

PRAKTYCZNE ASPEKTY MODELOWANIA LITOLOGICZNYCH TYPÓW RUD W ZŁOŻACH Cu-Ag LGOM (LEGNICKO-GŁOGOWSKIEGO OKRĘGU MIEDZIOWEGO)

PRACTICAL ASPECTS OF LITHOLOGICAL TYPES MODELLING IN Cu-Ag ORE LGOM DEPOSIT (LEGNICA-GŁOGÓW COPPER DISTRICT)

WOJCIECH KACZMAREK¹, MATEUSZ TWARDOWSKI¹, MONIKA WASILEWSKA-BŁASZCZYK²

Abstrakt. Racjonalna gospodarka złożem rud miedzi oraz efektywne i bezpieczne prowadzenie robót górniczych opierają się na podejmowaniu decyzji, których podstawę stanowią dostępne dane geologiczne i doświadczenie zdobyte przez 50 lat działalności w dziedzinie górnictwa kruszcowego na monoklinie przedsudeckiej. W 2011 roku w KGHM Polska Miedź S.A. podjęto decyzję o budowie kompetencji w zakresie modelowania trójwymiarowego złoża rud miedzi. Zdecydowano, że model złoża będzie opracowany w dwóch wariantach, zarówno jako jakościowy na podstawie trzech głównych typów rud miedzi, tj. tradycyjnego podziału litologicznego na: węglany (W), łupki (L), piaskowce (P), jak i geologiczno-strukturalny na podstawie 16 szczegółowych typów litologicznych, wdrożonych do stosowania w latach 2009–2012. Charakterystyka szczegółowych typów litologicznych została opracowana na podstawie wieloletnich doświadczeń i wprowadzona w roku 2011 na podstawie instrukcji opróbowania złoża. Dane litologiczne W–L–P i szczegółowe, pochodzące z opróbowania wyrobisk górniczych, są przechowywane w Bazie Danych Geologicznych wdrożonej w roku 2010. Dane te są wykorzystywane w procesie strukturalnego modelowania złoża 3D, który składa się zarówno z modelu powierzchni stropowych wydzieleni poszczególnych typów litologicznych, jak i modelu blokowego 3D. Model W–L–P jest wykorzystywany w procesie komputerowego generowania trójwymiarowego modelu jakościowego złoża miedzi. Model geologiczno-strukturalny pozwala na wizualizację w przestrzeni 3D struktur geologicznych, jak również charakterystykę budowy litologicznej modelowanych obszarów, wspomagając tym samym proces interpretacji geologicznej. Dostarcza on wiele dodatkowych informacji, które z powodzeniem mogą znaleźć zastosowanie m.in. w procesie planowania produkcji górniczej.

Słowa kluczowe: modelowanie geologiczne 3D, litologia, złożo Cu-Ag, monoklina przedsudecka.

Abstract. Available geological data and 50 years of mining experience on Fore-Sudetic Monocline is a base of decision making for reasonable geological resource management of copper deposit with effective and safe mining works development. In 2011 KGHM Polska Miedź S.A. decided to build competence in 3D geological modelling. It was decided that copper deposit model would be built in two variants: grade model based on three main copper ore types, traditional lithological types for copper deposit, that is: carbonates (W), shale (L), sandstone (P), and geological-structural model based on sixteen detail lithological types, introduced between 2009–2012. Characteristic of those detail lithological types was developed on the basis of many years experiences and introduced to use by sidewall logging best practices in 2011. Lithological data W–L–P as well as detail lithological types, that come from mining excavation sampling, are stored in Geological Data Base, that was implemented in 2010. This data is used to build 3D geological-structural model. The model consist of 3D wireframes that represent top of each lithological structures and 3D block model. W–L–P model is used in 3D grade modelling process. Geological-structure model, as more detailed, allow to visualize geological structures and lithological structure of copper deposit in 3D, supporting geological interpretation process. In addition geological-structural model allows to acquire additional information, that could be effectively used in mining production planning process.

Key words: 3D geological modelling, lithology, Cu-Ag ore deposit, Fore-Sudetic Monocline.

¹ KGHM Polska Miedź S.A., ul. M. Skłodowskiej-Curie 48, 59–301 Lubin; e-mail: Wojciech.Kaczmarek@kghm.com, Mateusz.Twardowski@kghm.com.

² AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30–059 Kraków;
e-mail: wasilews@agh.edu.pl.

WSTĘP

Złoże miedziowo-srebrowe na monoklinie przedsudeckiej było określane bezpośrednio po odkryciu, analogicznie do złóż mansfeldzkich, mianem Kupferschiefer, czyli złożem łupków miedzionośnych. W stratoidalnym złożu LGOM (Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego) miedziowo-srebrową mineralizację stwierdza się w trzech podstawowych typach litologicznych, opisywanych już od etapu poszukiwania i rozpoznawania złoża. W początkowym okresie prowadzenia rozpoznania otworowego, a od roku 1963 rozpoznania wyrobiskami podziemnymi, opisywano serię węglanową, łupkową i piaskowcową. Stosowanie takich uproszczeń okazało się niewystarczające, więc z czasem zaczęto stosować dodatkowe określenia uszczegółowujące te trzy główne typy skał. Doświadczenia praktyczne z ostatnich kilkudziesięciu lat pozwoliły na opracowanie systemu oznaczania szczegółowych typów litologicznych skał budujących złoża. Dziś obok trzech „krótkich” nazw

litologicznych (piaskowiec, łupek, dolomit), stosuje się 16 szczegółowych typów litologicznych, oznaczanych makroskopowo w próbach pobieranych w wyrobiskach kopalń KGHM Polska Miedź S.A. Rozbudowa słownika nazw litologicznych i prawidłowe makroskopowe oznaczanie skał złożowych ma znaczenie praktyczne, wykorzystywane w celu geologicznej oceny złoża jak i planowania produkcji górniczej. Modelowanie trójwymiarowe 3 głównych i 16 szczegółowych typów litologicznych oraz ich relacji przestrzennych w stosunku do powierzchni referencyjnej (strop piaskowca) pozwala na wychwycenie istotnych prawidłowości pomiędzy poszczególnymi domenami geologicznymi złoża (np. elewacje i depresje stropu białego spągowca). Nie mniej istotnym powodem modelowania wszystkich 16 wydziałów litologicznych są aspekty gospodarcze, a przede wszystkim efektywne planowanie stabilnej i bezpiecznej produkcji rudy miedzi.

GLÓWNE I SZCZEGÓŁOWE TYPY LITOLOGICZNE RUD Cu-Ag W STRATOIDALNYM ZŁOŻU MONOKLINY PRZEDSUDECKIEJ

CHARAKTERYSTYKA GLÓWNYCH TYPÓW LITOLOGICZNYCH RUD MIEDZI

Zarówno praktyka geologiczno-górnicza, jak i przegląd literatury na temat budowy geologicznej złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej wskazują na istnienie trzech głównych typów litologicznych skał osadowych, budujących złoża rud miedzi: piaskowce kwarcowe, łupki miedzionośne i skały węglanowe.

Ruda piaskowcowa

Serię piaskowcową stanowią białe, białożare, jasnożare, ciemnożare, drobnoziarniste (ok. 0,1–0,2 mm) piaskowce kwarcowe. Udział składników szkieletu ziarnowego, innych niż kwarc, jest znikomy (rzadkość stanowią piaskowce, gdzie zawartość skaleni, okruchów skał, łuszczyków i innych ziaren terygenicznych wynosi więcej niż 15% składu). Materiał okruchowy charakteryzuje się średnim stopniem obtoczenia, ale bardzo dobrym stopniem wysortowania. Spoiwa piaskowców charakteryzują się dużą różnorodnością, zmienność spoiw sprawia, że geolodzy górniczy wydzielają wśród skał piaskowcowych kilka specyficznych typów piaskowców (Jerzykiewicz i in., 1976; Jarosz, Zaleska, 1977; Błaszczak, 1981; Kaczmarek, 2006). Różnorodność spoiw jest skutkiem zarówno zmienności środowiska depozycji i ewolucji basenu sedymentacyjnego na przełomie czerwonego spągowca i cechsztynu, jak i późniejszych procesów diagenetycznych.

Mineralizacja miedziowa w typowym profilu złoża obejmuje stropową partię serii piaskowcowej, choć istnieje wiele odstępstw od przyjętego typowego modelu złoża i modelu

litologicznego. Odstępstwa te scharakteryzowane zostaną w kolejnych rozdziałach niniejszej pracy. Miąższość utworów miedzionośnego białego spągowca jest bardzo zmienna, maksymalnie sięga kilkudziesięciu metrów, ale stwierdza się również obszary, gdzie bezpośrednio pod serią łupkową lub węglanową występują piaskowce płonne. W typowym przypadku, okruszczenie bilansowe obejmuje stropową część białych piaskowców (0–22 m), dolna część profilu białego spągowca zawiera minimalne ilości siarczków miedzi. Okruszczenie rud piaskowcowych jest zmienne również pod względem typów mineralizacji, dominującymi siarczkami miedzi są: chalkozyn, digenit, bornit, kowelin i chalkopiryt, udziały poszczególnych siarczków są zmienne. Powszechnym typem okruszczenia w piaskowcach są formy rozproszone (chalkozyn, digenit, chalkopiryt), masywne (chalkozyn, digenit, kowelin), rzadziej gniazdowe (Piestrzyński, 1996, 2007). Lokalnie spotykane są specyficzne formy lamin kruszczowych – „rytmików”, zbudowanych głównie z drobnych ziaren chalkozynu (Sawłowicz, Wedepohl, 1992).

Ruda łupkowa

Utwory zaliczane do poziomu łupku miedzionośnego są zróżnicowane i charakteryzują się zmiennym udziałem podstawowych składników, do których należą: minerały ilaste (illit, montmorylonit, chloryt), substancja organiczna, węglany (dolomit, kalcyt) oraz siarczki metali i materiał detrytyczny w postaci kwarcu, rzadziej skaleni, muskowitzu, okruchów skał i pojedynczych ziaren minerałów ciężkich (Oszczepalski, 1986, 1988; Speczik, Püttmann, 1987; Oszczepalski, Rydzewski, 1987; Vaughan i in., 1989; Ku-

cha, 1990; Śliwiński, 2000). Zawartość minerałów ilastych, substancji organicznej oraz kwarcu zmniejsza się w nich w kierunku stropu, natomiast wzrasta ilość węglanów (Jarosz, 1968). W utworach serii łupkowej występują liczne odstępstwa od podanego schematu, bowiem poszczególne odmiany litologiczne łupku spotyka się w różnej kolejności z częstymi powtórzeniami sekwencji łupkowej, a niektóre odmiany litologiczne łupków lokalnie nie występują. To właśnie zmienne proporcje poszczególnych składników oraz zróżnicowanie teksturalne pozwalają wyróżnić kilka odmian łupku (Śliwiński, 2000; Rydzewski, Śliwiński, 2007), które zostaną opisane w kolejnym rozdziale. Makroskopowo łupki miedzionośne są ciemnoszare i czarne, o bardzo dobrej podzielności płytkowej, w partiach stropowych wyraźnie laminowane materiałem jaśniejszym. W budowie wewnętrznej zaznacza się wyraźna kierunkowość skał podkreślona laminami o grubości 0,3–1,0 mm, tworzonymi przez materiał organiczny, minerały węglanowe i ziarna kwarcowe. Materia organiczna tworzy – poza laminami – także soczewkowane mikrowarstewki, lokalnie osiągające grubość do 10 mm. W postaci wkładek wewnątrz łupków spotyka się też soczewki piaskowcowe, liczniejsze w spągu serii łupkowej (Oszczepalski, 1988). Skały serii łupkowej charakteryzują się strukturą drobnokrystaliczno-pelitową, mikrokryształiczno-pelitową i pelitowo-aleurytową, teksturami kierunkowymi i cienkolaminowanymi (Śliwiński, 2000).

W rudzie łupkowej obecne są główne minerały miedziowe: chalkozyn, digenit, bornit, chalkopiryt, a nieco rzadziej kowelin i tetradryt. W typowej rudzie łupkowej dominuje rozproszony typ okruszczenia, choć dla łupków są charakterystyczne również licznie występujące, bardzo zróżnicowane żyłki i soczewki kruszczone, niespotykane w innych rodzajach rud (Mayer, Piestrzyński, 1985; Piestrzyński i in., 1996).

Ruda węglanowa

Utwory wapienia cechsztyńskiego, stanowiące rudę węglanową, charakteryzują się znaczną zmiennością litologiczną, wywołaną nie tylko zmianami warunków sedymentacyjnych (Peryt, 1978, 1981, 1984; Błaszczuk, 1981), ale również różnymi procesami przemian wtórnych, tj.: dolomityzacji, kalcytyzacji i dedolomityzacji (Lorenc, 1975; Niškiewicz, 1980). Okruszczenie bilansowe w serii węglanowej jest obserwowane jedynie w jej spągowej części – przy kontakcie z łupkiem miedzionośnym (profil typowy). W zachodniej części złoża na skutek działania późniejszych procesów mineralizacja miedziowa jest obserwowana w wyższych częściach profilu serii węglanowej (Piestrzyński, Wodzicki, 2000). Podobnie jak w pozostałych typach rud, dominującymi minerałami miedziowymi są: chalkozyn, digenit, bornit, chalkopiryt, rzadziej: kowelin, tennantyt i tetradryt. Okruszczenie rudy węglanowej ma charakter przede wszystkim rozproszony, rzadziej gniazdowy, lokalnie spotyka się również typ żyłkowy i soczewkowy.

CHARAKTERYSTYKA SZCZEGÓŁOWYCH TYPÓW LITOLOGICZNYCH RUD MIEDZI

O ile rozpoznawanie podstawowych trzech typów litologicznych rud miedzi nie stanowi problemu, o tyle rozpoznawanie makroskopowe w warunkach kopalnianych szczegółowych odmian dolomitu, łupku i piaskowca musi być wykonywane przez doświadczonych geologów. Opisy uściślające podstawową nazwę (węglany, łupki, piaskowce) są stosowane w kopalnianej praktyce geologicznej LGOM od kilkudziesięciu lat, obecnie są one obowiązujące i usankcjonowane w formie słownika litologicznego dołączonego do instrukcji opróbowania złoża. Nazwy skał, zwyczajowo stosowane w praktyce kopalnianej, nie zawsze odpowiadają prawidłowej nomenklaturze petrologicznej. W niniejszym artykule autorzy posługują się określeniami używanymi przez geologów kopalnianych KGHM Polska Miedź S.A. Obecnie stosowany słownik obejmuje 16 odmian litologicznych skał złożowych wraz ze skałami otaczającymi, w których ze względów technologicznych są prowadzone roboty górnicze. Najnowszy słownik odmian litologicznych, wraz z krótką charakterystyką skał, zostanie zaprezentowany w kolejnych rozdziałach.

Piaskowiec ilasty

Terminem piaskowce ilaste zostały określone piaskowce kwarcowe charakteryzujące się wysoką zawartością spoiwa ilastego, będącego w przewadze nad innymi spoiwami. Piaskowce ilaste są zwykle bogato okruszczone siarczkami miedzi. Są to skały zróżnicowane pod względem wyglądu makroskopowego. Obserwuje się wśród piaskowców ilastych znaczne zróżnicowanie barw: od białych, poprzez białoszare do szarych i czarnych, w partiach spągowych również różowe i czerwono-brunatne. Są to skały słabozwięzłe, rozsypliwie, w dłoniach rozpadają się na wyczuwalne pojedyncze ziarna. Występowanie piaskowców ilastych jest powszechne na całym obszarze złoża rud miedzi LGOM (fig. 1).

Piaskowiec anhydrytowy

Piaskowce anhydrytowe są najbardziej rozpowszechnionym w złożu przedstawicielem piaskowców, zawierających spoiwa siarczanowe. Za piaskowce anhydrytowe w praktyce kopalnianej uznaje się skały spełniające następujące warunki: zawartość minerałów siarczanowych (głównie anhydrytu) jest wyższa niż 30%, jednocześnie skały wykazują cechy budowy ziarnistej (okruchy materiału terygenicznego piaskowca są widoczne makroskopowo i wyczuwalne w dotyku). Są to skały masywne, ziarna detrytyczne są widoczne, choć niekiedy słabo, struktury sedymentacyjne są zwykle łatwiej dostrzegalne niż w lokalnie występujących tzw. anhydrytach piaszczystych, w których to skałach udział spoiwa siarczanowego jest większy od masy szkieletu ziarnowego (Jerzykiewicz i in., 1976; Jarosz, Zaleska, 1977; Błaszczuk, 1981; Kaczmarek i in., 2006). Niekiedy stwierdza się piaskowce anhydrytowe z bardzo dobrze zachowanym zespo-

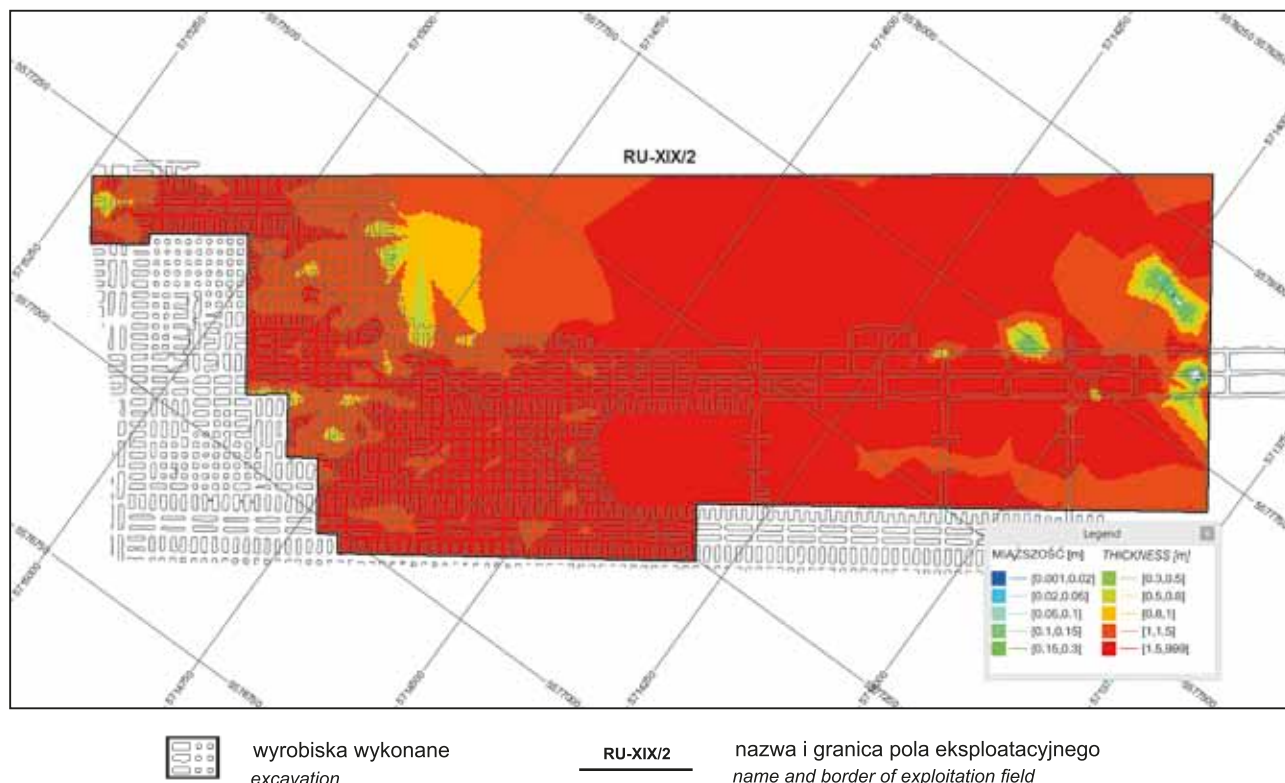


Fig. 1. Poglądowa mapa miąższości okruszczonego piaskowca o spoiwie ilastym w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of mineralized silty sandstone in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

łem struktur sedymentacyjnych, typowych dla piaskowców płytkowodnych (przekątne warstwowania średniej i małej skali, cienkie równoległe laminy ilasto-organiczne oraz ripplemarki). Rzadziej obserwuje się eoliczne wielkoskalowe warstwowania przekątne. W nomenklaturze kopalnianej do serii piaskowców anhydrytowych zalicza się też piaskowce o spoiwach gipsowych, gdzie w miejsce cementów anhydrytowych pojawia się gips. Częste są również spoiwa mieszane anhydrytowo-gipsowe. Obecność piaskowców o obfitych cementach siarczanowych jest rejestrowana jedynie na skłonach (rzadziej szczytach) elewacji stropu białego spągowca (fig. 2).

Piaskowiec ilasto-anhydrytowy

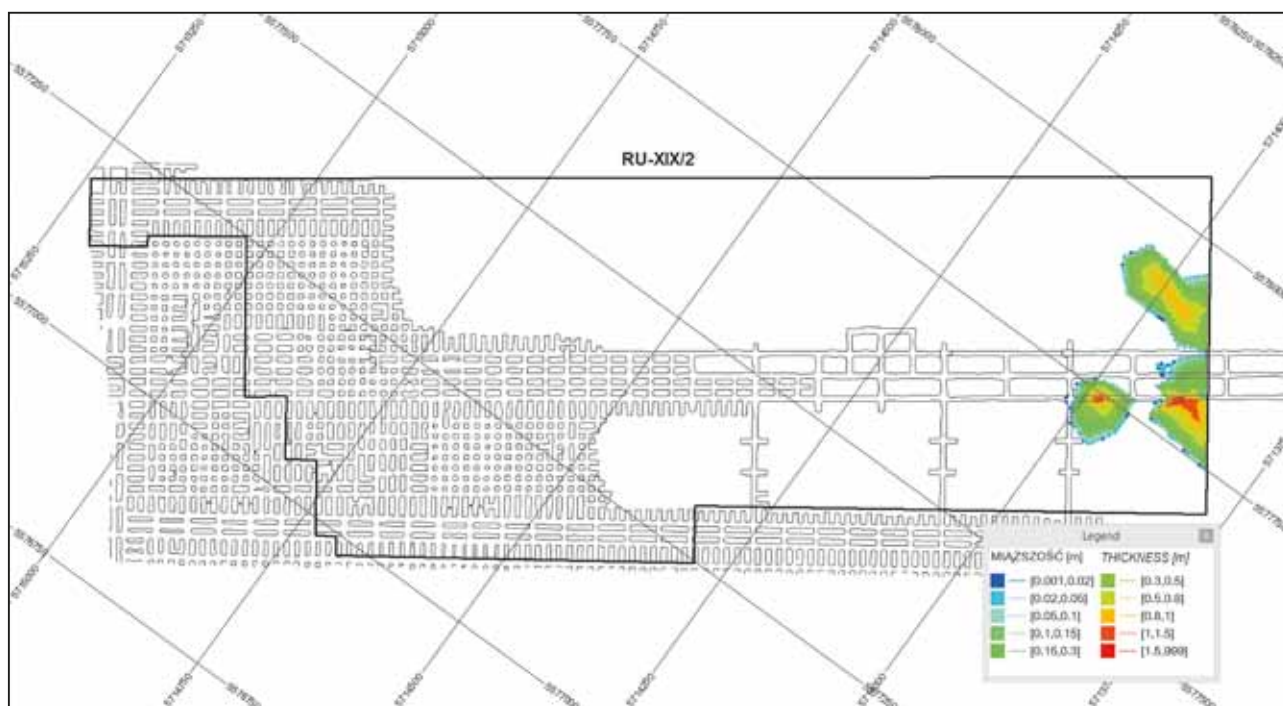
Piaskowce tego typu są dość powszechne w złożu, w składzie mineralnym spoiw dominują minerały ilaste, ale udział spoiwa siarczanowego jest makroskopowo zauważalny. Zgodnie z przyjętą w KGHM Polska Miedź S.A. klasyfikacją ilość siarczanów nie powinna w tym typie piaskowców przekraczać 30% masy skały. Skała jest zwięzła i twarda, zazwyczaj ma barwę jasnoszarą, pośrednią między piaskowcem o spoiwie ilastym a anhydrytowym. Struktury sedymentacyjne w dużym stopniu są zachowane. Piaskowce tego typu najczęściej występują w strefach elewacji stropu białego spągowca, często stanowią strefę kontaktową pomiędzy masywnym piaskowcem anhydrytowym i otaczającym go piaskowcem ilastym.

Piaskowiec węglanowy

Głównymi składnikami spoiwa piaskowców węglanowych są dolomit i kalcyt. Piaskowce o spoiwach węglanowych są spotykane w różnych częściach profilu złożowego, najczęściej w stropie serii piaskowcowej w szczytowych strefach elewacji stropu białego spągowca (fig. 3). Na elewacjach stropu białego spągowca obserwuje się nawet łagodne, stopniowe przejścia między piaskowcem o spoiwie węglanowym a dolomitem zapiaszczonym (por. dolomit piaszczysty). Strefy przejściowe mają miąższość kilkunastu centymetrów. W stropie elewacji, ponad dolomitem zapiaszczonym, występują „czyste” dolomity wapienste bez materiału okruczowego. Piaskowce o spoiwach węglanowych są skałami zwięzłymi, twardymi i dźwięcznymi o szarobeżowych, kremowych i beżowych barwach. Cechy skały okruczowej (ziarna terygenicznego piaskowca) są bardzo wyraźne. W piaskowcach węglanowych obserwuje się liczne i dobrze zachowane struktury sedymentacyjne, wśród których dominują struktury o genezie płytkomorskiej (Kaczmarek, 2006).

Łupek smolisty

Utwory rozpoczynające sekwencję łupku miedzionośnego na większości obszaru złoża (fig. 4) charakteryzują się czarną barwą, tłustym połyskiem i przewagą materii ilasto-organicznej nad mikrytem i materiałem okruczowym. Łupek smolisty jest bardzo kruchy, złuskowany ze względu na



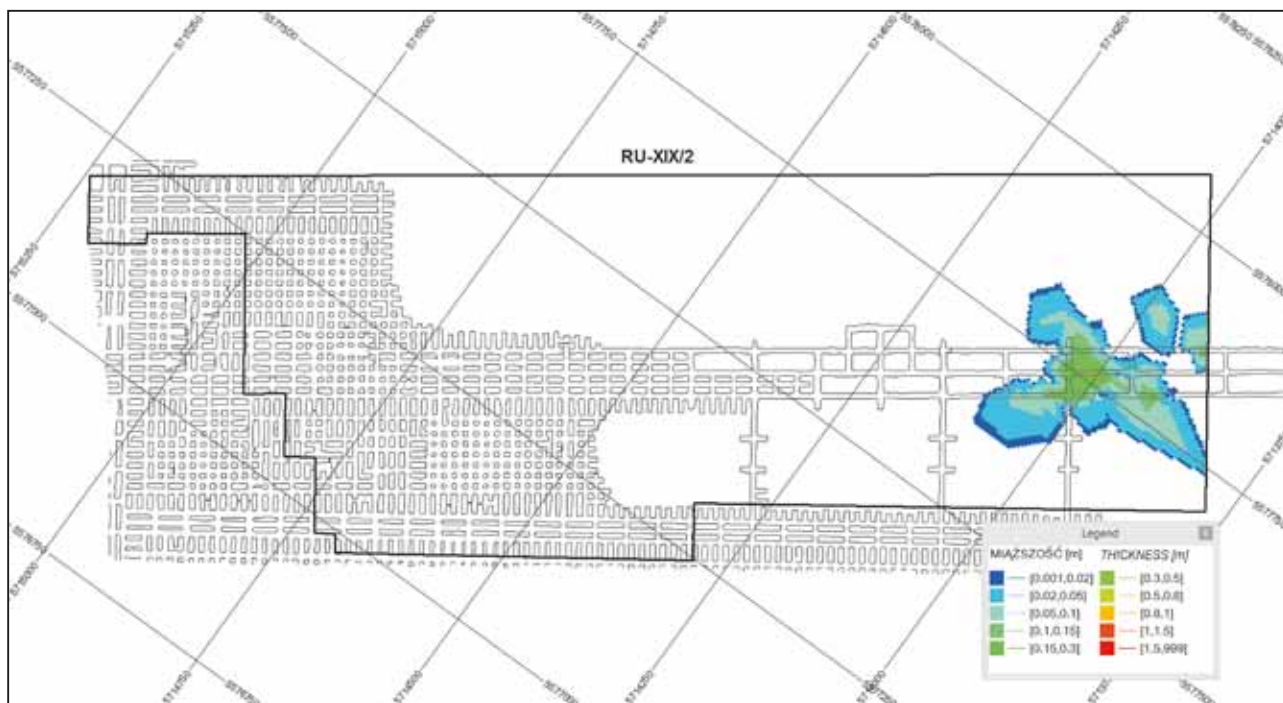
wyrobiska wykonane
excavation

RU-XIX/2

nazwa i granica pola eksploatacyjnego
name and border of exploitation field

Fig. 2. Poglądowa mapa miąższości piaskowca o spoiwie anhydrytowym w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of anhydrite sandstone in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.



wyrobiska wykonane
excavation

RU-XIX/2

nazwa i granica pola eksploatacyjnego
name and border of exploitation field

Fig. 3. Poglądowa mapa miąższości piaskowca o spoiwie węglanowym w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of carbonate sandstone in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

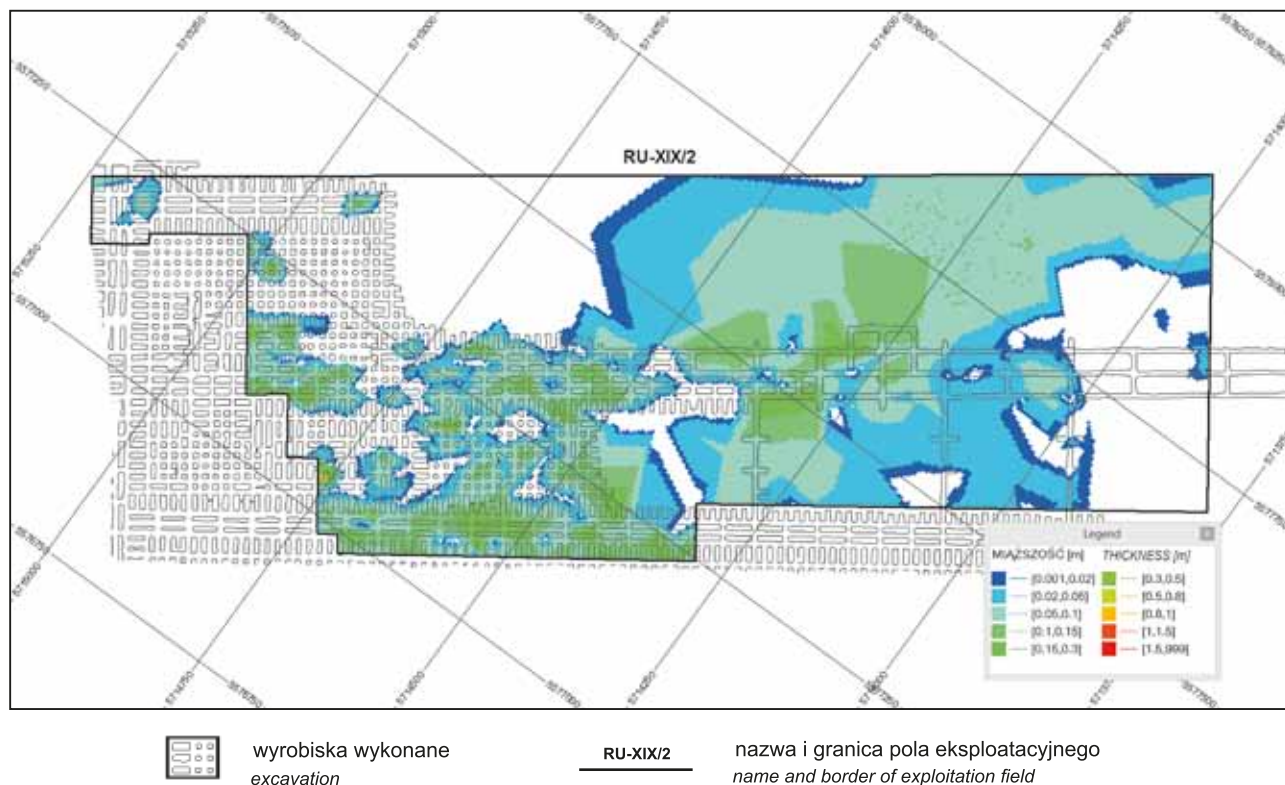


Fig. 4. Poglądowa mapa miąższości łupku smolistego w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of organic shale in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

dużą podatność na wpływy deformacji tektonicznych, z rysami ślizgowymi na powierzchniach lamin (Rydzewski, Śliwiński, 2007). Odmiana ta zawiera w składzie chemicznym najwięcej węgla organicznego (C_{org}), często powyżej 10% (Kucha, 1990; Kotarba, 2016). Miąższość łupków smolistych nie przekracza kilkunastu centymetrów. Utwory łupku smolistego są kruche i rozsypliwie, pod wpływem wody nabierają właściwości plastycznych.

Łupek ilasty

Ponad łupkiem smolistym z reguły występuje łupek ilasty lub ilasto-dolomityczny o wyraźnej oddzielności łupkowo-płytkowej, drobniejszej w spągu, grubszej w stropie. Są to utwory o czarnym zabarwieniu, bardziej zbite od spągowych łupków smolistych, z większym udziałem węglanów (głównie dolomit), a zmniejszonym detrytusem substancji ilastej i węglistej (Śliwiński, 2000; Kotarba, 2016). Miąższość tej partii skał jest zmienna od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów (fig. 5). Uziarnienie lokuje się w przedziale frakcji aleurytowej i pelitowej (Zielińska, 2015).

Łupek dolomityczny

Serię łupkową kończy w stropie łupek dolomityczny zachowujący wewnętrzną laminację równoległą, natomiast makroskopowo obserwowana oddzielność jest tu mniejsza niż w przypadku łupku ilastego, choć wciąż wyraźna.

Barwa tych utworów jest nieco jaśniejsza – ciemnoszara, a miąższość waha się od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. W składzie łupku dominuje dolomit (głównie mikryt) przewarstwiony minerałami ilastymi. Uziarnienie łupków dolomitycznych należy do frakcji pelitowo-aleurytowej, a laminację tej odmiany łupków można określić jako smużysto-laminarną, ewentualnie soczewkową (Zielińska, 2015).

Łupki dolomityczne są bardzo rozpowszechnione w obszarach, gdzie występuje „pełny” profil złożowy, czyli w depresjach stropu białego spągowca (fig. 6), natomiast niewielkie ich soczewki spotykane są na skłonach elewacji. W kilku przypadkach zanotowano obecność kilkunastocentymetrowych soczewek łupku na szczytach elewacji (np. Centralna Elewacja Rudnej) (Kaczmarek i in., 2007).

Dolomit graniczny

Dolomit graniczny (wapień podstawowy) osadził się jedynie w obrębie depresji i na skłonach elewacji stropu białego spągowca. W strefie złożowej dolomit graniczny ma miąższość od kilku do około 40 centymetrów i tworzy soczewki o powierzchni kilku hektarów. Wyróżnia się kilka mikrofacji dolomitu granicznego (Oszczepalski, 1985; Peryt, Oszczepalski, 1996; Śliwiński, 2000), obserwowanych sekwencyjnie od skłonu elewacji ku depresji. Ziarna dolomitu (rzadziej kalcytu), budujące masywną warstwę dolomitu granicznego, należą do frakcji mikrytowej i mikrosparytowej.

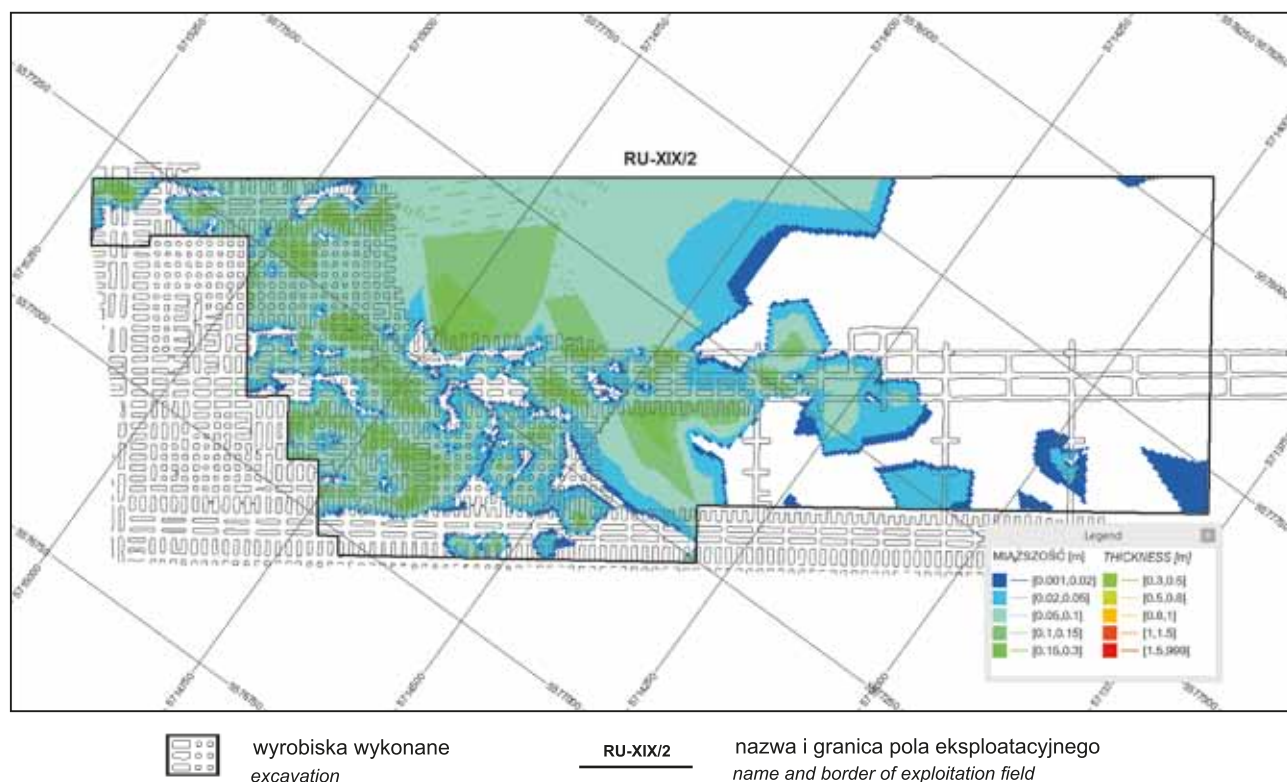


Fig. 5. Poglądowa mapa miąższości łupku ilastego w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of silty shale in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

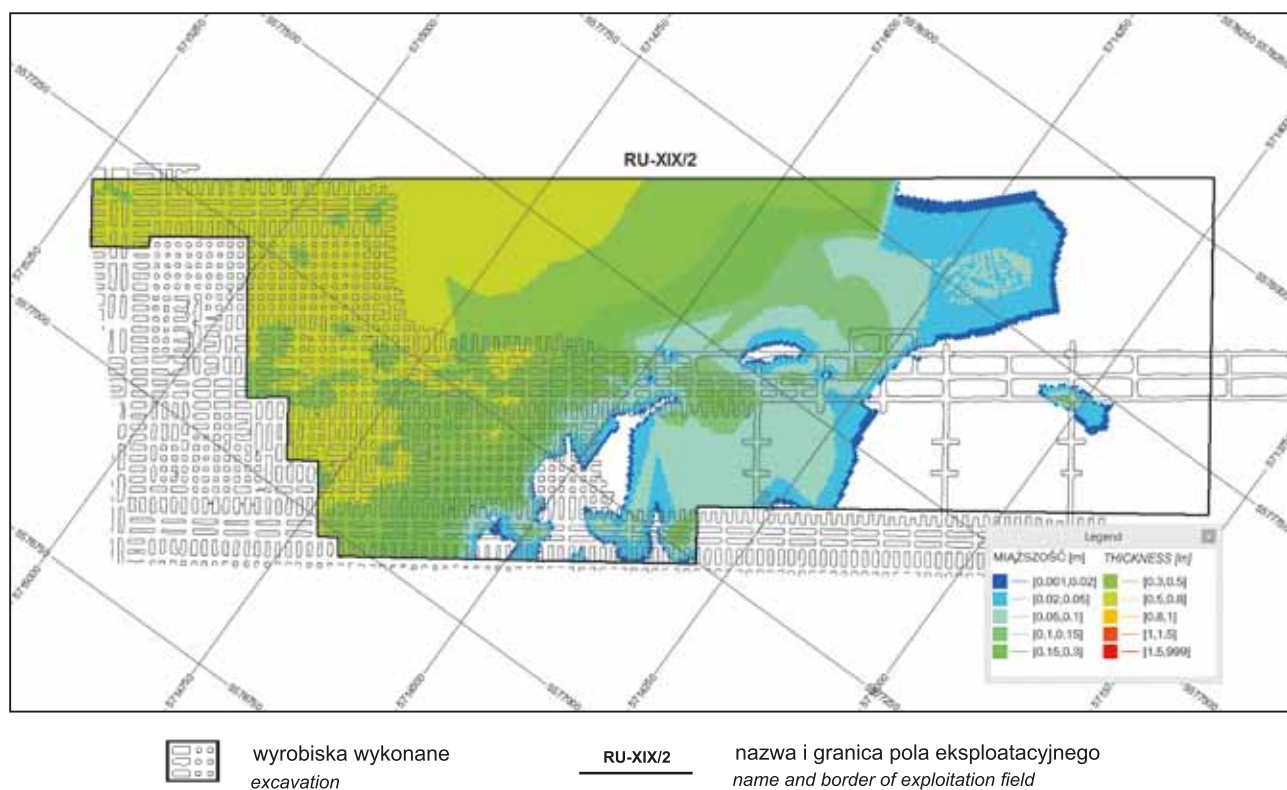


Fig. 6. Poglądowa mapa miąższości łupku dolomitycznego w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of dolomitic shale in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

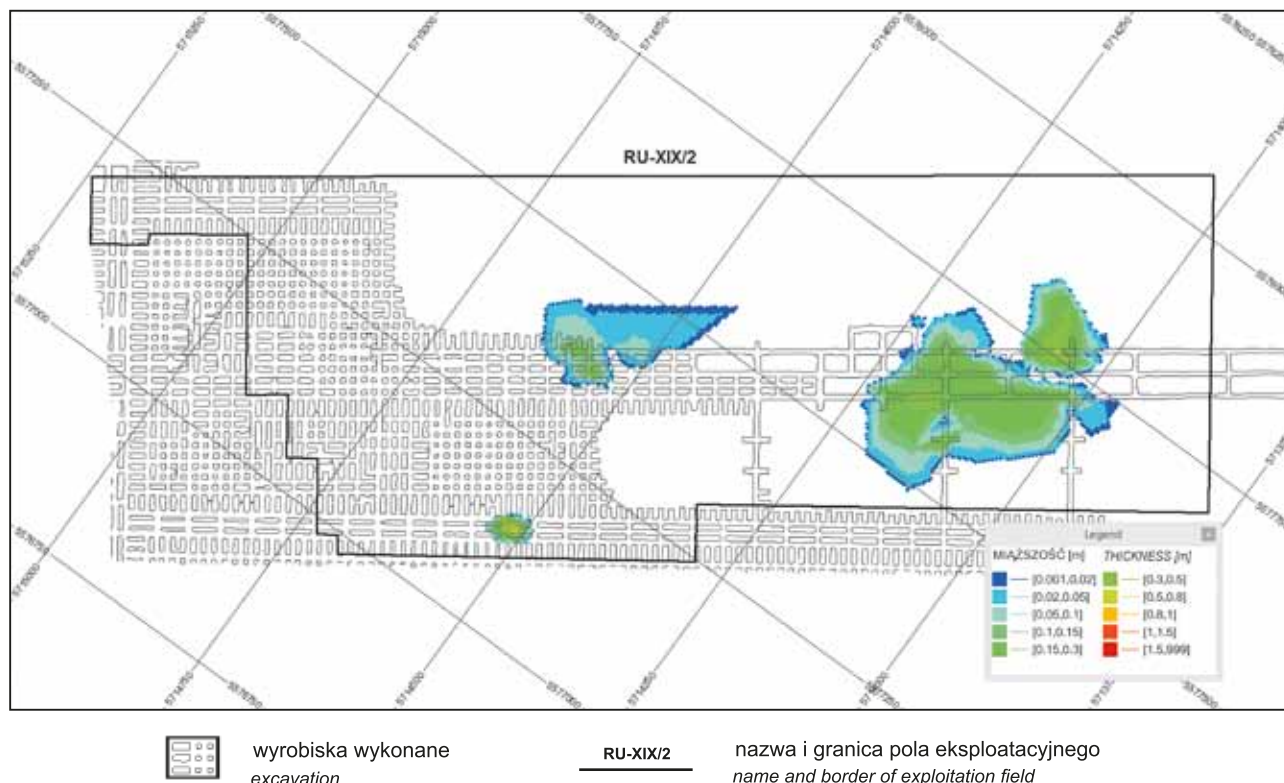


Fig. 7. Poglądowa mapa miąższości dolomitu piaszczystego w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of sandy dolomite in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

Dolomit piaszczysty (dolomit zapiaszczony)

Obecność dolomitu piaszczystego jest stwierdzana przede wszystkim w brzeźnych i szczytowych częściach elewacji stropu białego spągowca (fig. 7), gdzie stanowi nieregularną strefę przejściową pomiędzy serią piaskowcowa i dolomitową. Kontakt, zarówno z podścielającym białym piaskowcem, jak i zalegającym powyżej dolomitom (zwykle wapnistym), bywa bardzo nieostry. Rosnący ku górze profilu białego spągowca udział minerałów węglanowych jest oceniany makroskopowo, ocena taka pozwala doświadczonym geologom kopalnianym wyróżnić warstwę opisywaną jako dolomit piaszczysty – zwykle ciemniejszy od, zbliżonego składem i wyglądem, piaskowca węglanowego. Dolomit jest ciemnoszary lub brunatny, a ziarna detrytyczne są znacznie słabiej wyczuwalne niż w piaskowcu węglanowym. Odpowiednikiem dolomitu piaszczystego jest dolomit graniczny, stwierdzany w depresjach stropu białego spągowca.

Dolomit ilasty

Typową sekwencję dolomitową rozpoczyna dolomit ilasty – skała ciemnoszara o miąższości dochodzącej do 1,0 m (Błaszczak, 1981). Barwą i budową jest zbliżony do niżej ległego łupku dolomitowego (dolomitowego, dolomito-wo-ilastego), jednak charakteryzuje się zanikiem laminacji ciągłych, a obecne domieszki substancji ilastej i organicznej układają się w postaci rozproszonej w mikrytowych, rza-

dziej sparytowych węglanach (częściej dolomit niż kalcyt) lub tworzą krótkie, nieciągłe smugi i soczewki. W niewielkich ilościach obecny jest pelit kwarcowy, łuski łuszczaków i okruchy skał (Śliwiński, 2000). Dolomit ilasty nie tworzy ciągłej warstwy, stwierdzany jest tylko w granicach depresji stropu białego spągowca, mimo to jest znacznie bardziej rozpowszechniony niż dolomit graniczny i piaszczysty (fig. 8).

Dolomit smugowany

Powyżej serii dolomitów ilastych, w depresjach białego spągowca, zalega dolomit smugowany (fig. 9) o miąższości do 2,0 m i barwie szarej, wyraźnie jaśniejszej niż dolomit ilasty. Charakteryzuje się budową gruboławicową, kierunkową, podkreśloną kilkucentymetrowymi smugami materii ilasto-organicznej. Ciemnoszare, ilasto-węgliste smugi są nieregularnie rozmieszczone w skale, różnica w odcieniu szarego dolomitu i ciemniejszej smugi jest niekiedy bardzo subtelna. Substancja ilasta jest również obecna w postaci rozproszonej. Dolomit smugowany budują mikryty z udziałem sparytu (dolomit lub kalcyt) a także zmienne ilości rekrytalizowanych ziaren szkieletowych (Konstantynowicz i in., 1971).

Dolomit wapnisty i wapień

Najwyższe ogniwo litologiczne cechsztyńskiej serii miedzionośnej reprezentowane jest przez dolomity wapniste lub

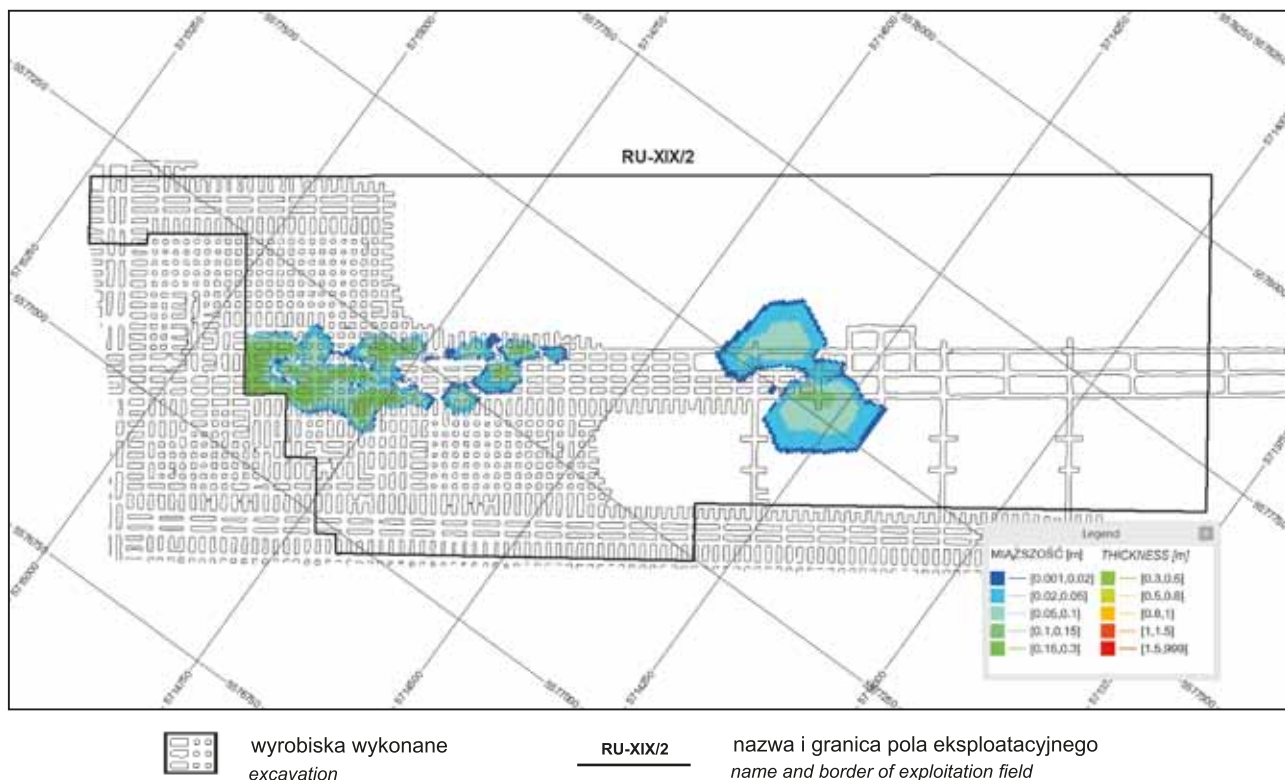


Fig. 8. Poglądowa mapa miąższości dolomitu ilastego w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of clay dolomite in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

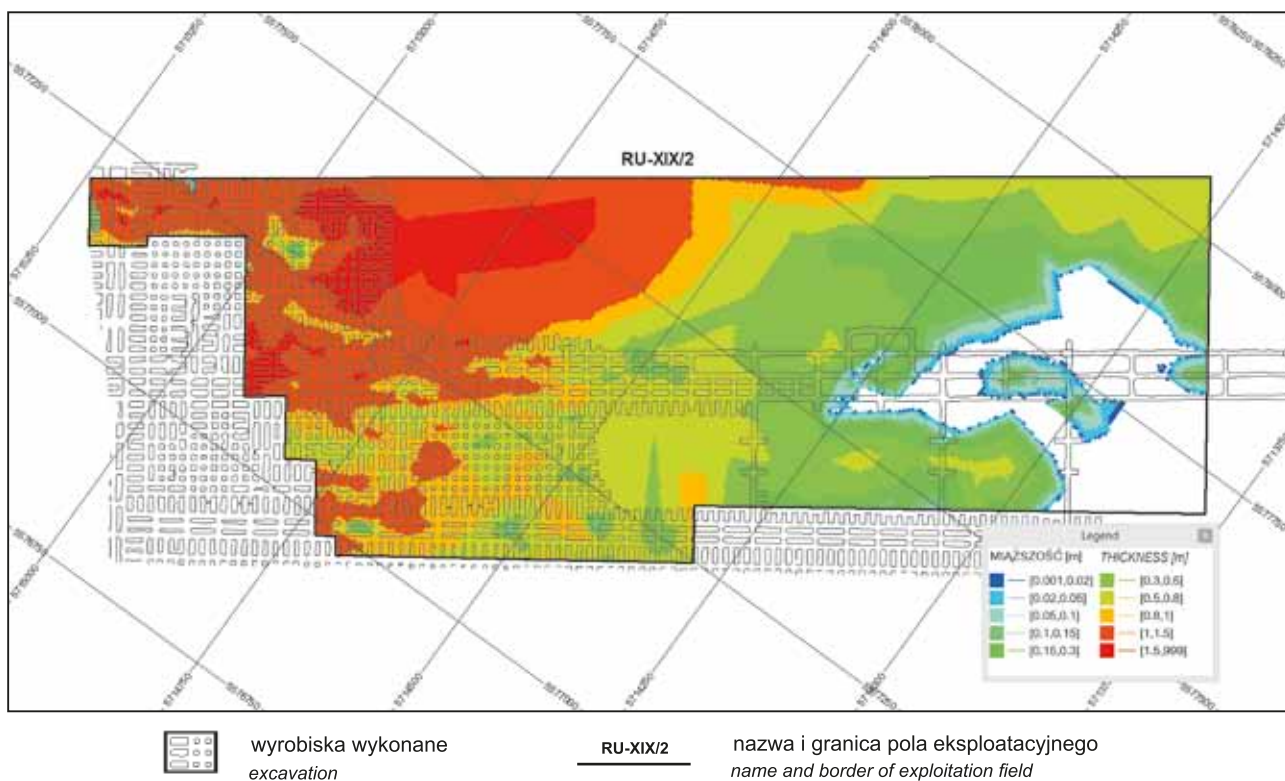


Fig. 9. Poglądowa mapa miąższości dolomitu smugowanego w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of streaky dolomite in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

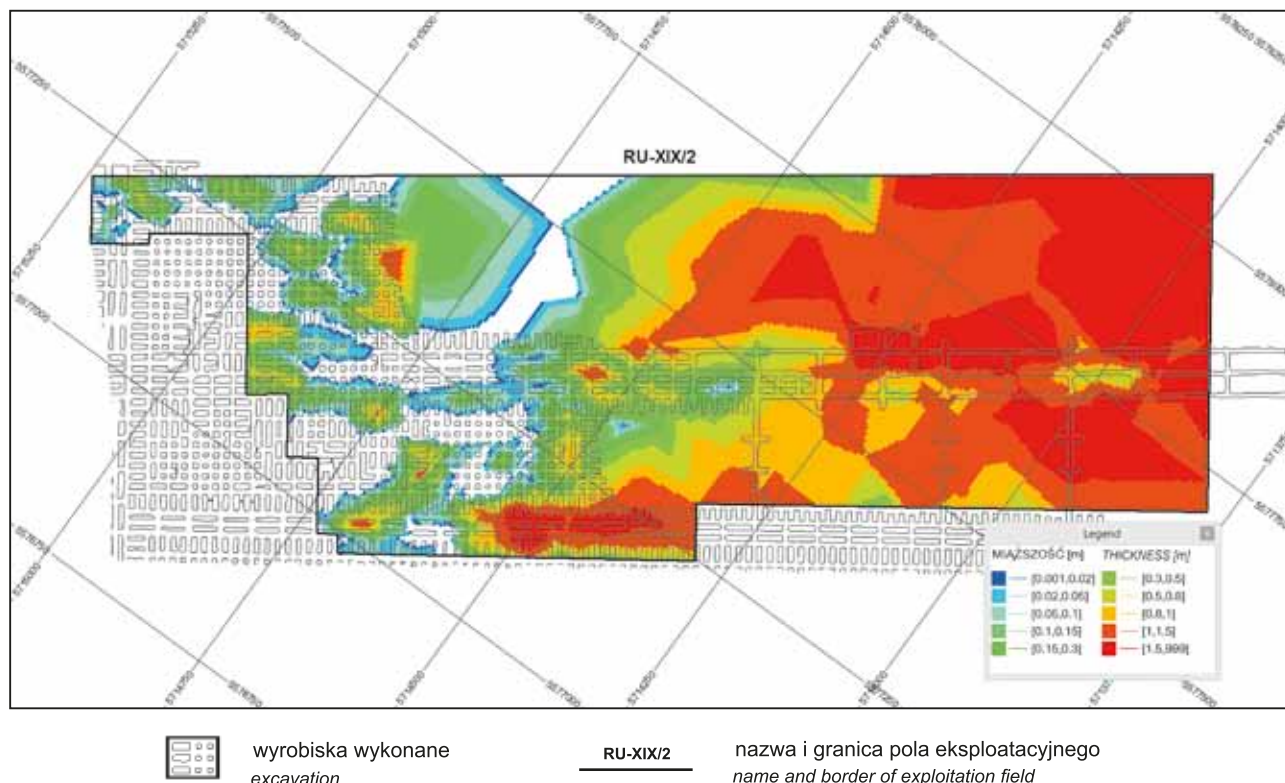


Fig. 10. Poglądowa mapa miąższości okruszczonego dolomitu wapienistego w polu eksploatacyjnym RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Thickness of mineralized calcareous dolomite in RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine KGHM Polska Miedź S.A.

wapienie, drobnoziarniste, cienkoławicowe z charakterystycznymi gniazdowymi wtrąceniami gipsu, anhydrytu, grubokrystalicznego kalcytu a czasami fluorytu i halitu. Skały te, barwy jasnoszarej lub szarej posiadające często odcień kremowoszary lub brunatnoszary, zawierają stosunkowo małe ilości substancji ilasto-organicznej i detrytusu kwarcowo-łuszczykowego. Dolomity wapieniste budują mikryty z partiami sparytów i zmiennym udziałem szczątków organicznych, tworzących w stropowych interwałach poziomy wzbogacone w odmiany onkolitowe, organogeniczne i stromatolitowe (Peryt, 1978, 1984). Na kontakcie z nadległym (ponad serią miedzionośną) anhydrytem, ilość domieszek siarczanów wzrasta i utwory węglanowe w sposób ciągły przechodzą w anhydryt dolny. Warstwa dolomitów wapienistych (ew. wapieni) jest obecna na całym obszarze złoża w przeciwieństwie do nieregularnie wykształconych pozostałych odmian skał węglanowych. Okruszczowanie bilansowe w serii dolomitów wapienistych nie jest obecne w całym jego profilu (fig. 10).

Dolomit laminowany (wapień laminowany)

Dolomity laminowane są to utwory węglanowe o cechach bardzo zbliżonych do dolomitu wapienistego, szare lub jasnoszare. Mimo stosunkowo jasnej barwy udział substancji ilasto-organicznej (węglistej) jest w dolomicie laminowanym dość znaczny, jednak w tym przypadku znikoma

część tej materii występuje w postaci rozproszonej. Cechą wyróżniającą ten typ litologiczny jest obecność regularnych, równoległych, czarnych lamin ilasto-węglistych o znacznej długości. Grubość pojedynczej laminy nie przekracza 1 mm, zalegają one poziomo tworząc niekiedy pakiety dolomitów laminowanych. Typowe dolomity laminowane są słabo rozpowszechnione w serii złożowej, występują zwykle w kilkumetrowej odległości ponad stropem łupków miedzionośnych.

Dolomit organogeniczny

Nieregularne wystąpienia zróżnicowanych pod względem składu i tekstury dolomitów organogenicznych są spotykane lokalnie w szczytowych rejonach elewacji stropu białego spągowca. Utwory te charakteryzują się znacznym nagromadzeniem fauny scementowanej dolomitom lub kalcytem, niekiedy wręcz są opisywane w formie masywnego zlepu muszlowego. Wśród fauny najliczniej są reprezentowane małże i ramienionogi, choć są spotykane również krynoidy, otwornice, glony i mszywioly (Błaszczuk, Prymka, 1973a, b).

Dolomit kawernisty

Skrajnie porowaty dolomit i wapień z domieszką minerałów ilastych, czasami wręcz margiel, o barwie brunatnej, rdzawej, szarej, z niekiedy widocznymi szczątkami fauny

występuje w wyższych częściach profilu serii węglanowej i rzadko jest obserwowany w przekroju wyrobisk górniczych. Pod wpływem wody nabiera cech plastycznych, ma tendencję do odspajania się w formie okruchów i przemieszczania ze stropu do przestrzeni wyrobisk. Dolomit kawernisty nie zawiera okruszczenia miedziowego.

Anhydryt i sól kamienna

W nadkładzie złoża rud miedzi na monoklinie przed-sudeckiej występują również anhydryt i sól kamienna. Zdefiniowanie anhydrytu i soli w słowniku litologii szczegółowych złoża rud miedzi jest konieczne w przypadku opróbowywania lub profilowania wyrobisk górniczych, prowadzonych w strefach silnych zaburzeń tektonicznych i wyrobisk technicznych ponad złożem rud miedzi. Anhydryt i sól są oznaczane makroskopowo, a wyniki oznaczeń są składowane w Bazie Danych Geologicznych. Informacja ta ma fundamentalne znaczenie w procesie modelowania i projektowania wyrobisk specjalnego przeznaczenia (szybki, najazdy).

KOLEJNOŚĆ WYSTĘPOWANIA SZCZEGÓŁOWYCH WYDZIELEŃ LITOLOGICZNYCH W TYPOWYM PROFILU ZŁOŻA

W celu budowy trójwymiarowego litologicznego modelu złoża konieczne okazało się założenie typowej sekwencji pionowej następujących po sobie wydzieleń litologicznych

(fig. 11). W typowym profilu złoża wyodrębniono następującą kolejność warstw skalnych, występujących od spągu ku stropowi:

- piaskowiec ilasty,
- piaskowiec węglanowy / dolomit piaszczysty,
- dolomit graniczny,
- łupek smolisty,
- łupek ilasty,
- łupek dolomityczny,
- dolomit ilasty,
- dolomit smugowany,
- dolomit wapnisty,
- anhydryt.

Oczywistym jest, że poszczególne ogniwa litologiczne nie są wykształcone równomiernie. Odstępstwa od profilu typowego, obszernie opisywane w literaturze, są wyraźnie widoczne nawet przy zastosowaniu tylko litologii głównych: węglany – łupki – piaskowce. Częste są wyklinowania serii łupkowej, lokalnie notowano wyklinowania serii węglanowej. Ponadto okruszczenie bilansowe nie zawsze obejmuje wszystkie trzy typy skał. W związku z powyższym obecność lub brak w profilu odmian szczegółowych jest zjawiskiem częstym, a modelowanie ich stanowi zadanie dość skomplikowane i wymaga wiedzy o lokalnym wykształceniu sekwencji litologicznej. Oprócz skał zakwalifikowanych do typowego profilu złoża, część opisywanych szczegółowych typów litologicznych nie posiada stałej pozycji w sekwencji litologicznej. Poza typową sekwencją znalazły się: dolomit organogeniczny, dolomit kawernisty, dolomit laminowany,

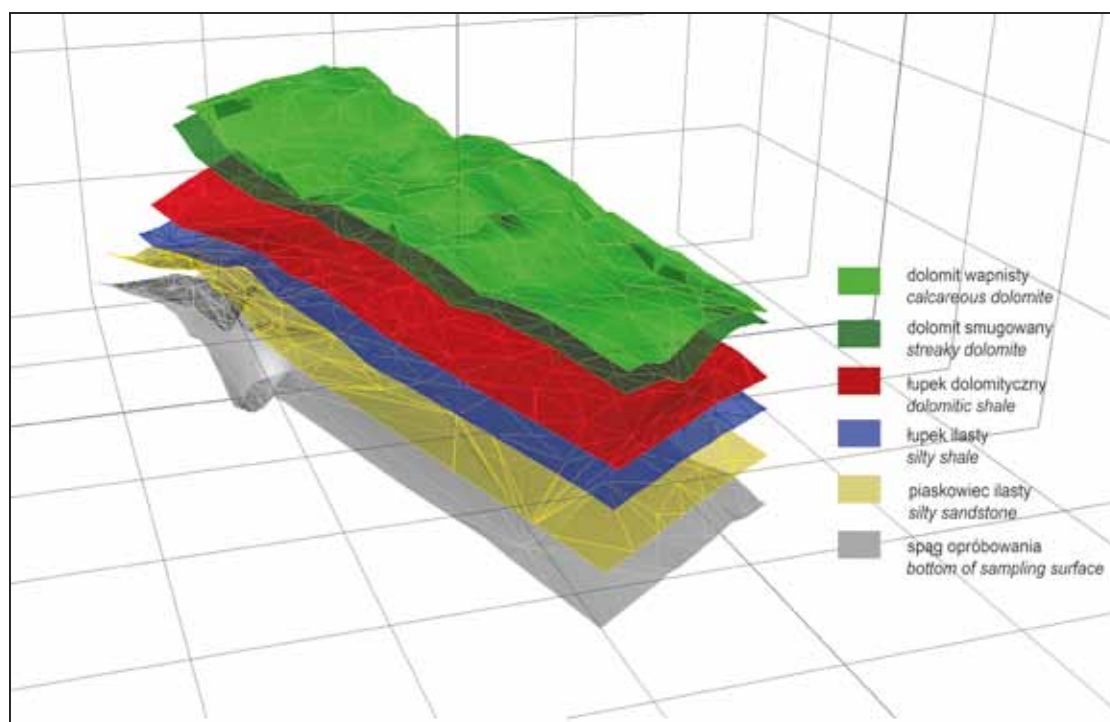


Fig. 11. Model powierzchni stropu przykładowych szczegółowych typów litologicznych we fragmencie pola eksploatacyjnego RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

3D wireframe model representing top of detail lithological types in a part of RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine, KGHM Polska Miedź S.A.

piaskowiec anhydrytowy, piaskowiec ilasto-anhydrytowy. Powodem takiego potraktowania tych odmian jest ich bardzo nieregularne rozprzestrzenienie. Jako przykład posłużyć może piaskowiec anhydrytowy – różnorodne formy jego występowania są zlokalizowane bezpośrednio przy stropie serii piaskowcowej lub wewnątrz skał piaskowcowych, gdzie od stropu oddziela je warstwa piaskowców ilastych lub węglanowych. Dodatkowo spotyka się wystąpienia piaskowców anhydrytowych w kilku nieregularnych warstwach oddzielonych piaskowcami o innych spoiwach.

Uwzględnienie typowej sekwencji litologicznej w procesie modelowania 3D pozwoliło na opracowanie algorytmów automatyzujących w pewnym zakresie budowę modelu litologii szczegółowych. Modelowa sekwencja litologiczna ogranicza wzajemne występowanie wydzieleń względem siebie, co jest istotne w przypadku modelowania obszarów mniej opróbowanych, o dużej zmienności, gdzie występują lokalne wyklinowania niektórych typów litologicznych rudy. Opisana sekwencja pomaga w interpretacji przebiegu typów litologicznych, których granice nie zostały lokalnie stwierdzone w wyrobiskach górniczych, a znajdują potwierdzenie przebiegu w prowadzonych dwiertach w stropie lub spągu. Typy litologiczne, które występują poza sekwencją, znajdują umiejscowienie w modelu, zgodnie z informacją pozyskaną z opróbowania, a ich przebieg estymowany jest zgodnie z przyjętymi zasadami interpolacji.

OPRÓBOWANIE ZŁOŻA RUD MIEDZI W KGHM POLSKA MIEDŹ S.A.

Opróbowanie złoża prowadzone w KGHM Polska Miedź S.A. uwzględnia szczegółowy podział litologiczny (próbki

punktowe pobierane z uwzględnieniem granic wydzieleń szczegółowych). Pozwala to na wykorzystanie danych pochodzących z opróbowania wyrobisk górniczych w procesach modelowania miąższości oraz granic występowania wydzieleń litologicznych szczegółowych.

W aspekcie budowy geologicznej, na podstawie pobranych prób oznaczonych makroskopowo określa się i zapisuje zestaw informacji istotnych z punktu widzenia modelowania złoża i planowania produkcji. Należą do nich:

- litologia uproszczona – podstawowa charakterystyka litologiczna skał serii złożowej (węglany, łupki, piaskowce),
- litologia pełna (szczegółowa) – obok wartości parametru złożowego (np. zawartości % Cu) podstawowa informacja geologiczna dotycząca opróbowanego interwału,
- miąższość – miąższość opróbowanego interwału w profilu próby (w cm),
- barwa – barwa skały,
- cechy strukturalne – charakterystyczne cechy struktury skały w opróbowanym interwale (np. twardość, porowatość, rozsypliwłość),
- cechy sedymentacyjne – cechy informujące m.in. o warunkach sedymentacyjnych (np. warstwowanie, smugowanie, uławicenie),
- cechy organiczne – ślady kopalnej fauny lub flory (np. ślady ryb, odciski roślin).

Informacje pozyskane w efekcie opróbowania złoża są zapisywane i przechowywane w numerycznej Bazie Danych Geologicznych (BDG), w ramach której następuje ich udostępnienie na potrzeby bieżącej obsługi geologicznej kopalń, procesów planowania i rozliczania produkcji górniczej jak i geologicznego modelowania 3D.

MODELOWANIE SZCZEGÓŁOWYCH WYDZIELEŃ LITOLOGICZNYCH – ZASTOSOWANIA PRAKTYCZNE

KARTOWANIE GRANIC ELEWACJI STROPU BIAŁEGO PIASKOWCA

W latach 60-tych ubiegłego wieku zaobserwowano zjawisko niejednorodności budowy geologicznej złoża polegające na występowaniu stref, w których nie stwierdza się obecności serii łupków miedzionośnych (Harańczyk, 1972). Kilka lat później rozległe obszary, w których łupki nie występują, określono nazwą elewacji stropu białego spągowca (Jerzykiewicz i in., 1976; Jarosz, Zaleska, 1977; Błaszczuk, 1981). Badania nad genezą, rozmieszczeniem i charakterystyką elewacji są kontynuowane, gdyż ich obecność okazała się bardzo istotna dla poznania formy złoża bilansowego (Mayer, Piestrzyński, 1985; Kaczmarek i in., 2005a, 2007). Elewacje są obecnie na bieżąco kartowane przez geologów kopalnianych, a przebieg ich granic jest jednym z czynników wpływających na planowanie produkcji górniczej i projektowanie lokalizacji pól eksploatacyjnych w KGHM Polska Miedź S.A.

Kartowanie elewacji, śledzenie granicy występowania łupków miedzionośnych, a zwłaszcza prognozowanie wystąpienia tych stref w przyszłości okazało się zadaniem niebanalnym. Charakterystyka facjalna, szerokość, wysokość poszczególnych elewacji nie jest identyczna, zwykle w kolejnych elewacjach są obserwowane odstępstwa od ogólnie przyjętego schematu (Kaczmarek i in., 2007). O prawdopodobnej granicy występowania elewacji białego spągowca świadczą zjawiska, których wychwycenie może być skutecznie wspierane przez modelowanie 3D szczegółowych odmian litologicznych rud miedzi.

Do litologicznych wskaźników elewacji należą:

- zmniejszająca się miąższość łupków miedzionośnych (fig. 12),
- zmniejszająca się miąższość dolomitu smugowanego (fig. 13),
- występowanie piaskowców anhydrytowych (fig. 2) oraz piaskowców o istotnym udziale spoiw węglanowych (fig. 3).

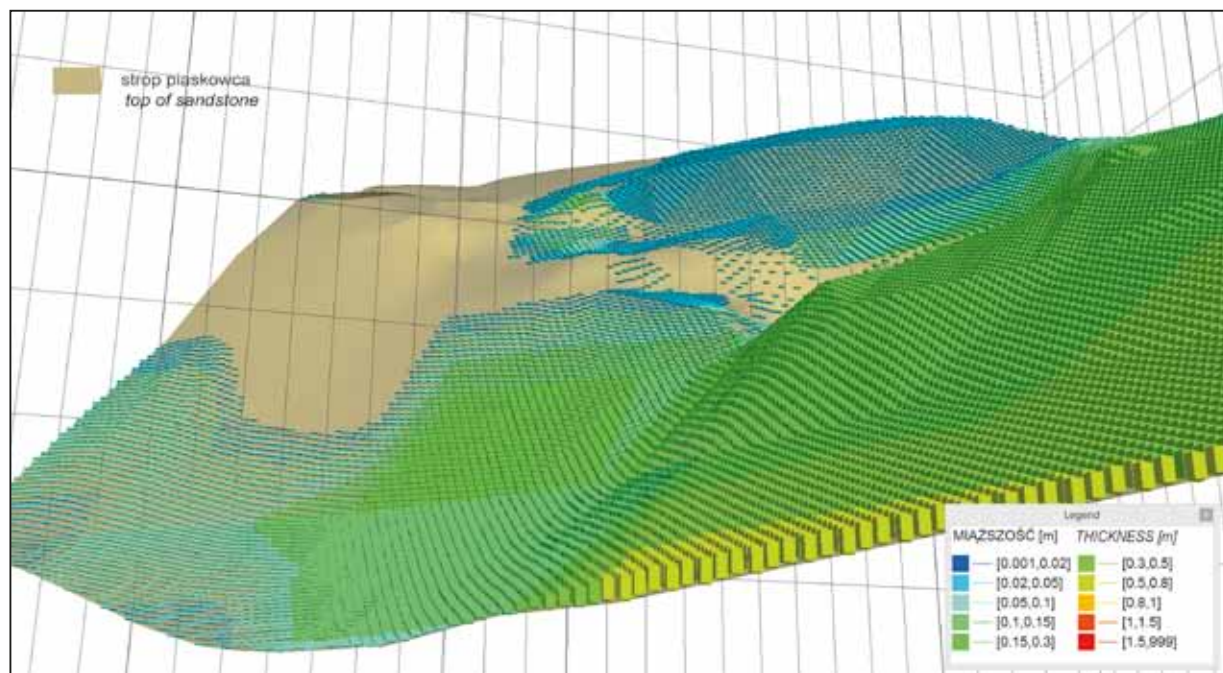


Fig. 12. Model blokowy serii łupków miedzionośnych obejmujący skłon i szczyt elewacji stropu białego spągowca. Stopniowe wyklinowanie łupku w kierunku szczytu elewacji Tarnówka

Fig. 12. 3D block model of Kupferschiefer within Weissliegenden elevation slopes and top surface. Gradual reduction of thickness towards the top surface of Tarnówek elevation

Dzięki budowanym modelom 3D wybranych szczegółowych typów litologicznych możliwe jest precyzyjniejsze wyznaczenie granic domen geologicznych (szczyt elewacji białego spągowca, skłon elewacji białego spągowca, depresja powierzchni stropowej białego spągowca), co przekłada się bezpośrednio na dobór parametrów wykorzystywanych w procesach szacowania zawartości miedzi. W procesach planowania produkcji górniczej niezbędna jest wiedza w zakresie potencjalnego występowania stref bezzłożowych, stref płonnych przerostów wewnątrz bryły złożowej oraz występowania złoża „zawieszonoego” w serii dolomitowej bez kontaktu ze spągkiem serii węglanowej. Wyniki modelowania strukturalnego i jakościowego zdecydowanie poprawiają rzetelność interpretacji budowy geologicznej dokumentowanego złoża i umożliwiają weryfikację danych podstawowych.

SZACOWANIE ZAWARTOŚCI MATERII ORGANICZNEJ (TOC) W EKSPLOATOWANYM ZŁOŻU

Zgodnie z badaniami wykonanymi na zlecenie KGHM Polska Miedź S.A. oraz danymi literaturowymi, głównymi nośnikami materii pochodzenia organicznego, wyrażanej jako procentowy udział węgla organicznego w skale TOC (Total Organic Carbon), są łupki miedzionośne (wszystkie odmiany szczegółowych typów litologicznych serii łupkowej) z największą koncentracją przy ich spągowej warstwie. Zawartość TOC stwierdzana w serii łupków miedzionośnych sięga nawet do 20% wag. TOC (średnia ok. 7%). Spo-

śród wydzieleni szczegółowych, największą średnią zawartością TOC charakteryzuje się łupek smolisty (12,3% wag. TOC uzyskanych metodą Rock-Eval), łupek ilasty – 9% wag. TOC, łupek dolomityczny – 6,6% wag. TOC. Uwagę zwraca również podwyższona zawartość TOC stwierdzana w dolomicie ilastym. Generalnie dla skał serii węglanowej metoda Rock-Eval wykazała średnią zawartość TOC na poziomie 0,53% wag., przy czym w dolomicie ilastym średnia zawartość pomierzona tą metodą wynosi 1,07% TOC wag. (Kotarba, 2016). Występowanie łupków smolistych, ilastych i dolomitycznych oraz dolomitów ilastych (główne nośniki substancji węglowych) ma znaczący wpływ na rosnącą ilość węgla organicznego w produkowanej nadawie. Materia ta (podobnie jak siarka, wodór) wpływa negatywnie na proces hutniczy w piecu zawieszinowym poprzez zwiększenie energetyczności koncentratów rudy miedzi.

Modelowanie 3D miąższości serii łupkowo-węglanowej (łupek smolisty, ilasty, dolomityczny i dolomit ilasty) oraz przebiegu granic występowania łupków i dolomitów ilastych wraz z estymowaną zawartością TOC umożliwia prognozowanie masy materii organicznej w urobionym złożu (fig. 14). Korzyścią z modelowania 3D jest dokładniejsze szacowanie zawartości TOC w urabianych skałach serii złożowej, co wpływa na zwiększenie dokładności szacowania ilości materii organicznej w końcowej nadawie przekazywanej do przerobu w Zakładzie Wzbogacenia Rud (ZWR). Oszacowana zawartość materii organicznej w planowanym do urobienia złożu pozwala na wyliczenie spodziewanego efektu cieplnego w procesach hutniczych.

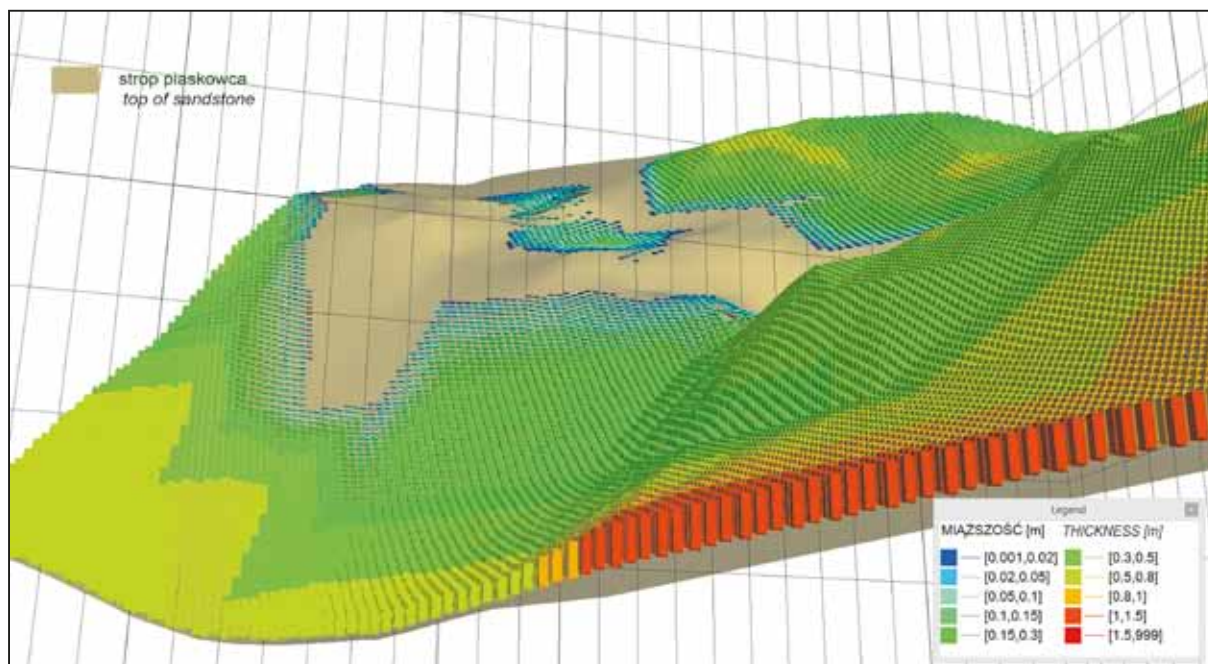


Fig. 13. Model blokowy dolomitu smugowanego obejmujący skłon i szczyt elewacji stropu białego spągowca. Stopniowe wyklinowanie dolomitu smugowanego w kierunku szczytu elewacji Tarnówka

3D block model of streaky dolomite within Weissliegendes elevation slopes and top surface.
Gradual reduction of thickness towards the top of Tarnówek elevation

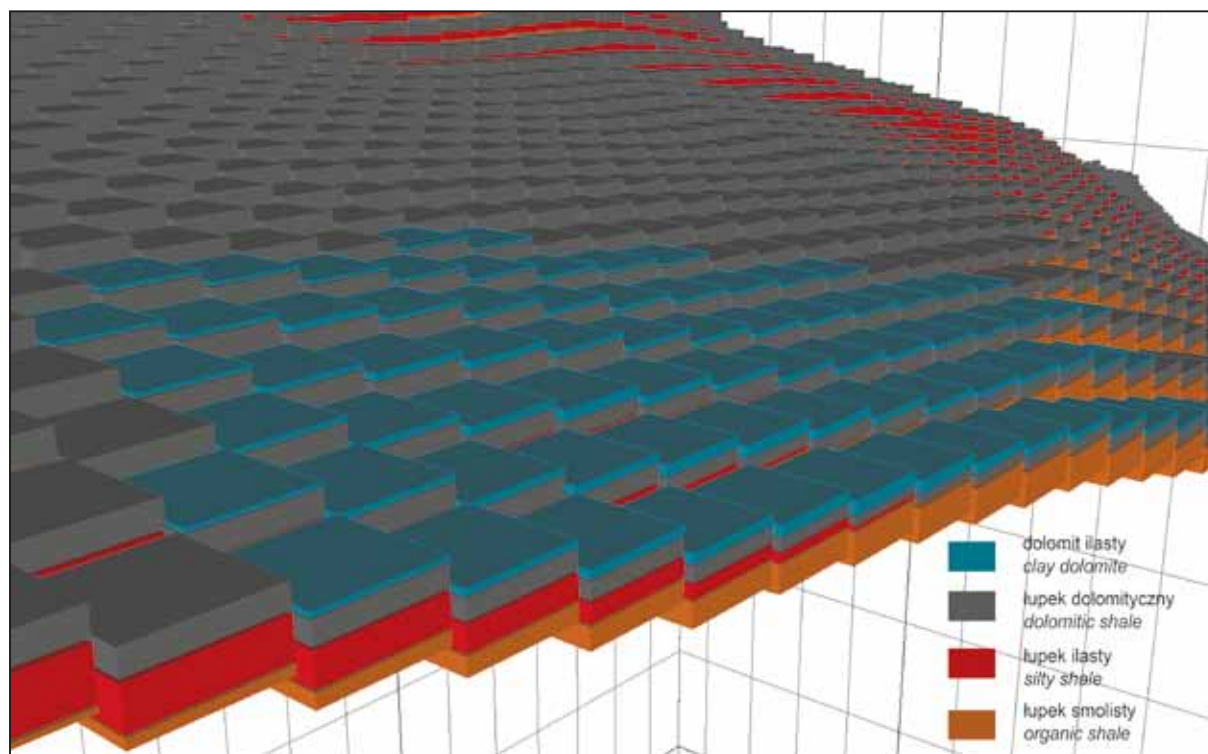


Fig. 14. Model blokowy szczegółowych odmian litologicznych zawierających najwyższe koncentracje węgla organicznego.

3D block model of detail lithological types contains highest concentrations of TOC

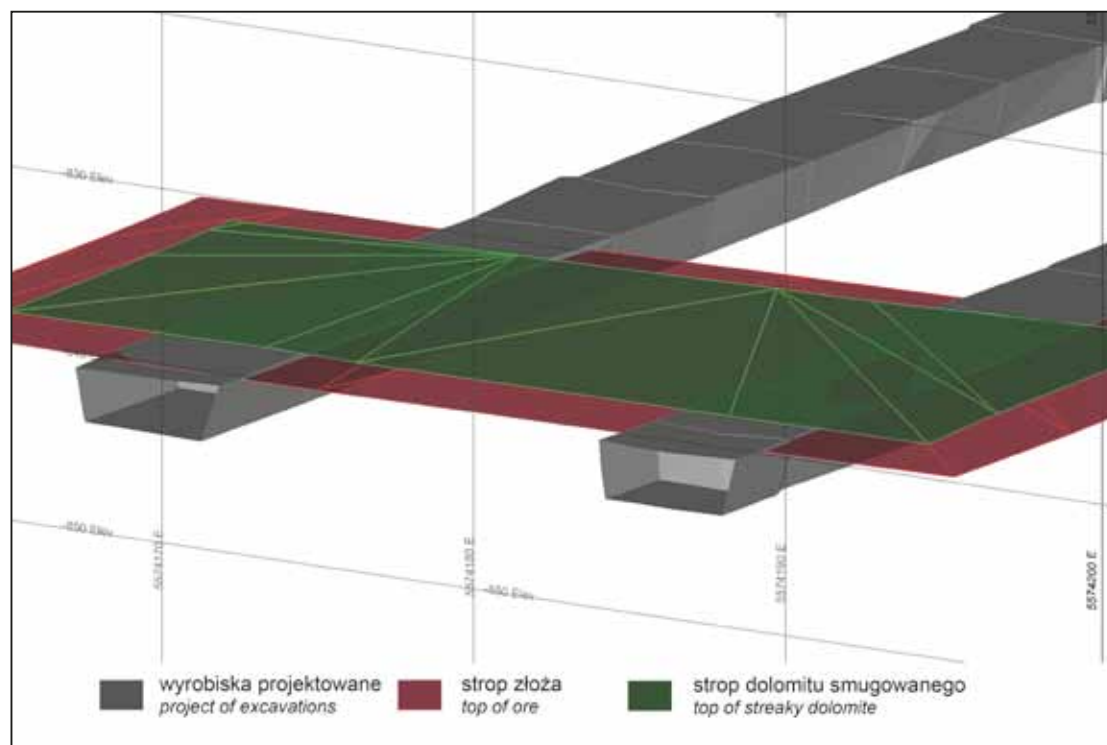


Fig. 15. Projekt wiązki wyrobisk przygotowawczych prowadzonych z wykorzystaniem modelu strukturalnego (powiązanie z płaszczyzną stropu dolomitu smugowanego) w polu RU-XIX/2 O/ZG Rudna KGHM Polska Miedź S.A.

Project of development drives with usage of structural 3D model (roof based on top of streaky dolomite surface) in the RU-XIX/2 exploitation field of Rudna mine, KGHM Polska Miedź S.A.

PROJEKTOWANIE WYROBISK PRZYGOTOWAWCZYCH I EKSPLOATACYJNYCH

Stateczność stropu wyrobisk górniczych opiera się w dużej mierze na naturalnej podzielności płytowej skał serii dolomitowej, w której są utrzymywane stropy wyrobisk. Budowa płytowa dolomitów pozwala na bezpieczne prowadzenie stropu wyrobiska przy zastosowaniu obudowy kotwowej. Poszczególne odmiany litologiczne wyróżniane w skałach węglanowych charakteryzują się różnymi parametrami wytrzymałościowymi. Równie istotnym parametrem wpływającym na jakość stropów jest miąższość warstw („płyt”). Stabilność stropów zapewniają jednolite, miększe, masywne utwory dolomitu wapienistego, w przeciwieństwie do np. dolomitu smugowanego, kruchego i spękanego, który dodatkowo wykazuje podzielność płytową o kilkucentymetrowych miąższościach poszczególnych warstw. Modelowanie 3D szczegółowych typów litologicznych w serii węglanowej może wspierać proces projektowania powierzchni stropu wyrobisk udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych z uwagi na konieczność zapewnienia bezpieczeństwa robót górniczych. Płaszczyzną referencyjną dla planowanej furty może być granica pomiędzy kruchym dolomitem smugowanym a masywnym, płytowym, bardzo wytrzymałym (R_c na poziomie 140–180 MPa) dolomitem wapienistym (fig. 15). Ponadto należy zwrócić uwagę na występowanie w stropowej części profilu litologicznego szczególnej odmiany skał węglanowych – dolomitu kawernistego.

Utwory porowatego dolomitu kawernistego nie powinny być pozostawiane w bezpośrednim stropie wyrobiska z uwagi na niewielką wytrzymałość (R_c na poziomie 64 MPa) i tendencję do odpajania się, co może stanowić zagrożenie związane z nieutrzymaniem stropu wyrobiska.

Podstawową korzyścią modelowania 3D szczegółowych typów litologicznych serii węglanowej, z punktu widzenia bezpieczeństwa i stabilności produkcji górniczej, jest ujednolicenie zasad planowania furty wyrobisk z uwzględnieniem stateczności stropów wyrobisk, wynikającej z geometrii granic litologicznych różnych skał serii węglanowej.

IDENTYFIKACJA SKAŁ SKŁONNYCH DO TĄPAŃ

Skały urabiane w procesach produkcyjnych kopalń KGHM Polska Miedź S.A. charakteryzują się skrajnie różnymi parametrami geomechanicznymi, wpływającymi na skłonność do kumulowania energii sprężystej. Identyfikuje się kilka szczegółowych typów litologicznych stanowiących istotne zagrożenie gwałtownym uwolnieniem energii. Do skał tych zaliczyć można m.in. masywne duże enklawy piaskowców anhydrotowych (Kaczmarek i in., 2006) i niektóre sztywne stropowe dolomity wapieniste.

Modelowanie występowania szczegółowych typów skał o naturalnej skłonności do tąpnięć umożliwia uwzględnienie w planach produkcyjnych warunków stosowania profilaktyki przeciwtąpniowej oraz może mieć wpływ na wytypowanie obszarów szczególnie zagrożonych tąpnięciami z uwagi na

występowanie konkretnych rodzajów skał. Obecność tych typów litologicznych ma również wpływ na dobór właściwego systemu eksploatacji oraz geometrii filarów technologicznych dla projektowanego pola eksploatacyjnego.

PLANOWANIE PARAMETRÓW PROCESU WZBOGACANIA RUD NA PODSTAWIE PRZEWIDYWANYCH PARAMETRÓW GEOMETALURGICZNYCH NADAWY

Geometurgia to dziedzina łącząca informacje z zakresu geologii, górnictwa oraz przeróbki surowców mineralnych w celu stworzenia modeli umożliwiających prognozowanie wyników produkcyjnych zakładów metalurgicznych w zależności od budowy złoża i sposobu jego eksploatacji. Tradycyjne podejście do tworzenia planów produkcji w KGHM Polska Miedź S.A. obecnie koncentruje się na parametrach związanych z wielkością wydobycia oraz zawartością metali użytecznych w urobku. „Geometalurgiczne” podejście kładzie szczególny nacisk na optymalizację produkcji z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych przerabianego urobku (w tym składu litologicznego nadawy) oraz efektywność kosztową prowadzonej działalności. Modelowanie 3D ma wspierać przypisanie występujących w złożach KGHM rud do tzw. domen, czyli obszarów o jednolitych właściwościach geometalurgicznych. Domeny powinny uwzględniać budowę geologiczną złoża, szczegółowe wydzielenia litologiczne, skład mineralogiczny kruszców, zawartość pierwiastków użytecznych, skład minerałów skałotwórczych, właściwości mechaniczne, wzbogalność, flotowalność, charakter prowadzonej eksploatacji złoża itp.

UWZGLĘDNIENIE PARAMETRU GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ RUD W PROCESIE PLANOWANIA I ROZLICZANIA PRODUKCJI GÓRNICZEJ ORAZ SZACOWANIA ZASOBÓW

Obecnie w procesie planowania i rozliczania produkcji górniczej, ale także na potrzeby szacowania stanu i rocznych zmian zasobów jest stosowany, przywołany wcześniej, podział serii złożowej na trzy główne typy litologiczne. Parametr gęstości objętościowej, konieczny do obliczenia ilości zasobów, jest przyjmowany dla trzech głównych typów litologicznych w postaci wartości stałych:

- 2,3 Mg/m³ dla serii piaskowcowej,
- 2,5 Mg/m³ dla serii łupkowej,
- 2,6 Mg/m³ dla serii węglanowej.

Niektóre wydzielenia szczegółowe w obrębie podstawowych typów rud charakteryzują się wyraźnym zróżnicowaniem średniej gęstości przestrzennej w serii piaskowcowej (np. piaskowiec anhydrytowy – 2,66–2,78 Mg/m³, piaskowiec ilasty – 2,21–2,35 Mg/m³ i piaskowiec węglanowy – 2,42–2,55 Mg/m³) (Kaczmarek i in., 2005b; Mucha i in., 2017), co może powodować trudności w precyzyjnym planowaniu i rozliczaniu produkcji urobku. Zanik lub drastyczne zwiększenie miąższości jednego lub kilku szczegółowych wydzieleni litologicznych w profilu złoża, może wówczas skutkować lokalnie zauważalną modyfikacją gęstości przestrzennych głównych wydzieleni litologicznych, w stosunku do wartości przyjętych w dokumentacji geologicznej. Znajomość gęstości przestrzennej szczegółowych wydzieleni litologicznych umożliwia dokładniejsze oszacowanie ich zasobów oraz bardziej precyzyjne rozliczanie produkcji górniczej (Mucha i in., 2016; Mucha i in., 2017).

ZAKOŃCZENIE

Modelowanie budowy litologicznej złoża rud miedzi LGOM na potrzeby szacowania zasobów geologicznych może opierać się na prostym schemacie trzech głównych typów skał budujących bryłę złożową. Należą do nich utwory piaskowcowe, łupkowe i węglanowe. Wieloletnia praktyka geologiczna i górnicza w KGHM Polska Miedź S.A. wskazuje, że możliwości interpretacji danych geologicznych są większe, gdy modelowaniem można objąć bardziej szczegółową klasyfikację skał złożowych. Obecnie są budowane dwa podstawowe modele różniące się szczegółowością, ale też zastosowaniem praktycznym.

Strukturalny model złoża wykorzystuje dane o szczegółowych typach skał złożowych (16 wydzieleni szczegółowych), służy do wykonywania interpretacji budowy geologicznej złoża, opisu zjawisk geologicznych i domen litologiczno-facjalnych. Model strukturalny oparty na szczegółowych typach litologicznych wraz z modelami powierzchni oddzielających niektóre specyficzne typy skał (dolomit smugowany, piaskowiec anhydrytowy, dolomit

ilasty) znacząco ułatwia m.in.: optymalne prowadzenie furty eksploatacyjnej zapewniające bezpieczeństwo robót górniczych, predykcję parametrów jakościowych urobku, szacowanie masy węgla organicznego w nadawie, określanie udziałów litologicznych składu urobku przekazywanego do procesu wzbogacania, precyzyjne szacowanie masy urobku o zmiennej gęstości objętościowej. Natomiast na potrzeby szacowania ilości zasobów geologicznych złoża wystarczający jest model wykorzystujący jedynie trzy główne wydzielenia litologiczne (piaskowiec, łupek, dolomit). Modelowanie 3D trzech litologii głównych i szesnastu szczegółowych, modelowanie struktur tektonicznych oraz modelowanie powierzchni referencyjnej stropu piaskowca przynosi dziś istotne korzyści, zwiększając możliwości identyfikacji specyficznych partii złoża i interpretacji danych geologicznych. Modelowanie 3D staje się jednym z podstawowych sposobów obrazowania danych geologicznych wykorzystywanych w praktyce geologicznej KGHM Polska Miedź S.A.

LITERATURA

- BŁASZCZYK J.K., 1981 — Wpływ paleomorfologii stropu białego spągowca na zmienność facjalną serii złożowej w Zagłębiu Lubimskim. *Geol. Sud.*, **16**, 1: 195–217.
- BŁASZCZYK J.K., PRYMKA W., 1973a — Pierwsze stanowiska fauny w białym spągowcu na monoklinie przedsudeckiej. *Kwart. Geol.*, **17**, 2: 277–294.
- BŁASZCZYK J.K., PRYMKA W., 1973b — Wapień organogeniczny w spągowej części cechsztynu kopalni Lubin. *Rudy i Metale Nieżel.*, **18**, 10.
- HARAŃCZYK CZ., 1972 — Mineralizacja kruszcowa dolnośląskich osadów eusynicznych monokliny przedsudeckiej. *Arch. Mineral.*, **30**: 13–171.
- JAROSZ J., 1968 — Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzna złoża Lubin. *Rudy i Metale Nieżel.*, **13**, 12: 625–634.
- JAROSZ J., ZALESKA M., 1977 — Piaskowiec anhydrotowy w złożu miedzi Rudna. *Rudy i Metale Nieżel.*, **22**: 664–668.
- JERZYKIEWICZ M., KIJEWSKI P., MROCZKOWSKI J., TEISSEYRE A.K., 1976 — Geneza osadów białego spągowca monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudetica*, **11**, 1: 57–90.
- KACZMAREK W., 2006 — Zróżnicowanie mineralizacji miedziowej a wykształcenie litologiczne białego spągowca w kopalniach LGOM. [pr. doktor., niepubl.]. Arch. ING UW, Wrocław.
- KACZMAREK W., ROŻEK R., ŚLIWIŃSKI W., 2005a — Zależność występowania bilansowego okruszczenia miedziowego od wykształcenia litologicznego serii złożowej w LGOM (Monoklina przedsudecka). *Gospodarka Surowcami Mineralnymi, Kwart. IGSMiE PAN*, **21**, z. spec. 1: 217–229.
- KACZMAREK W., ROŻEK R., ŚLIWIŃSKI W., 2007 — Elewacje stropu białego spągowca w kopalniach rud miedzi na monoklinie. *W: Mat. Konf. Nauk.-Techn. „Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi”*. Lubin, 26–28 września 2007.
- KACZMAREK W., ŚLIWIŃSKI W., JASIŃSKI W., 2005b — Spoiwa a właściwości mechaniczne (R_c) piaskowców białego spągowca na obszarze LGOM (monoklina przedsudecka). *Prz. Geol.*, **53**, 3: 255.
- KACZMAREK W., ROŻEK R., SOSONOWSKI K., ŚLIWIŃSKI W., 2006 — Piaskowce o podwyższonych parametrach wytrzymałościowych i ich wpływ na eksploatację rud miedzi w kopalni „Rudna”. *Mat. Szkoły Eksploat. Podz.*, **15**: 861–869.
- KONSTANTYNOWICZ E. (red.), 1971 — Monografia przemysłu miedziowego w Polsce. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.
- KOTARBA M., 2016 — Badania geochemiczne materii organicznej w złożu rud miedzi i produktach przeróbki pod kątem górniczych planów produkcji oraz szacowania efektu cieplnego dla procesu hutniczego [pr. zlec. KGHM Polska Miedź S.A., niepubl.]. Arch. KGHM Polska Miedź S.A.
- KUCHA H., 1990 — Geochemistry of Kupferschiefer, Poland. *Geol. Rundschau*, **79**: 387–399.
- LORENC S., 1975 — Petrografia i zróżnicowanie facjalne wapieni i anhydrotów Werra monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudetica*, **10**, 1: 59–113.
- MAYER W., PIESTRZYŃSKI A., 1985 — Ore minerals from lower Zechstein sediments at Rudna Mine, Fore-Sudetic Monocline, SW Poland. *Pr. Miner. Kom. Nauk. Miner. PAN*, **75**: 1–72.
- MUCHA J., WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., AUGUŚCIK J., PASZEK M., 2017 — Gęstość przestrzenna rudy – parametr zasobowy drugiego planu? Złoże Cu-Ag Polkowice–Sieroszowice, Legnicko-Głogowski Okręg Miedziowy. *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **468**: 227–236.
- MUCHA J., WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., AUGUŚCIK J., PASZEK M., WÓJTOWICZ J., 2016 — Wpływ gęstości objętościowej rud Cu na rozliczanie produkcji górniczej i szacowanie zasobów [pr. zlecenie KGHM Polska Miedź S.A., niepubl.]. Arch. KGHM Polska Miedź S.A.
- NIŚKIEWICZ J., 1980 — Zjawiska metasomatozy w cechsztyńskich złożach rud miedzi Dolnego Śląska. *Geol. Sudetica*, **15**, 2: 7–110.
- OSZCZEPALSKI S., 1985 — Sedymentacja utworów cechsztyńskich wapienia podstawowego w rejonie Wrocławia. *Prz. Geol.*, **33**, 4: 192–198.
- OSZCZEPALSKI S., 1986 — On the Zechstein Copper Shale lithofacies and paleoenvironment in SW Poland. *Spec. Pub. Geol. Soc. London*, **22**: 171–182.
- OSZCZEPALSKI S., 1988 — Środowisko sedymentacji cechsztyńskiego łupku miedzionośnego w południowo-zachodniej Polsce. *Prz. Geol.*, **36**, 4: 223–130.
- OSZCZEPALSKI S., RYDZEWSKI A., 1987 — Paleogeography and sedimentary model of the Kupferschiefer in Poland. *W: The Zechstein facies in Europe* (red. T.M. Peryt): 189–205. Springer, Heidelberg.
- PERYT T.M., 1978 — Charakterystyka mikrofacjalna cechsztyńskich osadów węglanowych cyklotemu pierwszego i drugiego na obszarze monokliny przedsudeckiej. *Stud. Geol. Pol.*, **54**: 1–88.
- PERYT T.M., 1981 — Cechsztyń w otoczeniu bloku przedsudeckiego. *Kwart. Geol.*, **25**, 1: 75–91.
- PERYT T.M., 1984 — Sedymentacja i wczesna diagenetyzacja utworów wapienia cechsztyńskiego w Polsce zachodniej. *Pr. Państw. Inst. Geol.*, **109**: 1–80.
- PERYT T.M., OSZCZEPALSKI S., 1996 — Stratygrafia serii złożowej. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A.* (red. A. Piestrzyński i in.). Wyd. II. KGHM Cuprum Sp z o.o, Lubin.
- PIESTRZYŃSKI A. (red.), 1996 — Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. II. KGHM Cuprum Sp z o.o, Lubin.
- PIESTRZYŃSKI A. (red.), 2007 — Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. II. KGHM Cuprum Sp z o.o, Lubin.
- PIESTRZYŃSKI A., WODZICKI A., 2000 — Origin of gold deposit in the Polkowice-West Mine, Lubin–Sieroszowice Mining District, Poland. *Mineral. Deposita*, **35**, 1: 37–47.
- RYDZEWSKI A., ŚLIWIŃSKI W., 2007 — Litologia skał złożowych. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A.* (red. A. Piestrzyński i in.). Wyd. II. KGHM Cuprum Sp z o.o, Lubin.
- SAWŁOWICZ Z., WEDEPOHL K.H., 1992 — The origin of rhythmic sulphide bands from the Permian sandstones (Weissliegende) in the footwall of the Fore-Sudetic „Kupferschiefer” (Poland). *Miner. Deposita*, **27**, 3: 242–248.
- SPECZIK S., PUTTMANN W., 1987 — Origin of Kupferschiefer mineralization as suggested by coal petrology and organic geochemical studies. *Acta Geol. Pol.*, **37**, 3–4: 167–187.
- ŚLIWIŃSKI W., 2000 — Rozwój mineralizacji miedziowej w utworach permu monokliny przedsudeckiej – uwarunkowania sedymentacyjno-diagenetyczne. *Acta Univ. Wratisl.*, 2197; *Pr. Geol.-Miner.*, **68**: 7–36.
- VAUGHAN D.J., SWEENEY M., FRIEDRICH G., DIEDEL R., HARAŃCZYK C., 1989 — The Kupferschiefer: An Overview with an Appraisal of the Different Types of Mineralization. *Econ. Geol.*, **84**, 5: 1003–1027.
- ZIELIŃSKA A., 2015 — Charakterystyka rozmieszczenia zawartości metali w poszczególnych wydzieleniach litologicznych łupku miedzionośnego [pr. zlec. KGHM Polska Miedź S.A.]. Arch. KGHM Polska Miedź S.A.

SUMMARY

Lithological structure modelling of LGOM (Legnica–Głogów Copper District) copper ore deposit for geological resource estimation purpose could be based on simple schema of three main lithological types, which are sandstone, shale and dolomite. Long-term geological and mining experience in KGHM Polska Miedź S.A. shows geological interpretation is more accurate with more detail lithological classification of ore deposit. Nowadays two types of 3D models are built differing in details and purpose of use.

Structural model of deposit based on detail lithological types of ore (16 detail types) is used in geological interpretation process, geological phenomena and lithological-facies domains description. Structural model based on detail lithological types with 3D wireframes representing top surfaces of some specific rocks (i.e. streaky dolomite, anhydrite sand-

stone, clay dolomite) significantly helps with: optimal planning of the roof of excavation to ensure safe mining works, precision grade modelling, estimation of total organic carbon, determining amounts of lithological types of rocks as an input to enrichment process, more precise determination of tonnage at variable density. On the other hand model based on three main lithological types (sandstone, shale, dolomite) is sufficient for geological resource estimation purpose. 3D geological modelling of three main and sixteen detail lithological types as well as tectonic structures with reference surface as top of sandstone is the source of significant benefits, improving possibilities of identification specific parts of deposit and interpretation of geological data. 3D geological modelling becomes one of the basic visualization process for geological data used in KGHM Polska Miedź S.A.