

Leszek Jurdziak*, Witold Kawalec*

STUDIUM OPTIMALIZACJI SCENARIUSZY TECHNOLOGICZNYCH KOPALNI WĘGLA BRUNATNEGO LEGNICA

1. Modelowanie blokowe złoża Legnica

Modelowanie złoża węgla brunatnego Legnica, uwzględniające zarówno odwzorowanie w modelu blokowym klasyfikacji złoża według obowiązujących kryteriów bilansowości, budowę modelu strukturalnego według przyjętego podziału litologicznego oraz budowę modelu jakościowego metodą interpolacji strefowej wybranych parametrów zostało wykonane według metody przedstawionej w [5]. Dodatkową operacją, niezbędną dla uzyskania kompletnego modelu złoża obejmującego pola: Zachód, Wschód oraz rzadziej opróbowane pole Północ, była superpozycja dwóch modeli jakościowych: Legnica Północ (LGN) i łącznego modelu Legnica Wschód (LGE) i Zachód (LGW).

Model blokowy zbudowano głównie na podstawie danych z odwiertów geologicznych. Cyfrową bazę danych odwiertów utworzono w IGO Poltegor-Instytut przy pomocy własnego oprogramowania *JBDG* [6]. Obszerna baza złoża LGW i LGE zawiera 31 906 prób z oznaczeniami warstw geologicznych i 11 887 prób (głównie węgla) z wynikami analiz udokumentowanymi w 1322 odwiertach, natomiast baza LGN zawiera tylko 7444 próby z oznaczeniami warstw geologicznych i 3263 próby analityczne udokumentowane w zaledwie 124 odwiertach.

Modelowanie blokowe wykonano w środowisku programu geologiczno-górniczego *Datamine*, użytkowanego na Wydziale Geoinżynierii, Górnictwa i Geologii Politechniki Wrocławskiej.

Na rysunku 1 przedstawiono widok od strony zachodniej jakościowego modelu blokowego (tylko komórki złożowe) na tle modelu sieciowego wybranego scenariusza wyrobiska docelowego (*WI*); kolor komórek jest zgodny z klasyfikacją złoża według wartości opałowej (czerwony – najwyższa jakość, żółty – najniższa).

* Politechnika Wrocławska, Wrocław

Obszar modelowania blokowego mieścił się w prostopadłościanie o wymiarach 17 000 metrów (kierunek W-E)×20 000 m (N-S)×450 m (miąższość). Komórka podstawowa miała jednakową długość i szerokość (250 m) z możliwością podziału do wymiaru minimalnego 50×50 m oraz maksymalną miąższość 6 m (z nieograniczoną możliwością podziału). Wynikowy blokowy model jakościowy złoża Legnica zawierał 2 142 680 bloków. Wybrane parametry jakościowe: wartość opałową (Q_I^{R50}), zawartość siarki (SCS) i zawartość popiołu (A^{R50}) interpolowano strefowo w obrębie kompleksów geologicznych metodą średniej ważonej (z wagami odwrotne proporcjonalnymi do odległości bloku od próbki) w polach LGW i LGE oraz „najbliższego sąsiada” w polu LGN.



Rys. 1. Wizualizacja jakościowego modelu blokowego (tylko komórki złożowe) na tle modelu sieciowego wyrobiska docelowego *W1* (widok z kierunku zachodniego); kolory komórek zgodne z klasyfikacją złoża według wartości opałowej (por. tab. 1b); źródło: *Datamine Studio*

2. Zasoby wariantowych wyrobisk docelowych dla rozpatrywanych scenariuszy technologicznych

Przedmiotem analiz są następujące wariantowe wyrobiska docelowe wg scenariuszy technologicznych, opracowanych i udokumentowanych przez IGO Poltegor-Institut z uwzględnieniem szeregu uwarunkowań technologicznych i środowiskowych:

- *W1* – udostępnienie złoża od południowego okonturowania pola LGW, przejście przez pole LGN do miejscowości Miłogostowice na polu LEG;
- *W2* – udostępnienie złoża od południowego okonturowania pola LGE, przejście przez pole LGN do miejscowości Rzeszotary w polu LGW;
- *W1a* – udostępnienie złoża od pola LGW od miejscowości Rzeszotary, przejście przez pole LGN do miejscowości Miłogostowice na pole LEG;
- *W2a* – udostępnienie złoża od pola LGE od miejscowości Miłogostowice, przejście przez pole LGN do miejscowości Rzeszotary na pole LGW.

Wyniki oszacowania zasobów w wyrobiskach przedstawiono w tabeli 1. W tej tabeli jednostki masy odnoszą się do węgla zaś jednostki objętości – do nadkładu. Ze względu na odmienne metody szacowania i klasyfikacji, otrzymane wyniki odbiegają od udokumentowanych przez IGO Poltegor-Institut, ale różnice są rzędu 3–6%.

TABELA 1a

Oszacowanie zasobów wariantów wyrobiska względem blokowego modelu jakościowego

Scenariusz	Kategoria	Masa lub objętość	Wartość opałowa Q_{I^R50} [kJ/kg]	Siarka całkowita SCS [%]	Popiół A^R50 [%]
W1	Węgiel	2042 [mln Mg]	9153	1.24	7.60
	Nadkład	17 508 [mln m ³]			
W2	Węgiel	2286 [mln Mg]	8949	1.18	7.95
	Nadkład	19 886 [mln m ³]			
W1a, W2a*	Węgiel	1841 [mln Mg]	9073	1.26	7.85
	Nadkład	16 210 [mln m ³]			

TABELA 1b

Oszacowanie zasobów wariantów wyrobiska względem modelu jakościowego w klasach bilansowości

Scenariusz	Kategoria	Kod	Masa [mln Mg], Objętość [mln m ³]	Kaloryczność Q_{I^R50} [kJ/kg]	Siarka całk. SCS [%]	Popiół A^R50 [%]
W1	węgiel bilansowy i pozabilansowy	4	1921	7580	1.05	6.20
	przerosty zakwalifikowane do węgla	2	118	4578	1.00	12.90
	nadkład, podłoże i przerosty	0 i 1	17 370	-	-	-
W2	węgiel bilansowy i pozabilansowy	4	2127	7329	0.99	6.52
	przerosty zakwalifikowane do węgla	2	149	4717	0.93	12.29
	nadkład, podłoże i przerosty	0 i 1	19 756	-	-	-
W1a, W2a*	węgiel bilansowy i pozabilansowy	4	1748	7424	1.05	6.30
	przerosty zakwalifikowane do węgla	2	114	4565	1.02	13.17
	nadkład, podłoże i przerosty	0 i 1	16 048	-	-	-

Zauważalny w tabeli 1b spadek parametrów jakościowych w porównaniu do danych zasobów w tabeli 1a jest spowodowany klasyfikowaniem zasobów na podstawie składnika głównego warstwy bez korelacji z parametrami jakościowymi – może to powodować przeklasyfikowanie części zasobów węgla do nadkładu oraz – odwrotnie – niektórych bloków złoża o słabych parametrach do węgla bilansowego. Niewykluczone, że zastosowana procedura klasyfikacji według zasad bilansowości okazała się niezbyt odpowiednia dla struktury tego złoża. Bardziej wiarygodne wydają się wyniki tabeli 1a, gdzie klasyfikacja jest uzależniona od spełniania warunków jakościowych bilansowości.

3. Warianty wyrobisk docelowych analizowanych scenariuszy technologicznych

W celu wykonania analiz przygotowanych trzech wariantów wyrobisk docelowych zostały wygenerowane trzy wersje modelu ekonomicznego złoża Legnica. Ponieważ w każdym przypadku przyjęto zasięg wyrobiska docelowego otrzymany od projektanta, zasoby węgla zostały odpowiednio „obcięte” do obszaru wyrobisk *W1*, *W2* i *W1a* lub *W2a* a wariantowe modele ekonomiczne utworzono na podstawie stosowanej w branży formuły cenowej (1), różnicując parametry węgla bazowego stosownie do wartości uśrednionych (tab. 1a).

$$C = C_B \cdot \left[\frac{Q_R}{Q_B} - \frac{A_R - A_B}{180} - \frac{S_R - S_B}{10} \right] \quad (1)$$

gdzie:

- C – cena węgla „in-situ”, zł/Mg,
- C_B – cena bazowa (cena odniesienia) węgla, przyjęto 80 zł/Mg,
- Q_R i Q_B – rzeczywista i bazowa wartość opałowa węgla brunatnego, kJ/kg,
- A_R i A_B – rzeczywista i bazowa zawartość popiołu w węglu brunatnym, %,
- S_R i S_B – rzeczywista i bazowa zawartość siarki w węglu brunatnym, %,
- Q_B, A_B, S_B – według tabeli 1.

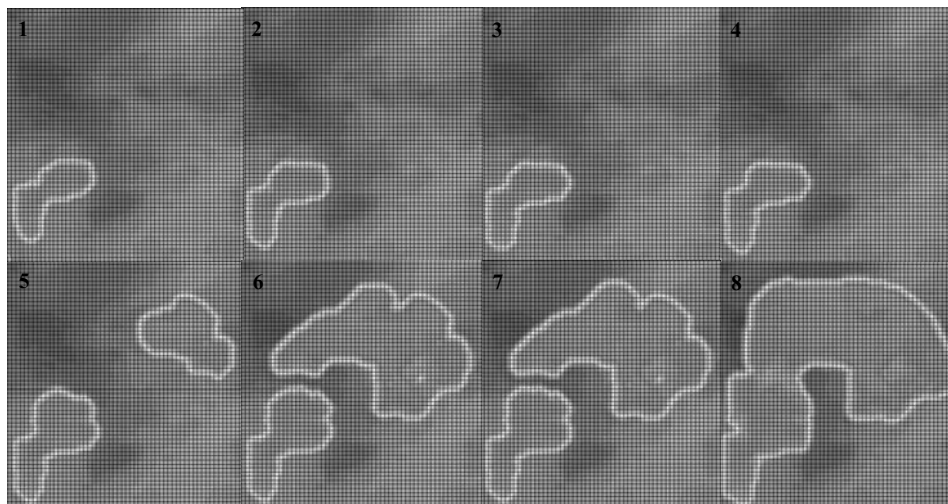
Wartość wyrażenia w nawiasie (1) określa współczynnik jakościowy węgla.

Założono średni koszt eksploatacji 6 zł/m³ oraz (dla utworzenia tzw. Optymalnej Kolejności Wydobywania bloków [7]) roczne wydobycie węgla bazowego (o parametrach uśrednionych) rzędu 24 mln Mg i stopę dyskontowania na poziomie 8%.

Dla każdego scenariusza technologicznego *W1*, *W2* i *W1a* lub *W2a* wygenerowano dwa podstawowe modele wyrobiska docelowego wraz z zestawem tzw. faz – opcjonalnych wyrobisk docelowych (wyrobisk zagnieżdżonych) wyznaczonych dla pomniejszonej ceny bazowej:

- model maksymalizujący zasoby (wybieranie całego wyrobiska docelowego według projektu);
- model maksymalizujący wartość wyrobiska według Lerchs’a-Grossmann’a (generowany w obrębie danego wyrobiska w celu sprawdzenia możliwości dalszej optymalizacji projektu).

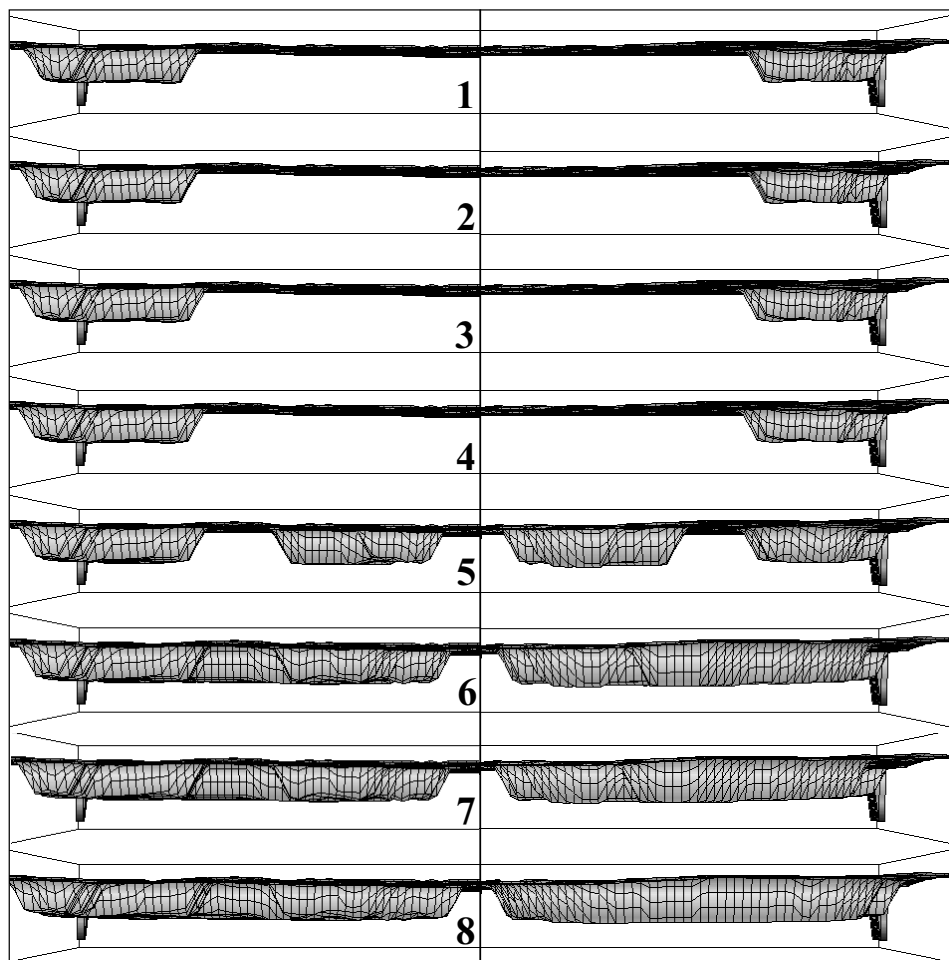
Operacje optymalizacji kopalni odkrywkowej: generowania wyrobisk docelowych oraz przedstawionego poniżej konstruowania długoterminowego planu rozwoju kopalni wykonano w środowisku programu optymalizacji wyrobisk odkrywkowych *NPV Scheduler*, użytkowanego w Instytucie Górnictwa Politechniki Wrocławskiej.



Rys. 2. Zestawienie zasięgu 8 wyrobisk docelowych scenariusza *W1* maksymalizujących wykorzystanie zasobów dla cen stanowiących: 65%, 70%, ... 100% ceny odniesienia wynoszącej 80 zł/Mg [3]; źródło: *NPV Scheduler*

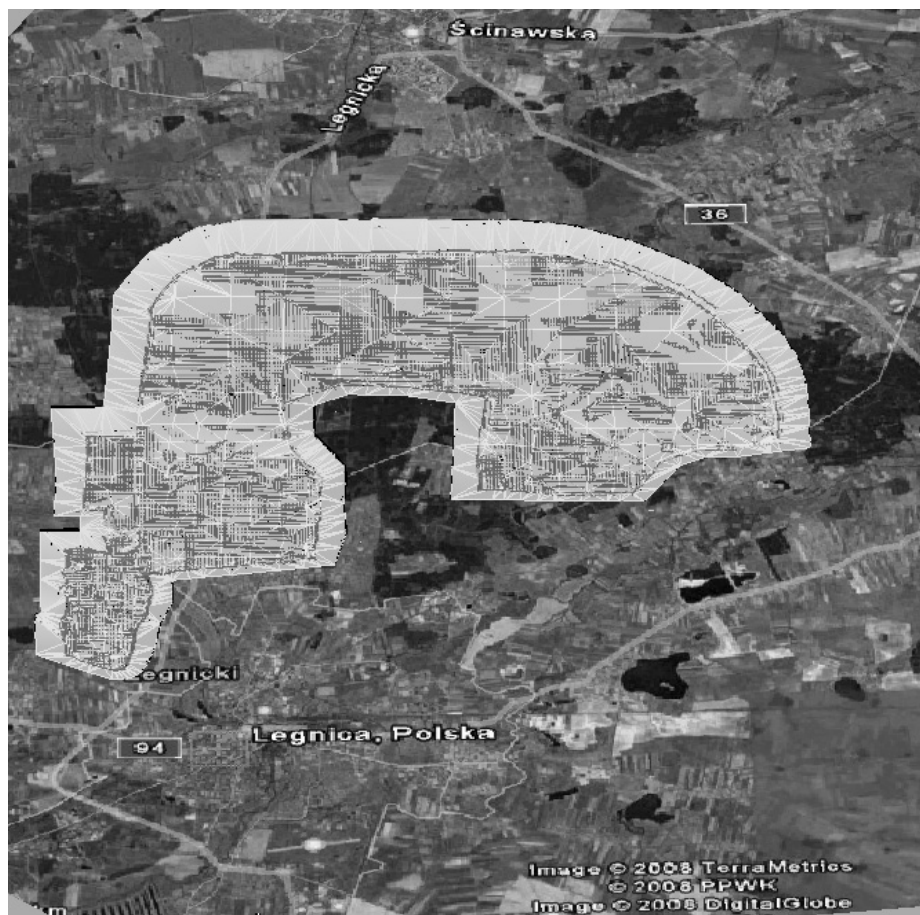
W programie *NPV Scheduler* wygenerowano szereg wariantów wyrobisk dla różnych poziomów cen przy różnych kryteriach optymalizacji: maksymalizacji wykorzystania zasobów (rys. 2 i 3) oraz maksymalizacji wartości przy użyciu algorytmu Lerchs'a-Grossmann'a. Cechą charakterystyczną procesu parametryzacji jest zagnieżdżenie optymalnych wyrobisk docelowych wygenerowanych dla różnych cen węgla. Wyrobisko wygenerowane dla wyższej ceny zawiera w sobie wszystkie poprzednie uzyskane dla cen niższych (rys. 3). Lokalizacja pierwszego wyrobiska (nr 1 na rys. 2) oraz zmiany kształtu tych wyrobisk przy wzroście ceny węgla stanowią wskazówkę dla projektanta, co do umieszczenia wkopu udostępniającego oraz prowadzenia rozwoju kopalni. Jak można się przekonać, pierwsze wyrobisko pojawia się w miejscu zaplanowanego wkopu, co potwierdza słuszność tego wyboru. Niestety dalszy rozwój wyrobiska nie przebiega w zgodzie z kierunkiem zaplanowanej eksploatacji. Piąte wyrobisko złożone jest z 2 niepołączonych ze sobą części, co sugerowałoby potrzebę otwarcia drugiego wkopu i eksploatację na 2 fronty. Taki rozwój wyrobiska wynika zapewne z częściowego braku danych o złożu (a niepotwierdzonego braku węgla) w obszarze na północny wschód od pierwszego wyrobiska.

Na rysunku 3 rozwój wyrobisk zagnieżdżonych pokazany jest w postaci serii widoków w rzucie od strony południowej (lewa strona, rys. 3) oraz północnej (prawa strona). Podobnie jak na rysunku 2 można zauważyć powstanie dwóch rozłącznych części dla wyrobiska nr 5. Niewielkie, wąskie zapadnięcie terenu w samym rogu nie jest częścią wyrobiska i wynika z braku danych o rzędnych terenu w narożnikach analizowanego obszaru.



Rys. 3. Wizualizacja kolejnych wybranych zagnieżdżonych wyrobisk docelowych scenariusza *W1*; lewa strona – widok od południa, prawa – od północy [3]; źródło: *NPV Scheduler*

Przedstawione na rysunkach 2–4 warianty wyrobiska docelowego *W1* stanowią przykładową ilustrację przestrzennych modeli generowanych za pomocą narzędzi optymalizacji wyrobisk odkrywkowych. Na rysunku 4 zamieszczono widok będący superpozycją rzeczywistego obrazu okolic Legnicy (uzyskany w programie *Google Earth*) i modelu wyrobiska *W1*. Na spągu wyrobiska można zauważyć pozostałości warstwy węglowej. Technologia wirtualnej rzeczywistości zaprzęgnięta do warsztatu projektanta górniczego może oddać nieocenione zasługi w dziedzinie kontaktów z opinią publiczną, niezbędnych dla uzyskania społecznej akceptacji planowanej inwestycji górniczej.

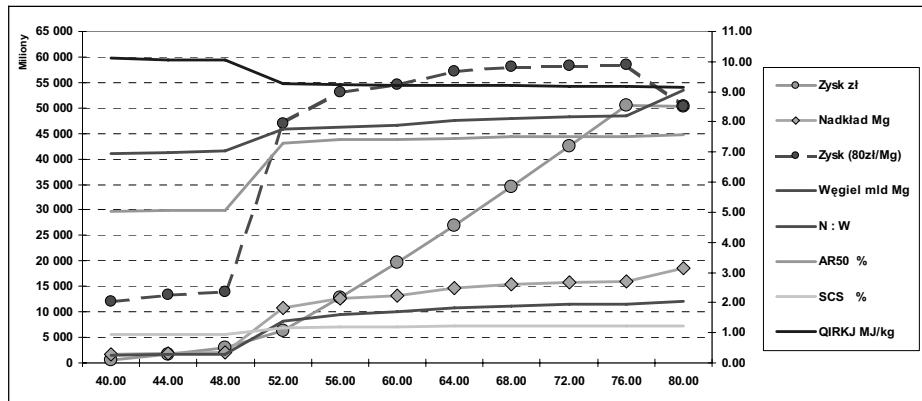


Rys. 4. Widok wyrobiska docelowego *WI* z lotu ptaka (środowisko *Virtual Realisty* programu *Datamine Studio 3*) na tle obrazu terenu wokół Legnicy (*Google Earth*)

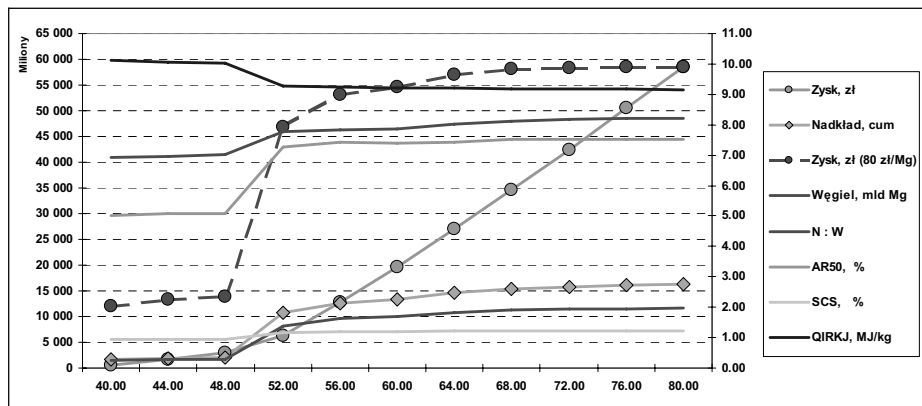
Model złoża, wyrobiska i terenu oraz inne obiekty (np. koparki, przenośniki itp.) mogą być przedstawione w środowisku wirtualnej rzeczywistości (*VR*). W programie *Datamine Studio 3 VR* stanowi alternatywny sposób obrazowania [2] obok okna projektowego, trójwymiarowej wizualizacji (*Visualiser Window*) i okna wydruku/plotowania (*Present*). Te możliwości zostały wykorzystane do przedstawienia lokalizacji wyrobiska docelowego (*WI*) na tle obrazu terenu wokół Legnicy z wyróżnieniem dróg krajowych. Model terenu wokół wyrobiska został udrapowany zdjęciem pobranym z powszechnie dostępnego programu *Google Earth*. Jego jakość ograniczona jest dostępną rozdzielczością takich zdjęć. Posłużenie się fotogrametrią lotniczą lub profesjonalną ortofotografią podniosłoby walory takiej wizualizacji.

4. Analiza wyrobisk docelowych

Na kolejnych rysunkach (rys. 5–10) przedstawiono zmiany parametrów wyrobisk zagnieżdżonych wygenerowanych dla trzech scenariuszy technologicznych kopalni (*W1*, *W2* i *W1a* lub *W2a*) przy dwóch kryteriach optymalizacji: maksymalizacji wykorzystania zasobów (rys. 5, 7 i 9) oraz maksymalizacji niezdyktowanych przepływów finansowych (rys. 6, 8 i 10). Wykresy przedstawiają zysk kopalni (mierzony w cenach bieżących), ilość nadkładu i węgla oraz stosunek N:W, a także uśrednione parametry jakościowe węgla w wygenerowanych wyrobiskach ($Q_I^R KJ$, A_{50}^R i *SCS*).

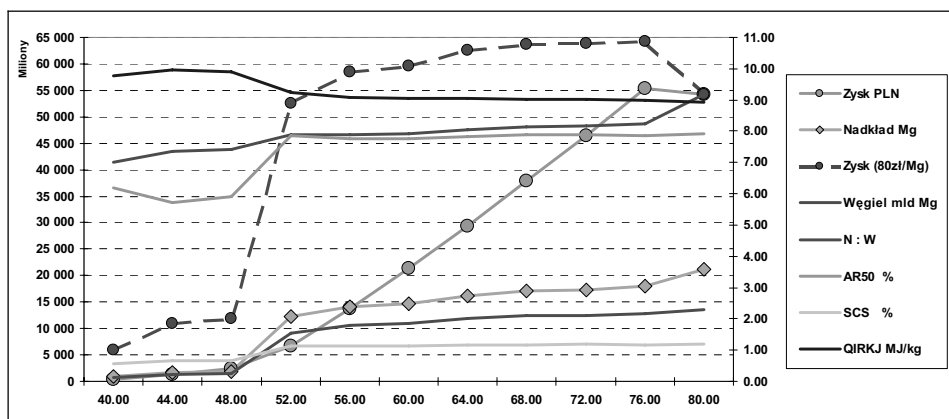


Rys. 5. Parametry wyrobisk zagnieżdżonych dla scenariusza *W1* przy maksymalizacji wykorzystania zasobów dla ceny węgla 80 zł/Mg

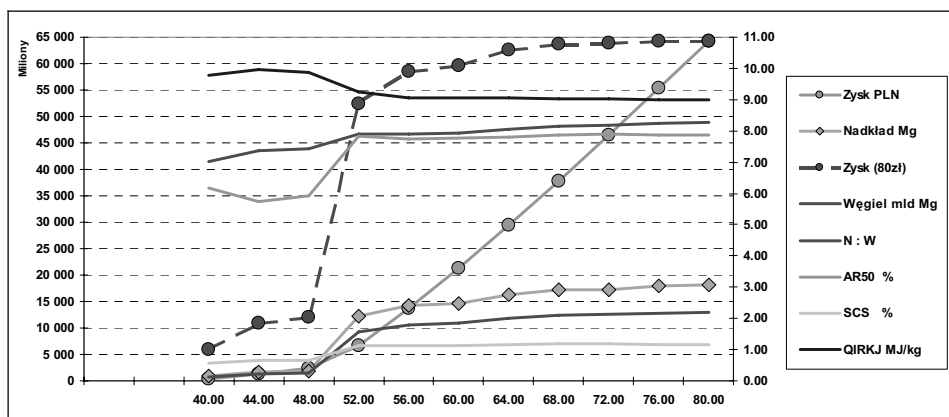


Rys. 6. Parametry wyrobisk zagnieżdżonych dla scenariusza *W1* przy maksymalizacji niezdyktowanych przepływów finansowych (*CF*) dla ceny węgla 80 zł/Mg

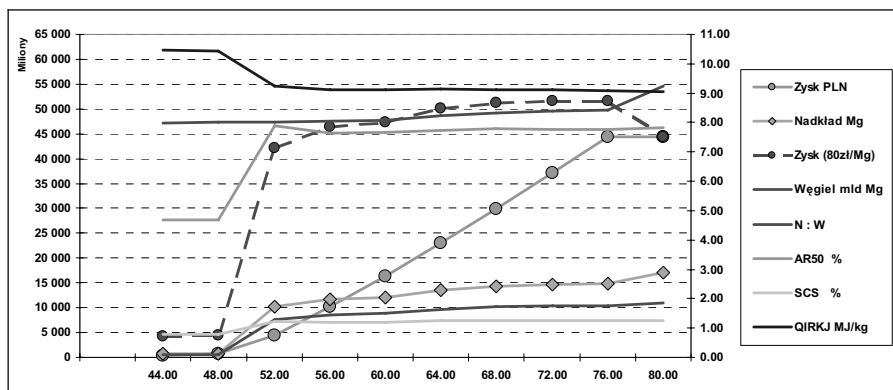
Porównanie wykresów pokazuje, że w zakresie niedyskontowanej wartości przepływów z eksploatacji złoża (przy posłużeniu się cenami bieżącymi węgla z wykresów) przy obu kryteriach nieznacznie wygrywa wariant drugi (55,35 mld zł), za nim plasuje się pierwszy (50,48 mld zł.), a trzeci (W1a) jest wyraźnie gorszy (44,39 mld zł). Podane wartości nie dotyczą wyrobiska ostatniego, wygenerowanego dla ceny węgla 80 zł/Mg, lecz dla przedostatniego dla ceny 76 zł/Mg. Wyrobisko maksymalizujące wykorzystanie zasobów przy tej cenie ma bowiem dużo niższą wartość.



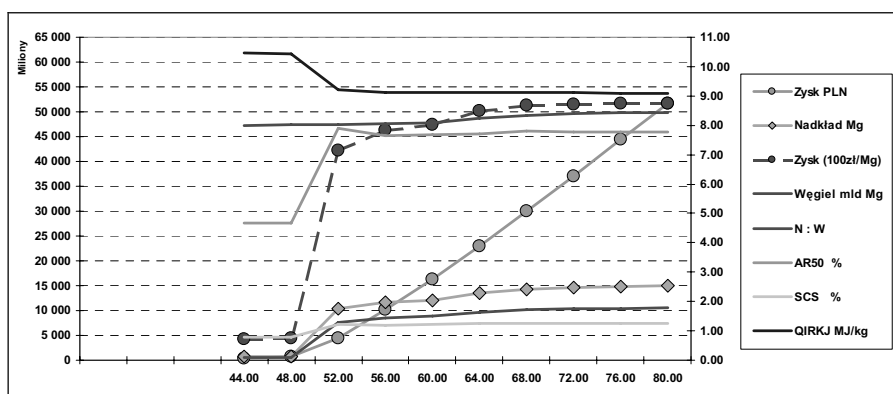
Rys. 7. Parametry wyrobisk zagnieżdżonych dla scenariusza W2 (maksymalizacja zasobów, cena węgla 80 zł/Mg)



Rys. 8. Parametry wyrobisk zagnieżdżonych dla scenariusza W2 przy maksymalizacji przepływów finansowych (CF) dla ceny węgla 80 zł/Mg



Rys. 9. Parametry wyrobisk zagnieżdżonych scenariusza *W1a* (lub *W2a*) (maksymalizacja zasobów, cena węgla 80 zł/Mg)



Rys. 10. Parametry wyrobisk zagnieżdżonych dla scenariusza *W3* przy maksymalizacji niezdyskontowanych przepływów finansowych (*CF*) dla ceny węgla 80 zł/Mg

Przyrost ilości węgla, który dla tej ceny opłaca się wydobyć okupiony jest koniecznością zdjęcia większej ilości nadkładu, co pogarsza wyraźnie wskaźnik N:W i przyczynia się do obniżenia zysku. Podobne wyniki finansowe dla tych cen uzyskuje się dla wyrobisk uzyskanych w wyniku optymalizacji Lerchs'a-Grossmann'a: 64.29 mld zł (*W2*), 58.55 mld zł (*W1*) i 51.71 mld zł (*W1a*). Porównanie wartości wyrobisk wygenerowanych przy maksymalizacji zasobów dla wszystkich wariantów, ale przy zastosowaniu wspólnej ceny 80 zł/Mg (linia przerywana na rysunkach 5, 7 i 9) potwierdza, że wariant drugi przynosi najwyższe zyski (64,26 mld zł), wariant *W1* jest nieco gorszy (58,5 mld zł), a wariant *W1a* już sporo (51,7 mld zł). Istotny jest również płaski przebieg krzywej wartości dla kilku ostatnich wyrobisk (np. wyrobiska optymalne nr 7–10 na rysunku 5).

Należy podkreślić, że wynik finansowy przekraczający 50 miliardów zł (dla ceny 80 zł/Mg) jest wynikiem niezdyktowanym. Dodatkowo nie uwzględnia on kosztów inwestycyjnych kopalni (głównie kosztów maszyn i urządzeń, gdyż koszty wykonania wkopu są uwzględnione), lecz obejmuje jedynie koszty operacyjne jej funkcjonowania. Konieczna jest więc dalsza analiza wymagająca sporządzenia harmonogramu wydobycia uwzględniającego zmienną jakość węgla w poszczególnych okresach eksploatacji oraz integracja wszystkich przepływów pieniężnych. Może ona mieć bowiem wpływ na zmianę wartości zdyskontowanej analizowanych wariantów, gdyż w pierwszym okresie eksploatowany jest lepszy węgiel (o wyższej kaloryczności), co poprawi wartość przepływów we wczesnych latach, a pogorszy w późniejszych.

TABELA 2

Oszacowanie zasobów scenariuszy wyrobiska względem modelu jakościowego w klasach jakościowych

Parametr	Wariant	Maks. zasobów	Optymalizacja L-G	Zmiana	Maks. zmian*
Zysk [mld zł]	W1	50.26	58.55	8.29 (16.49%)	19.89 (44.81%)
	W2	54.17	64.29	10.12 (18.67%)	
	W1A, W2A	44.39	51.71	7.32 (16.49%)	
Zysk jednostkowy (na Mg węgla) [zł/Mg]	W1	24.52	29.69	5.17 (21.06%)	6.17 (26.23%)
	W2	23.52	29.36	5.84 (24.85%)	
	W1A, W2A	24.01	29.16	5.14 (21.41%)	
Zasoby węgla [mld Mg]	W1	2.05	1.97	-0.08 (-3.78%)	-0.53 (-23.00%)
	W2	2.30	2.19	-0.11 (-4.94%)	
	W1A, W2A	1.85	1.77	-0.07 (-4.05%)	
N:W	W1	9.06	8.22	-0.84 (-9.27%)	-1.03 (-11.15%)
	W2	9.17	8.26	-0.91 (-9.93%)	
	W1A, W2A	9.26	8.43	-0.83 (-8.94%)	

kursywa – wynik najgorszy; **wytłuszczenie** – wynik najlepszy spośród wszystkich wariantów,

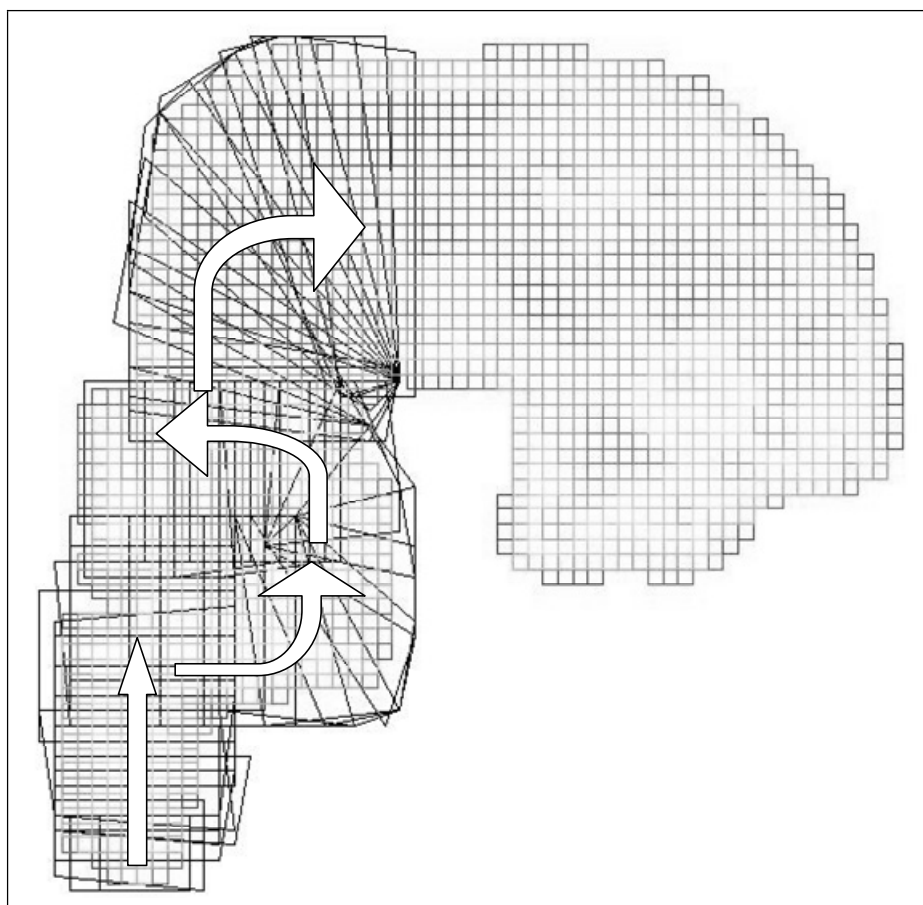
*maks. zmiana – zmiana pomiędzy najgorszym a najlepszym wynikiem.

5. Studium długoterminowego planu rozwoju dla scenariuszy technologicznych *W1* i *W2*

Zasoby węgla rzędu 2 miliardów Mg w wyrobiskach *W1*, *W2* lub *W12* wraz z założonym wstępnie rocznym wydobyciem węgla na poziomie około 24 mln Mg oznaczają około osiemdziesięcioletni czas eksploatacji kopalni. Analizy ekonomiczne dla tak długiego okresu nie mają uzasadnienia, toteż warto skupić się na studialnych planach początkowego okresu budowy i rozwoju kopalni. Dla wariantów *W1* i *W2* przy cenie odniesienia $C_B = 80$ zł/Mg zostały utworzone tzw. kroki postępu wyrobiska, począwszy od loka-

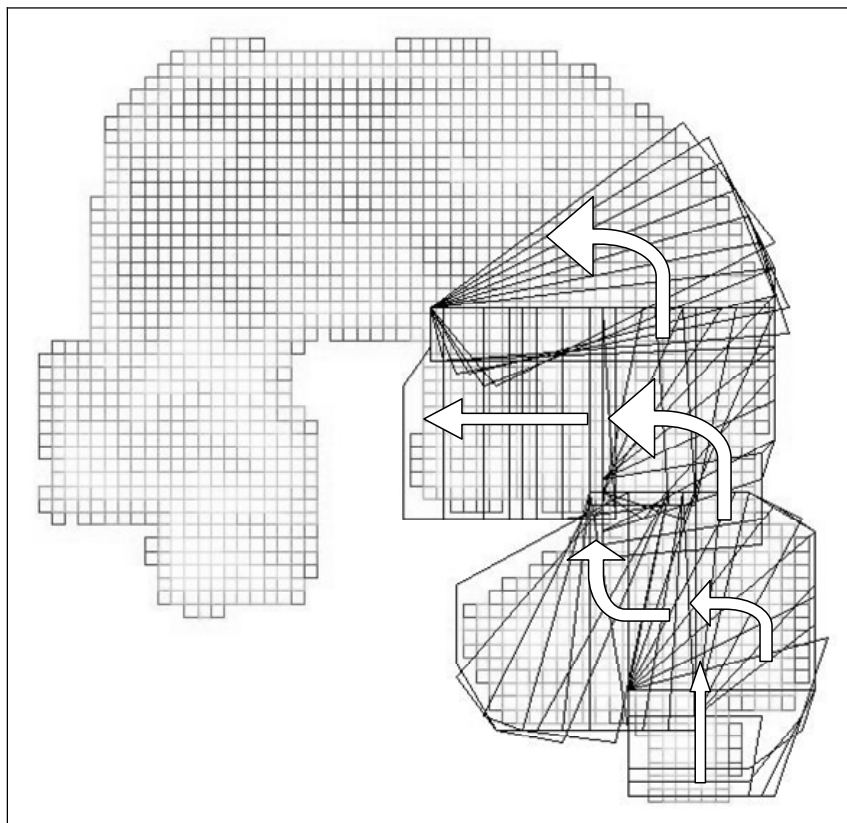
lizacji wkopów udostępniających zlokalizowanych w rejonie południowym, zgodnie z przyjętymi przez IGO Poltegor-Institut założeniami technologicznymi.

Wyrobisko *W1* rozwija się od wkopu początkowo w kierunku północnym, następnie w kierunku wschodnim, by zawrócić wachlarzowo na zachód. W części północnej złoża wyrobisko postępuje wachlarzowo w kierunku północno-wschodnim.



Rys. 11. Kroki postępu wyrobiska *W1*, obejmujące około 45% zasobów wyrobiska docelowego (w tle); kierunek postępu zgodny z założeniami projektowymi (*NPV Scheduler*)

Wyrobisko *W2* rozwija się od wkopu początkowo w kierunku północnym, następnie wachlarzowo w kierunku zachodnim i północnym by zawrócić wachlarzowo na zachód i kontynuować postęp równoległe do granic złoża. W części północnej złoża wyrobisko postępuje wachlarzowo w kierunku północno-zachodnim.



Rys. 12. Kroki postępu wyrobiska *W2*, obejmujące około 45% zasobów wyrobiska docelowego (w tle); kierunek postępu zgodny z założeniami projektowymi (*NPV Scheduler*)

Dla przyjętych kierunków postępu zbudowano szereg opcjonalnych, wieloletnich planów rozwoju kopalni. W tabeli 3 zestawiono ich główne parametry sterujące.

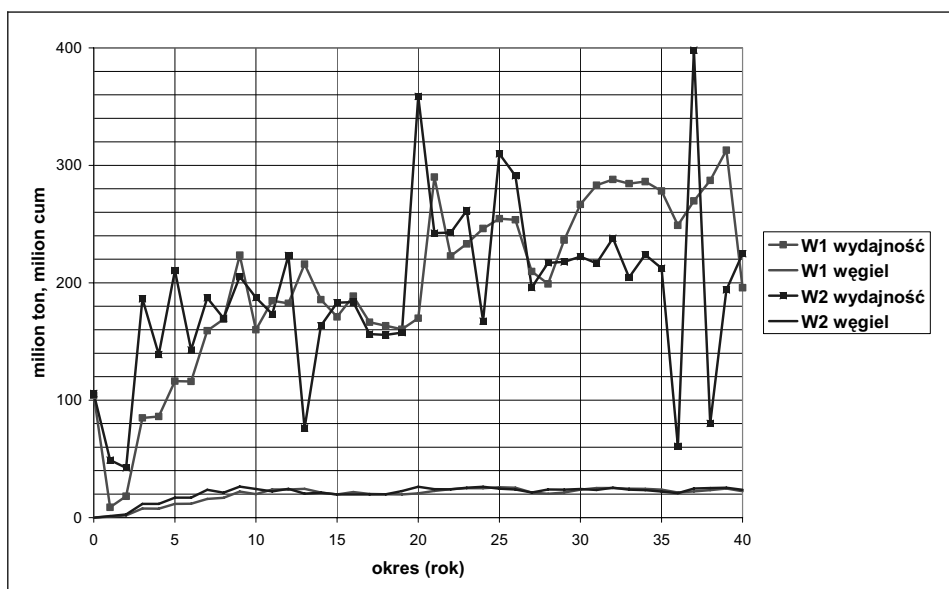
TABELA 3

Parametry sterujące opcjonalnych planów rozwoju wyrobiska wg scenariuszy *W1*, *W2*

Sterowanie upływem czasu długoterminowego planu rozwoju			Zmienne celu planu rozwoju (oprócz NPV)					
Zmienna	Wartość	Okres wstępny	Zmienna [jednostka]	Scenariusz	Wartość optymalna	Minimum	Maksimum	Okres wstępny
Wydobycie węgla wskaźnikowego	24 [mln Mg]	Tak, 8 lat	N:W [bezw.]	W1	8.1	6.5	9	4 lata
				W2	8.1	6.5	10	7 lat
			wskaźnik jakościowy	W1	1	0.97	1.3	brak
				W2	1	0.85	1.2	brak

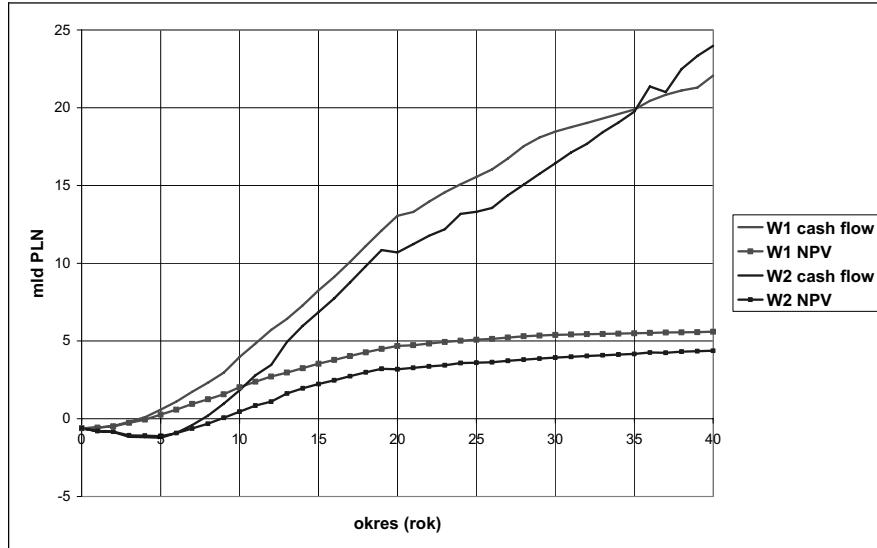
Stałe wydobycie węgla wskaźnikowego, przeliczanego bezpośrednio na energię elektryczną zapewnia możliwość równomiernej produkcji energii. Zmienna celu „N:W” służy stabilizacji wydajności całkowitej kopalni, zaś zmienna „wskaźnik jakościowy” odpowiada za uśrednienie parametrów jakościowych węgla w długim horyzoncie czasowym, co sprzyja optymalizacji pracy elektrowni, przekładającej się na możliwość utrzymywania najwyższych parametrów sprawności.

W rezultacie otrzymano trzy plany rozwoju kopalni dla każdego scenariusza. Wybrane wyniki planów rozwoju kopalni przedstawiono na kolejnych wykresach. Całkowita wydajność kopalni jest mierzona faktycznie w Mg (dla węgla) oraz Mg i m³ (dla nadkładu). Na wykresach (rys. 13–16) porównano opcjonalne plany rozwoju dla scenariuszy *W1* i *W2*.

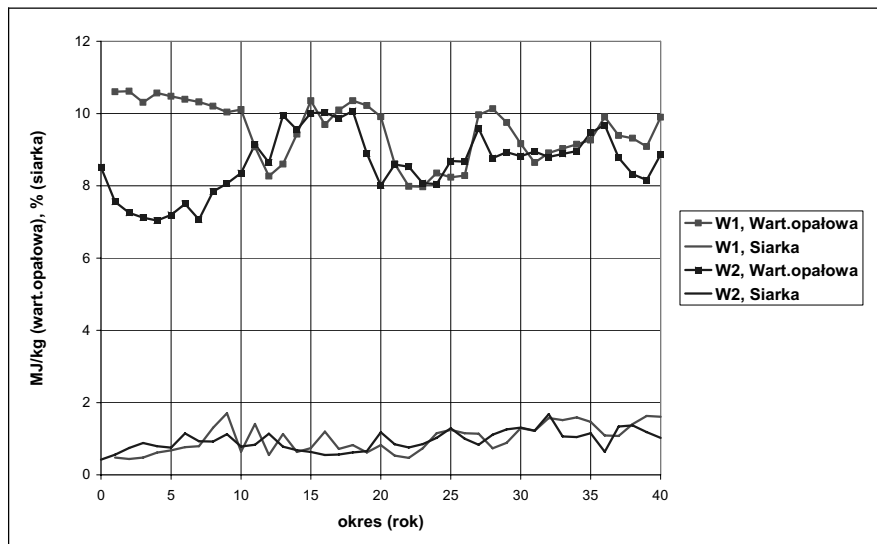


Rys. 13. Wydobycie węgla (mln Mg) oraz całkowita wydajność kopalni (mln Mg, mln m³) w wieloletnich planach rozwoju dwóch scenariuszy technologicznych *W1* i *W2* optymalizowanych ze względu na N:W

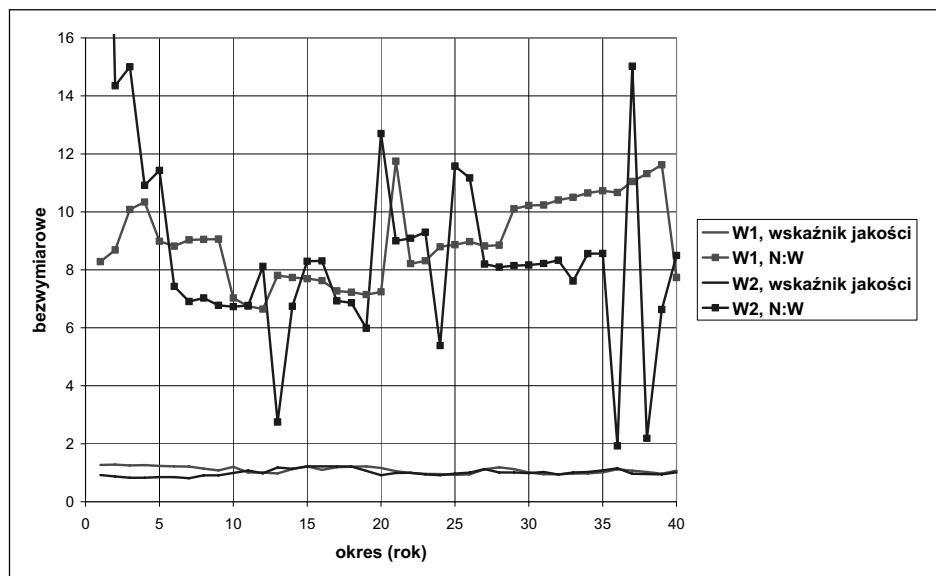
Tak zwany rok „zerowy” w planach rozwoju kopalni (praktycznie trwający kilka lat) to okres budowy wkopu udostępniającego w nadkładzie – nie jest on zaliczany do właściwego planu wydobycia węgla ani nie jest doliczany w dyskontowaniu przepływów w kolejnych latach (o czym należy pamiętać analizując wyniki ekonomiczne). Jest to głównie okres inwestycyjny.



Rys. 14. Wyniki ekonomiczne: rocznych przepływów pieniężnych i zdyskontowanej wartości kopalni w wieloletnich planach rozwoju dwóch scenariuszy *W1* i *W2* optymalizowanych ze względu na N:W



Rys. 15. Porównanie średniorocznych parametrów jakościowych węgla: wartości opałowej ($Q_1^{R_{KJ}}$) oraz zawartości siarki (SCS) w wieloletnich planach rozwoju dwóch scenariuszy *W1* i *W2* (optymalizowane N:W)



Rys. 16. Porównanie średniorocznego wskaźnika jakościowego węgla oraz N:W w wieloletnich planach rozwoju dwóch scenariuszy *W1* i *W2* (optymalizowane N:W)

Wkop udostępniający i pierwsze lata rozwoju kopalni według scenariusza *W1* są zlokalizowane w południowo-zachodniej części złoża LGW, gdzie parametry jakościowe węgla są średnio lepsze od średniej dla całego wyrobiska *W1* (rys. 15 i 16) i niższe niż według scenariusza *W2*.

Również N:W jest korzystniejsze dla początkowego scenariusza *W1*. Dzięki temu scenariusz *W1* uzyskuje wyraźnie lepsze wyniki ekonomiczne na początku eksploatacji co przekłada się na stabilną wyższą wartość NPV w długim okresie eksploatacji tego scenariusza (rys. 14).

Także porównanie wydajności kopalni (rys. 13) wskazuje na mniejszą potrzebną maksymalną wydajność systemu maszynowego w scenariuszu *W1*.

6. Podsumowanie

Zastosowano specjalistyczne procedury tworzenia modeli blokowych złoża węgla brunatnego dla celów wszechstronnych studiów projektowych kopalni odkrywkowej [5].

Zbudowano kompleksowy, przestrzenny, cyfrowy model blokowy złoża Legnica umożliwiający przestrzenne analizy struktury złoża, rozkładu parametrów jakościowych, szacowanej wartości węgla w złożu oraz zachowujący obowiązującą klasyfikację według zasad bilansowości.

Poprawność procedury modelowania zweryfikowano poprzez porównanie wyników oszacowania zasobów wstępnego projektu wyrobiska docelowego Legnica Zachód względem utworzonego modelu blokowego oraz strukturalnego modelu zbudowanego w *JBDG*.

Analizy różnych, zaproponowanych przez IGO Poltegor-Instytut scenariuszy technologicznych, pokazują istotne różnice wyników finansowych (rzędu 25%). Zastosowanie optymalizacji w obrębie tych wariantów również pokazuje, że nawet w ramach narzuconych ograniczeń geometrycznych można wskazać wyrobiska istotnie różniące się generowanymi zyskami. Wstępne studia nad planami rozwoju kopalni sugerują wyższość scenariusza *W1* nad pozostałymi propozycjami.

Należy kontynuować analizy i optymalizację, gdyż na tym etapie, jak pokazują powyższe rezultaty, można osiągnąć istotną poprawę wyników finansowych lub wskazać obszary, których rozpoznanie jest konieczne dla właściwej oceny opłacalności eksploatacji. Hustrulid i Kuchta – autorzy fundamentalnego podręcznika o projektowaniu i planowaniu rozwoju kopalń odkrywkowych [1] podkreślają, że duża poprawa wyników ekonomicznych jest możliwa tylko na etapie rozważania wielu koncepcji zagospodarowania złoża. W miarę konkretyzacji planu eksploatacji możliwości manewru maleją, ograniczając znacząco szanse poprawy wyniku finansowego na skutek optymalizacji.

Niektóre wyniki przedstawionych w artykule analiz optymalizacji kopalni Legnica ukazały się wcześniej w pracy [4] prezentującej wyniki projektu *Foresight* dla górnictwa węgla brunatnego.

LITERATURA

- [1] *Hustrulid W., Kuchta M.*: Open Pit Mine Planning and Design. Volume 1. Fundamentals, A.A. Balkema, Rotterdam 2005.
- [2] *Jurdziak L.*: Komputerowa wizualizacja i animacja przedsięwzięć górniczych. *Górnictwo Odkrywkowe*, 1999, 41, nr 4/5, s. 3–21.
- [3] *Jurdziak L.*: Wstępne wyniki optymalizacji Lerchs'a-Grossmann'a modelu ekonomicznego złoża węgla brunatnego Legnica Zachód. W: *Technologia udostępnienia złoża węgla brunatnego Legnica*, Redakcja Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław 2007.
- [4] *Jurdziak L., Kawalec W.*: Modele wartościowe oceny Scenariuszy Technologicznych udostępnienia złoża Legnica. W: *Scenariusze technologii udostępnienia złóż i przetwórstwa węgla brunatnego w rejonie Legnicy*, Praca zbiorowa pod red. J. Bednarczyka, ISBN 978-83-60905-12-8, Redakcja Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław 2008.
- [5] *Kawalec W.*: Modelowanie blokowe złoża węgla brunatnego Legnica Wschód i Legnica Zachód. W: *Technologia udostępnienia złoża węgla brunatnego Legnica*, Redakcja Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław 2007.
- [6] *Ślusarczyk G., Specylak-Skrzypecka J., Borowicz A.*: Cyfrowe modele geologiczne złoża węgla brunatnego Legnica. W: *Technologia udostępnienia złoża węgla brunatnego Legnica*, Redakcja Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław 2007.
- [7] Dokumentacja elektroniczna programów *Datamine Studio* oraz *NPV Scheduler*.