



Krzysztof SKRZYPKOWSKI¹, Waldemar KORZENIOWSKI¹, Andrzej GADEK², Radosław MISIAK²

Możliwości wykorzystania programu MineScape do analizy modelu rozcięcia złoża rudnego

Streszczenie: Współczesna podziemna eksploatacja złóż surowców mineralnych coraz częściej związana jest z pakietami oprogramowania geologiczno-górniczego, które wspierają prace projektantów od momentu poszukiwania złoża, określenia wielkości jego zasobów, jakości kopaliny, warunków geologicznych, hydrogeologicznych, tektonicznych poprzez planowanie udostępnienia i rozcięcia złoża. Planowanie produkcji jest jedną z najważniejszych czynności wykonywanych w trakcie prowadzenia projektu górniczego, ponieważ pozwala na założenie konkretnych wyników produkcyjnych kopalni w odniesieniu do jednostki czasu, a następnie umożliwia weryfikację stopnia realizacji zamierzonego planu. Obecnie komputerowe wspomaganie projektowania znajduje zastosowanie do codziennego lub długoterminowego planowania wydobycia z uwzględnieniem ograniczeń złożowych, jakościowych, ilościowych i kosztowych. W artykule przedstawiono wybrane formy złóż rudnych. Na podstawie kilkudziesięciu otworów wiertniczych o długości do 300 m przedstawiono przykładowy fragment modelu rozcięcia złoża rudnego z zastosowaniem komputerowego wspomaganie projektowania robót górnich. Poprzez zastosowanie nowoczesnego programu komputerowego – ABB MineScape o budowie modułowej określono możliwości usprawnienia procesu zagospodarowania przyszłych rejonów eksploatacji. W szczególności przedstawiono rozmieszczenie otworów wiertniczych, na podstawie których wykonano przekroje z przedstawieniem przykładowych miąższości warstw litostratygraficznych, uwzględniając również deformacje nieciągłe w formie uskóków oraz strefy okruszczowane. Dla modelu blokowego zostały obliczone zasoby z priorytetem dla metalu nr 1 oraz 2. W ostatniej części artykułu zaproponowano sposób rozcięcia płytko zalegającego złoża rudnego. Stopień wykorzystania złoża określono dla komorowo-filarowego systemu eksploatacji.

Słowa kluczowe: model złoża rudnego, rozcięcie złoża, projektowanie eksploatacji

Possibilities of using MineScape software to analyze the model of cutting ore deposit

Abstract: The contemporary underground mining of raw minerals is more and more associated with geological and mining software packages which support the work of designers from the moment of the exploration of a deposit,

¹ AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków; e-mail: skrzytko@agh.edu.pl

² Sygnity SA.

determination of its size and quality, geological, hydrogeological and tectonic conditions, by planning the development and cutting of the deposit. Production planning is one of the most important activities carried out in the course of a mining project, because it allows to set specific production results of a mine in relation to a time unit, and then allows for a verification of the degree of completion of the assumed plan. At present, computer-aided design is applicable to daily or long-term output planning taking deposit, qualitative, quantitative and cost constraints into account. In the article, selected forms of ore deposits were presented. On the basis of several dozen boreholes up to 300m in length, an exemplary fragment of the ore cutting model using computer-aided design of mining works was presented. By using modern computer software - ABB MineScape with modular construction, the possibilities of improving the process of development of future exploitation areas have been determined. In particular, the arrangement of boreholes, based on which ones the cross sections were made with, present the exemplary lithostratigraphic thickness of layers, including the location of discontinuous deformations in the form of faults, and an ore bearing zone. For the block model, resources with priority for metal No. 1 and 2 were calculated. In the last section of the article, the cutting idea for a shallow ore deposit has been presented. The degree of effective use of the deposit has been analysed for the room and pillar mining method.

Keywords: model of ore deposit, cut of deposit, design of exploitation

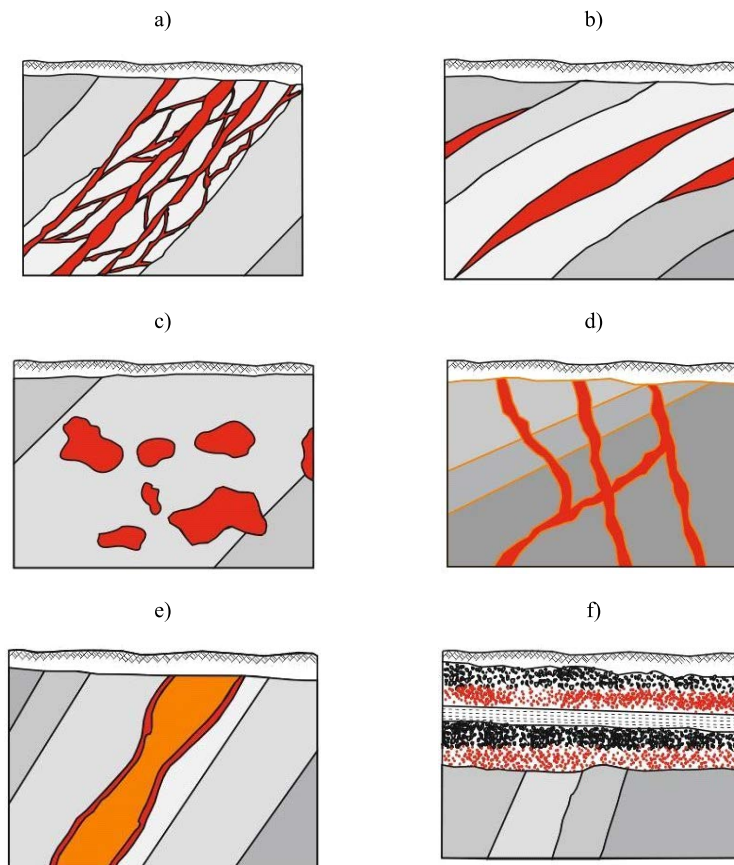
Wprowadzenie

Współczesna eksploatacja złóż surowców mineralnych zarówno odkrywkowa, jak i podziemna coraz częściej związana jest z pakietami oprogramowania geologiczno-górniczego, które wspierają prace inżynierów od momentu poszukiwania złoża, określenia wielkości jego zasobów, jakości kopaliny, warunków geologicznych, hydrogeologicznych, tektonicznych poprzez planowanie udostępnienia i rozcięcia złoża, aż do codziennego lub długoterminowego planowania wydobywania z uwzględnieniem ograniczeń złożowych, kosztowych, ilościowych i jakościowych. Proces planowania i harmonogramowania eksploatacji wymaga połączenia dużej ilości zróżnicowanych danych, geologicznych, eksploatacyjnych czy ekonomicznych, co jest podstawą działania większości dostępnych programów wspierających górnictwo. Obecnie w przemyśle wydobywczym wymaga się zapewnienia rytmicznych dostaw surowców o odpowiednio wysokiej jakości oraz wprowadzane są zmiany w technologii wydobywania z zastosowaniem wspomaganie komputerowego (Pactwa 2009; Frankowski i Gądek 2009; Bieńkowski 2015; Kowalczyk i in. 2015, Barber i Kalondji 2006, Melnik i in. 2012, Kopeć i in. 2015). Przykładowo w kopalniach Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego wykonuje się plany eksploatacji krótkoterminowe – miesięczne, roczne oraz wieloletnie: pięcioletki, dziesięcioletki. Plany pięcioletnie sporządzane są przez Działy Technologii Górniczej (TR), a następnie przekazywane do Działów Geologicznych kopalń, w celu określenia parametrów planowanej produkcji. Podczas procesu planowania i harmonogramowania produkcji określone są granice poszczególnych parcel eksploatacyjnych, kolejność ich eksploatacji oraz kierunki wiązek wyrobisk udostępniających i przygotowawczych (Bielakowicz i in. 2016).

1. Forma złoża

O przydatności złoża do eksploatacji decyduje między innymi jego forma i budowa. Złoża, dla których można przyporządkować rozciągłość, upad i kąt nachylenia, są uważane za foremne, należą do nich między innymi: pokłady, soczewki pokładowe, żyły proste. Zło-

za kopaliny pochodzenia magmowego i metamorficznego występują przeważnie w formach nieregularnych, do których można zaliczyć: żyły złożone, gniazda, kieszenie, masywy, składy (słupy, pnie), sztokwerki (rys. 1). Nie każde jednak złożo nadaje się do eksploatacji górniczej. Znaczenie gospodarcze i wartość przemysłową mają tylko te złoża, które w istniejących warunkach geologiczno-górnicych można eksploatować z korzyścią ekonomiczną. Złożo nie nadaje się do korzystnej eksploatacji, jeżeli ilość np. rudy w złożu jest nieduża lub jeżeli ruda zawiera zbyt mało metalu. W przypadku eksploatacji złóż rudnych zawartość metalu często zmienia się poszczególnych częściach złoża. Przy ustaleniu użyteczności złoża rudnego uwzględnia się następujące czynniki: znaczenie metalu w gospodarce narodowej i światowej, warunki zalegania złoża, zagrożenia naturalne, głębokość, rodzaj skał otaczających, miąższość złoża, zasoby, zawartość procentową metalu w rudzie, system eksploatacji, który można zastosować w obecnych warunkach geologiczno-górnicych, sposób wzbogacania urobku oraz koszt wydobycia 1 tony rudy (Takuski 1980).

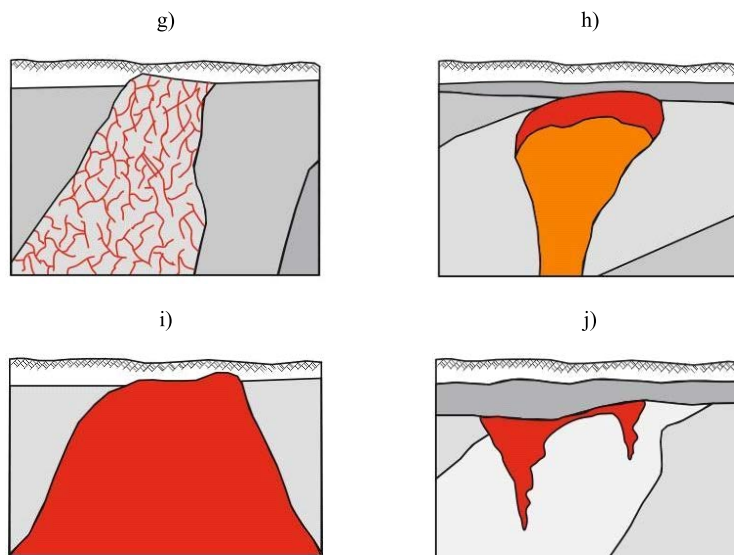


Rys. 1. Przykładowe formy złóż:

a) żyła złożona, b) soczewki, c) gniazda, d) dajka, e) łupina złożowa (smuga), f) złoża okrucowe

Fig. 1. Exemplary forms of deposit:

a) complex vein, b) lenses, c) nest, d) dyke, e) deposit shell (schlieren), f) placer deposit



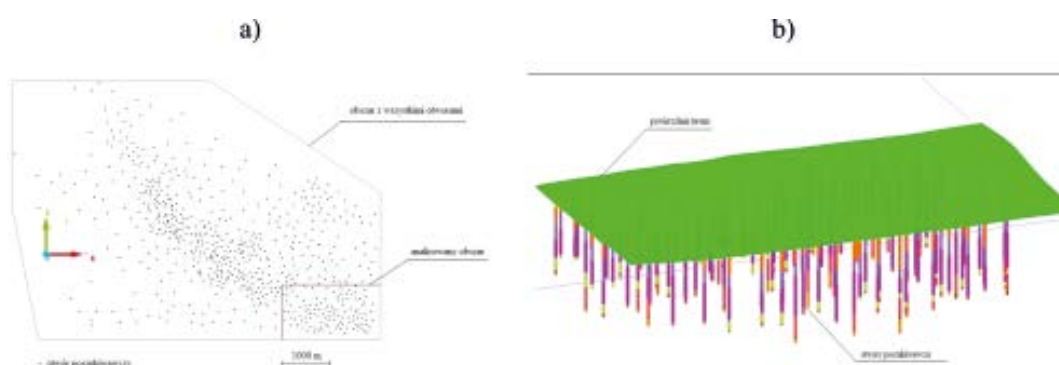
Rys. 1. cd. Przykładowe formy złóż:
g) sztokwerk, h) słup, i) masyw, j) kieszeń (źródło: opracowanie własne)

Fig. 1. cont. Exemplary forms of deposit:
g) stockwerk, h) dome, i) massif, j) pocket

2. Model i zasoby złoża rudnego

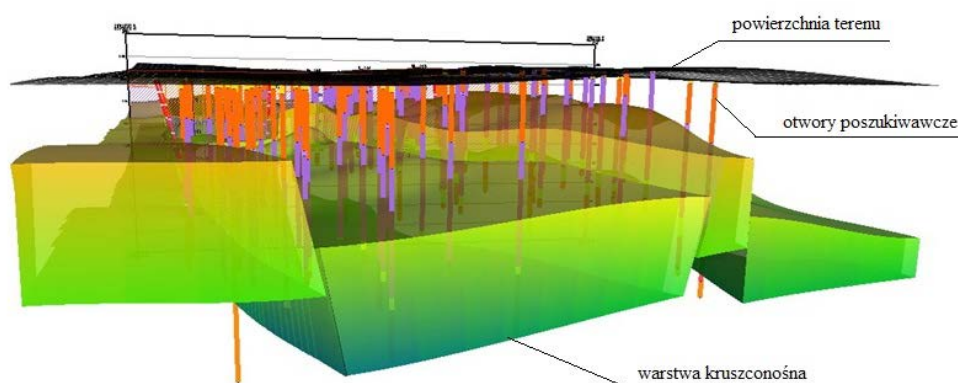
Model złoża został wykonany w programie ABB MineScape, który jest w pełni zintegrowany z systemem CAD 3D. Pakiet MineScape jest programem modułowym, który stwarza możliwości: operowania powierzchniami, modelowania stratygraficznego, interpolacji modeli blokowych, dostępu do danych i modeli, szacowania zasobów, projektowania wyrobisk udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjnych. Przede wszystkim program umożliwia tworzenie modeli testowych, harmonogramów analiz i raportów (Bielakowicz i in. 2016; Dyczko 2016). W pierwszym etapie tworzenia modelu złoża zostały zaimplementowane dane geodezyjne z kilkuset otworów poszukiwawczych o długości do 300 m. Następnie ze wszystkich otworów wybrano południowo-zachodni rejon z otworami, który stanowił około 10% całego obszaru złoża (rys. 2a) – rejon o wymiarach 1000 x 1800 m. Dla tego rejonu zaprezentowano lokalizację otworów poszukiwawczych (rys. 2b) oraz przykładowy widok przestrzenny warstwy kruszonośnej (rys. 3) i przekrój poprzeczny przez model stratygraficzny (rys. 4). W zbudowanym modelu blokowym zostały wygenerowane rejony zasobne w minerały rudne (rys. 5 i 6). Zasoby z modelu blokowego w całym obszarze modelu złoża dla minerału rudnego nr 1 z zawartościami procentowymi < 5%, 5–10% oraz > 10% oraz dla minerału rudnego nr 2 z zawartościami procentowymi < 0,5%, 0,5–1% oraz > 1% zostały zaprezentowane w tabeli nr 1. W obliczeniach przyjęto, że gęstość objętościowa rudy wynosi 3,7 Mg/m³ oraz założono dwa promienie występowania minerałów

rudnych; do 35 m oraz do 75 m (rys. 7a–7d) na podstawie metody wieloboków Bołdyriewa (Nieć 2012). Taką metodę stosuje w podziemnej kopalni Olkusz–Pomorzany należącej do ZGH Bolesław SA. Zarówno w tabeli 1, jak 2 założony promień występowania minerałów rudnych przyjęto zgodnie z założeniami odpowiadającymi ZGH Bolesław SA. Interpolacje okruszczenia wykonano z wykorzystaniem interpolatora uśredniającego wartości analiz z wyliczeniem ich wag w oparciu o odwrotność dystansu (metoda *inverse distance*). W drugim wariancie interpolacje okruszczenia wykonano z zastosowaniem metody wieloboków wpływów z użyciem ograniczenia promienia interpolacji do 35 m, a następnie do 75 m. Zasoby obliczono z modelu stworzonego w drugim wariancie.



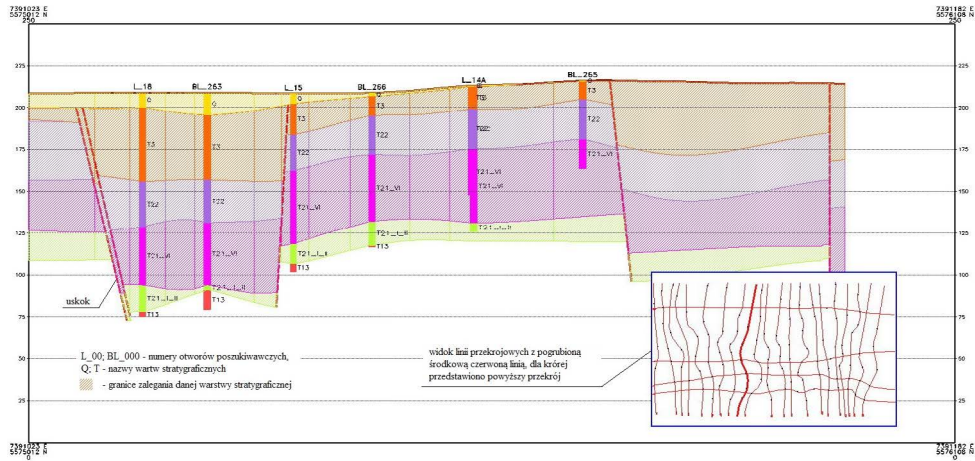
Rys. 2. Obszar złoża z rozmieszczeniem otworów poszukiwawczych
a) wszystkie otwory, b) analizowane otwory

Fig. 2. Area of the deposit with the arrangement of exploration boreholes
a) all boreholes, b) analyzed boreholes



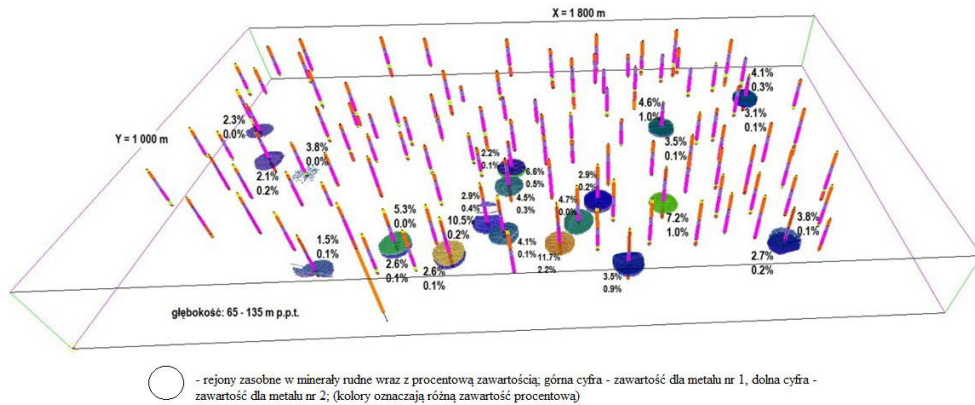
Rys. 3. Widok przestrzenny z wyszczególnieniem warstwy kruszonośnej

Fig. 3. 3D view with emphasis of ore bearing layer



Rys. 4. Przykładowy przekrój poprzeczny przez model stratygraficzny

Fig. 4. Exemplary cross section through the stratigraphic model

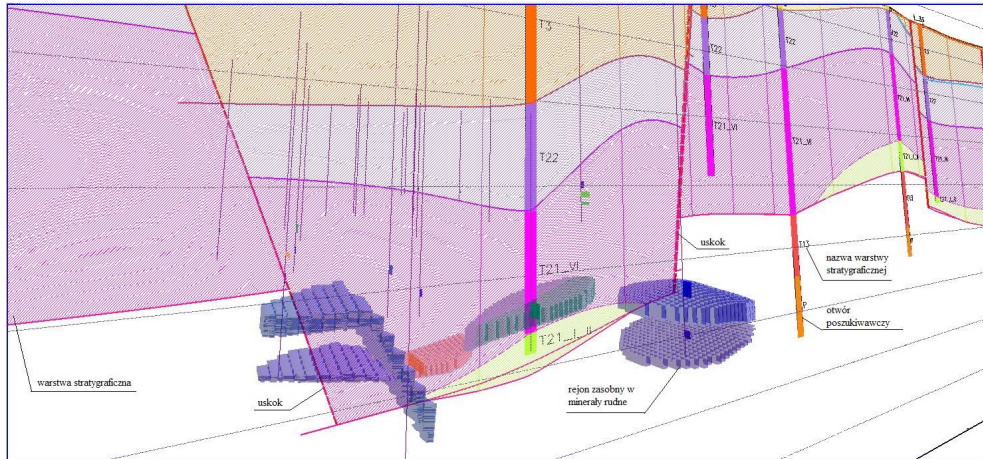


Rys. 5. Rejony występowania minerałów rudnych

Fig. 5. Ore bearing regions

3. Rozcięcie złoża w programie MineScape

Z całego analizowanego obszaru, w którym zamodelowano występowanie rudy w warstwach kruszczońskich, wybrano południowo-zachodnią parcelę; na rysunku 8 jest to fioletowa obwiednia. Parcela eksploatacyjna obejmuje sześć otworów (pozytywnych) ze stwierdzeniem minerałów użytecznych oraz dwa (negatywne). Parcela eksploatacyjna została podzielona na 12 mniejszych rejonów eksploatacyjnych o szerokości 35 m (rys. 9a).



Rys. 6. Przekrój stratygraficzny i zasoby (w blokach) według metody Böldyriewa

Fig. 6. Stratigraphic cross-section and reserves (blocks) according to Boldyriev method

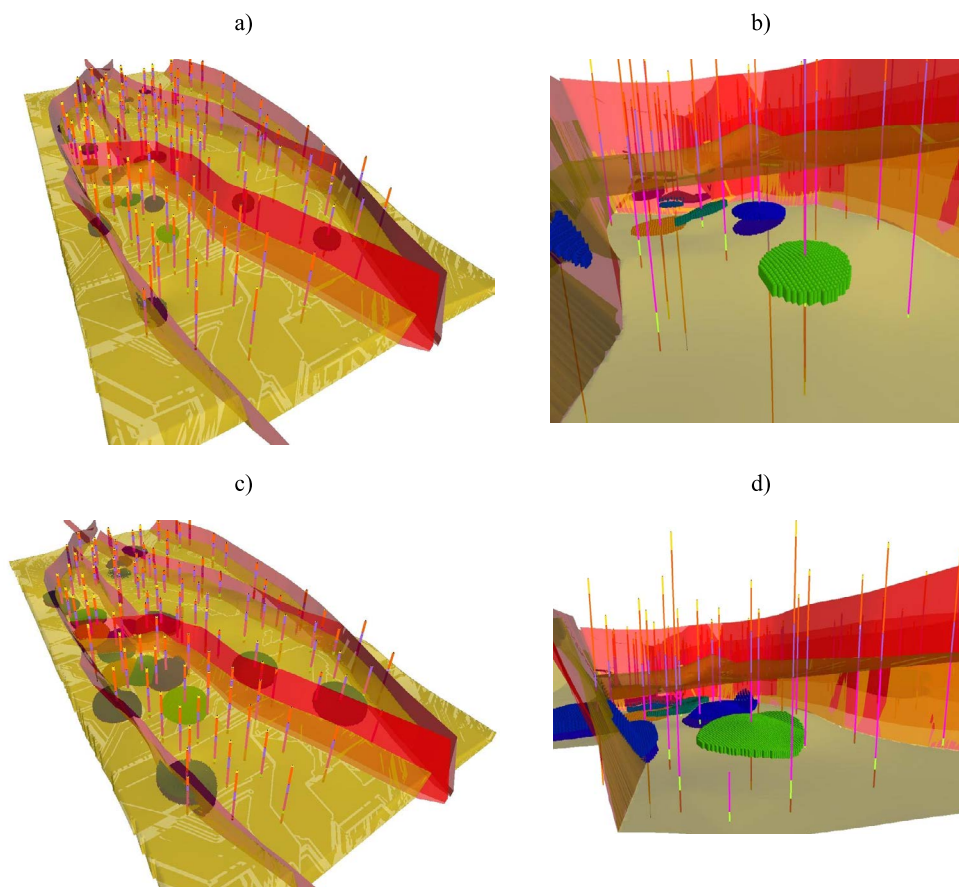
TABELA 1. Zasoby złoża rudnego dla całego obszaru badań

TABLE 1. Ore deposit resources for all areas

Zawartość procentowa metalu		Założony promień występowania minerałów rudnych	Objętość złoża	Zasoby złoża rudnego dla całego obszaru	Zawartość metalu nr 1	Zawartość metalu nr 2	Zasoby metalu nr 1 (zasoby złoża • ilość metalu nr 1)	Zasoby metalu nr 2 (zasoby złoża • ilość metalu nr 2)
metal nr 1	metal nr 2							
%		m	tys. m ³	tys. Mg	%	%	tys. Mg	tys. Mg
< 5	< 0,5	35	227	839	3,4	0,4	29	3
5–10	0,5–1		48	177	6,3	0,5	11	1
> 10	> 1		18	65	11,3	1,5	7	1
< 5	< 0,5	75	950	3 516	3,4	0,4	120	16
5–10	0,5–1		213	789	6,3	0,5	49	4
> 10	> 1		63	234	1,4	1,4	26	3

W tych rejonach zaprojektowano system komorowo-filarowy, w którym przyjęto, że szerokość, długość, wysokość zarówno komór, jak i filarów, wynosi 6 m (rys. 9b). Zasoby dla projektowanej parceli zostały przedstawione w tabeli 2.

Porównując zasoby obliczone w tabeli 1 z zasobami zawartymi w tabeli 2, można stwierdzić, że w projektowanej parceli dla założonego promienia występowania minerałów rudnych równego 35 m zostaną wyeksploatowane zasoby w ilości 229 tys. Mg, co stanowi 21% wszystkich zasobów (obliczono z proporcji analizowanego obszaru z projektowanym



Rys. 7. Rejony eksploatacji z zaznaczonymi rejonami rudnymi
 a) promień zasięgu mineralizacji 35 m, widok ogólny, b) promień zasięgu mineralizacji 35 m, widok szczegółowy, c) promień zasięgu mineralizacji 75 m, widok ogólny, d) promień zasięgu mineralizacji 75 m, widok szczegółowy

Fig. 7. Exploitation areas with marked ore regions
 a) range of mineralized zone 35 m, general view, b) range of mineralized zone 35 m, detailed view,
 c) range of mineralized zone 75 m, general view, d) range of mineralized zone 75 m, detailed view

rejonem). Natomiast dla założonego promienia występowania minerałów rudnych równego 75 m zostaną wyeksploatowane zasoby w ilości 846 tys. Mg, co stanowi 18,6% wszystkich zasobów (obliczono z proporcji analizowanego obszaru z projektowanym rejonem). Należy zwrócić uwagę na fakt, że złożo będzie wybierane systemem komorowo-filarowym o takich samych wymiarach geometrycznych komór i filarów. Takie wymiary zostały wybrane, ponieważ są powszechnie stosowane przy płytkiej podziemnej eksploatacji złóż rudnych.

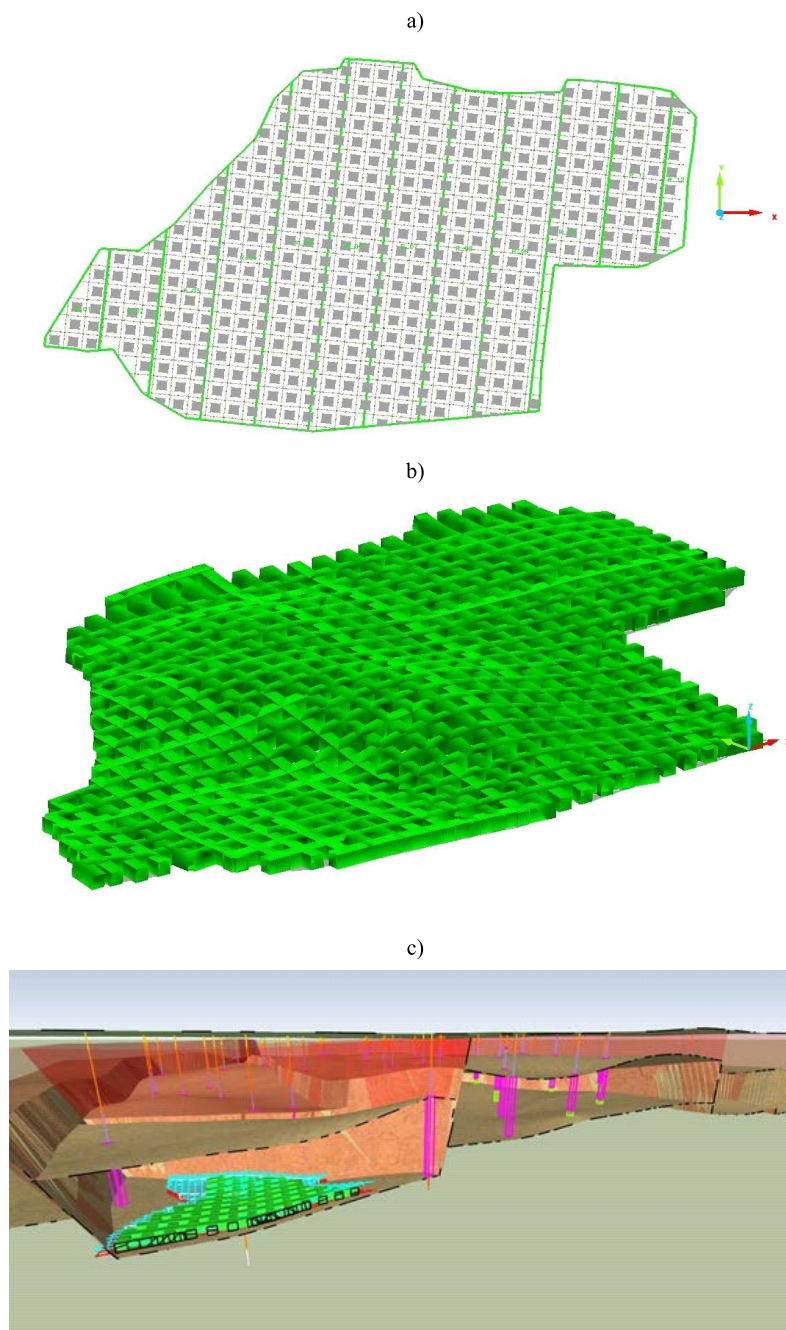


Rys. 8. Parcela eksploatacyjna (fioletowa obwiednia), widok 2D

Fig. 8. Exploitation parcel (purple envelope), 2D view

Podsumowanie

Obecnie większość rozwiązań komputerowego wspomaganie projektowania dla górnictwa oferuje podobne możliwości i funkcjonalność, które dla złóż rudnych wynikają z potrzeby uzyskania rudy o zadanej zawartości metalu przy minimalnych stratach. Przede wszystkim systemy oprogramowania dla górnictwa mają budowę modułową, dzięki czemu łatwo jest dostosować określony moduł do wymagań przedsiębiorstwa górniczego. Jest to ściśle związane ze zwiększeniem wydajności poszczególnych działów technologii górniczej, a także podniesieniem jakości procesów decyzyjnych dla planowanej eksploatacji odrębnej partii złoża. Warto zwrócić uwagę na fakt, że współczesne programy komputerowe stosowane przy tworzeniu modeli złóż przybliżają z pewną dokładnością parametry ilościowe i jakościowe złoża, a dokładność wykonywanych przybliżeń, interpolacji w dużej mierze zależy od stopnia rozpoznania złoża, związanego z kosztami poniesionymi z tytułu wykonanych prac poszukiwawczo-rozpoznawczych. W pracy zastosowano program ABB MineScapce, który znajduje szerokie zastosowanie w procesach planowania podziemnej eksploatacji górniczej. Moduły programu ABB MineScapce pozwoliły między innymi na wizualizację przestrzenną modelu złoża, obliczenie jego zasobów oraz przedstawienie sposobu rozcięcia złoża. Przestrzenny model złoża oraz planowanej rozcinki pozwolił na uzyskanie znacznie większej ilości danych



Rys. 9. Rejony eksploatacyjne; a) widok 2D, b) widok przestrzenny, c) rozmieszczenie komór eksploatacyjnych w pierwszej warstwie kruszonośnej

Fig. 9. Exploitation areas; a) 2D view, b) spatial view, c) arrangement of exploitations rooms in the first ore bearing layer

TABELA 2. Zasoby dla projektowanej parceli

TABLE 2. Resources for the designed parcel

Zawartość procentowa metalu		Założony promień występowania minerałów rudnych	Objętość złoże	Zasoby dla projektowanej parceli	Zawartość metalu nr 1	Zawartość metalu nr 2	Zasoby metalu nr 1 (zasoby złoże • ilość metalu nr 1)	Zasoby metalu nr 2 (zasoby złoże • ilość metalu nr 2)
metal nr 1	metal nr 2							
%		m	tys. m ³	tys. Mg	%	%	tys. Mg	tys. Mg
< 5	< 0,5	35	34	126	3,8	0,1	4,9	0,1
5–10	0,5–1		17	63	7,2	1,0	4,5	0,6
> 10	> 1		11	40	11,7	2,2	4,7	0,9
< 5	< 0,5	75	131	486	3,7	0,2	18,1	1,0
5–10	0,5–1		63	234	7,2	1,0	16,8	2,3
> 10	> 1		34	126	11,7	2,2	14,8	2,8

niż ma to miejsce w przypadku płaskich map górniczych oraz ułatwi interpretację formy i budowy złoże. Dokładność projektu rozczinki złoże w module *underground* programu ABB MineScape i jego zgodność z rzeczywistością zależy głównie od stopnia rozpoznania złoże i przeniesienia tych informacji na model blokowy. Autorzy artykułu wskazują możliwość zastosowania tego typu programu do analizy rozczęcia złoże rudnego. Ponadto biorąc pod uwagę fakt, że informatyzacja procesów staje się coraz powszechniejszym zjawiskiem w przemyśle górniczym, to aby wzmocnić pozycję przedsiębiorstwa na rynku krajowym i międzynarodowym, niezbędne jest rozwijanie i implementowanie tego typu technologii. Warto wspomnieć, że cechą wspólną wielu nowoczesnych narzędzi informatycznych stosowanych obecnie przez największe przedsiębiorstwa górnicze na świecie jest optymalizacja procesów eksploatacji ze szczegółowym określeniem, którą część złoże najlepiej eksploatować w danym okresie czasu przy minimalnych stratach złoże oraz określenie czasu wyeksploatowania.

Praca została wykonana w ramach pracy statutowej o numerze: 11.11.100.005.

Literatura

- Barber, J. i Kalondji, G. 2006. Modelowanie uskoków z wykorzystaniem systemu informatycznego Minex. *Nowe górnictwo* nr 1, s. 8–9.
- Bielakowicz i in. 2016 – Bielakowicz, M., Grzesiński, J. i Rugała, E. 2016. Analiza przydatności programu Studio 5D Planner do planowania i harmonogramowania produkcji w kopalniach rud miedzi. *Materiały konferencyjne XXVI Szkoły Eksploatacji Podziemnej*, Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Bieńkowski, M. 2015. Oprogramowanie dla górnictwa. Power&bulk. *Materiały Sypkie i Masowe* nr 5, s. 20–22.
- Dyczko i in. 2016 – Dyczko, A., Kołomański, D. i Kowalczyk, I. 2016. Modelowanie blokowe skał stropowych pokładów węgla LW Bogdanka SA. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk* nr 92, s. 427–438.

- Frankowski, R. i Gądek, A. 2009. Aktualizacja modelu stratygraficznego złoża węgla brunatnego Belchatów – pole Belchatów przy użyciu oprogramowania Mincom. *Górnictwo i Geoinżynieria – kwartalnik AGH*, R. 33, z. 2, s. 107–126.
- Kopeć i in. 2015 – Kopeć, A., Bała, J. i Pięta A. 2015. WebGL based visualisation and analysis of stratigraphic data for the purpose of the mining industry. *Procedia Computer Science* nr 51, s. 2869–2877.
- Kowalczyk i in. 2016 – Kowalczyk, I., Galica, D., Dyczko, A., Kołomański, D. i Mól, D. 2016. Model geologiczny złoża kopaliny – sposób konstrukcji, rola i znaczenie w procesie planowania i harmonogramowania eksploatacji. *Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk* nr 92, s. 413–426.
- Melnik i in. 2012 – Melnik, V., Gądek, A. i Boutnew, K. 2012. Wdrożenie systemu MineScape w „Kombinacie Górniczo-Hutniczym Kolskaya GMK”. *II Międzynarodowy Kongres Górnictwa Rud Miedzi*, Lubin, s. 1–12.
- Nieć, M. 2012. *Metodyka dokumentowania złóż kopalni stałych*. Część IV – Szacowanie zasobów, Kraków: Wyd. IGSMiE PAN.
- Pactwa, K. 2009. Wybrane programy komputerowe wykorzystywane w górnictwie – przegląd zastosowań. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* nr 128, s. 169–178.
- Takuski, S. 1980. *Technika podziemnej eksploatacji złóż rud*. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, *Skrypty Uczelniane* nr 769, Kraków.