

Piotr KIJEWSKI\*, Robert LESZCZYŃSKI\*\*

## ***Węgiel organiczny w rudach miedzi – znaczenie i problemy***

Streszczenie: Złoże rud miedzi w obszarze monokliny przedsudeckiej zawiera oprócz miedzi i srebra szerokie spektrum składników mineralnych. Jednym z nich jest węgiel organiczny (TOC), skupiony głównie w poziomie rudy łupkowej. W rudzie węglanowej, a zwłaszcza piaskowcowej następuje wydatne obniżenie jego zawartości. Skład macerałów węgla jest zróżnicowany, wśród nich dominuje liptynit, a w jego obrębie bituminit. Zawartość TOC w urobku przeznaczonym do wzbogacania i w koncentracie miedzi, a zwłaszcza często występujące jej krótkookresowe wahania, ma znaczenie dla przebiegu procesów hutniczych i ich efektywności. W starszej technologii pieca szybowego (HM Legnica i HM Głogów I) węgiel organiczny nie stanowi problemu, a jego obecność jest nawet korzystna ze względów energetycznych. Natomiast w technologii pieca zawieszinowego (HM Głogów II) zawartość TOC na poziomie przekraczającym 8% zaburza bilans cieplny przetopu koncentratu. Wszechstronne rozpoznanie geologicznych aspektów obecności węgla organicznego w rudach miedzi jest niezbędne dla optymalizacji procesów technologicznych.

Słowa kluczowe: rudy miedzi, węgiel organiczny, wzbogacanie

## ***Organic carbon in copper ores – importance and problems***

Abstract: Copper ore on the Foresudetic Monocline contains not only copper and silver but also a wide range of mineral components. One of them is organic carbon (TOC) occurring only in shale ore. Its volume in carbonate ore is rather low while in sandstone ore it is marginal. Composition of carbon macerals is diversified, but liptinite is dominating, with bituminite as a major component inside this group. TOC content in the feed directed to beneficiation plant and in the concentrate, and especially its short-term fluctuations, is of great importance with regard to smelting processes course and effectiveness. In the older technology of shaft furnace (HM Legnica and HM Głogów I) it is not a problem, and its presence is even useful for energy balance reasons. However, in the flash furnace technology (HM Głogów II), TOC content on the level of 8% disturbs the heat balance of the concentrate melting process. Comprehensive analysis of geological aspects of organic carbon presence in the copper ore is essential for the smelting process optimization.

Key words: copper ores, organic carbon, beneficiation

\* Dr, KGHM Cuprum Sp. z o.o CBR, Wrocław.

\*\* Mgr inż., KGHM Polska Miedź S.A., Lubin.

## **Wprowadzenie**

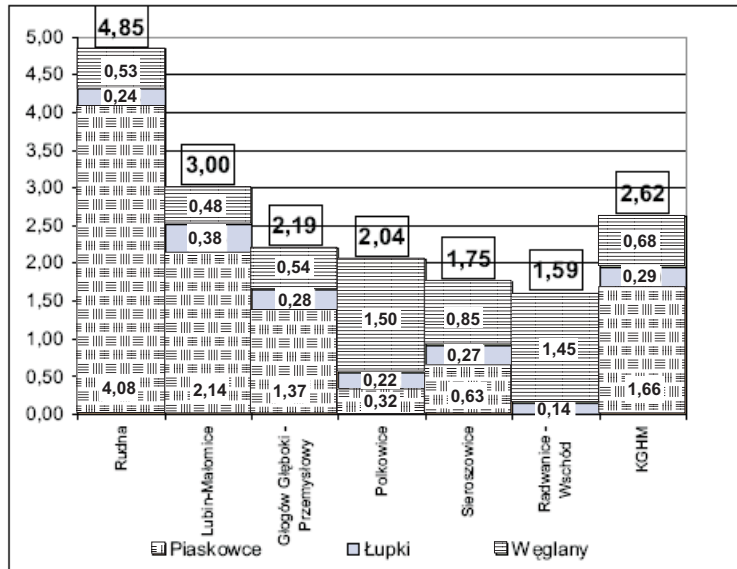
W złożu rud miedzi monokliny przedsudeckiej, a zwłaszcza w poziomie łupków miedzionośnych, powszechnym składnikiem jest węgiel oznaczany w analizach chemicznych jako węgiel ogólny ( $C_{og}$ ) – całkowity w składzie skały oraz jako węgiel organiczny ( $C_{org}$ ), będący częścią węgla całkowitego nie związaną chemicznie w innych związkach, takich jak kalcyt i dolomit. Oznaczenia zawartości węgla ( $C_{og}$  i  $C_{org}$ ) prowadzone są w urobku przekazywanym do przeróbki mechanicznej w Zakładach Wzbogacania Rud oraz w koncentratkach miedzi i odpadach.

Zawartość węgla organicznego (oznaczanego w literaturze jako  $C_{org}$ , ale także jako TOC – *total organic carbon*) jest zróżnicowana zarówno w odmianach rud, jak i w poszczególnych zakładach górniczych. Zróżnicowany jest także uzysk TOC w procesie wzbogacania urobku rudnego. Niezależnie od tych uwarunkowań do procesów technologicznych wprowadza się znaczącą ilość tego składnika. Na podstawie danych z ostatnich 10 lat stwierdza się, że wraz z urobkiem w podstawowym procesie, czyli w przeróbce w trzech ZWR bierze udział łącznie od 230 do ponad 470 tys. Mg węgla organicznego rocznie, a do koncentratu i dalszego procesu hutniczego przechodzi od 120 do ponad 150 tys. Mg tego składnika. W ZWR Lubin w ciągu roku do obiegu w poszczególnych latach wprowadzono z urobkiem od 55,5 do 117 tys. Mg TOC, z tego do koncentratu od 28,4 do 38,3 tys. Mg, w ZWR Polkowice od 58,0 do 169,1 tys. Mg w nadawie i od 37,9 do 50,5 tys. Mg do koncentratu, a w ZWR Rudna – od 97,0 do 227,4 tys. Mg w nadawie i od 53,4 do 71,0 tys. Mg do koncentratu. Tak znaczne różnice w ilości TOC wynikają z jego zmiennej zawartości w odmianach rudy, stosunków ilościowych w urobku przekazywanym do zakładów wzbogacania oraz procesu wzbogacania urobku.

### **1. Miąższość złoża i udział odmian litologicznych rud miedzi**

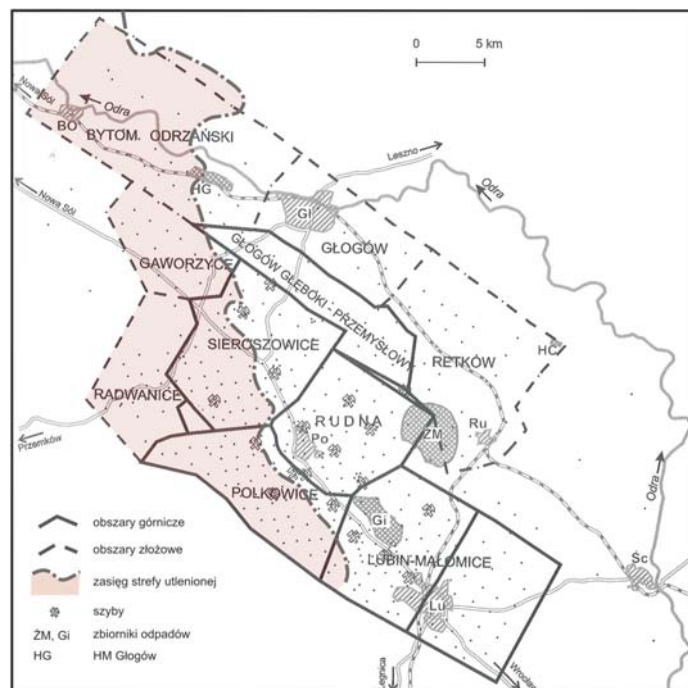
Miąższość złoża, jego okruszcowanie i właściwości rud miedzi charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem w obszarach górniczych. Zależność między poszczególnymi odmianami rudy obrazuje rozkład miąższości oraz ich udział w bilansie zasobów przemysłowych w obszarach koncesyjnych KGHM (rys. 1, tab. 1). W złożach o miąższości powyżej 3 m zdecydowanie przeważa ruda piaskowcowa, co ujawnia się w obszarach górniczych Rudna oraz Lubin-Małomice (Leszczyński 2007). Na pozostałych obszarach relacje między odmianami rud są bardziej zróżnicowane. W odniesieniu do węgla organicznego i jego wpływu na późniejsze procesy technologiczne produkcji miedzi istotne znaczenie ma udział łupków oraz węglanów i piaskowców w wydobywanym urobku, zawartość i formy występowania węgla organicznego, a pośrednio lokalizacja urabiania – w strefie redukcyjnej czy utlenionej. Strefa utleniona (Oszczepalski 2007) obejmuje w ogólnych zarysach południową i południowo-zachodnią część obszaru miedzionośnego (rys. 2). Jej zasięg w znaczącym stopniu wpływa na jakość urabianej rudy zwłaszcza z OG Polkowice i OG Sierszowice.

W poszczególnych obszarach górniczych ruda łupkowa stanowi obecnie od 5,3% (w OG Rudna) do 15,4% (w OG Sierszowice). Pośredni udział, w granicach 10,8–13,3%, ma miejsce w obszarach górniczych: Polkowice, Lubin-Małomice i Głogów Głęboki Przemysłowy. Dla porównania, w bilansie z 1970 r. w złożu Polkowice łupki stanowiły 13%



Rys. 1. Średnia miąższość złożeń i odmian litologicznych rudy miedzi w zasobach przemysłowych KGHM

Fig. 1. Average thickness of deposit and ore types in proved reserves of KGHM



Rys. 2. Zasięg strefy utlenionej w obszarze złóż rud miedzi

Fig. 2. Range of oxidized zone in the area of copper mines

TABELA 1. Udział odmian litologicznych rudy miedzi w zasobach przemysłowych KGHM (wg stanu na 31.12.2008 r.)

TABLE 1. Shares of copper ore types in proved reserves of KGHM (as for 31.12.2008)

Litologia		Złóża						KGHM
		Lubin- Małomice	Polkowice	Rudna	Sierszowice	Radwanice -Wschód	Głogów Głęboki Przemysłowy	
Węglany	Udział w zasobach rudy [%]	17,6	75,1	12,1	51,1	91,5	26,7	28,0
	Cu [%]	1,49	1,89	1,93	1,98	1,79	1,42	1,77
	Ag [g/Mg]	62	37	61	41	24	63	50
Łupki	Udział w zasobach rudy [%]	13,2	10,8	5,3	15,4	8,5	13,3	11,3
	Cu [%]	2,77	6,96	7,56	8,65	7,16	8,19	6,76
	Ag [g/Mg]	176	107	289	160	72	244	201
Piaskowce	Udział w zasobach rudy [%]	69,2	14,1	82,6	33,5	-	60,0	60,6
	Cu [%]	0,91	1,40	1,49	1,49	-	1,55	1,35
	Ag [g/Mg]	35	21	27	37	-	47	35

zasobów rudy, węglany – 69%, piaskowce – 18%, w złożu Sierszowice odpowiednio: 18%, 72% i 10%, w złożu Lubin: 11%, 20% i 69%, a w złożu Rudna: 4%, 19% i 77%. W prognozie wydobywania na lata 2009–2042 udział poszczególnych odmian rud jest jeszcze bardziej zróżnicowany. Udział łupków szacuje się w tym okresie dla ZG Rudna na 4,5–12,5%, dla ZG Polkowice-Sierszowice 8,8–12,5%, a dla ZG Lubin 11,8–19,0% (wyjątkowo od 2038 r. powyżej 25%). Oznacza to, także w przyszłości, znaczące ale i zmienne ilości TOC wprowadzane do obiegu technologicznego produkcji miedzi.

## 2. Węgiel organiczny i jego zawartość w złożu

Węgiel organiczny – podobnie jak większość składników złoża – koncentruje się w poziomie łupków, w znacznie mniejszym stopniu skupia się w spągowej części skał węglanowych, a w minimalnym – w piaskowcach. Stąd też, jak już wspomniano, mimo przeciętnego udziału rudy łupkowej w profilu złoża (tab. 1), decyduje ona o ilości  $C_{org}$  (TOC) w urobku.

### 2.1. Łupki miedzionośne

Ze względu na skład mineralny i strukturę w poziomie łupków miedzionośnych wyróżnia się kilka odmian litologicznych (łupki ilasto-bitumiczne, tzw. smolące, ilasto-dolomityczne,

margliste, dolomityczne). Ponieważ ich szczegółowe rozróżnienie bez badań mineralogicznych jest utrudnione, w praktyce wydziela się łupek ilasto-dolomityczny i dolomityczny oraz łupek smolący, który jest jednak podrzędnym składnikiem tej serii.

Łupek smolący ma zazwyczaj barwę czarną, jest kruchy, zazwyczaj rozsypliwy, o drobno laminowanej strukturze, często zmięty, z obecnością drobnych fałdów. W składzie mineralnym zawiera dolomit, pelityczny kwarc, minerały ilaste i substancję organiczną o wysokim stopniu uwęglenia. Łupek ten ma zmienną miąższość, w granicach od milimetrów do kilku centymetrów, wyjątkowo do 20 cm – zwłaszcza w sąsiedztwie drobnych uskoków, co obserwowano w wyrobiskach górniczych. Łupek smolący charakteryzuje się wysoką zawartością miedzi, przekraczającą często 10%, a także węgla organicznego – do 15%. Obecność minerałów ilastych i substancji organicznych, mających tendencje do tworzenia frakcji mułowej, osłabia skuteczność flotacji oraz utrudnia prowadzenie gospodarki wodnej w tym procesie.

Łupki ilasto-dolomityczne i dolomityczne wykazują strukturę laminowaną i barwę ciemnoszarą. Odmiany te wyróżniają się znaczną zwięzłością. Ich podstawowymi składnikami są: minerały węglanowe – dolomit, w mniejszej ilości kalcyt, minerały ilaste tworzące cienkie smugi i wraz z substancją węglową przerastające się z laminami dolomitowymi oraz minerały kruszcowe. Domieszka pelitu kwarcowego, a także minerałów ilastych jest zróżnicowana. Lokalnie stwierdza się obecność gniazdowych oraz żyłowych form gipsu anhydrytu.

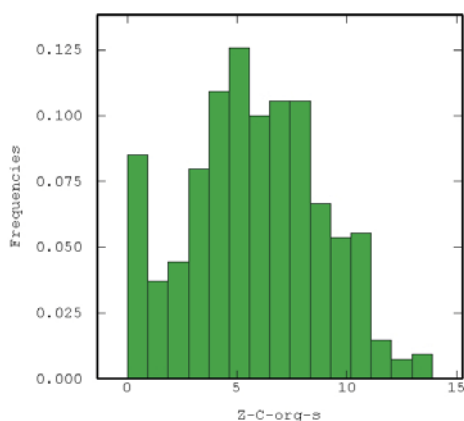
W składzie chemicznym łupków głównymi składnikami są: CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> i C<sub>org</sub>. Składniki te związane są z obecnością kwarcu i minerałów ilastych (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), dolomitu, kalcytu i gipsu (CaO, MgO) oraz substancji organicznej o różnym stopniu uwęglenia. Minerały zawierające krzemionkę skupiają się zazwyczaj w spągowej części łupków (lokalne odmiany łupków piaszczystych), natomiast w części stropowej wzrasta przewaga minerałów węglanowych. Znaczący udział w składzie łupków mają także minerały kruszcowe stanowiące o jakości złoża.

Skład chemiczny oraz struktura łupków mają wpływ na ich właściwości fizyczne i mechaniczne. Ze względu na niską zwięzłość, a nawet rozsypliwość łupków smolących, brak jest reprezentatywnych wyników badań, stąd też właściwości łupka najlepiej obrazuje współczynnik zwięzłości zawierający się w przedziale 0,6–1,9. W szerszym zakresie znane są natomiast podstawowe właściwości łupków ilasto-dolomitycznych i dolomitycznych. W tych odmianach współczynnik zwięzłości zawiera się w przedziale 5,2–6,7, gęstość objętościowa –2,50–2,67 kg/dm<sup>3</sup>, wytrzymałość na ścislenie mieści się zazwyczaj w granicach od 55 do 78 MPa, wzrastając nawet do 117 MPa w dolomitycznych odmianach łupka. Zwraca uwagę porównywalna z rudą dolomitową ścieralność wyrażona wartością ścieralności w bębnie Devala na poziomie 8%, przy odpowiedniej wartości dla dolomitów 7–10%.

## 2.2. Zawartość węgla organicznego w łupkach

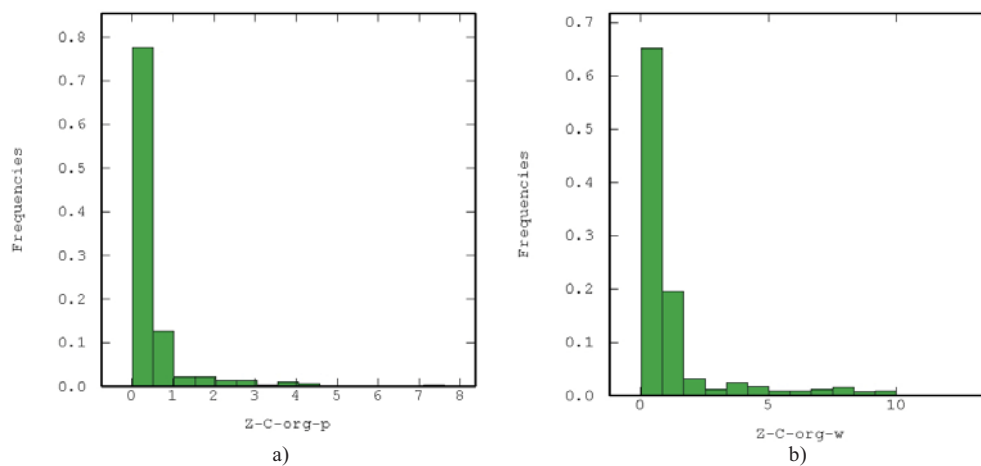
Oznaczenia zawartości TOC wykonywane były w analizach pełnych w próbkach geologicznych z otworów wiertniczych dokumentujących złoża, a obecnie składnik ten oznacza się w próbkach (do analiz pełnych) pobieranych z wyrobisk górniczych w siatce 200 × 200 m. Jednak ilość wykonanych analiz pełnych i oznaczeń TOC daje tylko uproszczony obraz rozmieszczenia tego składnika w odmianach rud.

Udział w urobku rudy łupkowej jako podstawowego nośnika  $C_{org}$  ma decydujące znaczenie dla celów prognostycznych. Na przedstawionym histogramie (rys. 3) wyraźnie zaznacza się przedział zawartości 4–11%, wielokrotnie przewyższając wyniki oznaczeń dla piaskowców i węglanów (rys. 4). Fakt ten potwierdzają także wysokie wartości średnie dla łupków z poszczególnych obszarów górniczych (tab. 2).



Rys. 3. Histogram zawartości  $C_{org}$  w rudzie łupkowej

Fig. 3. Histogram of  $C_{org}$  content in shale ore



Rys. 4. Histogram zawartości  $C_{org}$  w rudzie: a) piaskowcowej, b) węglanowej

Fig. 4. Histogram of  $C_{org}$  content in: a) sandstone ore, b) carbonate ore

Analizując występowanie i rozmieszczenie zawartości  $C_{org}$  w poziomych łupkach zaznacza się ich zróżnicowanie w obszarach górniczych, wzrost zawartości w kierunku północnym, wyraźne obniżenie zawartości związane ze strefą utlenioną, przy słabszym związku ze strefami elewacji w stopie białego spągowca.

TABELA 2. Średnia zawartość  $C_{org}$  w litologicznych odmianach rudy miedziTABLE 2. Average  $C_{org}$  content in different types of copper ore

Seria litologiczna	Złoże					KGHM
	Lubin-Małomice	Polkowice	Sierszowice	Rudna	GG-P	
Wapienie, dolomity	1,53	0,69	1,28	0,72	1,53	1,10
Łupki	6,06	5,74	7,08	8,17	7,13	6,75
Piaskowce	0,22	0,25	0,36	0,38	0,74	0,33

Strefa utleniona zaznacza się szczególnie w części zachodniej i południowo-zachodniej OG Sierszowice, gdzie zawartość  $C_{org}$  obniża się do 2%, a następnie wzrasta w kierunku wschodnim do 4–6%. Strefa utleniona przedłuża się na środkową część OG Polkowice oraz na południową część pola zachodniego OG Lubin.

W strefach elewacji stropu białego spągowca, jakie występują w obszarach górniczych, zawartość  $C_{org}$  obniżona do 2–4% zaznacza się w postaci nieregularnych powierzchni o kierunku NW-SE. W strefach tych, zwłaszcza w części przechodzącej na obszar kopalni Lubin, złoże zostało w większości wybrane i w niewielkim stopniu wpływać będzie na zawartość  $C_{org}$  w urobku.

Na pozostałych obszarach zawartość  $C_{org}$  w łupkach zawiera się w przedziale 6–10%, a nawet powyżej 10%. W obszarze górniczym Sierszowice zasadnicza strefa o wysokich zawartościach  $C_{org}$ , decydująca o jakości urobku, obejmuje część środkową i północną graniczącą z obszarem Głogów Głęboki Przemysłowy, a od wschodu z obszarem Rudna. Druga szeroka strefa o kierunku NW-SE przebiegająca od rejonu szybu SW-4 do granic obszarów Polkowice i Rudna ma obecnie mniejsze znaczenie ze względu na znaczne wyeksploatowanie tych obszarów. Z powodu zaawansowanej eksploatacji, zwłaszcza na większości pola Polkowice oraz środkowej i południowej części pola Rudna, maleje znaczenie łupków jako głównego nośnika  $C_{org}$ . Zaznacza się to zwłaszcza w urobku łupkowym z obszaru Polkowice pochodzącym z ubogich w  $C_{org}$  partii południowych.

Także w obszarze Lubin wybrane zostały główne części złoże z łupkami wzbogaconymi w  $C_{org}$ . W części południowej (strefa utleniona) zawartość  $C_{org}$  jest najniższa i wynosi około 2%. Obszar północny Lubin i środkowy Małomice wykazują znaczne zróżnicowanie, w granicach 4–10%  $C_{org}$ . Mają one jednak ograniczony zasięg, co powodować będzie stopniowe obniżanie  $C_{org}$  w urobku łupkowym.

Obszar Rudna charakteryzuje się wysoką zawartością  $C_{org}$  w łupkach, z wyłączeniem części wschodniej położonej na N od R-VIII oraz wspomnianych stref związanych z elewacjami w stropie białego spągowca. Na pozostałej części przeważają wartości  $C_{org}$  na poziomie 4–8%, a nawet powyżej 10%. Fakt ten zaznacza się w niektórych oddziałach, gdzie w urobku rudy łupkowej zawartość  $C_{org}$  przekracza 11,5%. Jednak niezależnie od wyników badań w łupkach, o zawartości  $C_{org}$  w urobku decyduje udział piaskowców.

W zagospodarowywanym obszarze górniczym Głogów Głęboki Przemysłowy występuje kontynuacja wysokich zawartości  $C_{org}$  (4–8%), jakie mają miejsce w OG Rudna, a głównie OG Sierszowice. Zaznacza się także wyraźnie strefa uboga w  $C_{org}$  o przebiegu NW-SE, biegnąca od środkowej części północnej granicy OG Rudna do projektowanego szybu GG-1.



### 2.3. Macerały węgla w łupkach

Analizie materii organicznej i jej znaczeniu poświęcone są liczne publikacje, przy czym ze względów użytkowych zwraca uwagę praca dotycząca facji o zmiennym stopniu utlenienia (Więclaw i in. 2007). Według autorów są to facje o następujących właściwościach:

- redukcyjna, w której łupki cechuje ciemne zabarwienie związane z wysoką zawartością materii organicznej oraz obfita mineralizacja kruszcami miedzi i innych metali;
- utleniona, występująca w południowo-zachodniej części obszaru, zazwyczaj w spagu serii miedzionośnej; wykazuje ona charakterystyczne zabarwienie czerwono-brunatne związane z obecnością tlenków żelaza i ograniczoną zawartość materii organicznej;
- przejściowa, będąca wynikiem nieostrego przejścia od niezmienionej facji redukcyjnej do utlenionej, co ma miejsce zarówno w profilu pionowym, jak i rozprzestrzenieniu poziomym; łupki tej facji wykazują szare zabarwienie z czerwonymi plamami, podwyższoną zawartość  $C_{org}$  i mniejszą ilość tlenków żelaza.

Badania chemiczne próbek geologicznych pobieranych ze złoża oraz nadawy i koncentratu wskazują na znaczenie węgla organicznego jako jednego z ważnych składników w procesie produkcji miedzi. Badania mineralogiczne potwierdzają nie tylko obecność  $C_{org}$ , ale pozwalają określić rodzaj materii organicznej i budujące ją składniki – macerały (Nowak 2003).

W skałach złożowych, głównie w łupkach miedzionośnych, występują trzy grupy macerałów, z których podstawowym jest liptynit, w podrzędnej ilości występuje wityrynit oraz inertynit. W pełnym spektrum stwierdzono je w łupku facji redukcyjnej, natomiast w strefie przejściowej i utlenionej ich obecność, zwłaszcza liptynitów, maleje.

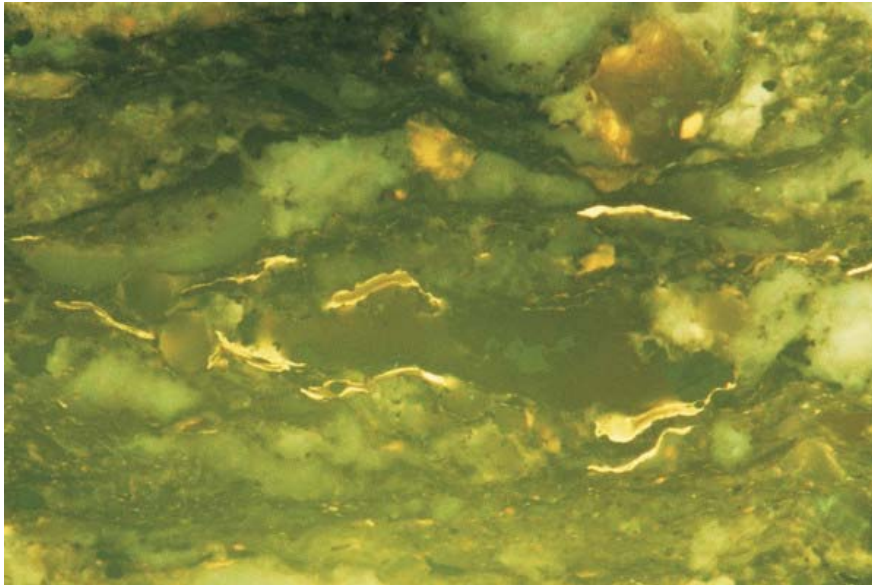
Głównym macerałem w łupkach miedzionośnych jest **liptynit**, a w jego obrębie *bituminit*, *alginit* i *sporynit*. Bituminit z kolei jest dominującym składnikiem materii organicznej w łupkach miedzionośnych, którego zawartość sięga nawet 85% komponentów organicznych w facji redukcyjnej. Nie jest to pojedynczy macerał liptynit, ale grupa odmian o zbliżonych cechach optycznych. Alginit (fot. 1) występuje także w facji redukcyjnej, często z bituminitem, z którym wiąże się pochodzeniem z alg lub materiału algowego. Jego zawartość jest znacznie mniejsza i zawiera się w szerokim przedziale 3–30%.

Sporynit występuje także w facji redukcyjnej w ilości do 6%, zazwyczaj śladowo. Są to spory i pyłki roślin nagonasiennych, zwłaszcza szpilkowych. Z macerałami grupy liptynit związane są stałe bituminy (stałe węglowodory), zazwyczaj w ilościach od śladowych do kilku procent. Specyficzną odmianą stałych bituminów jest tucholit zawierający pierwiastki promieniotwórcze. Stwierdzono także mieszane formy materii organicznej i stałych węglowodorów z mineralnymi składnikami łupku.

Następną grupą co do intensywności występowania są macerały **wityrynit**. Nie stanowią one znaczącego udziału w składzie materii organicznej, a ich zawartość oscyluje w granicach kilku procent. Znane są dwie generacje wityrynit: autochtoniczny i allochtoniczny. W pierwotnym wityrynicie (fot. 2) najczęściej reprezentowany jest bezstrukturalny kolinit, rzadko występuje macerał o zachowanej strukturze komórkowej (telinit). Wtórą generację wityrynit reprezentuje wirodetrynit występujący w formie drobnych i rozproszonych ziaren.

Grupą składników organicznych o najniższej frekwencji na poziomie kilku procent jest **inertynit**. Podstawowymi macerałami w tej grupie są: inertodetrynit i mikrynit; inne – jak makrynit – występują sporadycznie.





Fot. 1. Łupek. Przykład form występowania alginitu (strzępki, blaszki oraz rozproszone wtrącenia) – jednego z macerałów węgla organicznego

Phot. 1. Shale. Example of alginite (one of organic carbon macerals) forms (hypha, laminas and dispersed matter)



Fot. 2. Łupek. Przykłady występowania macerałów węgla organicznego – wityrynytu (ciemne ziarna) i bituminitu (brunatne smużki w tle skały)

Phot. 2. Shale. Examples of organic carbon – vitrinite (dark particles) and bituminite (brown small strips in the rock background)

Główna część materiału organicznego jest pochodzenia morskiego (alginit, bituminit, mikrynit, bituminy stałe). Utworzył się on z alg morskich i kolonii algowych oraz planktonu lub w wyniku ich rozkładu w warunkach anaerobowych. Natomiast stałe bituminy są produktem wtórnym rozkładu lipoidalnej materii organicznej i częściowo reprezentują migrujące węglowodory, które infiltrowały skałę, stanowiąc składową spoiwa lub wypełnienia przestrzeni porowych.

Materiał ładowy stanowią głównie wityrynit, inertynit i sporynit. Materiałem wyjściowym dla tej części macerałów są zasobne w celulozę komponenty roślinne oraz spory i pyłki roślin szpilkowych.

Macerały materii organicznej stanowią stały składnik facji redukcyjnej, w ograniczonym stopniu występują w strefie przejściowej. W facji utlenionej na ogół nie występuje liptynit, sporadycznie spotyka się relikty inertynitu, a wityrynit ulega przeobrażeniu.

#### 2.4. Zawartość węgla organicznego w skałach węglanowych Ca1

Jakościowo urobek pochodzący z rudy węglanowej i piaskowcowej w znaczący sposób odróżnia się od pochodzącego z rudy łupkowej, która jest głównym nośnikiem  $C_{org}$  (tab. 2). Fakt zmiennej obecności węglanów i piaskowców w furcie wybierania znajduje odbicie także w zawartości TOC w urobku przekazywanym do zakładów wzbogacania. Proces ten jest powszechnie znany i udokumentowany, głównie w odniesieniu do miedzi, dotyczy bowiem tych pierwiastków, które wykazują wysoką koncentrację w łupkach. Przybieranie występujących w stropie skał węglanowych – ze względów technologicznych powszechne – może powodować obniżenie średniej zawartości  $C_{org}$  w urobku. Na ogół nie wykonuje się analiz pełnych w interwałach poza złożem bilansowym, ale pośrednio można określić relacje zmian  $C_{org}$  w profilu górniczym. Zawartości średnie (tab. 2) oraz rozrzut wartości uzyskanych w analizach pełnych (rys. 4) wskazują, że zarówno w węglanowej, a zwłaszcza piaskowcowej strefie pozazłożowej, nie występują wzbogacenia mogące mieć wpływ na jakość urobku.

Rozkład zawartości  $C_{org}$  w warstwie węglanowej w profilu pionowym złoża wskazuje na tendencję malejącą w kierunku stropu (Piestrzyński i in. 2006). Znajduje to swój wyraz w zestawieniu wartości średnich w przedziałach miąższości:

2,00–2,50 m:	średnia zawartość	$C_{org}$	– 0,51%
1,50–2,00 m:	„	„	– 0,67%
1,00–1,50 m:	„	„	– 0,71%
0,50–1,00 m:	„	„	– 0,98%
0,25–0,50 m:	„	„	– 1,59%
0,00–0,25 m:	„	„	– 2,48%

Przedstawiona zależność wynika z budowy skał węglanowych, ich składu mineralnego i struktury. Skały te, w części spągowej zazwyczaj dolomity, mają charakter marglisty, zawierają podwyższoną zawartość minerałów kruszcowych i stanowią ważny składnik złoża bilansowego.

Ruda węglanowa w obszarze górniczym Lubin eksploatowana będzie w części północnej i południowej oraz w złożu Małomice. W części południowej zawartość  $C_{org}$  wynosi ponad 0,5% i rośnie do 2% w kierunku pola Małomice. Lokalnie podwyższone zawartości tego składnika mają miejsce w środkowej partii Małomic oraz w filarach szybowych.

W obszarze Polkowice urabiana będzie ruda węglanowa zawierająca powyżej 0,5% w rejonie wschodnich i zachodnich filarów szybowych, na południu lokalnie do 2%. Są to jednak obszary związane ze strefą utlenioną i nie wnoszą zmian w jakości urobku pod względem udziału  $C_{org}$ .

Na przeważającej części obszaru górniczego Rudna ruda węglanowa jest uboga w  $C_{org}$  – jego zawartość nie przekracza 0,5%, a niekiedy nawet 0,01%. W partiach planowanych do eksploatacji zawartość przekraczająca 0,5%  $C_{org}$  ma miejsce na NW od szybu R-VIII i R-IX oraz NE od R-VII. Powyżej 0,5%, do 2%, zawartość  $C_{org}$  wzrasta w rejonie na NE od szybów zachodnich. Ponadto, przy granicy z obszarem GGP rozpoczyna się rozległa strefa, w której udział  $C_{org}$  przekracza 0,5%. Na obszarze GGP jego zawartość wzrasta do 2–4%.

Obszar górniczy Sieroszowice charakteryzuje się rozwiniętym udziałem rudy węglanowej zawierającej węgiel organiczny. Wyraźnie zaznacza się tu strefa o kierunku NE, biegnąca od szybów głównych aż na teren GGP, w której TOC zawiera się w przedziale od 2% do ponad 6%. W rozległym otoczeniu tej strefy, w tym przylegającej do GGP, powszechny jest udział  $C_{org}$  na poziomie powyżej 0,5%. Druga strefa o kierunku NW-SE, z dwoma lokalnymi centrami o zawartości  $C_{org}$  powyżej 4% występuje w środkowej części obszaru na południe od SW-1. Na około 30% obszaru, w tym w części południowo-zachodniej oraz środkowej, graniczącej z OG Rudna, zawartość  $C_{org}$  maleje do śladowych ilości.

Ogólnie należy przyjąć, że najwyższe zawartości TOC w rudzie węglanowej pochodzą z OG Sieroszowice oraz ze wschodniej i środkowej części GGP.

## 2.5. Macerały węgla w skałach węglanowych

W próbkach wapienia cechsztyńskiego stwierdzono macerały podstawowych grup, jakie występują w łupkach miedzionośnych, przy wyraźnej dominacji liptynitu. Najpełniejsze spektrum komponentów organicznych występuje w próbkach ciemnoszarego dolomitu ilastego o ziarnistej strukturze, natomiast ich zawartość drastycznie maleje w próbkach dolomitów smugowanych.

**Liptynit** – spośród wyróżnionych powyżej macerałów tej grupy oznaczono: *alginit*, *bituminit* i *liptodetrynit*. Alginit występuje powszechnie, ale w zmiennych proporcjach, w badanych próbkach wapienia cechsztyńskiego. Bituminit to jeden z głównych składników organicznych w wapieniu cechsztyńskim. Jego frekwencja waha się od ilości śladowych (w próbkach dolomitu smugowanego) do ponad 90% udziału wszystkich komponentów organicznych (w próbkach dolomitu ilastego). W dolomicie ilastym (częściej), jak i smugowanym (rzadziej), zamiast bituminitu (jeśli występuje, to w nieznacznych ilościach) pojawia się jego modyfikacja, którą można określić ze względu na cechy optyczne jako materię wityrynitopodobną. Liptodetrynit występuje dość powszechnie w redukcyjnych odmianach łupku miedzionośnego.

Poza macerałami grupy liptynitu w badanych skałach można spotkać także stałe bituminy (SB). Mogą one cechować się różnymi własnościami optycznymi, wśród których najistotniejsze są fluorescencja lub jej brak oraz zróżnicowana refleksyjność.

**Inertynit** – jest grupą składników organicznych stosunkowo powszechnie występujących w badanych próbkach wapienia cechsztyńskiego. Inertynit w analizowanych preparatach mikroskopowych reprezentują przeważnie *inertodetrynit* i rzadko *mikrynit*.

**Witrynit** – występuje niezwykle rzadko i w niewielkich ilościach. Odnotowany w dolomicie ziarnistym witrynit reprezentuje jego redeponowaną odmianę.

Przedstawione powyżej informacje dotyczyły macerałów, podczas gdy w utworach redukcyjnych obecna jest także substancja organiczna, stanowiąca mieszaninę lipoidalnej materii organicznej (złożonej z submikroskopowej wielkości fragmentów bituminitu, alginitu oraz liptodetrynit), stałych bituminów oraz mineralnego tła skały, określana tu jako **asocjacja bitumiczno-mineralna (ABM)**.

## 2.6. Zawartość węgla organicznego w piaskowcach

W piaskowcach zawartości  $C_{org}$  są na bardzo niskim poziomie (tab. 2), nie jest też znany rozkład zawartości tego składnika w profilu pionowym. Zaznacza się to szczególnie w OG Polkowice i OG Sieroszowice, których południowo-zachodnie i zachodnie części nie zawierają istotnej w praktyce ilości TOC. Fakt ten wiąże się ze strefą utlenioną charakterystyczną zarówno dla okruszczenia złożowego, jak też obecności i form występowania materii organicznej. Na pozostałych obszarach zawartość  $C_{org}$  kształtuje się na poziomie 0,2%, lokalnie w nieregularnie rozmieszczonych strefach przekracza 0,4%, głównie w części wschodniej OG Sieroszowice. Podwyższone do 0,4% zawartości  $C_{org}$  zarejestrowano w obszarze górniczym GGP przy wschodniej jego granicy, które w części środkowej przekraczały 0,8% z tendencją wzrostową w kierunku NE. Na podstawie obecnego zbioru danych (rys. 4a) zaznacza się charakterystyczny, jednomodalny rozkład, w którym dominuje zawartość  $C_{org}$  w przedziale 0–1%, natomiast w pojedynczych próbkach wynosi niekiedy 2–3%. Wyniki wskazują na to, że wzrost ilości urobku piaskowcowego powoduje obniżenie zawartości  $C_{org}$  w rudzie przekazywanej do zakładów wzbogacania.

## 3. Związek $C_{org}$ z innymi pierwiastkami, głównie miedzią

Zagadnienie to podejmowane było w fazie dokumentowania złoża jako sugestia, że widoczna jest zależność między węglem organicznym a miedzią, chociaż nie określono bliżej tej zależności. W późniejszym okresie określano zależność węgla organicznego z innymi pierwiastkami, a przegląd tych wyników zawiera praca ZBiPM Cuprum (Kijewski, Zaleska 1987). I tak dla łupków z cechsztynu Niemiec współczynniki korelacji ( $r$ ) kształtowały się na poziomie:

( $r \sim 0,24-0,29$ ) dla miedzi,

( $r \sim 0,17-0,33$ ) dla srebra,

( $r \sim 0,29-0,68$ ) dla kobaltu,

( $r \sim 0,22-0,86$ ) dla niklu.

Uzyskane wyniki nie wskazują na to, aby zależności te miały jakiegokolwiek znaczenie prognostyczne. Zgodnie z cytowaną pracą (Kijewski, Zaleska 1987) w cechsztynie monokliny przedsudeckiej zależności te analizowane były w kilku ośrodkach i uzyskano następujące rezultaty:

Według Cz. Harańczyka (1972) współczynnik  $r$  dla  $Cu-C_{org}$  waha się od 0,68 do 0,92.

Według J. Piątkowskiego i M. Preidl (1970) współczynnik  $r$  dla  $Cu-C_{org}$  wynosi:

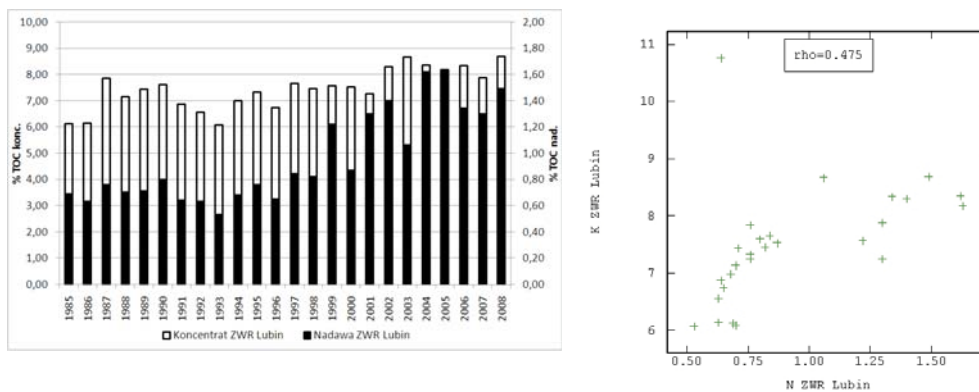
0,538 dla łupków,  
0,307 dla węglanów,  
0,612 dla piaskowców.  
Według J. Serkiesa (1972) współczynnik  $r$  dla  $Cu-C_{org}$  w złożu rudy miedzi wynosi 0,511.  
Według A. Kaczmarka (1972) współczynnik  $r$  dla  $Cu-C_{org}$  w łupkach z kopalni Lubin wynosi:  
0,653 dla łupków smolistych,  
0,295 dla łupków dolomityczno-ilastych.  
Według P. Kijewskiego i M. Zaleskiej (1987) współczynnik  $r$  dla  $Cu-C_{org}$  wynosi:  
w złożu OG Lubin: 0,45 dla złoża i łupków,  
0,39 dla węglanów,  
0,28 dla piaskowców,  
0,45 dla Ag w złożu;  
w złożu OG Polkowice: 0,76 dla łupków,  
0,55 dla złoża,  
0,41 dla piaskowców,  
0,56 dla Ag w złożu;  
w złożu OG Rudna: 0,72 dla łupków,  
0,42 dla złoża,  
0,38 dla węglanów,  
0,30 dla piaskowców,  
0,43 dla Ag w złożu;  
w złożu OG Sierszowice: 0,73 dla złoża,  
0,43 dla łupków,  
0,84 dla węglanów,  
0,49 dla Ag w złożu.

#### **4. Związek pomiędzy zawartością $C_{org}$ w nadawie i koncentracie**

Zawartość  $C_{org}$  w nadawie i koncentracie oznaczana jest w zakładach wzbogacania rud w próbkach dobowych, kwartalnych i rocznych. Na podstawie wyników analiz rocznych z lat 1982–2008 skonstruowano stosowne wykresy relacji zawartości  $C_{org}$  w nadawie i koncentracie (rys. 5a, b, c).

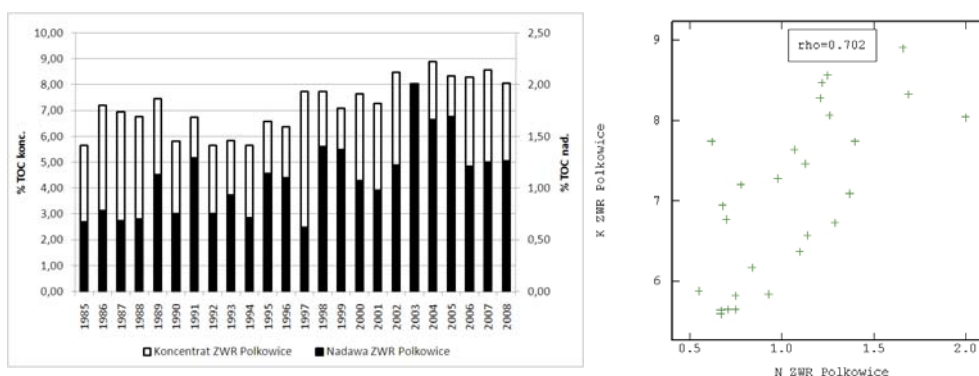
Wyniki analiz rocznych wykazują, że w nadawie przekazywanej do przeróbki ma miejsce wzrost zawartości TOC od poziomu 0,7–0,8% do 1,3–1,5%, a w każdym z trzech ZWR zmiany te mają odrębną charakterystykę (rys. 5a, b, c). Tendencja wzrostu zawartości TOC w koncentracie zaznacza się w mniejszym stopniu i nie wykazuje wyraźnego związku z nadawą. Zawartość TOC w koncentracie kształtuje się następująco: w ZWR Lubin od około 6,5 do 8,8%, w ZWR Polkowice od 5,7 do 9% oraz w ZWR Rudna od 6 do 8%. Zwraca uwagę fakt okresowego uzyskiwania koncentratów o bardzo wysokiej zawartości węgla organicznego (ponad 9,5%) przekraczającej znacznie wyniki średnioroczne. Dysproporcję w zawartości TOC w nadawie i koncentracie, a tym samym pogarszanie stopnia wzbogacania i uzysku, co ma miejsce zwłaszcza od 2002 roku, wiąże się zazwyczaj z właściwościami flotacyjnymi łupka jako głównego nośnika TOC.





Rys. 5a. Wykres zawartości  $C_{org}$  w koncentracie i nadawie dla ZWR Lubin

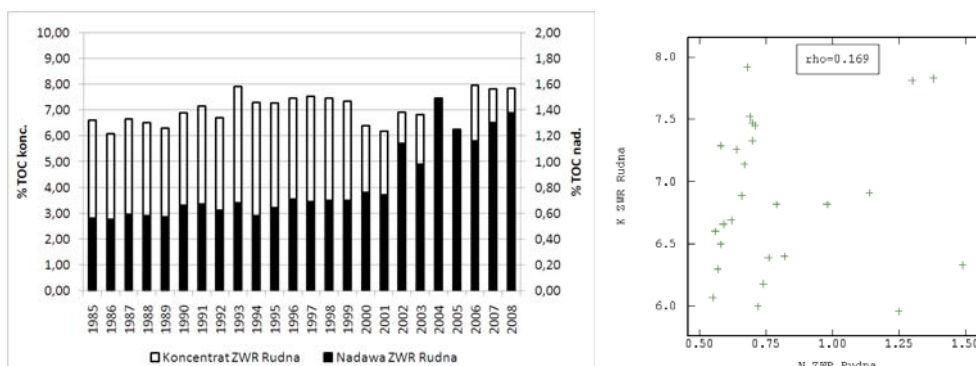
Fig. 5a.  $C_{org}$  content in concentrate and feed – Lubin processing plant



Rys. 5b. Wykres zawartości  $C_{org}$  w koncentracie i nadawie dla ZWR Polkowice

Fig. 5b.  $C_{org}$  content in concentrate and feed – Polkowice processing plant

Obserwowany wzrost zawartości TOC w koncentracie, a zwłaszcza występujące okresowe jej wahania, mają znaczenie dla przebiegu procesów hutniczych i ich efektywności. W starszej technologii pieca szybowego (HM Legnica i HM Głogów I) węgiel organiczny nie stanowi problemu, a jego obecność jest nawet korzystna ze względów energetycznych. Natomiast w jednostadialnej technologii pieca zawieszinowego zawartość TOC na poziomie przekraczającym 8% zaburza bilans cieplny przetopu koncentratu, wydatnie obniża wydajność pieca zawieszinowego i zwiększa koszty produkcji. Ponieważ KGHM planuje odstąpienie od stosowania pieców szybowych, jakość koncentratów – w tym zawartość w nich TOC – jest zagadnieniem o dużym znaczeniu. Do tej pory w procesie przerobki mechanicznej, mimo szerokiego zakresu badań nie uzyskano technologicznych możliwości uzyskania odrębnego koncentratu łupkowego o wysokim wzbogaceniu w węgiel organiczny i inne metale. Obecnie częściowe rozwiązanie problemu węgla organicznego możliwe jest na



Rys. 5c. Wykres zawartości  $C_{org}$  w koncentracie i nadawie dla ZWR Rudna

Fig. 5c.  $C_{org}$  content in concentrate and feed – Rudna processing plant

drodze flotacyjnego rozdziału produkowanego koncentratu na dwa odrębne: o wysokiej zawartości TOC rzędu 9,6–9,85%, oraz ubogiego – zawierającego poniżej 7,5% TOC. Koncentrat niskowęglowy przerabiany byłby w piecu zawieszinowym, podczas gdy wysokowęglowy – w piecu szybowym.

Zamierzona w strategii rozwoju KGHM likwidacja przestarzałych pieców szybowych wywołuje konieczność opracowania innych rozwiązań zmierzających do ograniczenia znaczenia TOC w produkcji miedzi. Jednym z takich rozwiązań jest utleniające prażenie koncentratu, co pozwoli na obniżenie poziomu TOC i przerabianie w piecu zawieszinowym z odpowiednio wysoką wydajnością.

Jak wynika z przedstawionego materiału, o ile zasadnicze znaczenie dla wydajnych procesów w hutnictwie miedzi ma produkcja odpowiedniej jakości koncentratów miedzi, to nie bez znaczenia są także aspekty geologiczne. Dotyczą one nie tylko podstawowego celu, tj. prognozy ilościowej TOC, ale także innych zagadnień, w tym rozszerzenia badań nad rozpoznaniem zmienności występowania TOC w rudzie węglanowej i piaskowcowej, składu macerałów węgla w odmianach rud oraz zachowania się macerałów w produktach przeróbki. Dla celów technologicznych niezbędna wydaje się zwłaszcza odpowiedź na pytanie, które macerały i w jakim stopniu przechodzą do koncentratu, oraz jaka jest ich rola w hutniczych procesach ogniowych.

## Podsumowanie

Cechą charakterystyczną złoża rud miedzi monokliny przedsudeckiej jest jego różnorodność związana z właściwościami wynikającymi ze składu minerałów kruszcowych i skałotwórczych oraz struktury. Wśród składników złoża węgiel organiczny ma znaczenie szczególne, bowiem uczestniczył w fazach jego formowania, a obecnie wpływa zarówno na przebieg procesu wzbogacania i produkcji koncentratu, jak też w istotnym stopniu na procesy ogniowe w technologii pieca zawieszinowego. W ostatnich kilku latach nastąpił wzrost zawartości  $C_{org}$  w urobku kopalnianym i okresowe znaczące jej wahania w pro-



dukowanym koncentracie miedzi. Zmiany te wiązane są zazwyczaj przez technologów z właściwościami flotacyjnymi łupka jako głównego nośnika  $C_{org}$ . Dalsze rozpoznanie w złożu rozmieszczenia węgla organicznego i jego macerałów oraz określenie obiegu macerałów w układzie nadawa – koncentrat miedzi – odpad wydaje się niezbędne dla celów utylitarnych przeróbki rud.

### *Literatura*

- Kijewski P., Zaleska M., 1987 – Określenie zmian rozprzestrzenienia oraz związków korelacyjnych w obrębie pierwiastków towarzyszących w obszarze miedzionośnym. Opracowanie ZBiPM Cuprum. Arch. KGHM Cuprum, Wrocław.
- Leszczyński R., 2007 – Węgiel (C) w procesie technologicznym wydobywania i przerobu rud miedzi. Oprac. Dep. Gosp. Zasobami KGHM, Lubin.
- Nowak G.J., 2003 – Petrologia materii organicznej rozproszonej w późnopaleozoicznych skałach osadowych południowo-zachodniej Polski. Czas. Nauk. Techn. Cuprum Nr 4, Wrocław.
- Oszczepalski S., 2007 – Mineralizacja Au-Pt-Pd w cechsztyńskiej serii miedzionośnej na obszarach rezerwowych górnictwa miedziożego. Biul. PIG nr 423, Warszawa.
- Piestrzyński A. (red.), 2006 – Analiza rozkładu  $C_{org}$  w złożu rud miedzi i jego ilości w urobku w aktualnych planach produkcyjnych. Tow. Bad. Przemian Środowiska „Geosfera”, Kraków.
- Więclaw D., Kotarba M.J., Pieczonka J., Piestrzyński A., Oszczepalski S., Marynowski L., 2007 – Rozmieszczenie strefy redukcyjnej, przejściowej i utlenionej w łupku miedzionośnym na monoklinie przedsudeckiej na podstawie wskaźników materii organicznej. Biul. PIG nr 423, Warszawa.