitu – różne temperatury



Rys. 4. Zależność pomiędzy pojemnością sorpcyjną węgla i zawartością inertynitu – różne temperatury



Rys. 5. Wpływ zawartości liptynitu na pojemność sorpcyjną węgla – różne temperatury

macerałów grupy witrynit w węglu wpływa na zmniejszenie zawartości sorbowanego metanu, podczas gdy wzrost udziału macerałów grupy inertynitu wpływa na zwiększenie pojemności sorpcyjnej węgla (Rys. 3-4). W najwyższej temperaturze zależności te są najsilniejsze. Z uwagi na niewielką zawartość macerałów grupy liptynitu w analizowanych próbkach, nie zauważono wpływu tego składnika na sorpcję metanu (Rys. 5).

Od wielu lat trwają dyskusje naukowców na temat wpływu składu macerałowego węgla na zdolność sorbowania gazów kopalnianych. Jak wynika z literatury, wpływ składu petrograficznego na sorpcję metanu jest nadal niejasny, jednak część publikacji podaje pewne zależności i ogólne tendencje zmian pojemności sorpcyjnej węgla ze składem petrograficznym [Mastalerz, 2004]. Wątpliwości naukowców uzasadnia znaczna niejednorodność węgla pochodzących z różnych zagłębi i okresów geologicznych.

W pracy Laxminarayana i Crosdale [1999] sugerowano, że wpływ składu macerałowego na pojemność sorpcyjną różni się w zależności od stopnia uwęglenia. W przypadku węgla słabiej uwęglonych, wzrost

zawartości macerałów grupy wityrynytu wiąże się ze zwiększeniem zdolności sorpcyjnych węgla względem metanu. Badacze ci przypuszczali, że dla węgla o wyższym niż średni stopniu uwęglenia, zmiany w składzie macerałowym mogą mieć stosunkowo mały wpływ na zdolność węgla do sorpcji.

Uzyskane w niniejszej pracy wyniki mogą wyjaśnić rezultaty zawarte w pracy Gagarina [2007], który analizował wpływ składu macerałowego na pojemność sorpcyjną węgla o średnim stopniu uwęglenia ( $R_0 = 0.8-1.4\%$ ). Według wniosków zawartych w pracy, sorpcja metanu dla węgla średnio uwęglonych jest od 1.5 do 2 razy większa dla macerałów grupy inertynitu niż dla grupy wityrynytu. Ponadto, dla węgla o niskim ( $R_0 < 0.6\%$ ) i wysokim ( $R_0 > 2.1\%$ ) stopniu metamorfizmu słuszny będzie efekt odwrotny.

Zważywszy na fakt, że badane węgle pochodzą z obszaru górniczego tej samej kopalni i posiadają niemal identyczny stopień uwęglenia ( $R_0 = 1.07-1.12\%$ ), więc są to węgle o średnim stopniu uwęglenia, to otrzymane zależności (Rys. 3-4) są zgodne z danymi literaturowymi dotyczącymi węgla o średnim stopniu uwęglenia.

## 5. Podsumowanie

Przedstawiona praca miała na celu określenie wpływu składu macerałowego na pojemność sorpcyjną węgla pod ciśnieniem metanu 1 bar. Analizy przeprowadzono w czterech temperaturach. Dla 7 próbek o jednakowym stopniu uwęglenia (*medium rank*), pochodzących z jednego rejonu, wykazano, że wzrost zawartości wityrynytu wpływa na redukcję pojemności sorpcyjnej, natomiast wzrost zawartości inertynitu powoduje wzrost tego parametru. Nie stwierdzono wpływu liptynytu na sorpcję metanu. Wiedza na temat zmienności pojemności sorpcyjnej węgla z petrografią stanowi istotny element opisu układu węgiel-metan, w szczególności, że zdania na ten temat są w dalszym ciągu podzielone.

Praca powstała w ramach prac statutowych IMG PAN oraz polsko-czeskiego wspólnego projektu badawczego na lata 2017-2019

## Literatura

- Bukowska M., Sanetra U., Wadas M., 2016: *Zonation of deposits of hard coals of different porosity in the Upper Silesian Coal Basin*. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* 32 (1), Pages 5-24.
- Chalmers G.R.L., Bustin R.M., 2007: *On the effects of petrographic composition on coalbed methane sorption*. *International Journal of Coal Geology* 69, Pages 288-304.
- Crosdale P.J., Beamish B.B., Valix M., 1998: *Coalbed methane sorption related to coal composition*. *International Journal of Coal Geology* 35, Pages 147-158.
- Czapliński A., 1994: *Węgiel Kamienny*, Wydawnictwa AGH, Kraków.
- Dutta P., Bhowmik S., Das S., 2011: *Methane and carbon dioxide sorption on a set of coals from India*. *International Journal of Coal Geology* 85, Pages 289-299.
- Faiz M., Saghafi A., Sherwood N., Wang I., 2007: *The influence of petrological properties and burial history on coal seam methane reservoir characterisation*. Sydney Basin, Australia. *International Journal of Coal Geology* 70, Pages 193-208.
- Gabzdyl W., 1994: *Geologia złóż węgla: złoża świata*. Warszawa: Polska Agencja Ekologiczna.
- Gagarin S. G., 2007: *Influence of petrographic characteristics of coal on its methane sorption*. *Coke and Chemistry*.
- Gray I., 1987: *Reservoir Engineering in Coal Seams: Part 1-The physical process of gas storage and movement in coal seams*. *SPE Reservoir Engineering* vol. 2, no 1.
- Hemza P., Sivek M., Jirásek J., 2009: *Factors influencing the methane content of coal beds of the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin, Czech Republic*. *International Journal of Coal Geology* 79 (1-2), Pages 29-39.
- Jureczka J., Dopita M., Gałka M., Krieger W., Kwarciniński J., Martinec P., 2005: *Geological Atlas of Coal Deposits of the Polish and Czech Parts of the Upper Silesian Coal Basin*. Geological Institute, Ministry of Environment, Warsaw.
- Klika Z., Serenčíšová J., Kožušníková A., Kolomazník I., Študentová S., Vontorová J., 2014: *Multivariate statistical assessment of coal properties*. *Fuel Processing Technology* 128, Pages 119-127.
- Kotas A., 1972: *Ważniejsze cechy budowy geologicznej GZW na tle pozycji tektonicznej i budowy głębokiego podłoża utworów produktywnych*. [W:] *Problemy geodynamiki i tąpnięć*, 1. Komitet Górnictwa PAN, Kraków: 5-55.
- Laxminarayana C., Crosdale P., 1999: *Role of coal type and rank on methane sorption characteristics of Bowen Basin, Australia coals*. *International Journal of Coal Geology* 40, Pages 309-325.
- Laxminarayana C., Crosdale P.J., 2002: *Controls on methane sorption capacity of Indian coals*. *AAPG Bulletin* 86 (2), Pages 201-212.



- Levy J.H., Day S.J., Killingley J.S., 1997: *Methane capacities of Bowen Basin coals related to coal properties*. Fuel 76 (9), Pages 813-819.
- Mastalerz M., Gluskoter H., Rupp J., 2004: *Carbon dioxide and methane sorption in high volatile bituminous coals from Indiana, USA*. International Journal of Coal Geology 60, Pages 43-55.
- Moore, T.A., 2012: *Coalbed methane: A review*. International Journal of Coal Geology 101, Pages 36-81.
- Osika R., red. 1987: *Budowa geologiczna Polski*, T VI. Złoza surowców mineralnych. Instytut Geologiczny Warszawa Wydawnictwa Geologiczne
- Pan J., Hou Q., Ju Y., Bai H., Zhao Y., 2012: *Coalbed methane sorption related to coal deformation structures at different temperatures and pressures*. Fuel 102, Pages 760-765.
- PN-ISO 7404-2:2005: *Metody analizy petrograficznej węgla kamiennego (bitumicznego) i antracytu, Część 2: Metoda przygotowania próbek węgla*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PN-ISO 7404-3:2001: *Metody analizy petrograficznej węgla kamiennego (bitumicznego) i antracytu, Część 3: Metoda oznaczania składu grup macerałów*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- PN-ISO 7404-5:2002: *Metody analizy petrograficznej węgla kamiennego (bitumicznego) i antracytu, Część 5: Metoda mikroskopowa oznaczania refleksyjności wityrynytu*. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Probiez K., Marcisz, M., Sobolewski A., 2012: *Rozpoznanie warunków geologicznych występowania węgla koksowego w rejonie Jastrzębia dla potrzeb projektu „Inteligentna koksownia”*. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego nr 452, s. 245-256.
- Ryś J., 1995: *Stereologia materiałów*, Fotobit Design, Kraków.
- Sircar S., 1992: *Estimation of isosteric heats of adsorption of single gas and multicomponent gas mixtures*. Industrial & Engineering Chemistry Research 31, Pages 1813-1819.
- UN-ECE, 1998: *International Classification of In-Seam Coals*. ECE UN Geneva. UN (New York).
- Walker R., Glikson M., Mastalerz M., 2001: *Relations between coal petrology and gas content in the Upper Newlands Seam, central Queensland, Australia*. International Journal of Coal Geology 46, Pages 83-92.
- Wang Z., Tang X., Yue G., Kang B., Xie C., Li X., 2015: *Physical simulation of temperature influence on methane sorption and kinetics in coal: Benefits of temperature under 273.15 K*. Fuel 158, Pages 207-216.
- Weishauptová Z., Pribyl O., Sykorová I., Machovic V., 2015: *Effect of bituminous coal properties on carbon dioxide and methane high pressure sorption*. Fuel 139, Pages 115-124.
- Weniger, P., Franců, J., Hemza, P., Krooss, B.M., 2012: *Investigations on the methane and carbon dioxide sorption capacity of coals from the SW Upper Silesian Coal Basin, Czech Republic*. International Journal of Coal Geology 93, Pages 23-39.
- Wierzbicki M., 2013: *The effect of temperature on the sorption properties of coal from Upper Silesian coal basin, Poland*. Archives of Mining Sciences 58 (4), Pages 1163-1176.
- Wierzbicki M., Dutka B., 2010: *The influence of temperature changes of the structurally deformed coal – methane system on the total methane content*. Archives of Mining Sciences 55 (3), Pages 547-560.
- Zhang L., Ren T.-X., Aziz N., 2013: *A study of laboratory testing and calculation methods for coal sorption isotherms*. Journal of Coal Science & Engineering (China) vol. 19 No. 2, Pages 193-202.
- Żyła M. (red.), 2000: *Układ węgla kamienny – metan w aspekcie desorpcji i odzyskiwania metanu z gazów kopalnianych*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków.

## Effect of maceral groups on selected sorption parameters of the medium rank coal samples from the southern part of Upper Silesian Basin Coal

### Abstract

Seven carbon samples with an identical degree of carbonization (medium rank coals with  $R_0 = \sim 1.1\%$ ) were analysed. The samples came from coal seams located in Zofiówka. Petrographic analyses were performed, including a quantitative point analysis, and gravimetric sorption studies, using the IGA-001 sorption analyser.

The sorption capacity at 1 bar methane pressure was determined at four temperatures: 25°C, 35°C, 45°C and 55°C. Based on the analyses, the effect of maceral composition on the methane sorption capacity of coal was investigated. It was shown there is a clear correlation between above mentioned parameters. In the analysed coal samples, the increase in the vitrinite content affects the reduction of the sorption capacity of coal, while the increase in the inertinite content causes the sorption capacity increase. It was also noted that the obtained relationships were stronger in case of sorption carried out at a higher temperature.

**Keywords:** coal, methane, sorption capacity, maceral composition