

*Artur Dyczko<sup>\*</sup>, Michał Kopacz<sup>\*</sup>, Agnieszka Stopkowicz<sup>\*</sup>*

## WPŁYW WYSTĘPOWANIA STREF KAMIENNYCH NA EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNĄ EKSPLOATACJI ZŁOŻA W WARUNKACH POLSKICH KOPALŃ RUD MIEDZI

---

### 1. Wstęp

Jednym z podstawowych czynników decydującym w dużym stopniu o efektywności pozyskania i wykorzystania kopaliny jest zubożenie zaliczane do strat jakościowych. Wydobywana przez przedsiębiorcę kopalina użyteczna ma zazwyczaj gorsze własności od tych, jakie stwierdzono w trakcie opróbowania złoża. Zjawisko to jest wyraźnie widoczne w złożach rud metali, a określane jest mianem zubożenia. Powszechnie wyróżnia się trzy kategorie zubożenia kopaliny [3]:

- zubożenie wynikające z przemieszania kopaliny pozabilansowej z kopaliną bilansową,
- zubożenie wynikające z przemieszania skał płonnych z kopaliną bilansową,
- zubożenie wynikające z utraty bogatych w składnik użyteczny, drobnych, niewielkich ilościowo frakcji urobku.

Tak rozumiane zubożenie rozpatrywane tylko na poziomie kopalni rud miedzi uznać można za tradycyjne ujęcie i jako takie zostało dokładnie rozpoznane oraz opisane [1, 2, 4, 7, 8, 14, 15, 16, 17]. Pojawia się pytanie, jak przetworzyć informacje na temat rodzaju i wielkości zubożenia w poszczególnych etapach procesu wydobywczego na wiedzę przydatną do oceny prowadzonej działalności zarówno na etapie analiz technicznych jak i ekonomicznych całego procesu technologicznego. Niniejszy artykuł stanowi próbę wskazania sposobu analizy prowadzonej eksploatacji górniczej tak pod kątem uzyskanych efektów ekonomicznych jak i występujących w trakcie robót górniczych ograniczeń natury geotechnicznej.

---

<sup>\*</sup> IGSMiE PAN, Kraków

Jest faktem, że dokładna wiedza o rzeczywistej zawartości metali użytecznych w urobku jest bardzo istotnym aspektem procesu produkcyjnego. Wiedza ta stanowi podstawę oceny wydajności procesów górniczych, a w połączeniu z informacjami o kosztach pozwala szacować efektywność prowadzonej działalności wydobywczej [4].

Straty jakościowe eksploatowanego złoża, urasta do rangi kluczowych parametrów opisujących strugę urobku transportowanego w ciągu technologicznym z kopalń do zakładów wzbogacania i dalej do hut.

Z bieżącej praktyki eksploatacyjnej kopalń rud miedzi wynika, że coraz częstszym przypadkiem jest sytuacja, w której robotami górniczymi obejmuje się również tzw. strefy bezzłożowe (o zanikającym okruszcowaniu bilansowym). Wybieranie tych stref jest nieracjonalne ze względów ekonomicznych, niemniej jednak ich pozostawienie, z geomechanicznego punktu widzenia, budzi poważne wątpliwości. W takiej sytuacji jedynym rozsądnym rozwiązaniem pozostaje ustalenie wpływu partii złoża o niskim stopniu okruszcowania na wyrobiska sąsiadujące oraz prowadzone roboty eksploatacyjne [2].

W niniejszym artykule, jak już po części wspomniano, podjęto także próbę analizy wpływu występowania stref kamiennych na wybór koncepcji eksploatacji złoża. Przeanalizowano konsekwencje pozostawienia niewybranych płonnych partii złoża pod kątem potencjalnego zagrożenia eksploatacji koncentracją dużych naprężeń.

Występowanie zanikającego okruszcowania sprawia nie tylko problemy natury technicznej, ale odbija się także na efektywności ekonomicznej prowadzonych robót górniczych. Koncepcja eksploatacji takiego pola musi zatem spełniać dwa wymagania:

- pierwszy wymóg dotyczy wybierania złoża w sposób bezpieczny przy wykorzystaniu systemu eksploatacji, dla którego będą zgromadzone doświadczenia w zakresie zachowania się tak filarów technologicznych jak i resztkowych oraz skał złożowych i otaczających. System powinien być również przewidywalny w zakresie Oceny zagrożenia tapaniami, co jak pokazują dotychczasowe doświadczenia jest bardzo istotne w odniesieniu do prowadzonej eksploatacji.
- drugi wymóg dotyczy spełnienia kryteriów efektywności ekonomicznej prowadzonej eksploatacji rozumianej najczęściej jako uzyskiwanie dodatniego wyniku finansowego w procesie eksploatacji [1, 13, 14, 15, 16].

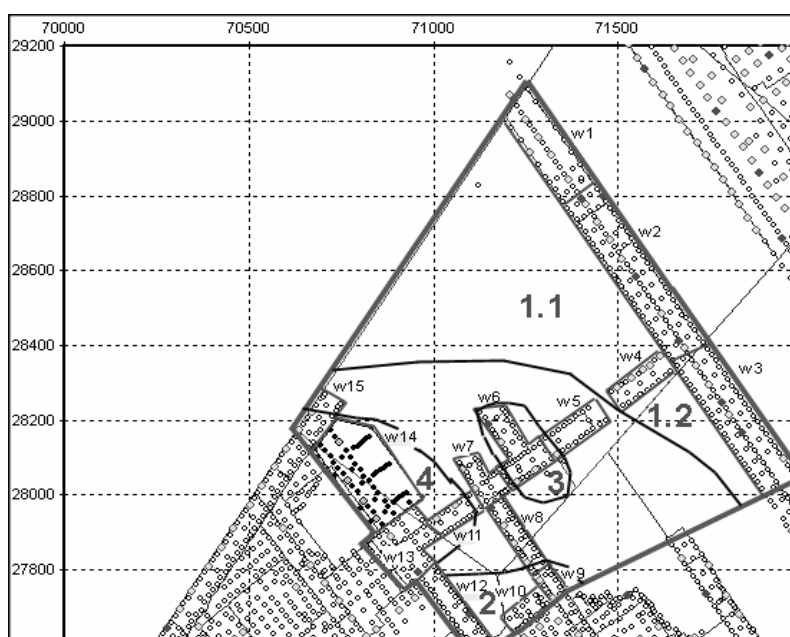
Powyższe zagadnienia omówiono szerzej na przykładzie rzeczywistego pola X występującego w kopalni miedzi Y.

## **2. Warunki geologiczno-górnicze w polu X kopalni Y**

Obszar złoża rud miedzi kopalni Y znajduje się w obrębie większej jednostki strukturalnej zwanej Monokliną Przedsudecką, którą tworzą utwory permu i triasu podścielone prekambryjskimi utworami krystalicznymi [10]. Pokrywę monokliny tworzą utwory

trzeciorzędowe i czwartorzędowe. Poszczególne kompleksy zalegają na sobie dyskordantnie i przedzielone są długimi lukami stratygraficznymi.

Znajdujące się w polu X złoża wykształcone zostało w formie pseudopokładu, który tworzą jasnoszare piaskowce czerwonego spągowca oraz dolnocechsztyńskie łupki i dolomity. Otoczenie rejonu X schematycznie przedstawia rysunek 1. Kolorem zielonym oznaczony został fragment analizowanego rejonu X, dla którego wydzielono strefę kamienną (4) oraz cztery obszary (1.1, 1.2, 2, 3) złoża bilansowego przewidzianego do eksploatacji.



Rys. 1. Rejon X w kopalni rud miedzi Y

## 2.1. Charakterystyka złoża w rejonie przewidywanej eksploatacji

Złoże bilansowe w rejonie X leżące na głębokości 1000 m wykształcone jest w postaci nieregularnego pokładu, który tworzą trzy odmienne typy litologiczne skał: dolomity dolnego cechsztynu – dolomit wapnisty, dolomit smugowany i dolomit ilasty; łupki miedzionośne i białe piaskowce czerwonego spągowca.

— Miąższość złoża:

Miąższość złoża waha się od 1,4 m w części południowo-wschodniej do 4,0 m w części północno-zachodniej pola X. Średnia miąższość wynosi 3,0 m.

- Strop:  
W stropie (klasa II) wyrobisk występują dolomity wapniste o miąższości od 0,05 m do 0,4 m. Powierzchnie podzielności pokryte są często substancją ilastą.
- Spąg:  
Spąg (klasa II), wyrobisk stanowią piaskowce kwarcowe czerwonego spągowca. Są to słabo zwięzłe piaskowce o spoiwie ilastym, barwy jasnoszarej. Poniżej szarych piaskowców, których miąższość wynosi od 3,0 m do 20,0 m, występują średnioziarniste piaskowce kwarcowe o barwie czerwonej. Całkowita miąższość piaskowców czerwonego spągowca wynosi około 300 m.
- Tektonika:  
Złoże w Rejonie X zaliczyć można do mało aktywnych tektonicznie.
- Warunki hydrogeologiczne:  
Pole X leży w granicach OG "Y", w części złoża o zdrenowanych zasobach sprężystych i statycznych. Dopływy wody z górotworu mogą wystąpić lokalnie, ze stropu w postaci zawilgoceń i wykropleń oraz ze spągu w postaci wysączeń z piaskowca.
- Zagrożenia:  
Rejon X kopalni Y zaliczony został do III stopnia zagrożenia tąpnięciami.

## 2.2. Dobór geometrii i parametrów systemu eksploatacji

Dobór systemu eksploatacji dla rejonu planowanej eksploatacji jest zdeterminowany własnościami górotworu takimi jak: miąższość wybieranego złoża, parametry wytrzymałościowe skał oraz czynnikami górnictwem, do których należy geometria obszaru przewidzianego do eksploatacji i jego otoczenia [9].

W drodze analizy warunków górnictwo-geologicznych pola X zaproponowano prowadzenie eksploatacji za pomocą systemu komorowo-filarowego z ugięciem stropu dla warunków upodatnienia i likwidacji filarów oporowych R-UO/FO w zakresie, którego stosowania istnieją doświadczenia eksploatacyjne. Najogólniej przez eksploatację z ugięciem stropu rozumiany jest sposób wybierania złoża systemami komorowo-filarowymi z likwidacją przestrzeni wybranej przez ugięcie warstw stropowych na resztkach pozostawianych filarów technologicznych, pracujących w fazie pozniszczeniowej [12, 18]. Przestrzeń pomiędzy filarami resztkowymi samoczynnie wypełnia się gruzowiskiem postępującego zawału skał stropowych. W analizowanym przypadku sugerowane jest, z uwagi na występowanie w polu znacznych stref nieokruszczonych, prowadzenie systemu komorowo-filarowego dwufazowego z ugięciem stropu z wykonaniem rozczinki upodatniającej po wzniosie i robotami likwidacyjnymi prowadzonymi w kierunku odwrotnym.

Geometria filarów eksploatacyjnych dla pola X zakłada w pierwszej fazie eksploatacji rozcięcie złoża komorami i pasami na filary o wymiarach 22 x 8 metrów o wybie-

gu 300 m. W kolejnym etapie nastąpi rozcięcie filarów do wielkości filarów pracujących na charakterystyce pozniszczeniowej. Likwidacja pustki poeksploatacyjnej (zrobów) odbywać się będzie tu poprzez samoczynne ugięcie stropu na pozostawionych filarach reszkowych. Wybrany odcinek niezwłocznie wygradzony zostanie dla ruchu ludzi i maszyn poprzez postawienie stojaków drewnianych indywidualnych, wiązki stojaków lub stosów podporowych.

### 3. Analiza stanu naprężenia w otoczeniu pozostawionych stref kamiennych dla warunków pola X kopalni Y

Pozostawianie resztek calizny wywiera wpływ na stan naprężeń w otoczeniu wyrobisk eksploatacyjnych, a także po zakończeniu eksploatacji na stan naprężenia w zrobach. Dla określenia wpływu pozostawienia strefy skał płonnych przeprowadzono obliczenia numeryczne przy pomocy programu opartego o Metodę Różnic Skończonych FLAC [6]. Obliczenia wykonano w płaskim stanie naprężenia i odkształcenia z zastosowaniem modelu sprężystego-plastycznego Coulomba-Mohra. Obliczenia przeprowadzono dla uśrednionych parametrów wytrzymałościowo-odkształceniowych (tabela 3.1).

TABELA 3.1

**Parametry wytrzymałościowo-odkształceniowe uwzględnione w obliczeniach**

	Rc [MPa]	Rr [MPa]	Es [GPa]	$\nu$
Strop	118.275	7.3	54.0875	0.241
Furta	84.975	5.3375	31.675	0.1955
Spąg	29.1875	1.645	12.1625	0.129125

Model obliczeniowy stanowiła płaska tarcza o wymiarach 1750 x 403, na której brzegach zadano warunki przemieszczeniowe. Model obliczeniowy składał się z 200 m warstwy spągowej, 3.2 m warstwy złoża (furta), 60 m warstwy stropowej, powyżej której zalega 90 m warstwa anhydrytu. Do modelu przyłożono obciążenie wynikające z leżących powyżej warstwy anhydrytu (50 m) oraz 800 m warstwy piaskowca.

W obliczeniach symulowano prowadzenie eksploatacji w kilku etapach, w pierwszym następowało rozcięcie calizny na filary o wielkości 22 x 8 następnie w kolejnym etapie następowało rozcięcie filarów do wielkości filarów pracujących na charakterystyce pozniszczeniowej. Rozcinkę prowadzono dwoma pasami. Upodatnienie filarów prowadzono poprzez zmianę parametrów wytrzymałościowych zaproponowanych przez Fliśsiaka et al. [5]. Analizowano stan naprężenia w otoczeniu wyrobisk eksploatacyjnych zakładając pozostawienie strefy skalnej o wielkościach 15, 20, 30, 40 i 60 m.

Wyniki obliczeń zestawiono w tabeli 1 przedstawiając wartości dla naprężeń głównych. Naprężenia normalne (główne) definiuje się zakładając, że w każdym punkcie można tak zorientować elementarny prostopadłościan, że w trzech wzajemnie prostopadłych przekrojach nie występują naprężenia styczne, a jedynie naprężenia normalne. Nazywamy je naprężeniami głównymi i oznaczamy  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ . Przy czym  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  gdzie:

$\sigma_1$  i  $\sigma_3$  – ekstremalne wartości naprężeń normalnych w danym punkcie, tzn. jeżeli  $x$  nie jest kierunkiem głównym, to  $\sigma_3 \leq \sigma_x \leq \sigma_1$

Wyniki uzyskane na podstawie przeprowadzonej symulacji numerycznej przedstawiono w tabeli 3.2.

TABELA 3.2

**Wyniki analizy naprężeń dla poszczególnych wielkości stref skalnych w otoczeniu prowadzonej eksploatacji**

Strefa skalna o zasięgu	Naprężenia główne (wartości w nawiasach dotyczą maksymalnych wartości naprężeń nad krawędziami pozostawionej strefy skalnej)	
	$\sigma_1$	$\sigma_2$
15 m	30-40 MPa (90 MPa)	15-20 MPa (25MPa)
20 m	30-40 MPa (70-80 MPa)	15-20 MPa (25 MPa)
30 m	30-40 MPa (70-80 MPa)	15-20 MPa (25 MPa)
40 m	30-40 MPa (50-60 MPa)	10-15 MPa (20 MPa)
60 m	30-40 MPa (znacznie mniejszy zasięg, tylko na konturze strefy skalnej 50-60 MPa)	10-15 MPa (o znacznie mniejszym zasięgu, tylko na konturze pozostawionej strefy skalnej występuje podwyższone naprężenie o wartości około 20MPa)

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń stwierdzono, że:

- strefy podwyższonych naprężeń występują w otoczeniu pozostawionej strefy skał płonnych,
- największe naprężenia występują na krawędziach pozostawionej strefy skał płonnych,
- pozostawiona w otoczeniu wyrobisk eksploatacyjnych strefa skalna o małej wielkości powoduje powstawanie stref podwyższonych naprężeń,
- zmniejszenie zasięgu i wartości naprężeń stwierdzono przy pozostawieniu w/w strefy o wielkości 40 m,
- dla strefy o wielkości 60 m strefy podwyższonych naprężeń w otoczeniu krawędzi nie nakładają się, w tym przypadku również zaobserwowano zmniejszenie zasięgu stref podwyższonych naprężeń.

Niniejsze obliczenia należy traktować jako rozważania pogładowe. Przy ich wykonywaniu bazowano jedynie na wartościach średnich parametrów wytrzymałościowych i odkształceniowych. Przedstawione rezultaty obliczeń modelowych pozwalają założyć możliwość prowadzenia eksploatacji górniczej w rejonie X. Nie odstają one istotnie od tych warunków, które występujących w sąsiedztwie analizowanego obszaru.

#### **4. Ekonomiczna efektywność eksploatacji w polu X kopalni Y**

Dla pełniejszego zobrazowania wpływu występowania stref skalnych zlokalizowanych w „przemysłowych” partiach złoża przeprowadzono uproszczony rachunek efektywności ekonomicznej eksploatacji w polu X kopalni Y.

##### **4.1. Założenia do modelu**

Do analizy ekonomicznej wzięto pod uwagę 4 z 5 wskazanych na mapie (rys. 1) części geologicznych pola X – obszar nr 1.1; 1.2; 2 i 3. Blok nr 4, ze względu na duży udział powierzchni zrobowych, niską średnią zawartość miedzi ekwiwalentnej (1,64%) i stosunkowo dużą odległość od największych bloków 1.1 i 1.2, przez uproszczenie, został wyłączony z kalkulacji. Dla wyróżnionych obszarów podstawowe charakterystyki geologiczne prezentuje tabela 4.1.

Na podstawie tabeli 4.1 wyłoniono następujące parametry wejściowe do dalszych obliczeń: średnią zawartość miedzi ekwiwalentnej, średnią wydajność rudy, powierzchnię poszczególnych obszarów, wyliczone i skorygowane wg przyjętej furty zasoby rudy miedzi oraz miąższość złoża dla wydzielonych części rejonu (pola) X.

Powierzchnia poszczególnych obszarów została oszacowana na podstawie wykonanych pomiarów oraz poprzez wykorzystanie oprogramowania specjalistycznego. Zasoby rudy wyliczono jako iloczyn wytyczonej powierzchni oraz średniej wydajności z m<sup>2</sup> powierzchni.

Zasoby miedzi ekwiwalentnej zostały wytyczone jako iloczyn zawartości procentowej miedzi ekwiwalentnej oraz wyliczonych uprzednio zasobów rudy.

W tabeli 4.1 zamieszczono również oszacowanie zasobów rudy i miedzi ekwiwalentnej po uwzględnieniu przyjętej furty eksploatacyjnej. Przez uproszczenie przyjęto proporcjonalne rozłożenie zasobów w furcie w stosunku do wyznaczonej miąższości poszczególnych części pola X.

Ilości miedzi i srebra wyznaczono na podstawie informacji o mineralizacji złoża.

Wartość zubożenia, dla scenariusza podstawowego (bazowego), oszacowano na poziomie 10%. W ocenie autorów jest ona adekwatna ze względu na stosowany system eksploatacji z dużą furką, pojawiające się domieszki przybierek oraz obecność skały płonnej (kamienia) pochodzącej od części kamiennej (wnętrza wieloboku).

Wartości uzysków w procesach flotacji i rafinacji miedzi przyjęto na podstawie średnich wartości historycznych typowych dla zakładów wzbogacania rud oraz hut.

TABELA 4.1

**Podstawowe charakterystyki parametrów obszarów geologicznych pola XV/2**

Parametry złoża bilansowego	Obszar 1.1	Obszar 1.2	Obszar 2	Obszar 3	Średnia/Suma
Średnia wydajność miedzi ekwiwalentnej [kg/m <sup>2</sup> ]	308,206	261,001	122,03	119,745	212,168
Średnia wydajność rudy [Mg/m <sup>2</sup> ]	7,54	8,23	7,19	8,92	7,83
Zawartość miedzi ekwiwalentnej [%]	3,44	3,17	1,7	1,34	2,71%
Powierzchnia pola [m <sup>2</sup> ]	182 954	26 465	44 429	64 015	317 863
Miąższość złoża [m]	3,77	3,47	3,01	3,8	3,5125
Zasoby rudy [Mg]	1 379 473	217 807	319 445	571 014	2 487 738
Zasoby rudy skorygowane do furty [Mg]	1 244 087	213 413	360 834	510 907	2 329 242
Zasoby miedzi ekwiwalentnej [Mg]	47453,88	6904,48	5430,56	7651,58	67 440
Zasoby miedzi ekwiwalentnej skorygowane do furty [Mg]	42796,60	6765,20	6134,18	6846,15	62 542
Zasoby miedzi [Mg]	42641,22	6740,63	6111,91	6821,30	62 315
Zasoby srebra [Mg]	155,38	24,56	22,27	24,86	227

#### 4.2. Konstrukcja modelu

W rozważaniach przyjęto, iż miarą wyniku ekonomicznego w modelu będzie zdyskontowany i zsumowany zysk netto wyliczany jako różnica w przychodach uzyskiwanych ze sprzedaży miedzi i srebra oraz kosztach operacyjnych wraz z podatkiem. Nie jest to zatem klasyczne ujęcie rachunku przepływów pieniężnych ponieważ z rozważań wyłączone między innymi zagadnienie nakładów inwestycyjnych, amortyzacji, kapitału obrotowego i jego zmian, oraz kosztów finansowych. Przyjęte uproszczenia wynikają z dostępności danych.

Punktem wyjścia stało się określenie wielkości zasobów możliwych do wydobywania na skutek przyjętej furty eksploatacyjnej. Zawartość procentowa miedzi ekwiwalentnej została skorygowana o łączną wielkość strat na etapie prac górniczych i przerobczych (flotacji i metalurgii).



W modelu, eksploatacja zasobów została rozłożona na lata. Zdolność produkcyjną oddziału górniczego w polu X przyjęto na poziomie 732 500 Mg rocznie, co prezentuje tabela 4.2.

Poziom ceny rynkowej miedzi elektrolitycznej ustalono na 2800 USD/Mg, natomiast cenę srebra - odpowiednio na 6 USD/uncję. Kurs dolara amerykańskiego oszacowano na 3,05 zł. Przyjęte poziomy ceny miedzi, srebra i kurs dolara przeskalowano w relacji do przyjętych kosztów operacyjnych z uwagi na ochronę informacji poufnych.

Stopa dyskontowa ustalona została na poziomie 12,07% nominalnie, po uwzględnieniu inflacji (tab. 4.3).

TABELA 4.2

**Podstawowe parametry geologiczno-technologiczne przyjęte w modelu**

Powierzchnia pola XV/2 [m <sup>2</sup> ]	317 863
Przyjęta furta eksploatacyjna [m]	3,4
Udział srebra w stosunku do ilości miedzi [%]	0,3631
Współczynnik zubożenia [%]	10
Uzysk z flotacji [%]	90
Uzysk z rafinacji [%]	95
Liczba dni roboczych	293
Zdolność przerobcza oddziału [Mg/rok]	732 500

TABELA 4.3

**Podstawowe parametry rynkowe przyjęte w kalkulacjach**

Cena miedzi elektrolitycznej [USD/Mg]	<b>2800</b>
Cena srebra [USD/g]	0,2116
Kurs dolara amerykańskiego [zł]	3,05
Inflacja [%]	1,88
Stopa dyskonta [%]	12,07

Strukturę i elementy składowe jednostkowych kosztów operacyjnych prezentuje tabela 4.4. W tabeli tej, z uwagi na ochronę informacji dokonano przeskalowania poszczególnych pozycji kosztów operacyjnych w stosunku do wartości rzeczywistych. Stąd:

- jednostkowe koszty procesu pozyskiwania urobku na etapie robót górniczych przyjęto w funkcji furty eksploatacyjnej na poziomie około 40 zł/Mg,
- ostatecznie koszty operacyjne (jednostkowe) pozyskania, przerobu i rafinacji wraz z kosztami ogólnozakładowymi 1 Mg rudy zostały oszacowane na poziomie 140,51 zł/Mg urobku (waga sucha).

Przychód określono jako iloczyn ilości możliwych do uzyskania produktów finalnych (miedzi elektrolitycznej i srebra metalicznego) oraz jednostkowej ceny sprzedaży. Koszt, z kolei, jako iloczyn ilości wydobywanego urobku i kosztów jednostkowych operacyjnych. Wartość wyliczanego podatku wynikała z iloczynu oszacowanego dochodu (większego od „0”) i stawki podatku CIT (19%).

TABELA 4.4

**Charakterystyka kosztów operacyjnych, w ujęciu jednostkowym**

jednostkowy techniczny koszt wytworzenia dla robót eksploatacyjnych [zł/Mg]	73,81
jednostkowe koszty ogólnozakładowe [zł/Mg]	5,25
jednostkowe koszty przerobu flotacyjnego [zł/Mg]	18,35
Jednostkowe koszty przerobu hutniczego Cu [zł/Mg]	36,28
jednostkowe koszty przerobu hutniczego Ag [zł/Mg]	2,05
jednostkowe koszty operacyjne dla robót eksploatacyjnych [zł/Mg]	135,74
jednostkowa opłata eksploatacyjna [zł/Mg]	2,62
jednostkowe koszty składowania odpadów [zł/Mg]	2,15
<b>Całkowite jednostkowe koszty operacyjne [zł/Mg]</b>	<b>140,51</b>

W modelu uwzględniono ograniczenia zdolności produkcyjnych hipotetycznego oddziału górniczego oraz wpływ czasu na wyniki ekonomiczne przedsięwzięcia. W tym celu przyjęto następującą kolejność eksploatacji poszczególnych partii złoża: obszar 1.1; obszar 1,2; obszar 3 i jako ostatni – obszar 2 (rys. 1). Szczegółowe wyliczenia pomocnicze prezentuje tabela 4.5.

TABELA 4.5

**Oszacowania zysku netto (działalność operacyjna) dla pola eksploatacyjnego X**

Rok	1	2	3	4	Łącznie
Wielkość wydobycia [Mg]	732 500	732 500	732 500	131 742	2 329 242
Zawartość procentowa Cu ekw. (*) w nadawie [%]	3,10	3,01	1,31	1,53	2,42
Zawartość procentowa Cu ekw. (*) po flotacji [%]	2,79	2,71	1,18	1,38	2,18
Zawartość procentowa Cu ekw. (*) po rafinacji [%]	2,65	2,57	1,12	1,31	2,07
Przychody ze sprzedaży miedzi [USD]	54 115 535	52 539 814	22 851 096	4 809 814	134 316 259
Przychody ze sprzedaży srebra [USD]	14 904 947	14 470 949	6 293 837	1 324 759	36 994 492
Przychody ze sprzedaży miedzi [zł]	165 052 382	160 246 434	69 695 843	14 669 933	409 664 591

TABELA 4.5

Cd.

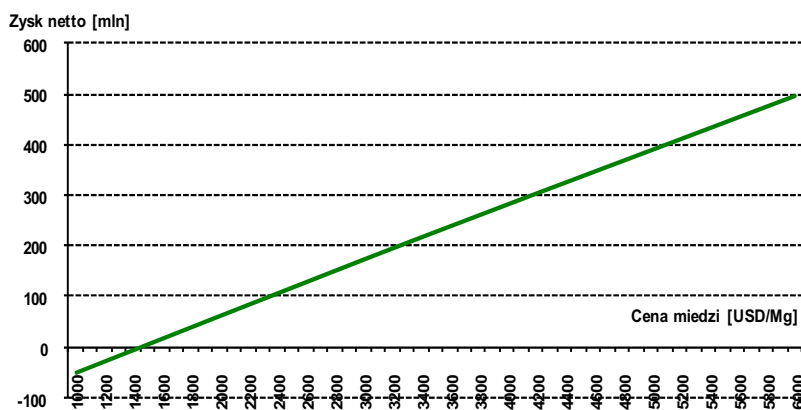
Rok	1	2	3	4	Łącznie
Przychody ze sprzedaży srebra [zł]	45 460 089	44 136 395	19 196 204	4 040 514	112 833 202
Koszty operacyjne [zł]	102 919 913	102 919 913	102 919 913	18 510 377	327 270 114
Zysk brutto (operacyjny) [zł]	107 592 558	101 462 917	-14 027 866	200 070	195 227 679
Zysk netto (operacyjny) [zł]	87 149 972	82 184 962	-14 027 866	162 057	155 469 126
Zysk netto zdyskontowany [zł]	87 149 972	73 333 597	-11 168 963	115 133	149 429 739
Zysk netto zdyskontowany (suma) [zł]	149 429 739				

(\*) – oznacza, iż wielkość została podana jako średnia ważona zawartość procentowa.

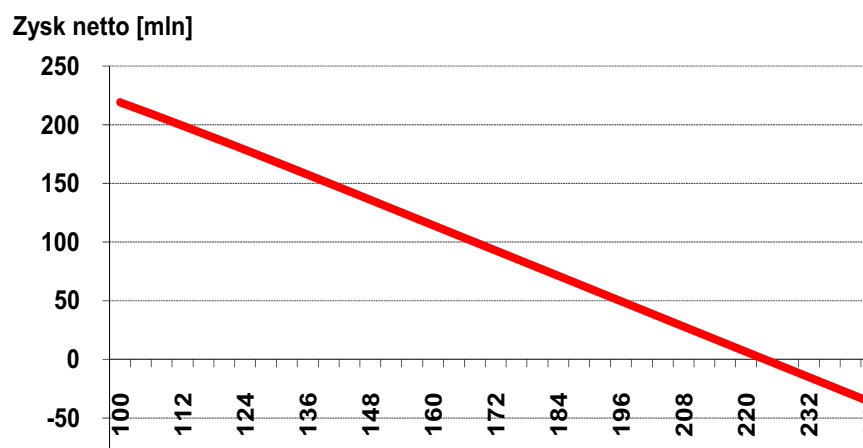
Wartość zdyskontowanego i skumulowanego zysku netto obliczono ostatecznie na poziomie 149,4 mln zł. Wynik ten uzasadnia ekonomiczną efektywność eksploatacji niniejszego pola, mając na uwadze przyjęte założenia upraszczające.

#### 4.3. Wrażliwość modelu na zmianę ceny miedzi, kosztów operacyjnych i poziomu zubożenia

Na rysunku 2 zaprezentowano zależność zysku netto od poziomów ceny miedzi elektrolitycznej. Wyliczenia przygotowano dla przyjętych bazowych kosztów operacyjnych. Minimalny poziom ceny miedzi gwarantujący dodatni, zdyskontowany i skumulowany zysk netto wyniósł 1480 USD/Mg.



Rys. 2. Zależność zysku netto od ceny miedzi elektrolitycznej dla rejonu X (przy przyjętych kosztach operacyjnych równych 140,51 zł/Mg urobku)



Rys. 3. Zależność zysku netto z od poziomu przyjętych kosztów operacyjnych dla rejonu X (przy cenie miedzi 2800 USD/Mg)

Na rysunku 3 przedstawiono natomiast zależność zysku netto od poziomu kosztów operacyjnych. Symulację przeprowadzono dla ustalonej, długookresowej ceny miedzi równej 2800 [USD/Mg]. Graniczna wartość kosztów, których nieprzekroczenie pozwala na uzyskanie dodatniego zysku netto wynosi 220 zł za 1Mg pozyskiwanego urobku.

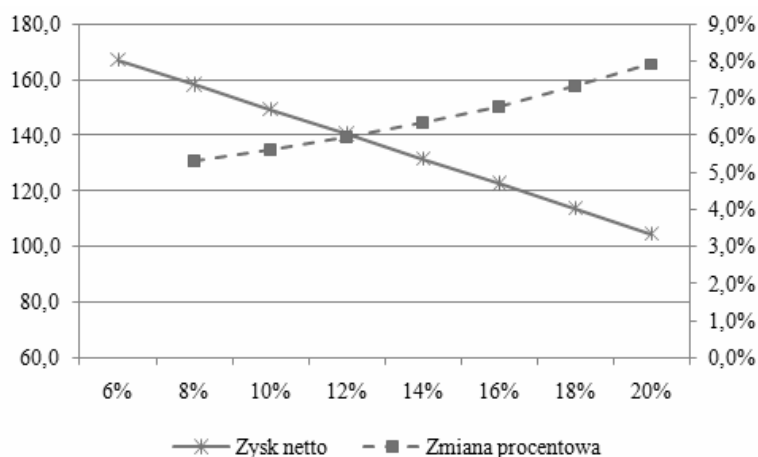
Wartości zysku netto dla kilku wybranych poziomów zubożenia w modelu przedstawia tabela 4.6.

TABELA 4.6  
Zależność zysku netto w modelu od poziomu zubożenia urobku

Zubożenie [%]	Zysk netto [mln zł]	Zmiana [%]
6	167,2	
8	158,3	5,3%
10	149,4	5,6%
12	140,5	6,0%
14	131,6	6,3%
16	122,7	6,8%
18	113,7	7,3%
20	104,7	7,9%

Analiza tabeli 4.6 oraz wykresu 4 pozwala zauważyć prawie liniowy wzrost dynamiki spadku zysku netto w zależności od przyjętego poziomu zubożenia. Przykładowo,

wzrost zubożenia o 2% do wartości 8% wpływa na zmniejszenie zysku netto o 8,9 mln zł. Natomiast teoretyczny wzrost zubożenia do 20% oznacza realizację zysku netto jedynie na poziomie 104,7 mln zł. Zmiana zubożenia o 14% skutkuje zatem utratą 62,5 mln zysku netto.



Rys. 4. Wykres zależności zysku netto od przyjętego poziomu zubożenia

TABELA 4.7

**Wrażliwość modelu na zmianę ceny miedzi i kosztów operacyjnych**

					Base case				
Procentowa zmiana zysku netto [%]	-40%	-30%	-20%	-10%	0%	10%	20%	30%	40%
Cena miedzi [USD/Mg]	-77,83%	-58,35%	-38,87%	-19,39%	0%	19,36%	38,25%	56,96%	75,66%
Koszty operacyjne [zł/Mg urobku]	55,94%	42,16%	28,39%	14,61%	0%	-14,74%	-29,58%	-44,42%	-59,26%

## 5. Podsumowanie

Funkcjonowanie przemysłu miedziowego w warunkach gospodarki rynkowej wymaga szybkiego i płynnego dostosowania tak elementów gospodarki złożem jak i wszystkich składników ciągu technologicznego do standardów światowych. Wiąże się to z koniecznością wnikliwej analizy zarówno poziomu kosztów wydobycia rudy jak i podjęciem działań zmierzających do rozwiązania szeregu istotnych problemów technicznych i technologicznych.

Proces zubożenia kopaliny nigdy nie może być analizowany samoistnie. Zawsze jest on pochodną większej całości, i choć truizmem jest stwierdzenie, że zubożenie ma negatywny wpływ na eksploatację, to o tym jak bardzo jest to niekorzystny proces dowiedzieć się możemy określając efekt ekonomiczny prowadzonych prac. Jak wykazano w artykule zagadnienie występowania w obrębie pól eksploatacyjnych dużych stref kamiennych, nazywanych w pracy strefami bezzłożowymi, stanowi istotny składnik kosztów prowadzonego procesu wydobywczego i często determinuje technologię eksploatacji złoża.

Oczywiście zdawać sobie trzeba sprawę z wszelkich ograniczeń narzucanych na analizowany proces eksploatacyjny przez czynniki zewnętrzne pochodzące głównie z występujących w trakcie eksploatacji zagrożeń skojarzonych oraz formy i budowy złoża.

Podsumowując prezentowane powyżej rozważania należy wyraźnie podkreślić, że proces zubożenia jest zjawiskiem niekorzystnym. Omijanie stref o niskiej mineralizacji złoża (stref kamiennych), jak i podejmowanie działań zmierzających do obniżania furty eksploatacyjnej w celu optymalizacji prowadzonego wydobywania i minimalizacji zubożenia prowadzą zwykle do wzrostu kosztów wydobywania.

Przeprowadzona analiza pozwala wyciągnąć również następujące wnioski szczegółowe:

- istnieje możliwość prowadzenia efektywnej ekonomicznie eksploatacji złoża dla oszacowanych wartości naprężeń. Dla ustalonych poziomów parametrów wejściowych (w tym zubożenia 10%) oszacowano zysk netto na poziomie 149,4 mln zł,
- poziom zubożenia wpływa istotnie na wartość generowanych zysków. Zależność ta ma charakter prawie liniowy, przy czym dynamika spadku zysku netto wykazuje tendencję rosnącą,
- zysk netto jest wrażliwy na zmianę kluczowych parametrów w modelu wyceny. Szczegóły analizy wrażliwości zysku netto na zmianę poziomu rynkowych cen miedzi i srebra oraz kosztów operacyjnych zaprezentowano w tabeli 4.7.
- istnieje konieczność precyzyjnego dookreślenia rzeczywistych nakładów inwestycyjnych, planów amortyzacji środków trwałych, zapotrzebowania na kapitał obrotowy w funkcji projektowanej skali eksploatacji wybranej partii złoża (np. pola X) celem pomiaru faktycznej wartości przedsięwzięcia,
- intensyfikacja badań zmierzających do lepszego rozpoznania bazy zasobowej (w kategoriach ilościowych i jakościowych) rozważanego obszaru posiada kluczowe znaczenie dla precyzyjnego określania horyzontu eksploatacji i potencjalnych efektów ekonomicznych.

#### LITERATURA

- [1] *Butra J.*: Ramowe wytyczne eksploatacji z ugięciem stropu w warunkach kopalń rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej. Praca naukowo-badawcza CBPM „CUPRUM”, Warszawa 1993.
- [2] *Dyczko A., Kopacz M.*: „Wpływ zubożenia na kształtowanie wartości górniczych projektów inwestycyjnych oraz wybranych wielkości produkcyjnych na przykładzie złoża rud miedzi, *Gospodarka Surowcami Mineralnymi* t. 24 z. 4/2, s. 251-264, wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2008.

- [3] *Dyczko A.*: „Cienkie pokłady – rola i miejsce w bazie surowcowej Polski”. Wydawnictwo Gospodarka Surowcami Mineralnymi Tom 22 – Zeszyt specjalny, Kraków 2006.
- [4] *Dyczko A.*: „Niektóre aspekty zubożenia urobku w kopalniach rud miedzi”. Materiały Konferencyjne Gospodarki Surowcami Mineralnymi. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2004.
- [5] *Flisiak J., Cala M., Tajduś A.*: Możliwości numerycznego modelowania filarowo-komorowego systemu eksploatacji. XXIV Zimowa Szkoła Mechaniki Górniczej, Kraków 2001.
- [6] *Itasca FLAC, User Manual.*
- [7] *Kicki J., Wanielista K. i inni*: Sterowanie rentownością i planowaniem kosztów w jednostkach produkcyjnych kopalni. Praca niepublikowana wykonana na zlecenie KGHM „Polska Miedź” S.A., Kraków 2000.
- [8] *Kicki J.*: Metoda zarządzania efektywnością pozyskiwania surowców na przykładzie miedzi. Praca niepublikowana - przygotowywana do druku, Kraków 2003.
- [9] *Muzyka H., Mróz D., Szaniawski M.*: Technologia wybierania cienkiego złoża rud miedzi w O/ZG „Polkowice-Sieroszowice” z lokowaniem kamienia w pustkach poeksploatacyjnych w aspekcie ochrony powierzchni przed uszkodzeniami górnictwem. Materiały Konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków 2002.
- [10] *Nieć M.*: „Czym są kryteria bilansowości i ich rola w gospodarce złożem”. Materiały konferencyjne VIII Konferencji z cyklu „Wykorzystanie zasobów złóż użytecznych” Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 2002.
- [11] *Piestrzyński A. i inni*: Monografia KGHM Pilska Miedź S.A. Praca zbiorowa, Lubin 1996.
- [12] Uzupełnienie do „Wytucznych eksploatacji z ugięciem stropu”. CBPM „CUPRUM”, Warszawa 1995.
- [13] *Wanielista K., Saluga P., Kicki J.*: „Wycena wartości zasobów złoża: Nowa strategia i metody wyceny”, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Seria z Lampką Górnictwem nr 12, IGSMiE PAN, Kraków 2002.
- [14] *Wanielista K., Kicki J. i inni*: Ekonomiczne kryteria alokacji wydobycia w kopalniach rud. Wydawnictwo IGSMiE PAN, Kraków 1988.
- [15] *Wanielista K.*: Maksymalizacja wykorzystania złóż rud miedzi w powiązaniu z efektywnością pozyskania ich zasobów, Wrocław 1989.
- [16] *Wanielista K.*: Rachunek ekonomiczny w gospodarce zasobami kopalni. Śląskie wydawnictwo techniczne, Katowice 1995.
- [17] *Wright E.A.*: „Dilution and mining recovery – a review of the fundamentals”. *Erzmetall* 36, 1983, Nr 1.
- [18] Wytuczne prowadzenia eksploatacji z ugięciem stropu w kopalniach rud miedzi. Instrukcja KGHM Polska Miedź S.A., Lubin 1994.