

MODELOWANIE BUDOWY GEOLOGICZNEJ Z UŻYCIEM PSEUDOPRÓB NA PRZYKŁADZIE ZŁOŻA RUD Cu-Ag GŁOGÓW GŁĘBOKI-PRZEMYSŁOWY

GEOLOGICAL MODELLING WITH PSEUDOSAMPLES ON EXAMPLE OF GŁOGÓW GŁĘBOKI-PRZEMYSŁOWY Cu-Ag ORE DEPOSIT

MATEUSZ TWARDOWSKI¹, PAWEŁ HOFFMANN², DARIUSZ MRÓZ²

Abstrakt. W artykule zaprezentowano metodę modelowania budowy geologicznej złoża rud Cu-Ag z użyciem pseudoprób oraz jej wykorzystanie w odwzorowaniu przebiegu stref elewacji białego piaskowca w obszarze górniczym Głogów Głęboki-Przemysłowy. Utworzono dwa modele geologiczne: model bazowy – z wykorzystaniem danych z powierzchniowych otworów wiertniczych i model pseudoprób – z użyciem dodatkowych pseudopunktów opróbowania, przybliżających przebieg stref elewacji oraz depresji. Wyniki zestawiono w postaci map oraz porównania stanu zasobów geologicznych pomiędzy utworzonymi modelami.

Słowa kluczowe: modelowanie geologiczne 3D, elewacje stropu piaskowca, złożo Cu-Ag, monoklina przedsudecka.

Abstract. The 3D pseudosampling modelling method has been applied to reconstruct the occurrence of Weissliegende elevations in the Głogów Głęboki-Przemysłowy mining area of the Cu-Ag ore deposit. Two different approaches have been utilized and compared: (1) Basic model created from surface drillholes samples, and (2) modified by introducing the pseudosamples for better reflection of Weissliegende elevation outlines. Comparison between two models was shown in the form of maps and ore resources estimation.

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

WSTĘP

Zobrazowanie oraz opisanie budowy geologicznej złoża stanowi kluczowe zagadnienie z punktu widzenia działalności przedsiębiorstwa górniczego. Na każdym etapie, począwszy od eksploracji obszarów perspektywicznych, po bieżące prace eksploatacyjne, zobrazowanie budowy geologicznej oraz opis parametrów złoża przekłada się na racjonalne gospodarowanie dostępnymi zasobami oraz planowanie ich możliwie maksymalnego wykorzystania.

W ostatnich latach w zakresie odwzorowania struktury oraz jakości złóż popularność zyskują trójwymiarowe modele geologiczne, niejednokrotnie stosowane w przypadku złoża rud miedzi monokliny przedsudeckiej (Mucha, Wasilewska-Błaszczuk, 2010; Wasilewska-Błaszczuk i in., 2017a;

Wasilewska-Błaszczuk, Mucha, 2017). Postęp naukowy oraz technologiczny w tym zakresie pozwala na wykorzystywanie złożonych metod interpolacji i symulacji, a producenci oprogramowania prześcigają się w oferowaniu nowych funkcjonalności w swoich produktach. Szczególnie atrakcyjne wydają się funkcje automatyzujące proces budowy, które bazując na danych wejściowych oraz zaprogramowanych algorytmach przetwarzania, generują gotowy obraz budowy geologicznej złoża w postaci 3D. Niekwestionowaną zaletą w takim przypadku jest krótszy czas, który należy poświęcić na tworzenie modelu. Wadą może być dokładność odwzorowania otrzymana w efekcie końcowym, mniejsza od tej spodziewanej lub obserwowanej w rzeczywistości. Nie oznacza to jednak, że przytoczona metoda budowy modeli geologicznych jest niepoprawna. Jej wynik zależy przede wszystkim

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

² KGHM Polska Miedź S.A., ZG Polkowice-Sieroszowice, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice; e-mail: Pawel.Hoffmann@kghm.com, D.Mroz@kghm.com.

od jakości oraz ilości danych źródłowych, które wykorzystają algorytmy zawarte w oprogramowaniu. Niejednokrotnie stanowi to jednak problem z uwagi na skromną ilość informacji pochodzących z prowadzonych prac rozpoznawczych.

Modelowanie złóż przy ograniczonej ilości danych pochodzących z otworów wierconych z powierzchni stanowi dla geologa nie lada wyzwanie. Zdecydowanie łatwiej dokonać interpretacji w przypadku kontynuacji znanych i rozpoznanych struktur niż w przypadku odkrycia zupełnie nowych ciał złożowych. Prace eksploracyjne prowadzone przez KGHM Polska Miedź S.A. w głównej mierze skupiają się na wykonywaniu wierceń z powierzchni w obszarach perspektywicznych w siatce średnio $1,5 \times 1,5$ km. Pozyskiwane rdzenie wiertnicze stanowią źródło informacji na temat granic mineralizacji, budowy litologicznej oraz spodziewanej jakości złoża w badanym obszarze. Przyrost danych z kolejnych odwiertów pozwala na sporządzenie coraz bardziej wiarygodnego obrazu złoża, co bezpośrednio przekłada się na plany inwestycyjne i produkcyjne firmy w zakresie przyszłego udostępnienia złoża do eksploatacji. Zasoby rudy są obliczane i dokumentowane w kategorii rozpoznania C1, gdzie błąd określenia parametrów nie może być większy niż 30%. Przyjęta sieć rozpoznania w większości przypadków pozwala oszacować zasoby złoża z taką dokładnością, jest jednak zbyt mała, żeby dokonać szczegółowej interpretacji budowy geologicznej. Użycie automatycznych algorytmów

przetwarzania do zobrazowania w modelu 3D struktur geologicznych, które nie zostały bezpośrednio stwierdzone w otworach wiertniczych, jest praktycznie niemożliwe. Bazując jednak na zdobytych dotychczas doświadczeniach (ponad 50-letniej eksploatacji prowadzonej w kopalniach KGHM) oraz dostępnych opracowaniach naukowych z zakresu budowy geologicznej złoża można dokonać interpretacji oraz próby odwzorowania spodziewanej struktury złoża w modelowanym obszarze.

METODA PSEUDOPRÓB W MODELOWANIU BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Dostępne na rynku programy do modelowania geologicznego 3D pozwalają na obrazowanie budowy geologicznej złoża na różne sposoby. Często są to jednak metody bazujące na manualnym modelowaniu brył w przestrzeni trójwymiarowej, bardzo czasochłonnym i trudnym do wykonania przez mniej doświadczonych użytkowników. Wdrożone w latach 2014–2016 w KGHM Polska Miedź S.A. oprogramowanie realizuje proces budowy modelu 3D, wykorzystując specjalnie przygotowane algorytmy, które automatyzują pracę i umożliwiają w miarę szybkie generowanie wizualizacji przebiegu granic wydzielen litologicznych i mineralizacji Cu. Metody te stosowane zarówno w budo-

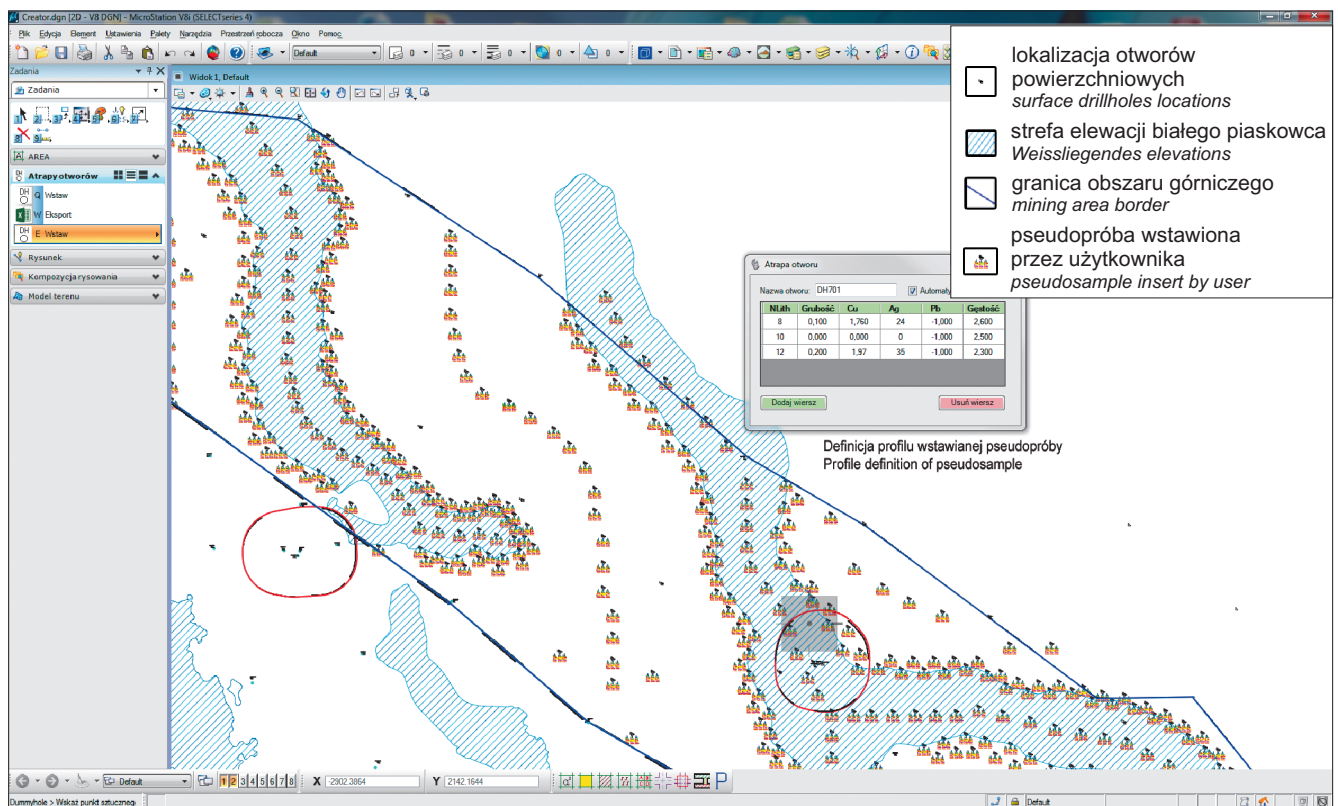


Fig. 1. Wstawianie pseudoprób w oknie Bentley Microstation przy użyciu aplikacji stworzonej w ZG Polkowice-Sierszowice (autor aplikacji D. Mróz, ZG Polkowice-Sierszowice)

Pseudosamples inserting in Bentley Microstation window with software created in ZG Polkowice-Sierszowice (software author D. Mróz, ZG Polkowice-Sierszowice)

wie modeli strukturalnych, jak i jakościowych, pozwalają na pozyskanie bardzo dobrych wyników w postaci modeli złoża dla dobrze opróbowanych obszarów (Wasilewska-Błaszczuk i in., 2017b).

W przypadku słabiej rozpoznanych partii złoża (jak np. obszary perspektywiczne), automatyczny wynik modelowania, bazujący na dostępnych danych z opróbowania rdzeni wiertniczych czy wyrobisk rozpoznawczych, może okazać się niewystarczający i będzie wymagać manualnej ingerencji ze strony geologa w celu dokładniejszego zobrazowania budowy geologicznej. Jedną z możliwości jest wstawienie do zbioru danych wejściowych dodatkowych punktów naśladujących wykonanie opróbowania złoża – tzw. pseudoprób lub sztucznych otworów (Gądek, 2013).

Metoda modelowania z wykorzystaniem pseudoprób jest możliwa przy użyciu praktycznie każdego oprogramowania dostępnego obecnie na rynku. Polega ona na przygotowaniu zbioru danych wejściowych, które będą przybliżać modelowane struktury, naśladując punktowe opróbowanie złoża. W KGHM Polska Miedź S.A. wykorzystuje się do tego pomocniczą aplikację działającą w środowisku Bentley Microstation (fig. 1; autor D. Mróz, ZG Polkowice-Sierszowice). Użytkownik manualnie wskazuje punkt na mapie wstawiając w nim pseudopróbę, w której deklaruje spodziewane miąższości głównych lub szczegółowych wydzieleni litologicznych oraz ewentualnie spodziewane zawartości składników użytecznych (Cu, Ag, Pb), co jest szczególnie ważne w przypadku próby modelowania przebiegu potencjalnych

stref kamiennych. Aplikacja automatycznie umieszcza pseudopróbę w przestrzeni 3D, bazując na wymodelowanej wcześniej granicy zalegania stropu białego piaskowca. Efektem końcowym jest tabelaryczne zestawienie poszczególnych pseudoprób, które jest dołączane do zbioru danych wejściowych wykorzystywanych w procesie modelowania.

MODELOWANIE STREF ELEWACJI BIAŁEGO PIASKOWCA Z UŻYCIEM PSEUDOPRÓB W OBSZARZE GÓRNICZYM GŁOGÓW GŁĘBOKI-PRZEMYSŁOWY

Metoda modelowania z użyciem pseudoprób może zostać wykorzystana m.in. do odwzorowania interpretowanego przebiegu stref elewacji białego piaskowca w modelach geologicznych 3D. Charakteryzują się one redukcją miąższości łupków obserwowaną na skłonach elewacji, aż do całkowitego wyklinowania w obszarach szczytowych. Przeciwnieństwem są strefy depresji, w których występują serie łupków o znacznej miąższości (Peryt, Oszczepalski, 1996). Badania nad genezą i charakterystyką elewacji są prowadzone od lat 70. (Jerzykiewicz i in., 1976; Jarosz, Zaleska, 1977; Błaszczuk, 1981) do dziś. Identyfikacja ich przebiegu jest bardzo ważna z uwagi na poprawne określenie formy złoża bilansowego (Mayer, Piestrzyński, 1985; Kaczmarek i in., 2005, 2007). Elewacje są kartowane przez geologów kopalnianych w obszarach rozpoznanych wyrobiskami gór-

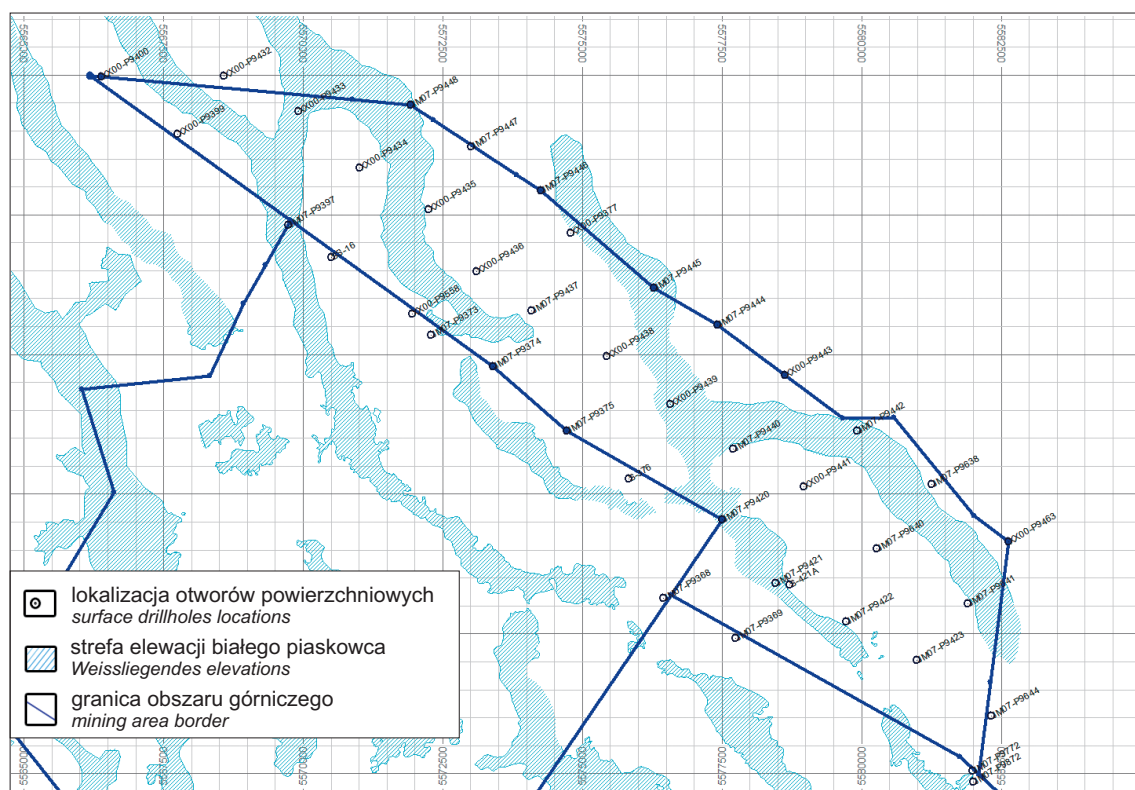


Fig. 2. Mapa przebiegu elewacji stropu piaskowca (kolor niebieski) na tle granicy obszaru górniczego

Map of Weissligendes elevations occurrence (blue colour) within mining area borders

Tabela 1

Mięszość łupków w pseudopróbach dla modelu obszaru Głogów Głęboki-Przemysłowy
 Pseudosamples shale thickness for modelling purpose in the Głogów Głęboki-Przemysłowy mining area

Depresja		Sklon od strony depresji		Sklon od strony szczytu		Szczyt	
Litologia	Mięszość	Litologia	Mięszość	Litologia	Mięszość	Litologia	Mięszość
Łupki	0,6 m	Łupki	0,3 m	Łupki	0,1 m	Łupki	0 m

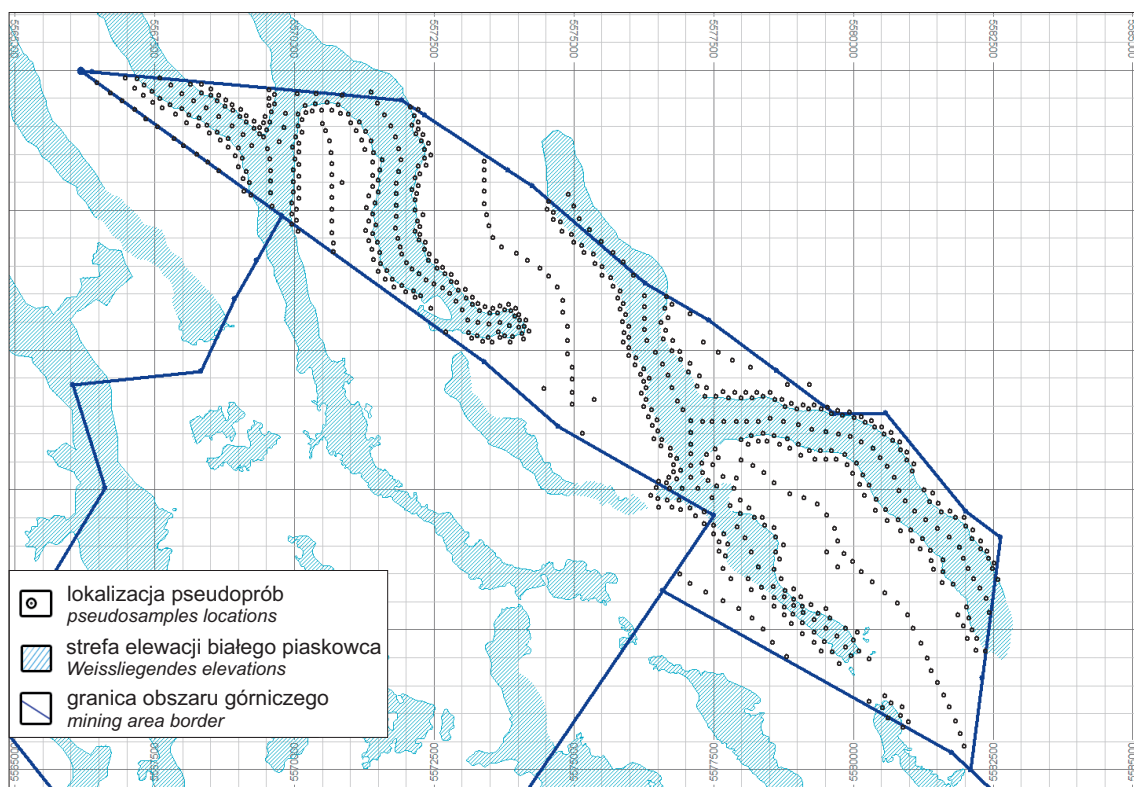


Fig. 3. Odzworowanie spodziewanego przebiegu elewacji z użyciem pseudoprób

Expected occurrence of Weissliegendes elevation areas mapped with pseudosamples

niczymi, a ich dalszy przebieg i ewentualne występowanie podlega licznym interpretacjom (Kaczmarek, Rożek, 2008), bazującym na dotychczas zgromadzonych doświadczeniach i wiedzy.

Dla obszaru górniczego Głogów Głęboki-Przemysłowy geolodzy kopalni Polkowice-Sieroszowice dokonali interpretacji przewidywanego występowania stref elewacji białego piaskowca na podstawie danych pochodzących z powierzchniowych otworów wiertniczych oraz dotychczasowych obserwacji prowadzonych w kopalniach KGHM (fig. 2).

Uwzględniając wykonaną interpretację, na potrzeby odwzorowania przebiegu stref elewacji w modelu 3D, zostały wstawione pseudopróby przybliżając miąższość występujących łupków w poszczególnych partiach złoża (fig. 3; tab. 1). Punkty były dobierane przez geologa tak, żeby ich rozmieszczenie odzwierciedlało budowę litologiczną złoża zgodnie z prawdopodobnym przebiegiem stref elewacji (zanik miąższości na szczytach) oraz w strefach depresji (występujące

między elewacjami obszary o znacznej miąższości łupków). W celu lepszego zobrazowania płynnej redukcji miąższości łupków na skłonach, wstawiono podwójne punkty konturujące strefy elewacji (osobno od strony szczytu oraz depresji).

MODELE LITOLOGICZNE

Wykonano modele litologiczne 3D dla dwóch wariantów: pierwszy (bazowy) – z wykorzystaniem tylko danych otworowych, drugi – z użyciem danych otworowych oraz wstawionych pseudoprób. Na potrzeby przeprowadzenia badań oraz oceny skuteczności metody pominięto dane z opróbowania wyrobisk górniczych. Oba modele wygenerowano z zastosowaniem takich samych algorytmów oraz kryteriów wyszukiwania. Siatkę interpolacji stanowią punkty składowe izolinii stropu piaskowca (punkty budujące przebieg izolinii na mapie numerycznej – werteksy), względem których jest estymowana miąższość głównych wydziałów litologicznych (węglany, łupki, piaskowce). Obliczenia wykonano z użyciem metody

odwrotnych odległości. Zastosowano dynamiczne kryteria wyszukiwania, zwiększające rozmiar elipsoidy w kolejnych iteracjach, jeśli w zbiorze pozostają punkty bez dokonanej oszacowania. Wymiary poziome elipsoidy wyszukiwania dla poszczególnych iteracji przedstawiono w tabeli 2. Wymiar pionowy Z jest nieznaczący z uwagi na estymację całkowitych miąższości poszczególnych wydziałów w punktach siatki. Na podstawie wykonanych oszacowań został utworzony blokowy model litologiczny przybliżający miąższość poszczególnych wydziałów (fig. 4, 5). Wymiar poziomy bloku ustalono na 16×16 m, wymiary pionowe są zmienne w zależności od miąższości poszczególnych wydziałów w danym punkcie wstawiania bloku.

W przypadku modelu utworzonego tylko z danych otworowych (model bazowy) widać zarysy obszarów,

w których miąższość łupków podlega znacznej redukcji. Nie są to jednak całkowite wyklinowania, gdyż w zasadzie poza otworem S-421 nie zostały stwierdzone w żadnym z pozyskanych rdzeni. Obserwując wyniki modelowania można zauważyć, że wrysowany potencjalny przebieg występowania elewacji stropu piaskowca pokrywa się z obszarami o zredukowanej miąższości łupków, oscylując między bardziej miąższymi interwałami nawierconymi w otworach. Model, chociaż niejednoznacznie obrazuje występowanie stref elewacyjnych, daje jednak przesłanki do tego, gdzie mogą się one znajdować.

Model utworzony z wykorzystaniem dodatkowych danych wprowadzonych w postaci pseudoprób znacznie lepiej obrazuje przebieg stref elewacji stropu piaskowca. Wynik modelowania pokrywa się z interpretacją kartograficzną, jest

Tabela 2

Wymiary poziome elipsoidy wyszukiwania w procesie interpolacji miąższości głównych wydziałów litologicznych

Horizontal dimensions of search ellipsoid for lithology thickness interpolation process

Iteracja 1		Iteracja 2		Iteracja 3	
X	Y	X	Y	X	Y
100 m	100 m	200 m	200 m	400 m	400 m
Iteracja 4		Iteracja 5		Iteracja 6	
X	Y	X	Y	X	Y
1 000 m	1 000 m	2 000 m	2 000 m	5 000 m	5 000 m

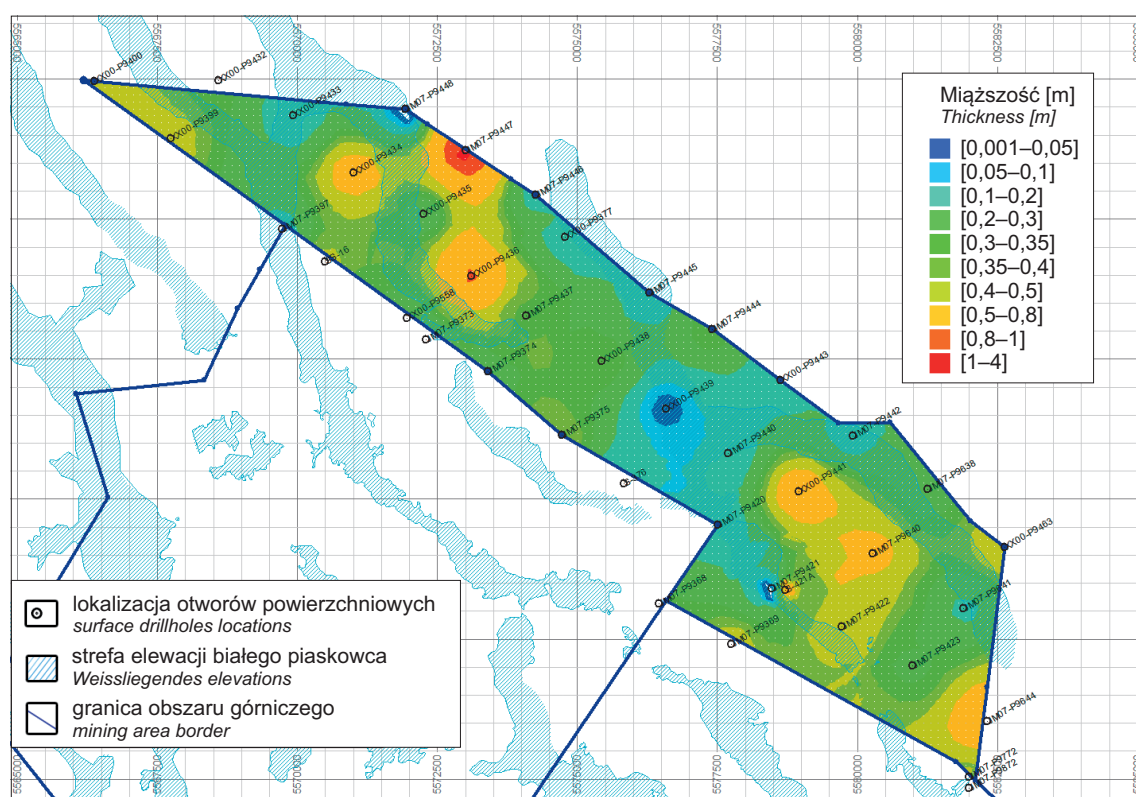


Fig. 4. Mapa miąższości łupków miedzionośnych. Model litologiczny bazowy wykonany z użyciem danych z otworów powierzchniowych

Map of Kupferschiefer thickness. Base lithological model created from surface drillholes samples

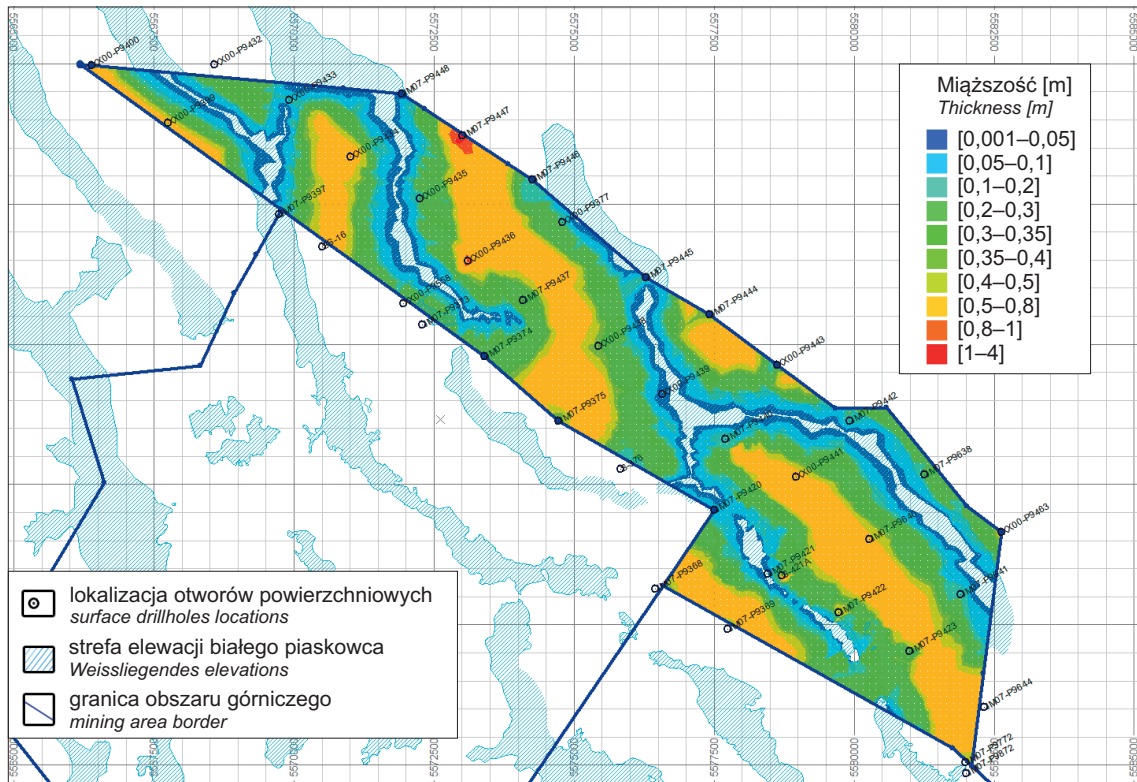


Fig. 5. Mapa miąższości łupków miedzionośnych. Model litologiczny wykonany z użyciem danych z otworów powierzchniowych oraz pseudoprób

Map of Kupferschiefer thickness. Lithological model created from surface drillholes samples and pseudosamples

zbieżny z punktami wstawienia pseudoprób, potwierdzając tym samym skuteczność przyjętej metody. Zamodelowano wyklinowanie warstwy łupków na szczytach elewacji, redukcja ich miąższości na skłonach oraz miąższe wystąpienia w strefach depresji. Co ważne, otrzymany wynik modelowania nie wymagał od geologa żmudnego i manualnego procesu tworzenia granic przebiegu kolejnych wydzieleni litologicznych w postaci brył 3D. Na podstawie wstawionych pseudoprób oraz danych z otworów algorytmy zawarte w programie wygenerowały model zbieżny z interpretacją użytkownika.

MODELE JAKOŚCIOWE

W kolejnym etapie utworzono model jakościowy złoża w obszarze Głogów Głęboki-Przemysłowy w dwóch wersjach. Pierwsza (bazowa) – z wykorzystaniem bazowego modelu litologicznego oraz danych jakościowych z otworów powierzchniowych. Druga (pseudoprób) – z wykorzystaniem modelu litologicznego zbudowanego z użyciem pseudoprób oraz danych jakościowych z otworów powierzchniowych. Umożliwiły one porównanie stanu zasobów w obszarze górniczym Głogów Głęboki-Przemysłowy dla obu wersji i ocenę wpływu zamodelowanego przebiegu stref elewacji stropu piaskowca na wynik obliczeń.

Oba modele wykonano wykorzystując te same algorytmy oraz parametry wyszukiwania. Granicę mineralizacji

bilansowej wyznaczono według kryteriów brzeżnych 0,7% zawartości Cu przy zachowaniu średniej zawartości ekwiwalentnej w profilu złoża 0,7% CuEq. Pominięto kryterium zasobności 50 kg/m², żeby zachować ciągłość granic mineralizacji dla całego obszaru Głogów Głęboki-Przemysłowy. Tym samym w obu modelach granice złoża bilansowego były identyczne (bazowały na tych samych danych). Różniły się jednak przebiegiem granic wydzieleni litologicznych.

Na potrzeby przeprowadzenia estymacji zawartości Cu, dane z otworów uśredniono w interwałach o miąższości maksymalnej do 0,2 m w obrębie granic głównych wydzieleni litologicznych. Interpolacji w blokach modelu o wymiarach poziomych 16 × 16 m oraz wymiarze pionowym 0,2 m dokonano metodą odwrotnych odległości z użyciem dynamicznej elipsoidy wyszukiwania (podobnie jak w przypadku modelowania litologicznego). Pozwoliło to w pierwszej iteracji odwzorować dokładną zawartość Cu w pobliżu otworów powierzchniowych, a w przypadku ostatniej – dokonać dostatecznego uśrednienia parametru między kilkoma otworami. Wymiary elipsoidy dla poszczególnych iteracji przedstawiono w tabeli 3. Obliczenia przeprowadzono osobno dla każdego wydzielenia litologicznego w podziale na część należącą do złoża (w granicach mineralizacji) oraz będącą poza złożem (płonna).

Wyniki porównania stanu zasobów geologicznych w obrębie całego obszaru górniczego zestawiono w tabeli 4. Niewiel-

kie różnice wynikają głównie z przyjętych założeń związanych z wyznaczeniem granic złoża bilansowego w przestrzeni 3D. W obu modelach ich przebieg był identyczny (bazował na danych z otworów powierzchniowych). Stwierdzono przyrost masy rudy w modelu pseudoprób o ponad 135 tys. ton w stosunku do modelu bazowego, przy jednoczesnym spadku jakości o 0,07%, co finalnie przekłada się na mniejszą o ok. 211 tys. ton masę miedzi. Wynika to bezpośrednio z redukcji miąższości łupków w szczytowych obszarach elewacji i prze-

sunięcia granicy mineralizacji w stronę facji węglanowej o większej gęstości objętościowej (przyrost masy rudy) oraz mniejszej zawartości Cu (spadek jakości). Różnica jest redukowana przez zwiększoną miąższość łupków w centralnych strefach depresji. Obrazują to mapy zasobności sporządzone dla obu modeli (fig. 6, 7) oraz mapy zasobności dla serii złóżowej w podziale na główne litologie (fig. 8–13).

Przeglądając wyniki zestawione w formie map, można zauważyć redukcję zasobności Cu w strefach elewacji stropu

Tabela 3

Wymiary elipsoidy wyszukiwania w procesie interpolacji zawartości Cu w modelu blokowym
Horizontal dimension of search ellipsoid for Cu grades interpolation process

Iteracja 1			Iteracja 2			Iteracja 3		
X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
500 m	500 m	0,2 m	1500 m	1500 m	0,6 m	2500 m	2500 m	1 m

Tabela 4

Porównanie stanu zasobów geologicznych w modelach bazowym oraz pseudoprób dla obszaru górniczego Głogów Głęboki-Przemysłowy

Geological resource comparison between base model and pseudosamples model for Głogów Głęboki-Przemysłowy mining area

Model	Masa Rudy [t]	Cu [%]	Masa Cu [t]	Miąższość [m]
Bazowy	289 617 520	2,59	7 505 421	2,16
Pseudosamples	289 752 728	2,52	7 294 686	2,16
Różnica	135 208	-0,07	-210 735	0,00

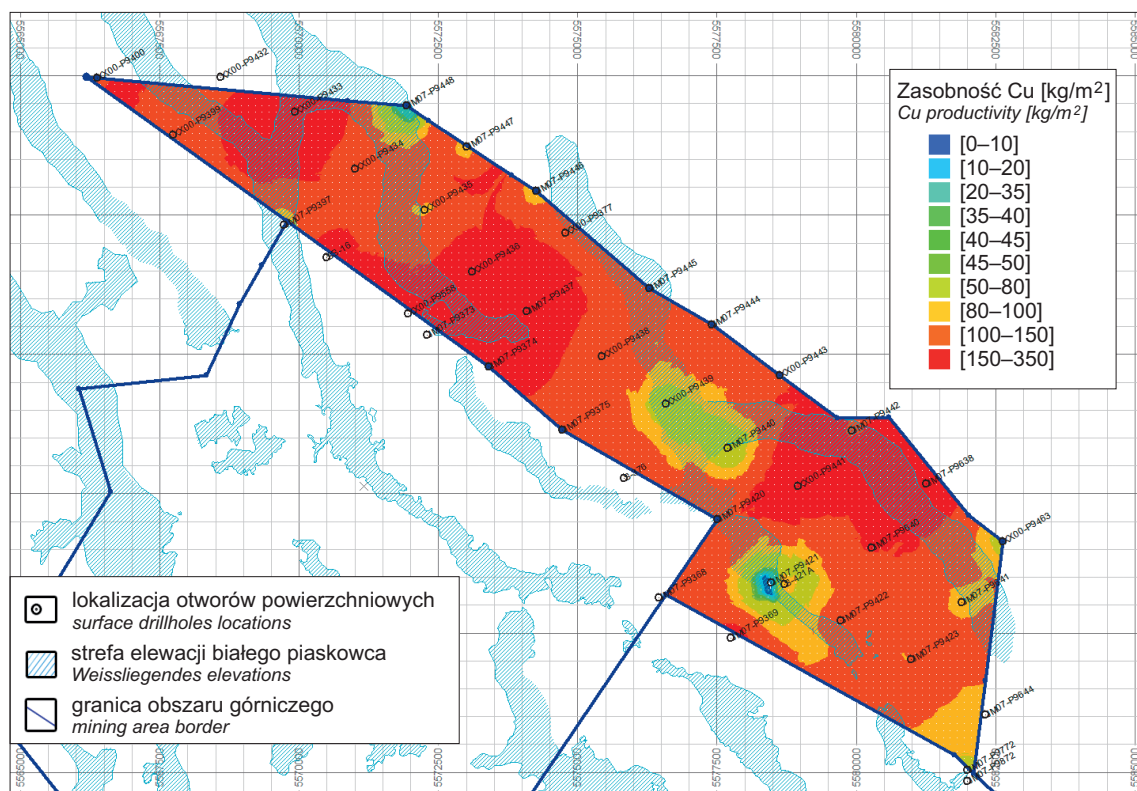


Fig. 6. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej z użyciem litologicznego modelu z otworów powierzchniowych
Cu productivity within balance mineralisation borders lithological model created from surface drillholes samples

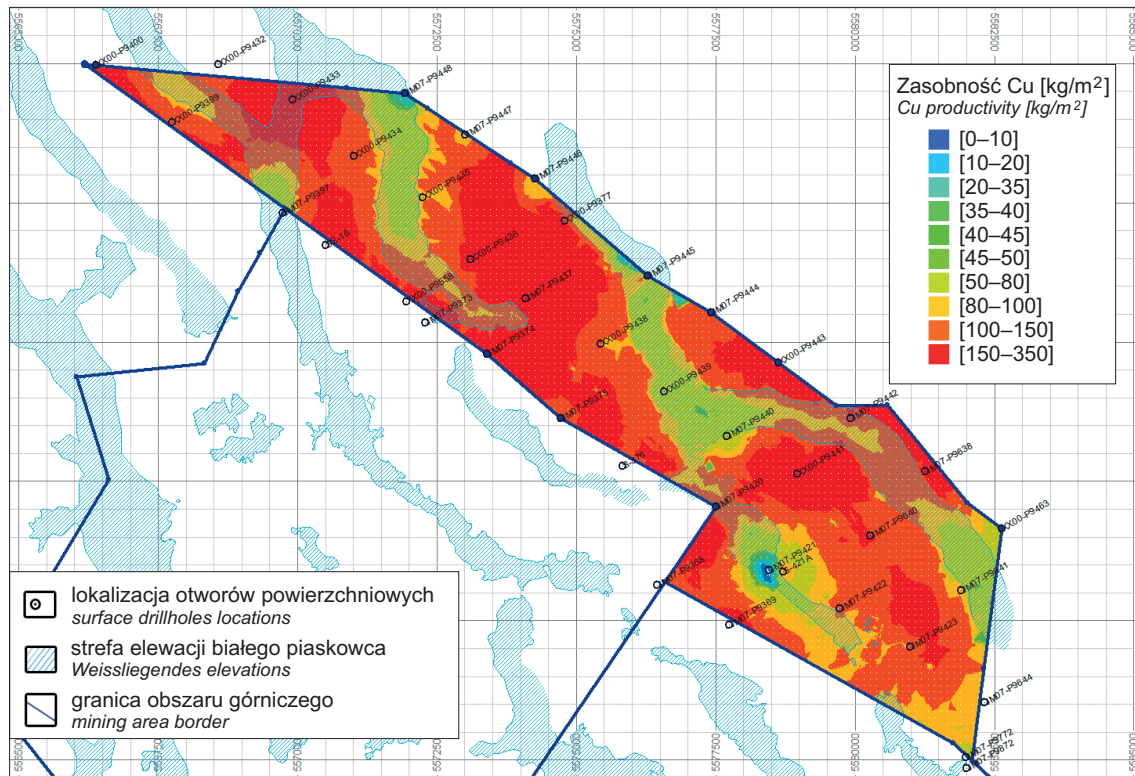


Fig. 7. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej z użyciem litologicznego modelu pseudoprób

Cu productivity within balance mineralisation borders lithological model created with pseudosample data

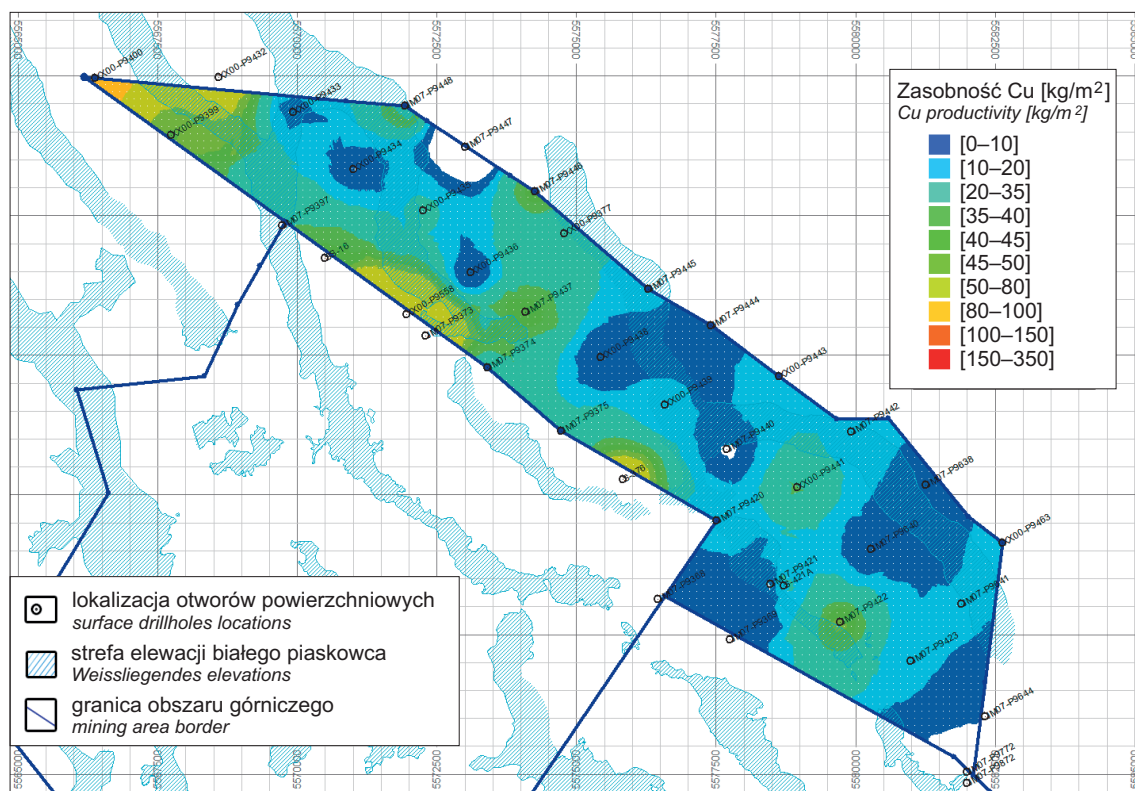


Fig. 8. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej w rudzie węglanowej z użyciem litologicznego modelu z otworów powierzchniowych

Cu productivity in dolomite ore within balance mineralisation borders lithological model created from surface drillholes samples

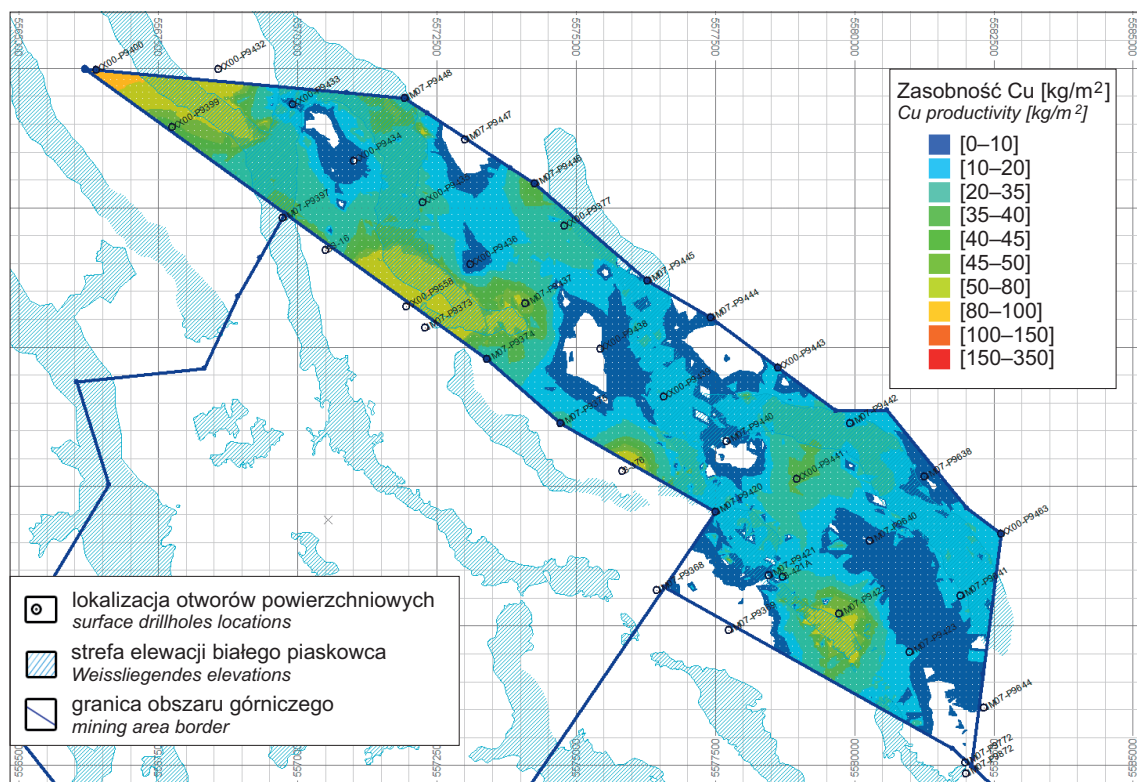


Fig. 9. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej w rudzie węglanowej z użyciem litologicznego modelu pseudoprób

Cu productivity in dolomite ore within balance mineralisation borders lithological model created with pseudosamples data

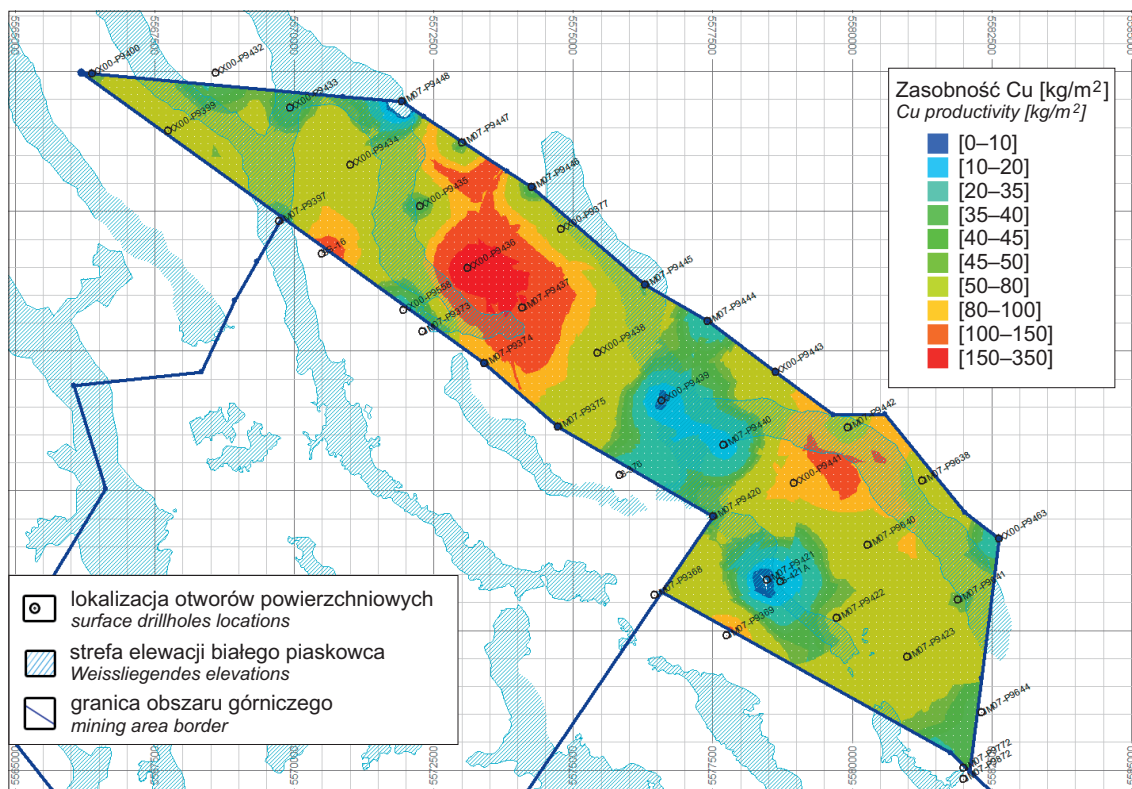


Fig. 10. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej w rudzie łupkowej z użyciem litologicznego modelu z otworów powierzchniowych

Cu productivity in shale ore within balance mineralisation borders lithological model created from surface drillholes samples

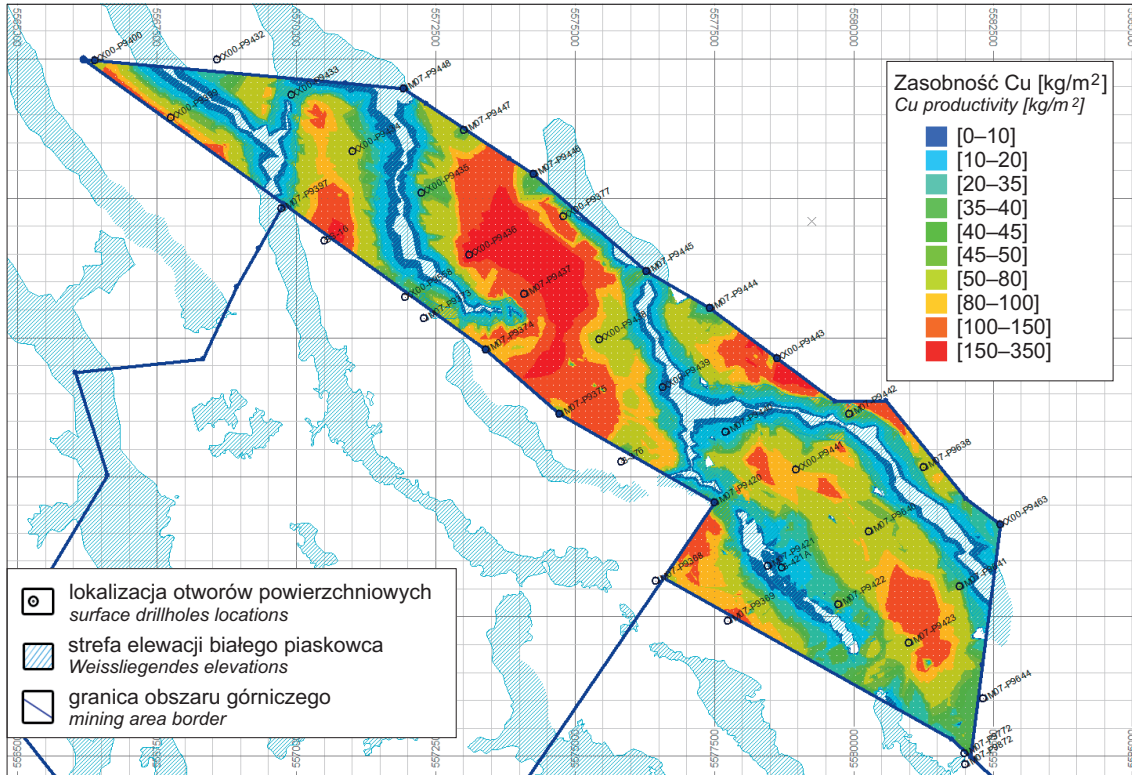


Fig. 11. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej w rudzie łupkowej z użyciem litologicznego modelu pseudoprób

Cu productivity in shale ore within balance mineralisation borders lithological model created with pseudosamples data

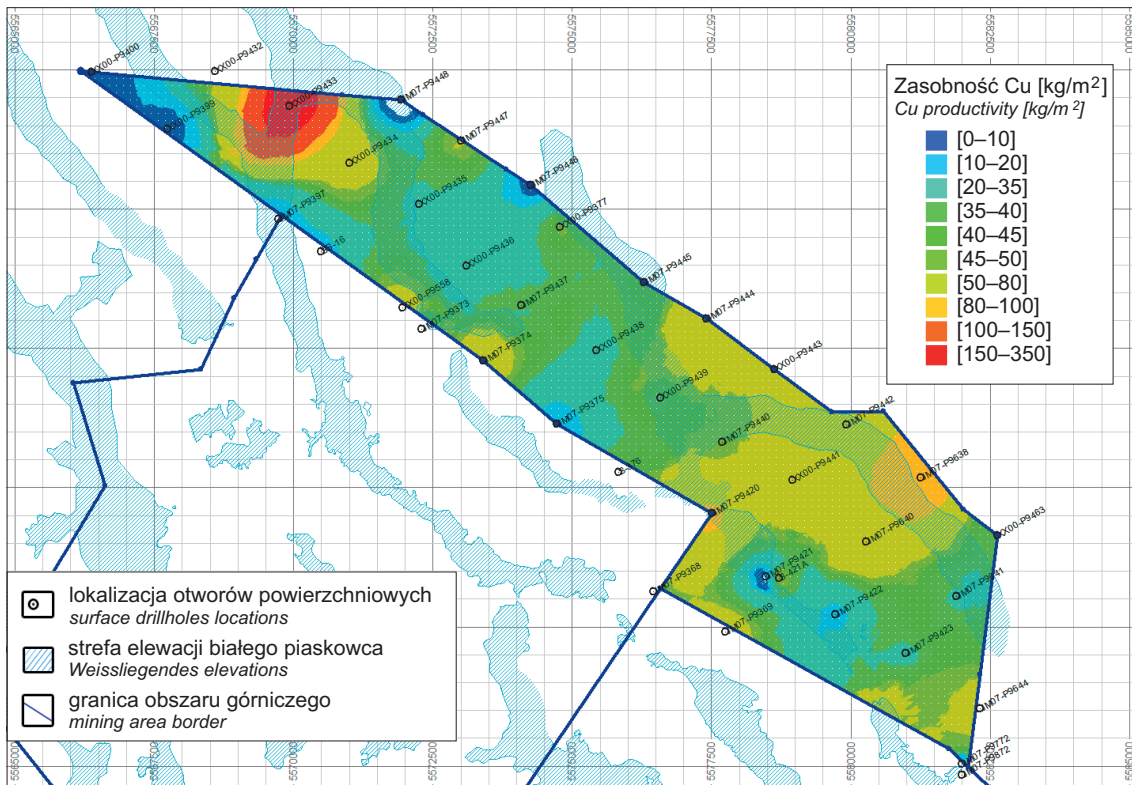


Fig. 12. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej w rudzie piaskowcowej z użyciem litologicznego modelu z otworów powierzchniowych

Cu productivity in sandstone ore within balance mineralisation borders lithological model created from surface drillholes samples

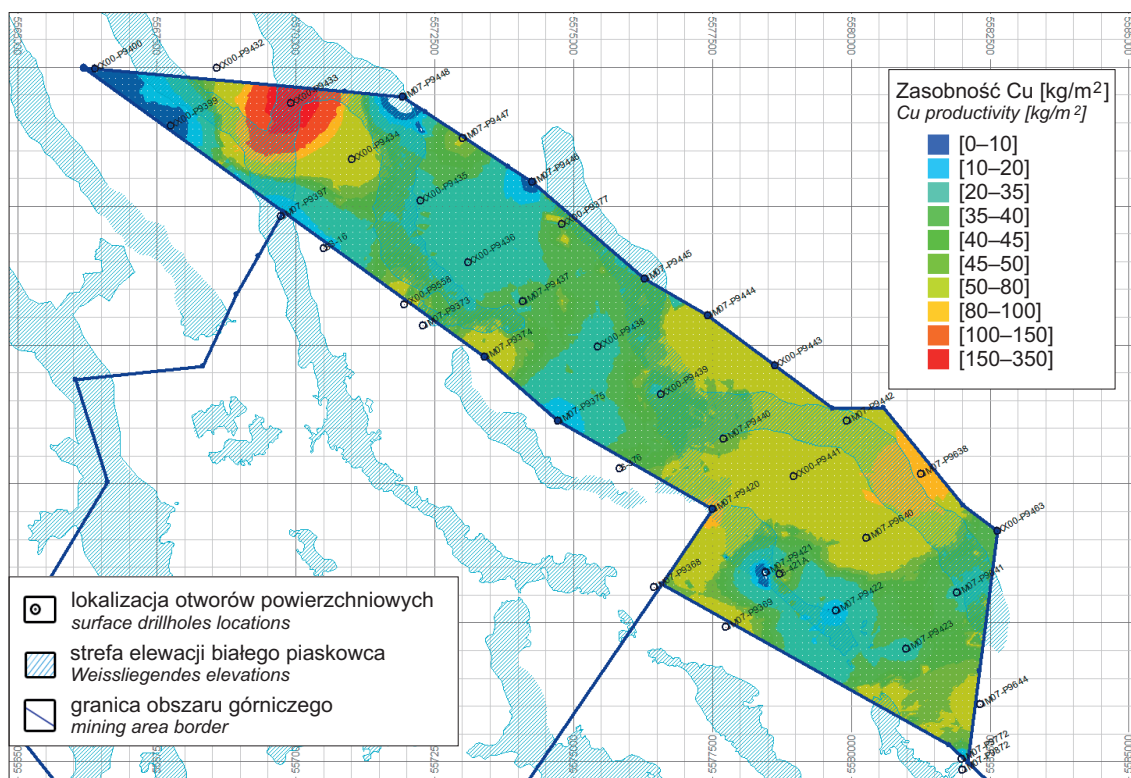


Fig. 13. Zasobność Cu w granicach mineralizacji bilansowej w rudzie piaskowcowej z użyciem litologicznego modelu pseudoprób
 Cu productivity in sandstone ore within balance mineralisation borders lithological model created with pseudosamples data

Tabela 5

Porównanie stanu zasobów geologicznych w rudzie węglanowej dla modeli bazowego oraz pseudoprób w obszarze górniczym Głogów Głęboki-Przemysłowy

Geological resource in dolomite ore comparison between base model and pseudosamples model for Głogów Głęboki-Przemysłowy mining area

Ruda węglanowa w złożu				
Model	Masa rudy [t]	Cu [%]	Masa Cu [t]	Miąższość [m]
Bazowy	63 515 454	1,75	1 109 742	0,44
Pseudopróby	67 787 328	1,70	1 149 673	0,47
Różnica	4 271 873	-0,05	39 931	0,03

Tabela 6

Porównanie stanu zasobów geologicznych w rudzie łupkowej dla modeli bazowego oraz pseudoprób w obszarze górniczym Głogów Głęboki-Przemysłowy

Geological resource in shale ore comparison between base model and pseudosamples model for Głogów Głęboki-Przemysłowy mining area

Ruda łupkowa w złożu				
Model	Masa rudy [t]	Cu [%]	Masa Cu [t]	Miąższość [m]
Bazowy	44 906 245	8,26	3 707 639	0,32
Pseudopróby	40 436 381	8,55	3 458 928	0,29
Różnica	-4 469 863	0,29	-248 711	-0,03

Tabela 7

Porównanie stanu zasobów geologicznych w rudzie piaskowcowej dla modeli bazowego oraz pseudoprób w obszarze górniczym Głogów Głęboki-Przemysłowy

Geological resource in sandstone ore comparison between base model and pseudosamples model for Głogów Głęboki-Przemysłowy mining area

Ruda piaskowcowa w złożu				
Model	Masa rudy [t]	Cu [%]	Masa Cu [t]	Miąższość [m]
Bazowy	181 195 819	1,48	2 688 039	1,41
Pseudopróby	181 529 018	1,48	2 686 084	1,41
Różnica	333 199	0,00	-1 955	0,00

piaskowca w modelu z użyciem pseudoprób, wynikającą ze zmniejszonej miąższości łupków w tych obszarach (fig. 10, 11). Następuje przesunięcie granic mineralizacji w stronę facji węglanowej (fig. 8, 9), znacznie uboższej w zawartość Cu (tab. 5). W obszarach depresji zachodzi odwrotna zależność. Nieznaczny przyrost miąższości łupków przekłada się na wzrost zasobności, z uwagi na silną mineralizację (tab. 6; fig. 10, 11), a także redukcję miąższości węglanów zawierających się w granicach złoża bilansowego (fig. 8, 9), w niektórych miejscach całkowicie zanikających.

Prawie niezauważalne zmiany w facji piaskowcowej w granicach złoża bilansowego wynikają z zastosowanej metody lokalizowania pseudoprób w przestrzeni 3D, opisanej w rozdziale „Metoda pseudoprób w modelowaniu budowy geologicznej”. Zamodelowana powierzchnia stropu piaskowca stanowi powierzchnię referencyjną i nie podlega zmianie. Uwzględniając identyczny przebieg granic mineralizacji w obu modelach, miąższość piaskowców w granicach złoża bilansowego oraz średnia zawartość Cu w jego obrębie pozostanie na zbliżonym poziomie (tab. 7; fig. 12, 13). Drobne różnice będą wynikać z metody tworzenia bloków elementarnych modelu przez oprogramowanie. Lokalnie mogą powstawać niewielkie różnice w pionowym wymiarze poszczególnych komórek budujących model z uwagi na zmiany miąższości nadległych łupków oraz węglanów zawierających się w granicach złoża bilansowego. Różnice w wynikach końcowych są jednak małe (poniżej 1% dla masy Cu i ok. 1,8% dla masy rudy w całym obszarze górniczym).

PODSUMOWANIE

Modelowanie 3D z użyciem pseudoprób dla obszaru górniczego Głogów Głęboki-Przemysłowy pozwoliło na zobrazowanie i uwzględnienie w obliczeniach spodziewanych przebiegów stref elewacji stropu białego piaskowca. Metoda okazała się obiecująca w zakresie szerszego stosowania, gdyż nie wymaga od użytkownika żmudnego, manualnego modelowania przebiegu granic wydzieleni litologicznych w przestrzeni 3D. Zestaw utworzonych pseudoprób jest dołączany bezpośrednio do danych z opróbowania rzeczywistego i wykorzystywany przez algorytmy automatyzujące proces tworzenia modelu geologicznego. Metoda ta wspo-

maga tym samym odwzorowanie budowy geologicznej złoża, niepotwierdzonej bezpośrednio w wyniku prowadzonego rozpoznania otworami powierzchniowymi czy wyrobiskami. Zdecydowanie warto przeprowadzić dalsze próby w zakresie wykorzystania jej, np. do odwzorowania przebiegu stref kamiennych lub dokładniejszego modelowania granic mineralizacji w strefach elewacji i depresji, żeby jeszcze bardziej zbliżyć obraz modelu 3D do interpretacji sporządzonych przez geologów.

LITERATURA

- BŁASZCZYK J.K., 1981 – Wpływ paleomorfologii stropu białego spągowca na zmienność facjalną serii złożowej w Zagłębiu Lubimskim. *Geol. Sudet.*, **16**, 1: 195–2017.
- GADEK A., 2013 – Modelowanie tektoniki na przykładzie złoża węgla brunatnego „Solntsevskoye”. *Gór. Odkryw.*, **54**, 2: 180–190.
- JAROSZ J., ZALESKA M., 1977 – Piaskowiec anhydrytowy w złożu miedzi Rudna. *Rudy i Metale*, **22**: 664–668.
- JERZYKIEWICZ T., KIJEWSKI P., MROCZKOWSKI J., TEISSEYRE A.K., 1976 – Geneza osadów białego spągowca monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudet.*, **11**, 1: 57–90.
- KACZMAREK W., ROŻEK R., 2008 – Budowa geologiczna i zagospodarowanie złoża Głogów Głęboki-Przemysłowy. *Gosp. Sur. Miner.*, **24**, 4: 129–141.
- KACZMAREK W., ROŻEK R., ŚLIWIŃSKI W., 2005 – Zależność występowania bilansowego okruszczenia miedziowego od wykształcenia litologicznego serii złożowej w LGOM (monoklina przedsudecka). *Gosp. Sur. Miner.*, **21**, 1: 217–229.
- KACZMAREK W., ROŻEK R., ŚLIWIŃSKI W., 2007 – Elewacje stropu białego spągowca w kopalniach rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. *W: Mat. Konf. Nauk.-Techn. „Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi”: 1–11. Lubin, 26–28 września 2007.*
- 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., 2010 – Prognoza jakości urobku metodami geostatystyki 3D – perspektywy i ograniczenia. *Gosp. Sur. Miner.*, **26**, 2: 57–67.
- PERYT T.M., OSZCZEPALSKI S., 1996 – Stratygrafia serii złożowej. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. A. Piestrzyński i in.): 132–136. KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin.*
- WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., MUCHA J., 2017 – Geochemical modeling of the Cu-Ag deposits from the Lubin-Głogów

- Copper District (Poland) supported by lithological modeling. *Gosp. Sur. Miner.*, **33**, 4: 63–78.
- WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., KRUK M., MUCHA J., 2017a – Wiarygodność modelowania 3D zawartości Pb oraz głównych metali w złożu rud Cu-Ag Sierszowice (LGOM). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **468**: 247–259.
- WASILEWSKA-BŁASZCZYK M., TWARDOWSKI M., MUCHA J., KACZMAREK W., 2017b – Model litologiczny 3D przy zastosowaniu technik interpolacyjnych i symulacji geostatystycznej (na przykładzie złoża Cu-Ag Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego). *Biul. Państw. Inst. Geol.*, **468**: 237–246.

SUMMARY

3D geological modeling using pseudosamples for the Głogów Głęboki-Przemysłowy mining area allowed to illustrate and account the expected occurrence of Weissliedendes elevation zones. The method has proved to be promising, as it does not require the user to tedious, manual modeling of lithological boundaries in 3D space. The set of pseudosamples is attached directly to the data from real sampling and used by algorithms that automate the process of creat-

ing a geological model. This method supports the mapping of the geological structure, not found directly as a result of surface drillholes exploration. It is definitely worthwhile to carry out further tests in the use of this method, eg. for mapping the course of barren rock zones or more accurate modeling of mineralization boundaries in elevation and depression zones, for better approximation of the 3D model to current interpretations made by geologists.

