

Zawartość części lotnych w węglach kamiennych – parametr nie tylko chemiczno-technologiczny

Martin Sivek¹, Jakub Jirásek¹, Lada Hýlová², Zbigniew Mirkowski³



M. Sivek



J. Jirásek



L. Hýlová



Z. Mirkowski

Volatile matter content of the bituminous coal – not only chemical-technological parameter. *Prz. Geol.*, 66: 477–480.

Abstract. The volatile matter content is one of the most common chemical-technological parameters that have been determined for the vast majority of samples taken from the bituminous coal seams for more than 100 years. Its meaning is essentially triple. The oldest and also most well-known is its use for the determination of the degree of coalification (rank) of coal, but also of certain chemical-technological properties of coal (especially

cokeability). With the development of coal geology and sedimentology, as well as the increasing importance of energy raw materials in the nation's economy, new ways of using the values of the volatile matter content have emerged. One of them was the study of the history of geological development of sedimentary, especially coal basins, the management of the mining industry economy, as well as the assessment and formulation of raw materials policy of the state. From a test originally designed to assess the suitability of coal for coking, it has become a parameter used in the field of geology, economy and raw materials policy of the state.

Keywords: volatile matter; cokeability; Hilt's Law; bituminous coal; economy and management of coal mines; energy policy

Zawartość części lotnych jest jednym z najważniejszych parametrów chemiczno-technologicznych stosowanych do oceny węgla kamiennego, od ponad 100 lat oznaczanym w większości próbek pobieranych z pokładów tego surowca. Parametr ten ma potrójne zastosowanie. Najlepiej znane jest wykorzystanie tego znacznika do określania stopnia uwęglenia węgla i związanych z nim właściwości chemiczno-technologicznych, szczególnie istotnych w ocenie przydatności do koksowania. Drugim przykładem jest stosowanie tego parametru do badania genezy osadów w zapadliskach węglonośnych, czyli w geologii złóż węgla. Trzecią gałęzią zastosowań jest wykorzystanie go do wyceny węgla, a także do określania perspektyw i możliwości wykorzystania złóż węgla i w związku z tym do szacowania czasu funkcjonowania kopalń. W Republice Czeskiej wyniki monitorowania zmian zawartości części lotnych w pokładach węgla odgrywają ważną rolę nie tylko w procesie zarządzania spółkami górniczymi, ale są także czynnikiem branym pod uwagę podczas określania bazy surowcowej państwa oraz kreowania polityki energetycznej i bezpieczeństwa energetycznego kraju.

ROZWÓJ METOD OZNACZANIA CZĘŚCI LOTNYCH W WĘGLU KAMIENNYM

Części lotne w węglu kamiennym są oznaczane na podstawie procentowej utraty masy węgla po ogrzaniu go w warunkach beztlenowych i po odjęciu masy zawartej w nim wody. Test jest empiryczny – wszystkie warunki ozna-

czenia muszą zostać spełnione. Produktem, jaki otrzymujemy po takim ogrzewaniu węgla, jest koks. Koks ma różne właściwości, w zależności od zawartości części lotnych i innych chemiczno-technologicznych parametrów węgla. Zawartość części lotnych należy do grupy tak zwanych technicznych (pierwotnych) analiz wykorzystywanych do monitorowania właściwości węgla.

Pierwsze odniesienia do analizy części lotnych w węglu kamiennym, jakie można znaleźć w literaturze, pochodzą już z pierwszej połowy XIX w., np. Martin (1837). Jednak pierwszy opis analizy zawartości części lotnych w węglu został opublikowany dopiero w drugiej połowie XIX w. Był to okres rozwoju koksownictwa, który objął również terytorium dzisiejszej Republiki Czeskiej, zwłaszcza czeskiej części Zagłębia Górnośląskiego.

Wydaje się prawdopodobne, że odkrywcą metody oznaczania części lotnych, bardzo podobnej do obecnie stosowanej i szeroko rozpowszechnionej, był niemiecki chemik Fritz Muck, dyrektor górniczego laboratorium (Berggewerkschaftlichen Laboratorium) oraz nauczyciel chemii w Westfalskiej Szkole Górniczej w Bochum. Na stwierdzenie to wskazuje tekst jego książki (Muck, 1891), która doczekała się licznych wydań, chociaż nie można jednoznacznie udowodnić, że to właśnie on jest autorem analizy opublikowanej w tej pracy. Powiązanie metody oznaczania zawartości części lotnych w węglu z nazwiskiem F. Mucka możemy odnaleźć także w monografii poświęconej dzielnicy Ostrava–Karvina z 1928 r. (Altman, 1931), gdzie w rozdziale poświęconym chemii węgla i koksu jest mowa o klasyfikacji węgla kamiennego

¹ Katedra geologického inženýrství, Hornicko-geologická fakulta, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 17. listopadu 15/2171, 708 33 Ostrava-Poruba, Česká republika; martin.sivek@vsb.cz; jakub.jirasek@vsb.cz.

² Katedra geologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, 17. listopadu 1192/12, 771 46 Olomouc, Česká republika; lada.hylova@upol.cz.

³ Katedra Geologii Stosowanej, Wydział Nauk o Ziemi, Uniwersytet Śląski, ul. Będzińska 60, 41-200 Sosnowiec; zbigniew.mirkowski@us.edu.pl.

na podstawie zawartości części lotnych, a analiza oznaczania tego parametru jest nazywana analizą tygielkową Mucka (Altmann, 1931).

Przez długi czas zawartość części lotnych była jedynym parametrem wskazującym na stopień uwęglenia węgla kamiennych. Później, wraz z rozwojem petrografii węglowej, stopień uwęglenia zaczęto określać także za pomocą zdolności do odbijania światła wityritu (Teichmüller, Teichmüller, 1982). Jednak z powodu niskiej ceny i szerokiej dostępności pod względem ilości wykonywanych analiz nadal przeważa metoda oznaczania zawartości części lotnych. W klasyfikacji ASTM (*American Society for Testing and Materials*) analiza tego parametru jest zaliczana do podstawowych badań węgla, ponieważ od jej wyników zależy ocena przydatności do spalania i koksowania (Speight, 2005).

W Republice Czeskiej części lotne w węglu są oznaczane zgodnie z normą techniczną *Węgiel kamienny i koks – oznaczenie zawartości części lotnych* (ČSN ISO 562, 2011), która jest czeską wersją europejskiej normy EN ISO 562 (2010). Zawartość części lotnych jest również stosowana jako parametr drugorzędny do określania typów węgla kamiennego, które wyróżnia się na podstawie wartości współczynnika odbicia światła (ČSN 441346, 1987). Główne zastosowanie oznaczenia zawartości części lotnych zawiera się jednak w *Klasyfikacji węgla kamiennego na podstawie numerów kodowych* (ČSN 441391, 1966), która określa przydatność węgla do wytwarzania koksu. Szerokie zastosowanie tej normy jest spowodowane tym, że na jej podstawie węgle kamienne są dzielone na węgle przydatne do produkcji koksu (czasami nazywane skrótowo UVPK) i węgle energetyczne, które nie są przydatne do wytwarzania koksu. Standard ten opiera się na 3 parametrach, których wartości są przypisane do liczb nazywanych cyframi kodu. Razem dają one trzycyfrowy numer, który jest nazywany numerem kodu lub skróconym kodem. Pierwsza cyfra oznacza zawartość części lotnych. Druga określa wskaźnik wolnego wydymania węgla kamiennego, charakteryzujący zarówno zmiany objętości węgla, jak i jego spiekanie podczas karbonizacji. Trzeci parametr opisuje zdolność węgla do koksowania na podstawie testu dylatometrycznego. W ten sposób zestawione w tabeli trzycyfrowe kody służą do klasyfikowania węgla na tzw. typy handlowe, które są oznaczone cyframi rzymskimi albo w niektórych przypadkach cyframi rzymskimi w połączeniu z literami. Istnieje 11 typów handlowych (I, II, III, IV, VA, VB, VC, VD, VIA, VIB, VII). Najlepsze węgle koksujące w obrocie handlowym to typy VA, VB, VC i VD, dla których parametr V^{daf} osiąga od 15 do 35% (ČSN 441391, 1966).

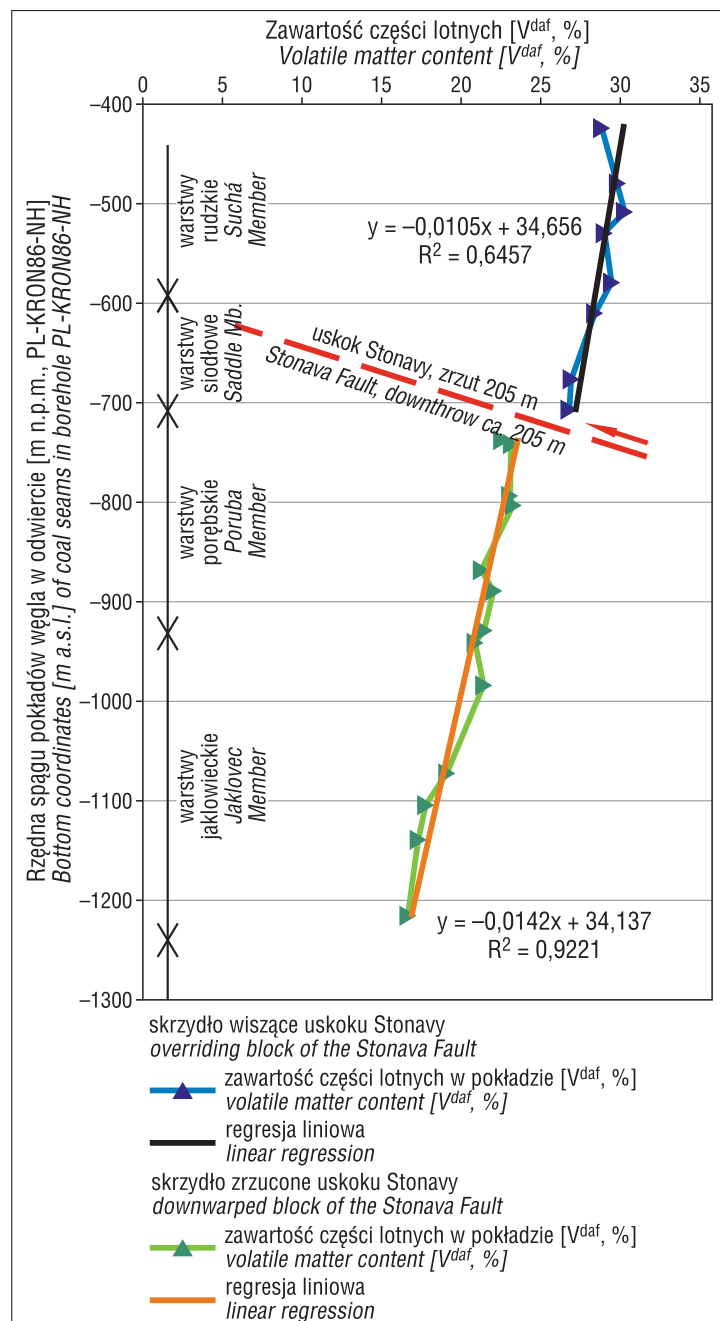
→

Ryc. 1. Zależność zawartości części lotnych od głębokości zalegania pokładów węgla (reguła Hilta). Rzeczywisty przykład z odwiertu SV-2 w czeskiej części Zagłębia Górnośląskiego: R2 – wartość współczynnika determinacji

Fig. 1. Dependence of the volatile matter content on depth (Hilt's Law) in borehole SV-2 located in the Czech part of the Upper Silesian Basin: R2 – coefficient of determination

Powodem, dla którego test na zawartość części lotnych jest jednym z najczęściej wykonywanych badań laboratoryjnych węgla kamiennego, jest chęć uzyskania potwierdzenia, że węgiel wydobywany z kopalni nadaje się do koksowania.

Ceny węgla koksującego są kilkakrotnie wyższe od cen węgla energetycznego. W grudniu 2007 r. cena cifa węgla energetycznego zbliżyła się w portach zachodniej Europy do 110 USD/t, podczas gdy w tym samym czasie cena fob węgla australijskiego przekroczyła 230 USD/t (EURACOAL, 2018). Tak duża różnica cen znacząco wpływa na wyniki ekonomiczne spółek górniczych. Zawartość części lotnych jest stale monitorowana zarówno przez dostawców, jak i przez odbiorców węgla kamiennego, ponieważ konsekwencją słabych właściwości koksotwórczych węgla może być niska jakość wytwarzanego z nich koksu. Taki stan rzeczy negatywnie oddziałuje na wyniki finansowe kopalni.



CZĘŚCI LOTNE W POKŁADACH WĘGLA ŹRÓDŁEM WIEDZY O HISTORII BASENÓW SEDYMENTACYJNYCH

Badania geologiczne zmierzają do rozpoznania przemian materii organicznej w osadach i pokładach węgla głównie na podstawie parametrów, które określają dojrzałość termiczną materii organicznej w osadzie (np. Littke i in., 1994). Współcześnie jednocześnie określa się zarówno zawartość części lotnych w węglu, jak i refleksyjność wityrnytu, choć parametry te wykazują wysoki stopień uzależnienia, co na przykładzie czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia opisali Honěk i Martinec (1999).

Zmiana stopnia dojrzałości termicznej osadów organicznych wraz z głębokością została wyrażona w znanej regule Hilta (1873). Zasada ta jest najstarszym prawem opisującym stopień uwęglenia osadów w basenach węglowych: *w danym miejscu w normalnie zalegających pokładach węgla kamiennego zawartość części lotnych zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości.*

Oznacza to, że stopień uwęglenia rośnie wraz z głębokością, czyli wzrasta stopień dojrzałości materii organicznej. Kwestia ważności tej zasady została podjęta przez wielu autorów. W czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego byli to na przykład: Petránek i Dopita (1955), Weiss (1980) oraz Sivek i in. (2003, 2008). Wynikiem ich badań było stwierdzenie, że reguła Hilta jest prawdziwa (ryc. 1), chociaż w Zagłębiu Górnośląskim, podobnie jak w niektórych w innych, korelacja zawartości części lotnych i głębokości wykazuje lokalne odchylenia. Nie wszystkie przyczyny tych wahań zostały przekonująco wyjaśnione.

Geologiczna interpretacja lateralnej i wertykalnej zmienności refleksyjności wityrnytu oraz korelacja refleksyjności wityrnytu z zawartością części lotnych zmierza na ogół do rozwiązania problemów geologicznych, górniczych i technicznych związanych z termiczną i erozyjną historią basenów sedymentacyjnych oraz głębokością pograżenia osadów. W naukach geologicznych szczególnie istotne są następujące zagadnienia:

- Intensywność i zmiany lateralne procesów erozyjnych w basenach sedymentacyjnych – np. Franců i in. (1999, 2002);
- Głębokość pogrążenia kompleksów osadowych i zmiany w pograżeniu osadów basenu – np. Franců i in. (2002) oraz Sivek i in. (2003);
- Związek procesów geologicznych i budowy geologicznej pokładów węgla z właściwościami chemiczno-technologicznymi tego surowca – np. Honěk i in. (1997), Jureczka i in. (2005) oraz Kędzior (2015).

Istotą współczesnych badań geologicznych i sedymentologicznych jest nie tylko rozpoznawanie historii i rozwoju węglowych basenów osadowych, ale także rozwiązywanie problemów dotyczących poszukiwania i dokumentowania złóż węgla.

ZNACZENIE ROZPOZNANIA ZAWARTOŚCI CZĘŚCI LOTNYCH W WĘGLU DLA POLITYKI SUROWCOWEJ PAŃSTWA

Ze względu na ogromną różnicę w cenie między węglem energetycznym a przydatnym do koksowania niezwykle istotna jest wiedza umożliwiająca zwiększenie produkcji węgla koksujących, przy czym zawartość części lotnych pełni rolę ważnego wskaźnika, wpływającego na kształt planów wydobywczych przedsiębiorstw. Mimo że

w ostatnim czasie ceny węgla koksowego ulegały wahaniom – np. w lutym i kwietniu 2017 r. wynosiły nieco powyżej 150 USD za t – to jednak nadal były znacznie wyższe od cen węgla energetycznego. Na przykład 17.05.2017 r. cena tony energetycznego węgla kamiennego wynosiła 38,39 USD, natomiast cena węgla koksującego osiągnęła ok. 314 USD za tonę – było to 6-letnie maksimum (<https://www.kurzy.cz>) i stanowiło w przybliżeniu 8-krotność ceny węgla energetycznego.

W Unii Europejskiej węgiel przydatny do koksowania jest uważany za kopalinę strategiczną (European Commission, 2014). Wykorzystywanie wiedzy o zawartości części lotnych w pokładach węgla przez spółki wydobywcze wiąże się z pierwotnym znaczeniem tej analizy jako sposobem podziału węgla kamiennego na węgle przydatne do koksowania i węgle przeznaczone do wytwarzania energii. Udział węgla przydatnego do koksowania w produkcji kopalni ma decydujące znaczenie nie tylko dla jej wyników ekonomicznych, ale także dla jej żywotności.

Koks jest tradycyjnie używany do produkcji surowki żelaznej w wielkich piecach, gdzie działa jako czynnik redukujący i źródło ciepła (koks wielkopieczowy). W przypadku zastosowania do wytwarzania surowki żelaznej metody PCI (*Pulverized Coal Injection*) koks poprawia właściwości wsadu. Ponadto koks jest stosowany do produkcji odlewów żeliwnych (koks odlewniczy), jak i jako paliwo ekologiczne (koks opałowy). Tak wielka zależność rozwoju hutnictwa od koksu była powodem, dla którego do końca lat 70. ubiegłego wieku zapasy węgla kamiennego w byłej Czechosłowacji wykazywano wg zasad handlowych, tj. zgodnie z przydatnością zasobów węgla do koksowania. Obowiązkowe zgłaszanie zapasów węgla do koksowania zostało zniesione w 1980 r.

Ze względu na wysoką cenę węgla koksującego i duże zapotrzebowanie na ten surowiec jego zasoby są istotnym wyznacznikiem opłacalności utrzymania działalności kopalń węgla kamiennego. Z tych samych powodów kwestia rozpoznania zawartości części lotnych w węglu jest niezbędna do prawidłowej oceny bazy surowcowej oraz prowadzenia polityki surowcowej państwa i zapewnienia mu bezpieczeństwa energetycznego. Oceny te powinny się odnosić zarówno do złóż eksploatowanych, jak i nieeksploatowanych, ponieważ mogą mieć znaczący wpływ na dostępność surowca ze złóż krajowych, a także wpływać na czas eksploatacji złóż oraz na decyzje dotyczące zagospodarowania złóż węgla dotychczas niedostępnych.

WNIOSKI

Zawartość części lotnych jest jednym z parametrów najczęściej oznaczanych w analizie chemiczno-technologicznej węgla kamiennego. W zależności od wartości tego wskaźnika węgle są klasyfikowane jako węgle energetyczne lub koksujące. Wraz z rozwojem sedymentologii wyniki pomiarów zawartości części lotnych zaczęto wykorzystywać również do badań nad sedymentacyjnymi i postsedymentacyjnymi warunkami w basenach węglowych. Pierwotnie oznaczenie zawartości części lotnych stosowano jedynie do określania zdolności węgla do koksowania, lecz stopniowo parametr ten stawał się narzędziem do rozwiązywania problemów z dziedziny geologii, gospodarki i polityki surowcowej państw.

1) Ostatnio stopniowo wzrasta znaczenie węgla jako surowca niezbędnego do produkcji koksu.

2) Udział węgla koksującego w zasobach i produkcji górniczej zaczął znacząco wpływać na ekonomiczne wskaźniki kopalni i czas ich żywotności, dlatego stosunek ilości węgla koksującego do energetycznego w urobku kopalni, a także w zasobach węgla kamiennego, zaczął być oceniany w perspektywie krótko-, średnio- i długoterminowej.

3) Węgiel przydatny do koksowania uznano za strategiczny surowiec Unii Europejskiej.

4) Oznaczanie zawartości części lotnych w węglu powinno być stałym elementem oceny struktury i perspektyw rozwoju krajowej bazy surowcowej, a wyniki badań tego parametru należałoby uwzględnić w polityce surowcowej państwa.

Autorzy składają podziękowania Recenzentowi za wnikliwe i konstruktywne uwagi. Badania prowadzono w ramach projektu badawczego SGS SP 2017/22, finansowanego ze środków Ministerstwa Edukacji, Młodzieży i Sportu Republiki Czeskiej.

LITERATURA

- ALTMANN A. 1931 – Chemie uhlí a koks. [W:] Kamenouhelné doly ostravsko-karvinského revíru, sv. III. Ředitelská konference ostravsko-karvinského kamenouhelného revíru v Moravské Ostravě, Moravská Ostrava: 317–346.
- ČSN 441346, 1987 – Stanovení typů černých uhlí podle odraznosti.
- ČSN 441391, 1966 – Klasifikace černých uhlí kódovými čísly.
- ČSN ISO 562 (441366), 2011 – Černá uhlí a koks – Stanovení obsahu prchavé hořlaviny.
- EN ISO 562, 2010 – Hard coal and coke – Determination of volatile matter.
- EURACOAL 2017 – EURACOAL market report 1/2018. http://euracoal2.org/download/Public-Archive/Library/Market-Reports/EURACOAL-Market-Report-2018-1_v10.pdf, cited Jul. 11, 2018.
- EUROPEAN COMMISSION 2014 – COM (2014) 297: Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the review of the list of critical raw materials for the EU and the implementation of the Raw Materials Initiative.
- FRANCŮ E., FRANCŮ J., KALVODA J. 1999 – Illite crystallinity and vitrinite reflectance in Paleozoic siliciclastics in the SE Bohemian Massif as evidence of thermal history. *Geol. Carpath.*, 50: 365–372.
- FRANCŮ E., FRANCŮ J., KALVODA J., POELCHAU H.S., OTAVA J. 2002 – Burial and uplift history of the Palaeozoic Flysch in the Variscan foreland basin (SE Bohemian Massif, Czech Republic). *EGU Stephan Mueller Spec. Publ. Ser.*, 1: 167–179.
- HILT C. 1873 – Die Beziehungen zwischen der Zusammensetzung und den technischen Eigenschaften der Steinkohlen. *Z. Ver. Dtsch. Ingenieure*, 17: 193–202.
- HONĚK J., DOPITA M., DVOŘÁK P. 1997 – Prouhelnění, chemicko-technologické vlastnosti a petrologie uhlí. [W:] Dopita M. (red.), *Geologie české části hornoslezské pánve*. Ministerstvo životního prostředí České republiky, Praha: 133–142.
- HONĚK J., MARTINEC P. 1999 – Vztah střední odraznosti vitrinitu Ro k obsahu prchavé hořlaviny Vdaf černých uhlí české části hornoslezské pánve. [W:] Kožušnicková A. (red.), *Documenta Geonica, Ústav geoniky Akademie věd České republiky*, Ostrava: 79–89.
- <https://www.kurzy.cz/komodity/uhli-us-index-graf-vyvoje-ceny> – Uhlí US index – aktuální a historické ceny uhlí US index, graf vývoje ceny uhlí US index – 2 roky – měna USD.
- JURECZKA J., DOPITA M., GAŁKA M., KRIGIER W., KWARCINŃSKI J., MARTINEC P. 2005 – Atlas geologiczno-złożowy polskiej i czeskiej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Państw. Inst. Geol. & Min.*, Środ., Warszawa.
- KĘDZIOR S. 2015 – Methane contents and coal-rank variability in the Upper Silesian Coal Basin, Poland. *Int. J. Coal Geol.*, 139: 152–164.
- LITTKER R., BÜKER C., LÜCKGE A., SACHSENHOFER R.F., WELTE D.H. 1994 – A new evaluation of paleo-heat flows and eroded thicknesses for the Carboniferous Ruhr basin, western Germany. *Int. J. Coal Geol.*, 26: 155–183.
- MARTIN R.M. 1837 – The British Colonial Library. History of the British Possessions in the East Indies. Whittaker & Co., London, 8: 243.
- MUCK F. 1891 – Die Chemie der Steinkohle. Verlag von Wilhelm Engelmann, Leipzig.
- PETRÁNEK J., DOPITA M. 1955 – Prouhelnění slojí v ostravsko-karvinském revíru a jeho závislost na geologických činitelích. *Sbor. Ústř. Úst. geol., Odd. geol.*, 22: 593–617.
- SIVĚK M., ČÁSLAVSKÝ M., JIRÁSEK J. 2008 – Applicability of the Hilt's law to the Czech part of the Upper Silesian Coal Basin (Czech Republic). *Int. J. Coal Geol.*, 73: 185–195.
- SIVĚK M., DOPITA M., KRŮL M., ČÁSLAVSKÝ M., JIRÁSEK J. 2003 – Atlas of chemical-technological properties of coals in the Czech part of the Upper Silesian Basin. VŠB-TU Ostrava.
- SPEIGHT J.G. 2005 – Handbook of coal analysis. John Wiley & Sons, New Jersey.
- TEICHMÜLLER M., TEICHMÜLLER R. 1982 – The geological basis of coal formation. [W:] Stach E., Mackowsky M.-Th., Teichmüller M., Taylor G.H., Chandra D., Teichmüller R. (red.), *Stach's textbook of coal petrology*, 3rd edn. Gebrüder Borntraeger, Berlin: 5–86.
- WEISS G. 1980 – Studium vztahů Ro/Vdaf na základě vzorků uhlí z vrstev průzkumných polí čs. části hornoslezské pánve. *Sbor. GPO*, 22: 37–42.

Praca wpłynęła do redakcji 23.05.2018 r.

Akceptowano do druku 13.07.2018 r.